

氏名	王 永東		
授与した学位	博 士		
専攻分野の名称	統合科学		
学位授与番号	博甲第	6 8 6 4	号
学位授与の日付	2 0 2 3 年 3 月 2 4 日		
学位授与の要件	ヘルスシステム統合科学研究科          ヘルスシステム統合科学専攻  (学位規則第4条第1項該当)		
学位論文の題目	Motion planning of a snake robot in crowded pipe environments (密集配管環境を移動するヘビ型ロボットのモーション設計)		
論文審査委員	教授	五福 明夫	教授 横平 徳美          准教授 亀川 哲志
<b>学位論文内容の要旨</b>			
<p>生物の蛇は一本の単純な紐状の形態でありながら、その体幹形状を複雑に変化させることで様々な環境へ適応して移動することができる。生物のこのような特徴を工学的に応用することで、従来の移動ロボットでは困難であった環境適応能力の高い移動ロボットの実現に加え、狭隘や複雑な環境で移動することの実現が期待される。ヘビ型ロボットの移動範囲を広げるため、本論文では、ヘビ型ロボットが配管の密集した環境を移動することを目的とし、地面と並行で垂直に配置した密集配管環境、また、地面と垂直なランダムポール環境を移動する手法を提案した。</p> <p>ヘビ型ロボットは地面と並行で垂直に配置した密集配管環境を移動する際、重力を克服して配管から滑落せずに移動することが重要である。そこで、本論文では、配管との相対的な位置関係を考慮したヘビ型ロボットの幾何学的な形状を設計した。設計した1番目のモーションは、ヘビ型ロボットが密集配管にジグザグに配置された状態で、振率を増減することで左右方向の移動ができる S-shaped twisting motion と呼ぶものである。設計した2番目のモーションは、ヘビ型ロボットが密集配管に S 字に配置された状態で、体幹に沿って小さい波を尾部から頭部方向に伝播させることで上下方向の移動ができる S-shaped traveling wave motion と呼ぶものである。しかし、この手法でのヘビ型ロボットの移動は効率であるとは言えない。そこで、新たな3番目のモーションを提案した。3番目の手法は、ヘビ型ロボットが密集配管に正弦波に配置された状態で、正弦波全体をずらしていくことで効率的に上下方向の移動ができる Hybrid force-position control method と呼ぶものである。この手法では、サーボモーターの過負荷を防ぐため、「電流制限付きの位置制御モード」を活用し、モーターの角度と最大トルク（電流）の両方が制御されており、閉ループ制御で調整されている。本論文では、以上に述べた3つの移動モーションを提案し、検証実験の結果を示している。本論文で設定した密集配管を移動するヘビ型ロボットの実現は世界初である。</p> <p>一方、地面と垂直なランダムポール環境は障害物が密集した環境を模擬したものである。ポールはランダムで配置されるため、ポールの位置が事前に予測できず、ヘビ型ロボットの形状を計画することが困難である。そこで、本論文では、ヘビ型ロボットの関節と環境との動的な相互作用を考慮し、サーボモーターの内界センサーの情報を活用して障害物が推進に利するか阻害するかを判断することによって、ヘビ型ロボットの各関節がポールとより効果的に接触できるようにする自律分散手法を提案した。</p>			

## 論文審査結果の要旨

生物の蛇の特徴を工学に応用することで、従来の移動ロボットでは困難であった狭隘で複雑な環境を移動するヘビ型ロボットの実現が期待される。ヘビ型ロボットの適用範囲を広げるため、本論文では、ヘビ型ロボットが配管の密集した環境を移動することを目的とし、地面と平行な配管を鉛直方向に配置した密集配管環境、また、地面と垂直な棒をランダムに配置したランダムポール環境を移動する手法を提案した。

ヘビ型ロボットが密集配管環境を移動する場合において、本論文では、配管との相対的な位置関係を考慮してヘビ型ロボットのモーションを3つ提案した。1番目のモーションは、ヘビ型ロボットが密集配管にジグザグに配置された状態で、ヘビ型ロボットの形状における捩率を増減することで左右方向の移動ができるS-shaped twisting motionと呼ぶものである。2番目のモーションは、ヘビ型ロボットが密集配管にS字に配置された状態で、体幹に沿って小さい波を尾部から頭部方向に伝播させることで上下方向の移動ができるS-shaped traveling wave motionと呼ぶものである。しかし、このモーションでのヘビ型ロボットの移動は効率的ではなかった。そこで、新たに3番目のモーションを提案した。これは、ヘビ型ロボットが密集配管に正弦波の形状に配置された状態で、正弦波全体をずらしていくことで上下方向の移動ができるHybrid force-position control methodと呼ぶものである。この手法では、サーボモータの過負荷を防ぐため、「電流制限付きの位置制御モード」を活用し、モータの角度と最大トルク（電流）の両方が制御されており、閉ループ制御が実装されている。本論文では、以上の3つの移動モーションの検証実験の結果も示している。なお、本論文で設定した密集配管を移動するヘビ型ロボットの実現は世界初である。

さらに、ヘビ型ロボットがランダムポール環境を移動する方策も新たに提案した。ここで、ポールはランダムに環境に配置されており、ポールの位置を事前に予測してヘビ型ロボットの形状を計画することが困難である。そこで、本論文では、ヘビ型ロボットの関節と環境との相互作用を考慮し、サーボモータの内界センサの情報を活用して、障害物が推進に利するか阻害するかを判断することによって、ヘビ型ロボットの各関節がポールとより効果的に接触できるようにする自律分散手法を提案し、その有効性をシミュレーションにより検証した。

以上から、本論文は、ヘビ型ロボットの適用範囲を拡大する工学的な貢献が多く、博士（統合科学）の学位に値すると認める。