

テレメトリ／コマンド技術と 分散型衛星運用システム

2006年8月1日

第4回衛星データ処理勉強会

山田隆弘

本日の目次

□ テレメトリ/コマンド技術

- 現在の宇宙研の科学衛星は、宇宙データシステム諮問委員会
が制定したテレメトリ/コマンドの国際標準規格を使用しているが、
この規格の基本的な仕組みについて解説する。

□ 分散型衛星運用システム

- 現在の宇宙研の科学衛星の運用には、多数のワークステー
ションを結合した分散システムを使用しているが、このシステム
の基本的な仕組みについて解説する。

講師自己紹介

□ 専門分野

- 情報の構造と情報伝達機能の解明
- 通信方式、データ伝送方式
- システムアーキテクチャ、システムのモデル化

□ 宇宙科学研究本部では

- 搭載データ処理系
 - 科学衛星研究専門委員会データ処理班班長
- 衛星運用システム
 - 衛星運用委員会委員長

テレメトリ／コマンド技術

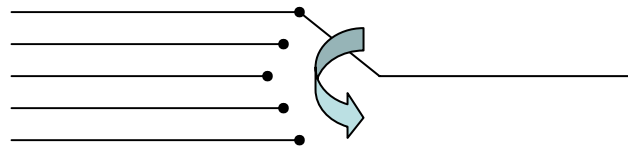
従来のテレメトリ

□ 固定フォーマット

- データの組み合わせ方(多重化の仕方)が固定。
- データ長あるいはデータ発生頻度の変化に対応できない。
- あるデータ項目の属性(データ長や発生頻度)の変更が、他のデータ項目にも波及する。

□ フレーム依存

- データ内容がフレーム内(あるいはメジャーフレーム内)の位置により定義されていたため、データの収集タイミングとフレーム編集タイミングとが一致している。



従来の多重化のイメージ

CCSDSのパケットテレメトリの背景

□ データ処理の高度化

- マイクロプロセッサの進歩により圧縮されたデータやイベント駆動型のデータがテレメトリにより伝送されるようになってきた。このようなデータは従来型のテレメトリで伝送すると能率が悪い。

□ ネットワーク技術の進歩

- 計算機から計算機へデータを送る技術が進歩し、その技術の一部はテレメトリにも適用可能。

CCSDSのパケットテレメトリの歴史 (1)

□ 発祥

- 1979年代後半、NASA/JPLでテレメトリ処理を担当していた技術者が考案。
- ネットワーク技術も参考にしながら、プロセッサが発生するテレメトリの伝送方式として考案。

□ 標準化

- 1982年、宇宙データシステムに関する標準規格を作成する団体として宇宙データシステム諮問委員会(CCSDS)発足。主要メンバーはNASA、ESA、CNES等。
- 1984年、「パケット・テレメトリ」勧告の初版発行。
- CCSDS勧告はISOの国際標準規格としても(自動的に)発行される。

CCSDSのパケットテレメトリの歴史 (2)

□ 実用化

- 1990年、パケットテレメトリを世界で最初に実用化したHubble Space Telescopeが打ち上げられる
- 1998年、宇宙研で最初にパケットテレメトリを使用した「のぞみ」が打ち上げられる。ただし、パケットは固定長で変則的。
- 2000年、宇宙研で最初に可変長パケットを採用したASTRO-Eが打ち上げられるが、軌道投入失敗。
- 現在では、世界のほとんどすべての科学衛星で使用されている。

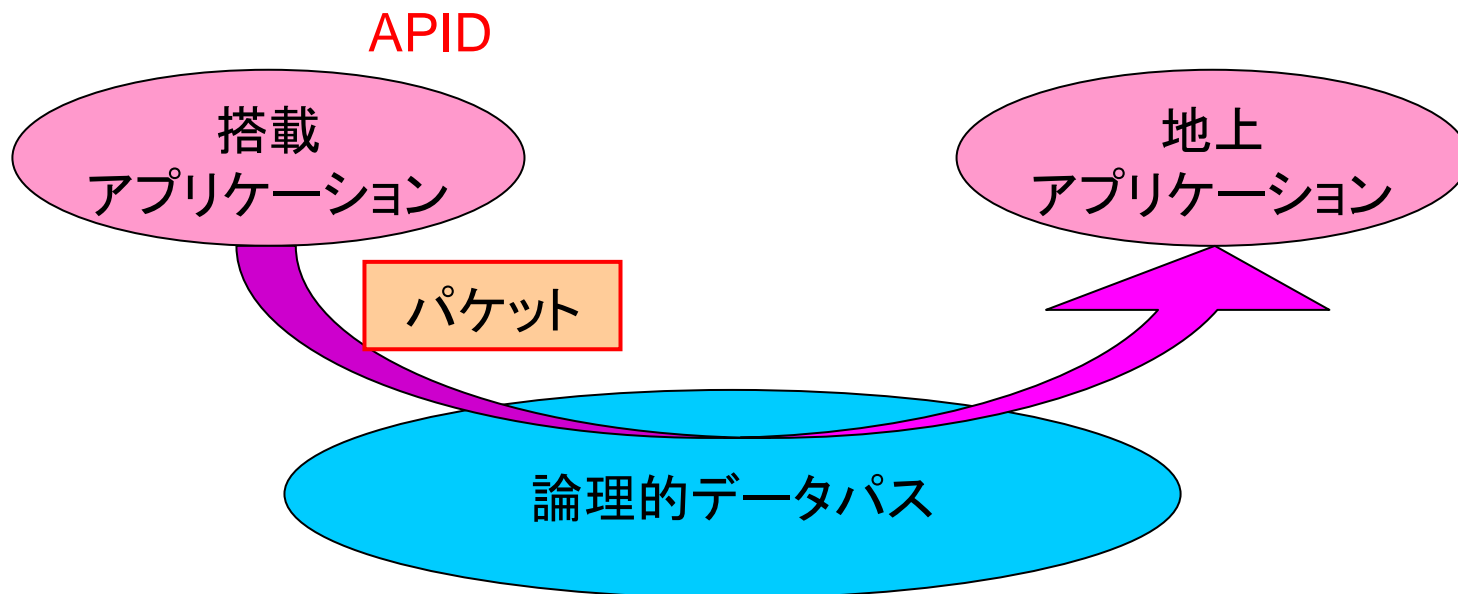
CCSDSのプロトコルの階層構造

ネットワーク層～応用層：パケット
CCSDS Space Packet Protocol

データリンク層：フレーム
CCSDS Space Data Link Protocols
(TC, TM, AOS)

物理層：信号波形
CCSDS RF & Modulation

Space Packet Protocolとは？



- 搭載アプリケーションと地上アプリケーションとが通信システムの物理的な構成を意識せずに標準データ単位(パケット)のやり取りをできるようにするメカニズム。
- 搭載アプリケーションはApplication Process Identifier (APID)により識別される。

パケットの特徴 (1)

□ 可変長、可変発生頻度

- 圧縮されたデータの場合、圧縮の程度に応じ、パケット長が変化したり、パケット数が変化したりする。
- 発生させたいときに発生させたいだけ発生させて良い(ただし、ネットワーク帯域と物理的な容量の範囲内)。例:「はやぶさ」のレポートパケット(搭載機器が異常を検知したときのみ発行する)。

□ 独立性

- 意味的にまとまりのあるデータを一つのパケットに格納する。例: ある時点におけるある搭載機器の状態、一つの画像。
- ある種類のパケット(APIDで識別される)の内部構造は、他の種類の(他のAPIDの)パケットの内部構造とは独立に決められる。

パケットの特徴 (2)

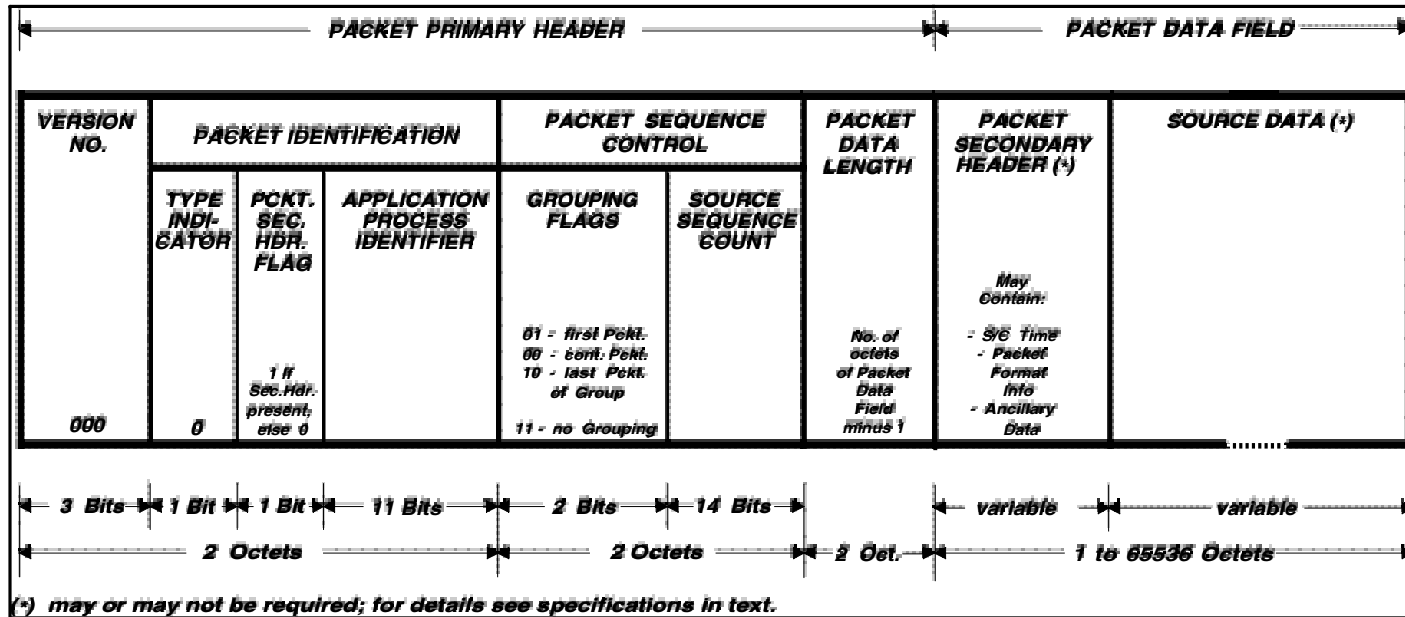
□ 物理非依存

- フレーム構成、フレーム編集速度には一切依存しない。
- 搭載データバスの伝送方式などにも一切依存しない。

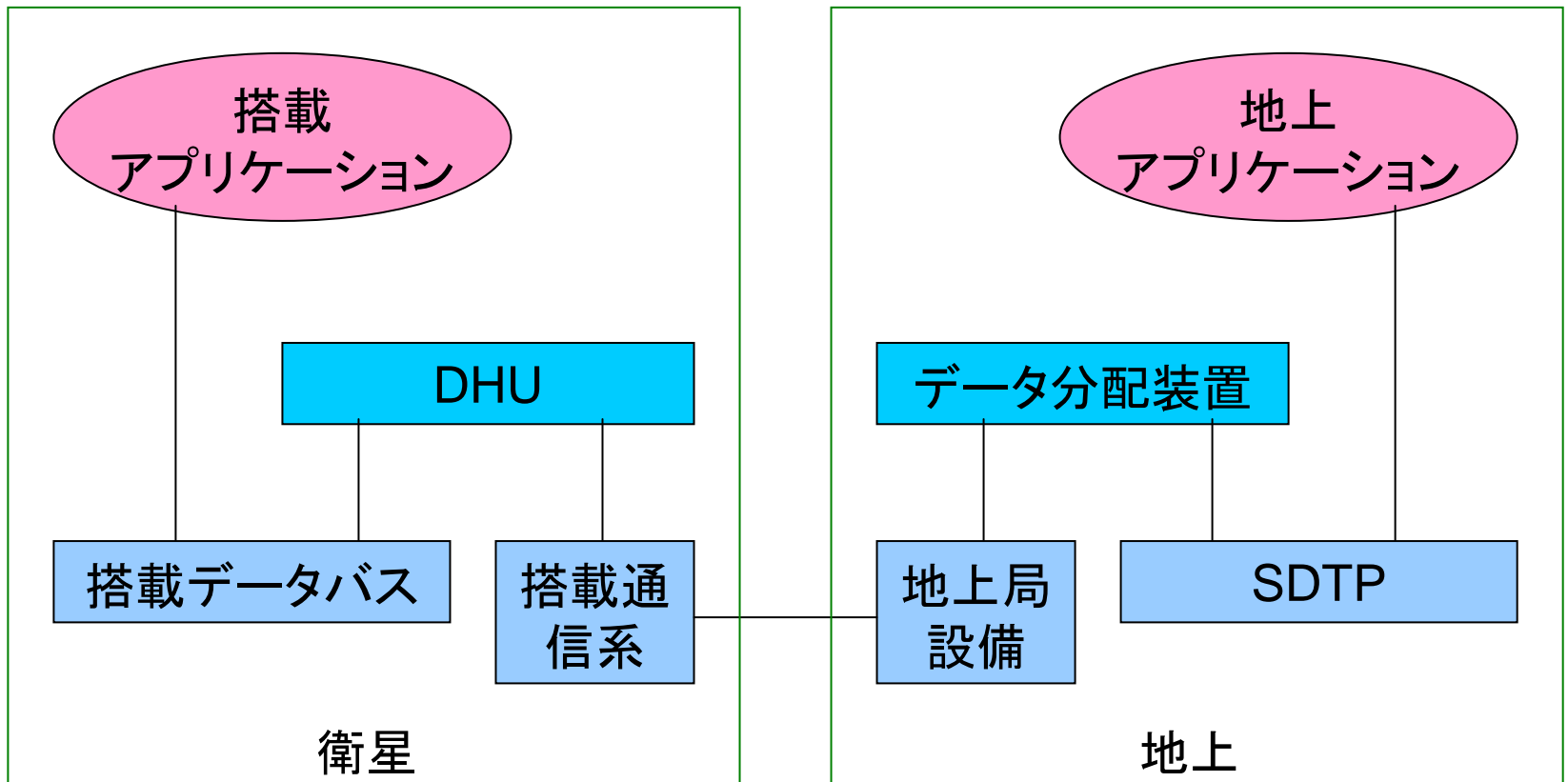
□ テレメトリにもコマンドにも使用可能

- ただし、コマンドに使用しているのは、宇宙研では「はやぶさ」以降の深宇宙探査機のみ

パケットの構造



実際のパケット伝送ルート



Space Data Link Protocolsとは？

- パケットを宇宙回線上で伝送するためのメカニズム。フレームとその伝送方式を規定。
- テレメトリ用
 - TM Space Data Link Protocol
 - AOS Space Data Link Protocol
- コマンド用
 - TC Space Data Link Protocol
- 宇宙研では
 - テレメトリにAOS Space Data Link Protocol
 - コマンドにTC Space Data Link Protocol

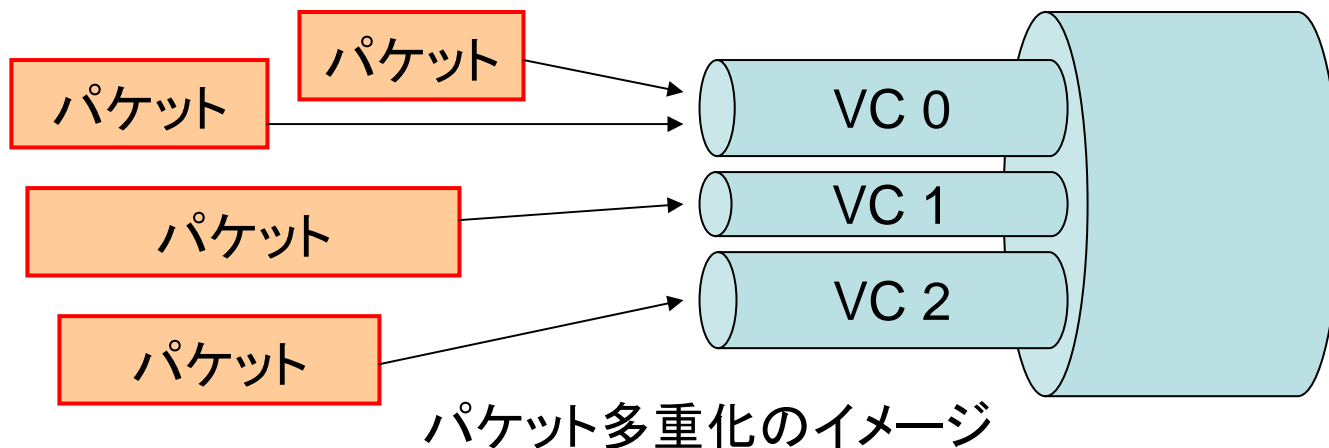
TM/AOS Space Data Link Protocols

□ フレームは固定長

- パケットの区切りとフレームの区切りは一致しない
- ビット誤りの存在する回線で確実に同期を取るため

□ Virtual Channels

- 異なる性質のデータを多重化するために複数のVirtual Channelを使用する
- メージャーフレームという概念はない



TC Space Data Link Protocol

□ フレームは可変長

- 一つのフレームに一つあるいは複数のパケットを入れる
- または、一つのパケットを複数のフレームに入れる
- 短いパケットを小さい遅延時間で処理できるようにするため。

□ Virtual Channels

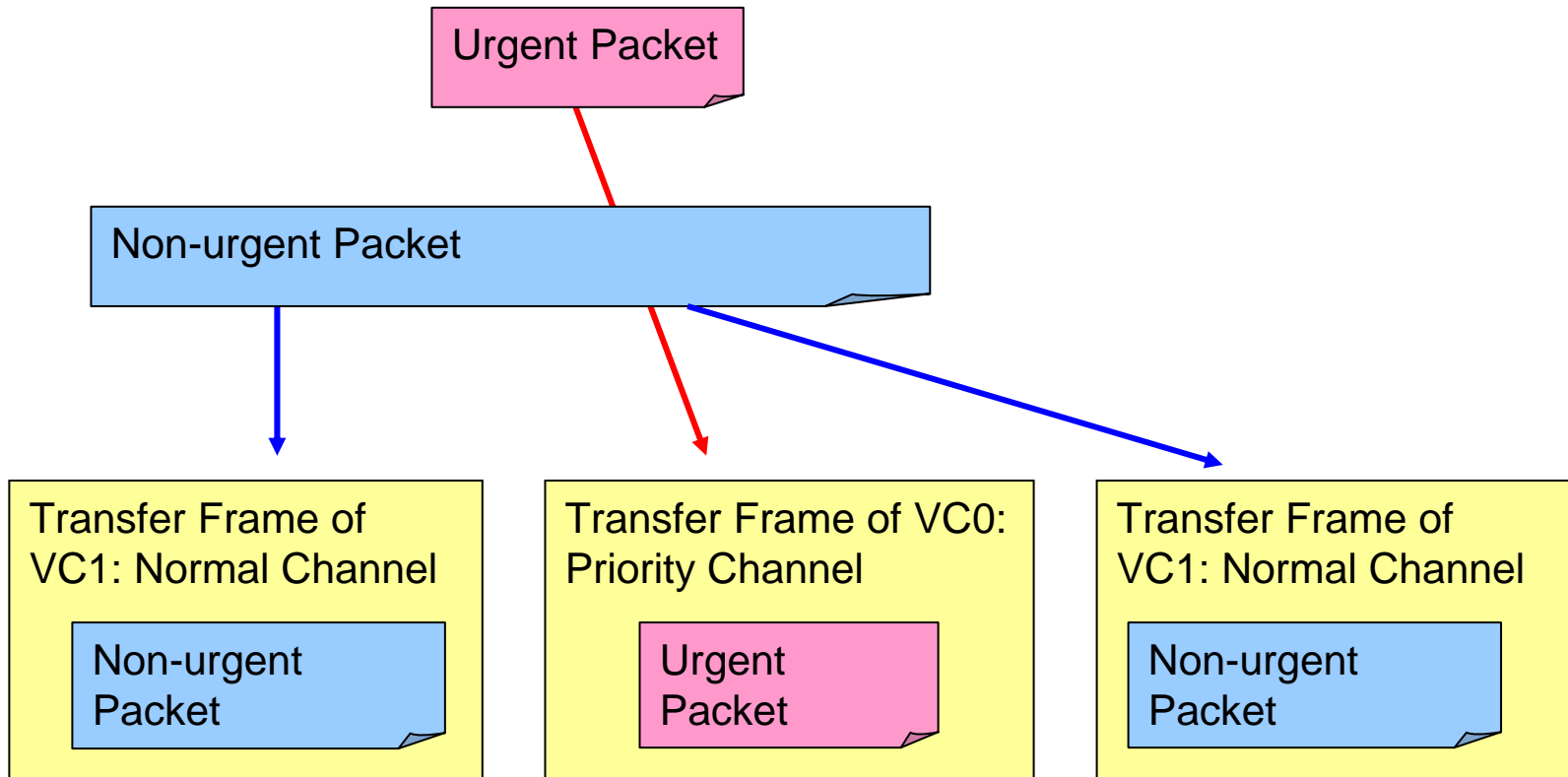
- TM/AOS Data Link Protocolsと同様。ただし、宇宙研では使用していない(VCは一つのみ)。

□ Multiplexer Access Points (MAPs)

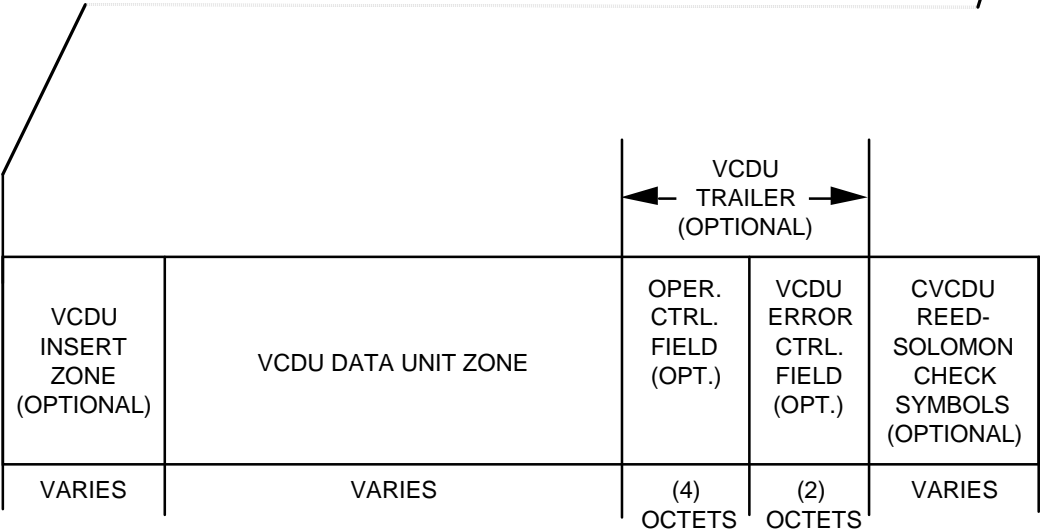
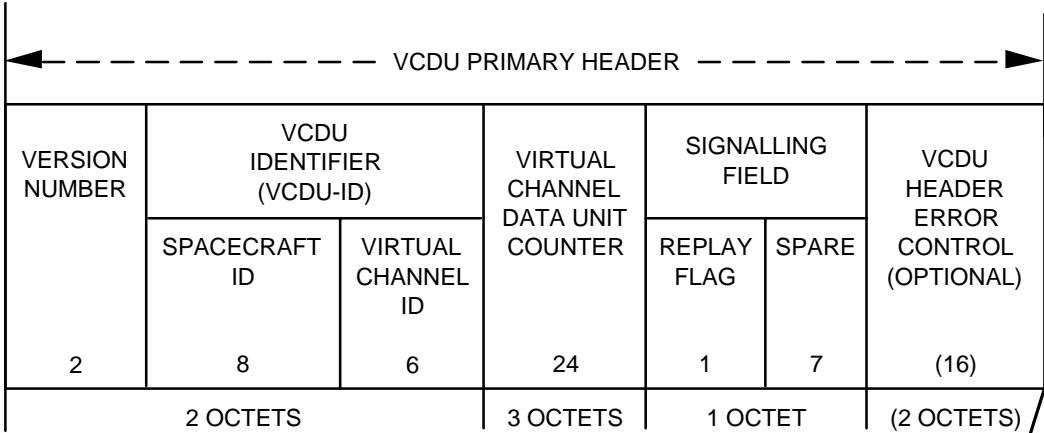
- 異なるコマンド出力インターフェースを規定する。宇宙研では、一つをソフトウェアコマンドデコーダ一用に、もう一つをハードウェアコマンドデコーダ一用に使用。

□ 再送制御

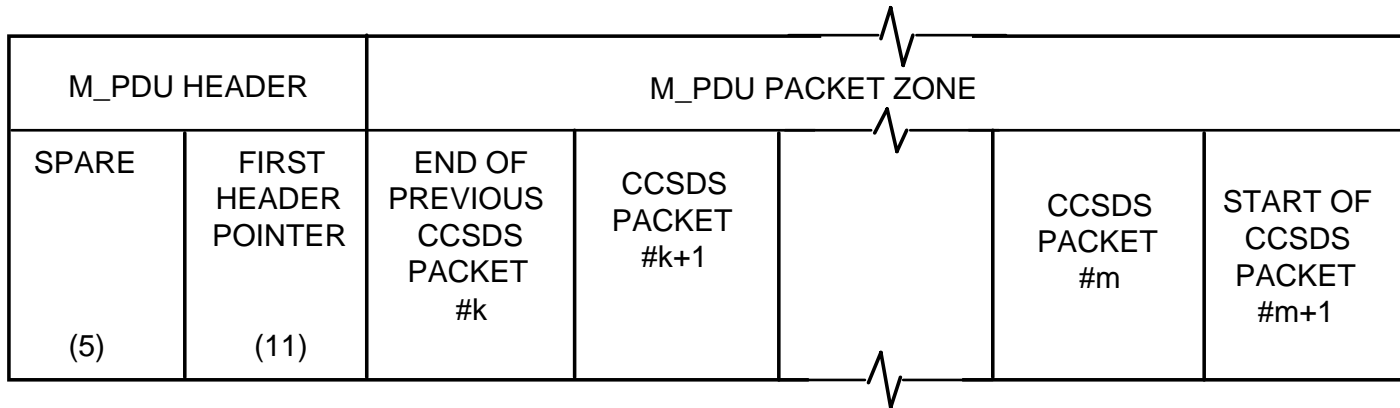
Virtual Channelとは？



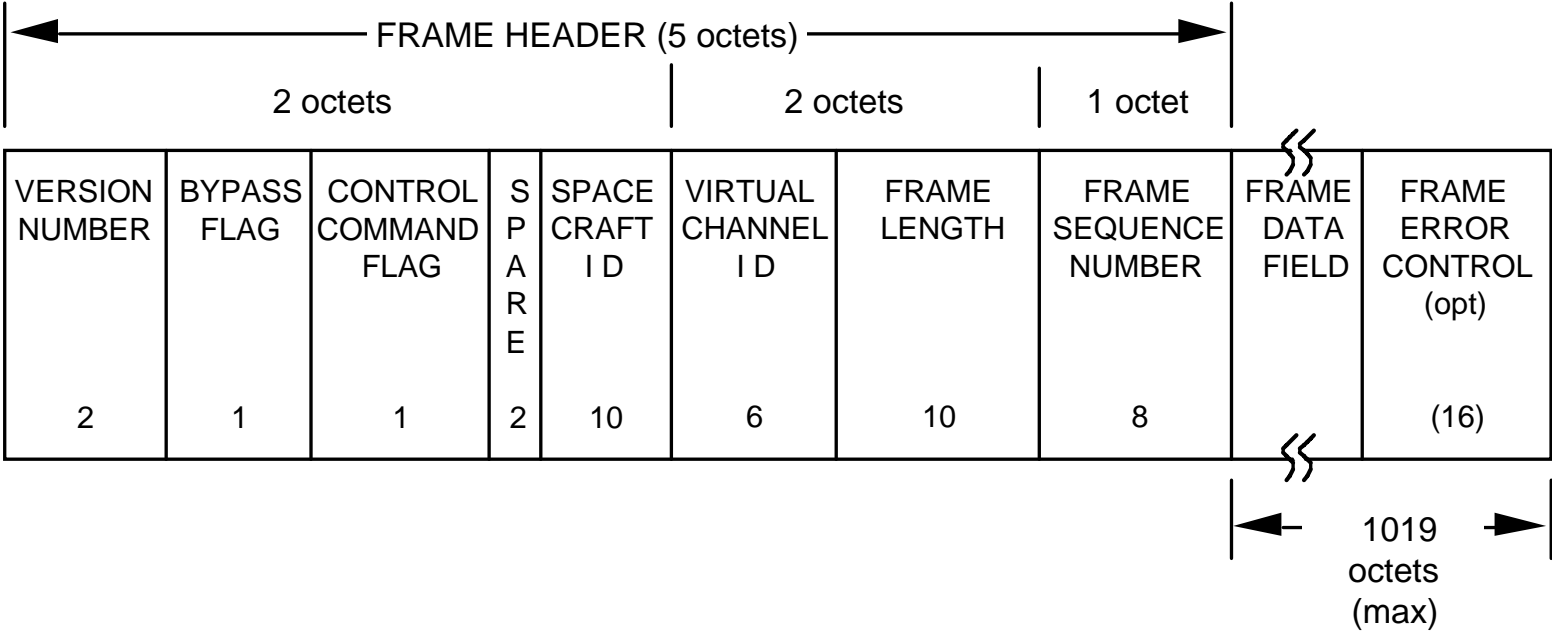
フレームの構造 (AOS, 1)



フレームの構造 (AOS, 2)

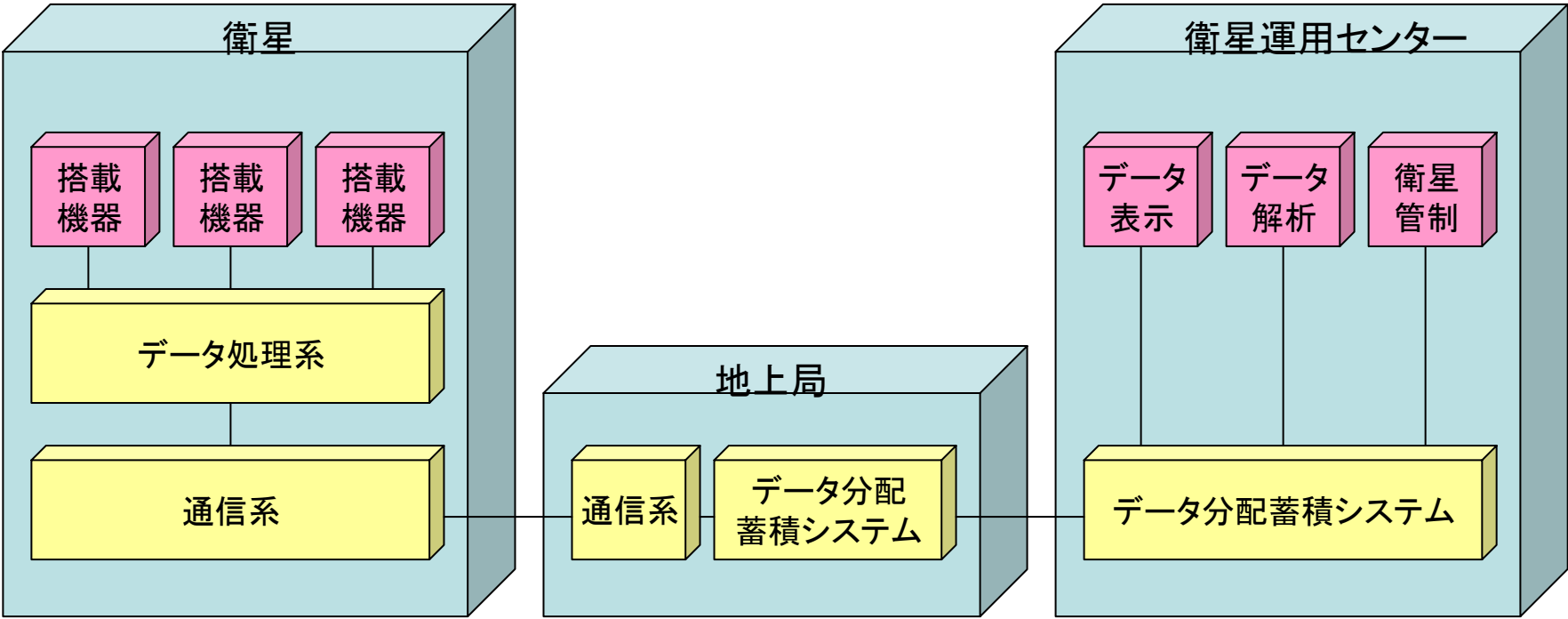


フレームの構造 (TC)

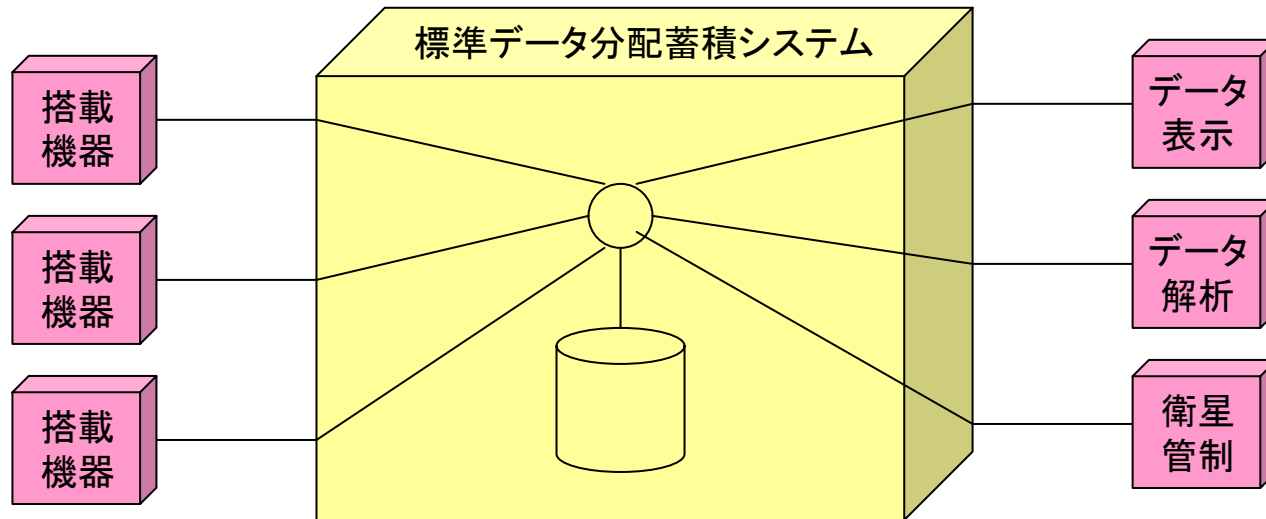


分散型衛星運用システム

物理的システム構成(一例)

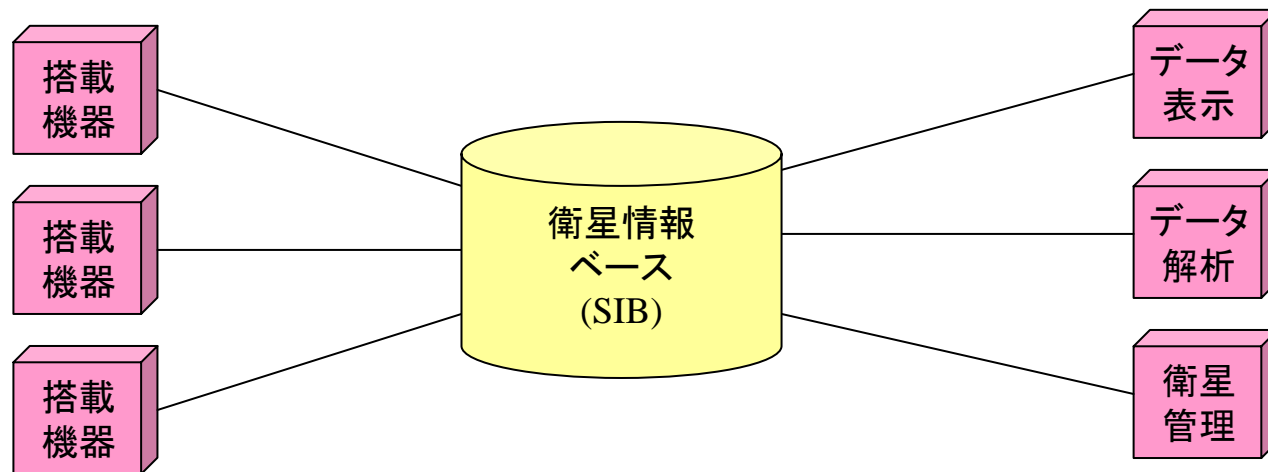


論理的システム構成



- 搭載機器と地上ミッション運用設備は物理的システム構成を意識せずに標準的なデータ単位(パケット)を標準的な方法(地上はSDTP)でやりとりできる。

情報の一元管理



- テレメトリとコマンドのフォーマット情報は単一のデータベースで管理される。

Space Data Transfer Protocol (1)

□ 宇宙データをリアルタイム転送するためのプロトコル

- システムの物理構成を意識することなく自分の希望するデータをどこでも(C棟でもB棟でも内之浦でも)受信できる。
- 「A局で受信しているX衛星のAPID=Nのパケットを受信したい」

□ データ種別

- コマンド(フレーム)
- テレメトリ(フレーム、パケット)
- 地上局監視データ
- 地上局制御データ
- 測距とドップラーデータ
- コマンド送信検証情報

Space Data Transfer Protocol (2)

- テレメトリについてはオフライン転送もあり(レートバッファリング)
 - 「いつからいつまでにA局で受信したX衛星のAPID=Nのパケットを受信したい」
- Space Link Extension (SLE)とのゲートウェイ
 - SLEはSDTPと機能的に同等なCCSDSの国際標準プロトコル
 - SLEとSDTPとのゲートウェイ(プロトコル変換装置)により、現在はNASA/DSN, JAXA新GN、Svalbard局もSDTPよりアクセスできる

データ分配・蓄積装置

□ データ分配装置

- インターネットにおけるルーターと同様な機能をSDTPのレベルで実行する。
- データの転送機能と、フレームよりパケットを抽出する機能を持つ。

□ データ蓄積装置

- あらゆるデータを蓄積する。
- 標準ディレクトリとFTPによりデータのアクセスが可能。
- テレメトリについてはSDTPのレートバッファリングによってもアクセスが可能。
- 複数のデータ蓄積装置間でミラーリング機能あり。

システム構成法

□ あらゆるものが接続できる

- あらゆる装置がSDTPで接続できるため、SDTPのインターフェースさえ有していれば、どの装置とも接続することができる。

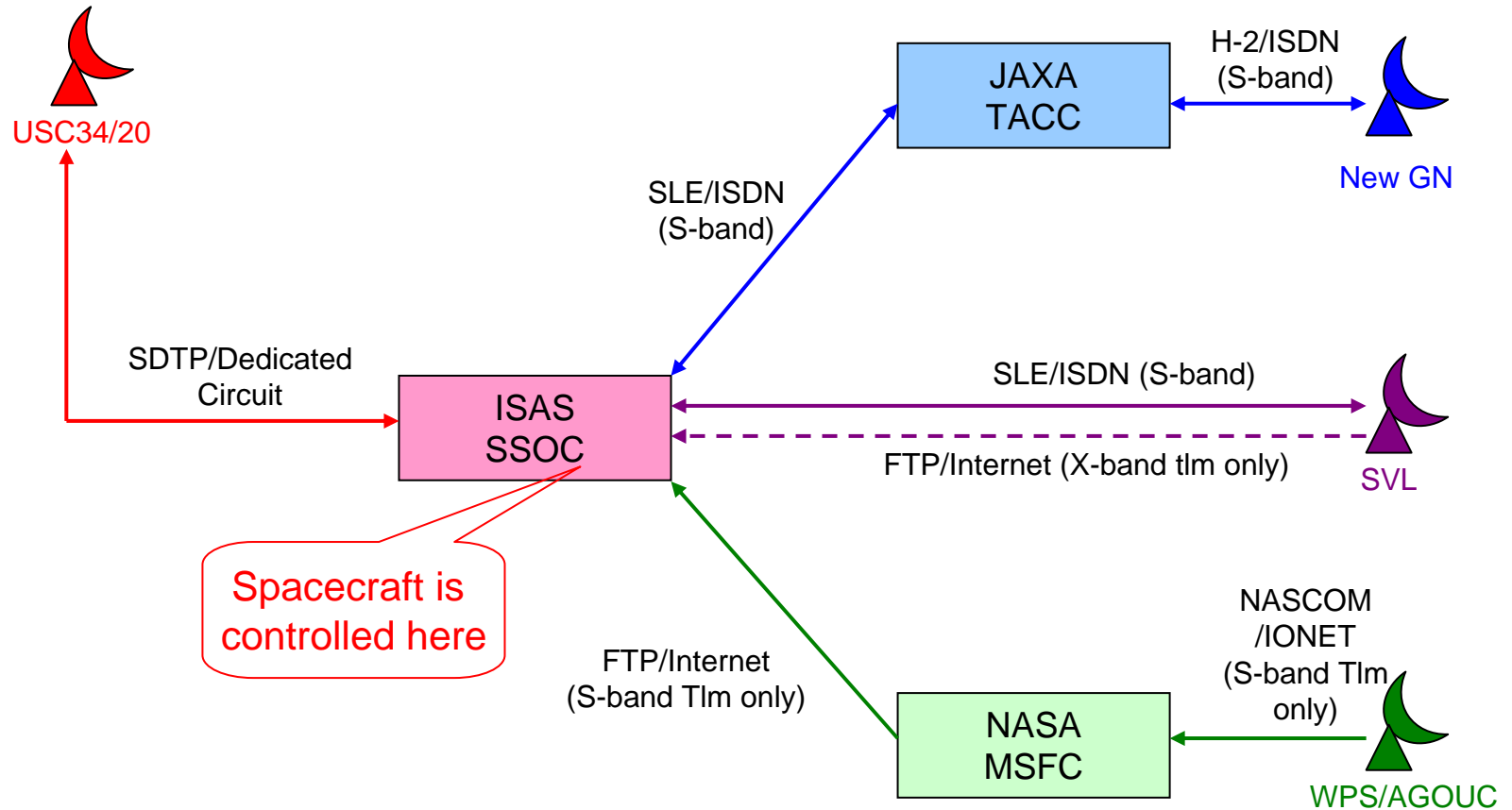
□ システム構成の変更が容易

- どこでもSDTPで接続できるため、装置の環境(地理的環境あるいはネットワーク環境)が変わっても、パラメータの変更だけで使用を継続できる。

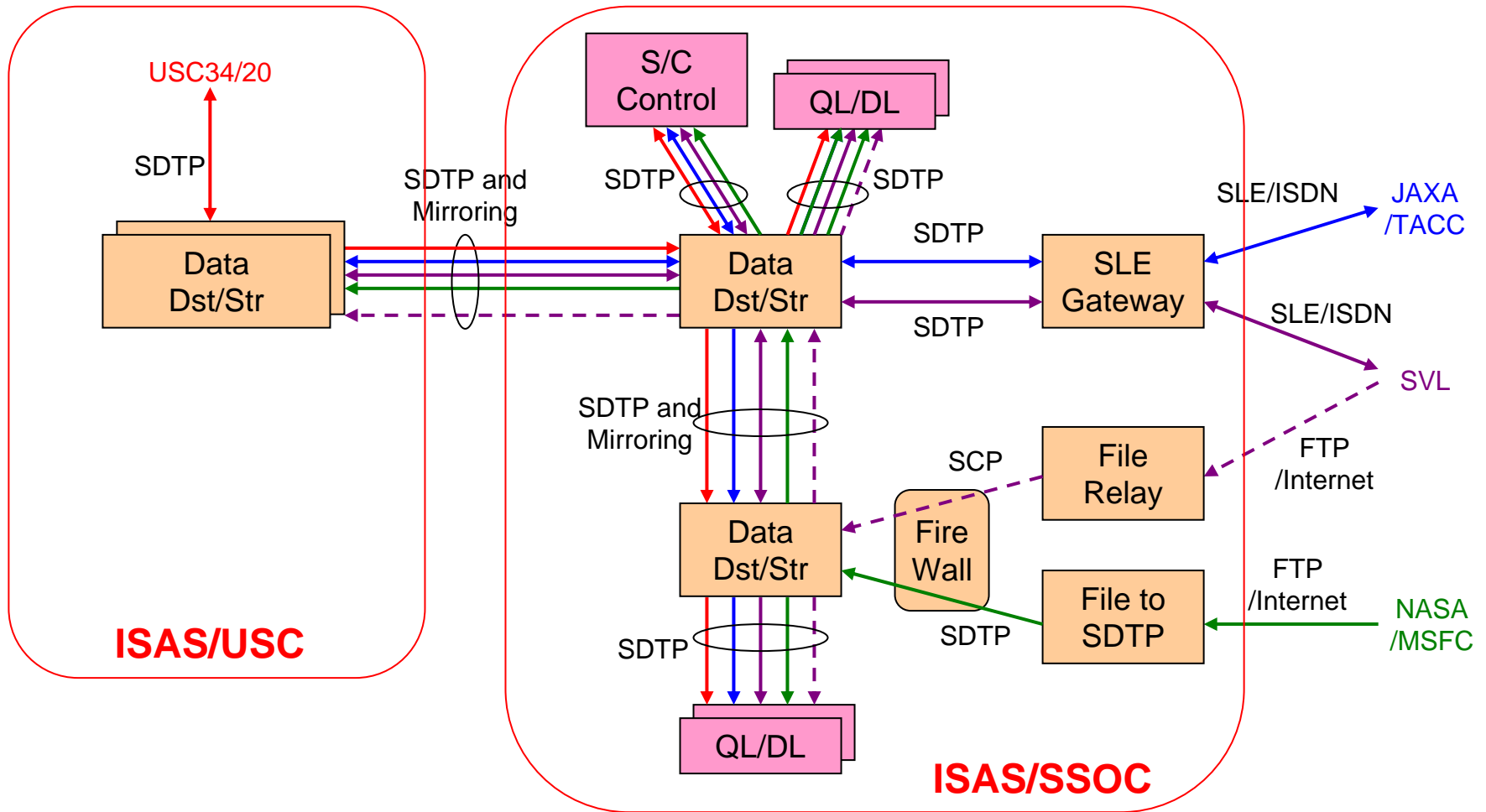
□ 最適化が容易

- プロジェクトに適したシステム構成を使用することができる。

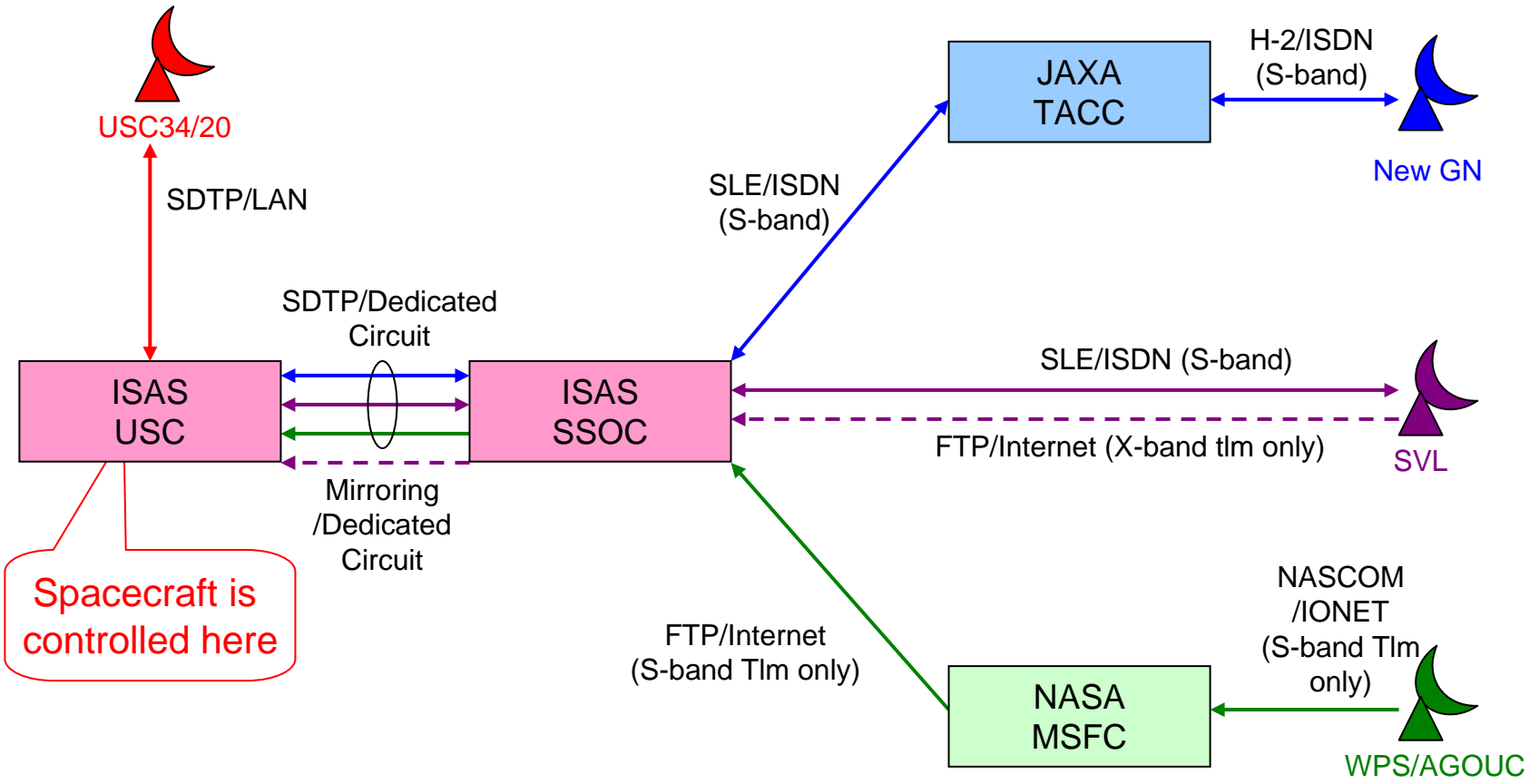
システム構成例 (SOLAR-B定常時、1)



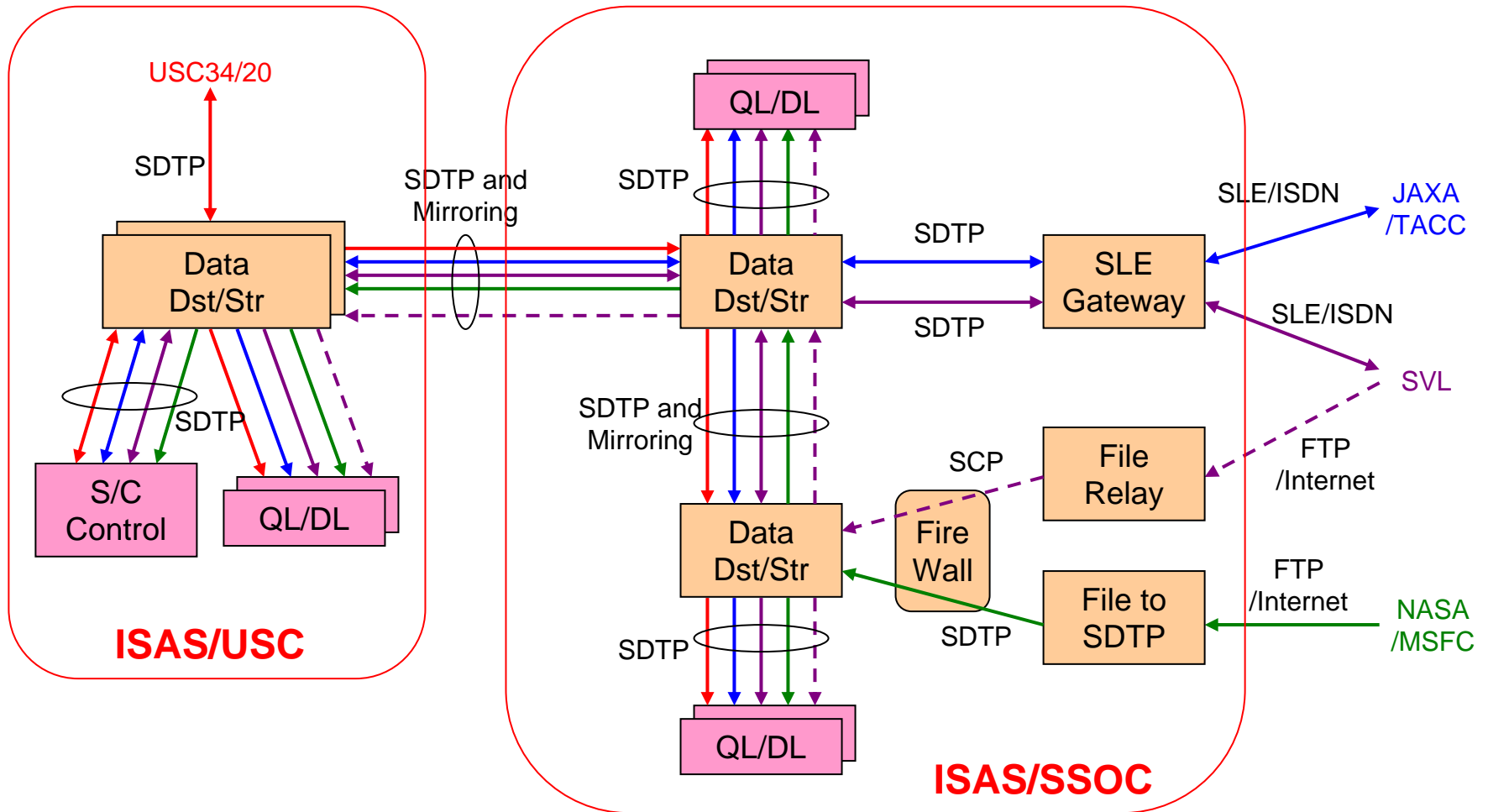
システム構成例 (SOLAR-B定常時、2)



システム構成例 (SOLAR-B初期運用時、1)



システム構成例 (SOLAR-B初期運用時、2)



本日のまとめ

□ CCSDSのテレメトリ／コマンド方式

- プロセッサ搭載衛星に適した柔軟なテレメトリ／コマンド伝送方式
- 「のぞみ」以降の衛星で使用されている。

□ 宇宙研の分散型衛星運用システム

- 柔軟なシステム構成が可能な衛星運用システムを構築した。
- 「のぞみ」以降の衛星で使用されている。
- 次期システムの構成については、別途、松崎＋山田で検討中。

ご静聴ありがとうございました。

おわり。