

## 博士論文要旨

## 論文題名：配管検査ロボットの曲管内走行及び分岐管内走行に関する研究

立命館大学大学院理工学研究科  
機械システム専攻博士課程後期課程ふりがな かこがわ あつし  
氏名 加古川 篤

近年、配管設備の老朽箇所を特定する方法として暗く狭い配管内を点検することのできる配管検査ロボットへの注目が集まっている。これまでに数多くの配管検査ロボットが開発されているものの、曲管及び分岐管に対する走破性の向上が大きな課題となっている。中でも経路が互いに直角に分岐している T 字管内の走行は最も困難な課題であった。

配管内におけるロボットの走破性を左右する要素のひとつにロボットと配管内壁面との接触状態が考えられ、これはロボットが配管内で拡張することのできる空間的な制約によって決まる。そこで本論文では、配管検査ロボットを小型化の実現し易い連結能動関節型と高い牽引力を発揮できる干涉駆動型の 2 つに分類し、連結能動関節型の例として螺旋駆動型配管検査ロボットを、干涉駆動型の例として 3 モジュール型ロボットを用いて、曲管や T 字管を走行するための基本原理と理論を示し、それらに基づくロボットの設計手法と制御方法について述べた。

まず、曲管内走行における基本走行理論では、螺旋駆動型と 3 モジュール型の両方に共通に使用できることを示した。経路が連続している曲管内では接触点の推定が容易に行え、これらをロボットの設計に活用する。一方、T 字管では経路が連続しておらず、接触点を容易に推定することはできないため、螺旋駆動型と 3 モジュール型のそれぞれにおいて異なる理論を展開していく。

次に、螺旋駆動型配管検査ロボットの設計では、1 つのモーターで Pitch と Yaw の 2 つの屈曲動作を行うことができる新しい経路選択機構を提案した。また、曲管走行及び T 字管走行の解析で得た空間的な制約を基に、伸縮機構の腕の長さやバネ剛性の設計を行った。3 モジュール型配管検査ロボットの設計では、既存のロボットが抱えていた障害物を伴う配管内の走行問題に対して劣駆動平行四辺形クローラと呼ばれる新たな機構を提案することによって対応した。このクローラ機構が受動的に障害物適応動作を行えるよう静力学解析を行い、歯車の歯数比の設計を行った。また、各モジュールの制御方法を曲管内走行及び T 字管内走行の解析で得た空間的な制約を基に提案した。

最後に曲管と T 字管を用いて螺旋駆動型と 3 モジュール型の両方の走破性検証実験を行った。ここで得られた実験結果から、それぞれのロボットの曲管内走行性能と T 字管内走行性能を総合的に評価し、T 字管内走行実験では問題が残ったものの、曲管内では効率の良い走行が可能であることを明らかにした。