

宇宙 ロボット

ハンドブック

SPACE ROBOTS
Handbook

準備編



みんなの夢を

月
to
ON
!

ゲット

オン

1960年代、月は宇宙開発の主演でした。1961年、第35代アメリカ大統領 ジョン・F・ケネディは「**We choose to go to the Moon.**」という有名な言葉とともに、有人月面着陸計画、通称「アポロ計画」を進めます。

その8年後、ニール・アームストロング船長を始めとした3名の宇宙飛行士は、宇宙船「アポロ11号」に乗り、ついに月へ到達。その足跡を残したのです。

その後も5回の月面着陸が行われ、計12名の宇宙飛行士が月へと降り立ちます。しかし1970年代に入ると、宇宙開発の舞台は地球の周回軌道や惑星探査など、月以外の場所に移り、1972年のアポロ17号を最後に、月への有人飛行は行われなくなりました。

あれから50年余りが経った今、月は、再び宇宙開発の主演へと躍り出ようとしています。

月面探査は民間企業レベルにまで浸透し、月面探査ロボットの打ち上げが行われています。また、月周回軌道の有人宇宙ステーション「ゲートウェイ」の開発が進められています。さらに月面基地の建設も計画されており、月を中心とした宇宙計画が進められようとしています。

これを聞いても、まだまだ私たちには関係ないことのように感じるかもしれません。

しかし、みなさんが思っている以上に、宇宙はすぐそこまで近づいてきています。2021年、JAXAによる宇宙飛行士の募集が13年ぶりに開始されましたが、その募集条件から理系大学卒業という条件が外され、理系文系問わず宇宙飛行士を目指すことができるようになりました。これは、限られた人だけが宇宙開発に関わる時代から、より多くの人々が宇宙へ関わっていく時代への突入を意味しているように思えます。もしかすると、みなさんが月へと移住する日も、そう遠くないかもしれません。

さて、この物語はそんな遠くない未来のお話。双子の兄妹が「月で動くおそうじロボット」について考えます。

地球のロボットを月に持って行ってもそのまま作動するのか？

月でロボットを動かすためにはどのようなことを考えなければいけないのか？

みなさんも、ぜひ一緒に考えながら読んでみてください。



1.

おそうじロボット『クリーン号』

ある心地よい日曜の朝

たまち 球地家のリビングで小学校5年生の双子兄妹、そらお 宙男君とつきこ 月子ちゃんが仲良くテレビを見ています。

子ども向けニュース番組が始まりました。

ナレーション:「2030年には月に基地がで、人が暮らせるようになるでしょう。

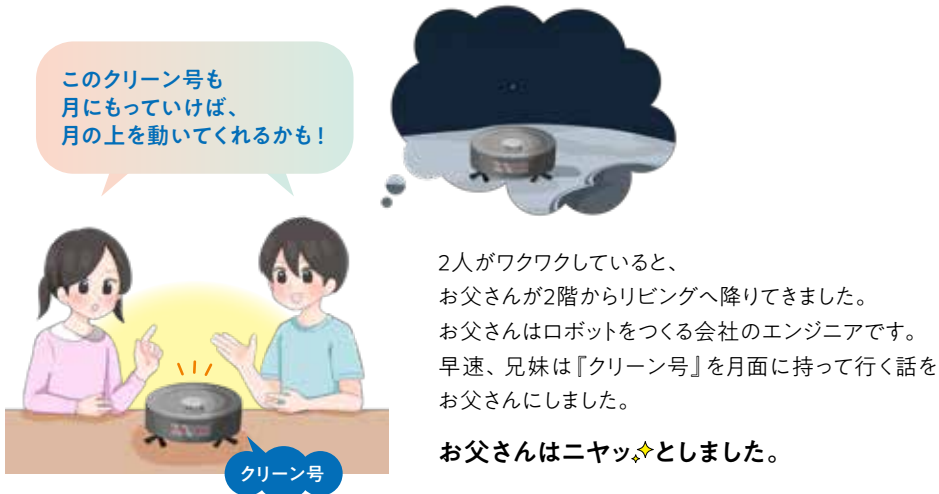
また、基地の中や外ではロボットが自由に働き、人助けをしています…」

これを見た2人に疑問が浮かびました。



2人がふと横を見ると、毎日リビングを掃除してくれている、おそうじロボット『クリーン号』が充電ステーションで充電中でした。

2人は目を輝かせ、こう思いました。



それじゃ、お父さんのパソコンにある
月面シミュレーションソフトウェアを使ってみよう。
このソフトに『クリーン号』の重さや形の情報を
入れてやれば、月でどのような
動きをするのかがわかるぞ！

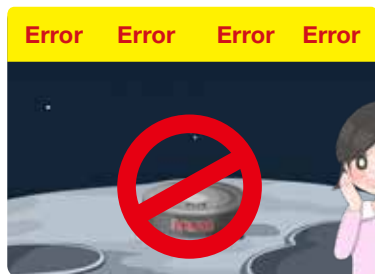
お父さん



早速、お父さんは仕事用パソコンで月面シミュレーション
ソフトウェアを使い『クリーン号』の情報を入力し、
シミュレーションを始めました。

条件は『クリーン号』を地球からそのまま月まで持って行き、
月面で掃除をさせたという想定です。

兄妹もお父さんの横に立ちシミュレーションを見守ります。
しかし、残念ながら『クリーン号』は全く反応しません。

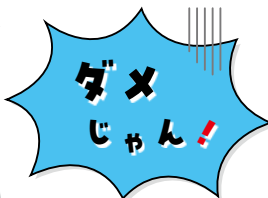


2人は納得がいきません。

ちゃんと充電も満タンにしたし、たまったゴミも取り除いてキレイな状態にしたのに。

ふふっ、残念な顔をしているね。
実は月では、ロボットが動くための条件が地球とは違うんだよ。
月で動く条件はかくかく、しかじか…。

ちが



兄妹は、月と地球では環境がまるで違うことがわかりました。

2.

『クリーン号』^{まかいぞう}魔改造計画??

月日は流れ、兄妹は高校2年生になりました。

ある夜、二人はリビングでテレビを見ていて、
既製品^{きせいひん}を改造して動かす番組が流れていました。

本来の使い方から離れて改造することを、番組中では『魔改造』^まと呼んでいました。

これを見て兄妹はピン💡とききました。

そういえば僕たち、
小さい時『クリーン号』を
月で動かしたいって言ってたね。
このままだと動かないって
わかってがっかりしたなあ。

あのころは、お父さんの言ったこと
全部は理解できなかったけど、
もう一回ちゃんと考えてみたいな。
今度は、『クリーン号』を魔改造して、
月で動くロボットにしてみようよ!

どうすれば
月面で動かせるように
なるんだろう〜

いきなり魔改造は難しいから、
昔お父さんが使っていた
月面シミュレーションソフトを
使ってみない?

よし!
やってみよう!

2人のチャレンジの始まりです!

3. 月の環境条件

『クリーン号』を動かすためには、地球と月の環境が大きく異なることによる課題を解決しなければなりません。シミュレーションソフトを使うことで分かった月の環境条件を、兄妹は以下の8つにまとめました。

環境条件
01

重力が地球に比べて小さい

環境条件
02

大気がなく、真空である

環境条件
03

いんせき
隕石が大量に降り注ぐ

環境条件
04

放射線(宇宙線)が降り注ぐ

環境条件
05

月の砂「レゴリス」で覆われている おお

環境条件
06

昼と夜がそれぞれ14日間も続く

環境条件
07

しゃくねつ
灼熱と極寒である

環境条件
08

きより
地球から距離が遠い



それぞれの条件を、詳しくみてみましょう。

重力が地球に比べて小さい



月面上ではたらく重力は、地球上の1/6になるんだよ。ということは、ずいぶん軽くなるってことだね。

ダイエットしなくても軽くなるなんて…!



対策

軽くなることを条件に、設計をする(動作の解析^{かいせき}や摩擦力^{まさつ}の計算をする)

大気がなく、真空である

真空中だと、水分や油分は蒸発してしまうんだって。

月は地球と違って大気がない真空だから、普通のプラスチック^{ふつう}を使用すると、プラスチック^{ぷく}に含まれる油分も蒸発してしまうよ。このとき発生するガスが、機器^{えいきょう}に悪い影響^{あつた}を与えてしまうんだ。



さらに、熱^にが逃げにくいから、放熱^{はつねつ}のことも考えないとだよね。

普通のプラスチックって使えないんだ!



- 真空^たに耐えることができ、ガスが出ない素材・仕組みにする
- 放熱対策^{れいそく}として、冷却装置^{れいそく}を使う



対策



目には見えない大気のカ

地球や月は、重力で周囲のものを引き寄せます。地球が大気をもつのは、重力で空気を引き寄せているからです。引き寄せられた空気は、私たちの上にのしかかって押しってきます。この、空気による圧力が大気圧です。

大気圧は約1013hPa。この圧力はとても大きく、地球上で水がすぐに蒸発しないのは、大気圧によって水が押されているためです。一方、月の重力は地球の約1/6と小さく、周りに空気を引き寄せて保つことが出来ません。そのため、月には大気がないのです。また、大気がないので大気圧もかからないため、地球上では普段蒸発しないような物質も、月面上では蒸発してしまいます。

隕石が大量に降り注ぐ



月には、たくさんの隕石が
高速で降ってくるよ。

そうなのっ!?
クリーン号に当たったら
どうしよう…



自動車だと保険に入っていたりするけど、
宇宙にも保険ってあるのかな？



対策

保険に加入する？



地球にも降り注ぐ宇宙物質

実は地球にも、毎日100トンもの宇宙物質が降り注いでいます。それらに気付かないのは、地球が大気によって守られているからです。地球に降り注ぐ宇宙物質は大気との摩擦によって発火し、ほとんどが燃え尽きて小さな塵になります。夜空を流れる流星は、発火した宇宙物質なのです。しかし大気のない月では、宇宙物質が直接衝突します。そのため、月の表面には隕石が衝突した跡である、クレーターが無数に見られます。

また数がとても多いのは、大気も水もない月では風化や侵食が起きないため、何百年、何千年前のクレーターが残っているからです。

放射線(宇宙線)が降り注ぐ



月では、放射線(宇宙線)が
ようしゃ
容赦なく直接降り注いでくるよ。



ええー!
こわーい!

どうしたら
良いのー??



対策

放射線(宇宙線)から守るための素材を付ける

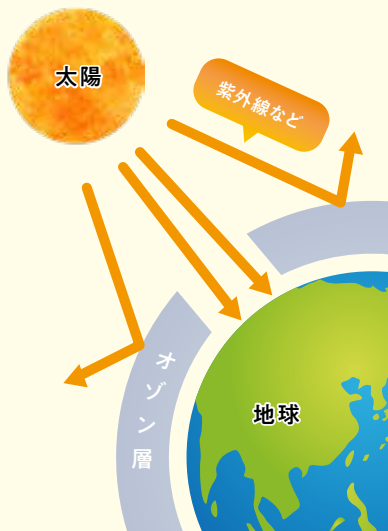


宇宙線と生物

私たちは太陽からたくさんのおんけい(恩恵)を受けています。しかし、太陽のエネルギーはあまりに大きく、紫外線などの宇宙線はむしろ生物に悪影響です。これらを遮断してくれるのが大気中のオゾン層です。太古の地球にオゾン層はなく、生物は地上で活動することができませんでした。

しかしオゾン層が形成されたことで紫外線が遮断され、生物が地上へと進出することができるようになり、植物や昆虫、そして私たちの祖先となる両生類など、多くの生物が地上へと進出していきました。

ところで、月に宇宙人は住んでいないのか、と思ったことがある人も多いかもしれません。可能性はゼロではないですが、大気がなく、宇宙線の影響を直接受けてしまう月で、生命体が発見される可能性は低そうです。



いたっ！！

静電気
ホントいやだぁ～



静電気ですわりついて
きそうだから、レゴリスの
対策も考えないと～。
カバーみたいなものが
必要なのかなあ。



レゴリス、石、岩、クレーター上で
動くことを想定すると動きにくそうだね。

そういえば、月の表面を
覆っている「レゴリス」と
いう砂も、静電気がたまり
やすいみたいだよな。



さらにレゴリスは、
0.3m～20mもの
深さになるんだ。

- レゴリスを防ぐカバーをつける
- 動作機構はキャタピラ機構にする



対策



角ばった砂、レゴリス

レゴリスは静電気が起きやすい、角ばったつくりをしています。これは、大気や水が無いので風化や侵食によって表面が削られにくいからです。地球上でも、侵食を伴って堆積する砂岩や泥岩の粒子は丸く、侵食を伴わずに堆積する凝灰岩の粒子は角ばっています。

この角ばったつくりは人体に影響を及ぼします。例えば、アポロ17号で月へ行ったハリソン・シュミット宇宙飛行士たちは、作業中に宇宙服に付着したレゴリスを船内に持ち込んでしまいました。すると、くしゃみやかゆみといった、花粉症のような症状がみられたそうです。シュミット宇宙飛行士たちは、この症状を「月花粉症」と名付けました。また、レゴリスを吸い込むことで肺などを傷付ける可能性も指摘されているなど、月での生活には注意が必要です。



2 μ m

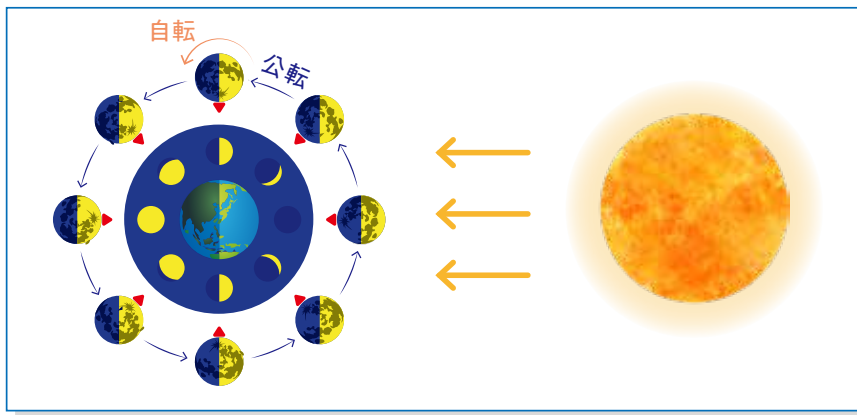
※1 μ m=0.001mm

昼と夜がそれぞれ 14日間も続く

クリーン号を太陽電池で動かしたいね。
でも月は昼と夜が 14日周期になっているんだ。
夜の間も動くことができるように、たくさん充電しないとイケない。



月の一日っておよそ一か月もあるの?!
一日がとっても長いね…!



対策

昼間に太陽の光をためることができる充電システムを組み込む



ホントに月の昼と夜は14日周期？

天体が「回る」というとき、自身がバレーリーナのようにクルクル回転する「自転」と、自分ではない別の天体の周りを回る「公転」があります。これらによって、昼と夜が生じたり、月の満ち欠けが見られたりと、様々な現象が起きます。例えば、昼と夜は「自転」によって生じます。地球は 24時間かけて 1回自転しているため、昼と夜が 12時間周期となります。一方、月の満ち欠けは「公転」によって生じます。月は地球の周りを約 28日かけて一周しているため、満月も約 28日周期で訪れます。

さて、本当に月の昼と夜が 14日周期なら、月は 28日かけて 1回「自転」していることになります。このことを、月の見え方から確認してみましょう。

日本では、月の模様はウサギがもちつきをしているようだ、とよく言われますが、「模様が変わらない」ということは「月は常に地球に同じ面（上図の赤点）を向けている」ということです。

上図のような見え方になるためには、月が地球の周りを 1回公転する間に、月自身は 1回自転する必要があります。つまり、月が地球の周りを 1回公転する時間と、月自身が 1回自転する時間は等しく、約 28日になります。したがって、月は 28日かけて自転しており、昼と夜が 14日周期になることが分かります。

	自転	公転
地球	24時間	1年
月	28日	28日

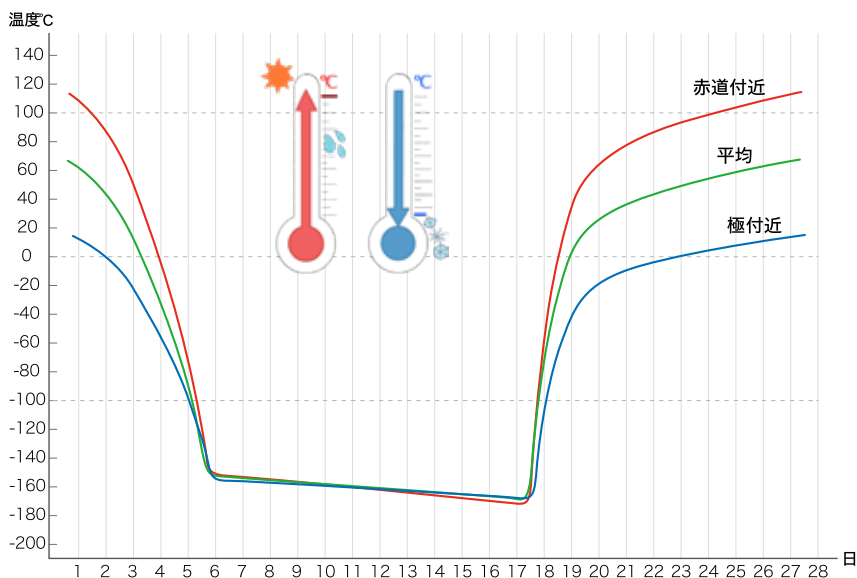
灼熱と極寒である

月の表面温度は、昼は約120℃、夜は約-180℃になるところがあるんだって！

北極・南極と赤道でもかなり違うみたいだよ。
地球と同じで、緯度によって温度が変わってくるんだね。



えっ、サウナより暑くて、冷凍庫よりも寒いんだ！



対策

昼は冷却、夜は加熱をすることで、昼も夜も動く仕組みにする



大気はまるで防壁材

地球でも、昼間は温かく、夜は寒いですね。しかし、月ほどの温度差にはなりません。これはなぜでしょう。いくつか理由がありますが、その一つに大気の影響があります。水蒸気や二酸化炭素などの気体には、熱を蓄えて逃がさないようにすることで温度を保つはたらきがあります。これを「温室効果」といいます。この温室効果のおかげで、昼と夜の温度差が小さくなっているのです。

しかし地球でも、大気中の水蒸気が少なくなると熱が逃げていきやすくなり、気温が下がります。冬の晴れた乾燥した朝がいつも以上に寒いのは、この温室効果が弱まるため、このような現象を「放射冷却」といいます。



地球から月までは
38万キロも
離れているんだよ。

月って遠いなあ…！
それなら通信手段を
考えなきゃいけないね。



対策

通信手段を考えて、通信システム(大型アンテナなど)を組み込む



近いようで遠い、地球と月

地球と月の間に、地球以外の惑星を水星から順番に並べてみたしてみましょう。いったい、いくつの惑星を並べることができると思いますか？

水星、金星あたりまでは入りそうな気がしますね。火星も入りそうでしょうか？木星はとても大きいから無理でしょうか？それとも、木星までならギリギリ入りそう？…実は、海王星までの惑星をすべて並べることができるのです。それも、ほとんどぴったり。

普段見ている月との38万キロという距離、想像以上に遠いことが分かるのではないのでしょうか。

以上8項目を元に、兄妹は『クリーン号』の魔改造を試みました。

これをもとに魔改造を始めて、
月面で動くロボットを考えてみようよ。



カメラを付けて、自撮りで掃除する姿を撮影して
みんなで観賞しようよ。



夢は
ふくらみ……

おそうじしたダストボックスを
地球に持って帰りたいね。



4.

魔改造『クリーン号』の誕生!!

兄妹は、ゴミを吸う機構が本来必要なことを考えましたが、
ゴミを吸うには空気が必要なことに気がきました。

ゴミの吸い取り口はどうか？
どうせならたくさん吸えたほうがいいよね！



あれ、まって。月って空気がないんだよね。
そしたらそもそも月でゴミ吸えないじゃん！

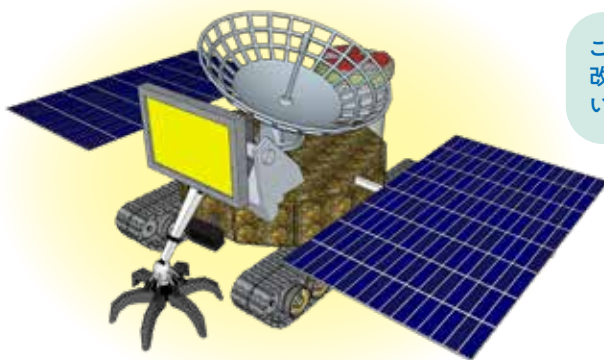


たしかにっ…！ゴミを吸えないなら、
ほうきではくか手で拾うか…

かんじん

肝心なことを忘れていた兄妹は、結局ゴミを手で取る掃除機を考えました。試行錯誤し、
魔改造『クリーン号』が完成しました！

しこうさくご



こんなに
改造しなければ
いけないんだ…



もはや
掃除機じゃない…！



なんだか
火星に行った
探査機に
似てるなあ



©NASA/JPL/Cornell University

ク

リ

ン

号

CLEANING ROBOT for THE MOON



☑ FEATURE

アンテナ

距離の遠い地球と通信するために、大きくする。

☑ FEATURE

大型の太陽電池パネル

昼に太陽の光から電気をつくる。

☑ FEATURE

原子力電池

夜には太陽電池パネルから電気を作れないため、原子力電池から電気をもらう。

☑ FEATURE

大型のライト

夜、移動する場合に利用。
カメラも入っている。

☑ FEATURE

頑丈なボディ

隕石が当たっても壊れないように厚くする。
ボディが厚ければ、宇宙線も減るだろう。

☑ FEATURE

大型のバッテリー

昼間に発電した電気を蓄える。

☑ FEATURE

キャタピラ

ゴツゴツした岩や、レゴリスの上を移動できるようにする。

☑ FEATURE

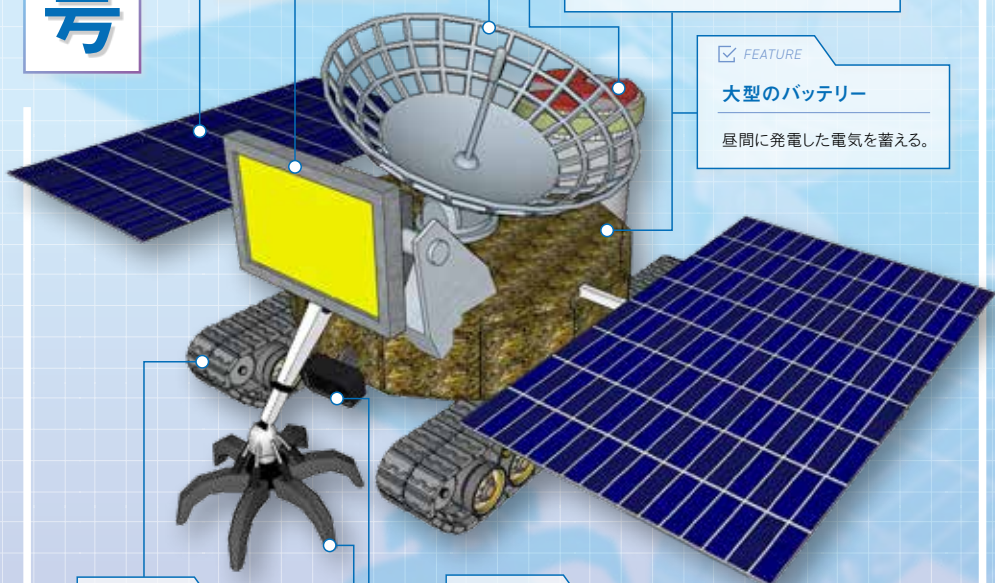
ゴミ収集口

ロボットハンドでつかみ、ここにゴミを入れる。

☑ FEATURE

ロボットハンド

ゴミを吸いこむことができないため、ハンドでつかむ。



魔改造された『クリーン号』を見てみると、地球での姿からは大きく変える必要がありそうです。

このように、月での生活を考えるとなかなか地球のようにはいかないことがわかります。世界中の研究者や技術者たちは、このような課題と日々向き合いつつ、宇宙開発を楽しみながら進めています。

宇宙開発なんて自分には無理だ、関係ないと思うかもしれません。しかし、みなさんもすごい研究者、技術者たちと同じなのです。

なぜなら研究者や技術者たちは、宙男くんや月子ちゃんのように純粋な『疑問』から芽生えた『夢』や『ワクワク』をエネルギーに研究を行い、諦めずに『チャレンジ』することで新しい世界を切り拓いてきました。こういった『疑問』や『夢』、『ワクワク』、そして『チャレンジ』したいという気持ちは、誰もが持っているのではないのでしょうか。ですから、みなさんも宇宙開発に貢献する一員となりえるのです。

この冊子を読んで、月面開発に興味をもっていただけましたでしょうか。

私たちは、現在、宇宙でロボットを作成するにあたり必要な検討課題を書籍としてまとめています。

もっと詳しく知りたい方は、この書籍を読んで、一緒に月面でロボットを動かしましょう。

それではいつか、月で会いましょう。

◆ 作成

フロンティアビジネス研究会

ロボット・自動化/自律化検討ワーキンググループ

(宇宙開発協同組合 SOHLA, 株式会社セック, 株式会社ダイモン, 株式会社2moon, 有人宇宙システム株式会社)

◆ イラスト

京都芸術大学 芸術学部キャラクターデザイン学科

イラスト指導 准教授 石鍋 大輔

イラスト作成

森 真琴

◆ 監修

学校法人市川学園 市川中学校・高等学校 酒井 健丞





宇宙 ロボット

ハンドブック