１．ソーラー電力セイルとは？

「ソーラーセイル」は，太陽光の圧力を帆（セイル）に受けて宇宙空間を航行する宇宙帆船であり，太陽の光さえあれば燃料なしで推進力を得ることができる．このアイデア自体は約 100 年前からあり，SF でもよく登場するが，今まで実現されていなかった．

一方，「ソーラー電力セイル」は，帆の一部に薄膜の太陽電池を貼り付けてあり，ソーラーセイルと同時に太陽光発電も行う日本独自のアイデアである．ソーラー電力セイルはソーラーセイルにより燃料を節約できるだけでなく，太陽から遠く離れた場所でも，大面積の薄膜太陽電池を利用して十分な電力を確保できる．

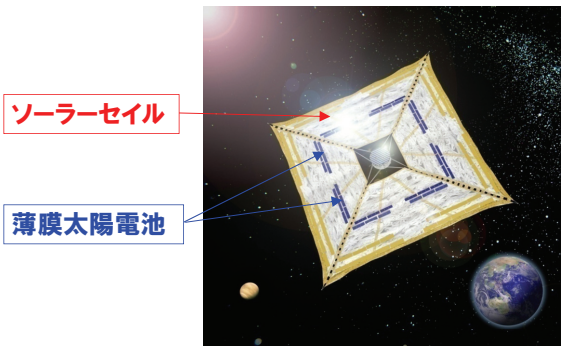

図１　ソーラー電力セイルの概要

２．イカロスのミッション

イカロスは以下の 4 つのミッションによりソーラー電力セイルを実証する．いずれも成功すれば世界初の快挙となる．

・大型膜面の展開・展張
・薄膜太陽電池による発電
・ソーラーセイルによる加速
・ソーラーセイルによる航行技術の獲得

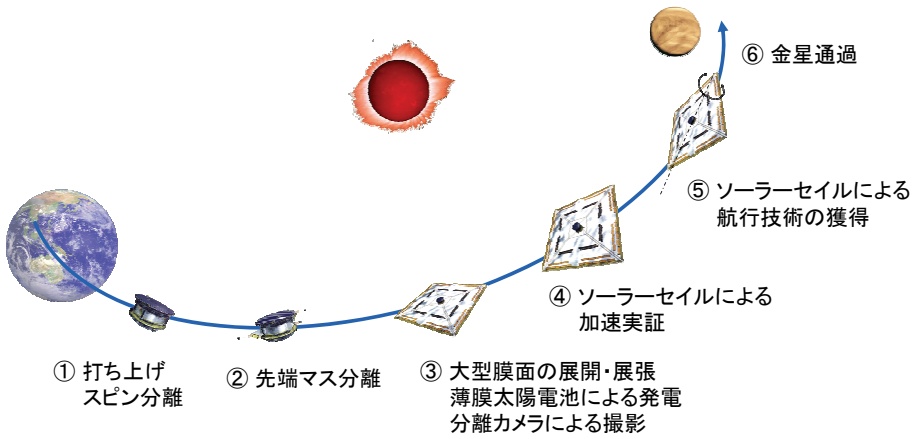

図２　イカロスのミッションシーケンス

３．イカロスのシステム

イカロスの帆は一辺 14m（差し渡し 20m）の大型の正方形で，厚さはわずか 7.5μm である．帆材には宇宙環境にも耐えられるポリイミド樹脂を採用し，太陽を向く面には光を反射するようアルミニウムを蒸着している．また，

亀裂の進展を防止するために補強処理を施してある．ポリイミド樹脂を接着剤で貼り合わせると，接着剤の耐宇宙環境性能やアウトガスが問題となるため，熱融着可能なポリイミド樹脂を新たに開発し，帆の一部に取り入れた．帆には厚さ 25μm の薄膜太陽電池の他，液晶デバイス等も貼り付けられている．

イカロスの本体は直径 1.6m，高さ 0.8m の円柱形である．イカロスは軽量化のためマスト（支柱）を持たない．帆と本体はテザー（ひも）で結合され，イカロス全体が回転する遠心力で帆を展張する．遠心力増強のために帆の頂点にはそれぞれ 0.5kg の先端マス（おもり）が取り付けられている．イカロスの全体の質量は 310kg でこのうち帆の質量は 15kg である．

図 3　イカロスの帆と本体

4．イカロスの帆の広げ方

イカロスの帆は打ち上げ時には本体の側面に巻き付けられていて，宇宙空間で遠心力を用いて広げる．先端マスを本体から切り離すと，本体の側面に巻き付けられた帆が解けていく．これを一気に行うと姿勢を乱すため，回転ガイドで帆の根元を押さえ，本体に対してゆっくりと相対回転することで，徐々に帆を繰り出す（一次展開）．そして帆が十字の形状となったところで回転ガイドを倒すと，帆の拘束が解放されて広がる．この展開は一気に進むため振動が発生するが，しばらくすると減衰して，帆は正方形となる（二次展開）．

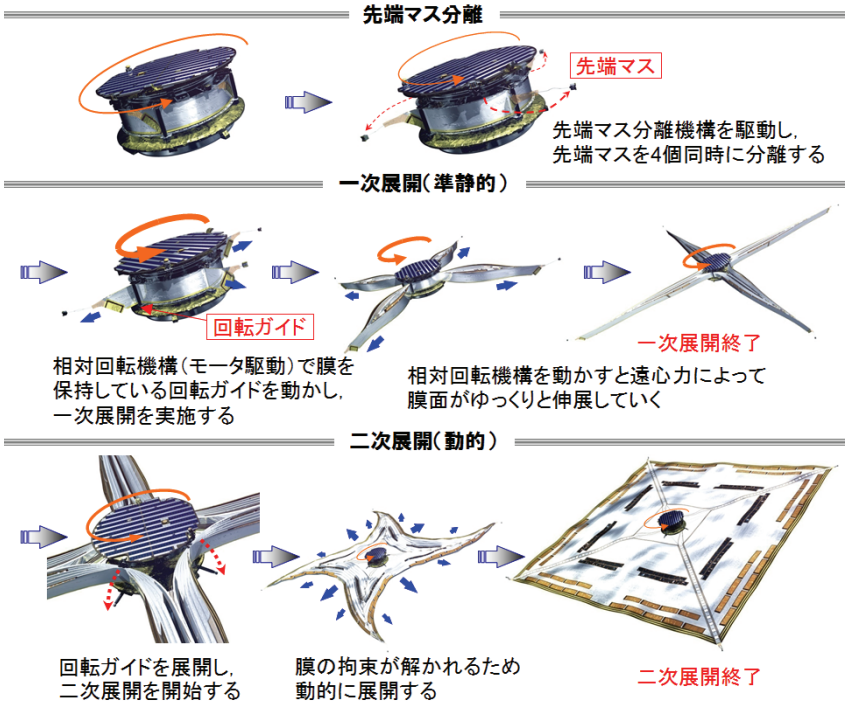

図 4　イカロスの帆の展開方法

５．イカロスの姿勢制御

ソーラーセイルは太陽光から受ける力の向きによって加速または減速し，加速時には太陽から遠ざかり，減速時には太陽に近づく．すなわち帆の方向を調整することで軌道を制御できる．イカロスでは，推進系で本体を姿勢制御することによって帆の方向を変更できるが，これとは別に液晶デバイスを用いて一部の帆の反射状態を曇りガラスのように変更することでも帆を操舵できる．

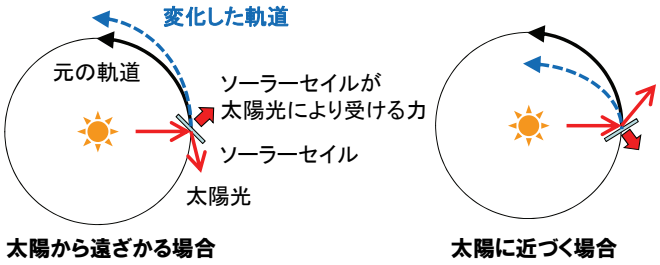

図５　ソーラーセイルによる軌道制御

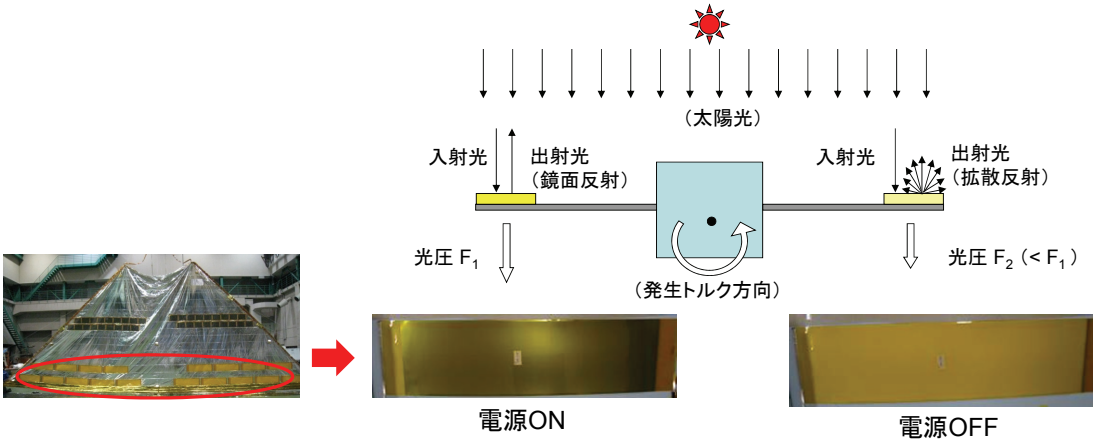

図６　液晶デバイスによる帆の操舵

６．イカロスの運用実績

5 月 21 日	打ち上げ・スピン分離
5 月 26 日	先端マス分離
6 月 02 日～08 日	一次展開
6 月 09 日	二次展開，光圧加速の確認
6 月 10 日	薄膜太陽電池による発電の確認
6 月 14 日, 19 日	分離カメラによる撮影
7 月 13 日	液晶デバイスによる姿勢制御
12 月 8 日	金星通過

イカロスは 2010 年 5 月 21 日に H-IIA ロケットにて金星探査機「あかつき」と相乗りで打ち上げられ，惑星間軌道にてスピン分離した．まずは，先端マスを分離して，一次展開・二次展開により帆を遠心力で展開した．その後，2 台の超小型カメラを切り離してイカロス全体の撮影を行い，帆は破損なく，均等に展開できていることを示した．そして，分離直後から太陽光圧によって予定通り加速していることを軌道決定により確認し，イカロスは世界で初めてソーラーセイルによる推進を実現した．さらに，液晶

デバイス等により姿勢を調整して，ソーラーセイルによる軌道制御にも成功し，12 月 8 日には金星をフライバイ（通過）した．一方で，帆に貼りつけた薄膜太陽電池の発電性能も評価し，当初予定していたすべてのミッションを達成し，世界初のソーラー電力セイルの実証に成功した．なお，イカロスは，2011 年以降も運用を継続し，新たなソーラーセイルミッションに挑戦している．

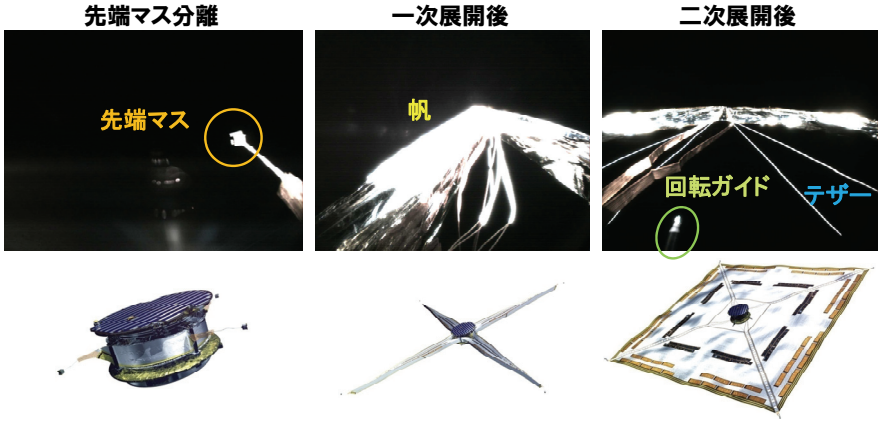

図 7　イカロスの帆の展開結果

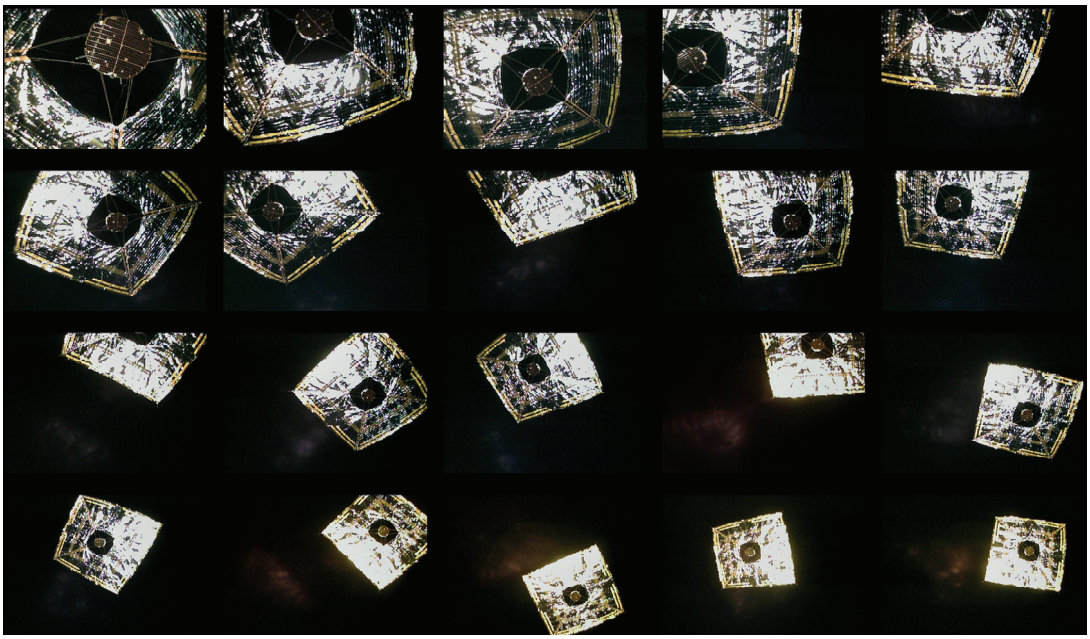

図 8　分離カメラによる撮影結果

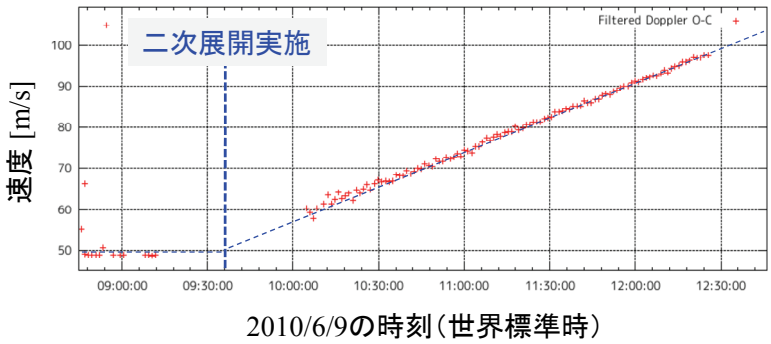

図 9　太陽光圧による加速結果

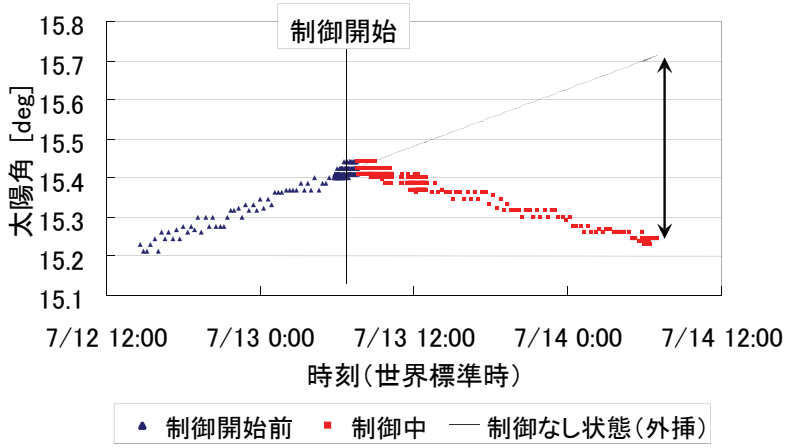

図 10　液晶デバイスによる姿勢制御結果

7．今後の計画

イカロスの成果も踏まえて，ソーラー電力セイルによる木星圏探査を計画している．この計画では 2010 年代後半にイカロスの 10 倍の面積のソーラー電力セイルにイオンエンジンを組み合わせ，ハイブリッド推進にて木星およびトロヤ群小惑星を目指す．ソーラーセイルについては，世界中でミッションが検討されているが，日本が引き続き先行して実施することで，太陽系大航海時代を先導する．一方，薄膜太陽電池については，宇宙太陽光発電の電池開発の先駆けであり，商業利用や地球環境にも貢献する．

図 11　ソーラー電力セイル探査機による木星圏探査計画