

# SSVG ユーザーズガイド

## (日本語版)

Solar System Voyager(SSVG) Users Guide (Japanese version)

植月修志 (Shushi Uetsuki/whiskie14142)

2016/10/25

Version 0.1.0 Beta

# SSVG とは

SSVG (Solar System Voyager) は利用者の探査機 (probe) を太陽系の中で航行させるシミュレーションソフトウェアです。探査機は利用者の指示に基づいて 3 つの推進装置 (化学推進エンジン、電気推進エンジン、ソーラーセイル) を使い、太陽系を自由に航行することができます。

自由に、と言っても、探査機の航行には大きな制約があります。それは太陽を初めとする天体が及ぼす引力によるものです。SSVG は太陽系の主要な天体の動きとそれらが及ぼす引力を再現し、現実の探査機の航行を詳細にシミュレートします。

## ソフトウェアのライセンス

このソフトウェア (SSVG) はどなたでも無料でお使いいただけます。

このソフトウェア (SSVG) はフリーソフトウェアです。バージョン 3 もしくはそれ以降のバージョンの GNU General Public License に従うことを条件に、あなたはこのソフトウェアの再配布や変更を行うことができます。

このソフトウェアの配布はそれが有用であることを期待して行うものですが、ソフトウェア自体は全くの無保証です。詳細については GNU General Public License を参照してください。ライセンスの原本はこちらにあります。<<http://www.gnu.org/licenses/>>

このソフトウェア (SSVG) のソースコードはこちらから入手できます。  
<<https://github.com/whiskie14142/SolarSystemVoyager/>>

このソフトウェア (SSVG) は以下に示すプログラムまたはモジュールを使用し構築されています。

Numpy : <http://www.numpy.org/>

Copyright (c) 2005-2016, NumPy Developers.

All rights reserved.

Scipy : <http://scipy.org/>

Copyright (c) 2001, 2002 Enthought, Inc.

All rights reserved.

Copyright (c) 2003-2013 SciPy Developers.

All rights reserved.

matplotlib : <http://matplotlib.org/>

Copyright (c) 2012-2013 Matplotlib Development Team;

All Rights Reserved

jplephem : <https://github.com/brandon-rhodes/python-jplephem/>

PyQt4 : <https://www.riverbankcomputing.com/news/>

julian : <https://github.com/dannyzed/julian/>

Copyright (c) 2016 Daniel Zawada

pytwobodyorbit : <https://github.com/whiskie14142/pytwobodyorbit/>

Copyright (c) 2016 Shushi Uetsuki (whiskie14142)

spktype01 : <https://github.com/whiskie14142/spktype01/>

Copyright (c) 2016 Shushi Uetsuki (whiskie14142)

PyInstaller : <http://www.pyinstaller.org/>

## この文書のライセンス

この文書はパブリック・ドメインであり、どなたでも自由に利用していただくことができます。  
利用の条件はクリエイティブ・コモンズの CC0 1.0 です。

<<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/deed.ja>>

# さあ始めましょう

## インストール

### Windows 実行形式プログラム

SSVG の Windows 実行形式プログラムは次のアドレスで圧縮ファイル (zip ファイル) として配布されます。エクスプローラー等の適当なツールで開き、SSVG のフォルダ (ディレクトリ) 全体をハードディスクに展開 (解凍) してください。

<<https://box.yahoo.co.jp/guest/viewer?sid=box-l-tu4wm6wgt2cerlaee3m3bgqthq-1001&unqid=d128a71e-e5a3-4a07-83e4-8e821bee40ad>>

#### 【利用環境について】

動作確認は Windows 8.1 (64 ビット版) 及び Windows 10 (64 ビット版) で行っています。  
ディスプレイは 1024×1600 以上の解像度のものを推奨します。

#### 【SPK ファイルの入手】

プログラムパッケージには太陽および惑星の位置・速度を計算するためのデータファイル (SPK ファイル) が含まれていません。次のアドレスから SPK ファイル (de430.bsp) を入手し、SSVG のディレクトリの直下にある data ディレクトリに格納してください。

<[http://naif.jpl.nasa.gov/pub/naif/generic\\_kernels/spk/planets/de430.bsp](http://naif.jpl.nasa.gov/pub/naif/generic_kernels/spk/planets/de430.bsp)>

### Python プログラム

Python で記述されたソースプログラムは GitHub から入手できます。

<<https://github.com/whiskie14142/SolarSystemVoyager/>>

#### 【動作環境等】

Python 3.5

ディスプレイは 1024×1600 以上の解像度のものを推奨します。

#### 【利用パッケージとそのバージョン】

Numpy 1.10.4, Scipy 0.17.0, matplotlib 1.5.1, jplephem 2.5, pyqt 4.11.4, julian,  
pytwobodyorbit 0.1.0, spktype01 0.1.0

#### 【SPK ファイルの入手】

GitHub のソースプログラムには太陽および惑星の位置・速度を計算するためのデータファイル (SPK ファイル) が含まれていません。次のアドレスから SPK ファイル (de430.bsp) を入手し、ソースファイルのディレクトリの直下にある data ディレクトリに格納してください。

<[http://naif.jpl.nasa.gov/pub/naif/generic\\_kernels/spk/planets/de430.bsp](http://naif.jpl.nasa.gov/pub/naif/generic_kernels/spk/planets/de430.bsp)>

## SSVG の起動

### Windows 実行形式プログラム

展開されたディレクトリにある `SSVG.exe` をダブルクリックして実行してください。SSVG が起動します。

### Python プログラム

ソースプログラムに含まれる `SSVG.py` を Python で実行してください。SSVG が起動します。

## サンプルを見る

### 飛行計画を開く

SSVG が起動すると 2 つのウインドウが開きます。SSVG と 3D Orbit です。まだ飛行計画がありませんから、意味のある情報は何も表示されていません。

SSVG のウインドウのメニューで、**File** → **Open** を実行してください。SSVG をインストールしたディレクトリの中に `sampleplan` というディレクトリがあり、そこに飛行計画のサンプルが複数格納されています。まずは `mars01.json` を開きましょう。

`mars01` は火星に向かう探査機 (probe) の飛行計画です。SSVG ウインドウの表 (以下「マヌーバ一覧」と呼びます) には、飛行計画の概要が表示されます。表の各行は「マヌーバ」で探査機に対する指令を示しています。SSVG の探査機は、マヌーバを順番に実行することにより航行します。

3D Orbit のウインドウには緑の楕円が表示されています。これは航行の目的地であるターゲット天体 (ここでは火星) の軌道です。探査機の飛行は始まっていませんから、探査機の軌道はまだ表示されていません。

### マヌーバを実行する

マヌーバ一覧の右端の列に「Next」と表示されている行があり、これが次に実行されるマヌーバを示しています。飛行計画を開いた直後であれば、最初の行に Next の表示があるはずです。

マヌーバ一覧の右に並んでいるボタンから「Exec Next」を選んでクリックしてください。これで Next の表示があるマヌーバが実行されます。Show Orbit ウインドウが新しく開き、そして 3D Orbit ウインドウにマヌーバ実行直後の探査機の位置や軌道が表示されます。表示内容は以下を含みます。

赤色の X : 探査機の位置

赤線の楕円 : 探査機の軌道

緑色の+：ターゲット天体の位置

緑線の楕円：ターゲット天体の軌道

白抜き黒丸：太陽の位置

水色の小さな+と文字：太陽と惑星の位置と名前（+Mercury、+Venus など）

3D Orbit ウィンドウに表示される画像に対していくつかの操作が可能です。[3D Orbit ウィンドウ](#) および [Show Orbit ウィンドウ](#) を参照してください。

「Exec Next」のボタンをクリックするたびに、マヌーバが順次実行されます。このサンプルで利用しているマヌーバは次の3種類です。

START：飛行開始。探査機を宇宙基地から出発させます。

FLYTO：飛行。指定した時刻まで探査機を飛行させます。

CP：化学推進。指定した方向と大きさの速度変化を探査機に与えます。

## 飛行結果を確認する

FLYTO マヌーバの実行直後に限り、その飛行の経過を 3D Orbit ウィンドウに表示させることができます。SSVG ウィンドウの上端にある「Flight Review」ボタンをクリックしてください。画面左下に表示されていた Show Orbit ウィンドウが Flight Review ウィンドウになり、3D Orbit ウィンドウの表示内容も変化します。Flight Review ウィンドウの Time Manipulator のボタン群を操作すると、飛行の経過を確認することができます。

このサンプルで最後のマヌーバ（9 番目の FLYTO）を実行した直後に飛行結果の確認を行い、ターゲット天体付近を拡大表示させれば、探査機がターゲット天体（ここでは火星）の周囲を公転する様子が確認できるはずです（探査機は火星の衛星になっています）。

## 探査機の飛行計画を作る

惑星探査機の飛行計画を作ってみましょう。JAXA の探査機「あかつき」の当初の計画を参考にして、金星を目指します。

### 飛行計画の新規作成

SSVG ウィンドウのメニューから、File → New を実行してください。New Flight Plan ウィンドウが開きます。

Probe Properties グループでは探査機の特性として名前と質量を指定します。探査機が出発する宇宙基地の指定がありますが、現在は「EarthL2」という宇宙基地だけが利用可能です。この宇宙

基地は太陽－地球系のラグランジュ点（L2）にあります。地球から見て太陽の反対側の、約 150 万 km の所です。

**Target** グループでは目的地であるターゲット天体を指定します。金星は惑星の一員ですから、**Planet/Moon** が選択されていることを確認して、その下のドロップダウンリストで金星（Venus）を選択し、**OK** をクリックしてください。これで新しい飛行計画が作成されます。

新しい飛行計画ですから、名前を付けて保存しておきましょう。**SSVG** ウィンドウのメニューから **File → Save as...** を実行して適当な名前で保存してください。

## START

探査機を宇宙基地から出発させるマヌーバを作成しましょう。マヌーバー一覧はまだ空白で、1 行目に **Next** の表示があるはずですが、**Edit Next** ボタンをクリックして、マヌーバの編集を開始してください。**Maneuver Editor** ウィンドウが開きます。

最初にマヌーバのタイプを指定します。ウィンドウ上部にあるドロップダウンリストで「**FLYTO**」を選択し、その右の **Apply** をクリックしてください。

出発日を指定します。探査機を出発させる日を決めるには試行錯誤が必要なのですが、ここでは JAXA の探査機「あかつき」の打上げ日を参考にして、2010 年 5 月 21 日にします。**Date&Time** の欄に日付を設定し、**Show Orbit** をクリックしてください。出発日時が **3D Orbit** ウィンドウに反映されます。

つぎに出発時のパラメータを指定しますが、これには **Maneuver Editor** の **FTA** 機能を利用します。**FTA** 機能は、指定した日時に探査機をターゲット天体に到着させるために必要なマヌーバのパラメータを計算してくれます。探査機がターゲット天体に到着する日の決定も本来は試行錯誤で決める必要があるのですが、ここでは「あかつき」の当初計画を参考にして、2010 年 12 月 7 日にしましょう。

**Show Orbit** ウィンドウの高速順行ボタン（>>）を何回かクリックして、予測日時（**P. Time**）が 2010 年 12 月 7 日（2010-12-07）になるように操作してください。この状態で **Maneuver Editor** の **FTA** ボタンをクリックするとこの日を到着日とする **FTA** の計算が行えます。**FTA Setting** ウィンドウが開きますので、そのまま **OK** をクリックしてください。**FTA** の計算結果が表示されますので、**OK** をクリックしてください。

**Maneuver Editor** ウィンドウで「**Finish and Exec**」をクリックすれば、マヌーバの編集が終わり、同時にそのマヌーバが実行されます。**Show Orbit** ウィンドウで時間を進める操作を行えば、探査機が 12 月 7 日ごろターゲット天体（金星）に接近する軌道に乗っていることが確認できるでしょう。また表示の中心をターゲット天体に変更して拡大表示を行えば、接近時に探査機がターゲット天体を追い越すように動くことが確認できるでしょう。

## FLYTO（その 1）

宇宙基地から出発した探査機は徐々に地球から離れて行きますが、しばらくの間は地球の引力の影響を受けていて、出発時に FTA で予測した軌道から少しずつずれてしまいます。しばらく（150 日）飛行させ、そのあとで金星に接近するための軌道修正を行いましょう。

SSVG ウィンドウのマヌーバ一覧で 2 行目の空白行に Next の表示があることを確認して、「Edit Next」をクリックしてください。Maneuver Editor ウィンドウが開きます。

マヌーバのタイプとして、ドロップダウンリストから FLYTO を選択し、Apply をクリックしてください。Flight Duration（飛行期間）に 150 を入力して、その右の Apply をクリックしてください。FLYTO マヌーバのパラメータである飛行終了日時が 2010 年 10 月 18 日に設定されます。Show Orbit ボタンをクリックすれば、飛行終了時の探査機やターゲット天体の位置が 3D Orbit ウィンドウに表示されます。

「Finish and Exec」をクリックしてください。マヌーバの編集が終了し、指定したマヌーバが実行されます。

## CP（その 1）

探査機が金星に接近できるよう、化学推進エンジンを用いて軌道修正を行いましょう。マヌーバ一覧で 3 行目の空白行に Next の表示があることを確認して「Edit Next」をクリックしてください。Maneuver Editor ウィンドウが開きます。

マヌーバのタイプとして CP を選択し、Apply をクリックしてください。

マヌーバのパラメータの設定にはここでも FTA 機能を使用します。Show Orbit ウィンドウで(>>)を何回かクリックして、予測時刻(P. Time)が接近予定日である 2010 年 12 月 7 日になるようにし、FTA ボタンをクリックしてください。FTA Settings ウィンドウが開きます。

ここでは、探査機がターゲット天体（金星）から見てどこを通過するかを細かく指定しましょう。通過点を金星から見て太陽の反対側の、金星中心から 4 万 km の場所とします。「Set Probe's Sight on」グループで次のパラメータを設定します。

Range from Target Center (km)	40000
Angle phi from Target Center (deg)	-90 （マイナス 90）
Angle elv from Target Center (deg)	0

OK をクリックして FTA の計算を行い、結果を確認して OK をクリックしてください。続いて「Finish and Exec」をクリックすれば、マヌーバの編集が終了して同時にそのマヌーバが実行されます。



## FLYTO（その2）

最接近予定日の5日前、2010年12月2日まで飛行するFLYTOマヌーバを作成し、実行しましょう。実行結果から、飛行は順調であることが確認できるでしょう。すでに金星の引力の影響が始めていて、最接近の時間が少し早く、最接近の距離が少し小さくなりました。

## FLYTO（その3）

最接近予定日の5日後、2010年12月12日まで飛行するFLYTOマヌーバを作成し、実行しましょう。この飛行では金星のごく近所を通過し、軌道が大きく変化しますから、数値積分の積分間隔を小さくしましょう。Maneuver EditorのParametersの表のinter: Integration Interval (days)の値を0.01に変更しましょう。実行後にSSVGウインドウの「Flight Review」ボタンをクリックして、飛行状況を確認してください。探査機は12月6日の12時28分ごろ、金星に最も近づくようです。また最接近の前後では、金星の引力の影響で探査機の軌道が大きく変化します。Flight Reviewウインドウで「Show Kepler Orbit」をオンにすれば積分ステップごとに探査機の楕円軌道が表示され、その変化の様子を見ることができます。

金星への最接近付近で飛行が終わるようにFLYTOのマヌーバを変更し、金星との相対速度が小さくなるようなマヌーバ（CPマヌーバ）を追加して実行すれば、探査機を金星の衛星にすることもできるでしょう。

## 小天体を目指す

### SPK ファイルを入手する

太陽系の小天体（小惑星、彗星、準惑星）をターゲット天体にするためには小天体の軌道を計算するためのデータファイル（SPK ファイル）を入手する必要があります。

SPK ファイルは NASA/JPL の HORIZONS システムに依頼すれば入手できます。作成依頼は Telnet、電子メール、Web インタフェースのいずれかで行いますが、ここでは Web インタフェースでの方法を紹介します（詳しくは<<http://ssd.jpl.nasa.gov/?horizons>>を見てください）。

SPK ファイルの作成を依頼する Web インタフェースのアドレスはこちらです。  
<<http://ssd.jpl.nasa.gov/x/spk.html>>

通常はページ上部の表にパラメータを入力して「Make SPK」ボタンをクリックします。直ちに SPK ファイルが作成され、ダウンロードできますので、適当な場所に保存してください。パラメータと設定方法の概要は次表のとおりです。

**Table 1 SPK ファイル作成依頼の設定項目**

設定項目	説明
Object	小天体の名称、小惑星番号などを入力します。入力して「Lookup」をクリックすれば SPKID（注）等が表示されます。
SPK start date (TDB)	SPK ファイルの作成開始日を指定します。（例：1980-Jan-01）
SPK stop date (TDB)	SPK ファイルの作成終了日を指定します。（例：2101-Jan-01）
E-mail contact address	依頼者の電子メールアドレスを記入します。
SPK file format	ファイルの形式を選択します。Binary を選択してください。

（注）SPKID は HORIZONS システムが使用する一意な天体番号です。あとで使用しますので、メモしておいてください。

冥王星（Pluto：準惑星）と地球の月（Moon）は小天体に分類されますが、軌道はインストール時に取得した de430.bsp に含まれていますので SPK ファイルの取得は必要ありません。飛行計画の作成では Planet/Moon を選択してください。

### 飛行計画の新規作成

SSVG ウィンドウのメニューから File → New を実行してください。New Flight Plan ウィンドウが開きます。Probe properties グループのパラメータを設定してください。これは惑星を目指す場合と同じです。

Target グループで「Small Body」を選択してください。右の欄で小天体が指定できるようになります。Name には天体の名称を指定してください。SPK file 欄の右にある「...」ボタンをクリックして、HORIZONS システムから入手した SPK ファイルを指定してください。SPKID の欄には、小天体の SPKID を指定してください。

OK をクリックすれば、小天体をターゲット天体とする飛行計画の作成が開始されます。

# リファレンス

## 操作

### SSVG ウィンドウ

**Table 2 SSVG ウィンドウのボタン**

表示名	機能
Redraw Target Orbit	ターゲット天体の軌道を再計算し、表示します
Flight Review	直前の飛行結果をレビューします。
Show Orbit	3D Orbit ウィンドウに探査機等の情報を表示し、同時に Show Orbit ウィンドウを表示します。
Exec Next	Next 行のマヌーバを実行します。
Exec to *	Next 行から選択されている行までマヌーバを連続して実行します。
Ex Initialize	マヌーバの実行結果をすべて取り消し、最初の行を Next 行にします。
Edit Next	Next 行のマヌーバを編集します。
Edit *	選択されている行のマヌーバを編集します。編集する行が Next 行でない場合、編集時に一部の機能が使えない場合があります。編集する行のマヌーバが実行済みである場合、編集を完了 (Finish) するとマヌーバの実行結果はすべて取り消されます。
Insert *	選択されている行に空のマヌーバを挿入します。
Delete *	選択されている行を削除します。

**Table 3 SSVG ウィンドウのマヌーバー一覧の操作**

操作	機能
行のクリック	クリックした行 (マヌーバ) が選択されます。
行のダブルクリック	クリックした行 (マヌーバ) の編集が開始されます。

**Table 4 SSVG ウィンドウのメニュー**

メニュー項目	説明
File → Open	保存されている飛行計画を開きます。
File → New	新しい飛行計画を作成します。
File → Save	飛行計画をファイルに保存します。
File → Save as...	別の名前を付けて飛行計画をファイルに保存します
File → Quit	SSVG を終了します。
Help → about SSVG	SSVG に関する情報を表示します。

## 3D Orbit ウィンドウ

**Table 5 3D Orbit ウィンドウの操作**

操作したい内容	操作方法
図の向きを変える	左ボタンを押した状態でマウスを上下左右に動かします。
図の拡大率を変える	右ボタンを押した状態でマウスを上下に動かします。
図の中心を変更する	3D Orbit ウィンドウでは操作できません。Show Orbit ウィンドウまたは Flight Review ウィンドウの Look at グループで中心に表示する天体を選択してください。

3D Orbit ウィンドウに表示されるマークや線、文字の意味は次表のとおりです。

**Table 6 3D Orbit ウィンドウに表示されるマーク、線、文字**

マーク・線・文字	説明
X マーク (赤)	探査機の位置。
曲線 (赤)	探査機の予測軌道。2 体問題の解としての 2 次曲線です。
曲線 (青)	探査機の実経路。数値積分の結果の経路です。
+ マーク (緑)	ターゲット天体の位置。
曲線 (緑)	ターゲット天体の軌道。2 体問題の解としての 2 次曲線が表示されます。
小丸マーク (黒)	太陽の位置。
+ マークと名称 (水色)	太陽および惑星の位置と名称。地球の月は + マークだけが表示されます。
座標軸	黄道座標系の座標軸。原点は太陽系重心です。目盛の単位はメートルです。

## Show Orbit ウィンドウ

Show Orbit ウィンドウでは、3D Orbit ウィンドウに表示される情報の操作を行います。重要なものとしては、3D Orbit ウィンドウに表示される軌道の中心をどこにするかがあり、これは Look at グループのラジオボタンで選択します。

もう一つの重要なものとしては、3D Orbit ウィンドウに表示される情報の時刻の操作があります。このウィンドウに表示される探査機やターゲット天体、惑星などの位置は、最後に実行されたマヌーバが終了した時刻のものが基本ですが、探査機の運動を太陽との 2 体問題と仮定して予測した将来（または過去）の予測位置を表示させることもできます。この予測時刻の操作もこのウィンドウで行います。探査機の運動を 2 体問題で予測しますから、探査機の位置には太陽以外の天体の引力や、電気推進またはソーラーセイルによる軌道変化は反映されません。

**Table 7 Show Orbit ウィンドウの操作**

グループ	項目	説明
Look at	SSB	選択すると 3D Orbit ウィンドウの描画の中心が太陽系重心 (SSB : Solar System Barycenter) になります。
	Probe	選択すると 3D Orbit ウィンドウの描画の中心が探査機 (Probe) になります。
	Target	選択すると 3D Orbit ウィンドウの描画の中心がターゲット天体 (Target) になります。
Show	Show Probe	チェックすると 3D Orbit ウィンドウに探査機の位置を示すマークが表示されます。
	Show Target	チェックすると 3D Orbit ウィンドウにターゲット天体の位置を示すマークが表示されます。
	Show Planets	チェックすると 3D Orbit ウィンドウに太陽と惑星の位置と名前が表示されます。
DT	DT(days)	表示する予測時刻 (P. Time) の現在時刻 (C. Time) からの経過時間 (日) が表示されます。値を設定することもできます。
	Apply ボタン	クリックすると DT 欄の値が予測時刻に反映されます。
Prediction Time Manipulator	<< ボタン	高速逆行。クリックすると Scale 指定の 10 倍のステップで予測時刻が逆行します。
	< ボタン	逆行。クリックすると Scale 指定に従って予測時刻が逆行します。
	> ボタン	順行。クリックすると Scale 指定に従って予測時刻が進みます。
	>> ボタン	高速順行。クリックすると Scale 指定の 10 倍のステップで予測時刻が進みます。
	Scale スピンボックス	操作ボタン (<<、<、>、>>) をクリックしたときに予測時刻がどれだけ変化するかを 10 の指数で指定します。値が 0 であれば、<や>の操作で時刻が 1 日変化します。値が-1 であればそれぞれ 0.1 日、値が 1 であればそれぞれ 10 日変化します。<<や>>の操作ではその 10 倍のステップで予測時刻が変化します。

Show Orbit ウィンドウには、次表に示す補助的な情報も表示されます。

**Table 8 Show Orbit ウィンドウに表示される補助的な情報**

グループ名	説明
Parameters for CP	化学推進マヌーバ (CP マヌーバ) および START マヌーバの編集集中に、設定された速度変化の値が表示されます。3D Orbit ウィンドウに表示される探査機の軌道や予測位置はここに表示されている速度変化が適用された結果になります。dv は速度変化量絶対値で、phi と elv は速度変化の向きです。定義は <a href="#">軌道ローカル座標系</a> を参照してください。
時刻情報	C. Time (現在時刻)、P. Time (予測時刻)、DT (経過時間) が表示されます。「現在時刻」は直前のマヌーバの終了時刻で、「予測時刻」は表示されている探査機やターゲット天体の位置に結びついた時刻です。予測時刻の値はコピーする (クリップボードに入れる) ことが可能です。経過時間 (DT) の値は変更することができ、Apply ボタンをクリックすれば予測時刻に反映されます。
Relative Position of Target	探査機から見たターゲット天体の距離と方向です。range は距離で、phi と elv の定義は <a href="#">軌道ローカル座標系</a> を参照してください。
Relative Velocity of Target	探査機から見たターゲット天体の速度です。vel は相対速度の絶対値で、phi と elv の定義は軌道ローカル座標系を参照してください。これらの値は選択してコピーする (クリップボードに入れる) ことが可能です。
Line of Sight Velocity (departing)	探査機から見たターゲット天体の視線速度です。値が正であればターゲット天体は遠ざかりつつあり、負であれば接近しつつあります。

## Flight Review ウィンドウ

Flight Review ウィンドウでは、飛行結果のレビューに関する操作を行います。飛行結果のレビューでは、直前に実行された FLYTO マヌーバの飛行を積分ステップごとに 3D Orbit ウィンドウに表示させることができます。

**Table 9 Flight Review ウィンドウの操作**

グループ	項目	説明
Look at	SSB	選択すると 3D Orbit ウィンドウの描画の中心が太陽系重心 (SSB: Solar System Barycenter) になります。
	Probe	選択すると 3D Orbit ウィンドウの描画の中心が探査機 (Probe) になります。
	Target	選択すると 3D Orbit ウィンドウの描画の中心がターゲット天体 (Target) になります。
Show	Show Kepler Orbit	チェックすると 3D Orbit ウィンドウに探査機の現在時刻における軌道が表示されます。
	Show Planets	チェックすると 3D Orbit ウィンドウに太陽と惑星の位置と名前が表示されます。
Time Manipulator	<< ボタン	高速逆行。クリックすると Hopping で指定した積分ステップ数だけ現在時刻が戻ります。
	< ボタン	逆行。クリックすると 1 積分ステップだけ現在時刻が戻ります。
	> ボタン	順行。クリックすると 1 積分ステップだけ現在時刻が進みます。
	>> ボタン	高速順行。クリックすると Hopping で指定した積分ステップ数だけ現在時刻が進みます。
	Hopping スピンボックス	操作ボタン (<<または>>) をクリックしたときに現在時刻を変化させるステップ数 (積分ステップ数) 指定します。スピンボックスですが、値を入力することもできます。

Flight Review ウィンドウには、次表に示す補助的な情報も表示されます。

**Table 10 Flight Review ウィンドウに表示される補助的な情報**

グループ名	説明
時刻情報	S. Time (開始時刻)、C. Time (現在時刻)、DT (経過時間) が表示されます。「開始時刻」は直前の FLYTO マスーバの開始時刻で、「現在時刻」は表示される探査機やターゲット天体の位置に結びついた時刻です。現在時刻と経過時間は選択してコピーする (クリップボードに入れる) ことができます。
Relative Position of Target	探査機から見たターゲット天体の距離と方向です。range は距離で、phi と elv の定義は <a href="#">軌道ローカル座標系</a> を参照してください。
Relative Velocity of Target	探査機から見たターゲット天体の速度です。vel は相対速度の絶対値で、phi と elv の定義は <a href="#">軌道ローカル座標系</a> を参照してください。これらの値は選択してコピーする (クリップボードに入れる) ことが可能です。
Line of Sight Velocity (departing)	探査機から見たターゲット天体の視線速度です。値が正であればターゲット天体は遠ざかりつつあり、負であれば接近しつつあります。

## Maneuver Editor ウィンドウ

Maneuver Editor ウィンドウはマヌーバの編集を行う画面です。SSVG のマヌーバには次表に示す 7 つのタイプがあります。

**Table 11** マヌーバのタイプ

タイプ名	説明
START	探査機を宇宙基地から出発させます。出発時刻と出発の速度を指定します。
CP	化学推進エンジンを使用して探査機の軌道を変更します。速度変化を指定します。
EP_ON	電気推進エンジンをオンにするマヌーバです。1 日あたりの速度変化を指定します。
EP_OFF	電気推進エンジンをオフにするマヌーバです。
SS_ON	ソーラーセイルをオンにするマヌーバです。ソーラーセイルの面積と向きを指定します。
SS_OFF	ソーラーセイルをオフにするマヌーバです。
FLYTO	指定した時刻まで飛行します。飛行経路にはすべての惑星の引力と、電気推進エンジンおよびソーラーセイルによる加速度が反映されます。

Maneuver Editor ウィンドウは、Next 行（最後に実行されたマヌーバの次の行）を編集する場合に限りすべての機能を利用できます。また Next 行を編集する場合は Show Orbit ウィンドウが表示され、2 体問題の解としての予測軌道や予測位置を参照することができます。以下の説明は Next 行の編集であることを前提にしています。



**Table 12 Maneuver Editor ウィンドウの操作**

項目	対応マヌーバタイプ	操作
Maneuver Type	すべて	マヌーバタイプを変更します。ドロップダウンリストからマヌーバタイプを選択し、右の <b>Apply</b> をクリックします。
Date&Time - ISOT	START FLYTO	出発時刻を ISOT 形式で指定します。(START) 飛行終了時刻を ISOT 形式で指定します。(FLYTO)
Date&Time - JD	START FLYTO	出発時刻をユリウス日で指定します。(START) 飛行終了時刻をユリウス日で指定します。(FLYTO)
Get Time	START FLYTO	クリックすると Show Orbit ウィンドウの予測時刻 (P. Time) を取得して Date&Time に設定します。
Flight Duration	FLYTO	飛行時間を日数(小数可)で指定します。値を入力して右の <b>Apply</b> をクリックすると Date&Time に反映されます。
Show Orbit	すべて	クリックすると指定した時刻やパラメータを反映させた探査機の位置や軌道が Show Orbit ウィンドウに設定され、3D Orbit ウィンドウに表示されます。 表示される探査機の位置や軌道は 2 体問題の解であり、電気推進エンジンやソーラーセイルによる加速度や惑星の引力は反映されません。
FTA	START CP	クリックすると FTA Setting ウィンドウが開きます。FTA の使い方は <a href="#">FTA Setting ウィンドウ</a> を参照してください。
Parameters	すべて	マヌーバのパラメータを設定します。設定するパラメータのないマヌーバもあります。
Finish and Exec	すべて	マヌーバの編集を完了し、そのマヌーバを実行します。
Finish	すべて	マヌーバの編集を完了します。

**Table 13 Maneuver Editor の Parameters の設定**

パラメータ名	対応マヌーバタイプ	説明
dv	START CP	速度変化量の絶対値を指定します。単位はメートル／秒です。
dvpd	EP_ON	電気推進エンジンをちょうど 1 日運転した場合の速度変化量絶対値を指定します。単位はメートル／秒です。
phi	START CP EP_ON	速度変化の方向を与える角度 phi（ファイ）を指定します。単位は度です。角度の定義は <a href="#">軌道ローカル座標系</a> を参照してください。
elv	START CP EP_ON SS_ON	速度変化の方向を与える角度 elv（上下角）を指定します。単位は度です。角度の定義は <a href="#">軌道ローカル座標系</a> を参照してください。ソーラーセイルの方向を与えるのにも使用します。
aria	SS_ON	ソーラーセイルの面積を指定します。単位は平方メートルです。
theta	SS_ON	ソーラーセイルの方向を与える角度 theta（シータ）を指定します。単位は度です。角度の定義は <a href="#">ソーラーセイル座標系</a> を参照してください。
inter	FLYTO	探査機の位置・速度の数値積分における 1 ステップの長さを指定します。単位は日です。

## New Flight Plan ウィンドウ

新しい飛行計画の特性を設定する画面です。

**Probe properties** グループでは、探査機の名称、質量を設定し、探査機が出発する宇宙基地を選択します。現時点では選択できる宇宙基地は 1 つだけ（**EarthL2**）で、これは地球－太陽系のラグランジュ点（**L2**）にあります。地球から見て太陽の反対側へ約 150 万 km の場所にあります。

**Target** グループではターゲット天体を指定します。ターゲット天体が太陽系の惑星または地球の月、もしくは準惑星 **Pluto** であれば、ラジオボタンの **Planet/Moon** を選択してください。その下のドロップダウンリストでターゲット天体を選択します。それ以外の小天体（準惑星、小惑星、彗星など）をターゲット天体にするためにはラジオボタンの **Small Body** を選択し、その右に小天体のパラメータを指定するのですが、その前に小天体の軌道を計算するためのファイル（**SPK ファイル**）を入手する必要があります。**SPK ファイルの入手方法は [SPK ファイルを入手する](#) に説明があります。**

## FTA Setting ウィンドウ

FTA のパラメータを設定する画面です。

FTA は Fixed Time Arrival Guidance の略で、指定した日時に探査機がターゲット天体に到着するよう軌道修正を行うためのパラメータを計算します。想定している使い方は次のとおりです。

- Next 行を編集時の Maneuver Editor ウィンドウで、
- マヌーバのタイプが **START** または **CP** の場合に、
- Show Orbit ウィンドウで予測時間を操作して到着予定日時を決定して、
- FTA ボタンをクリックして機能を利用する。

上記の使い方であれば、Time to Arrival（到着までの時間）の設定は Get Prediction Time from Show Orbit Window（Show Orbit ウィンドウの予測時間を取得する）にします。Specify Time to Arrival を選択して、到着までの時間（日）を指定することもできます。

FTA ではターゲット天体の中心ではなく、すこし離れた場所を目指すこともよくあります。探査機を惑星の衛星軌道に投入したい場合や、惑星でスイングバイを行いたい場合などです。そのような場合には、Set Probe's Sight on グループのパラメータで目指す場所を指定します。ターゲット天体の中心からの距離と二つの角度（phi と elv）です。phi と elv については[軌道ローカル座標系](#)を参照してください。

## 座標系

### 黄道座標系

地球の公転面（黄道面）と赤道面を基準にした座標系です。X 軸は春分点方向で、Z 軸は黄道面に垂直で北向きです。Y 軸は X 軸と Z 軸両方に直交します。SSVG では西暦 2000.0 年の黄道面・赤道面に基づいた座標系（J2000）を使用しています。

## 軌道ローカル座標系

探査機やターゲット天体など、太陽を周回する天体の軌道に基づいた座標系です。太陽を原点にした天体の位置と、太陽に対する天体の速度が基準です。

X 軸：天体の速度ベクトルに平行です。

Z 軸：天体の角運動量ベクトルに平行です。

Y 軸：X 軸と Z 軸の両方に直交します。

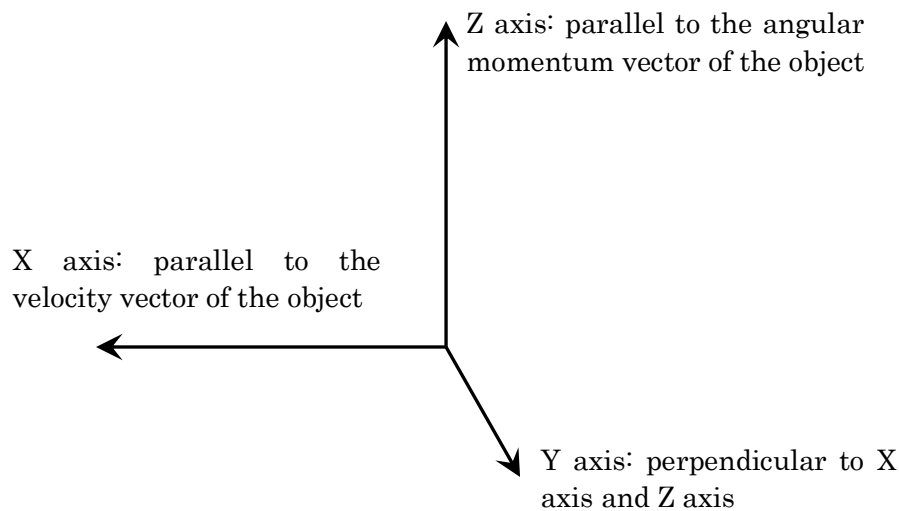


Figure 1 軌道ローカル座標系の定義

### 【軌道ローカル座標系の極座標表現】

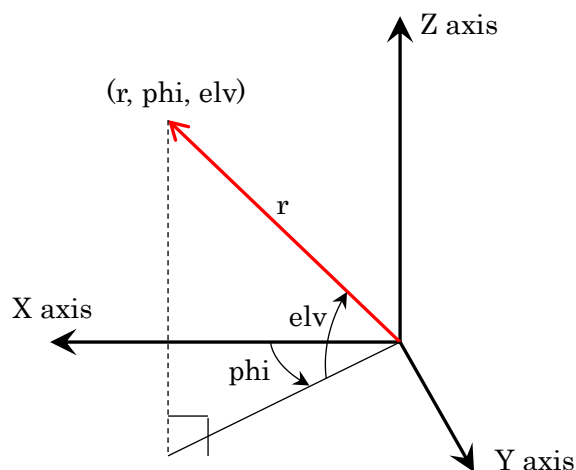


Figure 2 軌道ローカル座標系の極座標表現

SSVG では探査機のマヌーバにおける速度変化の向きや、探査機から見たターゲット天体の位置と速度の表現などに、軌道ローカル座標系での極座標表現（上図）を使用します。

## ソーラーセイル座標系

探査機のソーラーセイルの向きの指定に使用する座標系です。軌道ローカル座標系と同様に太陽を原点にした探査機の位置と太陽に対する探査機のを速度を基準にした座標系ですが、**X 軸**の向きは探査機の位置ベクトルと平行になります。**Z 軸**は探査機の角運動量ベクトルと平行です。

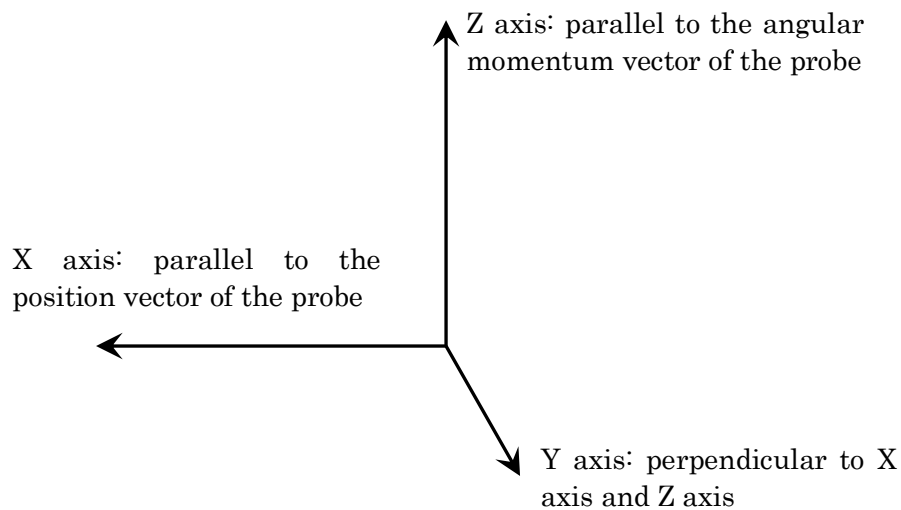


Figure 3 ソーラーセイル座標系の定義

### 【ソーラーセイル座標系の極座標表現】

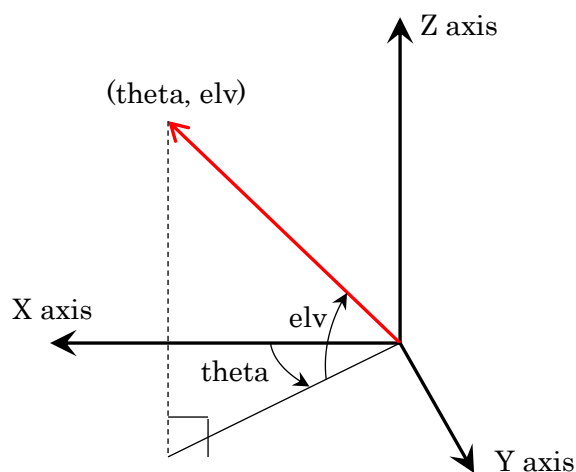


Figure 4 ソーラーセイル座標系の極座標表現

SSVG ではソーラーセイルの向きをセイル面の法線ベクトル（面に垂直で太陽から遠ざかる向きの単位ベクトル）のソーラーセイル座標系での極座標（上図）で表現します。角度の定義は同様ですが、座標軸が異なるため角度の呼び名を変えています。

## 時刻系

SSVG の時刻はすべて TDB（太陽系重心における太陽系力学時）です。

## 化学推進エンジン

SSVG の探査機の化学推進エンジンは、瞬時に探査機の変速させることできる、というモデル化を行っています。また燃料の消費は考慮されていません。推進に伴う誤差（加速度の絶対値の誤差ならびに推力の方向の誤差）は考慮されていません。

## 電気推進エンジン

SSVG の探査機の電気推進エンジンは、探査機を連続的に加速するようモデル化されています。加速に伴う推進剤の消費は考慮されていません。また電源の制約等に伴う加速度の限界についても考慮されていません。推進に伴う誤差（加速度の絶対値の誤差ならびに推力の方向の誤差）は考慮されていません。

## ソーラーセイル

SSVG のソーラーセイルは、太陽光を完全に反射する平面鏡としてモデル化されています。また任意の面積のソーラーセイルを任意の向きに開くことができます。ソーラーセイルの面積の誤差や向きの誤差は考慮されていません。

## 探査機の軌道の数値積分

探査機の軌道（2 体問題の解としての予測軌道ではなく、FLYTO で飛行中の軌道）は、探査機に働く力を以下のとおりと仮定して数値積分を行っています。これら以外の力は考慮されていません。

太陽の引力

8 惑星と月（地球の月）の引力

電気推進エンジンおよびソーラーセイルの推力

以上