

プロジェクト名：テザーで連結された遠隔駆動装置による 移動型広域作業システム

プロジェクト代表者：程島 竜一（理工学研究科・助教）

1. はじめに

軽量で収納性に優れている特長から、テザーシステムは有望な遠隔駆動システムとして多くの研究がなされている[1, 2]。しかし、従来の遠隔駆動システムは固定基部から繰り出すテザーにより操作対象を制御するため、作業機の作業環境が限定される。そこで本研究では、テザー遠隔駆動システムと不整地走行車両システムを統合することにより、これまでにない移動型広域作業システムを提案する。本稿では、作業機のテザー遠隔駆動システムに着目し、実験とシミュレーションを行ったので、その結果を報告する。

2. 移動型広域作業システム の概念

本研究で提案する移動型広域作業システムを Fig.1 に示す。本システムでは平行して走行する 2 台の車両をテザー基部として、車両間に張ったテザーにより作業機を駆動する方式を導入することで、作業機の作業環境を著しく拡大させるものである。

Fig.2 に示す従来のテザー遠隔駆動システムでは、対向するウィンチからのテザーにより操作対象を制御していたため、逆方向のテザー張力が常に操作対象に加わり作業機が振動しやすい。また、あるテザーに関する張力と繰出速度が逆向きとなるため、負のエネルギーが発生しエネルギー効率が悪化する問題があった。

そこで Fig.3 に示すように、提案するシステムでは操作対象である作業機を車両間にループ状に張った 2 本のテザー A、B により駆動することとした。テザー A はウィンチ A から対向する車両のプーリを介して作業機に連結し、テザー B はウィンチ B から直接作業機に連結する。さらに、2 つのウィンチ A、B を同軸上に配置し、ウィンチ間にクラッチ機構を設け、ウィンチ駆動軸が分離・連結可能な構成とした。これにより本システムは、作業環境が荒地の場合には、駆動軸を分離して作業機が上下左右に自由に移動できる作業性を重視した二自由度システム、作業環境が平地の場合には、ウィンチの駆動軸を連結し 2 本のテザーを擬似的に 1 本のループ状テザーとすることで、負のエネルギーの発生を抑制したエネルギー効率の高い一自由度システム、を選択的に構成することが可能である。また作業機を 4 点で支持することで安定性の向上にもなることが期待できる。

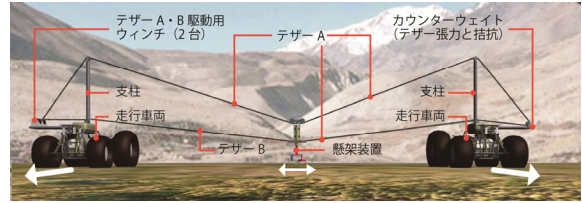


Fig.1 Concept of mobile system for wide-area work

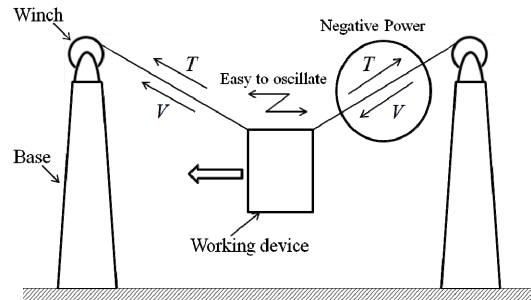


Fig.2 Problems of conventional tethered system

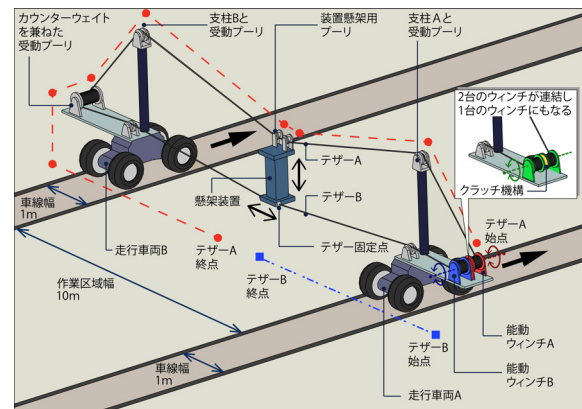


Fig.3 Configuration of proposed mobile system

3. テザー遠隔駆動システムの運動学解析

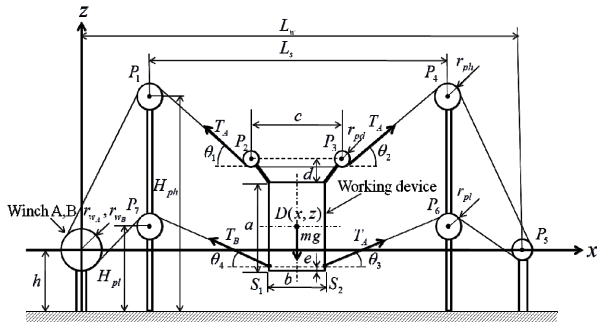
本節ではテザー遠隔駆動システムに着目し、運動学的な特性を明らかにする。そこで Fig.4 に示すように本システムの運動学モデルを作成した。今回は、作業機の姿勢変化は微小とし、テザー A、B の張力および角度 θ は常に正、各プーリ、ウィンチの半径は支柱間距離に対して微小であるとした。

まず遠隔駆動システムの逆運動学解を求めた。その結果を式(1)、(2)に示す。

$$L_A(x, z) = P_1 P_2(x, z) + P_3 P_4(x, z) + P_6 S_2(x, z) \quad (1)$$

$$L_B(x, z) = P_7 S_1(x, z) \quad (2)$$

これらの得られた解は各テザー長さおよび作業機位置の関係式である。また、式(1)、(2)の $P_1 P_2(x, z)$ 、 $P_3 P_4(x, z)$ 、 $P_6 S_2(x, z)$ 、 $P_7 S_1(x, z)$ は幾何学的関係から容易に求めることが可能である。



L_w : ウィンチA,Bとプーリ P_2 の中心間距離
 L_s : 支柱間距離
 H_{ph} : 車体からプーリ P_1, P_2 の中心までの高さ
 H_{pl} : 車体からプーリ P_3, P_4 の中心までの高さ
 h : ウィンチA,Bとプーリ P_2 の中心までの高さ
 a : 作業装置の高さ
 b : 作業装置の幅
 c : プーリ P_1, P_2 の中心間距離
 d : プーリ P_3, P_4 の中心間距離
 e : 装置上部からテザーの取り付け位置までの距離
 r_{ph} : プーリ P_1, P_2 の半径
 r_{pl} : プーリ P_3, P_4 の半径
 r_{pd} : プーリ P_2, P_4 の半径
 m : 作業装置の質量
 $D(x, z)$: 作業装置の重心位置

Fig.4 Kinematics model of proposed tethered system

次に本システムにおける、ウィンチのトルクと作業機位置の関係を解析したその結果を Fig.5 に示す。解析の結果、ウィンチ A のトルクは車両間中央に対して対称的になること、ウィンチ B のトルクは遠方では減少する傾向が判明した。

4. テザー遠隔駆動システムの基礎検証実験

4.1 実験装置の製作

運動学モデルの妥当性を検証するため、逆運動学解の検証実験を行った。まず実験を行うため、テザー遠隔駆動システムの実験装置を製作した。Fig.6 に製作した実験装置を示す。実験装置は、2 台のウィンチ、大プーリ、テザーを支持する 2 本の支柱、車両胴体を模擬したフレーム、テザーを導く小プーリ、模擬作業機で構成することとした。なお今回製作した実験装置は実機のスケールモデルを想定し、支柱間の距離を 2.2[m]、支柱高さを 1[m]、に設定した。また作業機の重量を約 1[kg]としている。

またテザーシステムの仕様として、人間の歩行速度と同程度で移動できることを目標と、ウィンチに必要なトルク、回転数をそれぞれ 0.737[Nm]、356[rpm]と設計した。そしてウィンチを駆動するモータとして、マクソンモータ社製の DC モータ RE30 と GP32A ギアヘッド（減速比 2:1）選定した。

4.2 逆運動学の検証実験

作業機の高さ（z 座標）を固定し、水平方向（x 方向）へ作業機の移動実験を行った。テザー長さは高速度カメラにより測定し、計算値と比較した。実験結果を Fig.7 に示す。実験結果によりテザー A、B ともに測定値と計算値がほぼ一致していることが確認できた。また測定値と計算値の最大誤差は、テザー A は 2.6[%]、テザー B は 2.2[%]であり、良好な結果が得られた。誤差の主な要因は、モデル化誤差とテザーの張力制御が不十分であったためだと考えている。今後は張力制御システムの改善により更なる精度向上を目指す予定である。

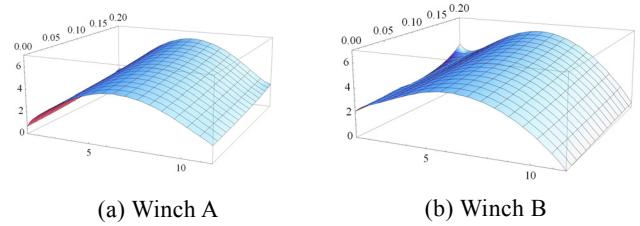


Fig. 5 Relationship between work device position and torque of each winch



Fig.6 Experimental setup of tethered system

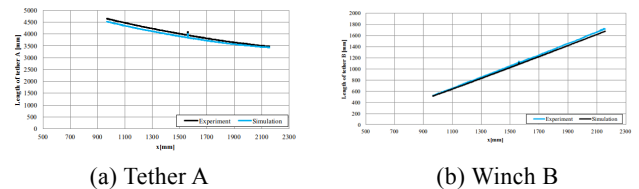


Fig.7 Relationship between work device position and tether length of each winch

5. おわりに

本研究では、テザーによる作業機の遠隔駆動システムと不整地走行車両システムを統合した、移動型広域作業システムを提案した。まず、テザー遠隔駆動システムに着目し、運動学モデルを作成して逆運動学および静力学の解析を行った。次に、テザー遠隔駆動システムの実験装置を製作し検証実験を行い、作業機の移動性能を確認した。本研究により提案するテザー遠隔駆動システムの有効性の一端が確認でき、以降の研究への見通しを立てることができた。今後は、システム全体の動力学特性の解明、テザーの振動抑制制御等について取り組み、全体システムの実現を図っていく予定である。

参考文献

- [1] 大隅久，新井民夫，浅間一，“3本のワイヤを有する7自由度クレーンの開発(第1報)”，精密工学会誌，Vol.59，No.5，1993.
- [2] 川村貞夫，崔源，田中訓，木野仁“パラレルワイヤ駆動方式を用いた超高速ロボット FALCON の開発”，日本ロボット学会誌，Vol.15，No.1，pp.82-89，1997.