

### 第3章

地球と月は片道2s!  
遠隔の建設から医療まで期待される

## ガチなりリモート操作のキモ! ネットワーク遅延の補償制御

内村 裕 Yutaka Uchimura

#### 月に人が滞在するための拠点を 建設するには

月面では健康に影響を及ぼす可能性のある宇宙放射線量が地球の表面に比べ格段に高いため、長期間の建設作業を有人で行うことは難しくなります。このため建設作業の自動化が望まれますが、未知の環境下での高度な判断が必要なケースでは、地上から施工機械を遠隔操作することが必要となります。

地球と月の距離は約38万kmです。光の速度が30万km/sなので、月と地球の間で通信を行うと、少なくとも片道1秒強の伝送遅延が生じます。実際のネットワーク通信では、ローミング(通信の中継)におけるバッファリング、データのエンコード・デコード処理、バケット・ロス時の再送などで遅延量が増大するだけでなく、遅延時間が変動する要因となります。JAXAによる想定では通信遅延を3~8秒としています。

遠隔地の施工機械を操縦する場合、仮に遅延が片道2秒(往復4秒)だったとしても、遠隔地の映像は2秒前の映像であると同時に、オペレータの操縦指令は2秒後に遠隔地に届くこととなります。遠隔地の運搬用の施工機械を操縦することを想定した場合、30km/hでは往復4秒の遅延の間に約33mも進んでしまいます。これでは前方に障害物があっても避けることが難しくなります(人が歩く速度の4km/hでも4.4m進んでしまう)。通信遅延下での遠隔操作では、遠隔側の状況把握、指令の伝達ともに遅れる結果、対応が常に後手となり、想定通りの操作が難しくなります。

芝浦工業大学、鹿島建設、JAXAは、建設環境に適應する自律遠隔施工技術の開発というテーマで、次世代施工システムの宇宙適用について共同研究を行っています。

この研究開発では、月に人が滞在するための拠点の建設を目指しています。

本稿では、遠隔地との通信に遅延のある遠隔操作の制御について、モデルベースの予測制御の実装例を解説します。

#### 月との片道2sの通信遅延を 補償する制御

##### ● 通信遅延による問題

遠隔操作による通信遅延が引き起こす問題の具体例を図1に示します。図の右側が遠隔側(月面)、左側がオペレータ側(地球)で、オペレータは遠隔側の映像などの情報を見ながら図のA地点で左折する予定で運転する場合を想定します。

遠隔側の車が地点Aの手前に差し掛かったとき、本来なら左折の操作を始めるべきなのですが、片道2秒の通信遅延がある場合、その情報は2秒後にオペレータ側に届きます。よってオペレータは、車はまだA地点の手前のB地点にいると誤認してしまいます。さらに車が進んで、オペレータ側の画面でA地点に到達した際に行う左折の操作は、さらに2秒遅れて遠隔側の車に届くので、本来左折する予定だったA地点を大きく通り越したC地点で左折することになります。C地点に障害物が存在したら危険な状況になりかねません。

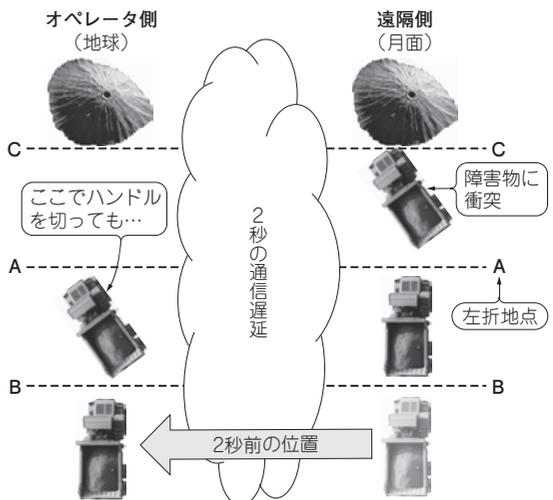


図1 地球と月は片道2s...リモート操作は通信遅延があるとメチャメチャ難しくなる問題  
通信遅延2秒でA地点で左折する場合