

第二世代EDISON (衛星運用工学データベースシステム) の開発

高木 亮治^{*1}, 北條勝己^{*1} (宇宙航空研究開発機構)

Development of Second Generation of Engineering Database for ISAS Spacecraft Operation Needs: EDISON

by

Ryoji Takaki^{*1} and Katsumi Hojo^{*1}

ABSTRACT

EDISON (Engineering Database for ISAS Spacecraft Operation Needs) is a database system which aims to provide engineering data related to spacecraft operations. It has HK telemetry data from spacecraft and operation status of ground systems, such as tracking data, orbital elements, command histories and so on. EDISON has following features; the available data are in physical quantities for user's convenience, the system does not use any commercial database software to reduce maintenance load for the life of the satellite, and the data in EDISON can be accessed using a web browser. A user can sample a part of the data, and download it as a text file of CSV format. The seven EDISON systems for NOZOMI, HAYABUSA, SUZAKU, AKARI, HINODE, AKATSUKI and IKAROS were constructed and are in service currently. Second generation EDISON for HISAKI and HAYABUSA2 has been developed with new concepts and technologies. This paper presents the overview of second generation EDISON.

Keywords : 工学データベース, 衛星運用, RDB

概 要

科学衛星運用工学データベースEDISON(Engineering Database for ISAS Spacecraft Operation Needs)は科学衛星や探査機の運用に必要とされる工学情報(テレメトリデータ, 局設備からのデータなど)を一元的に収集管理し, また利用しやすい形で関係者に配布するためのシステムである. EDISONでは物理量に変換されたデータを, Webブラウザを通じてCSVファイル形式で提供することでユーザーの利便性を高めている. EDISONはこれまでISASの主要な7つの衛星向けにシステムが開発され運用されている. この度新しく打ち上げられた「ひさき」, 「はやぶさ2」向けに第二世代EDISONシステムを開発したので, その概要について紹介する.

^{*} 平成 27 年 12 月 17 日受付 (Received December 17, 2015)

^{*1} 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 (JAXA/ISAS)

1. はじめに

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所では、科学衛星の運用に関わる工学データの収集、蓄積、配信システムとして EDISON(Engineering Database for ISAS Spacecraft Operation Needs)¹⁾ と呼ばれる衛星運用工学データベースシステムを開発運用している。これは、人工衛星や探査機の運用に必要とされる工学情報（テレメトリデータ、局設備からのデータなど）を一元的に収集管理し、また利用しやすい形で関係者に配布することを目的とし、衛星・探査機の運用及び異常時の原因究明の支援、観測データ解析のための基本的なデータ供給といった事が期待されている。EDISON の特徴としては、衛星・探査機の運用や工学データ解析に有用な各種データの一括管理、提供する全てのデータは物理量に変換した形で提供、データは Web インターフェイスで提供といった点が挙げられる。取り扱うデータとしては HK テレメトリデータを中心に、地上受信局の設備監視データ、追跡データ、軌道要素、アンテナ予報値、アンテナ可視、コマンド履歴など多岐に渡る。提供されるデータは全て工学値と呼ばれる具体的な物理量に変換した形で提供されるため、ユーザーは工学値変換を行うことなく直ぐにそのデータを利用することが可能である。これらのデータは Web インターフェイスを通じて取得することができるため、インターネットに接続した端末であれば、特別なクライアントソフトをインストールする必要なく、一般的な Web ブラウザを用いてデータの検索・取得が可能となっている。また、これらの有益なシステムが継続的に衛星運用を支援することが可能となるために開発・維持管理コストもできるだけ抑ええた設計となっている。

EDISON はこれまでに、火星探査機「のぞみ」、小惑星探査機「はやぶさ」、X 線天文衛星「すざく」、赤外線天文衛星「あかり」、太陽観測衛星「ひので」、金星探査機「あかつき」、小型ソーラー電力セイル実証機「イカロス」向けの EDISON が開発され運用を行っている（現在「のぞみ」用 EDISON は運用を終了し、データはオフラインで管理を行っている）。これらの EDISON は第一世代の EDISON として開発・運用されてきた。近年打ち上げられた惑星分光観測衛星「ひさき」、小

惑星探査機「はやぶさ 2」向け EDISON の開発を契機に、システムの見直しを行い、新しいやり方で第二世代 EDISON の開発を行った。ここでは、第一世代 EDISON の概要を紹介した後、第一世代 EDISON の課題を解決するために新しい方式を採用した第二世代 EDISON の概要について紹介する。

2. 第一世代 EDISON の概要

2.1 システムの概要

第一世代 EDISON のシステム構成を図 1 に示す。第一世代 EDISON では EDISON サブネット上に Proxy サーバーを入口として配置し、そのバックエンドにそれぞれの衛星毎の EDISON（物理サーバー）が独立に稼働している。衛星毎の EDISON の例として「はやぶさ」用 EDISON のシステム構成を図 2 に示す。

テレメトリデータは生データを SIRIUS^{2, 3)} と呼ばれる 0 次データアーカイブシステムから取得され、テレコマデータベース (SIB: Spacecraft Information Base) に基づいて必要なテレメトリ項目データの抽出、工学値変換を実施し EDISON 内に蓄積される。一方、設備監視データなどテレメトリデータ以外のデータ（工学値変換の際に必要な SIB も含む）はデータ蓄積と呼ばれる短期蓄積・配信システムから取得され、必要に応じて工学値変換を行い EDISON 内に蓄積される。例えば、設備監視データはデータ蓄積から生データとして提供されるため EDISON 内で工学値変換され蓄積されるが、軌道データ、コマンド履歴などのデータは工学値変換済みデータとして提供されるため EDISON 内にそのまま蓄積される。個々の衛星毎に細かな部分は異なるが、大枠としては同じシステム構成となっている。

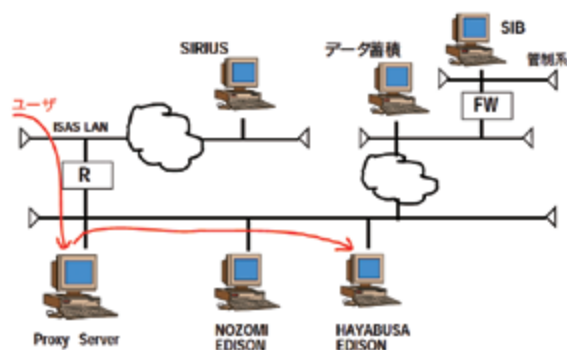


図1. 第一世代 EDISON システムの構成図(「のぞみ」用 EDISON, 「はやぶさ」用 EDISON を例示)

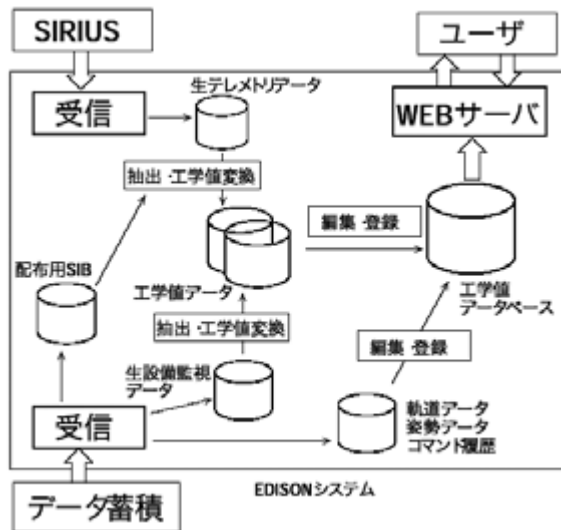


図2. 「はやぶさ」用 EDISON のシステム構成図

2.2 特徴と課題

第一世代 EDISON の特徴としては以下の点が挙げられる。テレメトリデータに関しては全てのデータを EDISON で蓄積するのではなく、利用頻度の高いデータを厳選して蓄積している。テレメトリデータ以外のデータである地上局データ、姿勢、軌道データなども各衛星の目的、運用ポリシーなどに合わせて選択して蓄積した。また、高度な検索機能は付加せずに簡素なシステムを目指した。またデータのセキュリティに関しても最低限のアクセス制御としてグループアカウントでの管理を採用した。

これらの特徴は EDISON の開発を開始した当時の状況に起因するものである。例えば、蓄積するデータを厳選したのは当時のハードウェアの制限によるものであり、全データを蓄積するためには高価な大容量ハードディスクが必要であったため、それを避けるためにデータを厳選することで対応した。その結果、蓄積すべきデータを厳選するための衛星プロジェクトとの調整が必要になると同時に、EDISON を構成するソフトウェア上でもそのリストをコーディング管理する必要が発生するなどソフトウェアの管理コストが増大する要因となった。そのためシステム的には衛星毎の個別対応がかなりのウェイトを占めることとなり、実質的には衛星毎に一品物に近いシステム開発となった。また、データのセキュリティに関しても開発当時は昨今とは比べ物にならないくらい大らかな対応で十分であったが、昨今は非常に厳しくなり、データセ

キュリティへの確実な対応が大きな負担となってきた。

3. 第二世代 EDISON の開発

3.1 開発の狙い

前節で紹介したように、第一世代 EDISON では開発を開始した当時の制約や状況の下で設計・開発を行ってきており、現状ではいくつかの課題を抱えている。そのため、新しく打ち上げられる衛星向けの EDISON の開発を契機にシステムの見直しを行い、第二世代 EDISON の開発を行った。その際に EDISON 本来の目的に立ち戻り、機能要求の整理を行った。現時点で EDISON に要求される機能としては、データを取得し工学値に変換する、データを蓄積する、主に WebI/F を経由してデータを配信する、となる。これらの機能要求をベースに第一世代 EDISON 課題であった

- ① 衛星個別対応リストの削減
- ② セキュリティ強化
- ③ 機能強化

の解決を第二世代 EDISON での開発のねらいとした。①に関しては共通化ツールの導入、システム構成の整理による更なる開発・運用コストの削減、②に関しては最新 Web 技術の導入によるセキュリティ強化、③に関しては機能強化への布石として RDB(Relational DataBase) の導入を実施した。

まず、全体的な話として、システム構成の整理を行った。これはユーザーサービスの視点からシステムを整理したもので、システム構成をミニマム構成とオプション構成(機能)に整理した。ここでは最低限必要な機能をミニマム構成と定義し、システムの再開発を実施した。またオプション機能はより高度な機能として開発し、実用的な評価を経てミニマム構成へ取り込むという方針で機能強化を図ることとした。図3に第二世代 EDISON のシステム構成を示す。第二世代 EDISON ではシステム構成が「ミニマム構成(機能)」、「オプション構成(機能)」に整理されている。取り扱うデータは、テレメトリデータを工学値に変換した結果である「CSV ファイル群」とテレメトリデータ以外のデータファイルの「その他ファイル」であり、ユーザーインター

フェイスは「Web I/F」、「SQL I/F」がある。「Web I/F」には登録されたファイルの書誌情報の検索である「ファイル検索機能」と RDB に登録された工学値の検索機能である「検索機能」がある。これらの詳細に関して機能毎に順次説明する。

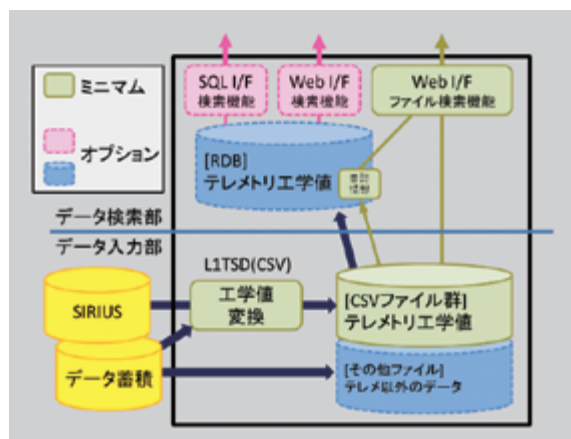


図3. 第二世代 EDISON のシステム構成図

3.2 データ取得・変換

テレメトリデータは SIRIUS から生テレメトリデータを取得し工学値に変換する。第一世代では衛星固有の変換プログラムを利用していたが、この部分を L1TSD（レベル1時系列データフォーマット変換ツール）⁴⁾CSV 版と呼ばれる共通化ツールを使うこととした。L1TSD を使うことで EDISON ソフトウェアにおける各衛星への個別対応の必要がなくなり、各衛星プロジェクトが用意するテレコマデータベース (SIB) をもとにテレメトリデータを工学値に変換することが可能となった。L1TSD CSV 版では指定された時間のテレメトリデータを SIRIUS から取得し、APID 毎にかつ1時間もしくは1日単位で CSV ファイルに出力する。また、従来はテレメトリ項目を厳選して変換・蓄積したが昨今の H/W の価格破壊により十分な量のディスクが確保できるようになったため、全てのテレメトリデータ (HK 系のデータではあるが) を対象とし変換・蓄積することとした。テレメトリデータ以外のデータに関してはデータ蓄積から簡単なスクリプトで必要なファイルを取得することとした（「その他ファイル」）。

このようにデータの取得・変換に関しては共通化ツール L1TSD の導入および全テレメトリデータの登録により衛星毎の個別対応が不要となり、個別対応に起因するソフトウェアの開発・

システムの維持・管理作業を削減することができた。その結果コストを抑えつつ全 HK テレメトリデータを対象とするなどサービスの向上が可能となった。

3.3 データ蓄積

工学値に変換されたテレメトリデータは CSV ファイルとして蓄積される。それ以外の「その他ファイル」もファイル単位で蓄積される。これらのファイル情報は書誌情報として PostgreSQL（以後 RDB と呼ぶ）を用いて管理している。RDB への書誌情報の登録も、読み込みディレクトリの指定、検索キーとなる時刻をファイルの命名規則で陽に指定することで、衛星毎の差異に煩わされることなく共通的に処理する事を可能とした。また、オプション機能ではあるが工学値を RDB に登録する機能もある。テレコマデータベースから RDB のテーブルを自動生成するツールを開発した。これらの機能により、衛星個別対応を排除し、全自動でデータ登録・蓄積が可能となった。

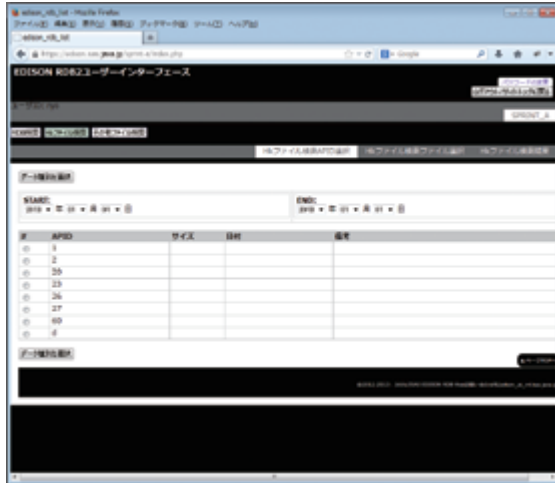
3.4 I/F を経由したデータ配信

Web I/F を使ってデータを配信する部分は PHP を用いて最低限の作りこみを行った。その際にセキュリティ強化のためにユーザーの個別アカウント、データアクセス制御、ユーザーによるパスワード管理機能などを実現した。

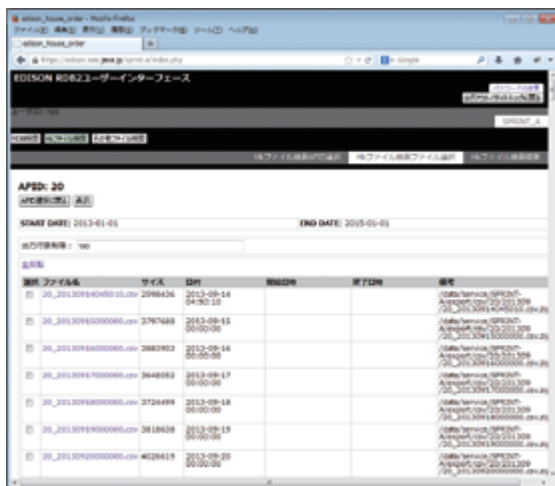
ミニマム構成では Web I/F 経由でファイル書誌情報の検索（期間、APID を指定した検索）が可能となっている。例として図4に CSV ファイル検索画面（図4.a APID および期間の指定、図4.b ファイル指定）を示す。

「その他ファイル」に関してはファイルの命名規則を設定することで、自動的に検索画面が作成できる。図5に自動生成された「その他ファイル」の検索画面を示す。また、オプション機能として RDB に登録された工学値への I/F として Web I/F および SQL I/F を用意した。Web I/F ではテレメトリ項目名、期間、サンプリング間隔を指定した検索が可能である。これらの検索条件はファイルとしてユーザー毎に保存 / 読込することが可能となっている。SQL I/F では直接 SQL を使うことで高度な検索が実施できる。SQL I/F を活用することで、Web I/F 経由でも

高度な検索機能を比較的簡単に実現できると考えている。これらの機能によりセキュリティの強化、さらに衛星毎の作りこみの排除を実現した。



a) APID および期間指定の画面



b) ファイル指定画面

図 4. CSV ファイル検索画面



図 5. 自動生成された「その他ファイル」の検索画面

3.5 ユーザーサービスとしての視点

第二世代 EDISON をユーザーサービスの視点で見ると Web I/F で以下のサービスを実現したことになる。

- ① CSV ファイル形式の HK 工学値データを取得できる。その際に APID, 期間を指定した絞り込みが可能。
 - ② その他ファイル（テキストに限らない）を取得できる。その際にファイル種類, 期間を指定した絞り込みが可能。
 - ③ HK 工学値データを取得できる。その際に APID, テレメトリ項目名, 期間, サンプリング間隔を指定した絞り込みが可能。また, SQL I/F を使った高度なデータ検索が可能。
- 但し, ③に関してはオプション機能としてパイロット的に実施したが, 現時点では残念ながら性能上の問題, つまり速度が遅すぎて実用に耐えられない状況である。いくつかの改善を試みているが実用的な性能を実現できていない。抜本的な取り組みが必要と思われる。

4. おわりに

第一世代 EDISON の開発・運用から得られた知見を基に第二世代 EDISON の開発を行った。

- ・ L1TSD 等の共通化ツールの導入, 全 HK テレメトリの蓄積対象化, ファイルの命名規則を前提とした自動化ツールの開発により衛星毎の個別対応を極力排除し, サービスを必要最低限に整理することで新衛星向け EDISON の開発コストを大幅に削減することができた。
- ・ 各種自動化ツールを開発することでほぼ全自動での運用が可能となり運用コストも削減することができた。
- ・ 最新 Web 技術の導入により個別アカウントによるセキュリティ強化を実現した。
- ・ 検索機能高度化の土台として SQL を導入した。今後より便利なサービスを低コストで実現可能と考えている。

今後の課題としては RDB のデータ登録および検索性能であり, 現時点では実用に耐えられない性能（衛星 1 日分のデータ登録に数日かかる）である。高速化に向けて並列処理の導入, 登録/検索アルゴリズムの見直し, バッチ処理の導入などを検討している。

参考文献

- (1) H. Honda, R. Takaki, A. Choki, M. Hashimoto and T. Hirose, Engineering Database for ISAS Spacecraft Operation Needs (EDISON) for Low Earth Orbit Satellites, ISTS 2006-f-26, 2006.
- (2) 岡田, 馬場, 松崎, 山本, 永田, 飯塚, 岩澤, 科学衛星データレベル0処理システムの機能改修, 第11回宇宙科学シンポジウム, P7-087, 2011.
- (3) 岡田, 山本, 次期科学衛星テレメトリデータベースに関する検討, 宇宙科学情報解析論文誌第1号 (JAXA-RR-11-007), pp151-156, 2013.
- (4) 松崎, 高木, 山本, 篠原, レベル1時系列データフォーマット変換ツール (FITS) の開発, 平成26年度宇宙科学情報解析シンポジウム, 2015.