

氏名 はせがわ なおき  
長谷川 直樹  
学位 博士(工学)  
学位記番号 新大院博(工)第224号  
学位授与の日付 平成18年3月23日  
学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当  
博士論文名

一对のウェッジプリズムと距離計を用いる面法線計測に関する研究

論文審査委員  
主査 教授 岡田徳次  
副査 教授 林豊彦  
副査 教授 大河正志  
副査 教授 山本正信  
副査 助教授 三村宣治

#### 博士論文の要旨

本論文は、一对のウェッジプリズムと距離計を用いる面法線計測に関し、検出原理の提案と誤差の解析、および原理の有効性を確認する計測システムの開発と実験について7章にわたって述べている。

第1章では、本研究の背景、目的、概要を述べる。一般に、面法線の検出法として対象面に光を照射し、1)その正反射方向への構造化パターンの変形を観測する、2)変調光の位相差を測定する、3)三次元レンジファインダにより形状を認識する、他様々な方法が提案されているが、これらには検出可能な距離が小さい、大距離における検出分解能が低い、システム構成が複雑である、等の問題がある。ポリゴンミラーでスキャンする方法では、制御が複雑で検出分解能が距離の増大とともに低下する。この他、複数のレーザー光源を切換えて照射する方法もあるが、状況は同様である。本研究は、これらの問題を解決するため、距離計の前段に一对のウェッジプリズム組込み、かつプリズムを回転させて限られた領域内に平行な光ビームを照射することの有効性を指摘する。本研究の目的が距離のみならず照射面の法線方向までを計測可能にすることにあることを明らかにする。

第2章では、面法線の基本的計測原理を説明する。とくに、計測システムの構成に必要な光学要素と光路の幾何学、及び、光伝搬時間の大小に基づく距離計測の光飛行時間補正の必要性を述べる。実際にプリズムを格納する筒状光学系を距離計に組み込み、筒を回転させるセンサの構成を明らかにする。

第3章では、面法線計測センサの精度確認実験及び精度向上法について述べる。まず、実験環境の明るさや平面状物体の傾きを変えた実験により、距離の増大とともに法線計測精度が劣ることを確認する。平行性が崩れる照射光では距離とともにビームシフト量が増大するが、ビームシフト量の補正により、精度を改善できることを示す。曲面状物体についても同様な実験と考察を行う。

第4章では、光学素子の配置誤差に起因する計測誤差解析と精度向上のための指針について述べる。照射点のシフト量は距離に応じ補正することで改善できるが、補正量は小さいのが望ましい。そこで、ビームシフト光学系に加工組立時のずれが存在することを想定して、距離計測及び法線計測の誤差を解

析し、定量的に評価した。その結果、第1プリズムに対する第2プリズム配置の回転ずれの影響が大であること、また、このずれの影響により平行性を失う照射光は、距離増加に伴い照射位置ずれを大きくし、その結果、面法線計測誤差を大きくすることを明らかにした。このことは、2枚のプリズムの光軸上への平行配置とその間隔を正確にすることが光学系設計上極めて重要なことを示す。

第5章では、移動ロボットのための階段認識への応用について述べる。階段配置の認識には、CCDカメラ、3次元レンジファインダを用いる種々の方法が考えられるが、移動するロボットには、計算負荷の少ない簡単な構成の計測法が望まれる。そこで、面法線計測センサを適用し、ロボットの階段接近に伴う状況の変化から、階段の寸法と配置を算出する方法について検討した。まず、距離計使用上の注意点を指摘する。その後、面法線計測センサによる認識の手続きを明らかにする。電動スライダとモデル階段を使った実験結果から、ロボット用階段認識の手段として有効なことを示す。

第6章は、埋設管先曲折方向の識別について述べる。地面や壁に埋設された配管に異常が発生する場合の修理は、大がかりな作業になることが多い。そこで、本研究成果の応用として非接触で遠方に突き当たる管壁の傾きを検出し、修理に役立つ配管レイアウトを調べ出すことを検討した。具体的に、水道管先にあるエルボの取付け角度の計測について、シミュレーションによる計測値の推定、認識実験の結果、及びセンサの設置ずれが計測結果に及ぼす影響について述べる。そして、提案する面法線計測センサが埋設管先曲折方向の識別に有効なことを示す。

第7章は、全体を総括し、今後の課題及び展望について述べる。

## 審査結果の要旨

本論文の成果は、一对のウェッジプリズムと距離計を用いる面法線計測センサの提案と有効性の実証にある。とくに、光学部品の加工や構成部品の組立てにおいて注意すべき事柄を誤差解析によって明らかにしたことはこの種のセンサの今後の展開に非常に有益である。また、ビームシフト量可変制御による局部形状認識への応用、距離計への制御系統合による計測時間の短縮等にも有用である。

さらに、提案された計測技術は、物体の振れ、ずれ、延び、曲がり、縮み、等の検出に応用して内部の応力変化を非接触で検出することに応用できる。トンネル内壁の歪み等の検出にも応用の道を開く可能性がある。また、光ビームの直線性を活かして配管先ジョイント部の曲がり方向を知る手段としても役立つ。例えば、工場の敷地には、各種の油や水、ガス等を搬送するパイプが配りめぐらされ、日常の運転において事故を未然に防ぐ管理が十分に施されている。このため、配管のレイアウトは重要な資料として保管され、老朽化した部分の検査や修理、取替も比較的容易な体制にある。一般家庭においても、規模こそ異なるが、各種のパイプが配りめぐらされていることは同様である。しかし、敷設後の管理は一般的によいとは言えず、レイアウトを記す資料を保管する家庭は少ない。また、工場とは異なり、家の美観を損なわぬよう地中や壁内に配管を埋めることが多い。そして、搬送物の漏れやパイプ内の堆積物等に原因する異常が発生する場合の修理は、土を掘り起こしたり壁を剥がすという大がかりな作業になることが多い。提案された技術はこのような場合に、直接手で触れられる箇所のパイプを利用して、修理、修繕に役立つ配管レイアウトを調べ出すことに有効となる。実際に、遠方で突き当たる管壁(エルボ)の傾きを検出することで水道管が地中のどの深さでどちらの方向に曲がるかの埋設状態を調べる技術として役に立つ。移動ロボットに必要な階段の認識等はそれが平面で構成される特徴から利用効果が大と考えられる。

得られた成果は、上記のように対象物の表面状態を非接触で簡単に観測/計測することを可能にし、外界状況の変化や異常の検知技術として寄与するところが大であると考えられる。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分であると認定した。