

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)

2017/2/7

Version 0.6.0 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 ウィンドウが新しく開き、そして 3D Orbit ウィ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。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「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 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。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。ウィンドウ下部の「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 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 ウィンドウで「Optimize」ボタンをクリックしてください。Start Optimize Assistant ウィンドウが開きます。

Start Optimize Assistant ウィンドウでは、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 ウィンドウ](#) をご覧ください。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 ウィンドウには、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 ウィ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 ウィンドウの「Finish and Apply」ボタンをクリックしてください。ウィンドウが閉じて、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 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。**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 **DT** を **150.0** にしてください。**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

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 **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** ウィンドウで (**>>**) 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** ウィンドウの「**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。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 ウィンドウ

Table 2 SSVG ウィンドウのボタン

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。
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。
Show Orbit	Show Orbit ウィンドウを表示し、3D Orbit ウィンドウに探査機等の情報を表示します。
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。
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 ウィ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 ウィンドウ を参照してください。

3D Orbit ウィンドウ

Table 6 3D Orbit ウィ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 ウィンドウでは操作できません。Show Orbit ウィンドウ、Flight Review ウィンドウ、または Review Throughout 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 7 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
×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	ウィ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 ウィ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 8 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	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が表示されます。
	Probe Kepler Orbit	チェックすると 3D Orbit ウィンドウに探査機の軌道が赤線が表示されます。
	Target Kepler Orbit	チェックすると 3D Orbit ウィンドウにターゲット天体の軌道が緑線が表示されます。
	Planets	チェックすると 3D Orbit ウィ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 9 Show Orbit ウィ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 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 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。
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。

飛行結果のレビュー中は 3D Orbit ウィンドウの探査機 (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と、値は 1 日当たりの速度変化量 (m/s) です。

Table 10 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	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が表示されます。
	Probe 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赤線が表示されます。
	Target Kepler Orbit	チェックすると 3D Orbit ウィ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が表示されます。
	Planets	チェックすると 3D Orbit ウィ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 11 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 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。
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 ウィンドウ

Review Throughout ウィンドウでは、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	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が表示されます。
	Probe 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赤線が表示されます。
	Target Kepler Orbit	チェックすると 3D Orbit ウィ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が表示されます。
	Planets	チェックすると 3D Orbit ウィ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 ウィ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と、値は 1 日当たりの速度変化量 (m/s) です。

Review Throughout 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 13 Review Throughout 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 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。
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 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 行の編集集中であることを前提にしています。

Table 15 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 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	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	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 FTA Setting ウィンドウ を参照してください。
Optimize	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 ウィンドウ または CP Optimize Assistant ウィンドウ 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	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。
Cancel	すべて	マヌーバの編集をキャンセルします。

(注) Show Orbit ウィンドウが表示されている場合、Show Orbit ウィンドウで 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 ウィンドウの予測時間や 3D Orbit ウィ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 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 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 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 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、探査機が発発する宇宙基地（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](#) 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 行を編集中的 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](#)を参照してください。

Start Optimize Assistant ウィンドウ

Start Optimize Assistant ウィ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 ウィンドウでは、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 ウィンドウでは出発日時と飛行時間を自由に变化させ、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 ウィンドウの操作

グループ	項目	説明
Look at	SSB	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 ウィンドウに探査機が出発する宇宙基地の軌道が赤線が表示されます。
	Target	チェックすると 3D Orbit ウィンドウにターゲット天体の軌道が緑線が表示されます。
	Probe Predicted	チェックすると 3D Orbit ウィンドウに探査機の予測軌道が水色線が表示されます。
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	表示されている最小値 (Min) と最大値 (Max) をクリアします。
	Finish and Apply	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、ウィンドウを閉じます。
	Cancel	結果を破棄してウィンドウを閉じます。

(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 ウィ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 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 ウィンドウ

CP Optimize Assistant ウィ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 ウィンドウでは、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 ウィ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 ウィンドウの操作

グループ	項目	説明
Look at	SSB	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 ウィ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 ウィ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 ウィ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 ウィ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	表示されている最小値（Min）と最大値（Max）をクリアします。
	Finish and Apply	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、ウィンドウを閉じます。（注 3：重要）
	Cancel	結果を破棄してウィンドウを閉じます。

（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 ウィ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 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。

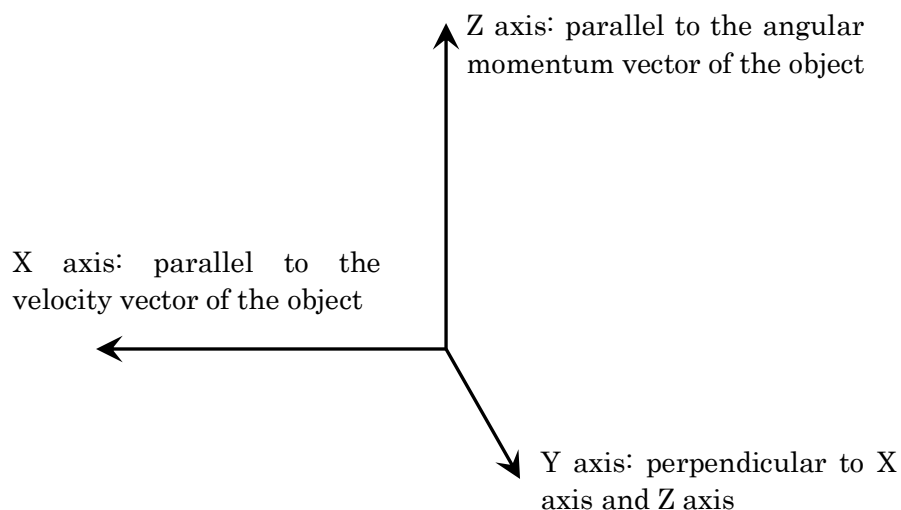


Figure 1 軌道ローカル座標系の定義

【軌道ローカル座標系の極座標表現】

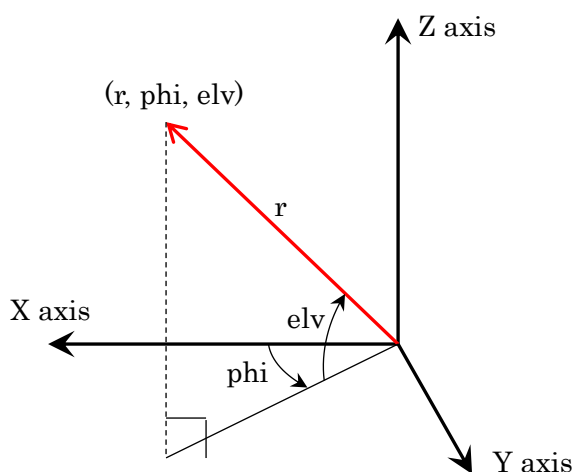


Figure 2 軌道ローカル座標系の極座標表現

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。

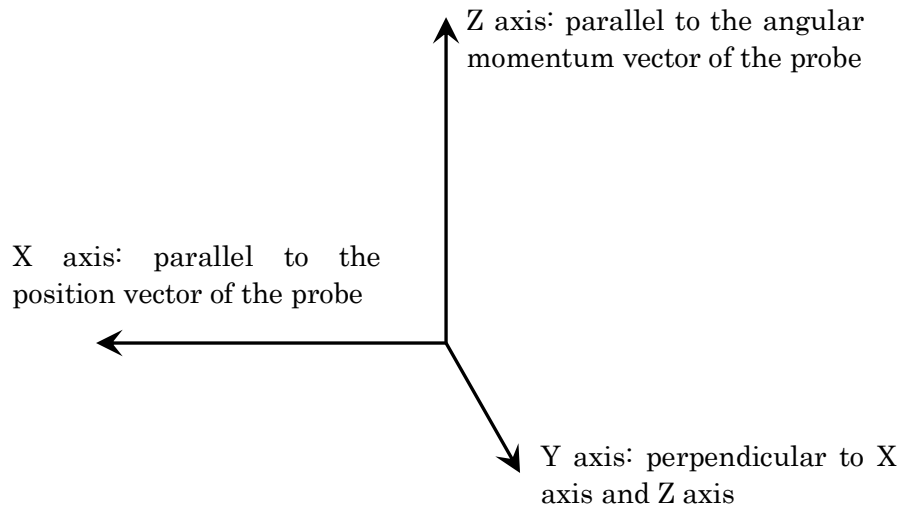


Figure 3 ソーラーセイル座標系の定義

【ソーラーセイル座標系の極座標表現】

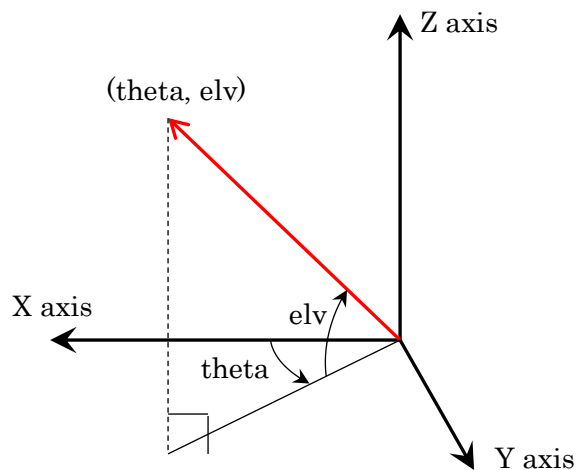


Figure 4 ソーラーセイル座標系の極座標表現

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。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、瞬時に探査機の変速を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](#)の ϕ と ψ 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 ϕ と ψ 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 ϕ と ψ 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](#) の θ 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 θ 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 θ 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