解...説

ナノサテライト

—宇宙開発のSmall is Beautiful—

NanoSatellite

—Small is Beautiful in Space—

1 はじめに

宇宙開発の歴史をふりかえると、米ソの冷戦時代の大形の大陸間弾道弾の開発が大きな原動力になっており、大形化が主流となっていた。しかし、東西冷戦も終わり、エレクトロニクス技術をはじめとする、マイクロ技術が台頭するに至り、宇宙にもマイクロ化、ナノ化の波が押し寄せている。

しかし、ナノサテライト、あるいは宇宙のマイクロ化と呼んではいるものの、その大きさはミクロンメートルやナノメートルのサイズではなく、重量にしてkg、サイズにしてcmの衛星システムを対象としている。

2 大形衛星からマイクロサテライトへ

ロケットの大形化による衛星の大形化は、1950年代からめざましく、1980～90年代には2～3トンの衛星が主流であった。東西冷戦の終結と電子技術のマイクロ化が契機となって、1990年代半ばから衛星のサイズは、2分化されてきている。一方は、大形の静止通信衛星である。ここではトランスポンダのチャンネル数、発生電力、使用寿命というスケールメリットがあるミッションである。

もう一方には、重量300kg以下の小形衛星の台頭が読みとれる⁽¹⁾。小形衛星は、短い開発期間のうちに、安い衛星開発費で開発できる可能性を持っている。この特長をいかして、新しい技術開発や実証ミッション、複数の小形衛星で多様性のあるミッションが可能なクラスターミッション（編隊飛行を行う衛星群によるミッション）、および極度の軽量化が要求される惑星探査ミッション等において活躍している。

現在では、重量50kg以下、50cm程度以下のサイズのマイクロサテライトが大形ロケットのピギーバック打上げ手段によって、数多く打ち上げられるようになっている。ピギーバックとは主衛星打ち上げの際にその脇に搭載して、軌道上で分離される副次的な衛星打上げ手段である。

50kg程度の小形衛星に用いられる技術は、現在の搭載機器の小形化の延長で対処できる範囲である。技術的な力点は、システムの立場から小形の搭載機器を開発したりシ

齋藤 宏文
Hirobumi SAITO

◎1953年7月生まれ
1981年東京大学大学院博士課程修了、工学博士、
1999年より文部省宇宙科学研究所教授

◎研究・専門テーマは衛星工学、小形高機能衛星
開発

◎正員、文部省宇宙科学研究所
(〒229-8510 相模原市由野台3-1-1/
E-mail: kouhun@news1an.isas.ac.jp)

システムの合理的な簡潔化をして、部品や電気実装の高密度化を行うことにある。また、民生技術のめざましい技術開発を宇宙に活用する方向を取り入れて、新しい宇宙活動の芽生えを生んでいる。

筆者の所属する文部省宇宙科学研究所においても、従来の100億円クラスの科学衛星とは別に、約4億円のコストで宇宙科学観測を行う50kg級の3軸姿勢安定衛星INDEXを開発中であり、2002年に打上げ予定である⁽²⁾。

3 ナノサテライト

1kg以下の衛星を宇宙に飛ばそうさせてミッションを行わそうとするアイデアが生まれつつある。宇宙関係者の間ではこれらをナノサテライトと呼んでいる。1衛星の規模が小さい分、多数のクラスターとして活躍して、全体として通信、測位および地球観測といった一つのミッションを達成するという構想が多い。いまだ、本格的な計画にはなっていないものの、マイクロマシン技術やマイクロエレクトロニクス技術を駆使したアイデアである。

アメリカの空軍出資のエアロスペース社では、主にシリコンで構成された1kg程度のナノサテライトの構想を発表している。図1にその構成を示す。直径10cm、厚さ2.5cm、重量0.3kgの地球観測用の3軸姿勢安定衛星の構想である。

シリコンはアルミニウムと同等以上に強く、比重も小さく、熱伝導率も大きく、半導体材料としてだけではなく、衛星の構成材料としても評価できる。また、シリコンはマイクロマシンの基板材料としても使用できるので、マイクロマシン技術を利用していく上でも、好都合である。

1枚のシリコン基板に、センサ、姿勢制御回路、データ処理、データ蓄積、コマンド、RF通信機能、電源を含む電子機能が、モノリシック、ないしはハイブリッド集積回路として実装されている。

衛星に含まれるメカニカルな機能も、マイクロマシン機

能により実現する構想である。加速度、角速度を計測する慣性センサは、マイクロマシンセンサとして、既に開発がなされているが、それを利用する構想である。さらに、姿勢や軌道を変更する小形推進器も、マイクロマシン技術で実現する。これについては章を改めてふれる。

ナノサテライトの周囲は太陽電池の基板で構成され、約2Wの電力を発生する。日陰期間のために電力を蓄積するバッテリーとしては蓄積密度が高いリチウムイオン電池を実装している。

ナノサテライトの製作方法は、従来の衛星のように、一品ずつ職人芸のように製作するものではなく、シリコンを中心として発展してきたマスキング、エッチング等のバッチプロセスを活用して、ナノサテライトを大量生産できるようにする。その設計もCADを利用したデバイス製作ソフトウェアを駆使して効率的に行えるようになる。

4 マイクロスラスタ

ナノサテライトのサブシステム技術の中で、いちばん研究が遅れているものが、姿勢・軌道変換用の推進器である。それ以外の機器、機能は、各種センサや電子回路等、地上におけるマイクロテクノロジーと共通性がある。宇宙推進技術だけが、地上にはない分野である。

マイクロスラスタには、気体をバルブから噴出させるコールドガスジェット、燃料と酸化剤等の液体を混合して化学反応による高温高压のガスを発生させる2液式エンジン、およびマイクロ固体スラスタといった種類がある。

第一のタイプのコールドガスジェットは、マイクロマシンによるマイクロバルブを利用すれば実験室レベルの研究としては着手できるため、この数年いくつかの研究試作がなされている。しかし、実用化に対しては、長期間ミッションに対するバルブからのリークの問題が解決困難であろう。また、バルブや流路はマイクロマシン技術によって小

図1 アメリカエアロスペース社のシリコンサテライト構想⁽³⁾

図2 マイクロ固体スラスタの構造と燃焼試験⁽⁵⁾

形化できても、ガスタンクのサイズは小形化できない。第二の化学変化を用いる2液式エンジン等は、原理的には高性能であるが、推進剤の腐食性やリークの問題があり、マイクロ化は困難であろう。

これに対して第三のタイプのマイクロ固体スラスタは将来性があると考えられる。アメリカやフランスのグループによって試作が行われている。図2にその構造と燃料の様子を示す⁽⁵⁾。マイクロ固体スラスタは、直径1mm程度の固体推進剤に着火用ヒータを備えたものを、アレイ状に多数並べたものである。

このマイクロ固体スラスタの画期的な点は、①燃料タンクなどが必要な他のマイクロスラスタと異なり、1枚のウエハ上でシステムを完結させることができるので、小形かつ単純であること、②超小形の使い切り固体燃料ロケットの点火本数で推力をデジタル的に制御できること、③個々の固体燃料ロケットは使い切りなので、再使用や長期使用に関わる寿命や信頼性が必要ないこと、④1個の固体燃料ロケットの不良でシステム全体が使用不能になることがないので、信頼性が高いこと、および、⑤固体燃料を用いるので推進剤の漏えいがないことである。

以上のようなメリットから考えると、バッチプロセス生産による大量生産、低コストのナノサテライトには、マイクロ固体スラスタが有望であると考えられる。このため東北大学と文部省宇宙科学研究所では、このマイクロ固体スラスタの共同研究に着手している。

5 おわりに

日本の宇宙開発はアメリカの宇宙技術の数歩後ろを懸命に追いかけてきた。しかし、宇宙を含むすべての分野で大形化から小形化へ、急速にかじが切られつつある現在、ナノサテライトの構想をミッションのアイデア創生と、各サブシステムの技術開発を進めていく必要があると考える。特に、マイクロエレクトロニクスや携帯電話、マイクロマシン分野において、小形化生産技術に高い実力を持つ日本のとるべき方向と考える。

(原稿受付 2000年6月19日)

● 文 献 ●

- (1) 齋藤宏文, アメリカの小型衛星の開発の動向, 日本ロケット協会, JRS-M-1, (1995).
- (2) Mizuno, T., ほか, INDEX: A Piggy-Back Satellite for Advanced Technology Demonstration, 13th AIAA/USU Conf. on Small Satellites, SSC99-IX-1 (1999).
- (3) Jason, S. W., Chemical and Electric Micropropulsion Concepts for Nanosatellites, 30th AIAA/ASME/SAEE Joint Propulsion Conference, AIAA94-2998 (1994).
- (4) 総括的に述べられているものとして, Helvajian H. (edited), Aerospace Systems, (1999), 657, The Aerospace Press AIAA Inc.
- (5) Rossi, C., New Generation of MEMS Based Microthrusters for Microspacecraft Applications, The 2nd International Conference on Integrated MicroNanotechnology for Space Applications (MNT '99), 1 (1999), 201.