

氏名・（本籍）	五十嵐越郎（新潟県）		
学位の種類	工学博士		
学位記番号	工博甲第 42 号		
学位授与の日付	平成元年 3 月 22 日		
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当 電子科学研究科 電子応用工学専攻		
学位論文題目	二足歩行ロボットの下位レベル適応歩行に関する研究		
論文審査委員	(委員長) 教授 井原素三 教授 多々良陽一      教授 松田孝 教授 森田信義      教授 市川朗 教授 野飼享		

## 論文内容の要旨

原子力発電施設や海底、宇宙等、人間が作業を行うには危険な環境いわゆる極限環境において、人間の代わりに作業を行うロボット（極限作業用ロボット）は様々な環境を移動する必要がある。従って、作業機能だけでなく移動機能に関しても十分な考慮がなされなければならない。このようなロボットに付加する移動機能の代表的なものとしては、環境適応性という点を重視した場合、跨ぎ動作等が行える脚式移動が有利であると考えられる。一方、環境適応性とは様々な環境の変化に適応しながら歩行することを意味しており、一般に適応歩行と呼ばれている。適応歩行は、1) 環境認識、2) 歩行計画、3) 歩行パターンの生成、4) 軌道制御、から成る階層構造をなしていると考えられている。ここで上述の階層構造のうち、3) と 4) のみで構成される歩行を特に下位レベル適応歩行と呼ぶことにする。

本論文では、人間が移動し易いように整備されている屋内を作業環境に想定することにより、脚式移動である二足歩行を移動機能として取り上げた。そして適応歩行を行わせるための第一段階として、二足歩行ロボットにより下位レベル適応歩行を実現することを目的に研究を進めている。但し、簡単のため歩行運動は矢状面（進行方向を含む床に垂直な平面）内に限定する。

そこでまず初めに、二足歩行ロボットに対する力学解析及びその制御に関して、遊脚を振り出して歩を進める単脚支持相と、蹴り動作を行い重心を進行方向に送り出す両脚支持相とに分けて考察を行っ

ている。

単脚支持相では、その運動方程式をラグランジュの運動方程式より誘導し、二足歩行ロボットの足部が床面に固定されていないことにより生じる特有の力学的制約条件を導出する。そしてシミュレーションを行うことにより、この力学的制約条件が歩行運動において重要な役割を果たしていることを示す。また力学的制約条件との関係から、動的制御が二足歩行ロボットの軌道制御に適していると考え、実際に制御実験を行うことにより、その有効性を示す。

一方、両脚支持相は系の力学状態に制約条件が付加された閉ループリンク系を構成しており、このような力学系の解析においては、系の力学状態の見通し易さや操作性を重視するという観点から力学解析を行う必要があると考えられる。本論文では、以上の点を考慮して次の考え方に基づいた閉ループリンク系の解析法を提案する。

(I) 系の力学状態の見通し易さを考慮して、ダランベールの原理を用い、静的力と動的力を独立に求め、それらの平衡の式より運動方程式を導出する。

(II) 系の力学状態の操作性を良くするため、静的力は各リンクに対する静的平衡の式から求めることにする。その際、拘束条件を構造条件（閉ループリンク系を構成するための幾何学的条件）と軌道条件（系の運動を指定するための条件。自由度の数に対応している）に分け、構造条件と静的力との関係を明らかにしておく。

この方法は従来用いられてきたラグランジュ乗数を使用する方法に比べ、系の力学状態の見通し易さや操作性という点で優れているため、両脚支持相のような系の力学状態に制約条件が付加された閉ループリンク系の解析には適していると考えられる。また、シミュレーション及び制御実験を行うことにより、本解析法の有効性を示している。

次に、下位レベル適応歩行のための歩行パターン生成法に関する考察を行う。本論文では、様々な環境に対する歩行パターンを簡単に生成するため、以下の考え方に基づく簡易化した歩行パターン生成法を提案する。

(I) 代表的な環境（平坦面、配管環境、段差）に対して設定した基本歩行パターンを適当に調節しながら組み合わせることにより、種々の歩行パターンを生成する。

(II) 基本歩行パターンは直接ジョイントに対する軌道として設定する。

(III) 単脚支持相では重力の作用を考慮して、3次関数で支持脚足首の軌道を与える。また両脚支持相では、遊脚接地時の接地脚足首回りの角速度を利用した歩行パターンを設定する。

(IV) 生成した歩行パターンの実現可能性は系に付加される力学的制約条件によって判定する。

上記の考え方に基づいて歩行実験を行うことにより、この簡易化した歩行パターン生成法の有効性を示した。更に二足歩行ロボットにより、平坦面、配管環境、段差（上り、下り）及びこれらを組み合わせた環境に対する矢状面内での歩行を実現した。