

科学衛星レベル0処理システムにおける テレメトリ時刻付け処理の整備

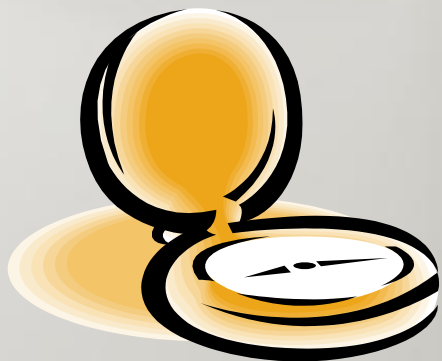
JAXA宇宙科学研究所

科学データ利用促進グループ

岡田尚基、山本幸生

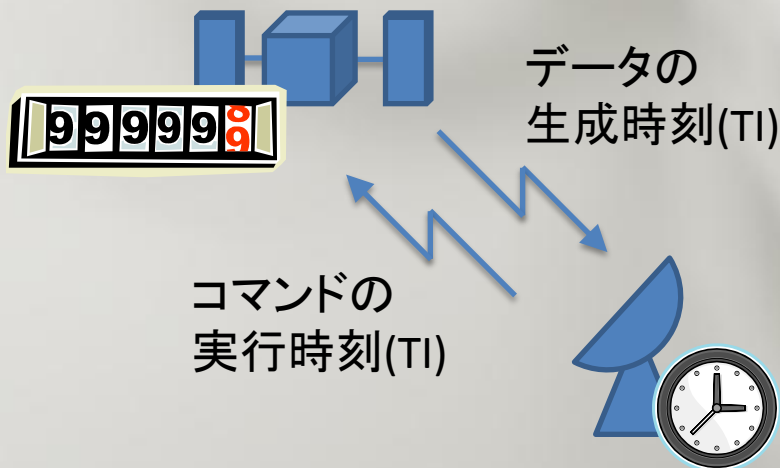
発表概要

- ISAS衛星のテレメトリデータに付けられている時刻について新たな方式を導入する
 1. 衛星の時刻管理
 2. 時刻付けの原理と課題
 3. レベル0処理システムと時刻付け
 4. 標準時刻付け処理方式の整備



1. 衛星の時刻管理

- ISAS衛星の多くは時刻管理に一定間隔でカウントアップするTI(Time Indicator)カウンタを使っている
 - 衛星から送られるテレメトリデータにはパケットごとにこのTIカウンタが格納されており、パケットの作られた時刻を表している

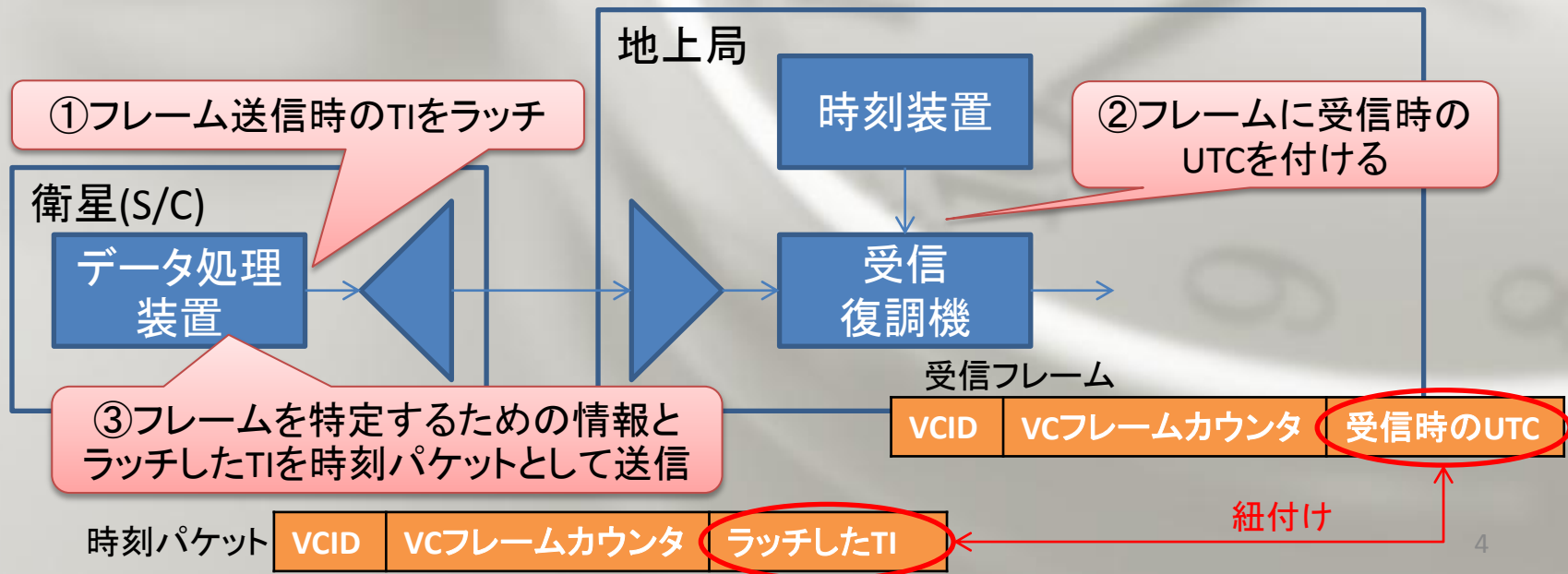


データの絶対時刻を知るためにはTIカウンタの値からUTCの時刻を求める必要がある

2. 時刻付けの原理と課題

TIカウンタ値とUTC時刻の対応付け

- TI-UTC対応付けのために、衛星は時刻パケットを定期的を送るようになっている
 - 時刻パケットにはあるフレームを通信系に出力する瞬間のTIカウンタとそのフレームを特定するための情報が含まれている
- 地上局で受信したフレームには全て受信時刻がUTCで付けられている
 - これらを紐付けることでTIカウンタ値とUTCの対応付けが可能



2. 時刻付けの原理と課題

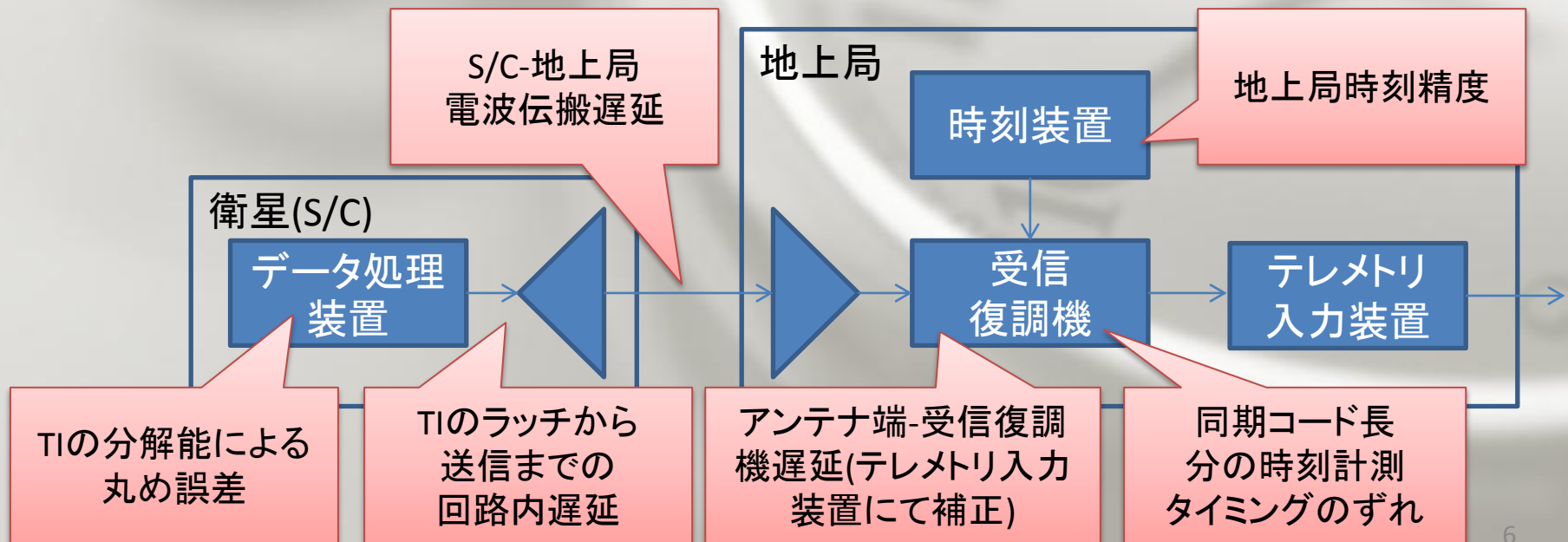
時刻付けのポイント

- TI-UTCの対応を付け、パケットの生成時刻を求めることを「時刻付け」と呼ぶ
- 時刻付けのポイント
 1. 基準時刻(TI-UTC対応)の作成
 - 時刻パケットを使う方法では「該当フレームが送信機に出力された瞬間のUTC時刻」が分からなければならないため、これを受信時刻から推定する必要がある
 2. 基準時刻による補間
 - 任意のTIに対してUTCを求めるためには基準時刻からの補間が必要
 - TIカウンタの進み具合は一定ではないため、基準時刻の作成間隔や補間方法により精度が変わる

2. 時刻付けの原理と課題

ポイント1: 基準時刻の作成

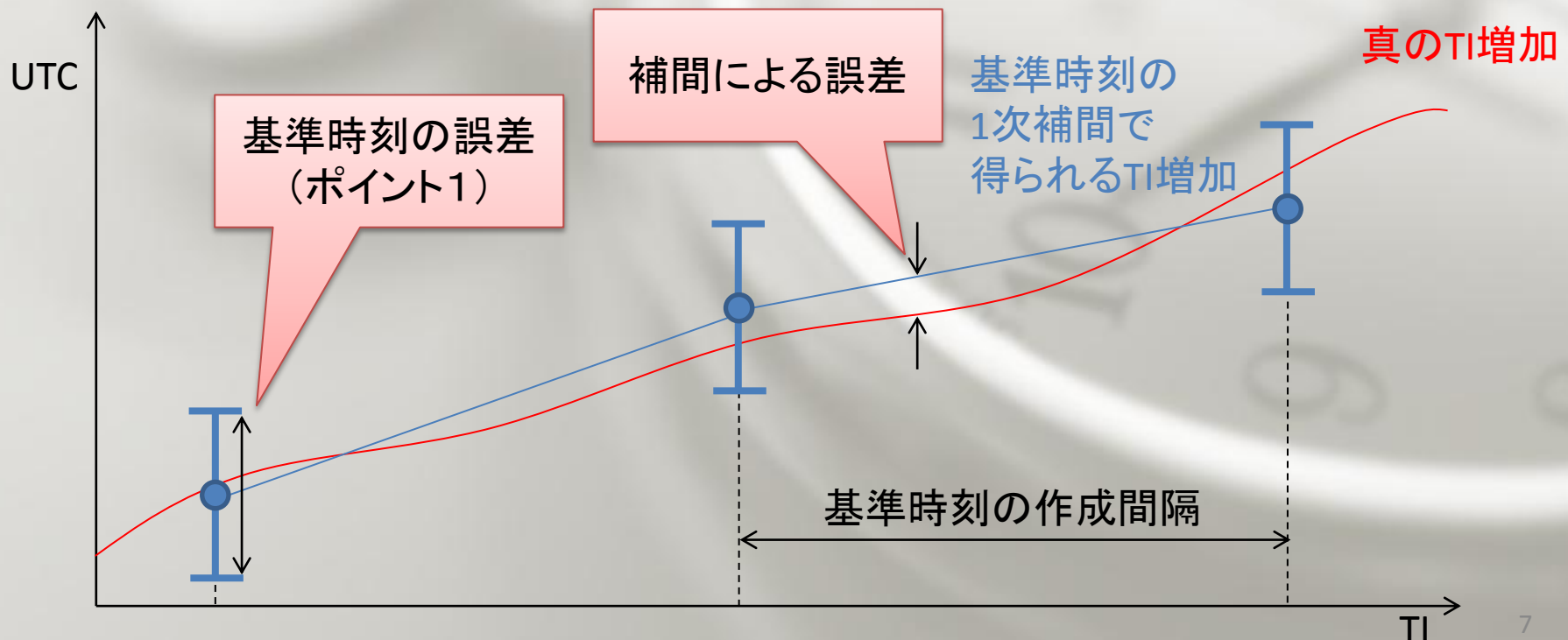
- TIがラッチされてから受信時刻が付けられるまでにはタイムラグがある
- 考えられる遅延・誤差要因は
 - TIの分解能に依存した丸め誤差
 - 各種遅延
 - 回路内遅延(S/C内、地上局内)
 - 電波伝搬遅延(S/C-地上局間距離に依存)
 - 地上局時刻精度
 - 計測タイミングのずれ(ラッチと受信時刻とは同期コード分計測タイミングが異なる)



2. 時刻付けの原理と課題

ポイント2: 基準時刻による補間

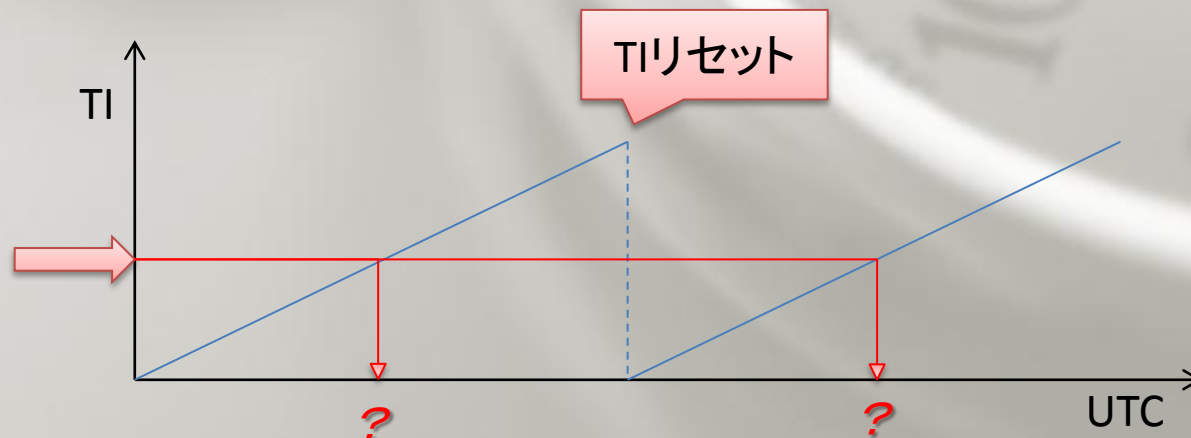
- TIカウンタの進み具合は一定ではなく主として温度に依存して変化する
- 考慮する点は
 - 基準時刻をどの程度の間隔で作るか
 - 基準時刻間をどのように補間するか



2. 時刻付けの原理と課題

その他、時刻付けに関する注意点

- セカンダリヘッダに含まれるTIの分解能
 - 時刻パケットに含まれるTIに比べ、各パケットのセカンダリヘッダに含まれるTIは分解能が低い(数十msec)
- TIカウンタのリセット
 - TIカウンタは通常4～5年でロールオーバーし0に戻る
 - ロールオーバー前にコマンドリセット、電源のON/OFFで0に戻ることもある
 - 衛星の運用期間中にリセットがあるとTIのみではUTCを一意に決定できない



3. レベル0処理システムと時刻付け

- 時刻付けはどこで行う？
 - 処理をするユーザによって一つのデータにばらばらの時刻が付くことは避けたい
 - 同じ時刻管理方式であれば衛星ごとに処理をするのは無駄

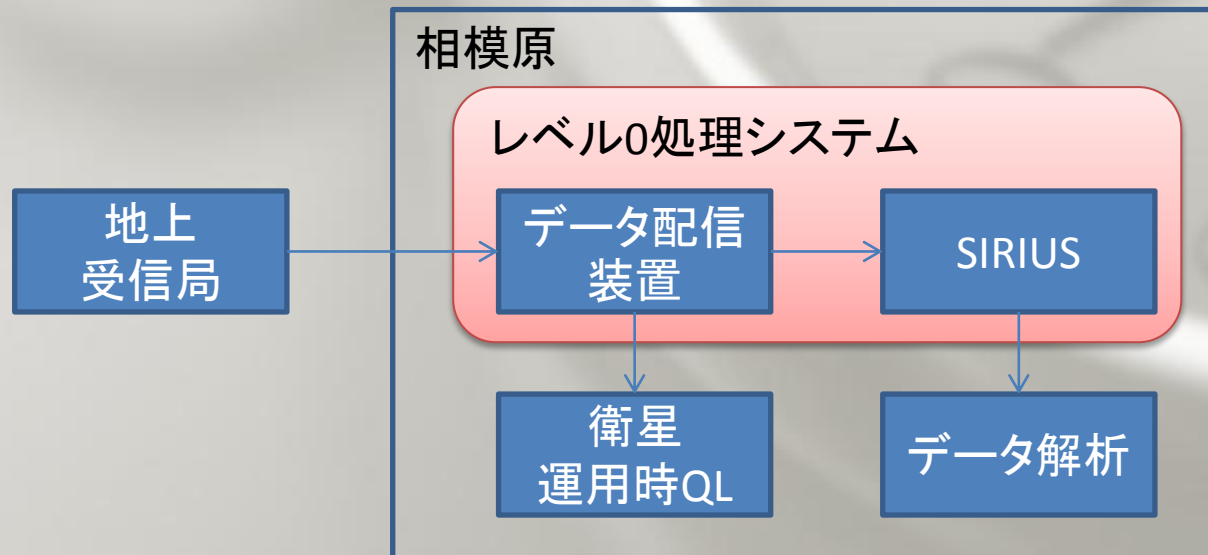


衛星横断的に、一箇所で行うことが望ましい
…レベル0処理システムで実施

3. レベル0処理システムと時刻付け

レベル0処理システムとは

- レベル0処理システムとは？
 - 受信したRawデータをパケット単位で時刻順にソートして提供するシステム
 - 衛星共通システム
 - 「データ配信装置+SIRIUS」を指す
- レベル0処理システムでの時刻付け
 - 利用者はパケット生成時刻を指定してデータを取得できる
 - 特別に高精度な要求がなければ利用者はレベル0処理システムの付けた時刻を解析に使用
 - TIがリセットされてもUTCを一意に決めるためのTI上位桁の追加(ETI)



4. 標準時刻付け処理方式の整備 時刻付けへの要求と現状

- レベル0処理システムにおける時刻付けへの要求
 - 衛星横断的に行える処理であること
 - データ解析、及び衛星運用に使えること
 - 処理を明確にすること
 - 精度について根拠のある指針を出すこと
- 現在の時刻付けの抱える課題（あかつきまでの時刻付け）
 - データ配信装置とSIRIUSで時刻付けの処理が異なっていた
 - 各処理はブラックボックスであり、処理に使用した情報も十分に残されていないため、ユーザが精度について評価することはできなかった

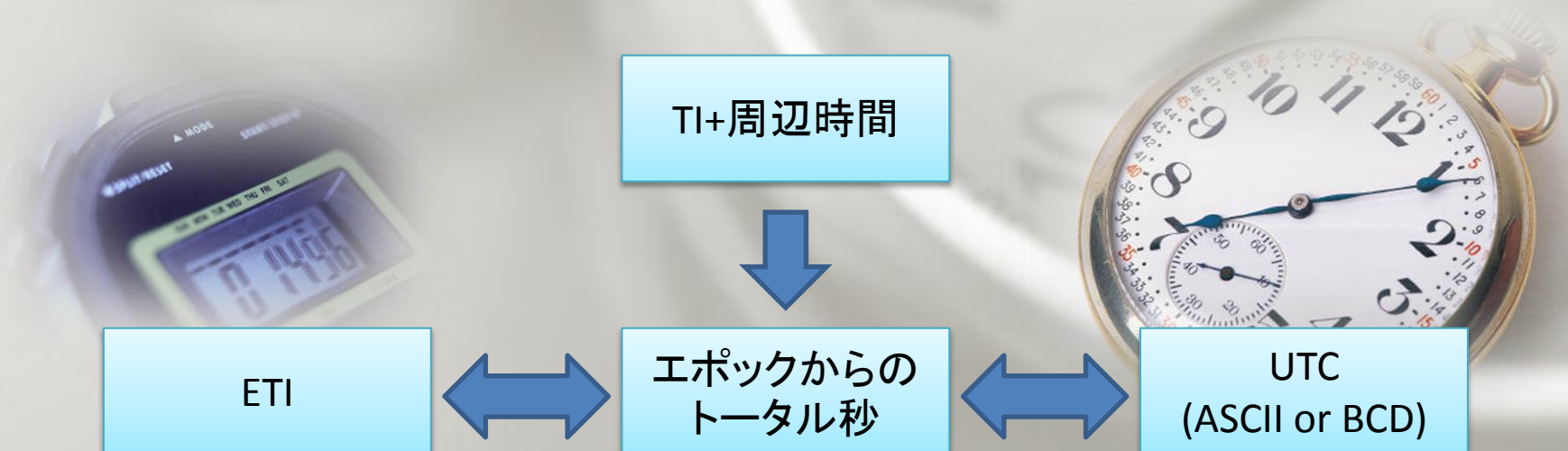
4. 標準時刻付け処理方式の整備

標準時刻付け処理

- 以下の方針で標準時刻付け処理方式を整備中（MMOから適用）
 - 基準時刻はデータ配信装置で作成し、精度評価用に地上局やバンド、ダウンリンクレンジが分かるように情報を残しておく
 - レベル0処理システムが行う時刻付け処理をライブラリとしてユーザにも提供
 - ver.1.0を<http://c-soda.isas.jaxa.jp/software/project-tools.html#libtimset>で配布中（宇宙研内のみ）
 - 処理方法も文書化して提供（現行方式についても解説）

4. 標準時刻付け処理方式の整備 時刻付けライブラリ

- SIRIUSから基準時刻ファイル・うるう秒ファイルを取得しユーザのデータ処理プログラム(C言語)から変換関数を呼び出し
–トータル秒を介した変換が可能



4. 標準時刻付け処理方式の整備 精度

• 主要誤差要因と補正処理・精度

	誤差(オーダー)	補正処理	補正後誤差 オーダー	
TI分解能	1.9msec(衛星による)	なし	~1msec	基準時刻の誤差
S/C内回路遅延	~100μsec	なし	~100μsec	
電波伝搬遅延	8min/1AU	アンテナ予報値の2次補間	~1msec	
地上局回路遅延	1μsec+ビット同期回路遅延 (情報なし)	上流(テレメトリ入力装置) で補正済み	~1μsec	
地上局時刻分解能	0.1msec@USC20m 0.01msec@USC34m	なし	~100μsec	
時刻計測タイミングのずれ	4sec@8bps 1msec@32Kbps	ビットレートに応じて補正	≒0sec	補間による誤差
基準時刻間の補間	1msec/hour	データがない場合を除き 1時間ごと	1msec/hour	
セカンダリヘッダTI分解能 (収集レートは考慮しない)	31.25msec(衛星による)	なし	10msec	データ時刻の誤差

→本方式の精度は10msecオーダー

まとめ

- 今後打ち上げられる衛星は標準時刻付け処理方式を使った時刻付けを行う
 - 明文化された処理による基準時刻の作成
 - 精度を左右する源泉情報の提供
 - TI-UTC変換ライブラリの提供
- 開発スケジュール
 - 基準時刻に源泉情報を追加する作業等を実施中
 - Astro-H, Sprint-Aの時刻管理方式へ対応予定

