

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：82645

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K13902

研究課題名(和文)長さ制御によるワイヤ先端の自由自在な位置決め方法の確立

研究課題名(英文)Establishment of method for flexible positioning of wire tip with length control

研究代表者

大槻 真嗣(OTSUKI, Masatsugu)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教

研究者番号：50348827

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文):本研究では従来問題となっていたワイヤの長さの違いとその時間変化を利用,つまりワイヤの繰り出しの制御で,ワイヤ横振動の抑制,先端の位置制御,張力抜けの抑制を同時に実現する方を提案することを目的とした.数値計算により,ロープ横振動振幅と軸長さ変化に相関があることが確認され,コンセプトとしている軸送り出しによる二次元平面内の位置決め制御の可能性を得た.これらの結果から本制御方法は,地上でのエレベーターロープやクレーンロープの制御に応用できるだけでなく,軽量かつ柔軟なワイヤは宇宙構造物での使用に適しており,1本のワイヤで,広範囲に及ぶ科学観測,資源発見での活躍が期待できるということを改めて認識した.

研究成果の概要(英文):In this research, we aimed to propose the method to simultaneously realize wire lateral vibration suppression, tip position control, and suppression of tension loss only by controlling the length of the wire. Through the numerical calculations, we confirmed that there is a correlation between the wire lateral vibration amplitude and the axial length change; hence, the possibility of the positioning control in the two-dimensional plane by the axial feed as the concept was obtained. From the above-mentioned results, this control method can be applied not only to the control of the elevator rope and the crane wire on the ground, but also the lightweight and flexible wire is suitable for use in the space structure. And we also could expect to be active in scientific observation and resource discovery.

研究分野:制御工学

キーワード:長さ変化する弦 固有振動数 運動と振動の制御 ワイヤ

1. 研究開始当初の背景

弦，ワイヤ，ロープ，糸（今後“ワイヤ”で用語を統一），扱いが難しい道具であるが，一方で柔軟性があるため収納がコンパクトにでき，様々な用途で利用されている．地上ではエレベーターロープ，クレーン，搬送機械，工作機械，吊り橋等様々な機械に活用されており，宇宙開発においてもスカイクレーンと呼ばれる惑星着陸装置，テザー衛星，展開構造物等で利用されている．今後も，ワイヤ付投てき装置，太陽光発電設備の送電線，構造物組立ロボット，惑星表面の穴や丘などの極限環境探査，地球軌道上において人が船外で移動するための支援装置，小惑星捕獲のための補助装置などへの応用が考えられている．

一方，様々な問題があることも認識されており，特に横振動をどのようにして抑えるかが重要である．また，クレーンやエレベーターロープでは長周期地震や風との共振現象により運航停止やワイヤ切断が実際に発生している．その原因は長さ変化に伴い系の固有振動数が大幅に変動することで，外乱源と共振する条件が必ず存在するという避けざる課題を抱えているためである．ワイヤが短い状態で励起された振動が，エネルギーを保持したまま延長されると，ワイヤ長さの比の平方根に比例して，変位振幅が増えることがわかっている（図1参照）．また，ワイヤ材料の内部減衰が小さく，ほとんどが空気による粘性減衰に支配されていることから，自然に減衰を待つことは運用効率を著しく低下させるため，ワイヤ境界位置での減衰を持たせることが多い．しかしながら，ワイヤが長い状態で振動が起きる際に境界位置で減衰させるには限界があり，一時的にワイヤの中間地点などを障害物に衝突させて強制的に止めざるを得ない．さらに，外乱により張力が抜けているワイヤが揺らされることも問題であり，その場合は不可制御のため対策がさらに取り難い．

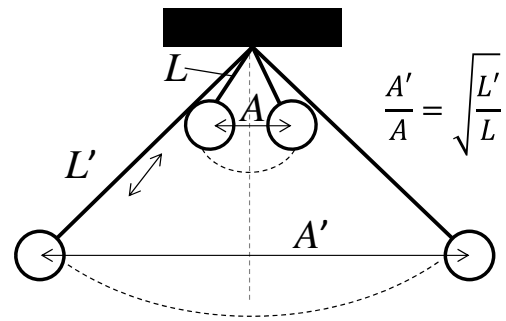


図1 ワイヤの長さの変位振幅の関係

これらの課題解決により，ワイヤを利用した様々な機器をより効率的かつ幅広く応用展開させることができるが，従来から横振動，先端位置，張力を統一的に制御する方法はない．著者らはエレベーターロープ，吊り下げ型ロボット，ワイヤ投てき型プローブ等の研究を通して，長さ変化するワイヤにおける個別課題に対する解決策の提案を行っている．

2. 研究の目的

そこで本研究では従来問題となっていたワイヤの長さの違いとその時間変化を利用，つまりワイヤの繰り出しの制御で，ワイヤ横振動の抑制，先端の位置制御，張力抜けの抑制を同時に実現する方策を提案することを目的とする．

3. 研究の方法

本研究提案は従来問題となっていたワイヤの長さ変化を利用して，ワイヤ横振動の抑制，先端の位置制御，張力抜けの抑制を同時に実現することを目指している．このワイヤの長さの違いとその時間変化の2つの制御量を入力として利用することが新しい考え方である．

図2(左)のように低周波振動(ワイヤ長:

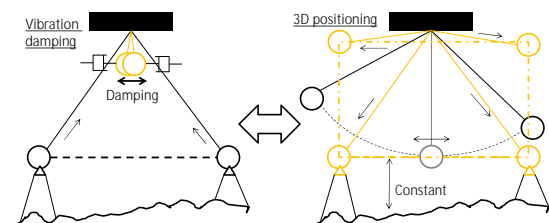


図2 長さ変化を利用した制御と位置決め

長)を高周波振動域(ワイヤ長:短)で減衰付加することで、振動を効率的に抑制する。

次に、図2(右)のように振動抑制用減衰装置を用いて運動初期に励振させ、高周波振動(ワイヤ長:短)から低周波振動(ワイヤ長:長)へ遷移させることで、新たなエネルギーの注入なしに変位振幅を増加させ、かつ軸方向の長さ変化制御を合わせて平面内位置を決める。ただし、動的にはいずれの点にも到達させることができるが、到達速度を0とするためには、変位振幅を調節し振幅最大点が任意の位置となるようにする。

また、振り子運動が基本となるため、動作周期を固有周期より早くさせることが難しいことが課題になると考えられ、これには、高周波振動(ワイヤ長:短)を利用して、長さを縮めては伸ばすことを繰り返し、つまり、一度ワイヤ長が短い状態を経由することで、固有周期よりも早い位置決めを特定のケースで実現させる。この方法は、中間状態も制約する場合やロープ長さが短いときの位置決めには適用が難しいと感じるが、効率を無視すれば励振装置を用いて個別に制御することが可能である。

最後に、ワイヤ先に取り付けられたエンドエフェクタの移動速度を超えることだけでなく、ワイヤの繰り出し加速度が重力加速度を超えないように軸方向への長さ変化の加減速度を調節することが本制御では肝要である。一方、繰り出し時間を最小化したいなどの要求があるため、最大速度に滑らかに遷移して、重力加速度を超えないように最適化された加速度履歴を設計する必要がある。重力方向以外へ繰り出す場合には、エンドエフェクタの繰り出し速度を超えないようにワイヤも繰り出す必要がある。

4. 研究成果

数値計算により、長さが短い状態で境界を変位させて運動エネルギーを入力し、その後軸方向送りの制御のみにより二次元平面内におけるワイヤ先端位置の平面内でのフィードフォワード制御ができることを確認した(図3参照)。この数値計算では、ワイヤを長さ変化する有限要素に離散化し、上端制御、下端非拘束の条件下で解いている。この結果から、ロープ横振動振幅と軸長さ変化に相関があることが確認され、コンセプトとしている軸送り出しによる二次元平面内の位置決め制御の可能性を得た。また、実験による基礎検討から、制御入力装置の制約により、変位量と応答速度、いずれが実現できる装置であるかに応じて制御する方式が変わることを認識した。ただし、十分な実験数が得られていないため、定量的な位置決めができるかどうかは確認できていない。これらの結果から本制御方法は、地上でのエレベーターロープやクレーンロープの制御に応用できるだけでなく、軽量かつ柔軟なワイヤは宇宙構造物での使用に適しており、1本のワイヤで、広範囲に及ぶ科学観測、資源発見での活躍が期待できるということを改めて認識した。特に、近年、月惑星表面で発見された縦孔等へワイヤを利用して観測機器を降下させる際に、本研究の成果は活用できると考えられる。

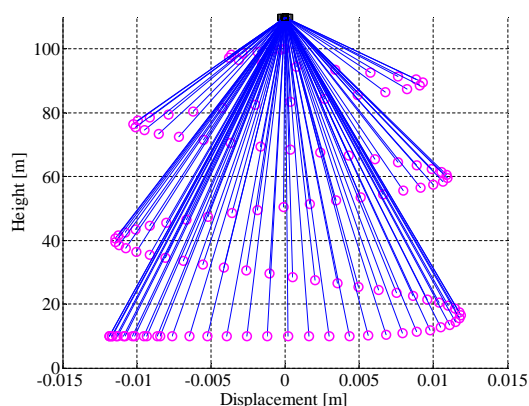


図3 初期のエネルギー入力での先端位置決め

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 1 件)

大槻真嗣，長さ制御によるワイヤ先端の位置
決め方法の提案，第 16 回計測自動制御学会
システムインテグレーション部門講演会論
文集，名古屋，2015

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大槻真嗣 (OTSUKI, Masatsugu)

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機
構・宇宙科学研究所・助教

研究者番号：50348827