

## 論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	加古川 篤 (かこがわ あつし)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 1022 号
○授与年月日	2015 年 3 月 31 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	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
○審査委員	(主査) 馬 書根 (立命館大学理工学部教授) 川村 貞夫 (立命館大学理工学部教授) 平井 慎一 (立命館大学理工学部教授)

### <論文の内容の要旨>

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二つに分類し、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の手法が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した。一方、T 字管内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た。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、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に静力学解析を行い、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。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。

<論文審査の結果の要旨>

本論文の貢献は以下の通りである。

- 螺旋駆動型配管検査ロボット及び 3 モジュール型ロボットが曲管内や T 字管内を走行するための基本原理と理論を示した。
  - ◇ 曲管内走行においては、管内壁面との接触点の推定理論を示し、螺旋駆動型と 3 モジュール型で共通の理論を誘導した。
  - ◇ T 字管走行において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 モジュール型でそれぞれ独自の理論を示した。
- 曲管内走行や T 字管内走行の基本原理と理論に基づくロボットの設計を行った。
  - ◇ 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、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いう新たな機構で対応した。また、このクローラ機構が受動的に障害物適応動作を行える歯車の歯数比の設計を行った。

走破性検証実験の結果から、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。

本論文の審査に関して、2015 年 1 月 30 日（金）14 時 40 分～15 時 45 分にイーストウイング 4 階機械システム系演習室において公聴会を開催し、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者加古川篤に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、二つのロボット機構のそれぞれ適応範囲、環境の段差の高さによる運動制御へ影響、実環境における適用性などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても

学位申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、学位申請者が本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在学期間中に、研究指導を通じて日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

学位申請者は、本学学位規程第 18 条第 1 項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していることを確認した。また、学位申請者は、2013 年 10 月に開催された国際会議 ISR2013 にて、発表した論文が最優秀論文賞に選ばれており、学外からも評価されている。

以上の諸点を総合し、学位申請者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。