

論文の内容の要旨

論文題目 再利用性と軌道上再構成能力に優れた
ソフトウェア・アーキテクチャに関する研究

氏 名 滝澤 潤一

本論文は衛星搭載ソフトウェアの開発手法に関するものであり、衛星搭載ソフトウェアに高い再利用性とこれまで存在していなかった柔軟な軌道上再構成能力を付加する体系的な枠組みを構築し、その適用と評価を行っている。

近年、大きさ50cm立方以下、質量50kg以下の超小型衛星の開発はますます活発化しており、国内・国外を問わず様々な研究機関・企業が開発・運用に参入している。超小型衛星が初めて打ち上がった2003年からこれまで、超小型衛星といえば技術実証や教育を目的とするものが中心であったが、近年では地球観測や宇宙科学といった「実用」に主眼を置く超小型衛星が主流となってきている。

従来の大型衛星に対する超小型衛星の利点は「短期間」かつ「低コスト」でミッションを実現できることにあり、この利点をいかに実現するかが非常に重要である。近年主流となりつつある実用超小型衛星では従来の超小型衛星と比較して、ミッションの高度化に伴う「高性能化」と「運用の長期化」が強く求められており、これらの実現には衛星の信頼性を従来にも増して高めることが必要となる。一般に短期・低コスト化と高性能化・運用の長期化は相反する傾向にあり、実用超小型衛星ではこれらをいかに両立するかが問題となっている。

この問題の解決には「高い再利用性」と「柔軟な軌道上再構成能力」の2つが重要となる。まず、過去の超小型衛星で動作が確認された実績品を繰り返し使用する再利用は様々な観点で信頼性を向上させ、開発の短期・低コスト化を実現する。また、打ち上げ後の軌道上で衛星の機能を柔軟に再構成することが可能であれば軌道上で発生し得る地上で予期しなかった異常事態への対応能力が向上するだけでなく、従来地上で実施してきた試験の一部を軌道上で実施することも可能となり短期・低コストでの開発が実現する。

これまでの超小型衛星の搭載ソフトウェアは衛星毎の個別開発が基本であり、再利用

性が高いとはいえず、また軌道上再構成に関してはこれを活用しようとする研究はあるものの、具体的な実現方法については議論が行われていない。搭載ソフトウェアの再利用と軌道上再構成を実現するためには闇雲に開発を行う従来の方法ではなく、まず明確な枠組みを構築した上で、その枠組に基づいて個々の衛星の搭載ソフトウェアを開発していく環境の整備が必要である。

本研究ではまず、過去に開発された超小型衛星の搭載ソフトウェアの調査・整理を実施し、衛星の動きを実現するために搭載ソフトウェアに必要な「コマンド処理機能」「モード管理機能」「イベント処理機能」の3機能を「必須機能」と定義する。次に、それらが全て「予め用意された処理の塊を展開し、決まったタイミングで実行する」という同一のパターンを共有していることを見出し、これに着目して全ての機能をコマンド処理機能、その中でも特に「ブロックコマンド機能」に集約することで、見通しが良く、高い再利用性と軌道上再構成能力を備えた搭載ソフトウェア・アーキテクチャ「Command Centric Architecture (C2A)」を提案している。

従来、打ち上げ後に実施できる衛星の再構成は制御ゲインの変更のような予め用意されたパラメータの変更か、これで対処できない場合は搭載計算機のメモリ内容を直接書き換えるプログラム書き換えかの極端な2択しか存在しなかった。プログラム書き換えは非常に高い対処能力を備える反面、その内容に誤りがあった場合は衛星システムの全損につながる可能性も高く、事前に周到な準備が必要な実施負荷の高い方式であり、容易に選択できるものではなかった。これに対してC2Aでは、前述の通り衛星搭載ソフトウェアの必須機能をブロックコマンド機能に集約して実現することで、モード遷移の変更や定義の追加、イベントへの対応内容の変更など、状況に応じて様々なレベルの再構成を地上での開発段階と同様の手順・粒度で選択可能な柔軟な軌道上再構成能力を実現している。

C2Aでは個々の衛星で独自に必要な機能をアプリケーションと呼び、C2Aの必須機能がこれらアプリケーションを呼び出すためのインターフェースを規定している。それぞれの機能をアプリケーションに分割して実装することで、C2Aを採用した異なる衛星間で同様の機能が必要となった場合の再利用性が高まると同時に、明確なインターフェースを規定したことで、搭載ソフトウェアにアプリケーションを実装する際の手順が共通化され、見通しの良い開発環境が実現している。加えて、実装の手順が共通化された部分についてはソフトウェアの自動生成についても取り組んでいる。

本研究では構築したC2Aを実際に適用して搭載ソフトウェアの開発を行い、実用超小型衛星である「UNIFORM-1」「ほどよし3号機」「ほどよし4号機」に搭載した。UNIFORM-1は2014年5月24日、ほどよし3号機・4号機は2014年6月19日にそれぞれ打ち上げられ、現在も運用中である。運用の過程ではいくつかのトラブルが生じたが、C2Aが提供する軌道上再構成能力を活用することで柔軟に対処し克服している。本研究では、上記3衛星に加え2014年12月3日に打ち上げられた超小型深宇宙探査機「PROCYON」にもC2Aを適用

して搭載ソフトウェアの開発・運用を実施している。PROCYONの開発期間はほぼ1年であり、これまでの超小型衛星と比べても短期間で開発が完了した宇宙機である。搭載ソフトウェアに関してはC2Aの効果を最大限活用することで5.5ヶ月での開発を実現している。本論文では、これら実際の開発・運用結果を元にC2Aのもたらす利点について評価を行い、その有効性を確認している。

以上の成果は、これまで明確な開発指針が存在しなかった超小型衛星の搭載ソフトウェアに体系的な枠組みを与え、高い再利用性と柔軟な軌道上再構成能力を実現するものであり、今後ますます発展が見込まれる超小型衛星の開発・運用に大きく貢献すると期待される。