

第28回衛星設計コンテスト アイデアの部 ミッション概要説明書

1. 作品情報・応募者情報

作品名（20文字以内）

今の月面もうあきた ALPS 式探査

副題（自由記入）

オフライン状態でも利用可能な位置認識システムの提案

学校名

秋田大学 衛星打上プロジェクト (ALPS)

2. ミッションの概要（プレスリリース等で使用するので、200字程度でわかりやすく表現して下さい。）

将来月面利用がより活発になれば、行動範囲も広がり現在位置の認識がより重要となると考えられる。それに伴い、現在位置認識の精度や基地局との通信が途切れるリスクへの対応が必要になっていくと考えられる。そこで月面上任意の位置に情報を伝えることの出来るコードを設置しておき、そのコードを通信が途絶した探査機や人が認識することにより、オフライン状態で位置情報を取得することが出来るシステムの構築、およびコードを設置するローバーの機構を提案する。

3. ミッションの目的と意義（目的・重要性・技術的／社会的意義等）

(a) 目的

近年月面利用の計画が多くされており、今後より広範囲での月面探査が行われていくと予想される。これに伴い、探査機または宇宙飛行士が月面での活動中に基地局とオフラインの状態に陥ること、現在位置を見失いミッション遂行が困難になるリスクが増加すると考えられる。月面で活動する上で安全であること、リスクに対する対処法が確立されていることは重要であると言える。また、通信が途絶えた際に対象物が自力で基地局まで戻ること、対象物を回収することは困難である。そこで我々は、オフライン環境を前提とした復旧システムが必要であると考えた。本ミッションでは、事前に月面の任意の位置にコードを設置し、その情報を認識することによって自分の現在位置を判定するシステムを構築することを目的としている。また、設置したコードは長期に渡って使用可能である。

(b) 重要性・技術的、社会的意義等

本システムは、近い将来に計画される、より広範囲の月面探査の補助を想定している。広範囲の活動ともなれば、どんな探査機や宇宙飛行士でも、基地や管制室との通信が途切れる可能性は低いにしてもゼロでない。そのためこのような状況へ陥った時の対策は必要であることは明らかである。今回提案するシステムでは、月面に直接スタンプを押していく方式のため、地球から送る物資を大きく削減することができる。また、オフライン状態でも多くの情報を与えることができる上に、周辺の状態も月周回衛星などで観察すれば情報をさらに加えることができる。そしてこの情報は老化することなく常に最新なものであるから、通信が途絶えてしまったものにとっては有益である。また、このシステムは、探査機などがある程度の画像処理能力を有すれば利用可のであり、探査機はミッション開始前に所有する情報を更新するだけでよい。そのため条件を満たせば今後開発される探査機のほとんどがこのシステムを利用でき、半永久的に存在し続けるこのシステムは大きく役立てられる時が必ず来ると考える。

4. ミッションの具体的な内容

(a) システム（地上局やミッション機器等を含む全体の構成・機能・軌道・データ取得を含む運用手順等、必要に応じて図表添付のこと）

何らかの要因により基地や管制室との通信不可能となった場合でも、探査機や宇宙飛行士は自分の

位置情報を正確に読み取り，月面で安全に活動する必要がある．そこで我々は，月面上の任意の位置にコードを設置し，探査機や宇宙飛行士に対して位置情報など月面で安全に活動するために最低限必要な情報を提供するシステムを提案する．このシステムに必要なものは，月面で位置情報を伝えるコードとそれらのコード全ての最新情報を管理するデータベースのみある．探査機や宇宙飛行士は，あくまでそのコードを読み取る手段と上記データベースがインストールされた電子端末やコードの位置が記載された地図など，オフラインでも使用可能なデータベースを準備するだけで良い．以下，図1に本システムの概要図を示す．



図1 本システムの概要図

月面上の任意の位置にコードを配置する．探査機や宇宙飛行士はコードを設置する探査機の車輪により形成される轍を手掛かりにコードの位置まで移動する．移動後は月面にスタンプされたコードからオフラインでも使用可能なデータベースと照らし合わせて現在地を特定し，適切な行動を行うための参考とすることができる．

また，コードの設置の一案としてスタンプ機構を提案しており，コードの数字を切り替える手段として，カウンター(図2：手持ち数取器)の機構を再現することで単純構造となるようにしている．



図2 手持ち数取器(モノタロウより)

(b) 具体的な実現方法，もしくは実現のために必要な課題・開発すべき項目

具体的な実現方法

本システムを構築する機構は、他の着陸船への相乗りや、探査機の余剰能力を用いたサブミッションなどさまざまな形でのコードの設置を想定し、より小型なものとすることでその実現性を高めている。本システムは、月面開発の発展とともにその範囲を広げ、位置情報の提供は、これの代替策が講じるまでの運用とする。

課題・開発すべき項目

問題はコードを設置するローバーが目的地まで正確に移動できるかどうかである。ローバーが登録するコードは、このシステムを利用する探査機や宇宙飛行士が安全な探査が行える程度の正確さを前提としている。

本システムの構築にあたって提案する一案における課題と開発すべき項目を以下に示す。

- ・コードの設置能力

今後の探査活動の範囲をカバーする必要があるため、それにあった移動能力を開発しなければならない。

- ・コードの位置精度

任意の位置に正確にコードを設置する必要があるため、目的地まで正確に移動する手段を開発しなければならない。

- ・コードの設置手段

月面のあらゆる地形に正確にコードを残す必要があるため、常に一様にスタンプできる機構を提案している。

本システムを利用にあたっての課題と開発すべき項目を以下に示す。

- ・位置情報の認識方法

コードの取得後オフラインで位置情報を照会する必要がある。月面のコードから取得したデータを安全に利用でき、必要に応じて変更できるサービス。

- ・コードおよび轍の認識方法

各種機器用いて数字や記号などのコードを認識するシステム。夜間などの太陽光がない場合や凹凸がある場所でも正確に情報を取得できるサービスが必要となる。

5. 主張したい独創性や社会的効果

(a) 主張したい本ミッションの独創性

本システムの主な特徴は、以下の3点である。

1. 情報の取得法

広範囲で探査が行われる場合、通信トラブルは宇宙飛行士の生命や探査機のミッション遂行に関わる重大なトラブルにつながる可能性がある。このようなとき本システムを活用することで、オフライン環境下でも位置情報などの情報を取得することができる。

2. コードの設置法

本システムではコードの設置法として、スタンプ機構を用いて月の表層に直接コードを圧印する方法を提案している。この方法の場合、物資の輸送コストを低く抑えることができる。またコードの表現は、算用数字3桁の文字列で行うことで、多数の読み取り手に対して等しい理解が得られ、情報の正しい伝達につながる。

3. 利用可能期間

コードや轍は直接月面に設置(圧印)されており、外的要因によりそれらが消えるまで半永久的に利用し続けることができ、将来的には上位の位置情報システムのバックアップとして利用することも可能である。

(b) 得られる成果・波及効果・対象となる受け取り手

今回提案したシステムを用いることで、月面での最悪のケースと考えられる通信の途絶、すなわちオフライン状態に陥ったとしても探査機や宇宙飛行士は位置情報を手に入れることが可能となる。また、他のミッション遂行時に障害物を避けるための手がかりやオンライン状態に復旧するまでの行動の記録に役立つ。シンプルなコードであることから、受け取り手となる探査機や宇宙飛行士のミッションに応じて様々な利用方法があると考えている。加えて、今回のシステムは低コストでの実現が可能であり、将来的な月面開発に伴うインフラ構築において、有益かつロバストネスな資産となると考えられる。

第 28 回衛星設計コンテスト アイディアの部 ミッション解析書

今の月面もうあきた ALPS 式探査

秋田大学 衛星打上プロジェクト (ALPS)

◎谷田開 池田健将 及川大智 柏倉拓斗 寺師芽衣 吉元翔

1. ミッションの目的

本ミッションの目的は、月の広範囲にオフライン（宇宙飛行士や探査機が基地、管制室と通信できない状態）で利用可能な目印を設置である。古来から現代に至るまで、月は私たちの生活と強く結びつき、人々の関心の的であったのは言うまでもない。そして、月に関するミッションは時代の経過とともに数多く行われた。1960年代のNASAによるアポロ計画では、より多くの人が月の存在を感じたことだろう。アポロ計画以降人類は月に降り立ってはいないが、今後も月へ探求はされ続けられている。しかし、これまで月に着陸し、ミッションを行った探査機のほとんどが着陸ポイントから周囲数メートル程度の範囲における探査であった。そして、それらの多くが地球から見える範囲が対象となっており、いわゆる月の裏側の探査はまだ遠い存在となっている。しかしながら、現在、月周回衛星等のミッションが進行しており、今後の月の探査や研究は急速に加速いくと予想される。その結果、人類の月面における行動範囲が、今後飛躍的に拡大することは明らかである。そこで必然的に問題となるのは、通信である。特に、活動中に通信が途絶えてしまった場合、ミッションの遂行は格段に難しくなる。だからこそ、多くのミッションでは、細心の注意を払って通信が途絶えることの無いように対策される。しかしながら、そのような事態に陥らないとは断言できず、月ミッション中の宇宙飛行士に生じた場合には、人命にかかわ

る重大な問題となり得る。したがって、わずかな可能性ではあるが、オフライン状態に陥った場合の対策は必要である。そこで本ミッションでは、月の広範囲に目印となるコードを設置する。探査機や宇宙飛行士はこのコードを取得することで、オフライン環境においても、自身の判断のみで基地に帰還することが可能となる。また、オンライン状態に復帰次第、本システムとの相互関係の確認を行い、取得した情報に正当性が確認された場合は、その情報も用いて、活動の続行についての判断を行うことができる。

2. ミッション要求

本ミッションでは、月面の任意の位置にコードを設置し、オフライン状態でも自身の位置情報を取得できるシステムを構築する必要がある。また、このシステムは、月面開発の発展とともにその範囲を広げ、位置情報の提供は、これの代替策が講じるまでの運用とする。他のミッションとの兼ね合いから比較的小型軽量で単純構造かつ、どのような状況下でも確実に利用できることが求められる。設置するコードは、オフライン状態でも利用可能であり、コードから情報を取得する際に使用するデータベースは、常に最新の情報に更新したものを手持ちの端末等にダウンロードしているものとする。さらに、構築後は月面で活動するすべての探査機や宇宙飛行士が簡単に利用できるシステムとする。

3. システム概要

本システムは要求を満たすために、以下のようなシステムを提案する。実際に運用された場合の概要図を図1に示す。

- ・スタンプ機構を用いて月面にコードを設置。
- ・設置されたコードを画像処理を用いて判別(探査機など無人の場合)。
- ・コードをもとに月面での位置情報を取得
- ・月周回衛星等から仕入れた情報をもとに常に月面位置情報データベース(5.3.にて詳細を記す)の更新。



図1 本システムの概要図

4. 得られる成果・波及効果

本システムでは、探査機や宇宙飛行士が、ミッション遂行時に通信が途絶えた場合でも、基地に戻るための一つの手段を提供する。自身の轍を引き戻すことも一手だが、轍が交錯するといった複雑な移動をした場合、轍をたどった時に無限に回り続けたり、かえって迷ってしまうケースが想定

できる。一方で本システムは、情報を読み取りながら確実に戻ることができる。また、コードを読み取ることができれば、国や開発機関に関係なく全ての探査機や宇宙飛行士は情報を得ることができる。月面位置情報データベース(下記5.3.に示す)は、月周回衛星等で取得したデータを基に、周辺の状況等を加えた情報を常に更新した状態にすることでより有益なものとなる。また、本システムがあることで、オフライン状態に陥った場合でも、宇宙飛行士にとって安心感を与えることに繋がり、通常のミッションにおいてもより効率的な遂行を後押しできると考える。コードの設置に必要な物資は、設置手段(スタンプ機構)だけであり、地球から送る物資が少ないため輸送費の点において低コストでの実現が可能である。また、将来的な月面開発に伴うインフラ構築において、本システムは有益な資産となると考えられる。

5. システム構成

本システムは、探査機や宇宙飛行士に位置情報を伝えるために設置されるコードと、月面の位置情報等とコードを管理する月面位置情報データベースによって構成される。以下では、システム運用にあたって、コードを設置する機構(write)、探査機など無人でもコードに近づき情報を読み取る手段(read)、月面上の位置情報等とコードを管理する月面位置情報データベースの一案を提案する。

5.1. write

本システムでは月面に数字や記号などの設置するコードやその際、探査機の車輪により形成される轍を目印とする。このとき要求されるのは確実性である。月面には凹凸や斜面などのさまざまな地形が存在する。凹

凸のある地形において、コードや轍自体も起伏のある形状になることや、溝が浅くなってしまうことが考えられる。斜面などの地形においては、この目印が時間の経過に伴い消える可能性が考えられる。このため、データの読み取り時に間違った処理が実行されることが予想される。また、無人の探査機などがコードを読み取る際には、数字や記号を一様に残すことで、安定的な読み込みが可能になると考えられる。このようにあらゆる環境下で、一様の目印を確実に残すことは、本システムにおいて必要不可欠である。そのためコードを設置する機構は、上記のような事象に対応できるように開発する必要がある。以下に、本システムに対応した機構の一案を示す。

5.1.1. スタンプ機構

ここでは、月面にコードを設置する手段として、図2のような自動日付印(スタンプ)の構造を用いた機構を提案する。スタンプを用いた機構は、月面に押し当てることで任意のコードを常時一様に設置することができる。この機構は、非常にシンプルな構造で実現可能である。大気のない月面環境下においては外的要因がない限り半永久的に存在し続ける。それは、図3のようにNASAのアポロ計画で月面着陸したときの宇宙飛行士の足跡が確認されていることからわかる。さらに、図4のようにそれらの足跡や探査機の轍が現在でも衛星写真から確認されていることからわかる。また、位置情報システムに適応した数字を変える機構に図5のような手持ち数取器の構造を提案する。0~5の数字を用いて3桁のコードを表現し、最大216通りのコードを表現することができる。スタンプ機構にするにあたって、確実にコードを設置する手段として、図2のようなベルト式ではなく、多角形回転体の各面コードを表示することとする。使用する数字が0~5の理由としては、

回転体の大きさには限度があり、面が増えるにつれて表現できる算用数字のサイズが小さくなるためである。結果として、より小型な機構かつ読み取り手が確実に読み取れるコードのサイズを確保する必要があり、今回の提案する機構では6パターンとした。また、数字の6と9は読み取り手に誤解を与える可能性があるため、今回の機構ではそれらを除いた0~5を採用した。さらにこの機構は、回転体の軸を回転させるだけで文字変更が可能であり、構造が単純となるため、故障リスクの軽減につながる。コードを読み取るのは、人間・ローバーである。したがってこの2者が、すべて正しく認識できる大きさである必要がある。コードはローバーで打つことを前提としているが、万が一に人力でもコードを打つことを想定している。そこで、人でも容易に作業できるように、一文字当たり、縦400mm×横200mmの大きさとする。



図2 自動日付印(モノタロウより)

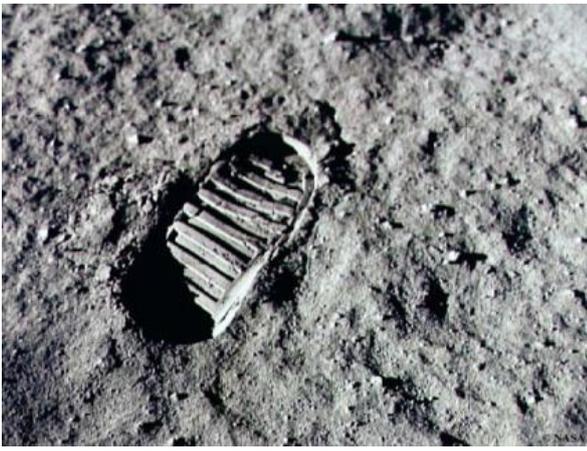


図3 アポロ11号ニール・アームストロング船長の足跡(JAXAより)

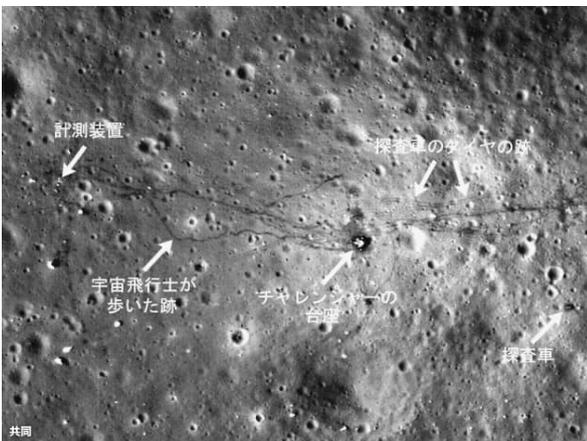


図4 NASAの月を周回する探査機「ルナー・リコネッサンス・オービター」(LRO)が撮影した月面(日本経済新聞より)



図5 手持ち数取器(モノタロウより)

5.1.2 コードの打つ位置・間隔

コードが使用される本システムの目的から、コードを打つ位置はコードが使用され

る時期において予想される行動範囲を網羅している必要があり、逆にそれ以上の広範囲に打つことは急務ではない。したがって、月面探査の進捗にあわせて範囲を広げながらコード打つこととする。打つ位置に関しては、轍を追跡することでコードを観測出来るため、正確な格子状にする必要はない。コードを残す位置は大きなレゴリスやクレーターを避けることで、作業効率を向上させる。また、直近に投下される予定のローバーの走行可能距離を基準として、コードの範囲と隣り合うコードの距離を定める。中心地を原点に直径が走行可能距離に等しい円を描き、それに内接する様な四角形をコードを残す範囲とする。走行可能距離を”R[m]”としたとき、となりあうコードの距離は、およそその $0.05 * R[m]$ ($\sqrt{2/26} * R$)となる。

5.2. read

コードの認識手段の一案には、AIによる画像認識が挙げられる。算用数字の認識は、現在すでにAIによって画像処理が頻繁に行われている。例えば、オープンソースのMNISTと呼ばれるグレースケール画像の教師データが存在しており、これを用いることなどができる。このシステムでは、月面に描かれた文字を認識することでコードからの情報を取得するため、色の認識は必要ない。よって、このままの適用ができると考えられる。

5.3. 月面位置情報データベース

本システムでは、JAXAの月周回衛星「かぐや(SELENE)」の観測データを基に国立天文台が解析し、国土地理院によって作成された月の地形図やgoogle moonなどの既成

のマップにコードの位置座標を追加する方法を検討している。データベース情報は常に最新状態に保たれ、探査機や宇宙飛行士には随時最新のデータベースを電子端末等にインストールすることで、活動中はオフライン環境下でも最新の情報が閲覧できるようにする。現在、公式で発表されている月周回衛星で最も高い解像度は500mmであり、コードの数字を直接認識することは困難だが、轍は現時点でアポロ計画のものなどが確認できている。コードの位置は轍が交差している箇所であり、コードの圧印場所の認識は可能である。事前に圧印されたコードの情報は保持しているため、これらから各コードを参照することができる。

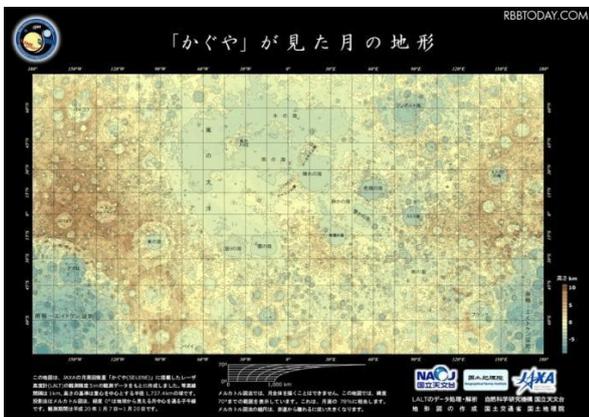


図6 月の地形図(国土地理院より)

6. システム運用

6.1. 運用手順(システムの使い方)

本システムを利用する前提として、月面にコードが設置されていること、本システムを利用する予定がある月面探査機にはコードや轍を読み取る機構と情報を取得する機構が備え付けられていることとする。

6.1.1. コードの設置および轍

月面にコードを設置していくために、必要な能力を有する探査機を月面に輸送する。この探査機を用いて、任意の位置にコードを設置していく。また、探査機が移動

することによって、轍を形成されていく。

6.1.2. コードおよび轍の読み取り

基地や管制室との通信が途切れてしまった探査機や宇宙飛行士は、まずコードを見つけるための手がかりとなる轍を探す。

(図7) 通信機器が故障しているとき、手がかりなしにコードがある地点を見つけることは、困難である。このため探査機や宇宙飛行士は、轍を見つけ出すために移動を行う。(図8) 轍を発見した後、轍に沿って移動することでコードを発見することができる。発見したコードを読み取る。(図9)



図7 コードまでの移動方法1



図8 コードまでの移動過程2



図9 コードまでの移動過程 3

6.1.3. 情報の取得

読み取ったコードを専用の機器に入力することで、情報を取得する。コードを入力する機器は、オンライン上にいる際に定期的に最新の情報に更新することで、常に最新の情報を入手することができる。

6.2. 運用時期(想定している使用期間)

運用時期は、初期の広範囲月面探査における利用を想定している。広範囲の月面探査が開始されてから、上位の位置情報システムが運用されるまで利用していく。ただし、本システムで利用するコードや轍は、外的要因により凹凸が消えるまで利用し続けることが可能である。このため本システムをメインとする利用が終了した後も、バックアップシステムとして半永久的に利用することが可能である。

7. 独創性

本システムの特徴は、以下の3点である。

7.1. 情報の取得法

月面探査において探査機や宇宙飛行士は、さまざまな要因により基地や管制室と通信不能となるリスクがある。さらに広範

囲で探査が行われる場合、通信トラブルは宇宙飛行士の生命や探査機のミッション遂行に関わる重大なトラブルにつながる可能性がある。このようなとき、本システムを活用することで通信が途絶された環境であっても位置情報などの必要最低限の情報を取得することができる。そして、探査機や宇宙飛行士は基地や補給ポイントへ移動し、最悪の事態を回避する一手段となり得る。

7.2. コードの設置法

本システムではコードの設置法として、スタンプ機構を用いて月面に直接コードを圧印する方法を提案している。この方法の場合、コードを設置するためにコードが表示された目印等の物資を地球から輸送したり、月面で新たに製作したりする必要がない。そのため、資源のコストを抑えることができる。また、コードの表現は、算用数字3桁の文字列で行う。算用数字は文字とは異なり、世界共通の表記法である。そのため、多数の読み取り手に対して等しい理解が得られ、情報の正しい伝達につながる。

7.3. 利用可能期間

コードはスタンプ機構を用いて、直接月面に設置されており、外的要因によりコードが消えるまで半永久的に利用し続けることができる。探査機の車輪の溝によって月面上に形成される轍についても、上記と同様のことが言える。また、将来的には上位の位置情報システムのバックアップとして利用することも可能となる。

8. まとめ

現在、月周回衛星等のミッションが進行しており、今後の月の探査や研究は急速に加速いくと予想される。その結果、人類の月面における行動範囲が、今後飛躍的に拡大することは明らかであり、月面での位置認識や基地および管制室との通信が途切れた際の対策は非常に重要となる。本解析書では、オフライン状態でも位置情報を取得

することが出来るシステムの構築, およびそのコードを設置する機構を提案した. このシステムでは, 通信が途絶した探査機や宇宙飛行士がそのコードを認識し正確な現在位置を把握することで, 次の行動に移すための一つ指標を得ることができる. そしてそれは, より安全かつスムーズな月面探査に貢献することにつながると確信している.

9. 参考文献

- 1) 「かぐや」が月から贈り物 Google Earthに月面モード | ITmedis News
<https://www.itmedia.co.jp/news/articles/0907/21/news081.html>
(最終閲覧日: 2020年10月20日)
- 2) 「Google Moon」で静香の海に降下する | ITmedis News
<https://www.itmedia.co.jp/news/articles/0507/20/news101.htm>
(最終閲覧日: 2020年10月20日)
- 3) 月の地形図 Topographic maps of the moon | 国土地理院
<https://www.gsi.go.jp/chirijoho/c hirijoho41003.html>
(最終閲覧日: 2020年10月20日)
- 4) LRO Looks at Apollo 12, Surveyor 3 Landing Sites | NASA
<https://www.nasa.gov/content/lunar-reconnaissance-orbiter-looks-at-apollo-12-surveyor-3-landing-sites>
(最終閲覧日: 2020年10月20日)
- 5) S-400 自動日付印(スタンプ台不要)1個 Shiny(シャイニー) 【通販モノタロウ】
https://www.monotaro.com/p/1790/2693/?utm_medium=cpc&utm_source=Adwords&utm_campaign=246-833-4061_6466659573&utm_content=96539050923&utm_term=_419857551521_pla-879055535255&gclid=CjwKCAjwi_b3BRAGEiwAemPNU72HIRWni6tBwUrCbJXa1mR34yca11DI6Xsn7zqNYJ818f8bnD-fmhoCikcQAvD_BwE
(最終閲覧日: 2020年10月20日)
- 6) 最後のアポロ、月面に残した跡 | ナショナルジオグラフィック日本版サイト
<https://natgeo.nikkeibp.co.jp/nng/article/news/14/4839/>
(最終閲覧日: 2020年10月20日)