

8. ロボットによる通信ケーブル敷設システム

三浦洋靖・奥川雅之

1. はじめに

トンネルや橋梁などの社会インフラ構造物は、我々の日常生活において重要な役割を担っている。これら社会インフラの崩壊や機能不全は社会や人命に大きな影響を及ぼすことから、災害発生後の迅速な調査による被害状況把握および早期復旧だけでなく、適切な頻度での定期点検の実施など、インフラ設備の維持管理による事前防災／減災が望まれている。日本では、2014年から国土交通省と経済産業省が連携し、社会インフラ構造物に対するロボット技術応用を推進する研究開発プロジェクトとして、「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入」が始まっている¹⁾。



図1. 社会インフラ災害

また、現在日本各地に防空壕や廃鉱などの特殊地下壕が多く残されている。これら地下壕では、崩落や陥没の危険があることから、国や自治体が主体となり地下空間を埋め戻すなどの対策が進められている²⁾。しかし、このような特殊地下壕は、地図などが存在していないことが多く、地下空間を埋め戻すためには、その規模を把握することが求められる。一方で、特殊地下壕は、その特殊事情から、産業炭鉱と異なり柔らかい地盤に作られていることが多く、天井や壁面が崩れやすいことから、地下空間内部の調査には危険を伴うという問題がある。このため、遠隔地から安全に地下空間内部を調査できる遠隔操作ロボット調査システムの活用が期待されている³⁾。



図2. 垂炭鉱坑道内部

2. 研究課題

災害現場や特殊地下壕などの危険を伴う場所でロボットによる調査を行う場合、調査者の二次災害の危険性を避けることが重要であり、そのためには、安全な遠隔地からの操作が有効である。このような現場において安定した高品質な長距離通信用ローカルエリアネットワークを迅速に構築問題に対して、本研究では、「群ロボットによる長距離通信インフラ構築の実現」を技術課題として問題の解決を目指している。

2.1 長距離通信インフラ構築における従来手法の動向

トンネルや地下街のような長距離閉鎖空間内における通信インフラ構築問題に対して、大型指向性アンテナを使用した可搬型長距離無線システムや無線アドホックネットワークシステム⁴⁾、羽田らが提案している有線と無線のハイブリッド通信システム⁵⁾など、いくつかの手法が提案されている。しかし、これらの手法では、無線LANの多数連携によるホッピング問題や、一度設置した通信ノードにより調査範囲が制約され、想定外の状況や未知の環境への柔軟な対応に対して問題がある。未知の環境調査における長距離通信インフラには、調査環境（電波状況、距離）に対する頑健性、耐障害性、そして適応性を有していることが望まれる。

2.2 コンセプト

本研究では、図3に示すように、ケーブルオートリールを搭載した群ロボットにより有線LANケーブルの敷設を行うとともに、無線アドホックネットワークを併用することでハイブリッド通信ネットワークを構築することを目的としている。ロボット群により通信ネットワークの中継ノード（無線LANアクセスポイントに相当）を構成することで、通信状況に応じて中継ノードを移動することができ、これにより、通信環境の最適化や通信障害に対するネットワーク環境の動的かつ適応的な再構築を可能にし、通信品質の頑健性、耐障害性、さらには適応性を実現できることを特徴としている。

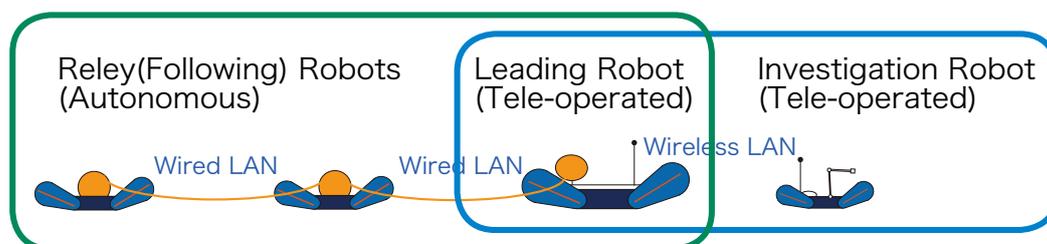


図3. 群ロボット通信システム

2.3 群ロボットによるケーブル敷設の課題

本研究における群ロボットによるケーブル敷設では、図4に示すように複数のロボットにケーブルリールを搭載し、先頭の遠隔操作ロボットに後続の自律追従ロボットが隊列走行しながら遠隔操作エリアに近い方から順次

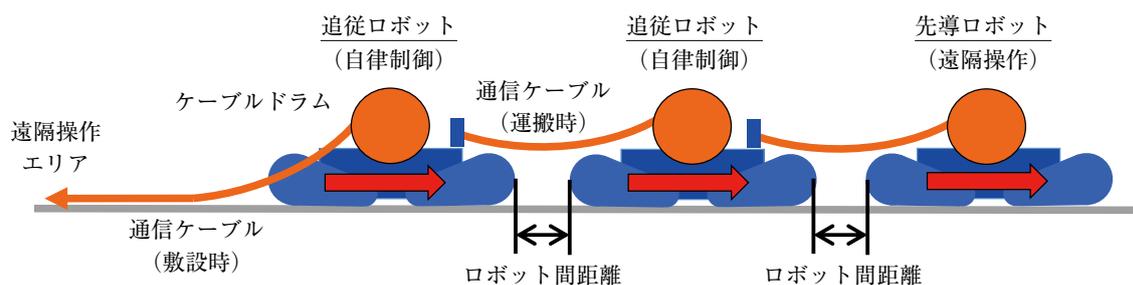


図4. 群ロボットケーブル敷設イメージ

ケーブルを送出することでケーブルを敷設していく。本研究では、「ケーブルにダメージを与えずに運搬、移動する」「少人数でケーブルを敷設する」「敷設後にケーブルを再配置する」を目標とし、これらを実現するための技術課題として以下を設定した。本年度は、この中から「ケーブルオートリール装置の開発」を行った。

- ケーブルオートリール装置
 - ・ケーブルリール装置とテンション装置の開発
 - ・張力によるケーブル送出/巻取制御
- 自律追従制御およびロボット間相対位置把握

3. ケーブルオートリール装置の開発

3.1 オートリール装置の課題

ケーブルオートリール開発における目的は「ケーブルをスムーズに送り出す」「ケーブルを整列して巻き取る」「ケーブルに生じる過度な張力を緩和する」である。従来手法では、ロボットの移動量によりケーブルドラムの回転を制御していた。この場合、ロボットの走行滑り、路面の凹凸や起伏により、ケーブルに過度の張力が生じてしまうことや、巻取時に緩みが生じケーブルが絡まってしまうなどの問題があった。これに対して、本研究で

は、ケーブル張力によりドラム回転を制御することで問題の解決を試みている。これら解決手法の技術課題を整理すると「ケーブル整列機構の開発」「ケーブル張力の把握」となる。

3.2 オートリール装置設計

3.2.1 理論式導出

ケーブル整列アームの揺動角度 θ_1 は、ドラム幅DW、アーム長さ L_A を用いて以下のように表すことができる。

$$\theta_1 = \sin^{-1} \frac{DW}{2L_A}$$

一方、アーム長さは、巻取角度 θ_2 、ドラム中心高さT、ドラム芯径rを用いて以下のように表すことができる。

$$L_A = L - \frac{T r \cos \theta_2}{\tan \theta_2} + r \cos \theta_2$$

各パラメータの関係を図5に示す。

巻取時のケーブル負荷を抑えるには、上記 θ_1 および θ_2 が小さいこと望ましいが、これらは L_A に対してトレードオフの関係にある。

上記の2つの式から L_A の最適値を求め、アーム長さを135mmとした。

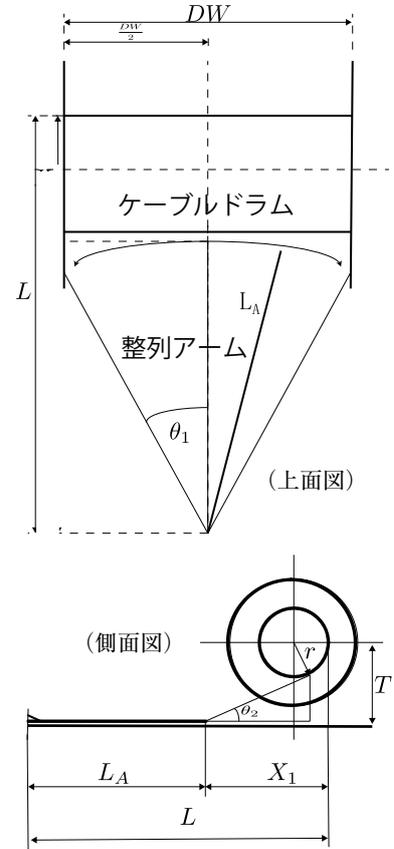


図5. ケーブルドラムとアーム関係図

3.2.2 オートリール装置の製作

今回、製作したオートリール装置を図6に示す。

オートリール装置は、ケーブルの送出/巻取を行う「ケーブルドラム機構」、整列巻きのためにケーブルを左右に揺動する「ケーブル揺動機構」、ケーブル張力の緩和と測定を行う「テンシヨナ機構」で構成している。テンシヨナ機構では、過度なケーブル張力を緩和するために板バネを設けている。さらに、ケーブル張力をテンシヨナのレバー角度により数値化するために、ポテンシヨメータを内蔵している。

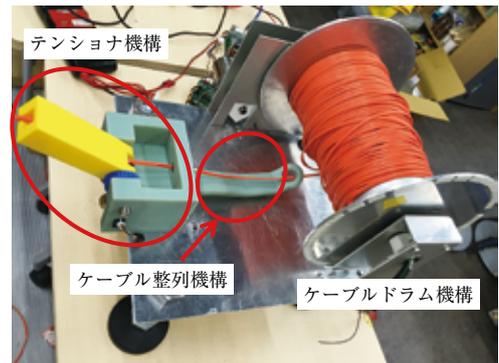


図6. ケーブルオートリール装置

4. 評価実験

開発したオートリール装置にて、光ファイバケーブルの巻取実験を行った結果、ケーブル揺動機構により、ケーブルを整列させて巻き取ることができることを確認した。ケーブル巻取状況を図7に示す。また、テンシヨナ機構の板バネにより、ケーブルの過度な張力を緩和すると共に、ケーブル張力を数値として取得できることを確認した。ケーブル張力取得結果を図8に示す。

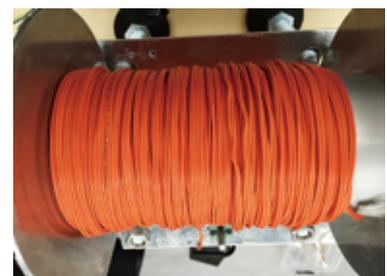


図7. ケーブル巻取状況

5. まとめ

今回、開発したオートリール装置を用いて、ケーブル巻取およびケーブル張力の数値取得を行うことができた。今後は、これらの機能を用いてケーブル張力によるドラム回転制御を進めていく予定である。

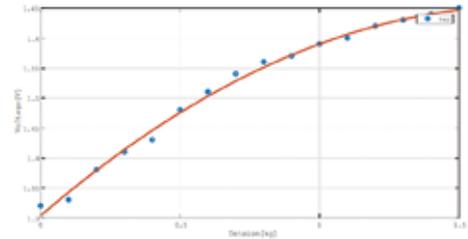


図8. ケーブル張力測定結果

参考文献

- 1) 次世代社会インフラ用ロボット技術・ロボットシステム ～現場実証ポータルサイト～、<http://c-robotech.info/> (最終閲覧日：2015年6月22日)
- 2) 都市防災:平成25年度特殊地下壕実態調査結果について、http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_fr_000015.html (最終閲覧日：2017年3月4日)
- 3) 久間英樹、皆尾登志美、福岡久雄、内村和弘、箕田充志、石原恵利子：世界遺産「石見銀山」探査ロボットの開発と調査、日本ロボット学会誌、Vol.26、No.6、pp.599-605、2008.
- 4) G. A. Kantor, et al., Distributed Search and Rescue with Robot and Sensor Teams : Field and Service Robotics:Recent Advances in Research and Applications, Springer, pp.529-538、2006.
- 5) 羽田他4名：災害対応探索ロボット群の長距離遠隔操縦のための有線・無線統合型アドホックネットワーク、情報処理学会論文誌、Vol.51、No.4、pp.1204-1214、2010.