多足歩行ロボットの世界

小 谷 内 範 穂*

1. はじめに

歩行ロボットでは、2足のように動歩行を実現しないと歩行が達成できないものがあり、4足のように静歩行で歩行が可能であるが動歩行を適用するとより高速な移動が可能になるものもある。では、6足以上ではどうか。6足では、互いに脚を共有しない2つの静安定な支持多角形をとる交互3点接地法と呼ばれる歩容が可能である。8足以上の偶数脚では静歩行を維持できる独立した複数の支持多角形を確保できる。これらは、それぞれの支持多角形を形成する脚を仮想的に大きな足裏を有する1脚に置き換えることができる。各脚の駆動最大速度が一定の場合には、2足と同じくデューティ比¹⁾ $\beta=1/2$ の歩容が胴体の最大推進速度を得る歩容となる。結局、6足以上では静歩行で最大移動速度が実現できるので、もっぱら静歩行を扱うことになる。

6足と8足以上の偶数脚の歩行ロボットの違いについては、安定余裕を最大にする歩容は対称レギュラーウェーブ歩容²⁾であること、そして全体の大きさを一定にした状態すなわち胴体の長さを一定にする条件で、足の数だけを増やすとき歩行中の最大安定余裕は、4足から6足に増やした場合に比べて次第に増加率が下がることが解析されている。この条件下では、足の数が多いほどそれに比例してハードウェア製作のコストおよび技術的な困難が増すので、6足歩行機械が最も効率が良いとされている¹⁻²⁾。従って、本解説では6足歩行ロボットの研究動向でもって、6足以上の多足歩行ロボットの動向を

論じることとする。

6足歩行ロボットの研究については、次の3つの面から論じることができる。一つは、機構的特徴である。6足歩行ロボットの場合自由度も全体を構成する機構リンク数もマニピュレータに比べると格段に多く、体重も重くなる。しかし、歩行ロボットは自重を支えることが絶対条件であるので、そのためのさまざまな工夫が試みられている。二つ目は、制御システムである。多自由度の協調制御の方法、歩容形態の取り方など、さまざまな問題設定と解決策が考えられる。三つ目は、歩行ロボットに与えられた使命、もしくはプロジェクトの使命である。移動ロボットとしては車輪型ロボットの方が適用が容易であると考えられるので、歩行ロボットは車輪型移動ロボットでは走破できないような不整地上の移動が使命として与えられる場合が多い。

このような観点に立つて、世界の多足歩行ロボットの研究を紹介することにする。

2. 海外の6足ロボット

多足歩行ロボットの研究は、実験用のハードウェアを造ろうとするとマニピュレータに比べて機構の数、アクチュエータの数とも大きくなるので必然的に大きな予算を必要とする。その結果、国家プロジェクトとも言えるような大きなプロジェクトがいくつか行なわれ、また現在進行中である。

2.1 ASV (OSU)

米国 OSU (オハイオ州立大学) で実施された ASV (Adaptive Suspension Vehicle) Project は世界で最初

注 1) 1周期の歩行の中で足が接地している時間の比率。記号としてよく β が用いられる。

注 2) 全ての足が同じデューティ比で動く歩き方をレギュラー歩容と呼ぶ。進行方向に対して左右対の足どうしが周期の1/2だけ位相がずれた歩き方を対称歩容と呼ぶ。後ろ側の足を前に振って着地すると同時にすぐ前の足が上がる歩容は波が後ろから前に伝わるように見えるのでウェーブ歩容と呼ばれる。歩容に関する用語については「ロボット工学ハンドブック」III.4.5.3を参考にされた。

原稿受付 1993年3月1日

The World of Multi-legged Robots

* 機械技術研究所

図 1 Adaptive suspension vehicle

の6足歩行ロボットの大プロジェクトといえる。これは、それまでの多足歩行ロボットの研究が、最低限の機構とアクチュエータ部分を移動体本体に搭載し、そのほかの制御装置やエネルギー源などは床においてその間を動力線と信号線でつなぐ、いわゆる「紐付き」という言葉で表される状態から脱却して移動ロボット本来の姿である「自立形」歩行ロボットを実現するための研究プロジェクトであった。この一大プロジェクトは当初、1985年に完了する予定であったが、改良を重ねて、1989年まで続けられた。図1は筆者が1988年から1989年にかけて客員研究員としてOSUに滞在した時に撮影したASVの稼働時の写真である。

もともと、McGheeを中心としたOSUの歩行ロボットの研究グループは1970年代からOSU-HEXAPODと呼ばれる多関節形3自由度脚を有した実験用6足歩行ロボットで研究の積み重ねを行なった³⁻⁵⁾。そこで主に歩容生成プログラムや姿勢制御などの基礎ソフトウェアの蓄積を行なったのち、Waldronを中心として自立形への機械工学的アプローチを行ない全体システムとしてASVを完成させた⁶⁻¹²⁾。

ASVの脚機構は、2次元パンタグラフをロール軸回りに回転させるようになっており、横方向のストロークよりも前後方向のストロークを優先させた形態をとっている。このロボットの特徴は脚機構よりもむしろ動力の伝達系にある。搭載されたガソリンエンジンによって大きな回転力が得られるのであるが、それを多自由度サーボ系に供給するために18個の油圧シリンダのすぐ近くまで機械的回転力をプーリー・ベルト系で伝達し、18自由度すべての独立した油圧ポンプを駆動しモーションを生成している。

制御では、力フィードバック形の油圧アクチュエータによって泥地でも安定した接地を実現している。また、マルチプロセッサのシステム構成も積極的に取り入れ、16bitのi8086/87ベースのCPUボードが歩行制御の他に運転者のコックピットの管理やレーザー測距装置などの周辺装置の管理も含めて最大17~18個のCPUで構成された。その後32bitのi80386/387の登場で、3CPUで置き換えられたとも聞いている。

さて、この大プロジェクトの目的であるが、具体的な実用目的は残念ながら見だし得なかったようである。

また、世界最初の「自立形」歩行ロボットという名前は、残念ながらCMU(カーネギーメロン大学)のSutherlandのエンジン搭載六足歩行ロボット¹³⁾に譲っているが、機構・設計、制御に加え、測距用レーザーレンジファインダーやエネルギー蓄積用フライホイールの開発まで含めた本格的自立形歩行ロボットのプロジェクト

図2 Ambler

としてはASVが世界最初で最大と言ってもよいであろう。

また、このグループ出身のイリノイ大学のSongは偶数脚を持ったロボットの歩容の安定性について一般的な解析を行なっている⁴⁶⁾。

2.2 Ambler (CMU)

米国CMU(カーネギーメロン大学)Robotics Instituteで行なわれた火星無人探査ロボット計画の中心プラットフォームとしてWhittakerとKanadeのグループから提案されたのが、Amblerと呼ばれる大型6足歩行ロボットである(図2)。

Amblerの大きな特徴は機構的に従来よく用いられていた昆虫形の脚配置と歩容をとらずに全く新しい構成を提案したことである。これは、最初は6足すべてを胴体に対して同一の軸上で接続した形が提案され、その後、図2のように左右2つの軸にそれぞれ3本の足が胴体と接続するものに変更された。どちらの機構でも、最後部に接地していた足が他の脚と干渉することなく追い抜いて最前部に次の接地点をとることができるように設計された。これにより、歩幅がとなりあった2脚の間隔以内であった従来の歩容とは全く異なった歩容をとることができる。結果的に胴体移動を早くできる効果を得ることができる。

制御の面では、遠く離れた火星上で無人で惑星探査を黙々と実行しなければならないので、ダイナミックな速度よりも確実性を重視した方法をとっている。即ち、未知の火星表面の上でいつ接地点が崩れるかもしれないとの予想から、任意の1脚が地面からの支持反力を失っても、他の脚で構成される支持多角形の共通部分で定義される保存的支持多角形(Conservative Supporting Polygon)の概念を新たに導入し、その中でのみ重心移動を行なう方法をとっている。また、胴体推進と遊脚の移動という普通同時に行なわれている動作を安全のため、あえて同時には行なわず、胴体推進は必ず6脚接地状態で行なうことを前提としている。

さて、ロボットの使命であるが、これはMars Roverというプロジェクト名から自明であるように、惑星無人

図 3 Dante のイラスト図

探査である。ただ、この火星探査計画は NASA から JPL (ジェット推進研究所) へも委託されており、そこらでは多節車輪移動ロボットが研究されている。

残念ながら、この Ambler の研究は計画を終え、昨年終了したようである¹⁴⁻²²⁾。

最新のトピックとしては、同じグループが南極の活火山の火口に降りていく探査ロボットの研究を始めたようである。図 3 に示すイラストのように Dante と呼ばれる歩行ロボットが南極大陸の Erebus 火山で昨年末実際に火口に入る実験が行われたそうである²³⁾。

2.3 MECANT-I (Helsinki University of Technology)

さて、上記の二つの米国のプロジェクトが目指したものは現在の産業への影響を及ぼすというよりは宇宙開発など将来の特殊なニーズに対応することであった。これは、歩行ロボットを必要とするような作業が現在の産業に対して効率の良い解を提供できないからである。

しかし、フィンランドのヘルシンキ工科大学では、国の主要産業である林業の機械化の切札として歩行ロボットが研究されている。それは Halme のグループで開発された MECANT-I と呼ばれる自立形 6 足歩行ロボットで、全体図を図 4 に示す^{24,25)}。

機構的な設計思想は OSU の ASV を非常に意識したようで、2 次元パンタグラフ機構をヨウ軸回りに回るヒンジに取り付け、胴体を水平に保つときには鉛直軸方向のアクチュエータのみが自重を支持し、GDA が容易に達成されるようになっている。

制御システムは、ASV がその当時の標準品であった i8086/87 を搭載した Multibus ボード群で構成されたのに対し、MECANT は小型になった i386 ベースの

図 4 MECANT I

図 5 MECANT I の制御システム

図 6 Attila

IBM PC コンパチブルのパーソナルコンピュータを団体ごと積んで、互いにネットワークで結合される構成をとっている (図 5)。

しかし、プロジェクトの目指す使命が大きく違うのでオペレータの入力方法が異なる。ASV では最初からオペレータがジョイスティックで操縦する搭乗形が前提で設計が行われたが、MECANT では、林業の伐採作業が主なニーズとなるので、操作者が危険な伐採現場から距

図 7 MELCRAB-2

図 8 Hexax-I

図 9 TLR-1

離をとれるようにテレイグジスタンス技術²⁹⁾を用いる予定である。

2.4 Attila (MIT)

これまで紹介したプロジェクトはいずれもエネルギーを搭載できるように考えた大型の6足歩行ロボットたちであった。これに対し米国 MIT (マサチューセッツ工科大学) の AI Laboratory では R. Brooks が全く異なるコンセプトの歩行ロボットを研究している。

図 6 は、Attila と呼ばれる小型の6足歩行ロボットである。面白いことに、惑星探査用としてプロジェクトが進められている。このロボットも Brooks の専売特許的制御手法である包含アーキテクチャ (Subsumption Architecture) の一適用例と言える^{27, 28)}。

3. 日本の6足ロボット

上述のように、大人数と大予算をかけて高性能計算機を駆使して大システムを構築することに関しては、海外特に米国が1歩リードしているようである。これに対し日本は、中型のプロジェクトを組んで、機構的な構成に工夫とアイデアを盛り込み複雑なメカニズムを組み上げる能力において長けているようである。多足ロボットの研究でも、同様のことがいえるようで、ユニークな研究がいくつか見られる。

3.1 MELCRAB-2 (機械技術研究所)

この研究は通産省の大型プロジェクト「極限作業ロボット」で筆者らのグループが研究開発したもので、海外の研究に見られるように、各脚に独立した3自由度を配置して、不整地面上で自由に接地点を選択・変更できるようにするのではなく、できるだけ少ない自由度で不整地歩行への対地適応能力を損なわずに屋内用の自立形6足歩行ロボットを構成するための設計と制御について研究を行なった。図 7 が自立形の試作機 MELCRAB-2 である。

この研究の中では、東工大の広瀬が提唱した“重力方向分離駆動 (GDA)”に加えて“動作分離駆動 (MDA)”なる概念を導入して、歩行ロボットの設計の効率化の手法を提案した²⁹⁻³²⁾。

この研究は、その後、制御の高度化のための新しい手法創りを行なっている^{33, 34)}。

3.2 Hexax-I (法政大学)

法政大学でも機構に工夫した6足歩行ロボットが研究されている。Hexax-I と名付けられたこのロボットは主たる胴体推進と遊脚復帰を集中した1モータとプーリー・ベルトおよびクラッチで生成している。これは、ASV などのように将来エンジンを積んでその出力を分配するための設計を考えているからである^{35, 36)} (図 8)。

3.3 TLR-1 (東芝)

東芝では、原子力発電所内の無人点検への応用を考えた6足歩行ロボットを開発している。配管の跨ぎ越えなど高い対地適応性が要求されるので、18 自由度の一般的な構成をとっている³⁹⁻⁴²⁾ (図 9)。

3.4 AQUAROBOT (港湾技術研究所)

運輸省港湾局港湾技術研究所では、現在潜水士などの人手に頼っている港湾工事での水中調査作業の機械化の一つとして、海底を歩く6足歩行ロボットを開発している^{43, 44)}。このロボットでは足先と路面との摩擦力が胴体を保持するために必要なトルクを軽減することを考慮に入れ設計が行なわれた (図 10)。

3.5 むかでロボット (成蹊大学)

成蹊大学では、6足ではなく10足の「むかでロボット」⁴⁵⁾を研究している。左右1足ずつの2足とその間の胴体をユニットとして多節動物にたとえ、各節に各々マイクロプロセッサを搭載している。前後の脚の位相遅れを CPU 間通信を使って作りだし、全体としての移動を達成している (図 11)。

図 10 AQUAROBOT

図 11 むかでロボット

4. お わ り に

6足歩行ロボットはまだ機構的に構成が難しく、マニピュレータのように普及している市場がまだ形成されていないので、さまざまな形態を持ったロボットが試みられている。従って、外観からそれぞれのロボットの特徴がよくわかると思い、できるだけ写真を掲載することにした。紙面の制約で各々の研究要素の詳細に言及することができず、6足歩行の研究の一覧カタログのような解説になり、読者には不満なものにならないかと心配している。後述の参考文献に当られることを希望したい。また、最近ではロボット学会でも6足以上の多足歩行ロボットの研究発表が一時ほど多く見られないので、この特集を機に未来の機械動物を目指す同胞が増えてくれれば幸いである。

謝 辞

この解説を書くにあたって突然の資料および写真の提供に快く応じて頂いた CMU の Sanjiv Singh 氏、法政大学の小林尚登氏、(株)東芝原子力研究所の中山良一氏、港湾技術研究所の白岩氏、成蹊大学の鳥毛明氏に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) McGhee, R. B., Sun, S. S.: On the Problem of Selecting a Gait for a Legged Vehicle, Proceedings of VI IFAC Symposium on Automatic Control in Space, Armenian SSR, USSR, August, 1974.
- 2) McGhee, R. B.: Vehicular Legged Locomotion, Advances in Automation and Robotics (Editor: G. N. Seridis), Vol.1, Greenwich, CT: Jai Press, pp. 259-248, 1985.
- 3) McGhee, R. B., Iswandhi, G. I.: Adaptive Locomotion of a Multilegged Robot Over Rough Terrain, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-9, No.4, pp. 176-182, 1979.
- 4) Klein, C. A., Briggs, R. L.: Use of Active Compliance in the Control of Legged Vehicles, IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics, SMC-10, No.7, pp. 393-400, 1980.
- 5) Orin, D. F.: Supervisory Control of a Multilegged Robot, The International Journal of Robotics Research, Vol.1, No.1, pp. 79-91, 1982.
- 6) McGhee, R. B., Orin, D. E., Pugh, D. R., Patterson, M. R.: A Hierarchically Structured System for Computer Control of a Hexapod Walking Machine, Theory and Practice of Robots and Manipulators, Proceedings of ROMANSY-48 Symposium, edited by A. Morecki, et al., London: Hermes Publishing Co., pp. 375-381, 1985.
- 7) Waldron, K. J.: Force and Motion Management in Legged Locomotion, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol.2, No.4, pp. 214-220, 1986.
- 8) Waldron, K. J., McGhee, R. B.: The Adaptive Suspension Vehicle, IEEE Control System Magazine, 6, pp. 7-12, 1986.
- 9) Song, S., Waldron, K. J.: Geometric Design of a Walking Machine for Optimal Mobility, Transactions of ASME, Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol.109, pp. 21-28, 1987.
- 10) Song, S. M., Waldron, K. J.: Machines that Walk; The Adaptive Suspension Vehicle, MIT Press, 1989.
- 11) Pugh, D. R., Ribble, E. A., Vohnout, V. J., Bihari, T. E., Walliser, T. M., Patterson, M. R., Waldron, K. J.: Technical Description of the Adaptive Suspension Vehicle, The International Journal of Robotics Research, Vol.9, No.2, pp. 24-22, 1990.
- 12) Huang, M. Z., Waldron, K. J.: Relationship Between Payload and Speed in Legged Locomotion Systems, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.6, No.5, pp. 570-577, 1990.
- 13) Sutherland, I. E., Ullner, M. K.: Footprints in the Asphalt, The International Journal of Robotics Research, Vol.3, No.1, pp. 29-36, 1984.
- 14) Bares, J., Hebert, M., Kanade, T., Krotkov, E., Mitchell, T., Simmons, R., Whittaker, W.: Ambler: An Autonomous Rover for Planetary Exploration, IEEE Computer, C-22, No.6, pp. 18-26, 1989.
- 15) Hebert, M., Kanade, T., Krotkov, E., Kweon, I. S.: Terrain Mapping for a Roving Planetary Explorer, Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 997-1002, 1989.
- 16) Bares, J., Whittaker, W.: Walking Robot with a Circulation Gait, Proceedings of IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems ('90 IROS), pp. 809-818, 1990.
- 17) Simmons, R., Krotkov, E.: An Integrated Walking System for the Ambler Planetary Rover, Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2086-2091, 1991.
- 18) Krotkov, E.: Active Perception of Material and Shape by a Walking Robot, Proceedings of International Conference on Advanced Robotics ('91 ICAR), pp. 37-42, 1991.
- 19) Wettergreen, D., Thorpe, C.: Gait Generation of Legged Robots, Proceedings of IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems ('92 IROS), pp. 1413-1420, 1992.
- 20) Nagy, P. V., Whittaker, W. L., Desa, S.: A Walking Prescription for Statically-Stable Walkers Based on Walker/Terrain Interaction, Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Automa-

- tion, pp.149-156, 1992.
- 21) Krotkov, E., Simmons, R.: Performance of a Six-Legged Planetary Rover: Power, Positioning, and Autonomous Walking, Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 169-174, 1992.
 - 22) Krotkov, E., Simmons, R., Whittaker, W.: Autonomous Walking Results with the Ambler Hexapod Planetary Rover, Proceedings of 3rd Intelligent Autonomous Systems (IAS-3), pp.46-53, 1993.
 - 23) Wettergreen, D., Thorpe, C. E., Whittaker, W.: Exploring Mount Erebus by Walking Robot, Proceedings of 3rd Intelligent Autonomous Systems (IAS-3), pp.72-81, 1993.
 - 24) Hartikainen, K. K., Halme, A. J., Lehtinen, H., Koskinen, K. O.: Control and Software Structures of a Hydraulic Six-Legged Machine Designed for Locomotion in Natural Environment, Proceedings of IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems ('92 IROS), pp.590-596, 1992.
 - 25) Hartikainen, K. K., Halme, A. J., Lehtinen, H., Koskinen, K. O.: MECANT I: A Six Legged Walking Machine for Research Purposes in Outdoor Environment, Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.157-163, 1992.
 - 26) Tachi, S., Arai, H., Maeda, T., Oyama, E., Tsunemoto, N., Inoue, Y.: Tele-Existence Experimental System for Remote Operation with Sensation of Presence, Proceedings of International Symposium on Advanced Robot Technology ('91 ISART), pp.451-458, 1991.
 - 27) Angle, C. M., Brooks, R. A.: Small Planetary Rovers, Proceeding of IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robot and Systems ('90 IROS), pp. 383-388, 1990.
 - 28) Wallich: Silicon Babies, Scientific American, December, cover page and pp.82-91, 1991.
 - 29) Koyachi, N., Adachi, H., Nakano, E.: Design and Basic Control of Stair-climbable Fixed Gait Hexapod Walking Machines, Crossing Bridges: Advances in Flexible Automation and Robotics (Proceedings of the second USA-Japan Symposium on Flexible Automation), pp.673-680, 1988.
 - 30) Koyachi, N., Adachi, H., Nakamura, T., Nakano, E.: Terrain Following Control of Self-contained Semi-fixed Gait Hexapod Walking Robot, Proceedings of IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems ('90 IROS), pp. 309-314, 1990.
 - 31) Koyachi, N., Adachi, H., Nakamura, T., Nakano, E.: Development of Stair-climbable Self-contained Hexapod with Semi-fixed Gait, Proceedings of 1991 International Symposium on Advanced Robot Technology ('91 ISART), pp.381-388, 1991.
 - 32) Koyachi, N., Adachi, H., Nakamura, T., Nakano, E.: Stair-climbing Control of Self-contained Hexapod with Semi-fixed Gait, Proceedings of 1991 the Fifth International Conference on Advanced Robotics ('91 ICAR), pp.747-752, 1991.
 - 33) Koyachi, N., Adachi, H., Nakamura, T., Nakano, E.: Sensor-based Motion Switching Control in Stair-climbing of Hexapod, Proceedings of 1992 Japan-USA Symposium on Flexible Automation, pp.765-768, 1992.
 - 34) 小谷内, 安達, 津司, 中村, 中野: 歩行ロボットのセンサベースド・モーションスイッチング制御, 第10回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.335-336, 1992.
 - 35) 小林, 稲垣: 6足歩行ロボットの開発—第1報: 歩行機械の設計—, 第8回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.277-278, 1990.
 - 36) Kobayashi, H., Inagaki, K.: Basic Design of a Hexapod Walking Robot, Proceedings of 1991 the Fifth International Conference on Advanced Robotics ('91 ICAR), pp.1526-1529, 1991.
 - 37) Kobayashi, H., Inagaki, K.: A Synchronizing Control for Hexapod Walking Robot, Proceedings of IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems ('92 IROS), pp.569-573, 1992.
 - 38) 小林, 川端, 稲垣: 自律分散による, 六足歩行ロボットの姿勢制御, 第10回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.65-66, 1992.
 - 39) 飯田, 岡田, 穂積, 中山: 6脚式移動ロボットの開発, 第6回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.299-300, 1988.
 - 40) 飯田, 岡田, 穂積, 中山, 岡野: 6脚式移動ロボットの開発, 第5回知能移動ロボットシンポジウム予稿集, pp.21-24, 1990.
 - 41) 飯田, 岡田, 穂積, 中山, 岡野: 6脚式移動ロボットの開発(2)—分散制御システム—, 第8回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.281-282, 1990.
 - 42) 中山, 岡田, 飯田, 穂積, 岡野: 6脚式移動ロボットの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '92 講演論文集, pp.247-250, 1992.
 - 43) 岩崎, 秋園, 根本, 朝倉: 歩行式水中調査ロボット「アクアロボ」の水中実験について, 第4回知能移動ロボットシンポジウム講演論文集, pp.21-26, 1988.
 - 44) Akizono, O., Iwasaki, M., Nemoto, T., Asakura, O.: Development of Walking Robot for Underwater Inspection, Advanced Robotics 1989-Proceedings of the 4th International Conference on Advanced Robotics, pp.652-663, 1989.
 - 45) 野口, 鳥毛, 石沢: むかて形歩行ロボットの開発, 第6回知能移動ロボットシンポジウム予稿集, pp.33-38, 1992.
 - 46) Song, S. M., Choi, B. S.: On the Stability Properties of 2N-Legged Wave Gaits, Advanced Robotics 1989-Proceedings of the 4th International Conference on Advanced Robotics, pp.334-348, 1989.

小谷内範穂

(Noriho KOYACHI)

1957年2月14日生。1979年京都大学工学部機械工学科卒業。同年通産省工業技術院機械技術研究所に入所。現在同所ロボット工学部自律制御課主任研究官。1988年～1989年米国オハイオ州立大学客員研究員。

レーザー応用複合生産システム, 作業用三次元車椅子, 極限作業ロボットの各プロジェクトに従事。システム制御情報学会会員。

(日本ロボット学会正会員)