解説

リム・メカニズムの研究

Integrated Limb Mechanism

小谷内 範 穂* *機械技術研究所

Noriho Koyachi* *Mechanical Engineering Laboratory

1. はじめに

「作業移動型ロボット」という概念は、今のところ「作業ロボット」という概念と「移動ロボット」という概念の積集合であったり、和集合であったりするものと筆者は考えている。「移動作業ロボット」という呼び方がすでにあり、それとは趣を異にするものであるということを強調するための概念であるとも言える。従来の「移動作業ロボット」という呼び名は、あくまでも「移動ロボット」をベースに若干の作業性を考慮したものが多く、その作業も単純な「運搬作業」に類するものが多かったように思う。それに対して、「作業移動型ロボット」は、腕作業を中心に、カメラの多自由度首振り機構の制御など、高度なロボットの作業機能を達成することがまず要求され、そこに距離が長かったり、動く物に追従しなければならないなどの移動機能が作業と関係が深いロボットをイメージする概念であると言える。

通産省の大型プロジェクト「極限作業ロボットの研究開発」[1]で、マニピュレータと歩行ロボットと遠隔制御技術の統合が実際に行われ、それらを駆使しないと達成されない作業もあることが示された。また、筆者をはじめ多くの歩行ロボットの研究がこれまで行われた[2]~[4]。無人搬送システムは、工場のFMS化と相まって普及した。これに対し、歩行システムの場合は、制御が複雑であることや機構の剛性を得にくいなど機構的困難が多いので、歩行ロボットをベースにした作業ロボットを実用化した例はまだない。また、そのような作業ロボットを作り、制御するための技術的枠組みがまだ確立していないことも明らかになった。

一つの可能性を引き出す場として筆者とその共同研究者が注目したのは、建設作業や農作業といった屋外作業である。これらは、広くて不定形な作業環境を有しており、工場とは逆の制約がある。その結果、人間が作業を行う場合

も、機械の手助けを借りる場合も、移動を伴いながらも複雑な手作業を必要としていることが特徴として挙げられる。そこで、このような脚と腕と胴体のすべての機構を駆使して達成される作業を行うための新しい技術の枠組み・キーワードとして筆者とその共同研究者たちは「リム・メカニズム」という概念を提唱している。

本解説では、「リム・メカニズム」の概念について紹介し、その後、この「リム・メカニズム」に類するものとして、「マルチ・リム」機構をキーワードとした研究を紹介し、将来の研究領域と適用領域の可能性について考察を加えることにする。

2. リム・メカニズム

図1は、リム・メカニズムの概念の模式図である。従来、マニピュレータは固定台座から伸びたシリアルリンク系のみを対象とし、歩行ロボットは、胴体を把持物体と捕らえた指と似た力学を有しながら、足先での拘束条件が自重反力による摩擦円錐になるなどの特殊な系であると捕らえられてきた。しかし、建設機械のロボット化などを考えたとき、歩行ロボットの胴体にマニピュレータを搭載したシステムが必要となってくる[5]。そこで、図1のように、マニピュレータと脚を、胴体と移動環境と作業対象物の間をつないで力学作用を伝える「リム」として統一的に扱う概念が便利になる。このような脚・腕・胴体をまとめて「リム・メカニズム」と呼ぼうというのが筆者とその共同研究者の提案である[6]~[10][12]。

図1 リム・メカニズムの模式図

原稿受付 1995年8月6日

キーワード: Integrated Locomotion and Manipulation, Limb Mechanism, Multi Limb, Walking Machine

*〒305 茨城県つくば市1-2

*Namiki, Tsukuba-shi, Ibaraki

図2は、筆者が提唱している多足歩行ロボットにおける「統合化リム・メカニズム」の応用概念で、マニピュレータを搭載するのではなく、動物や昆虫のように、脚を腕としても使うことでさまざまな可能性を引き出そうというものである。

しかし、単純に同じ機構を両用にするのでは工学的な有用性はあまりない。なぜなら、歩行ロボットの脚機構は重い自重を支えるために、大減速比のギアボックスなどで減速して大きな力を得ており、腕作業をこなすには動きが遅すぎるからである。

図2 統合化リム・メカニズムの応用

図3 統合化リム・メカニズムのためのリンク機構例

そこで筆者は、大幅な重量増を引き起こさず速い動きを持ち、腕の姿勢として高く胴体の上側に動作領域を拡大する機構の例として、図3(a)を提案し、その解析と実験を進めている。図3(b)のように平行四辺形リンクを特異点姿勢を越えて、先端リンクに動きを伝えるリンクが平行四辺形からクロス・リンク[14]になるとき大きな伝達特性の変化を得ることが分かってきている。さらに、それを助長するためにリンク機構の寸法を変える自由度を付加することも提唱している。

また、リム・メカニズムの制御のための一般的な運動学については、パラレル機構とシリアル機構、またはパラレル機構とパラレル機構の組み合わせとしてその定式化を試みているところである[11][13]。

3. マルチ・リム機構

さて、このように「リム・メカニズム」という概念に着目してみると、「マルチ・リム機構」というキーワードで歩行ロボットを中心にいくつか行われてきた研究を抽出することができる。そこで、それらを紹介しておこう。

図4は、歩行ロボットに搭載されたマニピュレータの軌道制御を行うために、仮想的なシリアル連結のマニピュレータモデルを用いている例である[15][16]。ただし、ここでは胴体軌道をまず決めてからマニピュレータで調整するという直感的な手法を用いている。

図5は、移動マルチリムロボットの構想(a)で、特殊な力学問題として壁と壁の間を登るロボット(b)を考察している[17]。

図4 マルチリム・ロボットの構成

図5 移動マルチリムロボットシステム

図6 プラトニック・ビースト

図6は、プラトニック・ビーストと名づけられた非常におもしろいアイデアで、正多面体の頂点か面の中央にシリアルリンク型の脚をつけ、サイコロが転がるように移動するというものである。動力学的効果や対称機構の問題としてもおもしろい[18]。

図7は、スイスで研究開発されている ROBO-TRAC という森林作業機械である[18]。急勾配で車体をささえるための腕が2本と移動時が楽になるように車輪2輪からなる[19]。これに似た機械は古くは文献[20]などにも紹介されている。

このように「リム」というものはロボット機構の共通要素であり、冗長自由度系の制御のみならず、作業用のロボットを構成するときに必然的に考えなければならない概念であると言える。

図7 roboTRAC

4. おわりに

本解説ではリム・メカニズムという新しいキーワードを提供したわけであるが、このキーワードに関係するものとして車輪型移動ロボットの上に搭載されたマニピュレータの軌道制御なども挙げることができる[21]~[26]。この移動マニピュレータと呼べるものと、この解説で提案したリム・メカニズムまたはマルチ・リム機構を用いたロボットでは、移動することによって基準座標系からの誤差が累積し、固定台座のマニピュレータとは比較にならないくらい位置精度が悪いので、そのための制御を考えなければならないことや、車輪拘束や足先接地拘束のような非ホロノミックな拘束条件のために単純な線形問題に帰着しないことや、冗長自由度系の制御の問題などが共通の話題であると言える。そして、胴体から生えたいくつものリムからなるロボット機構という共通した構造を「リム・メカニズム」と呼ぶことにより、単体のマニピュレータや移動ロボットでは問題とならない技術要素をより明確にすることができると考えている。ロボットの高機能化を考える上でこの分野は未確立ではあるが非常に興味深いと思う。

参考文献

- [1] 高野：“極限作業ロボット”，日本ロボット学会誌，vol. 9, no. 5, pp. 614-618, 1991.
- [2] N. Koyachi, H. Adachi and E. Nakano: “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),” Minneapolis Minnesota, July 1988, pp. 673-680.
- [3] 小谷内，安達，中村，中野：“階段登降のための自立形6脚歩行ロボットの設計と制御”，日本ロボット学会誌，vol. 11, no. 6, pp. 918-928, 1993.
- [4] 小谷内：“多足歩行ロボットの世界”，日本ロボット学会誌，vol. 11, no. 3, pp. 631-632, 1993.
- [5] H. Adachi, T. Arai and K. Homma: “Study on Underground Space Excavating Machine,” Proc. 9th Int. Symp. on Automation and Robotics in Construction, Tokyo, Japan, June 1992, pp. 751-758.
- [6] N. Koyachi, T. Arai, H. Adachi and Y. Itoh: “Integrated Limb Mechanism of Manipulation and Locomotion For Disman-

- tlng Robot—Basic concept for control and mechanism—,” Proc. of 1993 IEEE/Tsukuba Int. Workshop on Advanced Robotics, Tsukuba, Japan, Nov. 1993, pp. 81–84.
- [7] 新井, 安達, 小谷内: “脚・腕統合化の研究—第1報 基礎的考察—”, 第11回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 629–630, 1993.
- [8] 小谷内, 安達, 新井, 伊藤: “脚・腕統合化の研究—第2報 腕転用を考慮した脚機構の解析—”, 第11回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 631–632, 1993.
- [9] 小谷内, 安達, 新井, 浅見, 伊藤: “脚・腕統合化の研究—第3報 腕転用脚機構の複腕作業—”, 第12回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 837–838, 1994.
- [10] 小谷内, 安達, 新井, 浅見, 伊藤: “脚・腕統合化の研究—第4報 試作機 MELMANTIS の設計製作—”, 第12回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 839–840, 1994.
- [11] 新井, 小谷内, 安達, 本間: “パラレルマニピュレータと脚機構の統合化運動学”, 第12回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 841–842, 1994.
- [12] N. Koyachi, T. Arai, H. Adachi, K. Asami and Y. Itoh: “Hexapod with Integrated Limb Mechanism of Leg and Arm,” Proc. of 1995 IEEE Int. conf. on Robotics and Automation, Nagoya, Japan, May 1995, pp. 1952–1957.
- [13] T. Arai, N. Koyachi, H. Adachi and K. Homma: “Integrated Arm and Leg Mechanism and Its Kinematic Analysis,” Proc. of 1995 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Nagoya, Japan, May 1995, pp. 994–999.
- [14] 黒野, 荒牧: “クロスリンク型ロボット”, 第10回日本ロボット学会学術講演会, pp. 133–134, 1992.
- [15] Y. F. Zheng and A. Yin: “Coordinating multilimbed robots for generating large cartesian force,” Proc. of 1990 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, Cincinnati, Ohio, May 1990, pp. 1653–1658.
- [16] C. Su, Y. F. Zheng: “Task decomposition for multilimbed robots to work in the reachable-but-unorientable space,” Proc. of 1990 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, Cincinnati, Ohio, May 1990, pp. 1659–1664.
- [17] A. Madhani and S. Dubowsky: “Motion Planning of Mobile Multi-Limb Robotic Systems Subject to Force and Friction Constraints,” Proc. of 1992 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, Nice, France, May 1992, pp. 233–239.
- [18] D. K. Pai, R. A. Barman and S. K. Ralph: “Platonic Beasts: a new family of multilimbed robots,” Proc. of 1994 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, San Diego, California, May 1994, pp. 1019–1025.
- [19] G. Schweitzer and M. Werder: “ROBOTRAC - a Mobile Manipulator Platform for Rough Terrain,” Proc. of 1991 Int. Symp. Advanced Robot Technology ('91 ISART), Tokyo, Japan, Mar. 1991, pp. 411–415.
- [20] R. B. McGhee: “Vehicular Legged Locomotion, Advances in Automation and Robotics (Editor: G.N. Seridis),” vol.1, Greenwich, CT: Jai Press, pp. 259–284, 1985.
- [21] W. S. Ching and N. I. Badler: “Motion Planning for Redundant Branching Articulated Figures with Many Degrees of Freedom,” Proc. of 1992 IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, Raleigh, NC, July 1992, pp. 1499–1506.
- [22] M. Zhao, N. Ansari and E. S. H. Hou: “Mobile Manipulator Path Planning by A Genetic Algorithm,” Journal of Robotic Systems, vol. 11, no. 3, pp. 143–153, 1994.
- [23] 見浪, 藤原, 柘植: “自律移動ロボット搭載型マニピュレータの位置・姿勢制御”, 日本ロボット学会誌, vol. 11, no. 1, pp. 156–164, 1993.
- [24] 見浪, 藤原, 柘植: “カメラフィードバックを用いた自律移動マニピュレータの位置・速度制御”, 日本ロボット学会誌, vol. 11, no. 2, pp. 263–271, 1993.
- [25] 栗栖, 吉川: “マニピュレータを搭載した独立二輪駆動型移動ロボットの機動計画と制御”, 第12回日本ロボット学会学術講演会, pp. 21–22, 1994.
- [26] 永谷, 油田: “マニピュレータを搭載した移動ロボットによるドアの押し開け動作の実現”, 第12回日本ロボット学会学術講演会, pp. 1201–1202, 1994.

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研究室主任研究官。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。IEEE 会員。(日本ロボット学会正会員)