

パラレルリンクロボットの開発

報告者 近畿大学工学部 教授 山本昌彦

共同研究者 株式会社ロボメカニクス研究所

代表取締役 藤井康夫

1. 背景

当研究室では図 1 に示すようなパラレルリンクを使用した 4 足歩行ロボットを試作開

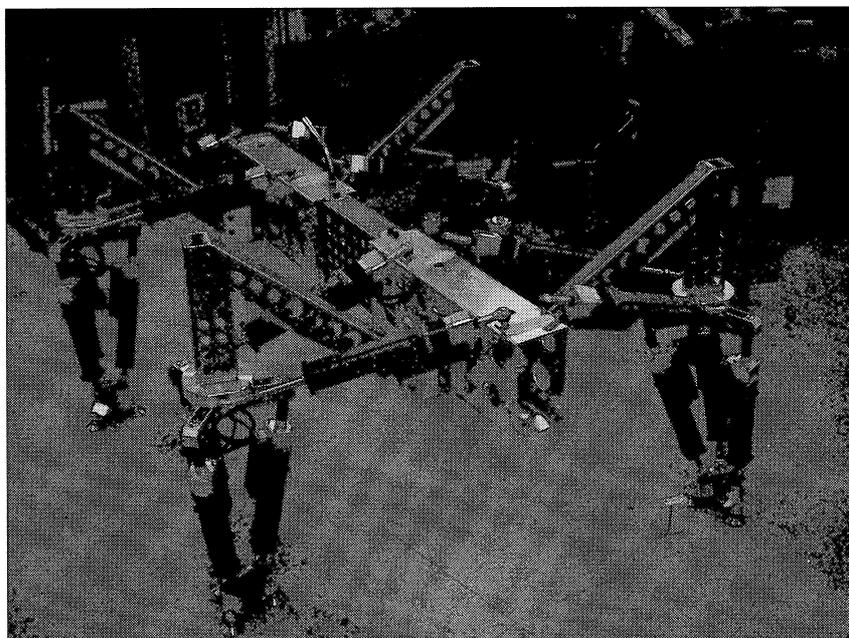


図 1 パラレルリンクを使用した 4 足歩行ロボット

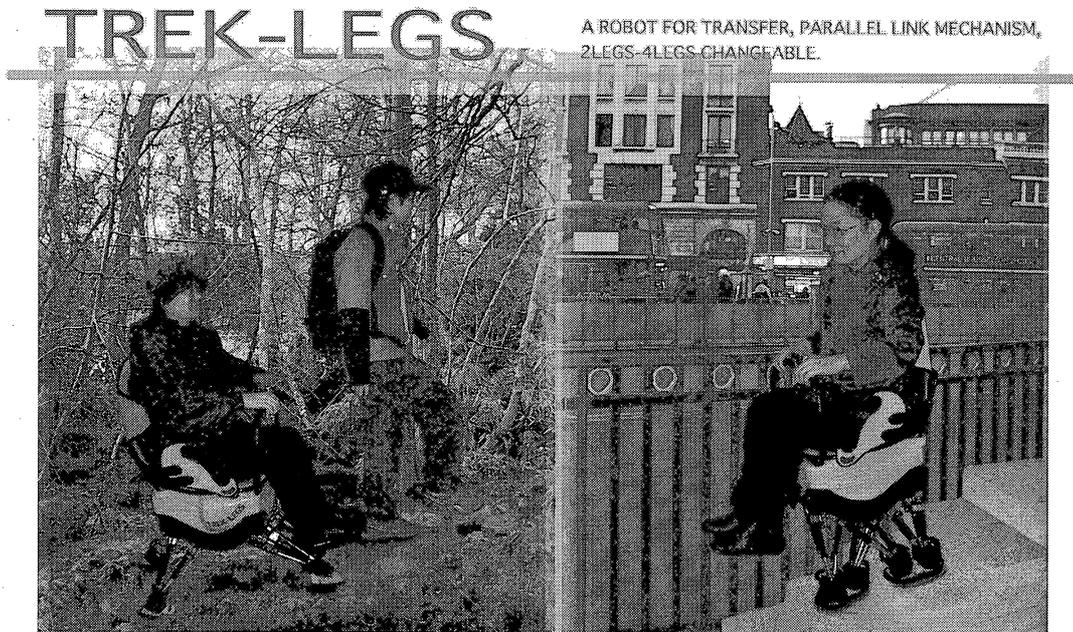
発し、その歩行特性や脚の動作範囲を実験と解析によって明らかにした。本機構を歩行ロボットに応用した例は始めてであるので、その応用範囲について、(株)ロボメカニクス研究所と共同で調査した。

一方この研究成果に注目した日本大学学術学部は生活支援に応用できる歩行ロボットを工業デザインのテーマとして取り上げ、工業デザイン上で実用機の素案を提案した。そこで、本研究では今までの研究成果を応用して脚力不足で歩行が少し困難な健常者が比較的容易に日常の障害物を乗り越えて移動できるロボットの開発に目的を絞った。筆者らはこれをトレックレッグと呼ぶことにした。

2. 目的

図 2 はその構想図で、3 本の直動シリンダから構成される脚 4 本によって不整地は歩行し、階段などの大きな凹凸や段差では前後の脚が一体化して 2 本の脚に変化して 2

足歩行する構造である。パラレルリンクは耐荷重性が大きいいため小型で高さの低い安定した着座面が得られる。



車椅子使用者が山でのレジャーを楽しむためには、車椅子を押す役、引っ張る役など多くの人の手助けが必要となる。町中での生活には、少しの段差やスロープの強い階段が障壁となる。気軽にハイキングに行きたい、町を自由に歩きたいというニーズに答えるための新しい移動用ロボット TREK-LEGS を提案する。階段や狭い場所に向く2足歩行と、安定性が高く不整地向く4足歩行を切り替えて使用することにより、市街地での活動、都市部から郊外への移動、野山でのレジャーまでサポートすることを目指す。

図2 トレックレッグの基本構想図

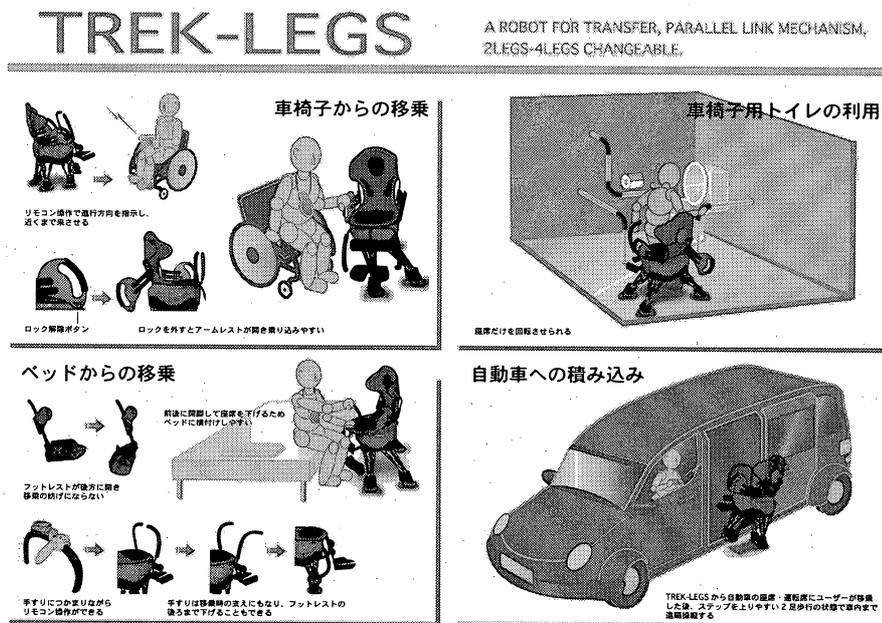


図3 トレックレッグの応用範囲

また、これを応用すれば図3に示すように介護作業の一助にもなる。

3. 研究組織

研究実施に当たり、この基本計画を詳細設計に移すために解析は近畿大学、設計・製作は(株)ロボメカニクス研究所が担当した。

4. 研究方法

この機構を実現可能にするためにはいくつかの問題点を克服する必要があるが、できるだけ特殊な部品は使用しないで市販品を使用できるようにし、部品の共通化を図るようにした。また、技術的な問題点は以下のとおりである。

- ①稼動範囲をできるだけ広範囲にするための脚の配置方法
- ②脚先端部（足先）とベースプレート（着座面）の自由度の振り分け
- ③直動電動シリンダの構造と支持部の構造
- ④リンク機構の思案点の回避

5. 研究成果

5. 1 パラレルユニットの回転軸配置

リニアアクチュエータにより駆動される3軸パラレル機構の自由度配分の方法については、先行研究がある。ここでは、設計段階において、アクチュエータ端部の部品の共通化を図る目的で、図5.1の対称系を採用する。

この機構は、いずれのアクチュエータも、一方の端部（着座側）が3自由度の球関節、もう一方の端部（脚先側）が1自由度の回転関節から構成されている。ここでは、1自由度関節をどのような向きに配置するのが好ましいかを考察する。

1自由度関節の回転軸配置の候補を図5.2に示す。ここでは、考察の複雑化を避けるため、3つの関節位置が正三角形を描くよう配置している。他端側の3自由度関節も、同様に正三角形に配置する。

人間の脚は、足裏を6自由度に位置決めできるがトレックレッグロボットでは、そのうちの3自由度しか位置決めできないので、制御対象を定義する必要がある。ここでは、それを、フットプレート中心の3軸位置とする。設計においては、フットプレートは図5.3のような球形状にする必要がある。

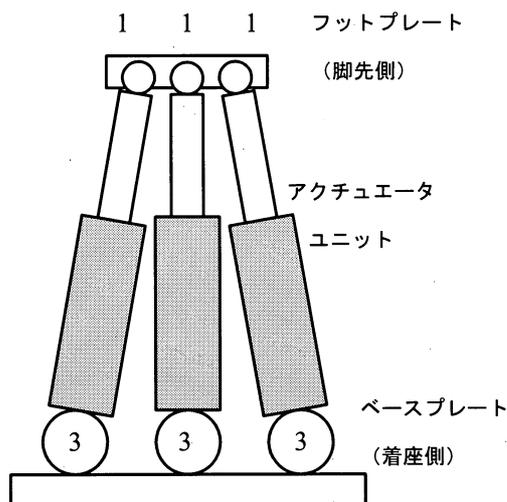


図 5.1 3軸パラレルユニットの端部自由度の振り分け方

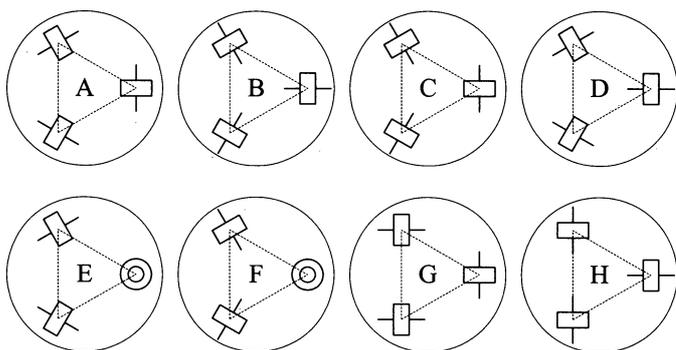


図 5.2 1 自由度側プレートの回転軸方向の候補

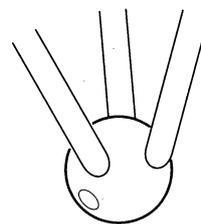


図 5.3 フットプレートの形状

3つのアクチュエータユニットの最小長さを $d_{\min}=300$ 、最大長さを $d_{\max}=460$ とし、端部の取り付け位置は、フット側、ベース側ともに、PCD =200 とする。収束演算による順変換を実行し、フットプレート中心の動作範囲を求めた。結果を表 5.1 に示す。ここでは、1 自由度関節をフット側に、3 自由度関節をベース側に配置した正配置と、それを逆にした逆配置の両方を評価した（詳細の計算結果は省略）。

表 5.1 回転軸方向と動作範囲の関係

A		B		C		D		E		F		G		H	
正	逆	正	逆	正	逆	正	逆	正	逆	正	逆	正	逆	正	逆
大	小	線		大	小	面		面		線		大	小	線	

トレックレッグロボットに、4足-2足形態切り替えや、不整地歩行を期待する場合、足先の動作範囲はより大きいのが好ましい。よって、パラレルレッグユニットの候補となるのは、A, C, G の正向き配置である。位置決めを目的とする場合、正向き配置が好ましいのに対し、逆向き配置は位置をあまり動かさず、ロール&ピッチの姿勢決めを目的とする場合に適していると言える。

ただし、1 自由度の回転軸配置として G のタイプを選択する。思案点の回避が絶対条件とされるパラレルリンク機構の設計において、順逆変換の可解性は、圧倒的有利な機構特性であり、機構パラメータの設計が解析的に実行できる特徴がある。

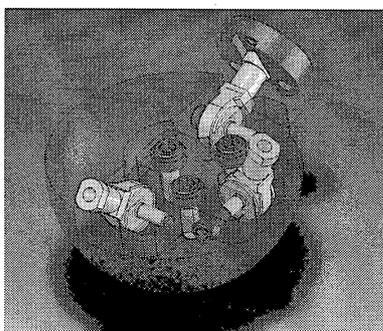


図 5.3 脚先部の構造（1 自由度）

5. 2 アクチュエータユニット末端部の設計

アクチュエータの両端部に設ける軸受けの設計、および、部品選定を行う。平行リンク機構の設計において、軸受け設計、特に、複自由度軸受けの設計は、最も苦戦を強いられる。複自由度軸受けの代表には、図 5.4 の 2 自由度軸受けのユニバーサルジョイント (UJ)、と図 5.5 の平行リンク用 3 自由度ボールジョイントが考えられるがコスト・納期などを考慮して今回は安価なボールジョイントを採用した。

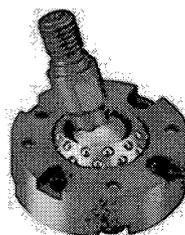
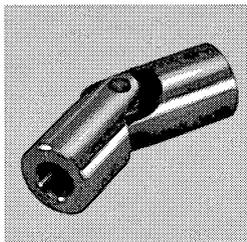


図 5.4 一般用ユニバーサルジョイント 図 5.5 平行リンク用ジョイント

機構の動作範囲を確保しながら軸受けの強度を保つ相反する特徴をバランスよく確保することが、平行リンク機構の設計の真髄と言える。

これらを考慮して直動部の末端の形状は図 5.6 および図 5.7 に示すようにして脚先部の 1 自由度と着座側の 3 自由度を確保するようにした。

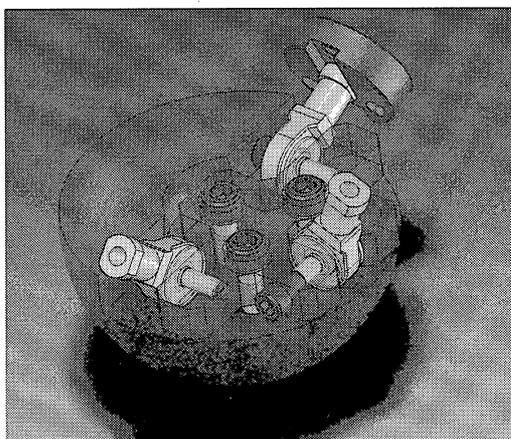


図 5.6 脚先端の構造

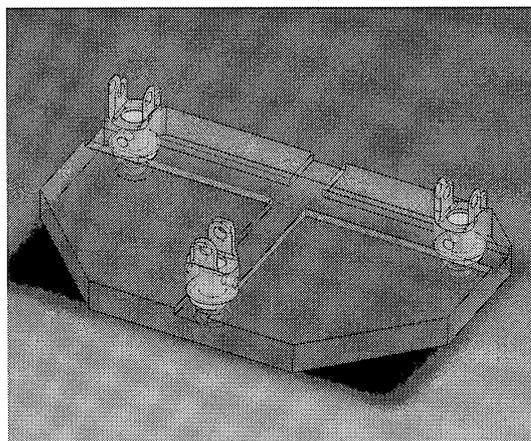


図 5.7 着座側の構造

また、直動アクチュエータの構造は今までに製作実績のある 3 本ロッドとボールねじの図 5.8 のような構造を採用した。図 5.9 がアクチュエータの両エンドをベースプレートと脚先に取り付けた状態を示す。

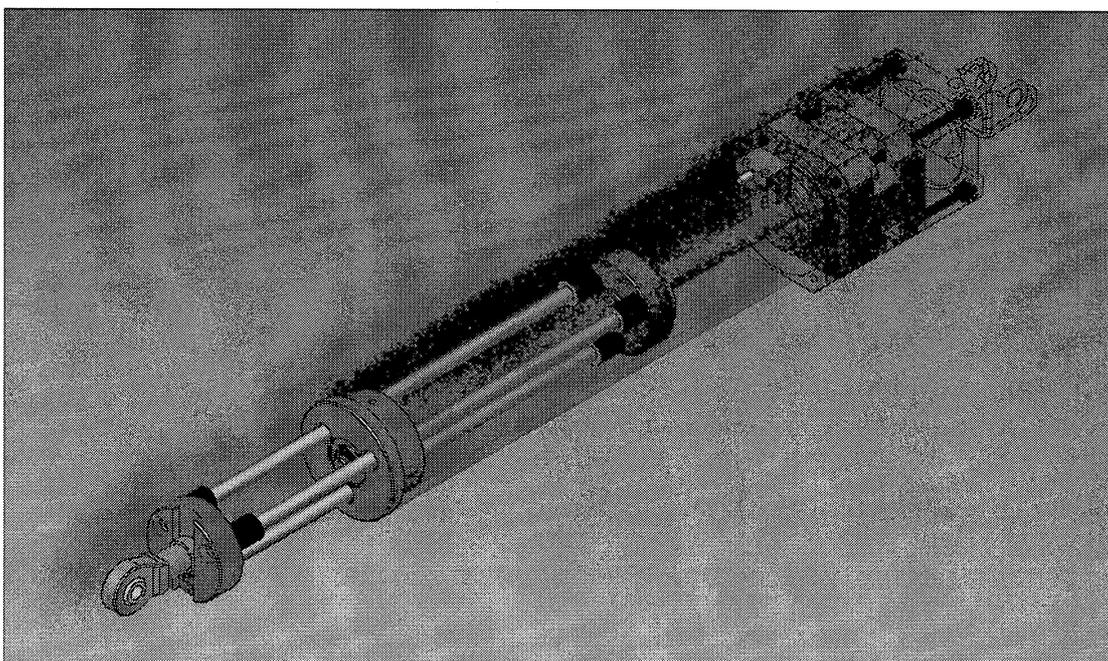


図 5.8 直動アクチュエータ部の構造

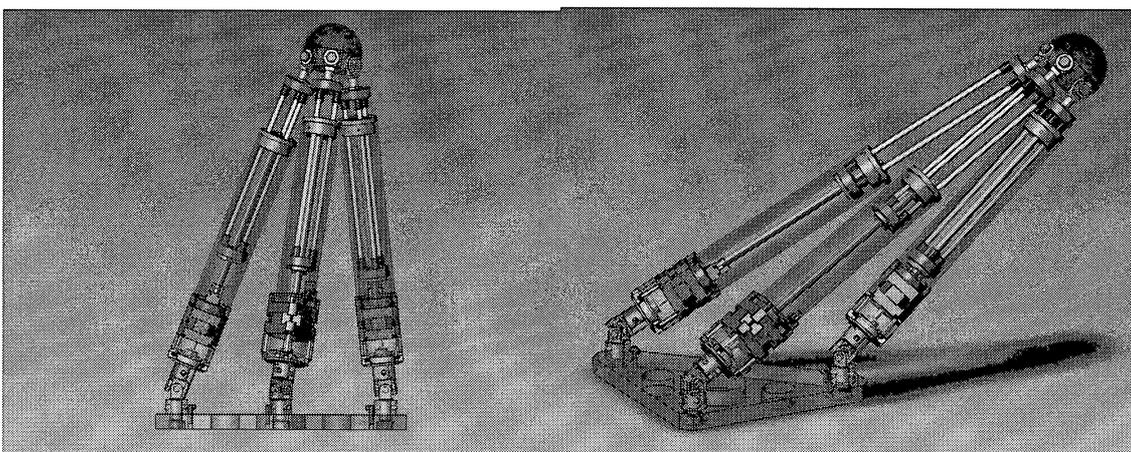


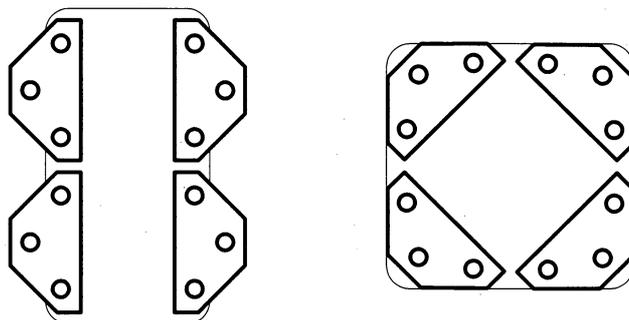
図 5.9 一組の脚の組み立て状況
(基本姿勢の時)

図 5.10 一組の脚の組み立て状況
(最傾斜の時)

5. 3 レッグユニットの配置設計

これまで、3本のリニアアクチュエータからなるレッグユニットを対象に設計・解析を考察してきた。このレッグユニットを4台搭載することで、トレックレッグスは完成する。レッグユニットの配置の仕方により、トレックレッグスの特性は大きく変化するため、今後は、歩行シミュレーションなどを利用して、レッグユニットの最適な配置方法を検討する必要がある。

概して、それらは、(a) 四足歩行動物型と、(b) テーブル型に分別される。



(a) 4足歩行動物型

(b) テーブル型

図 5.11 ベース部の設計

トレックレッグスをヒト搭乗操縦仕様とする場合には、四足歩行動物型が、レッグユニットの動作範囲特性を最大に生かすには、テーブル型が、適していると思われる。

プレートに搭載するシートのサイズ (W455×D465) を考慮し、コックピットプレートは□500×T50 の正方形ブロック (材料MCナイロン相当) とする。

また、レッグユニットのベース部を取り付ける締結面は、上面に対し、 9° 傾斜させる。これは、1体のレッグユニットの動作範囲を考慮し、その動作範囲が4体で最適になるよう、決定した。

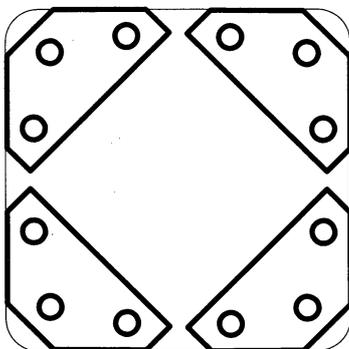


図 5.11 脚ユニットの配置

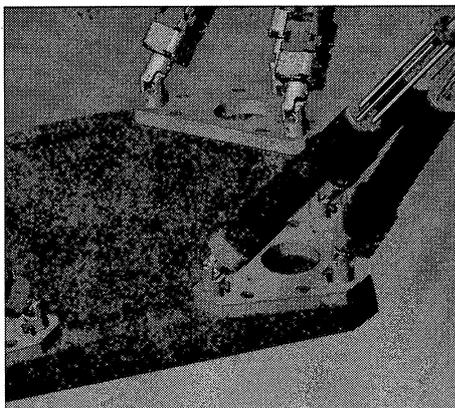


図 5.12 コックピットと脚ユニットベースとの締結

図 5.13、図 5.14、図 5.15 にそれぞれ最短脚姿勢、最狭角姿勢、最開脚姿勢を示す。

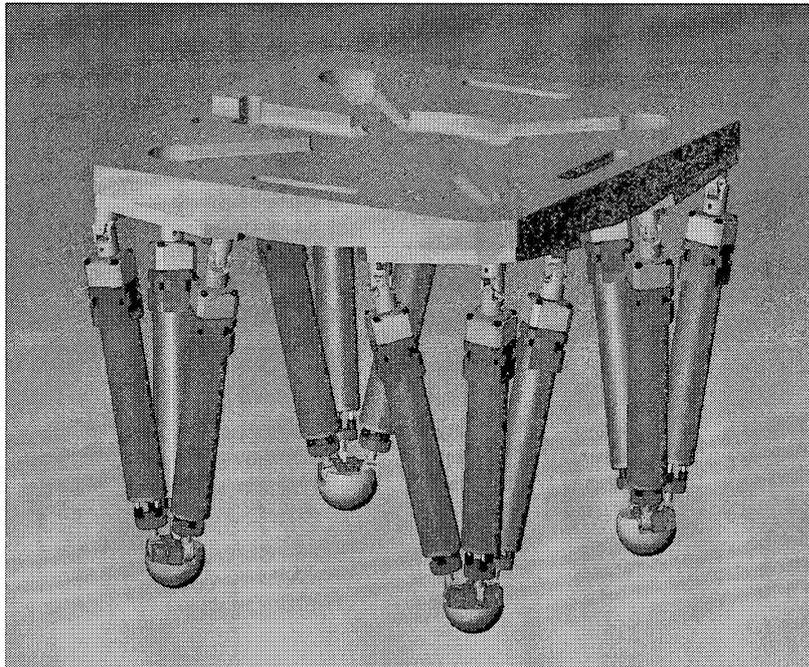


図 5.13 最短脚姿勢

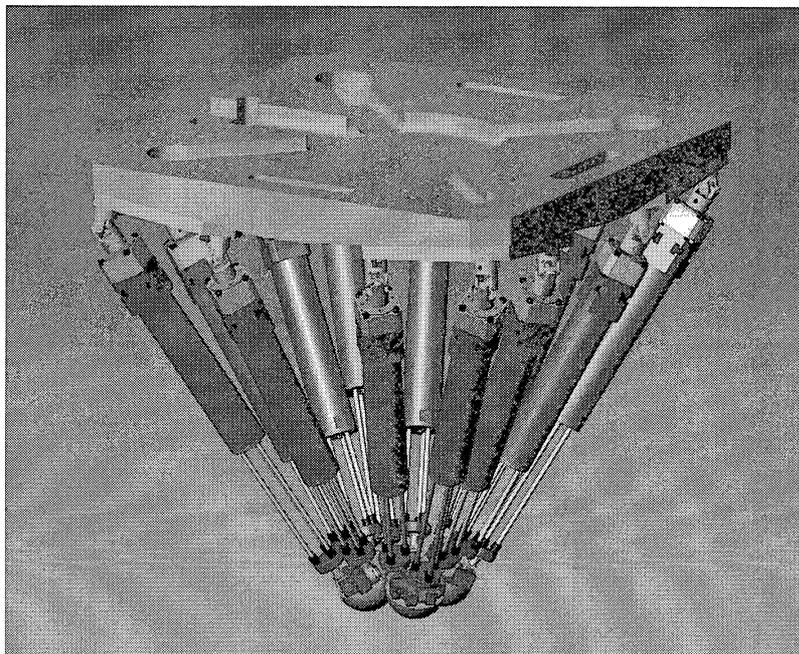


図 5.14 最狭角姿勢

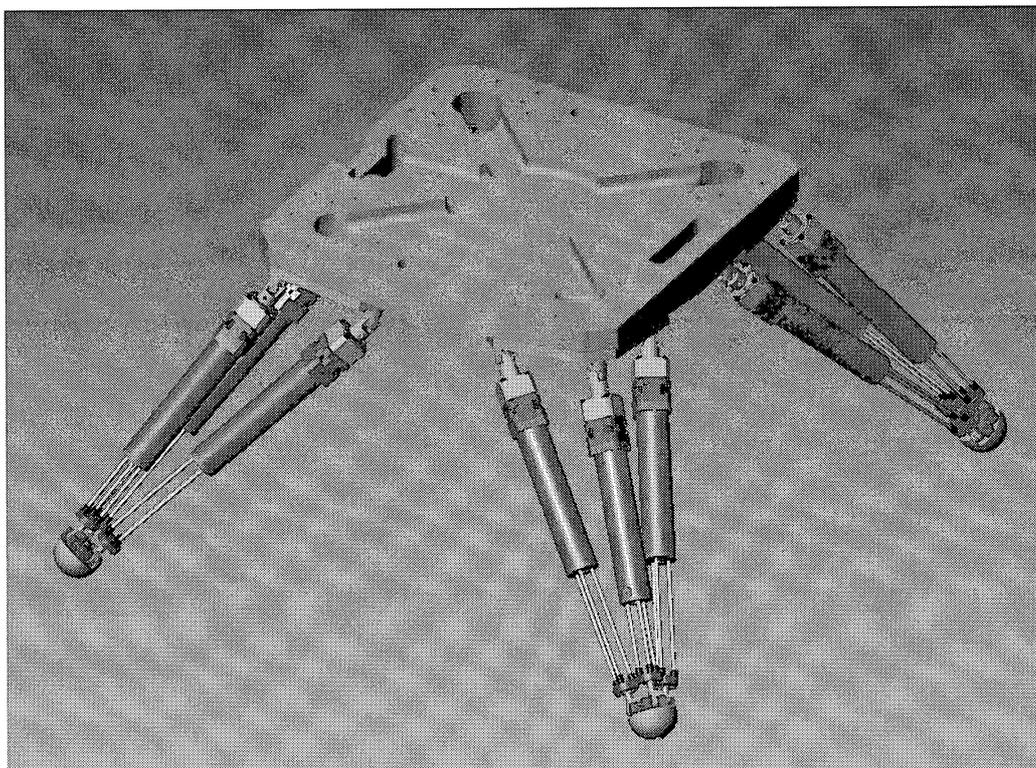


図 5.15 最開脚姿勢

最後に試作組み立てられたトレックレッグの全体写真を示す。

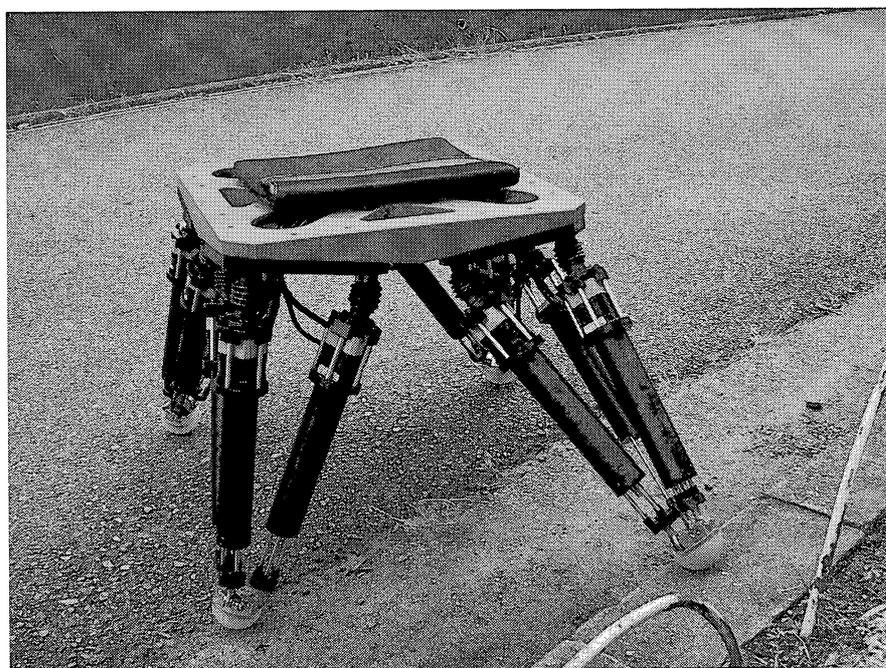


図 5.16 試作したトレックレッグの全体写真

6. 今後の展開

以上でパラレルリンクを応用した4足歩行ロボットの機構部は完成した。今後は制御部の試作を行い、いままで解析した歩行パターンを簡単なジョイスティックで与え、実用化に向けて改良していく。また、2足歩行のためのセンサー追加と制御アルゴリズムを検討する予定である。また、展示会などには積極的に参加した、技術誇示をはかりたい。

パラレルリンクは高負荷に耐え動作範囲も広い健康機器などへの応用も検討されており、いままで蓄積した技術を使ってできるところから受注活動も進めていきたい。