

# MAAC (Membrane Aeroshell for Atmospheric-entry Capsule)の研究開発環境

今村 幸 (日本大学 生産工学部)

秋田大輔 (東京工業大学環境・社会理工学院)

鈴木宏二郎 (東京大学大学院新領域創成科学研究科)

山田和彦 (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所)

MAAC R&D Team

## Research and Development Environment of MAAC (Membrane Aeroshell for Atmospheric-entry Capsule)

Osamu Imamura (College of Industrial Technology, Nihon University)

AKITA Daisuke (School of Environment and Society Tokyo Institute of Technology)

Kojiro Suzuki (Graduate School of Frontier Sciences, the University of Tokyo)

Kazuhiro Yamada (Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency)

MAAC R&D Team

### Abstract

Our research group has been researching and developing atmospheric entry system with deployable membrane aeroshell, which is called as MAAC (Membrane Aeroshell for Atmospheric-entry Capsule). This paper introduces the research activities of MAAC as well as its development histories and research and development environment. The research group consists of laboratories in university and JAXA and MAAC system has been developed centering on the flight demonstrations. Flights tests were carried out using Large Scientific Balloon in 2003, 2004 and 2009, using sound rocket in 2012 and using nano satellite deployed from ISS in 2017. In each flight tests, the team received great technical and management supports as well as budget. The future plan is introduced and expectation for the future plan is also discussed.

### 1. MAAC (Membrane Aeroshell for Atmospheric-entry Capsule)の概要と現在までの経緯と状況

著者らの研究グループでは、展開型柔軟エアロシェルを用いた大気圏突入技術、宇宙輸送の技術開発を2000年頃から継続的に実施してきている<sup>1,2)</sup>。展開型柔軟エアロシェルを地球低軌道からの大気圏突入に適用する一案を図1に示す。この図に示されるように、エアロシェルを有することで弾道係数を下げ大気圏突入時の空力加熱を低減し、安全に減速、着陸もしくは着水することが、基本的なコンセプトである。さらに展開型とすることで、搭載の自由度があがること、大きなエアロシェルを広げるため終端速度が遅くパラシュートが不要なこと、輸送するものの形状に依存しないこと、さらにはインフレーターブルリングを用いることで、海上浮遊装置が不要なことなどが期待される利点として挙げられる。このような展開型柔軟エアロシェルを用いた再突入システムは、既存の熱防御システムに加えて、TPOに応じた新たな選択肢を提案できるものと考えている。図2は開発研究の履歴について、主にフライト試験を中心にまとめたものである。2004年8月に大気球からの投下試験<sup>3)</sup>、さらにはインフレーターブル構造

体についても 2009 年 8 月には大気球からの投下試験<sup>4)</sup>を実施し、その製作方法、機能実証を重ねてきた。2012 年 8 月に観測ロケット S-310-41 号機を利用した小型カプセルの大気圏突入飛行実験<sup>5)</sup>を行い、無重量高真空環境下でのインフレータブルエアロシエルの展開、インフレータブル構造の有効性、エアロシエルの減速機構の確認および空力データの取得に成功した。これに基づき、2017 年 1 月から 5 月にかけて、国際宇宙ステーションからの放出衛星 EGG(11cm×11cm×34cm、重さ 4kg)を軌道上で運用した<sup>6)</sup>。その成果の一例を図 3 に示す。このように軌道上でのエアロシエルの展開後、高度の低下が急となっていること、衛星に搭載したカメラによる映像から、エアロシエルが展開していることがわかり、宇宙空間での展開型柔軟エアロシエルの展開、エアロシエルの展開に伴う弾道係数の低下による軌道崩壊および大気圏突入を観察した。あわせてイリジウム社が提供するショートバーストデータ(SBD)を用いた軌道上での通信、イリジウム SBD 通信のみを用いた軌道上での衛星運用にも世界で初めて成功した。成果の詳細については、別紙<sup>6)</sup>の他、2017 年は第 61 回宇宙科学連合講演会にて OS「展開型膜面エアロシエル工学実験ナノ衛星 EGG の成果とその未来」を実施しており、そちらに譲るが、当初の目的を含めて、工学的に重要な様々なデータを取得することができたといえる。

このような研究開発体制であるが、大学・JAXA の研究室連合で研究を実施してきており、比較的若手の研究者、学生中心で研究を実施してきている。東大、東工大、日大の他、北大、大阪大、岡山大など多くの大学、学生が参画して成り立っている状況である。

今後の開発プランであるが、2020 年度に、宇宙研の小規模計画によって、EGG 衛星進化型布製エアロキャプチャ実験機によるブレイクスルー技術実証ミッション (BEAK) を予定しており、さらに、2026/2027 頃の打上を目指して、小型公募提案として、分散プローブ展開踏査 ミッション (SPUR) を提案しようとしているところである。SPUR の詳細については、本シンポジウムにおける S8-004 の講演を参考いただきたい。



図 1 柔構造エアロシエルを用いた大気圏再突入の模式図

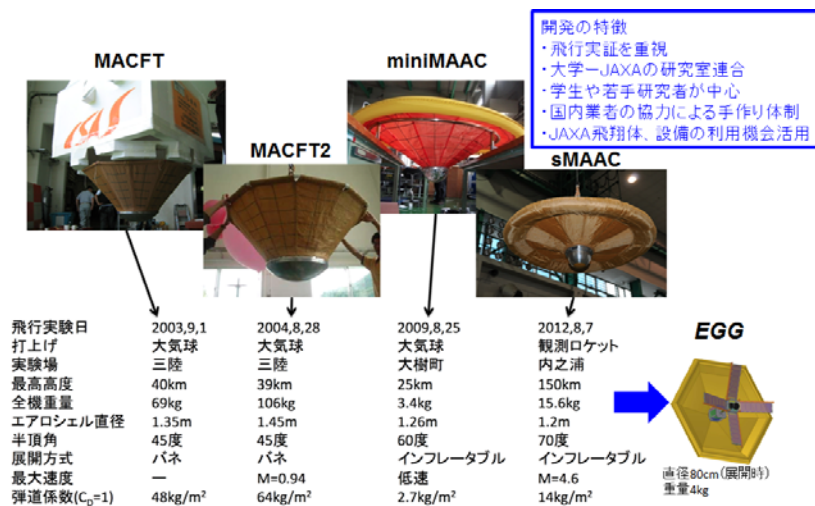


図 2 EGG に至る開発の歴史



図3 EGG の成果の一例

(左：EGG の高度の時間履歴、右：EGG 搭載のカメラによって撮影された写真とその視野 )

## 2. 研究開発を通しての所感と開発に関するギャップについて

前述のように本研究開発は、フライト試験を中心に研究開発を進めてきており、超小型衛星を用いた軌道での実証しており、今後、公募型小型にて分散プローブ展開踏査ミッションを提案しようとしているところである。フライト試験としては、大気球、観測ロケット、ISS放出衛星を行ってきたが、各ミッションにおいてテクニカルおよびマネジメントの観点から、様々な方からご支援、協力いただいたことが大変ありがたかったと感じている。またその中には学生が参画する土壌があり、学生の多く協力してくれたことが原動力の一つであった。プロジェクトが変わるたびに異なる人々のサポートのおかげで成り立ってきたが、今後、特に大型のミッションになればなるほど、テクニカル、マネジメントともにこのようなメンターの存在が心強いものとなっていくと思われる。

他方で、ワーキンググループから公募型小型へ提案を出すにあっては、予算をはじめ様々な課題が現存する。予算的には、その時その時の技術成熟度を考慮しつつ、公募などの条件を鑑みて、粛々と開発が進むように尽力してきたつもりであり、これは今後もその指針は変わらない。BEAK 計画に関しては、JAXA 工学委員会の委員会等の支援を受けて研究開発を継続させていくうちに、グループとして提案をする良いタイミングをつかむ感覚が自然と訓練されたことが進展の一因と思われ、謙虚に受け止めている。予算に関して言えば大型ロケットの相乗りのような機会も検討の余地はあると思われるが、宇宙輸送技術の工学実証というミッションの目的上、国産ロケットを使用した方がよいという認識もチーム内にはある。予算について述べたが、予算以外についても数10億円以上の規模ミッションの場合、人材や磨いてきた技術以外の部分に対する不安も大きい。特に規模が大きくなると、今まで経験したものと異なる「審査」がある場合が想定され、これまでの経験が使えるか見通せていない。さらに中心となる技術に関しては自主開発を旨としており、今後も衛星自体は自主開発するにしても、分離機構やキックモータなどについてもチーム (PI) としてどの程度、対応すればよいのかが見通せていない。観測ロケット実験の際は分離機構などもPIで担当したものの、より大きな規模においては工数が見通せていない状態である。以上から、公募型小型になると急に様々なスキルがあがっていくと予測しており、何をサポートしてもらえ、チームとしてなにを担当、開発していくか見通せていないことに不安感がある。

## 3. まとめにかえて

MAAC のプロジェクトの概要と経緯について、所感を含めて述べさせていただいた。述べてきたよう

に MAAC のプロジェクトは、予算をはじめとして、宇宙研をはじめとする多くの方のテクニカル、マネジメントのサポートを受けて成り立ってきたものである。今後もこのような多くのサポートをなくしてプロジェクトの進展はあり得ない。研究グループとしてできることは、基本的には技術の成熟をさせつつ、その実証を目指し、サポートいただける方がおもしろいと感じ、興味を持って楽しんで参画していただけるような研究をしていきたいと思っている。本研究活動は、JAXA 宇宙工学委員会の下に設置された「大気圏突入用の展開型柔軟エアロシェルの研究開発 WG」の活動の中、戦略的開発研究費の支援を受けて行われてきた。また、JAXA 宇宙科学研究所の大気球実験室や観測ロケット実験室からは、飛行実験に関して多岐にわたり多大なる援助をいただいた。また、JAXA 有人宇宙技術部門には、EGG ミッションの実施に際し、J-SSOD を利用した「きぼう」からの超小型衛星放出機会を無償で提供いただき、さらに超小型衛星 EGG の開発においても多大なる支援をいただいた。どれもが、本研究開発を持続的に進めて来るにあたり、なくてはならないものである。ここに感謝の意を表したい。

#### 参考文献

- 1) 山田和彦, 鈴木宏二郎, 安部隆士, 今村幸, 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, pp.389-395, 2011
- 2) 山田 和彦, 鈴木 宏二郎, 安部 隆士, 秋田 大輔, 今村 幸, 永田 靖典, 高橋 裕介, 大気圏突入用展開型柔軟エアロシェルの研究開発とフライト実証試験, 日本航空宇宙学会誌, 第 65 巻, 第 11 号 pp.333-340, 2017 Doi: 10.14822/kjsass.65.11\_333
- 3) Yamada, K., Akita D., Sato, E., Suzuki, K., Narumi, T., and Abe, T.:Flare-Type Membrane Aeroshell Flight Test at Free Drop from a Balloon, J. Spacecraft and Rocket, Vol. 46, No. 3, 2009, pp. 606-614
- 4) Yamada, K., Abe, T., Suzuki, K., Honma, N., Koyama, M., Nagata Y., Abe, D., Kumura, Y., Hayashi, K., Akita, D. and Makino, H.: Deployment and Flight Test of Inflatable Membrane Aeroshell using Large Scientific Balloon, 21st AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference and Seminar, Dublin, 2011, AIAA Paper 2011-2579.
- 5) Yamada, K., Nagata, Y., Abe, T., Suzuki, K., Imamura, O., and Akita,D.: Suborbital Reentry Demonstration of Inflatable Flare-Type Thin-Membrane Aeroshell Using a Sounding Rocket, AIAA Journal of Spacecraft and Rockets, January, Vol. 52, No. 1(2015) : pp. 275-284
- 6) Yamada, K., Moriyoshi. T., Matsumaru, K., Kanemaru, H., Araya, T., Suzuki, K., Imamura, O., Akita,D., Nagata, Y., Shoji, Y., Takahashi, Y., Watanabe, Y., and Abe, T. : Re-entry Nano-Satellite with Gossamer Aeroshell and GPS/Iridium deployed from ISS, 31th ISTS, ISTS paper 2017-f-21, 2017