

# 大気突入機用柔軟エアロシェル開発における大気球実験

JAXA/ISAS : 山田和彦、安部隆士

東京大学新領域 : 鈴木宏二郎

日本大学 : 今村幸

東京工業大学 : 秋田大輔

岡山大学 : 永田靖典

北海道大学 : 高橋裕介

MAAC 研究開発グループ

## 1. はじめに

宇宙と地球の間を頻繁に往来する時代、自在に惑星探査が行われる時代の実現には、大気突入技術は欠かせない。その技術を革新させる一つの候補として「展開型柔軟エアロシェル」が注目されている<sup>1)</sup>。これは、大気圏突入前に、軽量で大型のエアロシェルを展開し、大気圏突入機の弾道係数を下げることで、効率よく空気力を利用し、大気圏突入に必要な減速を行うものである。このコンセプトは、大気の薄い高高度での減速を可能にし、大気圏突入機の最大の課題である空力加熱を低減できること、また、エアロシェルが展開収納可能であるため大気圏突入機を小さなスペースにも収納できることなど、これまでの大気圏突入機にはない特徴があり、大気圏突入機のある考え方を変える、新たな選択肢を加えることができる技術として期待されている。

我々のグループでは、この「展開型柔軟エアロシェル」に関して、薄膜フレア型の柔軟エアロシェルに注目し、基礎研究から研究開発を進めてきており、2012年には、それまでの活動の集大成として、観測ロケットを利用した大気圏突入実験を実施した。この実験で、直径1.2mの展開型エアロシェルを有する実験機の大気圏突入飛行に成功した<sup>2)</sup>。そして、我々は、その次のマイルストーンとして、図1に示すような地球低軌道上からの再突入実証試験<sup>3)</sup>を設定した。この実証試験は、近年、打ち上げの機会が多く得られるピギーバック衛星の機会を利用することを想定しており、システム全体の規模はサイズで50cm×50cm×50cm程度、総重量50kg程度の実験機を想定している。実験システムは、SM(サービスモジュール)とRM(リエントリモジュール)から構成されており、SMにより所定の位置にて、RMを地球低軌道から大気圏へ再突入させて、その間のデータを衛星通信経由で取得する。

本稿では、この一連の「展開型柔軟エアロシェル」の研究開発における大気球実験に位置づけを確認しつつ、今後計画している大気球実験の概要について紹介する。

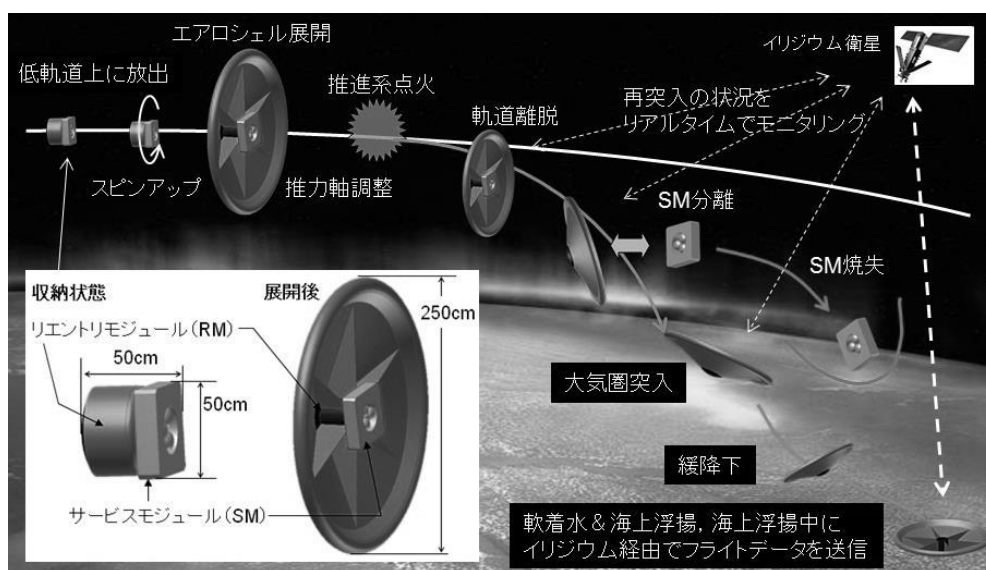


図1 : 柔軟エアロシェルによる地球再突入実証試験(TITANS)の概念図

## 2. 柔軟エアロシエルの研究開発における気球実験の位置づけ

「展開型柔軟エアロシエル」の研究開発において、大気球実験は要所で重要な役割を果たしてきた。コンセプト実証フェーズ（2000年～2012年）では2度の大気球試験を実施し、現在、進めている実用化フェーズ（2013年～）においても、要所で大気球実験を計画している。

図2は、2000年の研究開始から2012年までの観測ロケット実験までの期間（コンセプト実証フェーズ）の活動を年表にまとめたものである。

第一期の気球実験<sup>4)</sup>は、2003～2004年に実施した。2003年次は実験機の切り離しに失敗したものの、翌年に、フレア型柔軟エアロシエルを有する飛行体の遷音速領域までの飛行実証に成功した。**本試験は、基本概念の確認と実用システム開発にむけた技術課題の抽出という位置づけで実施された。**柔軟飛行体は、概して、実際に飛行させてみないとわからないことが多いため、このように研究開始後の早いタイミングで、飛行試験を実施できたことは、この概念が将来にわたり開発すべきものであるかどうかを見極めるといった観点からも非常に重要であった。短期間、低予算で飛行試験が実施できる大気球実験の特徴を生かした試験であったと考えている。実際、この試験により基本的なコンセプトが実証できると同時に、実応用にむけて開発すべき課題が明確になったという意味で、速やかに次のフェーズへステップアップすることができた。

第二期の気球実験<sup>5)</sup>は、2008～2009年に実施した。**本試験は、目的を絞った要素技術の検証という位置づけであった。**具体的には、第一期大気球実験での課題抽出を踏まえて、変更点を加えた点であり、本技術における重要な要素技術の一つである、ガス圧により形状を維持するタイプのインフレーター型の柔軟エアロシエルの検証である。本試験は、相乗り実験の機会を生かすことで、短期間、小予算、さらに、小リソース（実験機重量はわずか3kg）で、鍵技術であるインフレーター型飛行体の飛行特性や構造強度データを取得すると同時に、展開システムの開発とその実証も行うことができた。ここで開発した展開システムや構造強度に関するデータは、その後の観測ロケット実験の実験機システムの開発に大いに有用であり、観測ロケットでの大気圏突入機のシステムとしての実証試験の成功につながった。

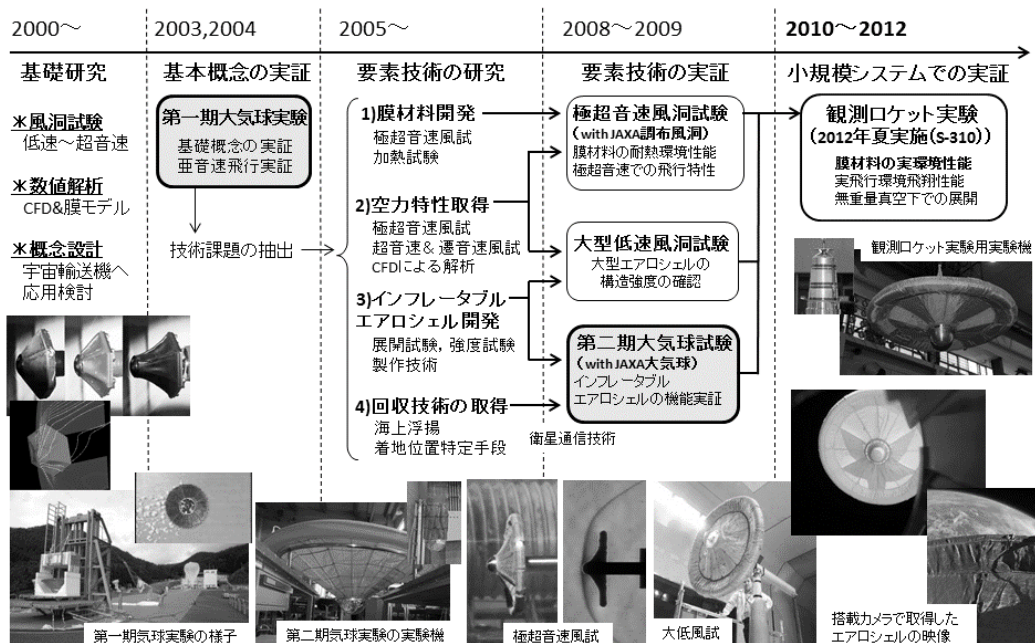


図2：展開型柔軟エアロシエルの研究開発におけるコンセプト実証フェーズの実績

図3は、観測ロケット実験以後の開発計画である。次のマイルストーンであり、最終実証試験である地球低軌道からの大気圏突入実証試験(TITANS)までの研究開発計画をまとめた。

2017年に計画している第三期の大気球実験は、TITANSを成功させるために非常に重要な試験と

である。本試験は、図中に示す3つ（大型エアロシェル展開、低弾道係数機体の飛行、海上浮揚する機体の回収）の要素技術の検証も重要な目的であるが、それに加えて、**本試験の実験機は、TITANSのRMとほとんど同機能、同サイズで実施することを想定しており、宇宙へ打ち上げる前のシステム総合試験という位置づけが強い。**前述したように、柔軟な飛行体は、実スケールを使い、実際に飛行しないとわからないところも多く、事前にすべての機能を確認できる総合試験的なステップは重要である。大気球実験は、そのステップを実現できる貴重な機会である。

ところで、TITANSにむけたもう一つの重要な実証試験として、超小型衛星「EGG」による搭載機器類の軌道上実証試験<sup>6)</sup>がある。これは、2016年度に実施予定であり、ISSからの放出機会を利用した超小型衛星であるが、今年度（2015年度）に、小型気球を利用して、このEGG衛星のエンジニアリングモデルを成層圏まで飛行させ、その機能確認を実施した（B-EGG試験）。B-EGG試験を実施することで、EGG衛星のFM設計開発にむけた、重要な知見、経験が得られており、それを踏まえて、現在、FMモデルの開発を進めているところである。このように、宇宙機開発の事前試験として気球実験を利用することは、今後、気球実験の利用法の一つとなっていくのではと考えている。

また、図3には明記されていないが、TITANSミッションに必須なイリジウム通信技術に関しては、いくつかの気球実験の相乗り機会を利用して、それに繰り返し搭載することで、その技術を洗練しながら、経験を蓄えてきており、それが、EGG衛星、TITANS計画立案のベースとなっている。

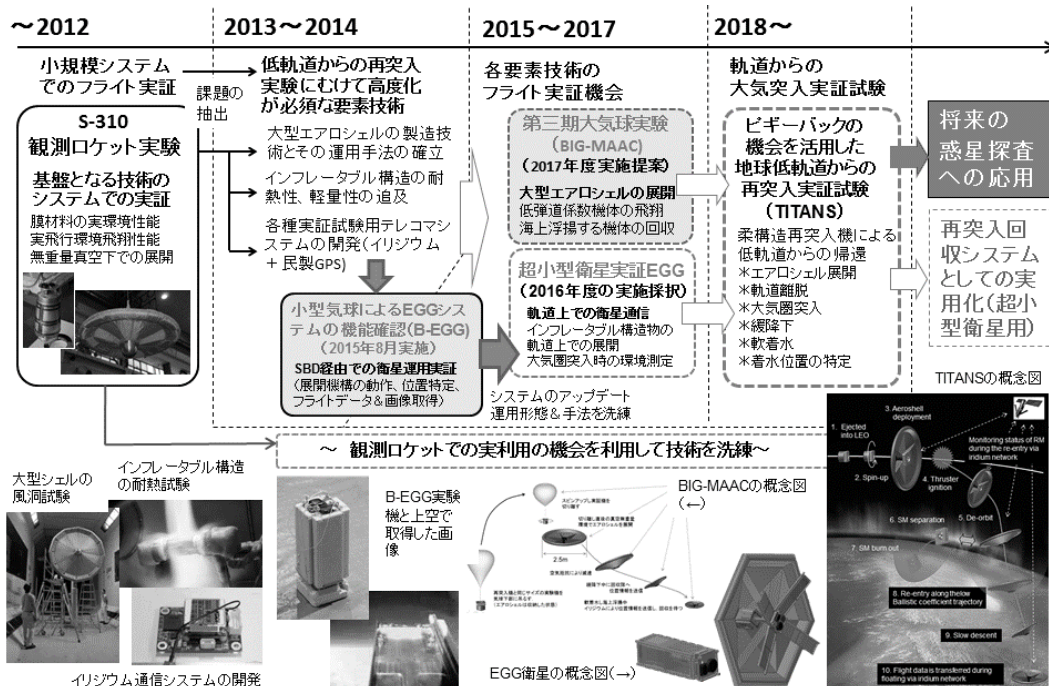


図3：展開型柔軟エアロセルの研究開発における実用化にむけた開発フェーズの計画

このように、気球実験は、①研究開発の初期の段階のコンセプト実証の機会として、②要素技術の実飛行環境試験での検証の機会として、③実用化フェーズにおけるシステム総合試験の機会として、利用でき、飛行体の研究開発においては、欠かせないツールとなっている。

### 3. 第3期気球実験の概要

ここでは、2017年実施予定で提案している第3期大気球実験の概要について紹介する。本試験の実験機は、TITANSのRMと同機能、同サイズ（エンジニアリングモデル相当）であることが前提である。直径40cmのカプセル型の本体の周囲に直径2.5mのフレア型の展開柔軟エアロセルを有し、総重量は15kg程度である。本試験では、実験機のエアロセルをコンパクトに収納した状態で、ゴンドラに搭載する。実験システムの全体重量は20~25kg程度と想定している。放球後、

高度 40km 近くまで上昇した後に、実験機をスピナップし、ゴンドラから切り離す。切り離し直後の無重量真空状態で、エアロシェルカバーを開放し、インフレーター部にガスを注入し、エアロシェルを展開する。展開後、実験機は自由落下による飛行試験を行い、飛行中のデータの一部を地上局へ送信する。詳細なデータはカプセル内部に記録し、回収後にとりだす。実験機は、エアロシェルの減速効果で、終端速度 10m/s 以下で着水し、インフレーターリングの浮力で海上に浮揚する。海上浮揚後も実験機に搭載したイリジウム通信機により、その位置を特定できるため、その情報を基に実験機を回収する。この大気球試験 (B-MAAC) のシーケンスの概略を図 4 にまとめる。

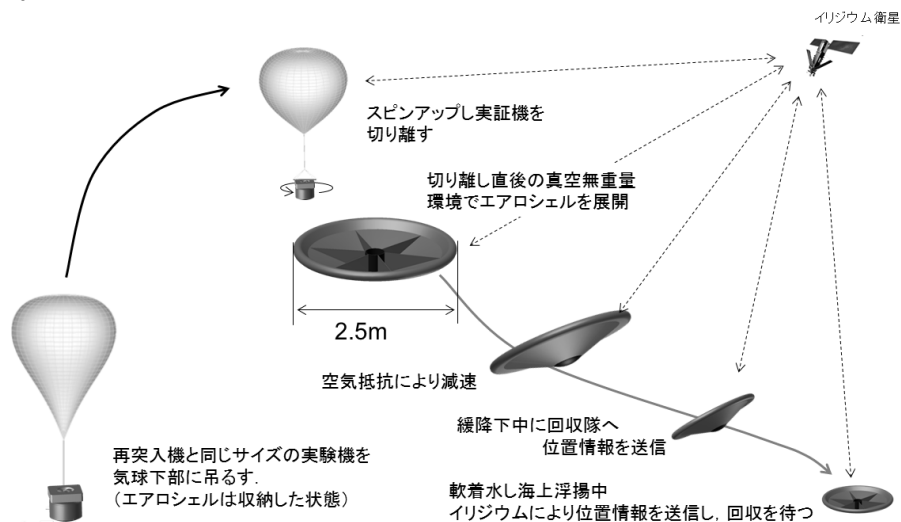


図 4 : B-MAAC の実験シーケンスの概略図

#### 4. まとめ

次世代の大気圏突入システムとして期待されている展開型柔軟エアロシェルの研究開発において、大気球実験は非常に重要な役割を果たしてきた。本研究開発では、研究開発の初期の段階のコンセプト実証の機会として、要素技術の実飛行環境試験での検証の機会としては、すでに実績がある。さらには、今後の計画の中で、実用化フェーズにおけるシステム総合試験の機会としても利用することを考えている。柔軟エアロシェルの開発においてはもちろんのことであるが、これをモデルケースとして、他の飛翔体開発においても、大気球実験により得られる飛翔機会を有効に利用して、効率的に先進的な飛翔体の研究開発を進めていきたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 山田和彦, 鈴木宏二郎, 安部隆士, 今村宰, 秋田大輔, 「展開型柔構造大気圏突入機 MAAC の開発と将来展望」, 日本航空宇宙学会誌, 第 59 巻, 第 695 号, 2011 年, 12 月
- 2) Kazuhiko Yamada, et al., “Suborbital Reentry Demonstration of Inflatable Flare-Type Thin-Membrane Aeroshell Using a Sounding Rocket”, AIAA Journal of Spacecraft and Rockets, Vol.52, No.1, pp. 275-284, January 2015.
- 3) Kazuhiko Yamada, et al., “Development of Flare-type Inflatable Membrane Aeroshell for Reentry Demonstration from LEO” AIAA-paper 2015-2167, 23rd AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference, Daytona Beach, 2015
- 4) K. Yamada, et al., “Flare-Type Membrane Aeroshell Flight Test at Free Drop from a Balloon”, AIAA Journal of Spacecraft and Rocket, Volume 46, Number 3, Page 606-614
- 5) K. Yamada, et al., “Deployment and Flight Test of Inflatable Membrane Aeroshell using Large Scientific Balloon ” AIAA Paper 2011-2579, 21st AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference, Dublin, 2011
- 6) Kazuhiko Yamada, et al., “Development of Re-entry Nano-Satellite with Gossamer Aeroshell and GPS/Iridium deployed from ISS” 30<sup>th</sup> ISTS papar, 2015-f-61.