

ロボットの移動

ロボット概論 12

第12回 (2019/12/16)

担当: 山崎

1

移動ロボットの形態(1) 2足歩行

- 直立2足歩行をするのは人間のみ



出典: 雑学の泉



出典: wikipedia



出典: FCIT

3

はじめに

■ 前回の内容

- 逆三角関数
- 逆運動学(幾何的に解く手法)
- 逆運動学(ヤコビ行列による手法)

■ 今回の内容

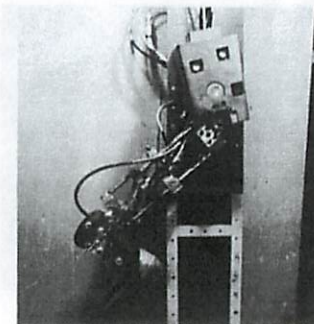
- 移動ロボットの形態
- 車輪移動ロボットの制御
- 歩行ロボットの制御

➡ ロボットを移動させる方法を知ろう

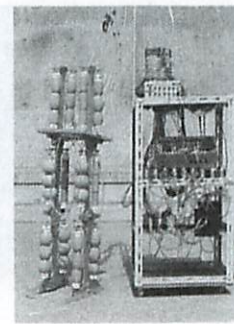
2

移動ロボットの形態(1) 2足歩行

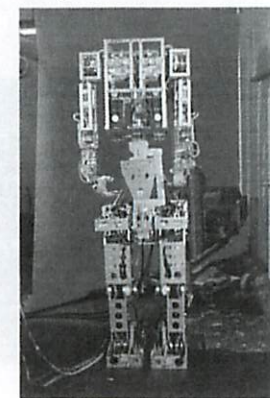
- 早稲田大学の研究(加藤一郎ら)
- WL(Waseda Leg), WAP(Waseda Automatic Pedipulator), WABOT



下肢モデル: WL-1 (1967)
油圧駆動



ゴム人工筋の導入:
WAP-1 (1969)

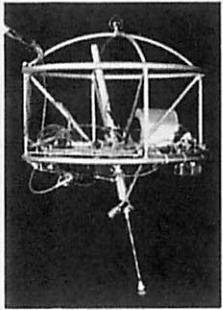


人間形ロボット:
WABOT-1 (1973)
下半身にWL-5を使用

4

移動ロボットの形態(1) 2足歩行

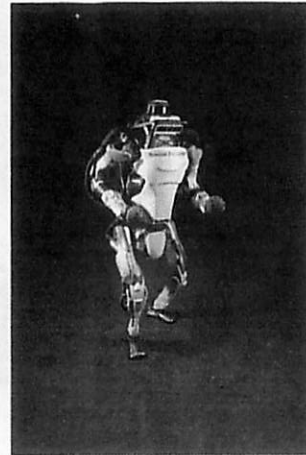
- 跳躍ロボットの研究 (MIT, CMU)
- Honda P2の衝撃
- より柔軟で自然な動きに



MIT 3D One-Leg Hopper
(1983)



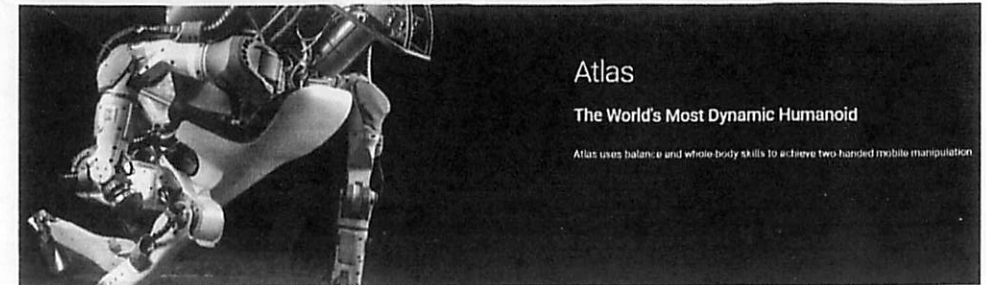
Honda P2
(1996)



Boston Dynamics
Atlas (2013~)

5

Boston Dynamics Atlas



Atlas

The World's Most Dynamic Humanoid

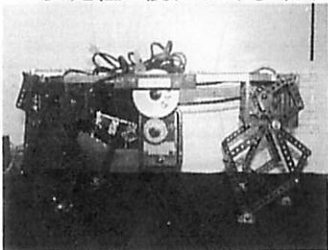
Atlas uses balance and whole body skills to achieve two-handed mobile manipulation



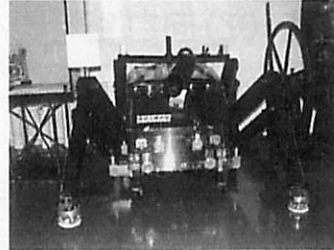
6

移動ロボットの形態(2) 多足歩行

- 安定性に優れるが、歩行戦略が複雑、アクチュエータが増える



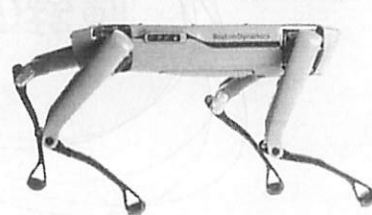
東工大6足歩行ロボット「GAWALK」(1968)



4足歩行ロボット「TITAN IV号機」(1985)



Boston Dynamics BigDog (2005)

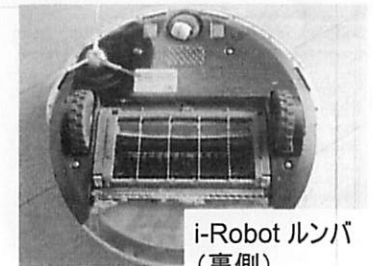


Boston Dynamics Spot (2015~)

7

移動ロボットの形態(3) 車輪

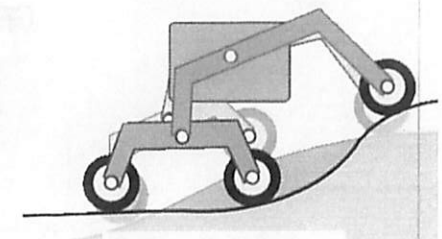
- 太古から車輪は使われている
- 機構の工夫により、不整地走行も可能
⇒ ロッカーボギー機構



i-Robot ルンバ
(裏側)



マーズ・エクスプロレーション・ローバーB
(出典:wikipedia)

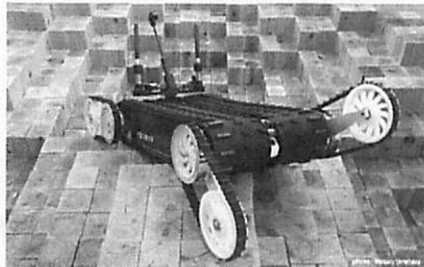


ロッカーボギー機構
(出典:wikipedia)

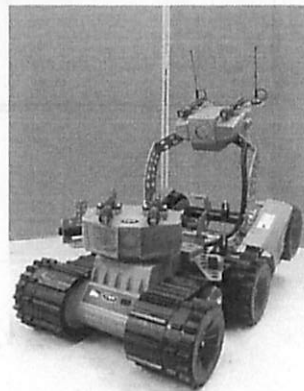
8

移動ロボットの形態(4) クローラ

- ブルドーザなどの土木機械に使われている, 無限軌道
- 軟弱地盤にも強い, 地面を荒らしやすい



千葉工大, 東北大,
国際レスキューシステム研究機構,
Quince

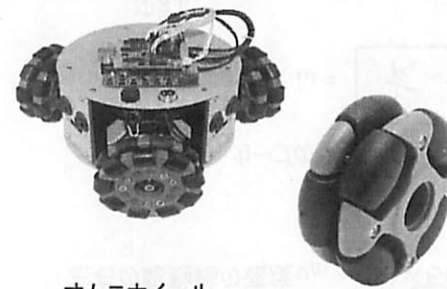


三菱電機特機システム
CWD方式小型クローラロボット
(Crawler Wheel Drive)

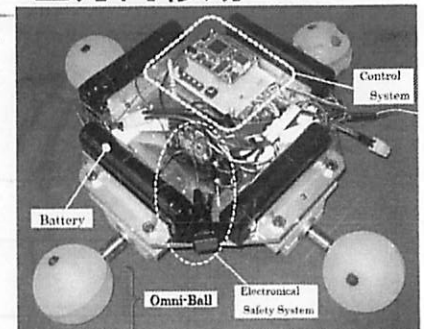
9

移動ロボットの形態(5) 全方向移動

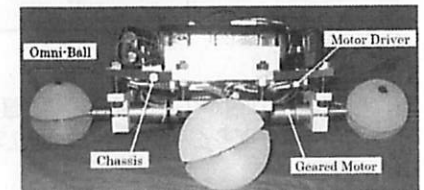
- 前後左右の平行移動と旋回が独立に行える



オムニホイール



(a) Perspective View Omnidirectional Vehicle with "Omni-Balls"

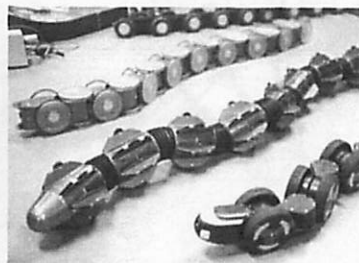


(b) Side View of Omnidirectional Vehicle with "Omni-Balls"

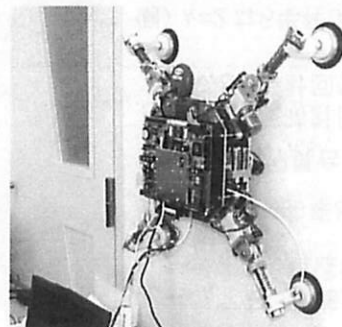
球状全方向車輪 オムニボール 10

移動ロボットの形態(6) その他

- ほふく移動...胴体全体の屈曲や伸縮で移動する
- 壁面移動...フロアでの吸引, 粘着力, 爪, 静電気などが用いられている



水陸両用ヘビ型ロボット「ACM-R5」
(東工大 2005)

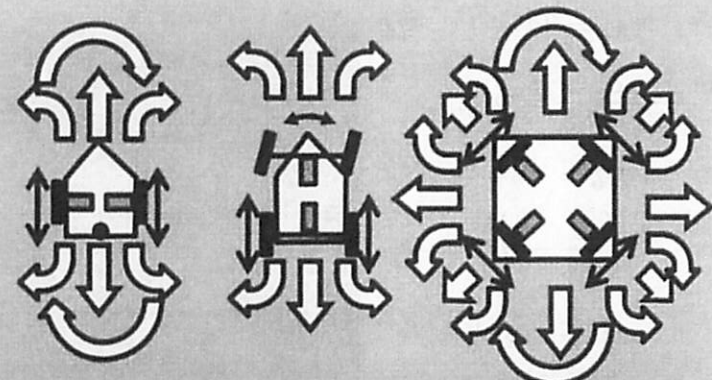


壁面歩行ロボット
(北海道職業能力開発大学校)

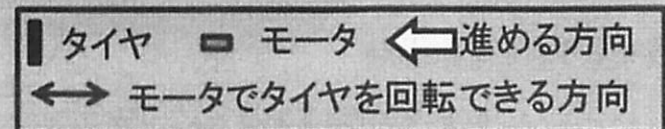
11

代表的な車輪移動機構

図出典: 日本機械学会, ロボティクス



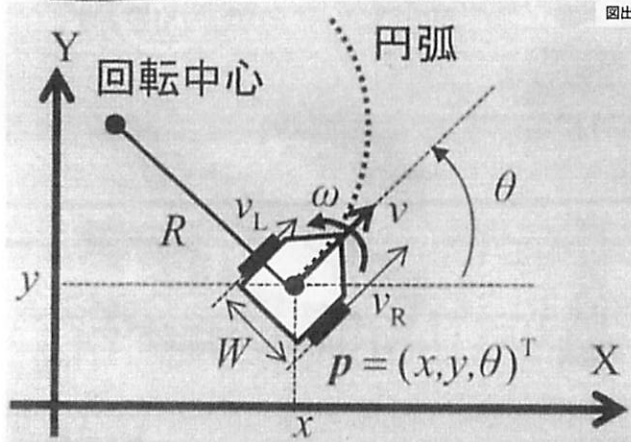
(a) 対向2輪型 (b) 操舵型 (c) 全方向型



12

対向2輪型移動機構のモデル

図出典: 日本機械学会, ロボティクス



$v_L = v_R$ なら直進,
 $v_L = -v_R$ なら超信地旋回

$k = 1/R$ を曲率という
(曲線の曲がり具合を表す)

$k > 0$ のとき反時計回り,
 $k < 0$ のとき時計回り

例) $k=2$ なら半径0.5mの円弧を反時計回りに曲がる

v_L, v_R : 左右の駆動輪の速度
 R : 円弧の半径(回転半径)
 W : ロボットの車輪間距離(トレッド)

p : 左右駆動輪の中心(車軸の中心)
 v, ω : p の位置の速度, 角速度

13

対向2輪型移動機構のモデル

さらに $2v_R = 2v + W\omega$ となるので, $v_R = v + \frac{W}{2}\omega$

同様に $2v_L = 2v - W\omega$ より $v_L = v - \frac{W}{2}\omega$

これらを行列を用いて表現すると,

$$\begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \frac{1}{W} \begin{bmatrix} v_R + v_L \\ v_R - v_L \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} v_R \\ v_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{W}{2} \\ 1 & -\frac{W}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}$$

※時計方向に曲がる時 v_R と v_L は逆になる

ロボットの速度, 角速度 \Leftrightarrow 左右の駆動輪の速度 の計算ができる

15

対向2輪型移動機構のモデル

速度 = 回転半径 \times 角速度 であるから

$$v = R\omega$$

反時計方向に曲がる時

$$v_R = \left(R + \frac{W}{2}\right)\omega$$

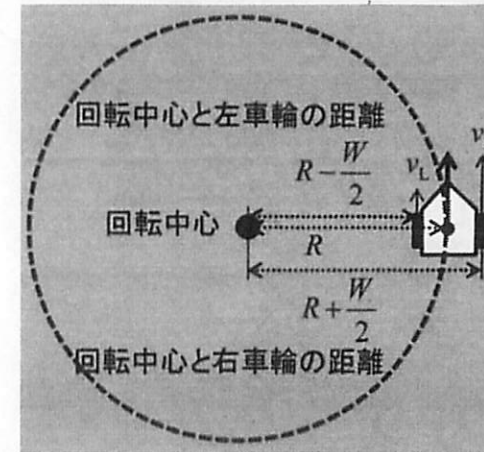
$$v_L = \left(R - \frac{W}{2}\right)\omega$$

$$\text{より } v_R + v_L = 2R\omega = 2v$$

$$\therefore v = \frac{v_R + v_L}{2} \quad [\text{m/s}]$$

$$\text{また } v_R - v_L = W\omega \quad \text{より}$$

$$\therefore \omega = \frac{v_R - v_L}{W} \quad [\text{rad/s}]$$



図出典: 日本機械学会, ロボティクス

演習

- 対向2輪型の車両移動ロボットを $v=0.1$ m/s で曲率 $k=2$ のカーブを走らせたいとき, 左右の駆動輪の速度 v_R, v_L はいくらにすれば良いか。ただし, トレッドは0.2mとする。

$$k=2 \text{ より, カーブの半径 } R = \frac{1}{k} = \frac{1}{2} = 0.5 \text{ m}$$

$$\text{よって, 角速度 } \omega = \frac{v}{R} = \frac{0.1}{0.5} = 0.2 \text{ rad/s}$$

ゆえに,

$$\begin{bmatrix} v_R \\ v_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{0.2}{2} \\ 1 & -\frac{0.2}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.12 \\ 0.08 \end{bmatrix} \text{ m/s}$$

16

オドメトリ(Odometry)

- 計測した速度, 角速度の積分から現在の位置, 姿勢を推定する手法
- 時刻 t での位置・姿勢を

$$p(t) = (x(t), y(t), \theta(t))^T$$

とすると

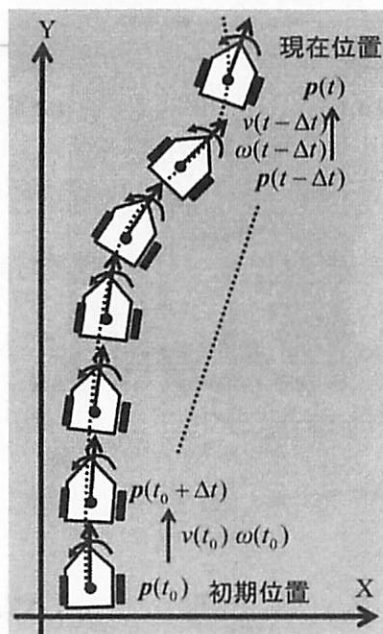
$$x(t) = \int_{t_0}^t v_x(\tau) d\tau + x(t_0)$$

$$y(t) = \int_{t_0}^t v_y(\tau) d\tau + y(t_0)$$

$$\theta(t) = \int_{t_0}^t \omega(\tau) d\tau + \theta(t_0)$$

で求められる。(実用的には \int でなく Σ の計算になる)

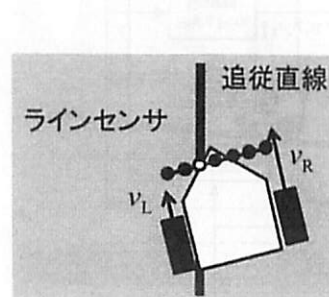
- スリップによる誤差に注意



図出典: 日本機械学会, ロボティクス

車両移動ロボットの自律制御(1)

- ライントレース方式
 - 工場などでの荷物搬送用のAGV(Automated Guided Vehicle)
 - 磁気テープ, 黒テープなどで経路を指示



図出典: 日本機械学会, ロボティクス



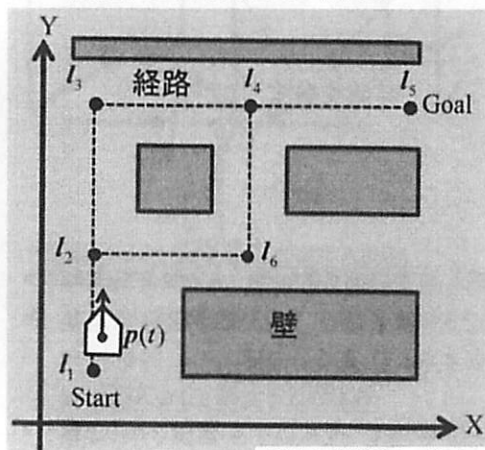
LEGO mindstorms
ライントレースロボ



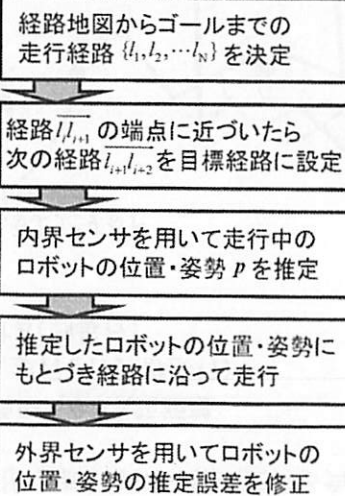
Doog社 追従運搬ロボット
THOUZER

車両移動ロボットの自律制御(2)

- 推定位置と地図に基づく方式



図出典: 日本機械学会, ロボティクス

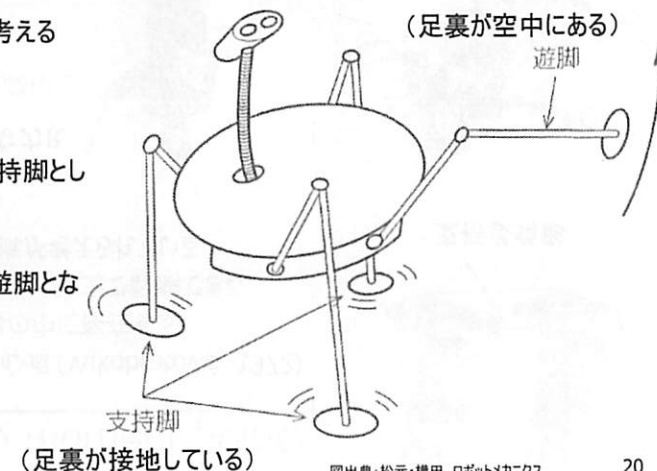


- オドメトリのみでの位置・姿勢推定は誤差が蓄積するので, カルマンフィルタなどの手法で推定の精度を向上させる

歩行ロボットの脚の本数

- 安定して立つには最低3本の支持脚が必要
- 歩くためには最低1本の脚を遊脚として前方に動かす
- 足の運び方(歩容)を考える

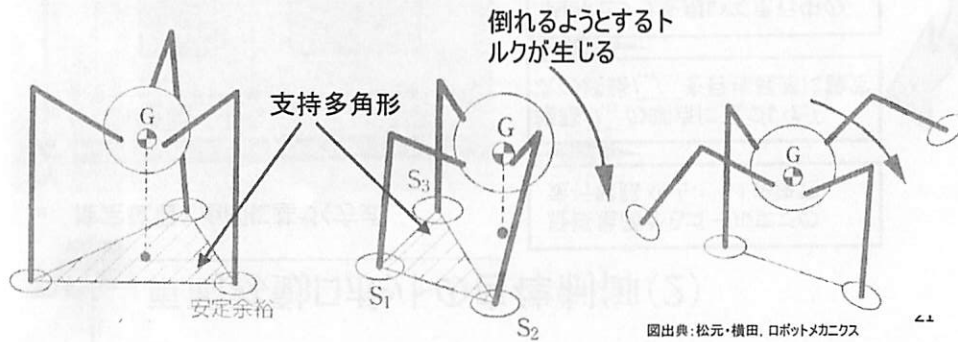
- 歩行
 - 常に少なくとも一脚が支持脚として接地している
- 走行
 - 全脚が地面から離れて遊脚となる瞬間がある



図出典: 松元・横田, ロボットメカニクス

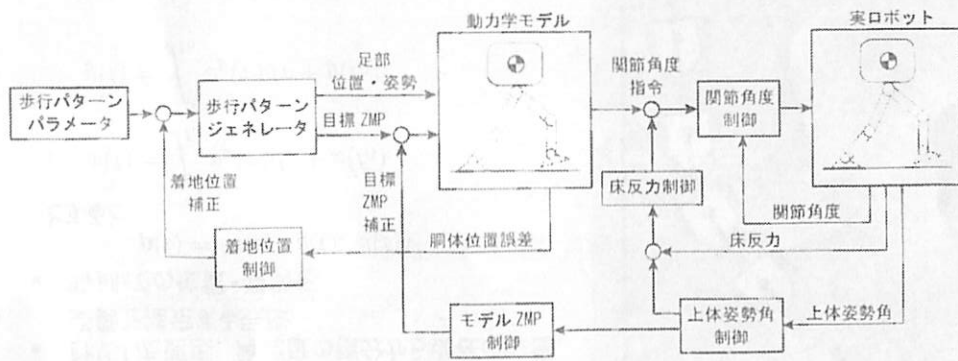
静歩行・動歩行

- 重心Gから鉛直下方に下ろした垂線の脚が、接地点を結ぶ多角形(支持多角形)の内部にあると安定して立てる
- 安定余裕 … 重心の投影点から支持多角形までの最短距離
- 安定状態を維持しつつ、遊脚を動かすことで、歩行を行う(静歩行)
- 安定性を保たず、転倒する前に遊脚を接地する(動歩行)



図出典：松元・横田，ロボットメカニクス

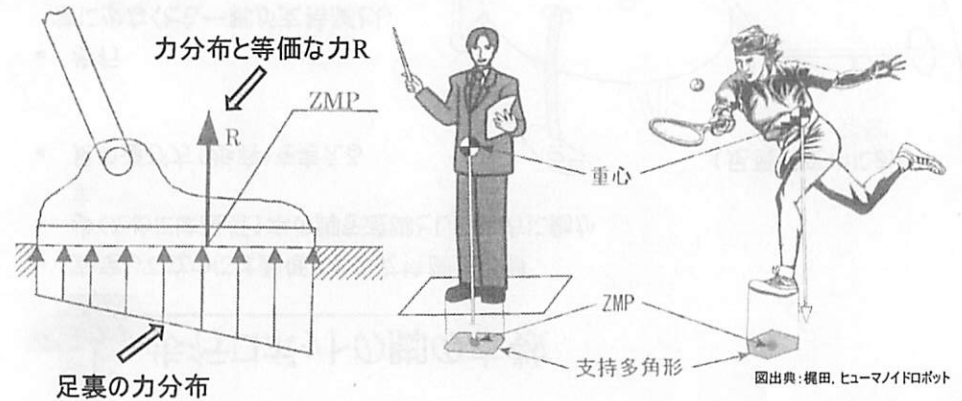
ホンダP2の歩行制御システム



図出典：梶田、ヒューマノイドロボット

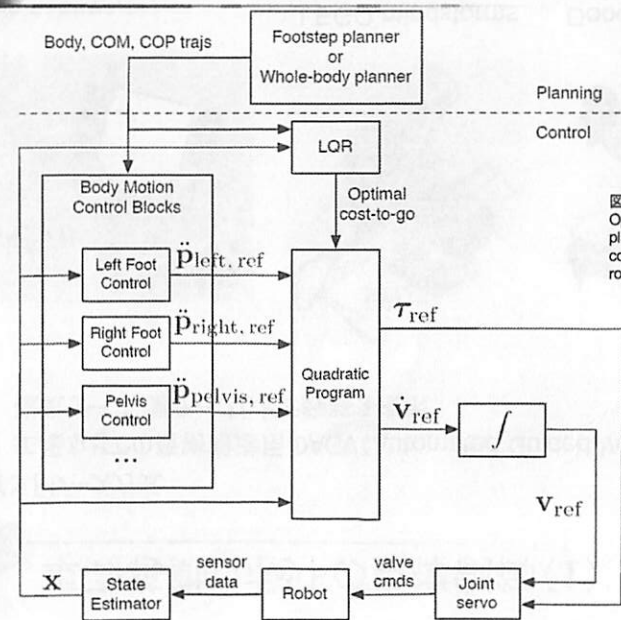
ZMP (zero moment point)

- 接地面における圧力中心点 (Vukobratović, 1972)
- ZMPは常に支持多角形の中に存在する
- 足裏に6軸力覚センサをつけることで計測できる
- ZMPに基づいた歩行制御が考えられている



図出典：梶田，ヒューマノイドロボット

Atlasの歩行制御システム



圖出典: S. Kuindersma *et al.*,
Optimization-based locomotion
planning, estimation, and
control design for the atlas humanoid
robot