







図4 歩行の動力学バランス

力を実全床反力と呼ぶ。実全床反力のモーメントが鉛直成分を除き0となる床面上の点を実全床反力中心点と呼ぶ。

もしロボットが理想的に歩行している場合には、目標ZMPと実全床反力中心点は一致する。しかし、実際には、例えば上体姿勢が目標姿勢に一致していても、かつ実関節角が目標関節角に忠実に追従していても、床の未知の凹凸などによって、図4のように実全床反力中心点は目標ZMPからずれる。この状態では、実全床反力の作用線と目標総慣性力の作用線がずれるので、これらの力によって偶力がロボットに作用し、ロボットの全体姿勢が傾こうとする。そこで、この偶力を転倒力モーメントと呼ぶ。転倒力モーメントは、次式で計算される。

$$\text{転倒力モーメント} = (\text{目標ZMP} - \text{実全床反力中心点}) \times \text{目標総慣性力の鉛直成分} \quad (1)$$

この式を考察すると、目標ZMPと実全床反力中心点の差を積極的に操作すれば、転倒力モーメントを逆手にとって、傾いてしまった姿勢を復元することができるのではないか、という発想に思い当たる。これが、本ロボットの姿勢を復元させるための根本原理である。

実全床反力中心点を操作する制御を床反力制御と呼び、目標ZMPを操作する制御をモデルZMP制御と呼ぶ。

床反力制御は、各足平の目標位置・姿勢を修正すること

によって、姿勢を復元させるために適切な位置に、6軸力センサにより検出される実全床反力中心点を制御する。

モデルZMP制御は、実ロボットが倒れそうになると（すなわち実ロボットの全体姿勢傾きと目標全体姿勢傾きの差が大きくなると）、目標全体軌道を変更して、姿勢を復元させるために適切な位置にまで目標ZMPをシフトする制御である。例えば、実ロボットの全体がモデルの全体よりも前傾した場合には、目標全体位置を理想の全体軌道よりも前方に強く加速する。この結果、目標慣性力の大きさが変わり、目標ZMPは、元の目標ZMPよりも後方に移動し、実ロボットの姿勢が復元する。

なお、モデルの全体位置が変更されると、モデルの全体と足平の相対位置関係が理想状態から離れる。これを徐々に理想状態に戻すために、モデルの足平着地位置を変更する。実ロボットの全体姿勢を復元するために足平着地位置を変更するのではない。

以上の制御を同時に働かせることにより、人間のような姿勢安定化動作を実現した。

#### 4. おわりに

本稿において、人間型ロボットの概要について紹介した。現在のロボットは、2足歩行の基本機能を一応実現した段階である。

人間型ロボットが実用として役に立つまでには、いろいろな技術を今後研究開発していかななくてはならない。例えば、2足歩行としての移動の信頼性を高めるために転倒に対する技術的な防備をはかることや、人間の代替/手助けができるロボットとするために、複雑な作業をこなせる機能を実現していく必要がある。また、安全性も含め人間とロボットとの共存の考え方などを検討していかななくてはならないだろう。

いずれにしても、次の段階としては、より人間環境にマッチしたロボットとし、作業が柔軟にできるために必要な感覚機能を充実させ運動性能を向上させて行きたいと考えている。



広瀬真人 (Masato Hirose)

1956年2月7日生。1980年宇都宮大学大学院工学研究科精密工学専攻修士課程修了。1986年(株)本田技術研究所に入社。以来、人間型ロボットの研究・開発に従事。



五味 洋 (Hiroshi Gomi)

1960年8月21日生。1983年日本大学工学部機械工学科卒業。1987年(株)本田技術研究所に入社。以来、人間型ロボットの研究・開発に従事。



竹中 透 (Toru Takenaka)

1958年5月12日生。1981年東京工業大学大学院制御工学専攻修士課程修了。1989年(株)本田技術研究所に入社。以来、人間型ロボットの研究・開発に従事。

(日本ロボット学会正会員)



小澤信明 (Nobuaki Ozawa)

1962年9月22日生。1987年上智大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程修了。同年、(株)本田技術研究所に入社。以来、人間型ロボットの研究・開発に従事。