

衛星通信システム設計と解析

MathWorks
田中明美

Agenda

- 1 はじめに
- 2 軌道の伝搬と可視化
- 3 リンクバジェット解析
- 4 波形生成
- 5 End-to-end リンクシミュレーション
- 6 MBDとSDR
- 7 まとめ



Agenda

- 1 はじめに
- 2 軌道の伝搬と可視化
- 3 リンクバジェット解析
- 4 波形生成
- 5 End-to-end リンクシミュレーション
- 6 MBDとSDR
- 7 まとめ



宇宙ビジネス

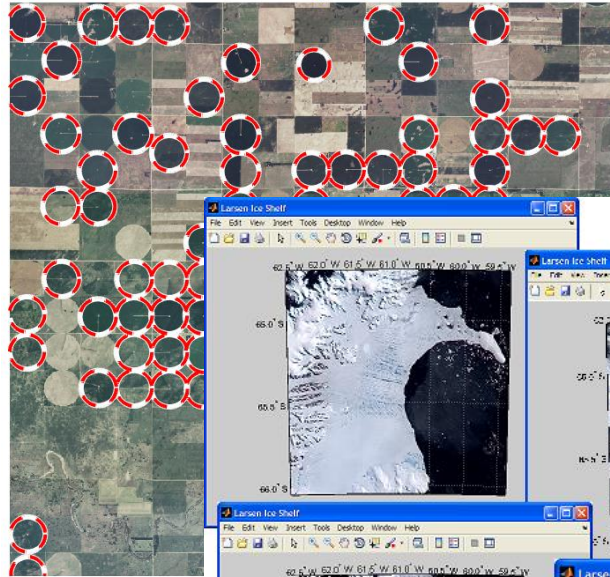


衛星製造
ロケット、探査機

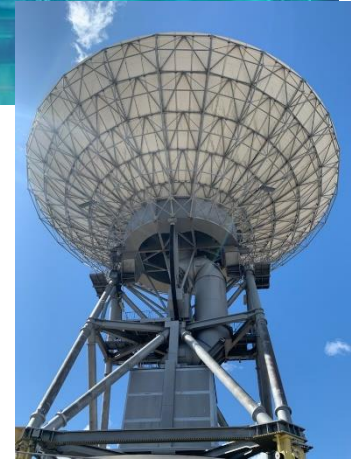
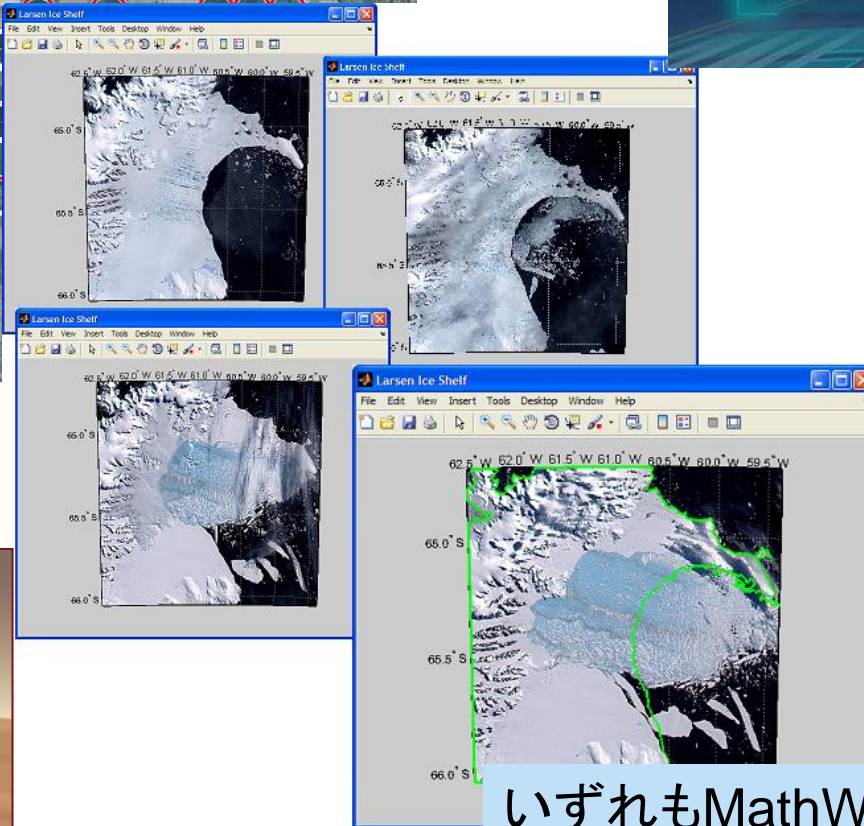
コマンド
ハウスキーピング



衛星サービス
地球観測、科学



画像
レーダデータ

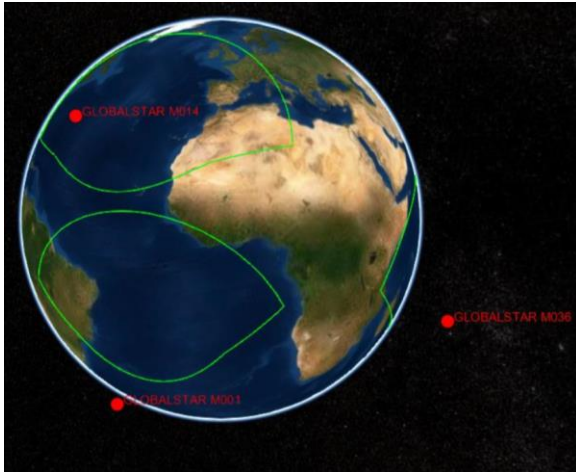


地上設備
カーナビ、アンテナ
位置情報、放送

いずれもMathWorks製品が適用可能
宇宙ビジネスでも通信システムは重要な役割

衛星通信システム設計のワークフロー

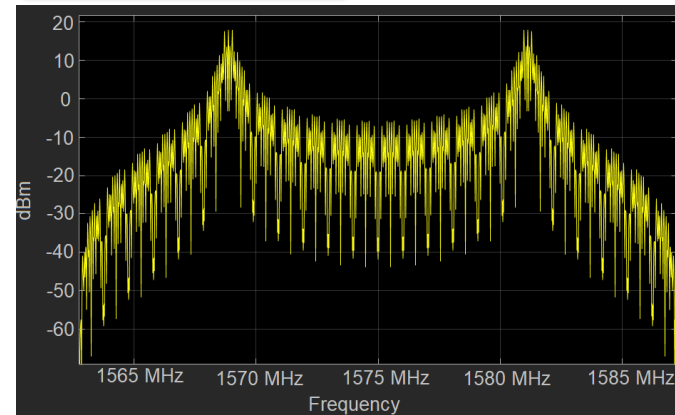
軌道の伝搬と可視化



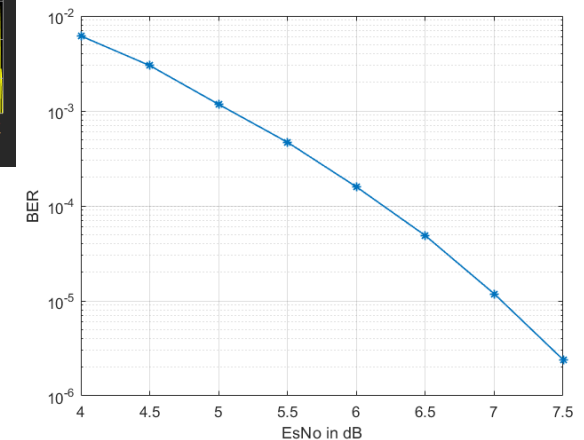
リンクバジェット解析

Name	L1
Distance (km)	3.6595e+03
Elevation (deg)	20.2176
Tx EIRP (dB)	51
Polarization loss (dB)	3.0103
FSPL (dB)	186.6387
Received isotropic power (dBW)	-141.6490
C/No (dB-Hz)	87.9502
C/N (dB)	20.1687
Received Eb/No (dB)	17.9502
Margin (dB)	5.9502

波形生成



End-to-End リンクレベル シミュレーション

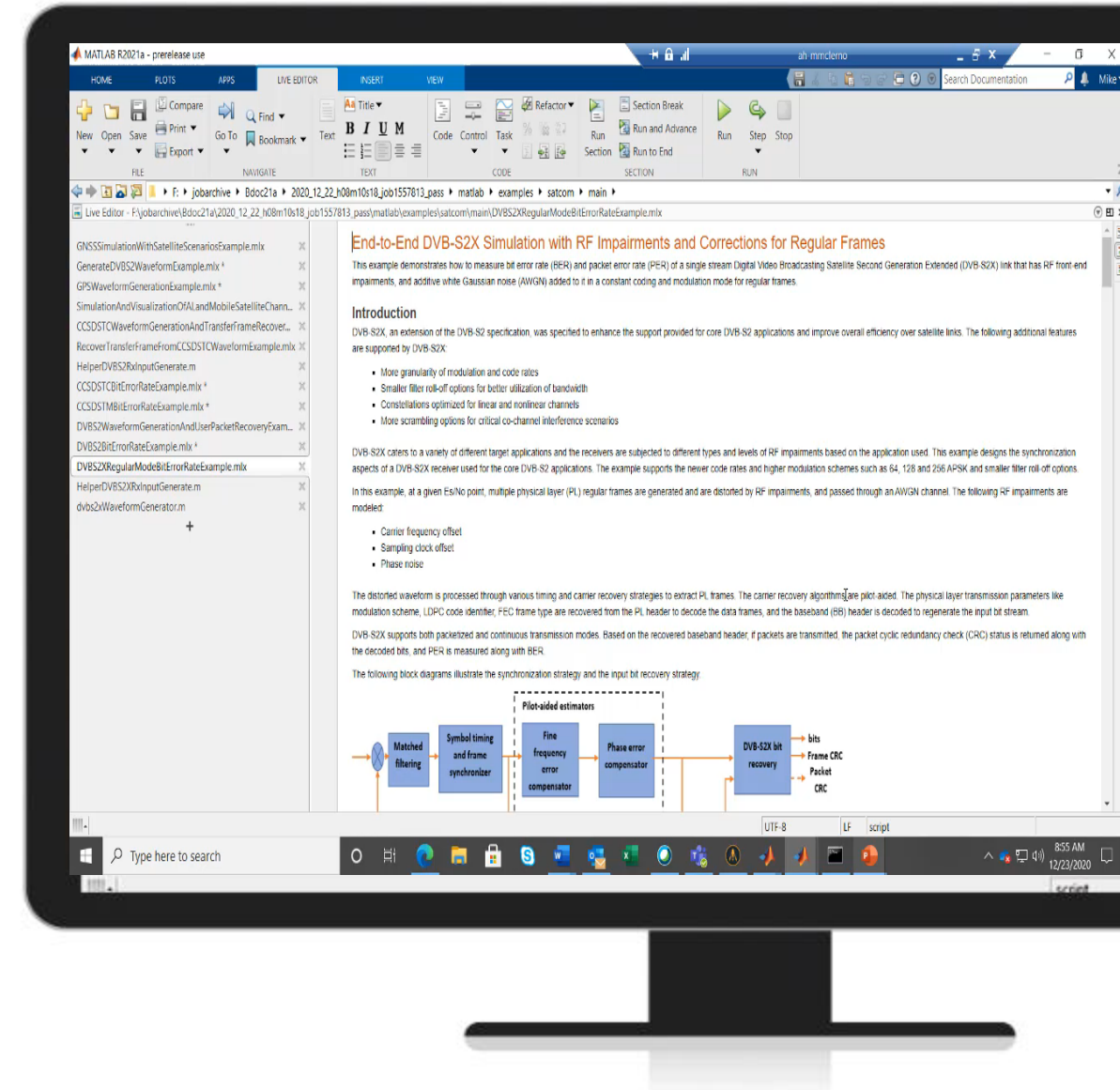


Satellite Communications Toolboxでワークフローの全てをカバー

組込み

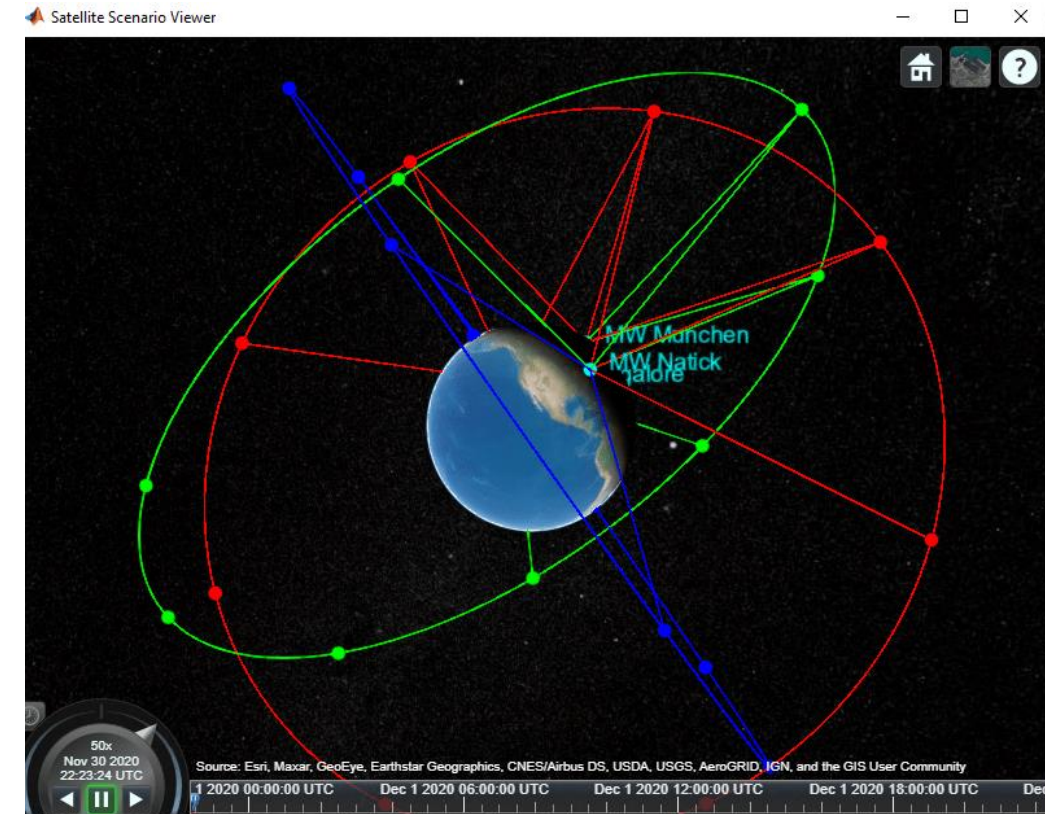
Satellite Communications Toolbox とは

- 規格ベースの関数と例題
- インタラクティブなリンクバジェット解析アプリ
- リファレンス受信機的设计
- 豊富なドキュメント
- 完全なMATLABソースコード
- Cコード生成



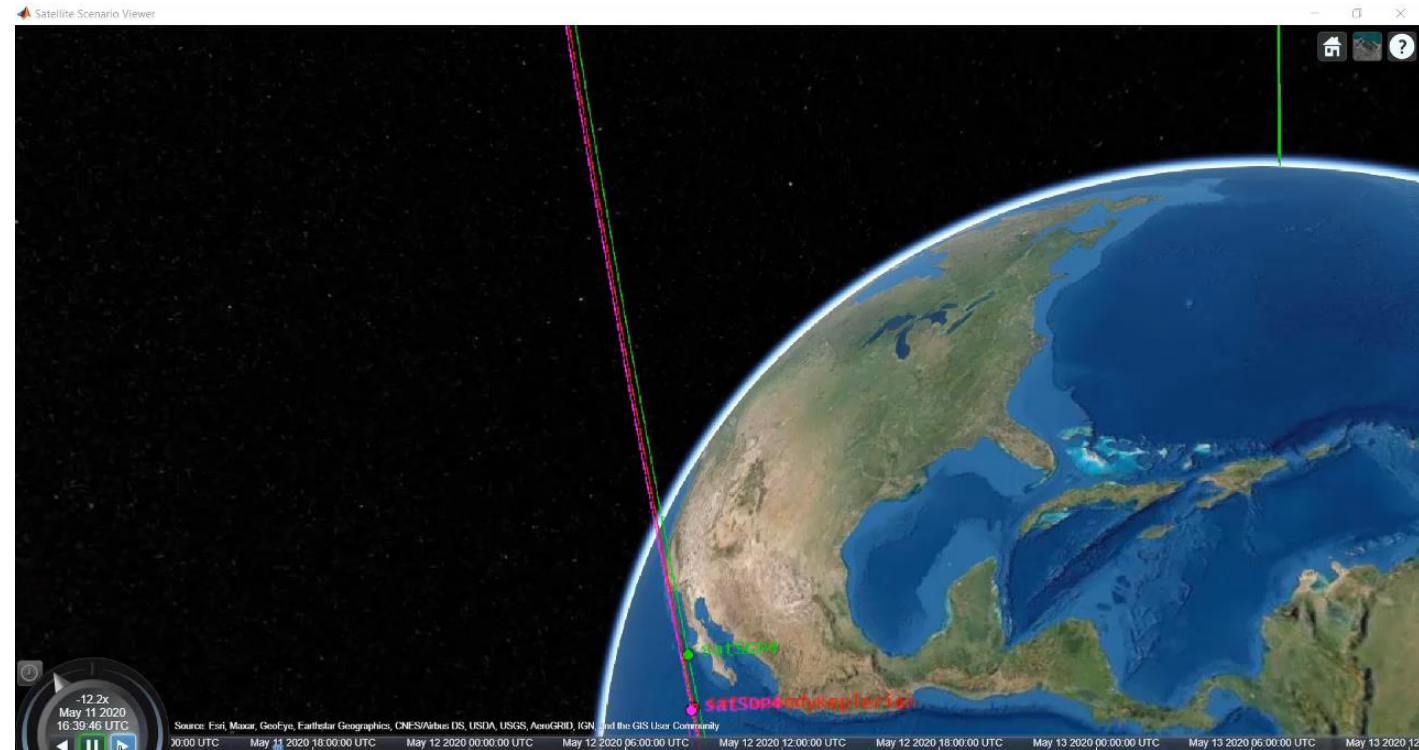
Agenda

- 1 はじめに
- 2 軌道の伝搬と可視化
- 3 リンクバジェット解析
- 4 波形生成
- 5 End-to-end リンクシミュレーション
- 6 MBDとSDR
- 7 まとめ



複数の方法で軌道を生成

- 初期検討用のケプラー式二体伝搬
- カスタム設計されたトラジェクトリー
SGP4およびSDP4プロパゲータで
使用したTLE(two-line element)ファ
イルの読み込み



Orbit Propagator Comparison

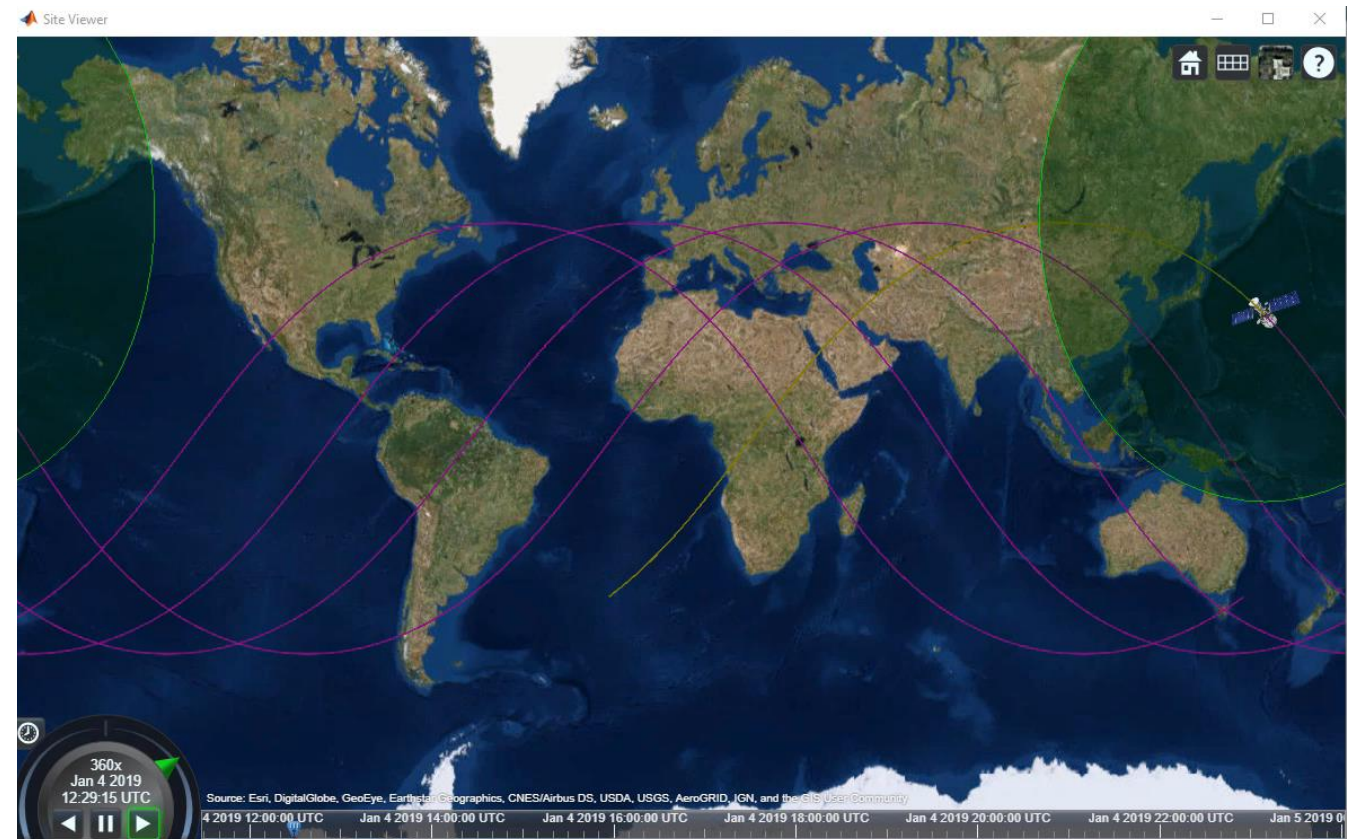
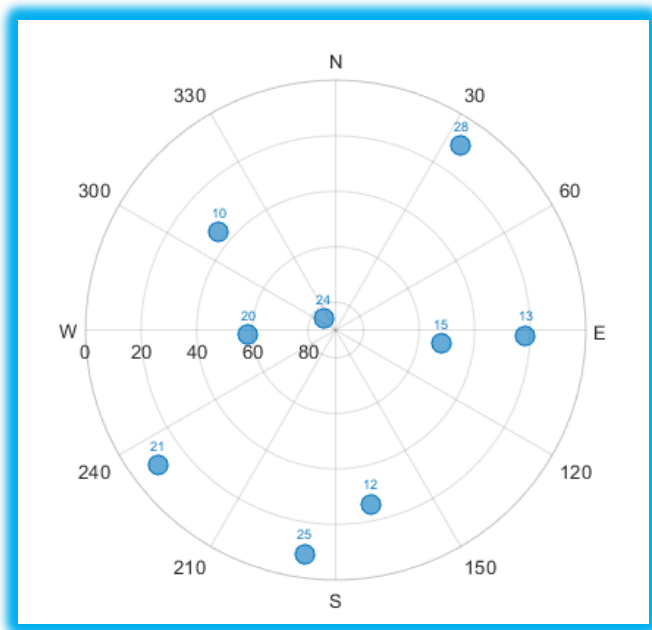
送信機と受信機の構築 物理システムのモデリング

- 衛星のアンテナを地球局に向ける
 - トラッキングアルゴリズムを設計することなく、ステアブルアンテナを実現
- Antenna Toolboxでは、送信機や受信機にあらゆる種類のアンテナの取り付け



標準軌道のビジュアル化

- 2Dおよび3Dプロット
- グラントラック、フィールドオブビュー
- GPSアプリケーション用スカイプロット



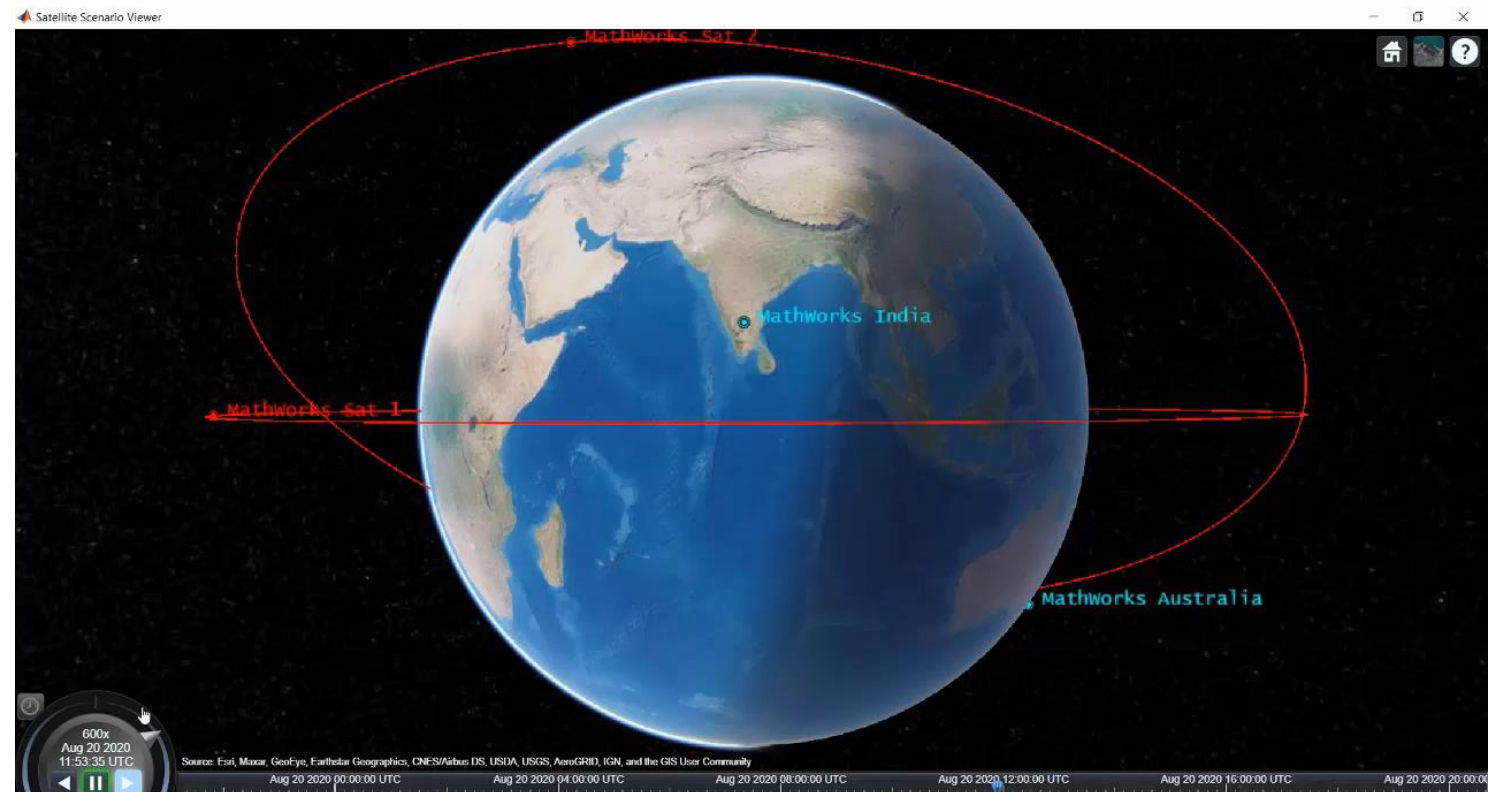
時系列に変化するアクセスを可視化

- 理想的な可視性コンターの定義
- 衛星のステアリング制約と地上局の最小仰角を含む
- アクセス可能な状態を視覚的に表現



通信リンク解析の実施

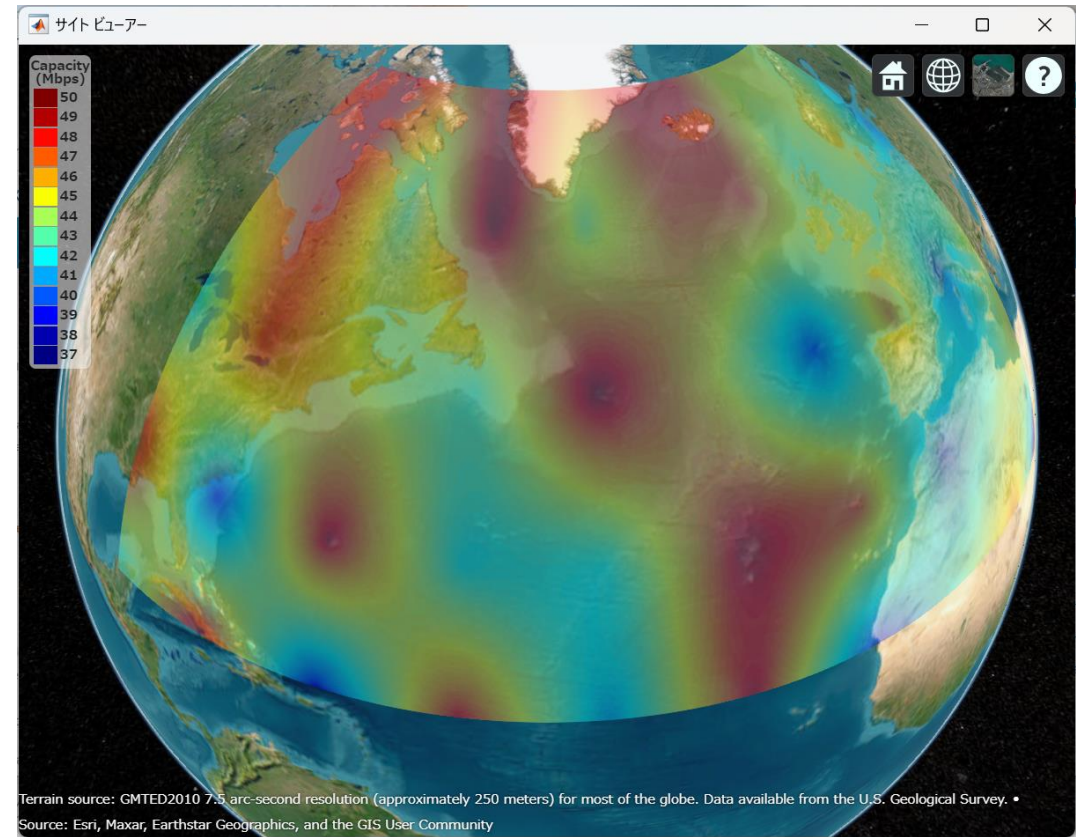
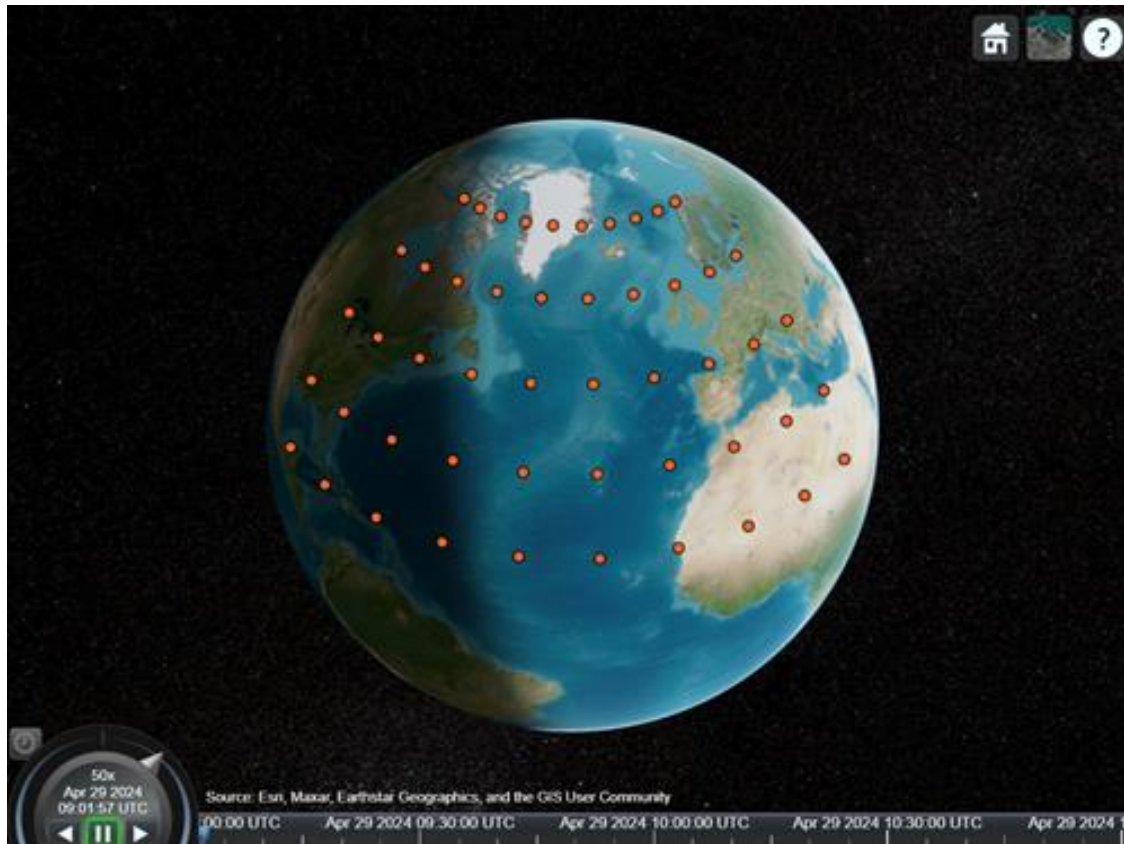
- 衛星から地上局や他の衛星への通信リンククロージャーの計算
- グラフィカルおよび数値出力の生成



	Source	Target	StartTime	EndTime	Durat...
1	"MathWorks India Transmitter"	"MathWorks Australia Receiver"	19-Aug-2020 20:55:00	19-Aug-2020 21:20:00	1500
2	"MathWorks India Transmitter"	"MathWorks Australia Receiver"	19-Aug-2020 23:38:00	20-Aug-2020 00:21:00	2580
3	"MathWorks India Transmitter"	"MathWorks Australia Receiver"	20-Aug-2020 09:34:00	20-Aug-2020 09:50:00	960
4	"MathWorks India Transmitter"	"MathWorks Australia Receiver"	20-Aug-2020 12:26:00	20-Aug-2020 12:58:00	1920
5	"MathWorks India Transmitter"	"MathWorks Australia Receiver"	20-Aug-2020 15:25:00	20-Aug-2020 16:05:00	2400
6	"MathWorks India Transmitter"	"MathWorks Australia Receiver"	20-Aug-2020 18:28:00	20-Aug-2020 19:13:00	2700

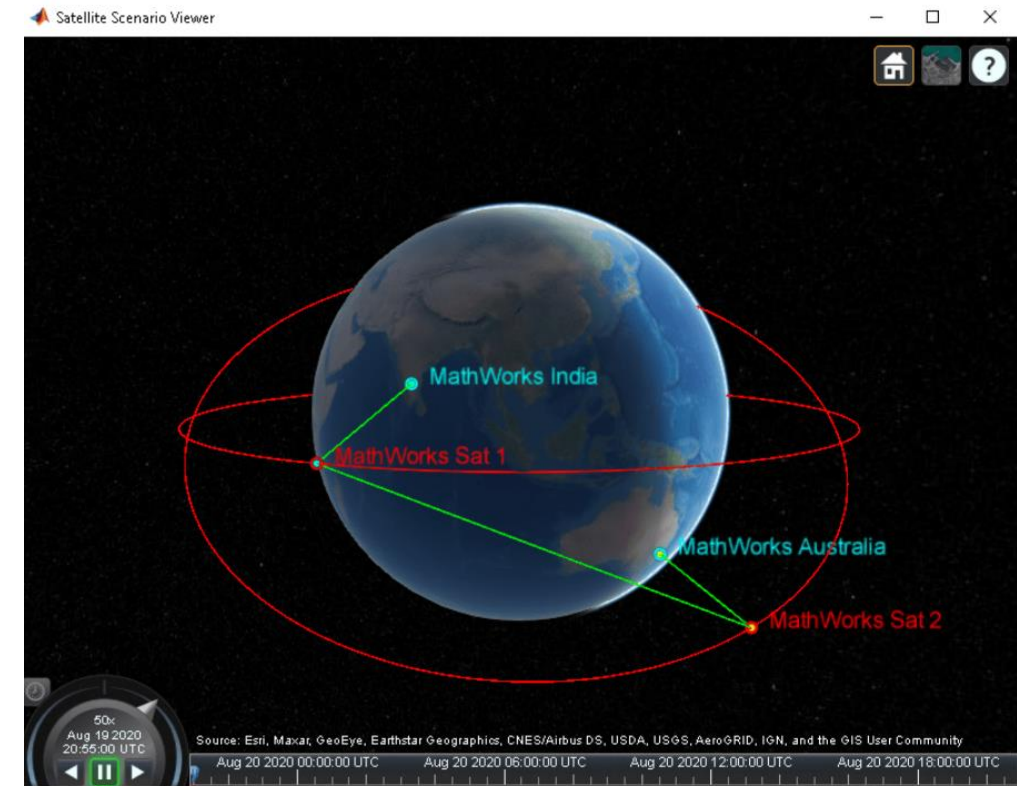
カバレッジ解析

低軌道衛星メガコンステレーションのカバレッジ解析(R2024bより提供)



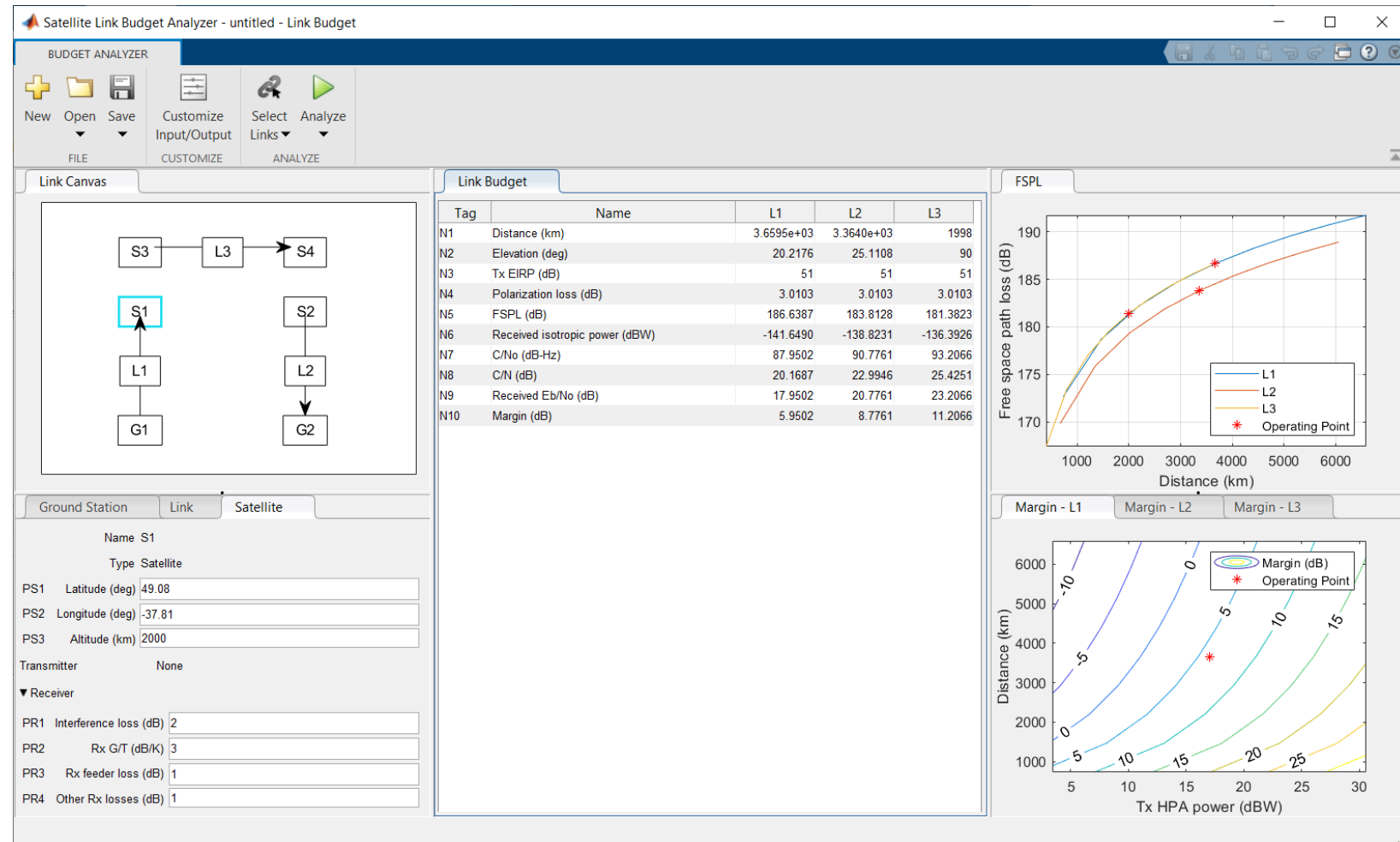
Agenda

- 1 はじめに
- 2 軌道の伝搬と可視化
- 3 リンクバジェット解析
- 4 波形生成
- 5 End-to-end リンクシミュレーション
- 6 MBDとSDR
- 7 まとめ



Link Budget Analyzerアプリ

- アップリンク、ダウンリンク、クロスリンクの分析
- 独自の入力パラメータや出力結果の追加・削除が可能
- リンク距離がフリースペースのパスロスに与える影響を解析
- 必要なマージンを得るための、アンプのパワーとリンク距離をトレードオフ



Link Budget Analyzerアプリによる可用性の解析

- 希望する年間の稼働率を選択 (例: 99%、99.9%など)
- ITU P.618伝搬損失モデルを用いて、様々な環境下で希望する可用性を実現するためのリンクマージンを算出
 - 熱帯雨林地域
 - 曇天地域
 - その他の大気現象の影響を含む

Satellite Link Budget Analyzer - AvailabilityAnalysis-P618 - Properties

CUSTOMIZE INPUT/OUTPUT

Name: Unit: Add Property

Type: Default value: Reset

Formula: Unit: Add Result

Accept All Cancel

ADD NEW PROPERTY

ADD NEW RESULT

Results

Restore to factory Delete

Tag	Name	Unit	Default Value
PL1	Frequency	GHz	14
PL2	Bandwidth	MHz	6
PL3	Bit rate	Mbps	10
PL4	Required Eb/No	dB	10
PL5	Polarization mismatch	deg	45
PL6	Implementation loss	dB	2
PL7	Antenna mispointing loss	dB	1
PL8	Badtime loss	dB	1
PLC1	Availability	%	99.9000

Tag	Name	Unit	Formula
N1	Distance	km	satcom.internal.linkbudgetApp.computeDistance(PG1, PG2, PG3, PS1, ...)
N2	Elevation	deg	satcom.internal.linkbudgetApp.computeElevation(PG1, PG2, PG3, PS1, ...)
N3	Tx ERP	dB	PT3 - PT4 - PT1 - PT2 - PT5 - PL6
N4	Polarization loss	dB	20 * abs(log10(cosd(PL5)))
N5	Received isotropic power	dBW	N3 - N4 - NC2 - PL1 - PL7
N6	C/N	dB	N5 - 10*log10(PL2) - 60
N7	Received Eb/No	dB	N6 - 10*log10(PL3) - 60
N8	Margin	dB	N7 - PL4 - PL6
NC1	Total atm att	dB	computeTotalAttenuation(PLC1, PG1, PG2, PG3, PL1, N2, PT5, PL5)
NC2	Total prop losses	dB	N5 - NC1

Create new analysis parameters

Agenda

- 1 はじめに
- 2 軌道の伝搬と可視化
- 3 リンクバジェット解析
- 4 波形生成
- 5 End-to-end リンクシミュレーション
- 6 MBDとSDR
- 7 まとめ

DVB-S2



GPS

DVB-S2X

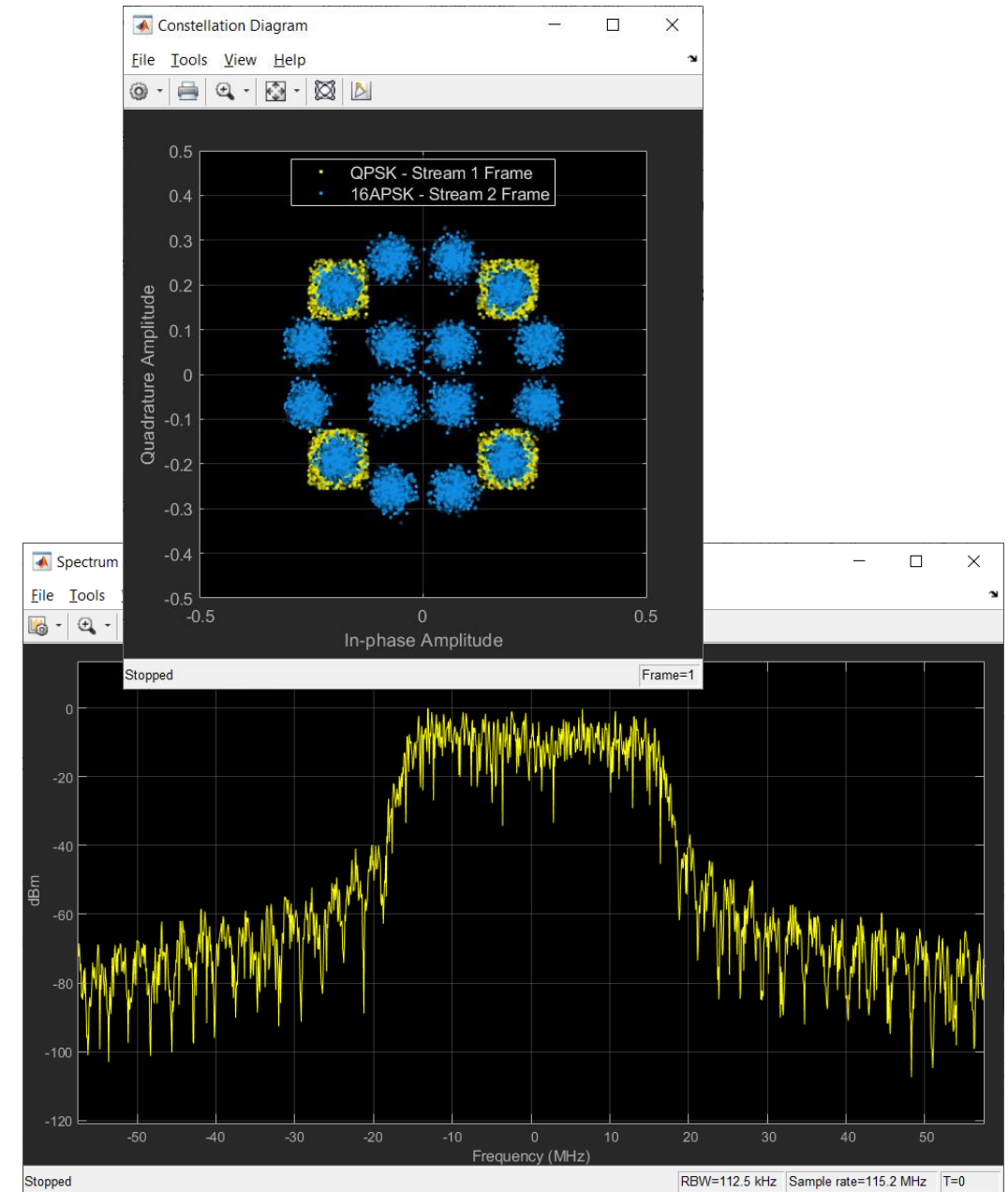
DVB-S2 / S2X 波形生成

DVB-S2 (最大300Mbpsのデジタルビデオ)

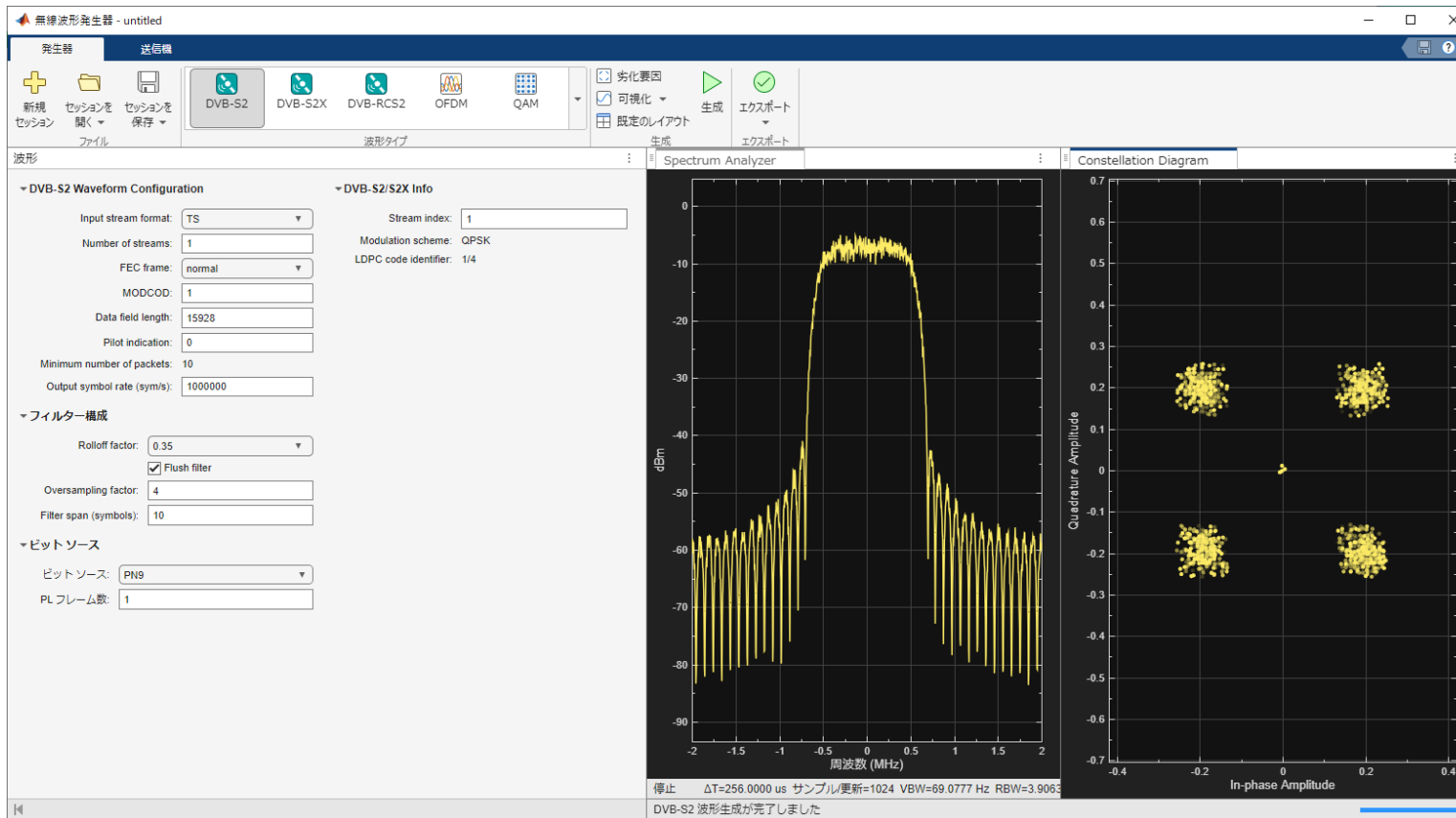
- すべての変調/コーディングモード
 - qpsk、8psk、16apsk、32apsk
 - BCH符号化、LDPC符号化(ノーマル、ショート)
- 定数および可変の符号化および変調
- トランスポートおよびジェネリックストリーム
- シングルおよびマルチ入力ストリーム
- すべての指定フィルタタイプ

DVB-S2X (最大350Mbpsのデジタルビデオ)

- 64/128/256APSK変調方式の追加
- 超低SNR (VL-SNR) フレームの生成
- タイムスライシングによる広帯域伝送
- 特定のフィルタ追加



波形生成 Apps(DVB-S2,DVB-S2X,DVB-RCS2)



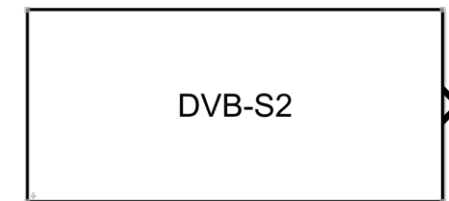
自動生成されたスクリプト

```

1 % Generated by MATLAB(R) 24.1 (R2024a) and Satellite
2 % Generated on: 18-Sep-2024 11:43:14
3
4 %% DVB-S2 波形を生成しています
5 % DVB-S2 構成
6 wavegen = dvbs2WaveformGenerator;
7 wavegen.StreamFormat = "TS";
8 wavegen.NumInputStreams = 1;
9 wavegen.FECFrame = "normal";
10 wavegen.MODCOD = 1;
11 wavegen.DFL = 15928;
12 wavegen.HasPilots = 0;
13 wavegen.RolloffFactor = 0.35;

```

自動生成されたSimulinkのソースブロック

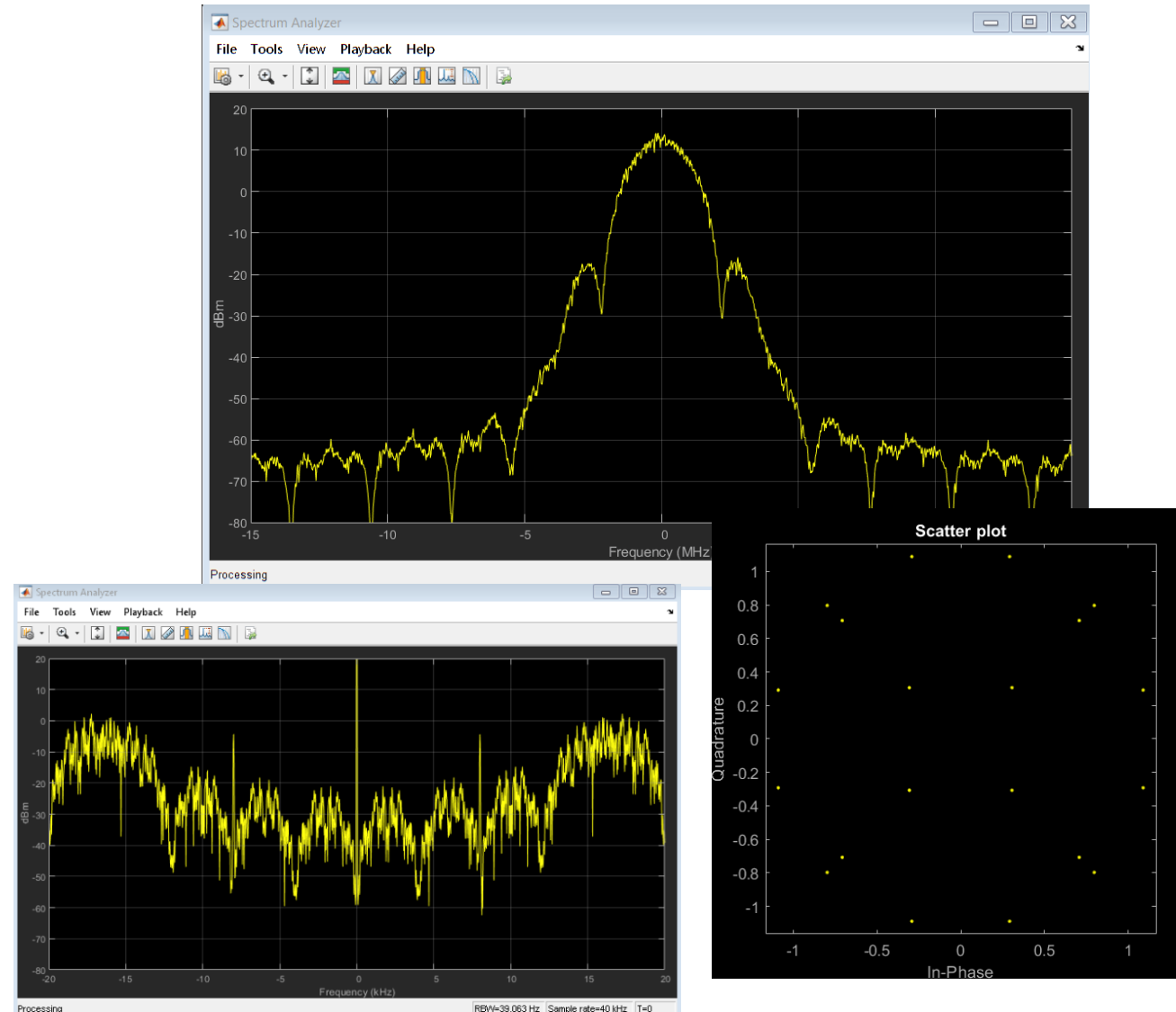


DVB-S2

CCSDS 波形生成(1)

Telemetry (TM)

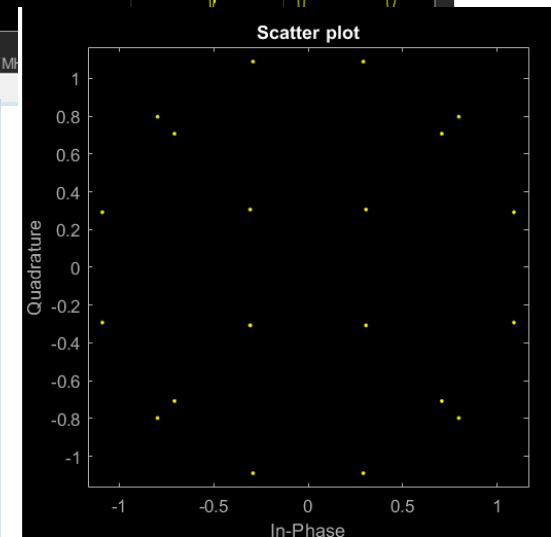
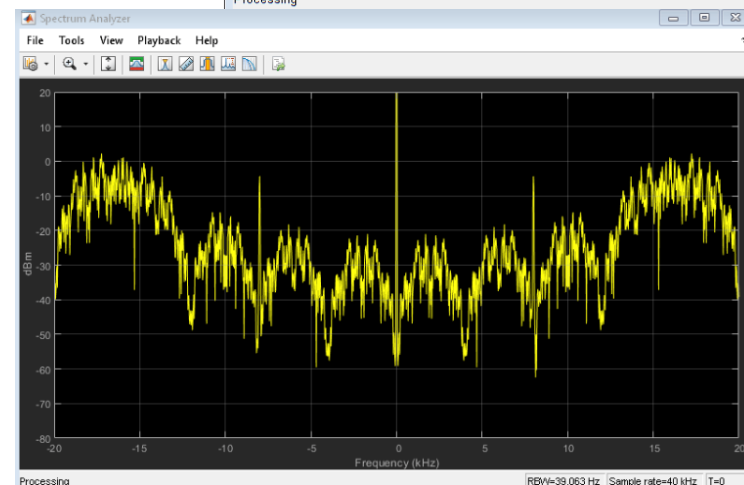
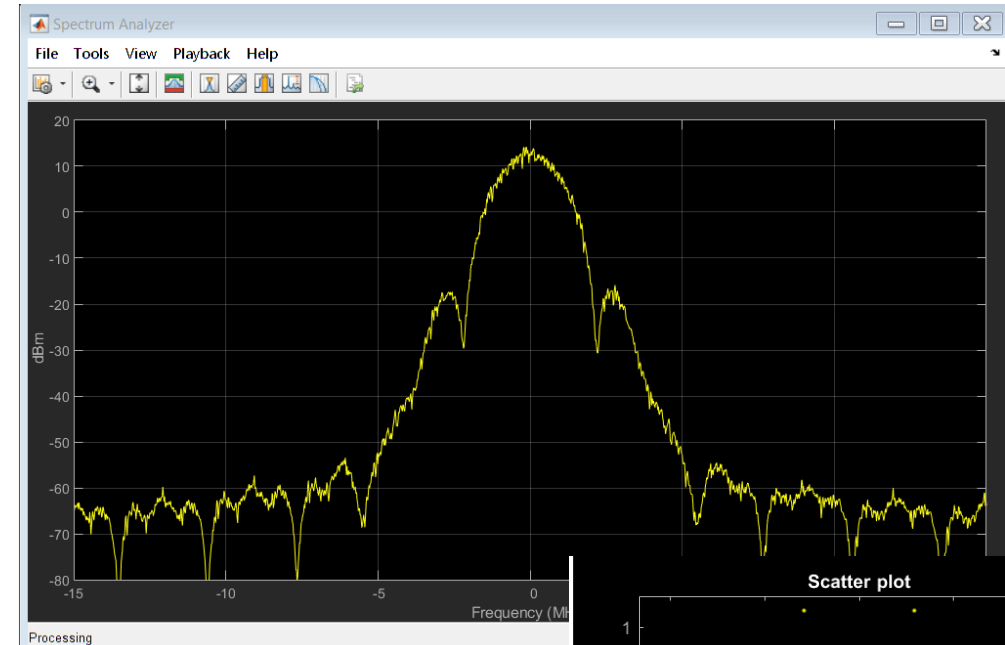
- テレメトリー波形は、衛星の健全性とステータス情報を伝える
- TMの同期とチャンネルコーディング
- 柔軟で高度な符号化と変調
- すべての変調方式に対応
 - BPSK、QPSK、8PSK、OQPSK、GMSK、PCM/PSK/PM、PCM/PM/biphase-L、4D-8PSK-TCM、16/32/64APSKの各変調方式に対応
- あらゆる符号化方式に対応
 - リード-ソロモン、畳み込み、連結、シリアル連結畳み込み、ターボ、LDPC符号化



CCSDS 波形生成(2)

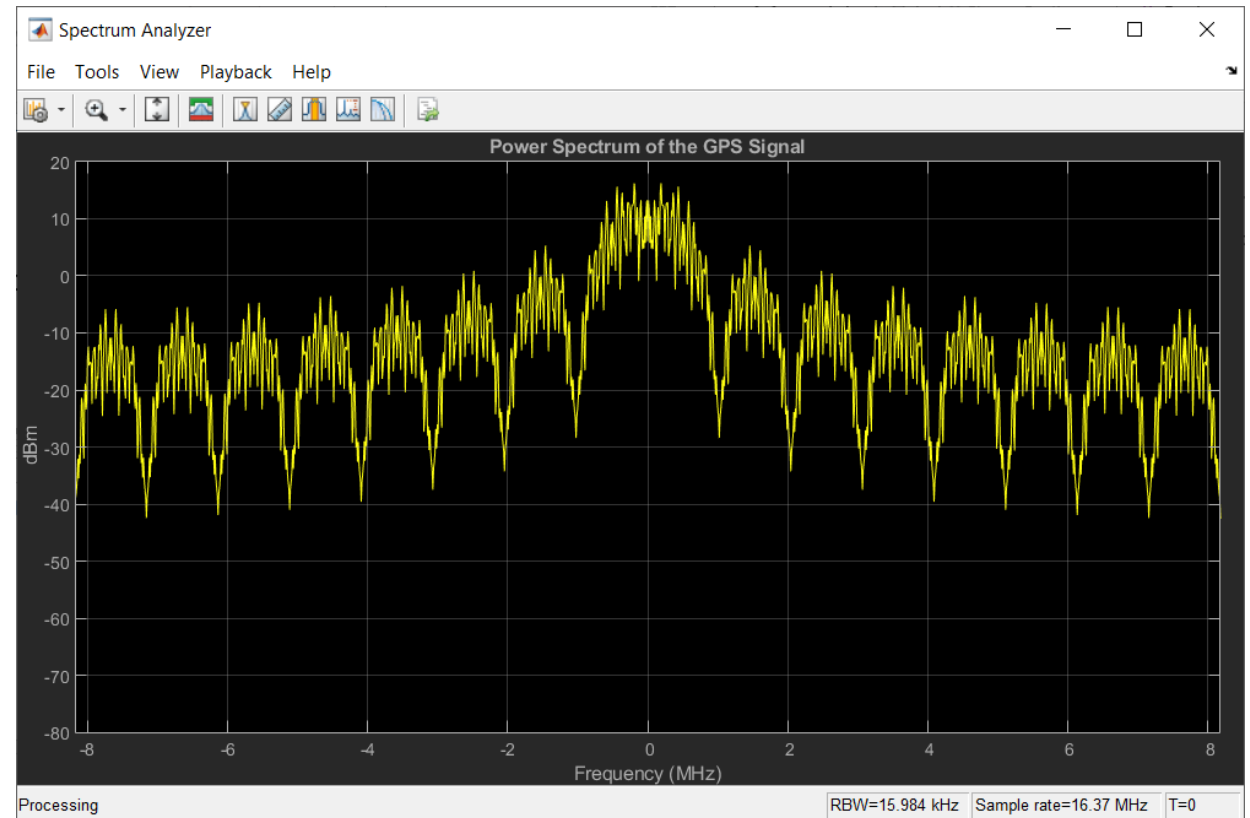
Telecommand (TC)

- 軌道上の宇宙機へのコマンド送信に使用
- すべての変調方式に対応
 - PCM/PSK/PM、PCM/PM/biphase-L、およびBPSK変調方式
- 対応するすべての符号化方式
 - BCH (修正BCH (63,56) 符号を含む
 - LDPC
- 7.8125から4000シンボル/秒までの10種類のシンボルレート



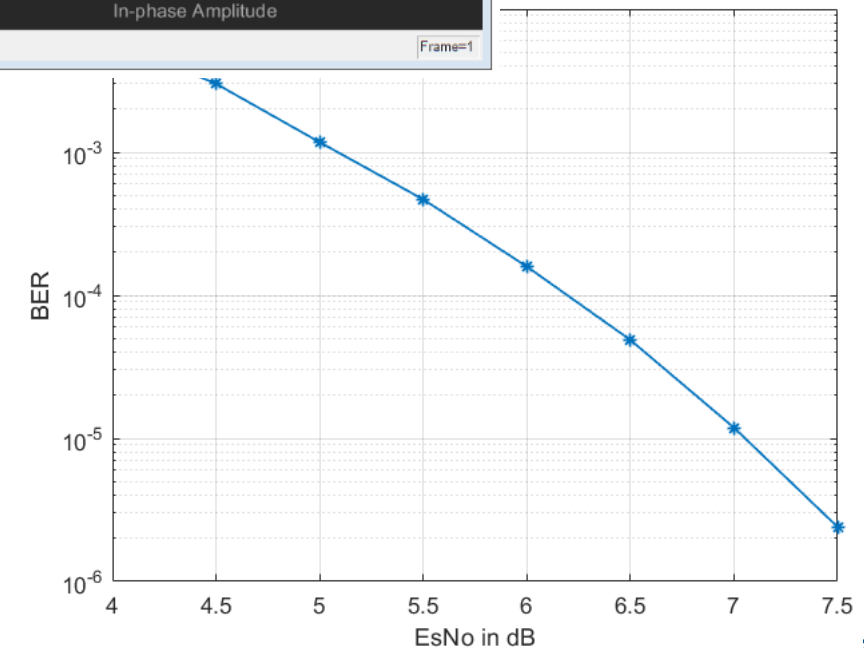
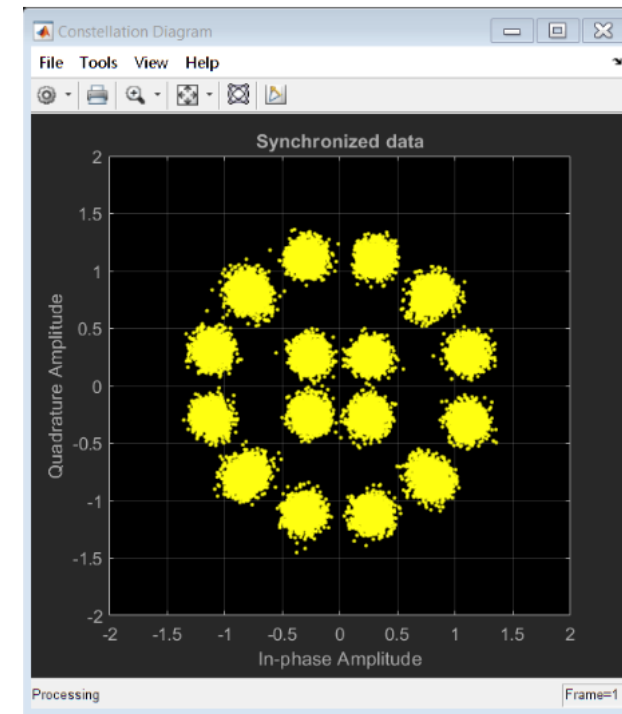
GPS 波形生成

- 従来のGPS波形のすべてのモードに対応
- C/AコードとPコードで波形を拡散
- エフェメリスとアルマナックのデータを使用
- 電離層パラメータを含む



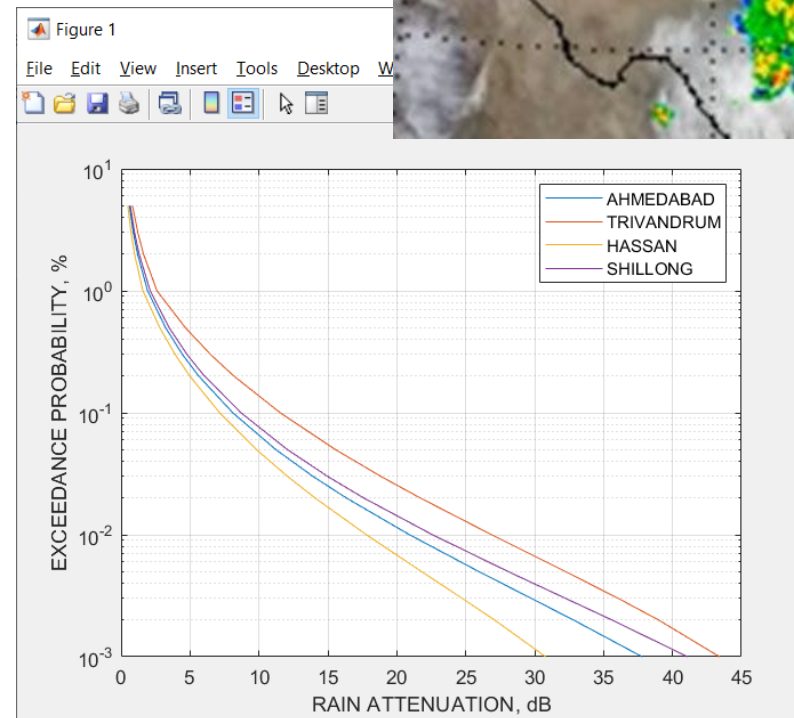
Agenda

- 1 はじめに
- 2 軌道の伝搬と可視化
- 3 リンクバジェット解析
- 4 波形生成
- 5 End-to-end リンクシミュレーション
- 6 MBDとSDR
- 7 まとめ

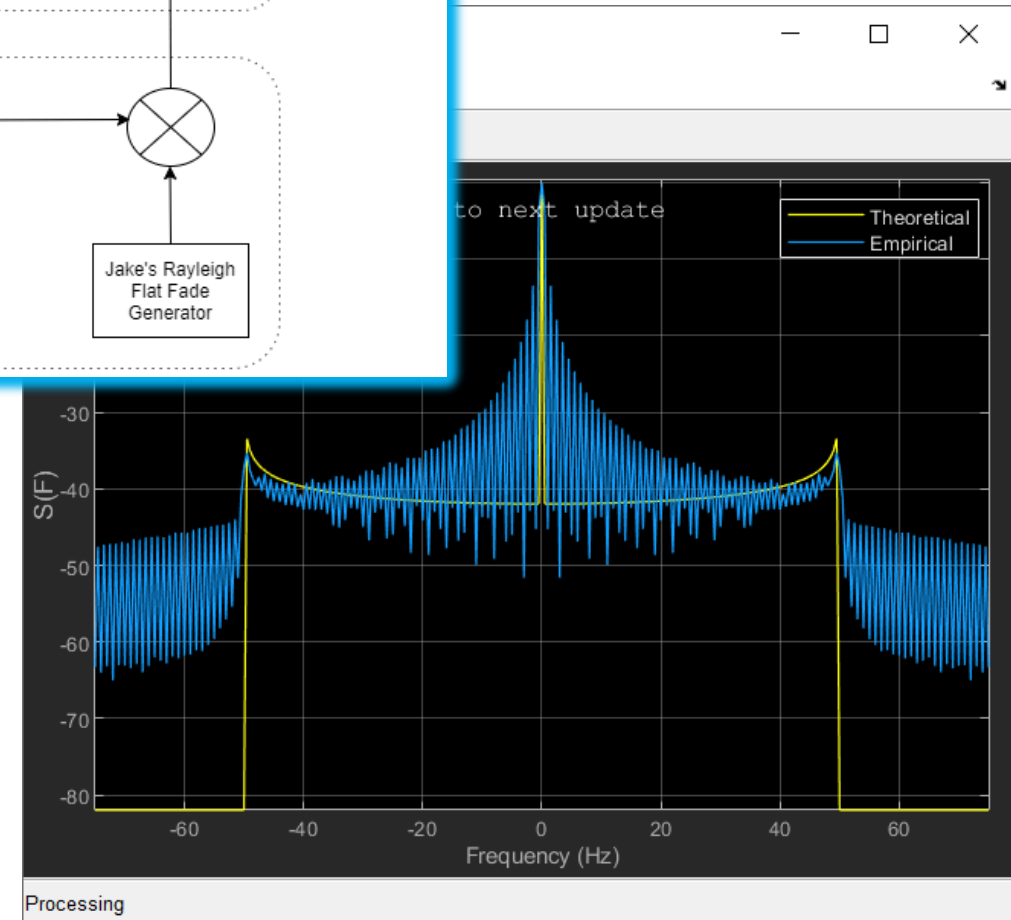


プロパゲーション・ロス・モデルによるリンク可用性解析の実現

- ITU P.618モデルにより、地球空間での伝搬損失、交差偏波の識別、スカイノイズの温度を算出
- 雨による損失をモデル化
- 雨の多い地域を含む、世界のあらゆる地域のリンク稼働率を計算するのに使用される



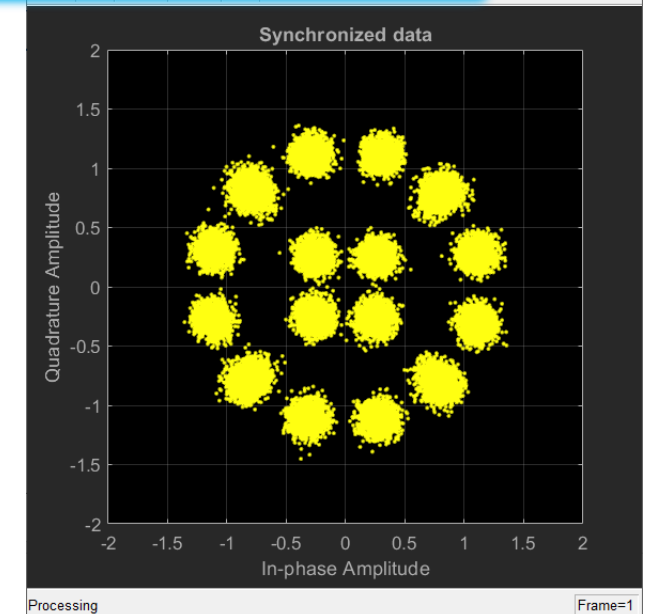
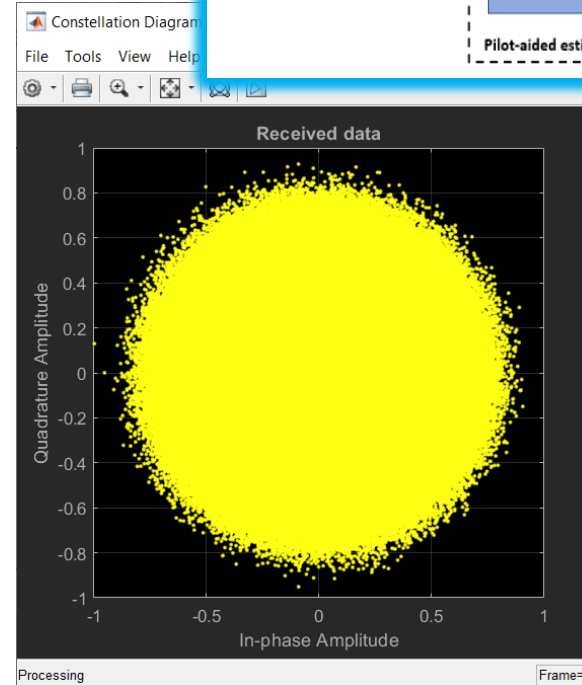
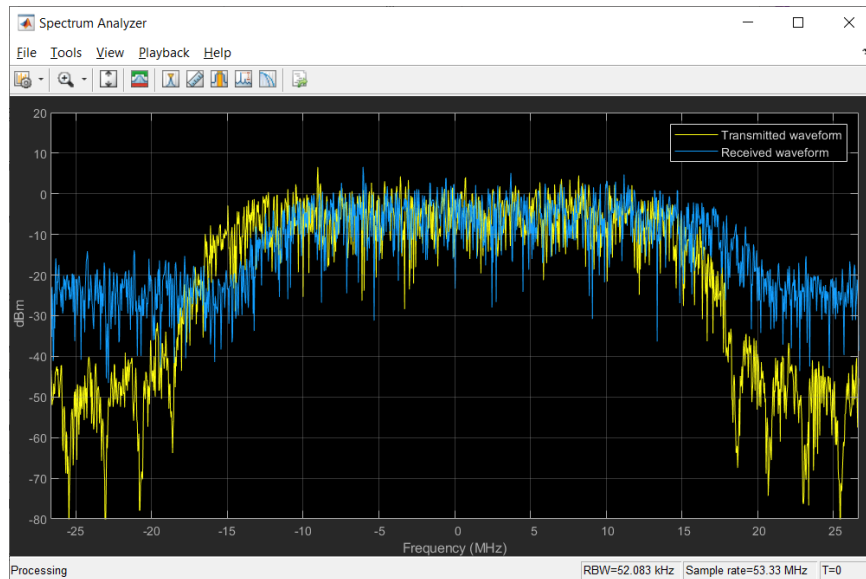
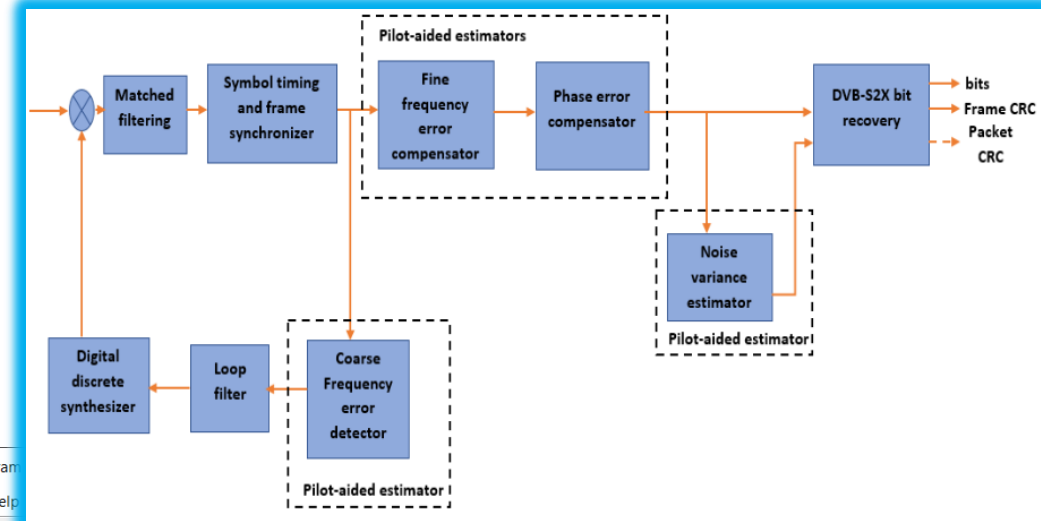
- ## ETSI Rician チャネル ブロック図



ETSI Rician チャネル ドップラースペクトラム

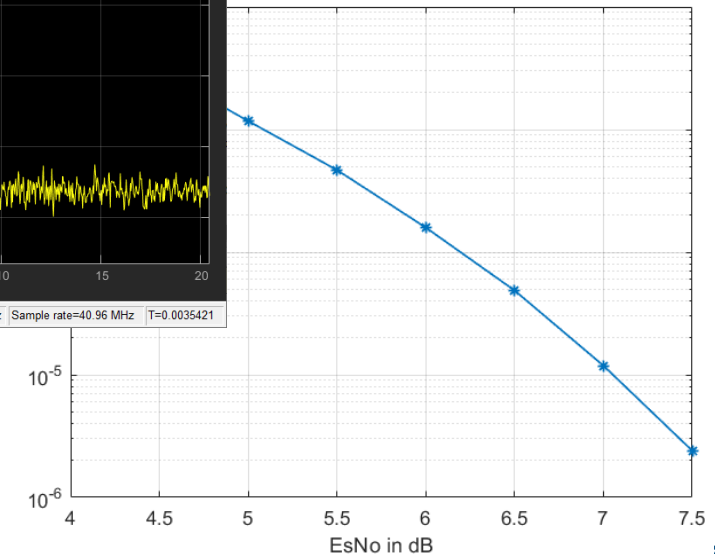
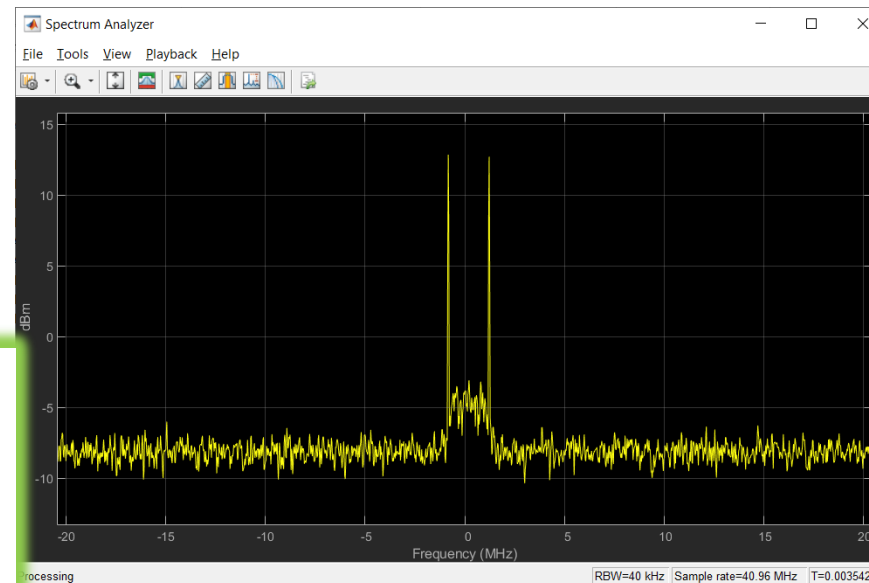
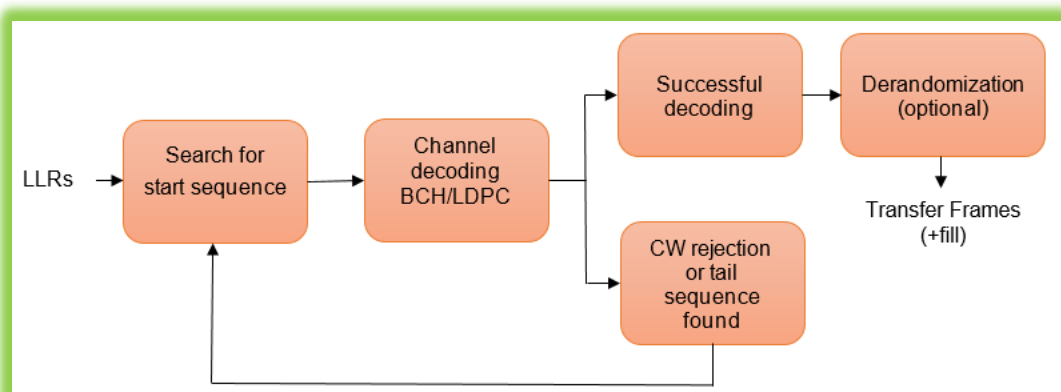
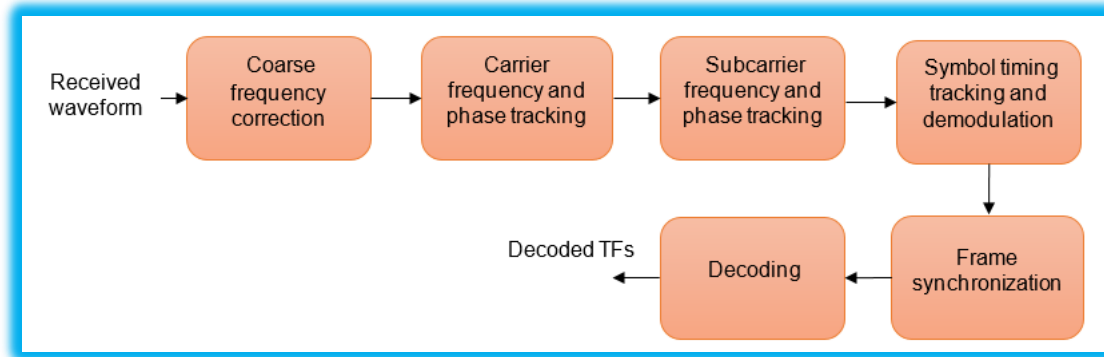
損失補正受信機のデザイン(1)

- DVB-S2/S2Xは以下を受信機の補正
 - 不完全なオシレータからの位相雑音
 - ドップラーによるキャリア周波数オフセット
 - サンプリングクロックのオフセット



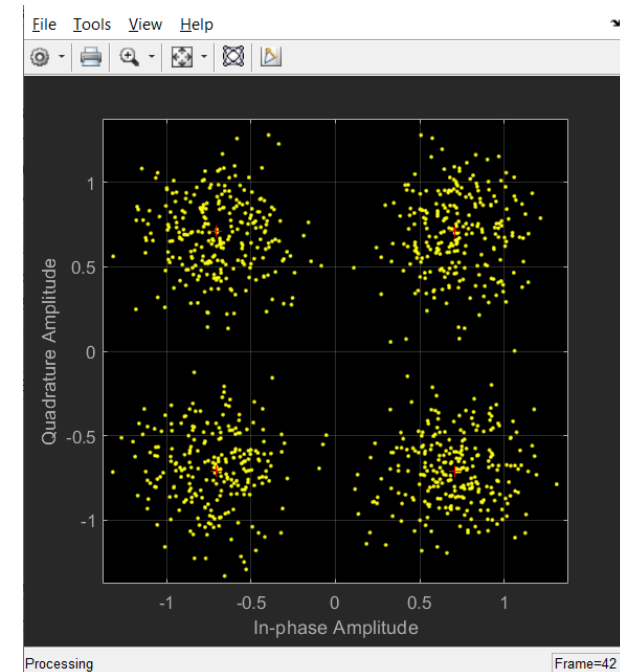
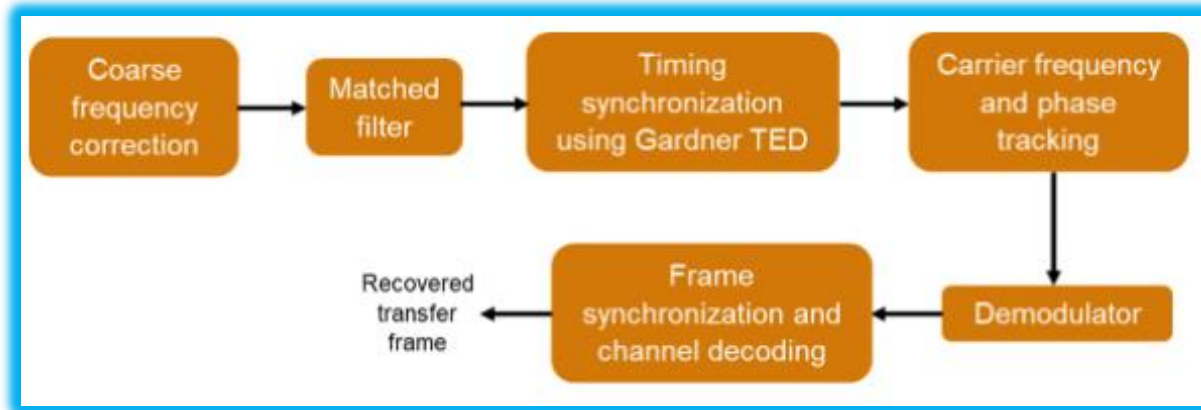
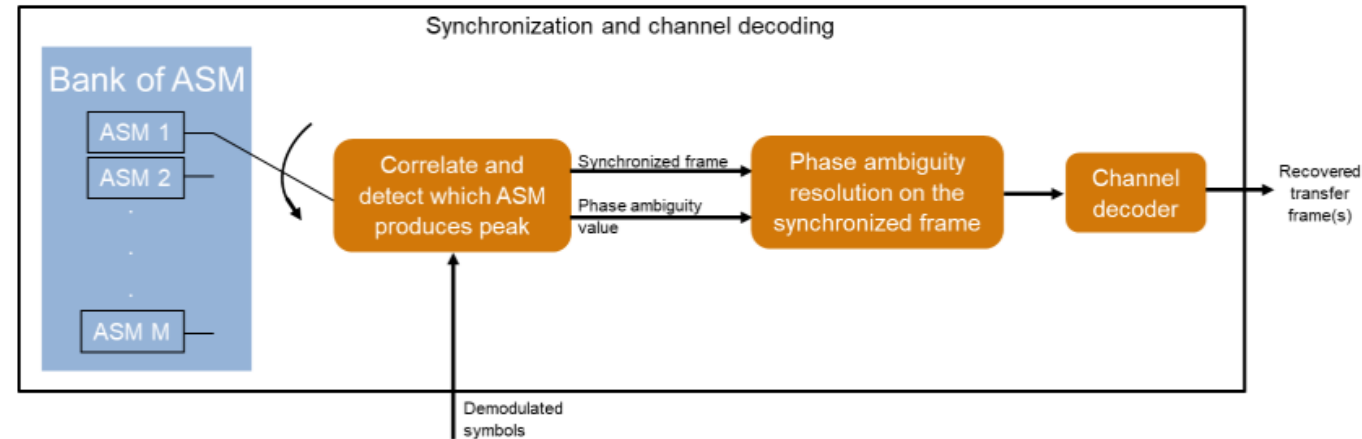
損失補正受信機的设计(2)

- CCSDS telecommand (TC) 受信機は以下を補正
 - キャリアの周波数と位相のオフセット
 - サブキャリアの周波数と位相のオフセット
 - タイミング位相オフセット
- BER vs. Es/Noの計算



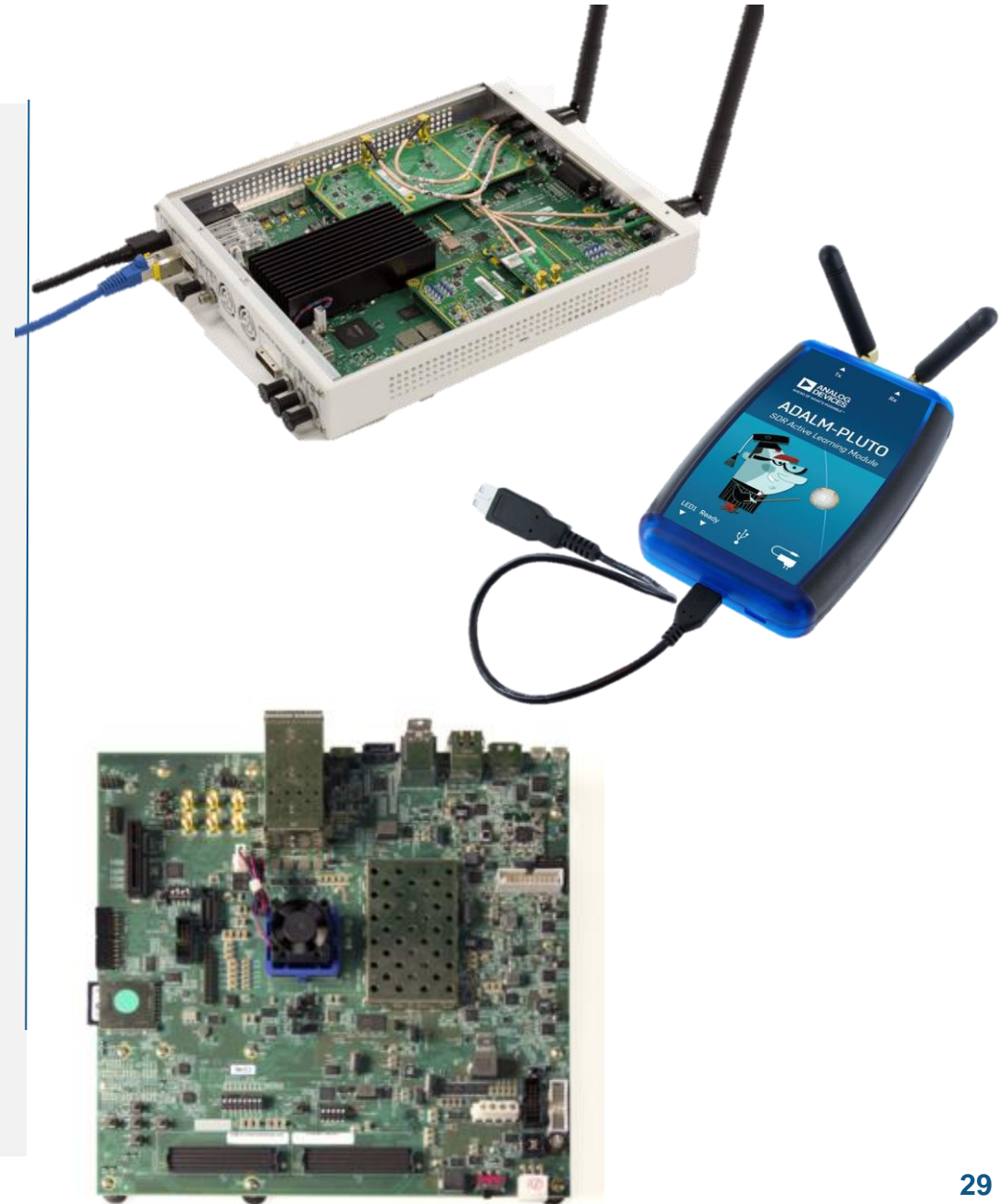
損失補正受信機のデザイン(3)

- CCSDS telemetry (TM)
受信機は以下を補正
 - キャリア周波数オフセット
 - キャリア位相オフセット
 - シンボルタイミングオフセット

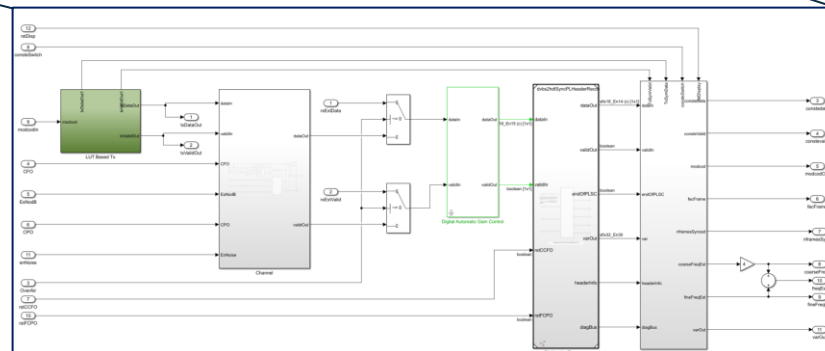
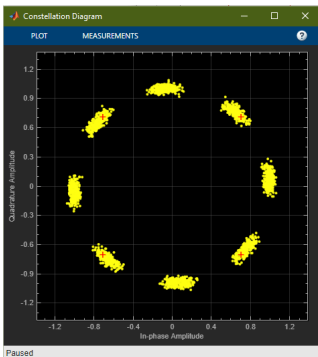
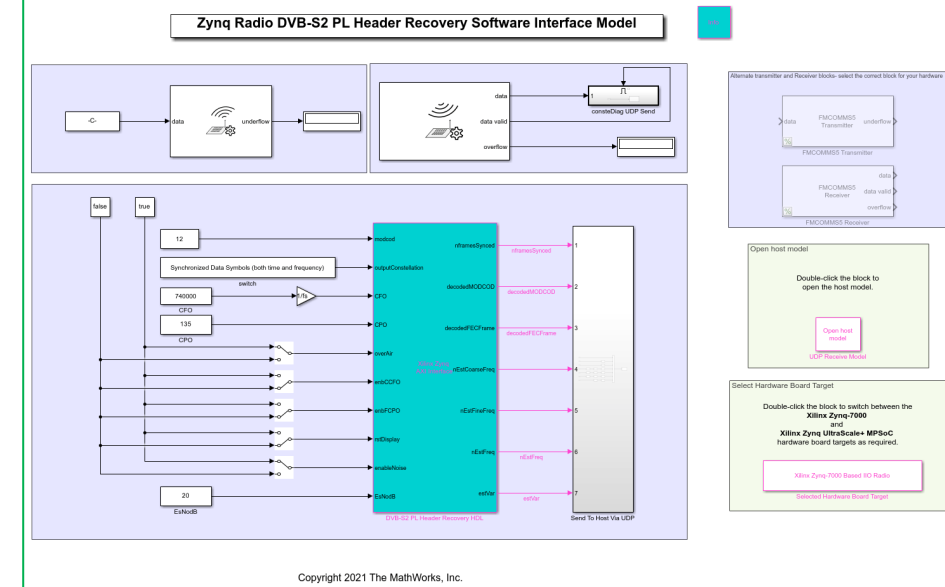
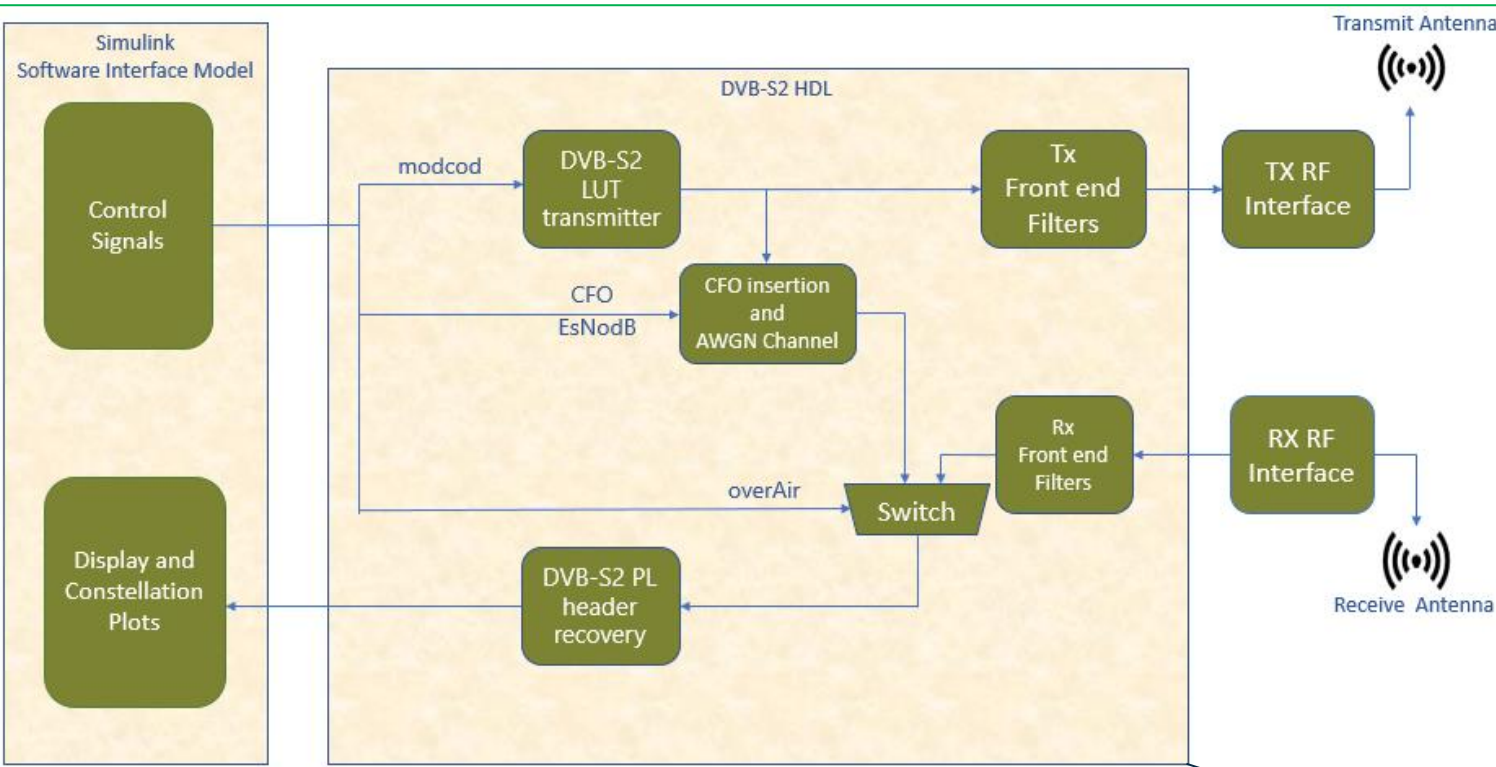


Agenda

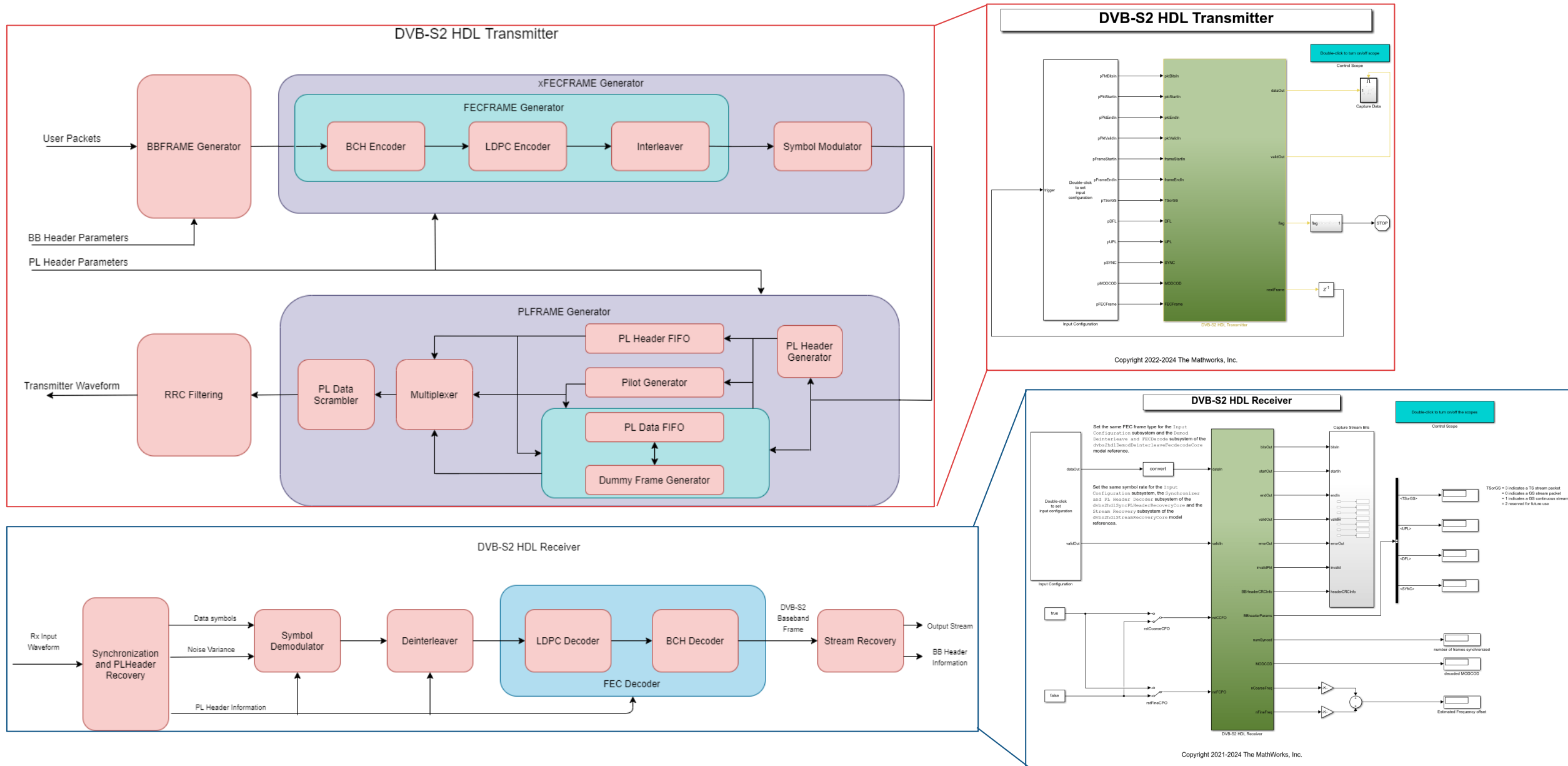
- 1 はじめに
- 2 軌道の伝搬と可視化
- 3 リンクバジェット解析
- 4 波形生成
- 5 End-to-end リンクシミュレーション
- 6 MBDとSDR
- 7 まとめ



衛星通信向けMBDとSDR(DVB-S2ヘッダリカバリHDLコード生成 およびADI AD9362/AD9264を使用した実信号の送受信)

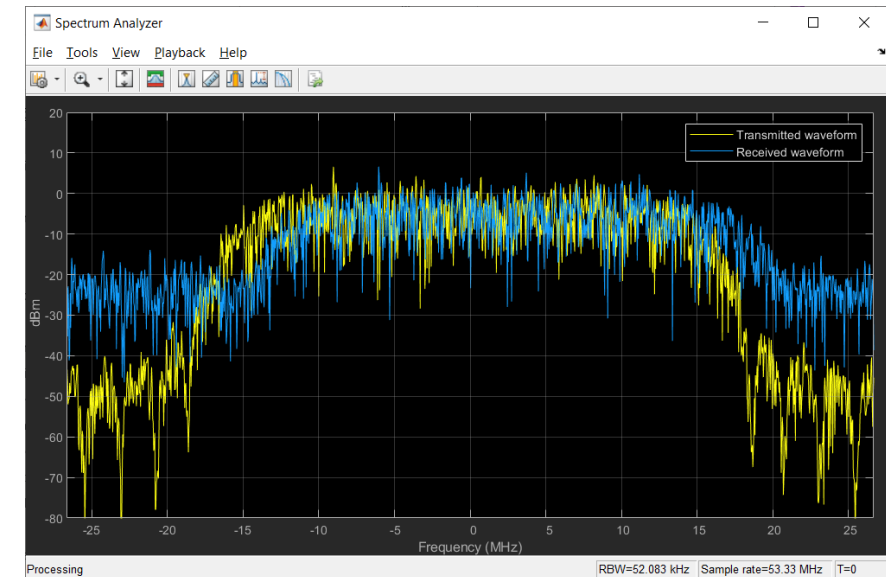


衛星通信向けMBDとSDR(DVB-S2受信機HDLコード生成)



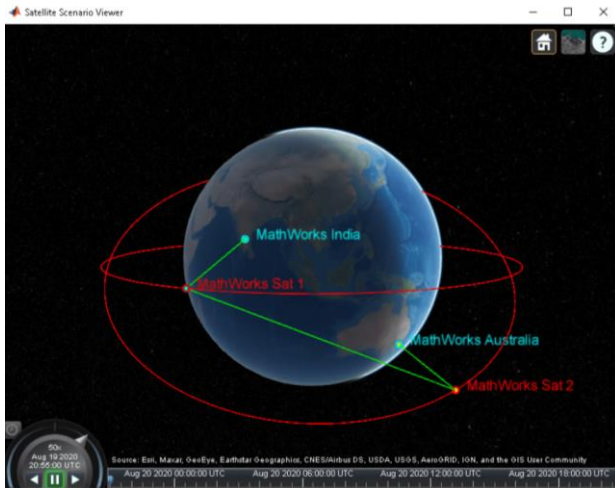
Agenda

- 1 はじめに
- 2 軌道の伝搬と可視化
- 3 リンクバジェット解析
- 4 波形生成
- 5 End-to-end リンクシミュレーション
- 6 MBDとSDR
- 7 まとめ



Satellite Communications Toolbox のまとめ

軌道の伝搬と可視化



リンクバジェット解析

Name	L1
Distance (km)	3.6595e+03
Elevation (deg)	20.2176
Tx EIRP (dB)	51
Polarization loss (dB)	3.0103
FSPL (dB)	186.6387
Received isotropic power (dBW)	-141.6490
C/No (dB-Hz)	87.9502
C/N (dB)	20.1687
Received Eb/No (dB)	17.9502
Margin (dB)	5.9502

衛星通信の波形生成と受信機設計

DVB-S2

DVB-S2X



GPS

全てMATLABによるソースコード

```
% For GS continuous streams
if strcmpi(s2xWaveGen.StreamFormat, "GS") && s2xWaveGen.UPL == 0
    numBits = s2xWaveGen.DPL*numFrames;
    data = randi([0 1], numBits, 1);
else % For TS and GS packetized streams
    numPkts = s2xWaveGen.MinNumPackets*numFrames;
    txRawPkts = randi([0 1], pktLen, numPkts);
    txPkts = [repmat(syncBits, 1, numPkts); txRawPkts];
```

MBDとSDR



Satellite Communications Toolboxを利用して
設計と検証に集中

詳細はこちら

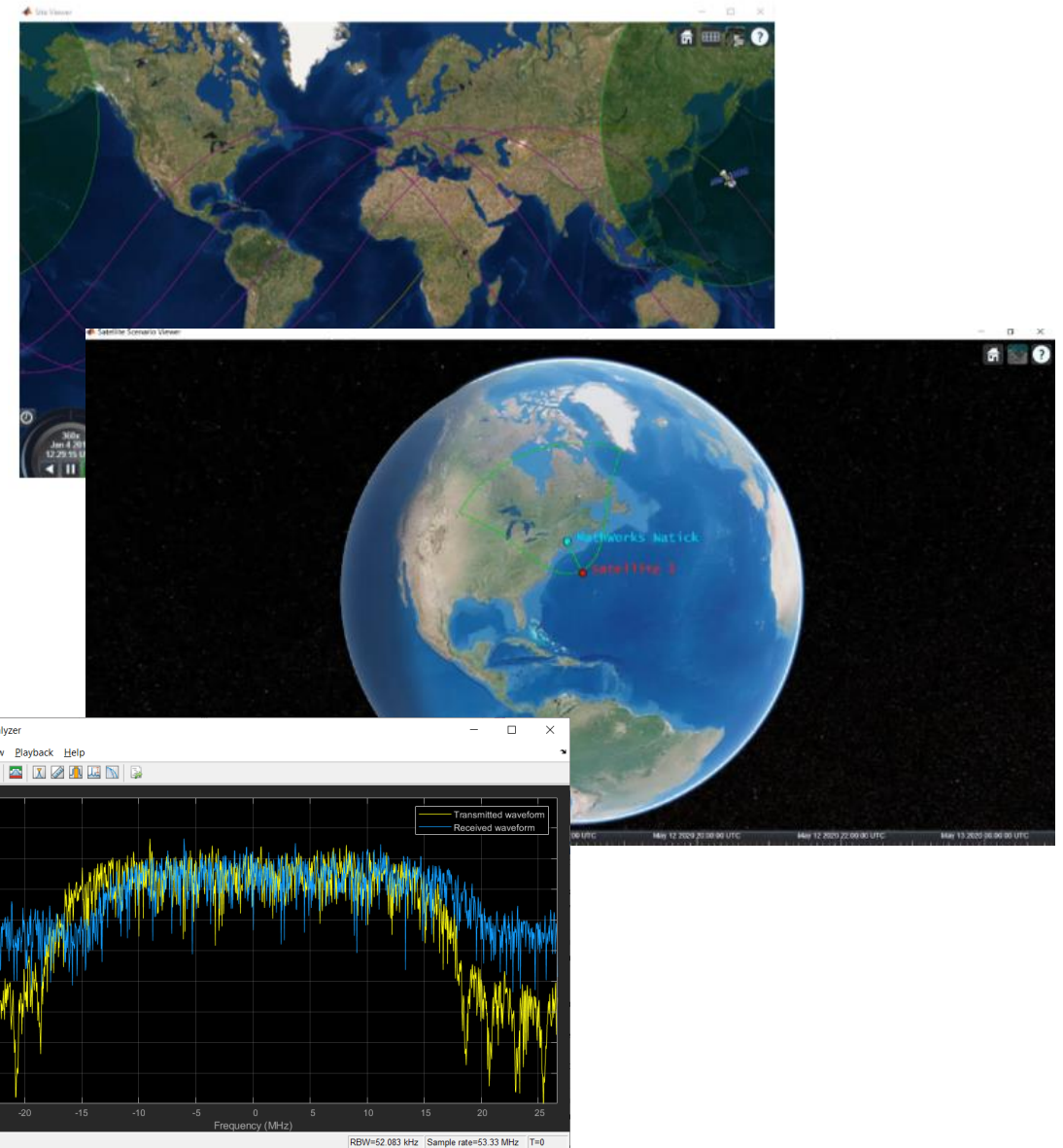
Satellite Communications Toolbox 製品ページ

<https://jp.mathworks.com/products/satellite-communications.html>

Satellite communications Toolbox のビデオ

無線通信ソリューションページ

<https://jp.mathworks.com/solutions/wireless-communications.html>



無線通信関連のウェビナーご案内

【9月19日(木)14:00-15:00】

[AI x 無線通信]

AI x 6G/Beyond 5Gの無線技術と

開発・設計効率化に向けた最新トレンドを一挙大公開

詳細・ご登録ページ

<https://bit.ly/3XoX3wQ>

【9月26日(木)14:00-15:00】

[USRP x MATLAB]

AI活用のためのソフトウェア無線機(SDR)の利用法とは？

詳細・ご登録ページ

<https://bit.ly/4dXS0JT>

[AI x 無線通信]



[USRP x MATLAB]



Questions?

