|  |
| --- |
|  |
| 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)  2017/2/10  Version 0.6.1 Beta |

# SSVGとは

SSVG（Solar System Voyager）は宇宙探査機（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

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

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

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／アンインストール

SSVGはWindows上で動作する実行形式プログラムとPythonソースプログラムの二つの形態で配布しています。どちらでもお好きな方を利用してください。

### 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。  
<<http://yahoo.jp/box/A0fffK>>

SSVGをアンインストールするには、インストールされたSSVGのフォルダ全体を削除してください。

【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>>

### Pythonソースプログラム

もしNumpy/Scipy/matplotlib/PyQt4を含むPython 3.5がインストールされているPCがあれば、Pythonで記述されたソースプログラムを使用してSSVGを実行することができます。SSVGの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, pyqt 4.11.4, jplephem 2.6, julian,   
pytwobodyorbit 0.1.0, spktype01 0.1.0

Numpy、Scipy、matplotlib、pyqtについては、これらが組み込まれているPythonディストリビューション（例えばAnaconda3）を利用するのが好都合でしょう。jplephem、julian、pytwobodyorbit、spktype01についてはPyPI（Pythonパッケージインデックス）に登録されていますので、Pythonのpipコマンドを使用してインストールしてください。

【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>>

## 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。一番上にある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。

### 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×：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ウイ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ウインドウ](#_3D_Orbitウインドウ)および[Show Orbitウインドウ](#_Show_Orbitウインドウ)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。ロケットエンジンで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は、その飛行の経過を3D Orbitウインドウに表示させることができます。SSVGウインドウの上端にある「Review Recent FLYTO」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ウインドウがFlight Reviewウインドウになり、3D Orbitウインドウの表示内容も変化します。Flight ReviewウインドウのReview 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。地球の兄弟のような惑星、金星を目指しましょう。金星到着の目標時期は東京でオリンピックの開催される予定の2020年とします。

### 飛行計画の新規作成

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

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。また探査機を出発させる宇宙基地（Space Base）をドロップダウンリストで選択することができます。宇宙基地はすべての惑星の近くのラグランジュ点（L1とL2）にあります。例えば「EarthL2」という宇宙基地は太陽－地球系のラグランジュ点L2にあり、これは地球から見て太陽の反対側の、約150万kmの宇宙空間です。ここではこのEarthL2を選択しましょう。

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）を選択してください。ウインドウ下部の「OK」をクリックすると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ウイ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。マヌーバ一覧はまだ空白で、1行目にNextの表示があるはずです。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ウインドウが開きます。

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

STARTマヌーバでは、出発時刻と出発時の速度（大きさと方向）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、ここでは軌道計画の最適化支援機能（Optimize Assistant機能）を使用します。Maneuver Editorウインドウで「Optimize」ボタンをクリックしてください。Start Optimize Assistantウインドウが開きます。

Start Optimize Assistantウインドウでは、出発時刻と到着までの飛行時間を、それぞれのスライダーとボタン（**<<**または**>>**）を使って指定します。操作の詳細は[Start Optimize Assistantウインドウ](#_Start_Optimize_Assistantウインドウ)を見てください。まずはArrange Flight Durationのスライダーを動かして、飛行時間（Flight Duration）を200.0日にしましょう。これはJAXAの金星探査機「あかつき」の軌道計画を参考にした値です。

次に適切な出発時刻（日時）を探しましょう。Arrange Start Timeのスライダーとボタン（**<<**と**>>**）を操作して、出発時刻（日時）を変えてみてください。3D Orbitウインドウには、次のマークや線が随時表示されます。

水色線：探査機の軌道（指定した出発時刻と飛行時間に対応したもの）

赤×：出発時の探査機の位置

緑＋：出発時のターゲット天体（ここでは金星）の位置

青×：到着時の探査機の位置

赤線：宇宙基地の経路

緑線：ターゲット天体（ここでは金星）の軌道

また、Start Optimize Assistantウインドウの下部には次の情報が随時表示されます。

探査機を宇宙基地から出発させる速度（絶対値と方向）：Initial Delta-V

探査機がターゲット天体に到着したときの速度（絶対値）：Terminal Relative Velocity

上記の速度（絶対値）の和：Total DV

どのような軌道が最適かは到着後になにをしたいかで変わりますが、ここではTotal DVが最小になる経路を目指します。到着時刻が2020年のどこかで、Total DVが最小になる出発時刻を探してください。

よさそうな出発時刻が見つかったら、Start Optimize Assistantウインドウの「Finish and Apply」ボタンをクリックしてください。ウインドウが閉じて、出発時のパラメータ（出発時刻と出発速度）がManeuver Editorに反映されます。

Maneuver Editorウインドウで「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ウインドウで時間を進める操作を行えば、探査機が200日間の飛行の後にターゲット天体（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Optimize Assistantで予測した軌道から少しずれてしまいます。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ウイ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ウインドウが開きます。

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。Show Orbitウインドウの高速順行ボタン（**>>**）を何回かクリックしてDTを150.0にしてくだい。Maneuver EditorのFlight Durationも同じ値になり、飛行終了時の探査機やターゲット天体の位置が3D Orbitウイ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

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ウインドウが開きます。

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FTA機能を使用します。FTA機能はターゲット天体への到着時刻を指定すると、必要なCPマヌーバのパラメータを2体問題（注）で計算します。Show Orbitウインドウで（**>>**）を何回かクリックして、DTが50日で予測時刻（P. Time）が接近予定日になるようにし、FTAボタンをクリックしてください。FTA Settingsウインドウが開きます。

ここでは、探査機がターゲット天体（金星）から見てどこに到着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Maneuver Editorウインドウの「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。

（注）宇宙空間に太陽と探査機の2つの天体だけがあると仮定して（ターゲット天体の引力は考慮せずに）軌道の計算を行います。したがって実際の到着時刻や場所は少し違ったものになります。

### FLYTO（その2）

最接近予定日の5日前まで45日間飛行する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出始めていて、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日後まで10日間飛行するFLYTOマヌーバを作成し、実行しましょう。この飛行では探査機が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に変更します。実行後にSSVGウインドウの「Review Recent FLYTO」ボタンをクリックして、飛行状況を確認してください。探査機は当初の予定よりも半日ほど早く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「Probe 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、金星との相対速度を小さくするマヌーバ（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>>

ページ上部の表の「Object」欄に小天体の名称、仮符号、小惑星番号のいずれかを入力して、「Look up」ボタンをクリックしてください。一つもしくは複数の小天体の候補が表示されます。適切な小天体が見つかったならば、その小天体の「Primary SPKID」をメモして元の画面に戻ってください。

表の「Object」欄にPrimary SPKIDの値を記入し、作成開始日や終了日など必要なパラメータを記入して「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（インストール時にde430.bspを保存したのと同じdataディレクトリに保存するのが好都合でしょう）。パラメータと設定方法の概要は次表のとおりです。

（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、メモを残しておいてください。

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、SPKIDなどを入力します。 |
| 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。 |

冥王星（Pluto：準惑星）と地球の月（Moon）は惑星ではありませんが、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、ドロップダウンリストから選んでください。

### 飛行計画の新規作成

SSVGウインドウのメニューからFile → Newを実行してください。New Flight Planウインドウが開きます。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。次に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。SPKファイルがSSVGのdataディレクトリに保存してあれば、ファイル名を直接SPK file欄に記入することもできます。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ウインドウ

Table 2 SSVGウインドウのボタン

|  |  |
| --- | --- |
| 表示名 | 機能 |
| Review Throughout | 実行済みのすべてのマヌーバをレビューします。3D Orbitウインドウが閉じられている場合は再表示します。 |
| Review Recent FLYTO | 直前の飛行結果（FLYTOマヌーバの結果）をレビューします。3D Orbitウインドウが閉じられている場合は再表示します。 |
| Show Orbit | Show Orbitウインドウを表示し、3D Orbitウインドウに探査機等の情報を表示します。3D Orbitウインドウが閉じられている場合は再表示します。 |
| 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ウインドウのマヌーバ一覧の操作

|  |  |
| --- | --- |
| 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ウインドウのメニュー

|  |  |
| --- | --- |
| 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。 |
| Edit → Probe | 現在の飛行計画の探査機（Probe）の情報を編集します。 |
| Edit → Target | 現在の飛行計画のターゲット天体（Target）を変更します。 |
| Checkpoint → Create | チェックポイントを作成します。（注） |
| Checkpoint → Resume | 探査機の実行状態をチェックポイントの状態に戻します。 |
| Help → about SSVG | SSVGに関する情報を表示します。 |

（注）操作する時点で最後に実行されたマヌーバの直後、つまりNext行の実行の直前にチェックポイントを作成し、マヌーバ一覧に「checkpoint」を表示します。Resumeを実行すると、探査機の実行状態はチェックポイントを作成した時点の状態に戻ります。「Ex Initialize」のクリックなどによりマヌーバの実行が取り消されると、チェックポイントも削除されます。

Table 5 SSVGウインドウに表示される情報

|  |  |
| --- | --- |
| 項目名 | 表示内容 |
| Current status | 最後に実行されたマヌーバの実行終了時の探査機の状態が表示されます。マヌーバの種類、現在時刻、軌道要素等です。 |
| Selected maneuver | マヌーバ一覧で選択されているマヌーバの詳細が表示されます。各パラメータの意味は[Maneuver Editorウインドウ](#_Maneuver_Editorウインドウ)を参照してください。 |

### 3D Orbitウインドウ

Table 6 3D Orbitウインドウにおける画像操作

|  |  |
| --- | --- |
| 操作したい内容 | 操作方法 |
| 画像の向きを変える | 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。 |
| 画像の拡大率を変える | 右ボタンを押した状態でマウスを上下に動かします。 |
| 画像の中心を変更する | 3D Orbitウインドウでは操作できません。Show Orbitウインドウ、Flight Reviewウインドウ、またはReview Throughoutウインドウの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ウイ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 7 3D Orbitウインドウに表示されるマーク、線、文字

|  |  |
| --- | --- |
| マーク・線・文字 | 説明 |
| ×マーク（赤） | 探査機の位置。FLYTOマヌーバのレビュー中は電気推進やソーラーセイルの状態がマークの右に赤文字で表示されることがあります。 |
| 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。  Start Optimize Assistantでは宇宙基地の軌道です。 |
| 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次曲線です。 |
| ×マーク（青） | 探査機がターゲット天体に到着する位置。Optimize Assistantで表示されます。 |
| 曲線（水色） | 探査機の予測軌道。Optimize Assistantでは2体問題の解としての2次曲線が水色で表示されます。（曲線を表現する点の間隔が広いので、曲線の一部が多角形になることがあります） |
| 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。地球の月は水色の + 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。 |
| 時刻 | ウインドウの左上隅に時刻（日時）とその種類が表示されます。時刻はISO形式で表示されます。種類はReal（実時間）とPredicted（予測時間）のいずれかです。 |

### Show Orbitウインドウ

Show Orbitウインドウでは、3D Orbitウイ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ウインドウに表示される図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ウインドウに表示される情報の時刻の操作があります。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はShow Orbitウインドウで行います。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 8 Show Orbitウインドウの操作

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| グループ | 項目 | 説明 |
| Look at | SSB | 選択すると3D Orbitウイ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ウイ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ウインドウの描画の中心がターゲット天体 (Target) になります。 |
| Show | Probe Trajectory | チェックすると実行済みのマヌーバによって探査機が飛行した経路が青線で表示されます。 |
| Probe Kepler Orbit | チェックすると3D Orbitウインドウに探査機の軌道が赤線で表示されます。 |
| Target Kepler Orbit | チェックすると3D Orbitウインドウにターゲット天体の軌道が緑線で表示されます。 |
| Planets | チェックすると3D Orbitウインドウに太陽や惑星の位置と名前が表示されます。 |
| 時刻情報 | 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戻ります。 |
| **<** ボタン | 逆行。クリックするとScale指定に従って予測時刻が戻ります。 |
| **>** 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ウインドウには、次表に示す補助的な情報も表示されます。

Table 9 Show Orbitウインドウに表示される補助的な情報

|  |  |
| --- | --- |
| グループ | 説明 |
| Parameters for CP | 化学推進マヌーバ（CPマヌーバ）およびSTARTマヌーバの編集中に、設定された速度変化の値が表示されます。3D Orbitウイ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[軌道ローカル座標系](#_軌道ローカル座標系)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。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[軌道ローカル座標系](#_軌道ローカル座標系)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](#_軌道ローカル座標系)を参照してください。 |
| 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ウインドウ

Flight Reviewウインドウでは、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ウインドウに表示させることができます。

飛行結果のレビュー中は3D Orbitウインドウの探査機（赤の×マーク）の右に以下の文字が表示されることがあります。

EPON(m)：電気推進がオンの場合に表示されます。mは推力方向モードで、LまたはEです。

SSON(m) SSAcc=n.nnn：ソーラーセイルがオンの場合に表示されます。mは推力方向モードで、LまたはEです。n.nnnはソーラーセイルによる加速度の大きさで、値は1日当たりの速度変化量（m/s）です。

Table 10 Flight Reviewウインドウの操作

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| グループ | 項目 | 説明 |
| Look at | SSB | 選択すると3D Orbitウイ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ウイ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ウインドウの描画の中心がターゲット天体（Target）になります。 |
| Show | Probe Trajectory | チェックすると実行済みのマヌーバによって探査機が飛行した経路が青線で表示されます。 |
| Probe Kepler Orbit | チェックすると3D Orbitウインドウに探査機の現在時刻における軌道が赤線で表示されます。 |
| Target Kepler Orbit | チェックすると3D Orbitウインドウにターゲット天体の開始時刻における軌道が緑線で表示されます。 |
| Planets | チェックすると3D Orbitウインドウに太陽や惑星の位置と名前が表示されます。 |
| Review 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 | 高速操作ボタン（**<<**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ウインドウには、次表に示す補助的な情報も表示されます。

Table 11 Flight Reviewウイ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マヌーバの開始時刻で、「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。 |
| 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[軌道ローカル座標系](#_軌道ローカル座標系)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](#_軌道ローカル座標系)を参照してください。 |
| 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。 |

### Review Throughoutウインドウ

Review Throughoutウインドウでは、実行済みのマヌーバ全体を通してレビューする操作を行います。

Table 12 Review Throughoutウインドウの操作

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| グループ | 項目 | 説明 |
| Look at | SSB | 選択すると3D Orbitウイ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ウイ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ウインドウの描画の中心がターゲット天体 (Target) になります。 |
| Show | Probe Trajectory | チェックすると実行済みのマヌーバによって探査機が飛行した経路が青線で表示されます。 |
| Probe Kepler Orbit | チェックすると3D Orbitウインドウに探査機の現在時刻における軌道が赤線で表示されます。 |
| Target Kepler Orbit | チェックすると3D Orbitウインドウにターゲット天体の開始時刻における軌道が緑線で表示されます。 |
| Planets | チェックすると3D Orbitウインドウに太陽や惑星の位置と名前が表示されます。 |
| Maneuver Type | チェックすると3D Orbitウインドウにレビュー中のマヌーバのタイプが表示されます。（注） |
| Review Manipulator | **|<** ボタン | 1つ前のマヌーバに移ります。（FLYTOマヌーバの飛行の途中に限り、その飛行の先頭に移動します） |
| **<<** 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。FLYTOマヌーバのレビュー中に限り操作できます。 |
| **<** 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。FLYTOマヌーバのレビュー中に限り操作できます。 |
| **>** 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。FLYTOマヌーバのレビュー中に限り操作できます。 |
| **>>** 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。FLYTOマヌーバのレビュー中に限り操作できます。 |
| **>|** ボタン | 1つ後ろのマヌーバに移ります。（FLYTOマヌーバの飛行の途中に限り、その飛行の最後に移動します） |
| Hopping スピンボックス | 高速操作ボタン（**<<**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。 |

（注）FLYTOマヌーバのレビュー中はFLYTOの右に以下の文字が表示されることがあります。

EPON(m)：電気推進がオンの場合に表示されます。mは推力方向モード（tvmode）の値で、LまたはEです。

SSON(m) SSAcc=n.nnn：ソーラーセイルがオンの場合に表示されます。mは推力方向モード（tvmode）の値で、LまたはEです。n.nnnはソーラーセイルによる加速度の大きさで、値は1日当たりの速度変化量（m/s）です。

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

Table 13 Review Throughoutウイ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」は探査機の出発時刻で、「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。 |
| 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[軌道ローカル座標系](#_軌道ローカル座標系)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](#_軌道ローカル座標系)を参照してください。 |
| 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ウインドウ

Maneuver Editorウイ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 14 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。出発の速度（大きさと向き）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（大きさと向き）および推力方向モードを指定します。 |
| 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および推力方向モードを指定します。 |
| 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ウインドウは、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ウインドウが表示され、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行の編集中であることを前提にしています。

Table 15 Maneuver Editorウインドウの操作

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 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Applyをクリックします。 |
| Start Time - ISOT  End Time - ISOT | START  FLYTO | 出発時刻をISO形式で指定します。（START）  飛行終了時刻をISO形式で指定します。（FLYTO）（注） |
| Start Time - JD  End 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）（注） |
| 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ApplyをクリックするとEnd Timeに反映されます。（注） |
| Show Orbitボタン | 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予測位置や軌道がShow Orbitウインドウに設定され、3D Orbitウインドウに表示されます。3D Orbitウインドウが閉じられている場合は再表示します。  表示される探査機の予測位置や軌道は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ボタン | START  CP | クリックするとFTA Settingウインドウが開きます。FTAの使い方は[FTA Settingウインドウ](#_FTA_Settingウインドウ)を参照してください。 |
| Optimizeボタン | START  CP | 適切な出発時刻やマヌーバ時刻、および飛行時間の選択を支援するOptimize Assistantを実行します。Optimize Assistantの使い方は[Start Optimize Assistantウインドウ](#_Start_Optimize_Assistantウインドウ)または[CP Optimize Assistantウインドウ](#_CP_Optimize_Assistantウインドウ)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 ボタン | 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ボタン | すべて | マヌーバの編集を完了します。 |
| Cancelボタン | すべて | マヌーバの編集をキャンセルします。 |

（注）Show Orbitウインドウが表示されている場合、Show OrbitウインドウでPrediction Time Manipulatorの操作やDTの設定を行うと、設定された予測時間がFLYTOマヌーバの飛行終了時刻（End Time）や飛行時間（Flight Duration）に自動的に反映されます。逆にManeuver Editor上で出発時刻や飛行終了時刻、飛行時間を変更した場合、Show Orbitボタンをクリックすると設定値がShow Orbitウインドウの予測時間や3D Orbitウインドウの探査機の位置等に反映されます。

Table 16 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[軌道ローカル座標系](#_軌道ローカル座標系)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[軌道ローカル座標系](#_軌道ローカル座標系)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。[ソーラーセイル座標系](#_ソーラーセイル座標系)も併せて参照してください。 |
| 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[ソーラーセイル座標系](#_ソーラーセイル座標系)を参照してください。 |
| tvmode | EP\_ON  SS\_ON | 推力方向モード（EPとSSの推力方向の決め方）を指定します。指定は英文字の「L」または「E」です。  L：推力方向はローカル座標系に対して固定されます。（注1）  E：推力方向は黄道座標系に対して固定されます。（注2） |
| inter | FLYTO | 探査機の位置・速度の数値積分を行う1ステップの長さを指定します。単位は日です。 |

（注1）ローカル座標系とは、電気推進の場合は「軌道ローカル座標系」であり、ソーラーセイルの場合は「ソーラーセイル座標系」です。Lモードでは、推力方向（黄道座標系での方向）は角度の値（phi、elv、theta）を用いて飛行の途中の各時点で再計算されます。したがって飛行に伴って推力方向が変化します。

（注2）Eモードでは、EP\_ONまたはSS\_ONマヌーバの実行時点で推力方向（黄道座標系での方向）が角度の値（phi、elv、theta）を用いて計算され、その方向は次のEP\_ONまたはEP\_OFF（ソーラーセイルの場合次のSS\_ONまたはSS\_OFF）の実行まで保持されます。なおソーラーセイルの推力の大きさは飛行の各時点で太陽の距離と方向を使用して再計算されます。

### New Flight Planウインドウ

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（Space Base）を選択します。SSVGではすべての惑星の近くにそれぞれ二つの宇宙基地があり、そこから探査機を出発させることができます。宇宙基地は惑星と太陽の引力によるラグランジュ点L1とL2にあり、L1は惑星から太陽方向に、そしてL2は惑星から反太陽方向に一定距離離れた場所にあります。例えば地球近傍の宇宙基地EarthL2は地球－太陽系のL2にありますが、これは地球から見て太陽の反対側へ約150万km離れた場所です。

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します。小天体をターゲット天体にするためには、その小天体の軌道を計算するためのファイル（SPKファイル）をあらかじめ入手し、SPKIDを調べておく必要があります。SPKファイルの入手方法とSPKIDについては[SPKファイルを入手する](#_SPKファイルを入手する)に説明があります。

SPK file の欄にSPKファイルを指定するには、その右にある「...」ボタンをクリックしてファイルを選択します。SPKファイルをSSVGのdataディレクトリに保存してある場合はSPK fileの欄に直接ファイル名を記述することもできます。

### FTA Settingウインドウ

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行を編集中のManeuver Editorウインドウで、
* マヌーバのタイプがSTARTまたはCPの場合に、
* Show Orbitウイ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ウイ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、到着までの飛行時間（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](#_軌道ローカル座標系)を参照してください。

### Start Optimize Assistantウインドウ

Start Optimize Assistantウインドウは探査機を宇宙基地から出発させるSTARTマヌーバのパラメータ設定を支援します。

Start Optimize Assistantウインドウでは、宇宙基地から出発した探査機が直接ターゲット天体を目指すことを想定し、探査機の出発日時と飛行時間の決定を支援します。探査機の出発日時と飛行時間をどのように選ぶかは宇宙航行の効率に大きく影響を与えますが、何が最適かは一概には言えません。Start Optimize Assistantウインドウでは出発日時と飛行時間を自由に変化させ、その時の探査機の経路を図示するとともに、出発時の速度変化量（デルタV）と到着時のターゲット天体との相対速度を表示しますから、目的に叶う出発日時や飛行時間を見つけることが容易になります。

飛行時間に替えてターゲット天体への到着日時を使って最適値を探すこともできます。

なお、Start Optimize Assistantの軌道予測はShow OrbitやFTAと同じく2体問題により計算していますので正確ではありません。FLYTOで探査機を飛行させると、探査機は予測結果とは少し違う経路を通ります。

Table 17 Start Optimize Assistantウインドウの操作

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| グループ | 項目 | 説明 |
| Look at | SSB | 3D Orbitウイ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 | 選択できません。 |
| Target | 選択できません。 |
| Show Orbit | Space Base | チェックすると3D Orbitウインドウに探査機が出発する宇宙基地の軌道が赤線で表示されます。 |
| Target | チェックすると3D Orbitウインドウにターゲット天体の軌道が緑線で表示されます。 |
| Probe Predicted | チェックすると3D Orbitウインドウに探査機の予測軌道が水色線で表示されます。 |
| Flight Duration  is Arranged by  飛行時間の指定方法 | Flight Duration | チェックすると飛行時間を直接指定できます。 |
| Arrival Time | チェックすると飛行時間に替えてターゲット天体への到着日時を指定できるようになります。 |
| Arrange Start  Time  出発時刻の調整 | **<<** ボタン | スライダーの中央の日時を過去に向けて1ステップ（注1）動かします。 |
| **>>** ボタン | スライダーの中央の日時を未来に向けて1ステップ（注1）動かします。 |
| Wide | スライダーによる日時の調節範囲を±250日にします。 |
| Narrow | スライダーによる日時の調節範囲を±50日にします。 |
| スライダー | 左右に動かすと出発日時が変化します。キーボードの矢印キーやマウスのホイールでも操作できます。 |
| Deviation | スライダーの偏差が日を単位にして表示されます。 |
| Start Time | 出発日時が表示されます。 |
| Arrange Flight  Duration  飛行時間の調整  （注2） | **<<** ボタン | スライダーの中央の値を1ステップ（注1）大きくします。 |
| **>>** ボタン | スライダーの中央の値を1ステップ（注1）小さくします。 |
| Wide | スライダーによる飛行時間の調節範囲を±250日にします。 |
| Narrow | スライダーによる飛行時間の調節範囲を±50日にします。 |
| スライダー | 左右に動かすと飛行時間が変化します。キーボードの矢印キーやマウスのホイールでも操作できます。 |
| Flight Duration | 指定された飛行時間が日を単位にして表示されます。 |
| Arrival Time | 探査機がターゲット天体に到着する日時が表示されます。 |
| その他のボタン | Clear Statistics ボタン | 表示されている最小値（Min）と最大値（Max）をクリアします。 |
| Show Orbitボタン | 3D Orbitウインドウが閉じられている場合、再表示します。 |
| Finish and Apply ボタン | 現在指定されている出発日時と出発時の速度（デルタV、phi、elv）をManeuver Editorに反映し、ウインドウを閉じます。 |
| Cancelボタン | 結果を破棄してウインドウを閉じます。 |

（注1）1ステップの日数は250日（Wide時）または50日（Narrow時）です。

（注2）この表は「Flight Duration is Arranged by」で「Flight Duration」を選択した場合について記述しています。「Arrival Time」を選択した場合は、Arrange Start Timeの項と同じ指定方法になります。

Table 18 Start Optimize Assistantウインドウに表示される補助的な情報

|  |  |
| --- | --- |
| グループ名 | 説明 |
| Initial Delta-V (m/s) | 出発時の速度変化量が表示されます。現在の出発時刻と飛行時間を採用した場合の速度変化量絶対値（Current）と、これまでの最小値（Min）、最大値（Max）が表示されます。（注）　またCurrentの値についてはその方向を示すパラメータ（phiとelv）も表示されます。phiとelvについては[軌道ローカル座標系](#_軌道ローカル座標系)を参照してください。 |
| Terminal Relative Velocity (m/s) | ターゲット天体に到着した時の相対速度が表示されます。現在の出発時刻と飛行時間を採用した場合の相対速度絶対値（Current）と、これまでの最小値（Min）、最大値（Max）が表示されます。（注） |
| Total DV (IDV + TRV) | 出発時の速度変化量絶対値とターゲット天体到着時の相対速度絶対値の和が表示されます。現在の出発時刻と飛行時間を採用した場合の値と、これまでの最小値（Min）、最大値（Max）が表示されます。（注） |

（注）最小値と最大値はClear Statisticsボタンをクリックすることによりクリアされます。

### CP Optimize Assistantウインドウ

CP Optimize Assistantウインドウは化学推進エンジンを使用して探査機の軌道を変更するCPマヌーバのパラメータ設定を支援します。

CP Optimize Assistantウインドウでは、探査機がターゲット天体を目指すように軌道を変更するマヌーバを想定し、探査機の軌道変更日時と軌道変更後の飛行時間の決定を支援します。探査機の軌道変更日時と軌道変更後の飛行時間をどのように選ぶかは宇宙航行の効率に大きく影響を与えますが、何が最適かは一概には言えません。CP Optimize Assistantウインドウでは軌道変更日時と軌道変更後の飛行時間を自由に変化させ、その時の探査機の経路を図示するとともに、軌道変更時の速度変化量（デルタV）と到着時のターゲット天体との相対速度を表示しますから、目的に叶う軌道変更日時やその後の飛行時間を見つけることが容易になります。

軌道変更後の飛行時間に替えてターゲット天体への到着日時を使って最適値を探すこともできます。

なお、CP Optimize Assistantの軌道予測はShow OrbitやFTAと同じく2体問題により計算していますので正確ではありません。FLYTOで探査機を飛行させると、探査機は予測結果とは少し違う経路を通ります。

Table 19 CP Optimize Assistantウインドウの操作

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| グループ | 項目 | 説明 |
| Look at | SSB | 3D Orbitウイ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 | 選択できません。 |
| Target | 選択できません。 |
| Show Orbit | Probe Original | チェックすると3D Orbitウインドウに軌道変更前の探査機の軌道が赤線で表示されます。 |
| Target | チェックすると3D Orbitウインドウにターゲット天体の軌道が緑線で表示されます。 |
| Probe Predicted | チェックすると3D Orbitウインドウに探査機の予測軌道が水色線で表示されます。 |
| Probe Trajectory | チェックすると3D Orbitウインドウに探査機のこれまでの飛行経路が青線で表示されます。 |
| Flight Duration  is Arranged by  飛行時間の指定方法 | Flight Duration | チェックすると飛行時間を直接指定できます。 |
| Arrival Time | チェックすると飛行時間に替えてターゲット天体への到着日時を指定できるようになります。 |
| Maneuver Time is  軌道変更時刻の固定 | Fixed to Current Time | チェックすると軌道変更時刻が現在時刻（直前のマヌーバの終了時刻）に固定され、変更できなくなります。 |
| Arrange Maneuver Time  軌道変更時刻の調整 | **<<** ボタン | スライダーの中央の日時を過去に向けて1ステップ（注1）動かします。 |
| **>>** ボタン | スライダーの中央の日時を未来に向けて1ステップ（注1）動かします。 |
| Wide | スライダーによる日時の調節範囲を±250日にします。 |
| Narrow | スライダーによる日時の調節範囲を±50日にします。 |
| スライダー | 左右に動かすと出発日時が変化します。矢印キーやマウスのホイールでも操作できます。 |
| Deviation | スライダーの偏差が日を単位にして表示されます。 |
| Maneuver Time | 軌道変更時刻が表示されます。 |
| Arrange Flight  Duration  飛行時間の調整  （注2） | **<<** ボタン | スライダーの中央の値を1ステップ（注1）大きくします。 |
| **>>** ボタン | スライダーの中央の値を1ステップ（注1）小さくします。 |
| Wide | スライダーによる飛行時間の調節範囲を±250日にします。 |
| Narrow | スライダーによる飛行時間の調節範囲を±50日にします。 |
| スライダー | 左右に動かすと飛行時間が変化します。矢印キーやマウスのホイールでも操作できます。 |
| Flight Duration | 指定された飛行時間が日を単位にして表示されます。 |
| Arrival Time | 探査機がターゲット天体に到着する日時が表示されます。 |
| その他のボタン | Clear Statistics ボタン | 表示されている最小値（Min）と最大値（Max）をクリアします。 |
| Show Orbitボタン | 3D Orbitウインドウが閉じられている場合、再表示します。 |
| Finish and Apply ボタン | 現在推定されている軌道変更の速度変化量（デルタV、phi、elv）をManeuver Editorに反映し、ウインドウを閉じます。（注3：重要） |
| Cancelボタン | 結果を破棄してウインドウを閉じます。 |

（注1）1ステップの日数は250日（Wide時）または50日（Narrow時）です。

（注2）この表は「Flight Duration is Arranged by」で「Flight Duration」を選択した場合について記述しています。「Arrival Time」を選択した場合は、Arrange Maneuver Timeの項と同じ指定方法になります。

（注3：重要）軌道変更時刻はManeuver Editorには反映されませんし、他のどのマヌーバにも反映されません。軌道変更時刻を変化させている場合、値を反映されたCPマヌーバが正しくその時刻に実行されるよう、直前までのマヌーバを変更することが必要になります。軌道変更時刻（ISO形式）がシステムのクリップボードに格納されていますので、利用してください。

Table 20 CP Optimize Assistantウインドウに表示される補助的な情報

|  |  |
| --- | --- |
| グループ名 | 説明 |
| Initial Delta-V (m/s) | 軌道変更時の速度変化量が表示されます。現在の設定値を採用した場合の速度変化量絶対値（Current）と、これまでの最小値（Min）、最大値（Max）が表示されます。（注）　またCurrentの値についてはその方向を示すパラメータ（phiとelv）も表示されます。phiとelvについては[軌道ローカル座標系](#_軌道ローカル座標系)を参照してください。 |
| Terminal Relative Velocity (m/s) | ターゲット天体に到着した時の相対速度が表示されます。現在の設定値を採用した場合の相対速度絶対値（Current）と、これまでの最小値（Min）、最大値（Max）が表示されます。（注） |
| Total DV (IDV + TRV) | 軌道変更時の速度変化量絶対値とターゲット天体到着時の相対速度絶対値の和が表示されます。現在の設定値を採用した場合の値と、これまでの最小値（Min）、最大値（Max）が表示されます。（注） |

（注）最小値と最大値はClear Statisticsボタンをクリックすることによりクリアされます。

## 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

X axis: parallel to the velocity vector of the object

Y axis: perpendicular to X axis and Z axis

Z axis: parallel to the angular momentum vector of the object

#### 【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

X axis

Y axis

Z axis

phi

elv

(r, phi, elv)

r

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

X axis: parallel to the position vector of the probe

Y axis: perpendicular to X axis and Z axis

Z axis: parallel to the angular momentum vector of the probe

#### 【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

X axis

Y axis

Z axis

theta

elv

(theta, elv)

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。日付と時刻は内部処理ではユリウス日で表現していますが、ISO 8601の拡張形式で表示する場合があります（タイムゾーンの指定はありません）。

## 化学推進エンジン

SSVGの探査機の化学推進エンジンは、瞬時に探査機の速度を変化させることができる、というモデル化を行っています。また燃料の消費は考慮していません。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）は考慮していません。

## 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していません。また電源の制約等に伴う加速度の限界についても考慮していません。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）は考慮していません。

電気推進エンジンの推力方向は[軌道ローカル座標系](#_軌道ローカル座標系_1)のphiとelvで指定しますが、実際に探査機が加速される方向は推力方向モード（tvmode）の値により違ってきます。

tvmode = L：飛行途中の各時点でphiとelvを用いて推力方向（黄道座標系での方向）を再計算します。探査機が飛行すると探査機の位置や速度が変化しますから、推力方向も変化します。

tvmode = E：EP\_ONマヌーバの実行時にphiとelvを用いて推力方向（黄道座標系での方向）を計算し、次のEP\_OFFマヌーバまたはEP\_ONマヌーバの実行までこの推力方向を維持します。探査機が飛行しても黄道座標系で見た推力方向は変化しません。

## ソーラーセイル

SSVGのソーラーセイルは、表裏とも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していません。

ソーラーセイルの推力方向は鏡面に垂直で、太陽から遠ざかる方向になります。この推力方向は[ソーラーセイル座標系](#_ソーラーセイル座標系)のthetaとelvで指定しますが、実際に探査機が加速される方向は推力方向モード（tvmode）の値により違ってきます。

tvmode = L：飛行途中の各時点でthetaとelvを用いて推力方向（黄道座標系での方向）を再計算します。探査機が飛行すると探査機の位置や速度が変化しますから、推力方向も変化します。

tvmode = E：SS\_ONマヌーバの実行時にthetaとelvを用いて推力方向（黄道座標系での方向）を計算し、次のSS\_OFFマヌーバまたはSS\_ONマヌーバの実行までこの推力方向を維持します。探査機が飛行しても黄道座標系で見た推力方向は変化しません。ただし、飛行により太陽の照らす面が逆側になった場合は推力方向も逆向きになります（ソーラーセイルは両面が鏡面になっている想定です）。

なお、tvmodeの値に関わらず、ソーラーセイルの推力の大きさは飛行途中の各時点で太陽の距離と方向を用いて再計算します。したがって探査機が飛行するとソーラーセイルの推力の大きさは変化します。

## 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での飛行の軌道）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していません。

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