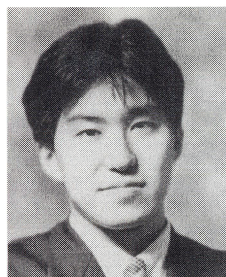


ダイナミックな動作を実現可能な“柔軟なロボット”の実現を目指す

－跳んだり、走ったり、転んだりしても壊れないロボットは実現可能か？－



白井 達也 (SHIRAI Tatsuya)

機械工学科

所属学会：日本ロボット学会

日本機械学会

研究分野

ロボット工学・計測工学・情報工学

キーワード

柔軟関節ロボット, 非線形バネ,

ロボット尻尾等

使用・応用分野

1. 医療介護ロボットの開発
2. 福祉補助器具への応用
3. エンターテインメントロボットへの応用

1. 研究の背景

ASIMO, AIBO, SDR-4X, HRP-2など、産学官から多数の次世代ロボットが発表され脚光を集めています。高度な技術の集大成であり、ロボット工学者の端くれとして素直に賞賛したい。しかし残念ながら、跳ぶ、走るといったダイナミックな動作を実現できるヒューマノイドロボットは存在しませんし、そもそも転んだだけで壊れてしまいます。なぜ、従来のロボット技術の延長線上にあるロボットは壊れ易いのか？ カギは“ロボットの硬さ”にあります。ロボット開発は重量との戦いです。アクチュエータが重いとロボットの自重が増え、より強力なアクチュエータが必要となり、強力なアクチュエータは自重が重くなり... ロボットを動かすのに必要なトルクを小型軽量なアクチュエータから得るには高減速比を有する減速器を用いる必要があります。減速比が高いほど、出力軸からみたモータ側の摩擦や慣性は大きくなり、その結果、機構的に硬いロボットとなります。多くのロボットは滑らかで柔らかな動作をアピールしていますが、ロボット自体が柔軟なのではなく、サーボ能力を限界ギリギリまで酷使することで電氣的に実現しているに過ぎません。慣性力や衝撃力は動力伝達機構（ギアやワイヤ）で受け止めることになり、暴走したり転倒するなどして制

御能力を超える過大な負荷が加わるとロボットは破損します。ロボットの重量問題にはスケール効果が存在します。ロボットの大きさが n 倍になればロボットの重量は n^3 倍、しかしアクチュエータの能力は体積が n^3 倍になったからといって n^3 倍にはなりません。したがって小型のロボットならば柔軟な機構のものも存在しますが、ヒト並みの大きさのロボットでは、現状のアクチュエータのトルク重量比ではどうしても硬い機構にならざるを得ません。

2. 柔らかなロボット

ここでいう柔らかなロボットとは、ヒトの皮膚のような弾力性を持つ外皮でロボットを覆うという意味ではなく、動力伝達機構に機械的な柔らかさをもつロボットの事です。ただし、単にバネのように動力伝達機構が柔らかいだけでは俊敏かつ正確な位置決め精度を要求される動作が実現できないので、ロボット自身が状況に応じて柔らかくも硬くも調整する必要があります。柔らかなロボットを実現するために、大きく分けて2つのアプローチが挙げられます。一つはヒトの筋肉と同様の特性をもつ人工筋肉の開発ですが、残念ながら反応速度が遅かったり、推力が少ない、強度不足などの問題があるため即座に実用化できる状

況にはありません。もう一つは、アクチュエータおよび減速器は現状のものを用い、動力伝達機構に機械的な剛性調整機構を組み込む方法です。さまざまな種類の剛性調整機構が提案されていますが、その技術的な核は非線形なバネ特性をもつ非線形バネ要素です。多くはピッチや素線径が始端と終端とで異なるコイルスプリングや巻きバネなどを用いたものであるのに対して、我々が開発したSAT(Stiffness Adjustable Tendon)は全く新しい構造の非線形バネです。図1はSATおよびSAT専用開発した張力センサ(Muscle Spindle Sensor)の外観です。SATは(1)非線形バネ特性を持つこと(特に張力が増えるほど高剛性化)、(2)引張バネであること、(3)小型軽量かつ頑強であること(=構造がシンプルであること)という特徴を有します。

3. ダイナミックな動作の実現可能性

衝撃力を伴う動作として高所からの安全な着地動作の実現を第一の目標に設定しました。図2は検証実験のために製作したロボット(ランディングマシン、以下LM)の構造です。動力を持たない三関節四リンクの構成で、各関節はそれぞれ足首、膝関節、股関節に、第4リンクは上半身に相当します。各リンクは1対のSATで拮抗され、計6系統のSATのワイヤ長を調整することで初期姿勢および関節剛性を調整できます。図3は実際の着地実験の実験結果です。多少の振動はありますが、衝突時のエネルギーをSATが吸収して約2[s]程度で収束します。このことからSATは単純なバネ要素ではなく、粘性も持つ粘弾性要素であることが分かります。

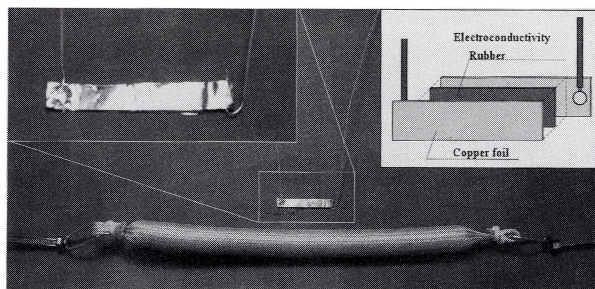


図1 SATの外観

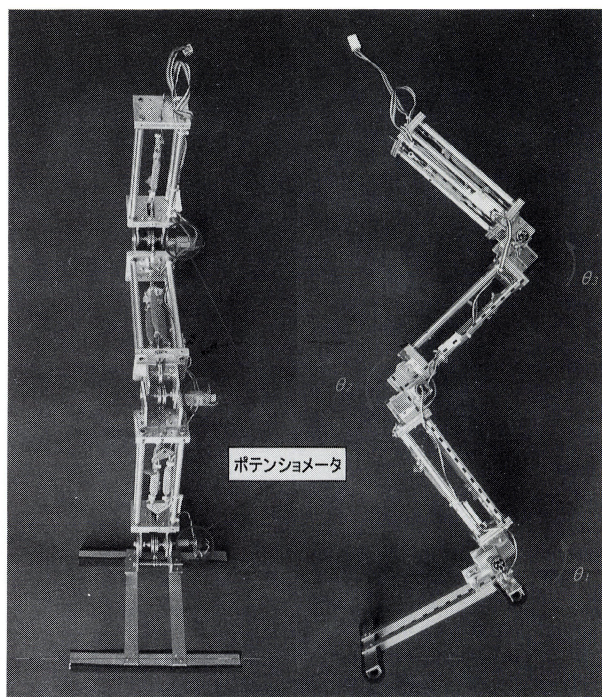


図2 ランディングマシンの構造

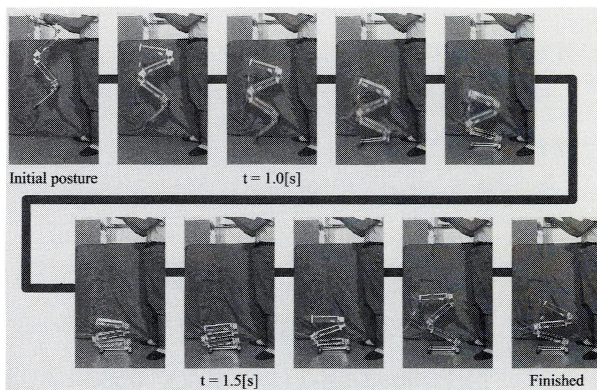


図3 着地実験

4. 柔軟なロボットの実現に向けた今後の展開

非線形バネSATの実用化を目指しています。軽量、高剛性かつ安全な構造であるといった特徴は、福祉補助器具やアミューズメント領域への応用が期待できます。現在、LMは一本脚ですが、二本脚に拡張すると同時にモータを搭載し、着地だけではなく跳躍動作の実現可能性の確認にも挑戦します。また、自然界の動物が持つ尻尾の能力に着目した柔軟な構造のロボット尻尾ROBO-TAILの開発も進めています。