

# CABLE STUDIO 使用の手引き - Using CABLE STUDIO -

Presentation by

田原 啓輔



# はじめに

## ケーブルのシミュレーション



### CST Microwave Studio (Time Domain Solver)

- ケーブルを3次元電磁界モデルで表現して高精度な解析を行う



### CST Cable Studio

- ケーブルを回路網で表現して効率的な解析を行う  
(回路網モデルをDesign Studioを使用して回路解析を行う)
- 3Dフルウェーブソルバ (Time Domain Solver) との連携によって、  
3次元環境における電磁界とケーブルの結合を考慮した解析が可能

# SIMULIA CST Studio Suite

## CST Studio Suite を構成する7つのモジュール



CST Microwave Studio

3次元電磁界解析（高周波）



CST EM Studio

3次元電磁界解析（低周波・静電磁界）



CST Particle Studio

3次元荷電粒子運動解析



CST MPhysics Studio

3次元熱・応力解析



CST PCB Studio

プリント基板SI/PI解析



CST Cable Studio

ケーブルSI/EMC解析



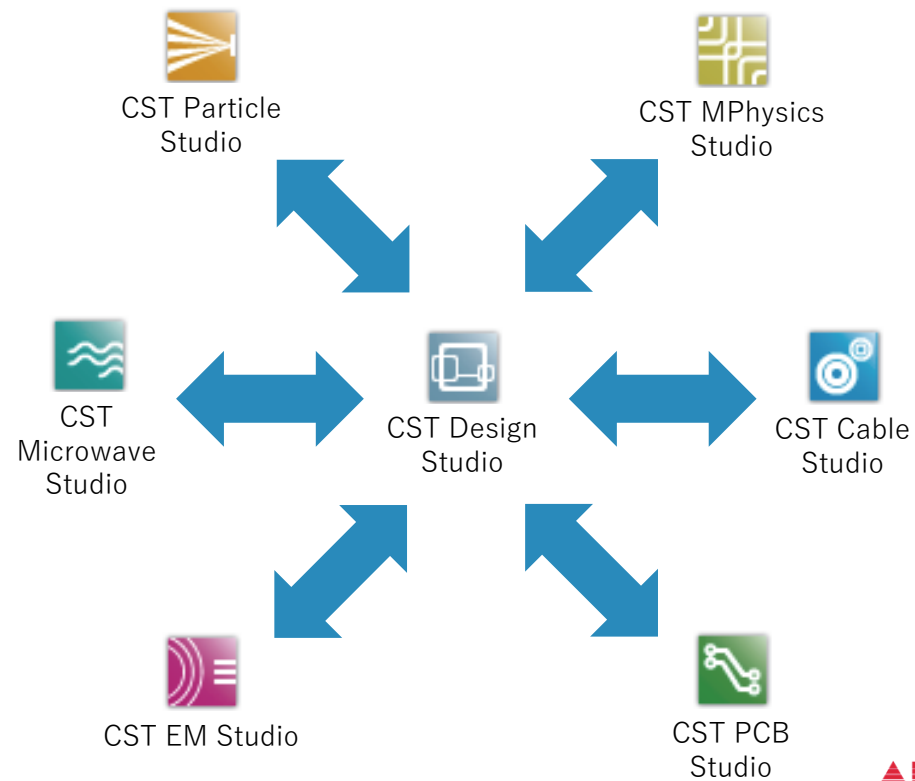
CST Design Studio

回路シミュレータ

# 統合解析環境

Design Studio を中心に各モジュールが連携

- 電磁界と回路
- 電磁界と熱・応力





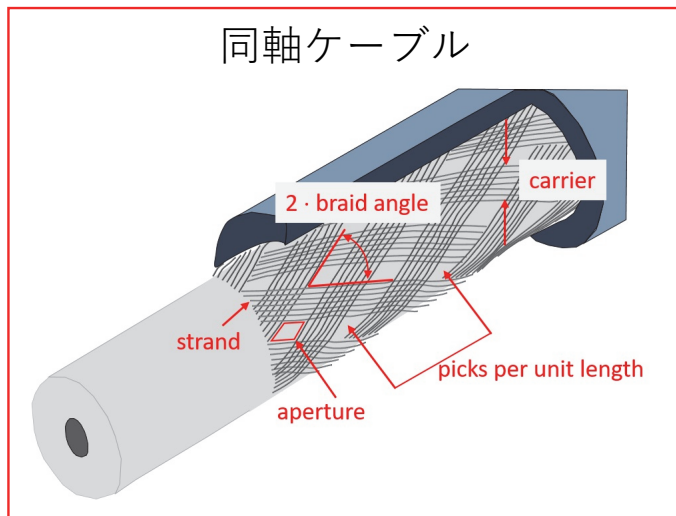
# 内容

- CABLE STUDIO の基礎
- CABLE STUDIO の応用例

- CABLE STUDIO の基礎
- CABLE STUDIO の応用例

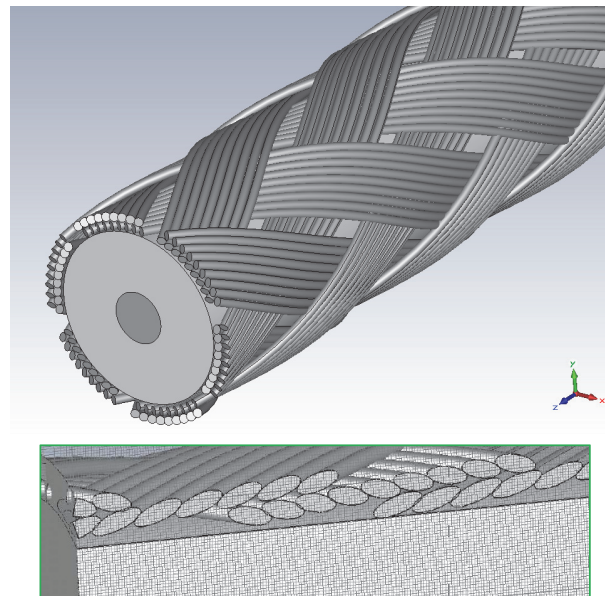
# ケーブルのシミュレーション

## 3Dフルウェーブシミュレーション



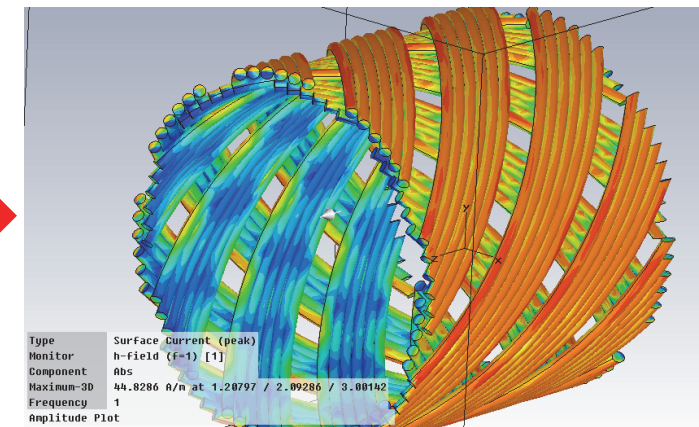
- 箔 or 編組
- 箔厚み
- 編組線径（素線径）
- 持数
- 打数
- 編組ピッチ

### 3次元電磁界モデル



- 微細メッシュ
- タイムステップの縮小

### 3次元電磁界解析



長さを制限して力づくでなんとか・・・

# ケーブルのシミュレーション

## 3Dフルウェーブシミュレーション

シールド付き  
ツイストペアケーブル



- フォイルシールドの継ぎ目
- ドレイン線

多芯/複合ケーブル



3次元電磁界モデル



- 微細メッシュ
- タイムステップの縮小

3次元電磁界解析

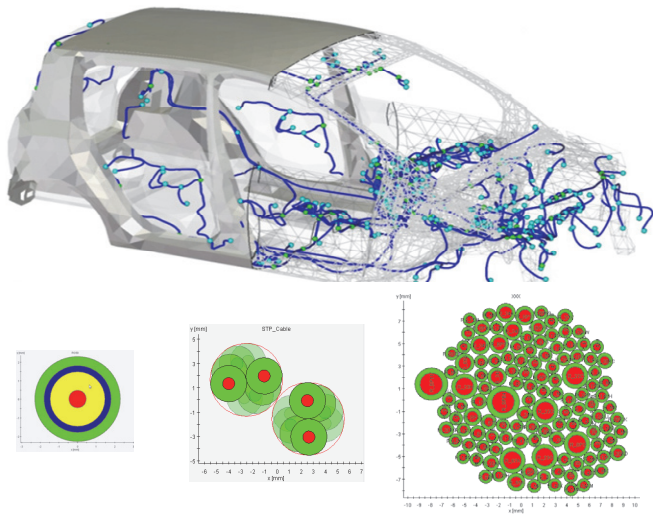


3次元電磁界解析は  
現実的に困難

# ケーブルのシミュレーション

## 3Dフルウェーブシミュレーション

金属構造内に配線された  
ケーブルハーネス（電線の束）



- 周囲環境の影響

3次元電磁界モデル



- 微細メッシュ
- タイムステップの縮小
- 広範囲にわたり微細メッシュが分布  
(マルチスケール問題)

3次元電磁界解析

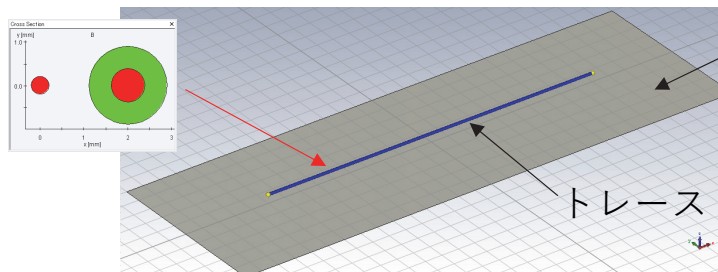
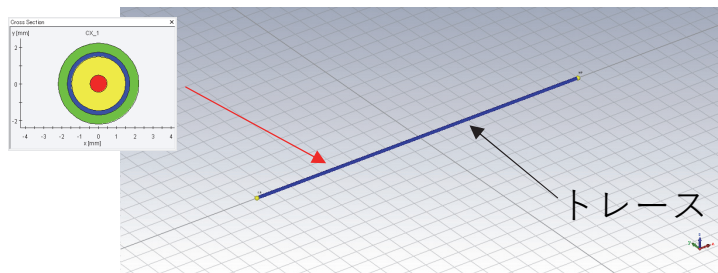


3次元電磁界解析は  
現実的に困難

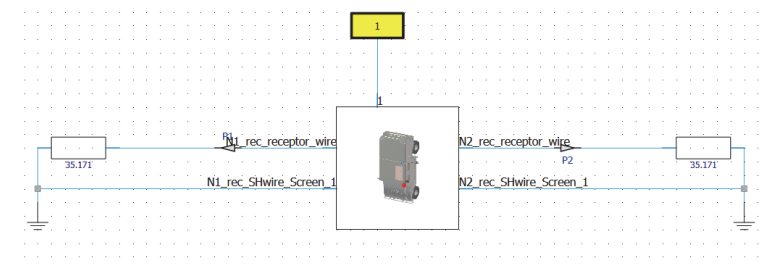
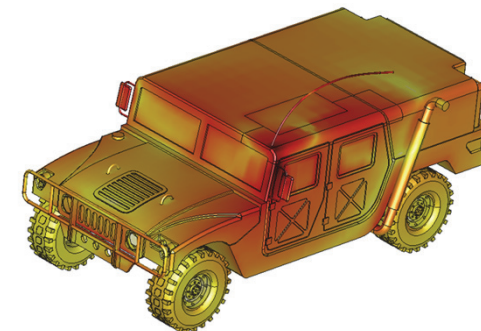
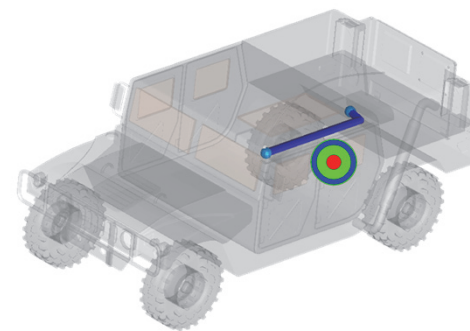
# CABLE STUDIO でできること

## CABLE STUDIO の応用

- ケーブルの信号伝送とクロストークシミュレーション
- 3次元環境におけるケーブルのEMI/EMSシミュレーション
- マルチスケールシミュレーション

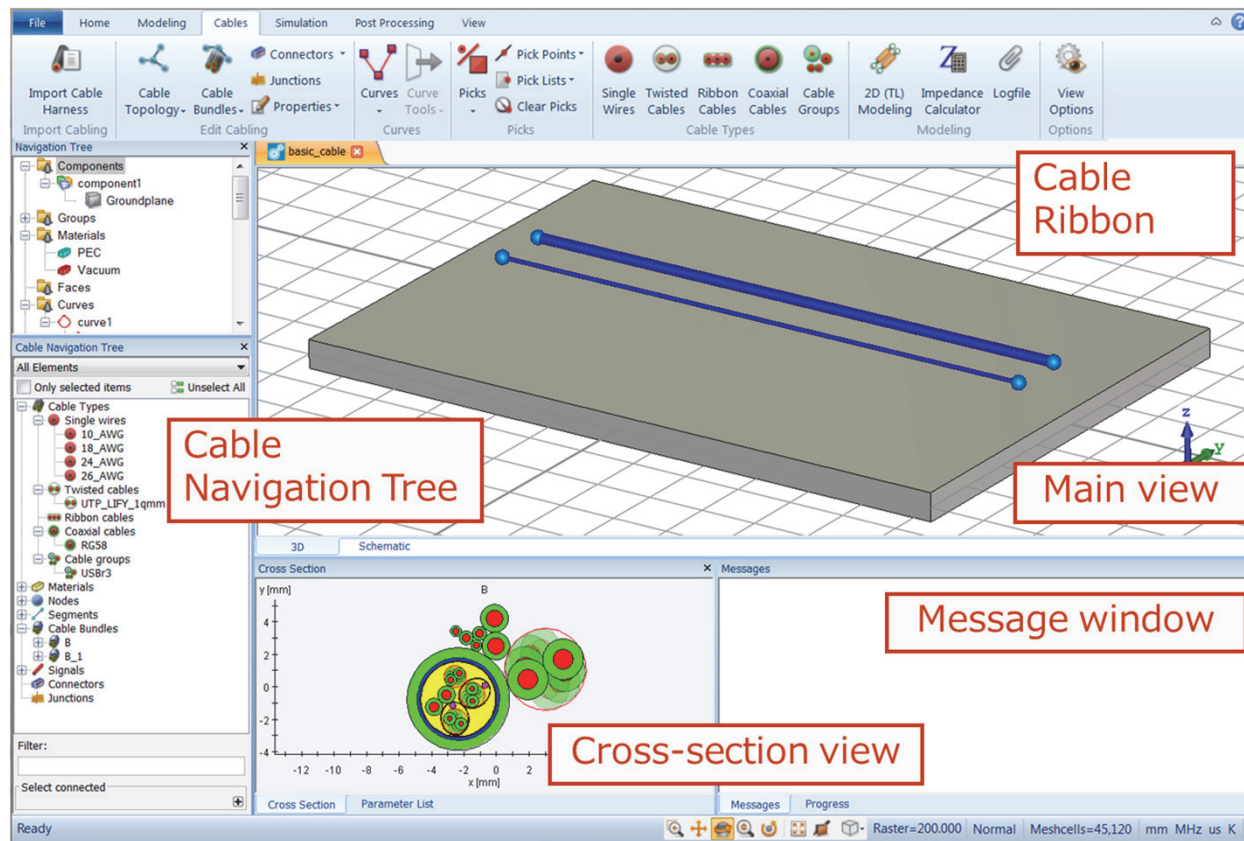


金属導体  
(3D)



# CABLE STUDIO の外観

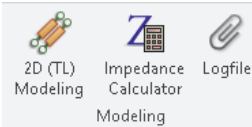
## Graphical User Interface (GUI)



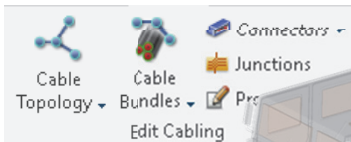


# ワークフロー

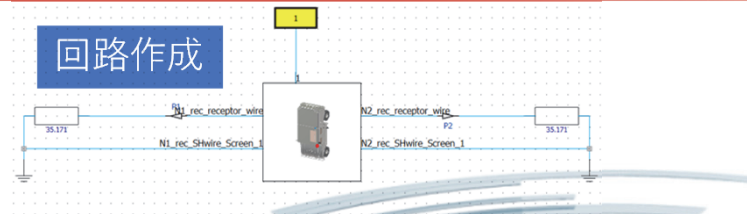
## ケーブルモデリング



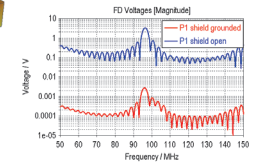
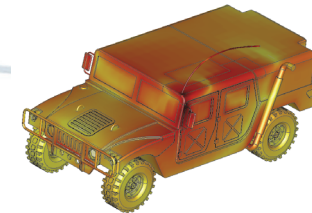
## ケーブルバンドル作成



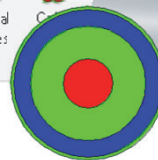
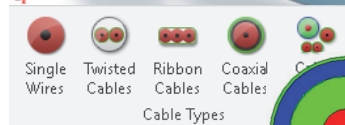
## 回路作成



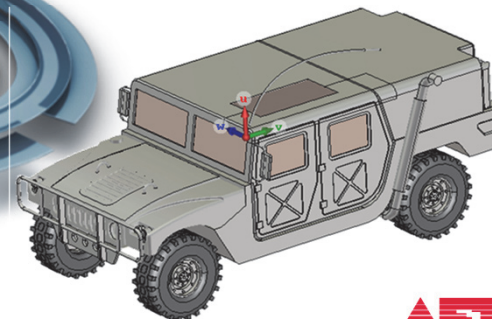
## 結果取得



## ケーブル作成

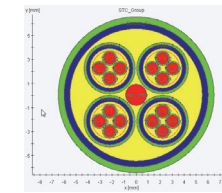
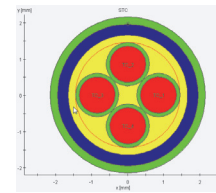
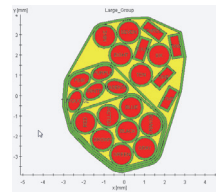
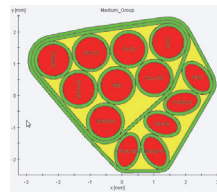
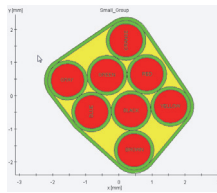
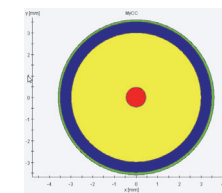
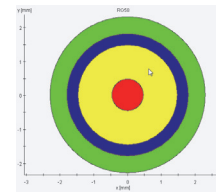
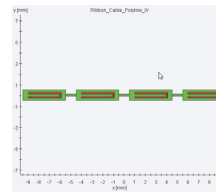
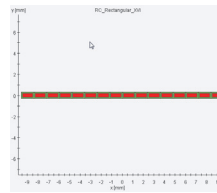
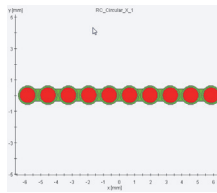
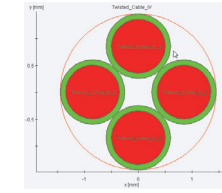
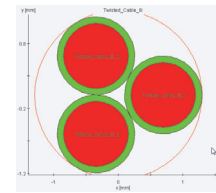
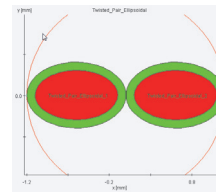
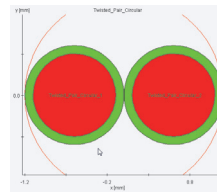
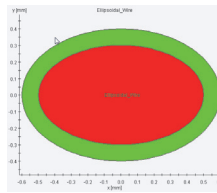
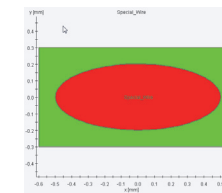
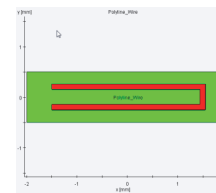
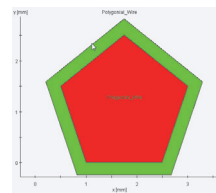
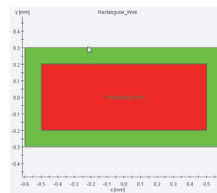
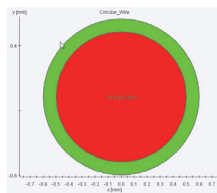
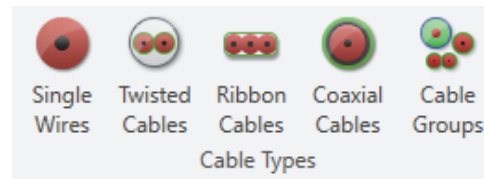


## 3Dモデル作成

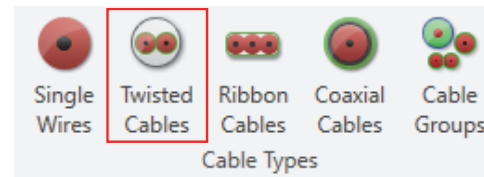




# ケーブルの作成

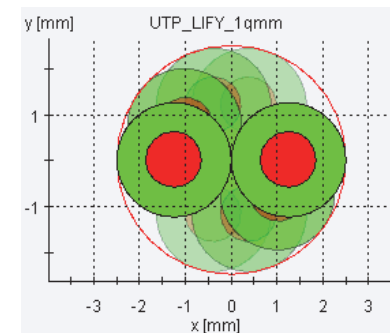
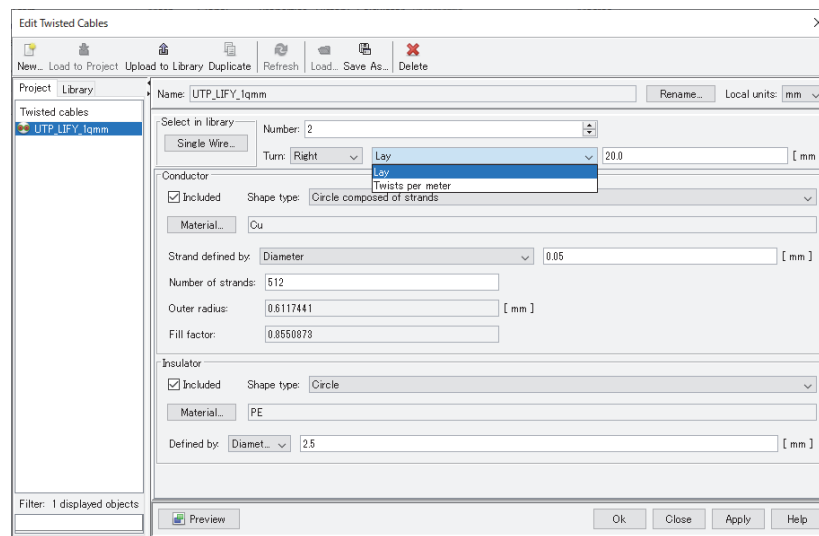


# ケーブルの作成

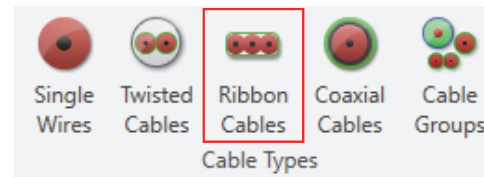


## ツイストペアケーブル

- ツイストするケーブルの数を指定
- ツイストの長さ、または単位長さあたりのツイスト数を指定
- 導体と誘電体（被覆）の物性値を定義

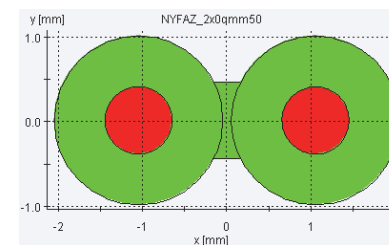
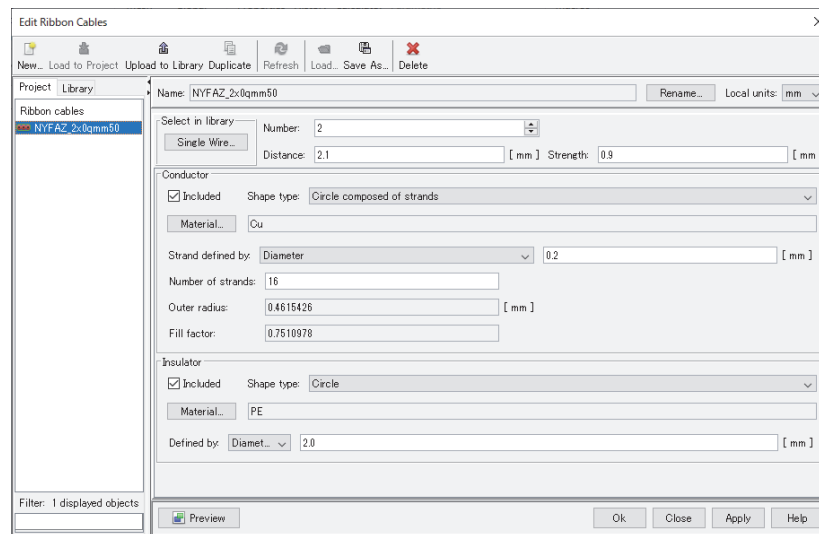


# ケーブルの作成

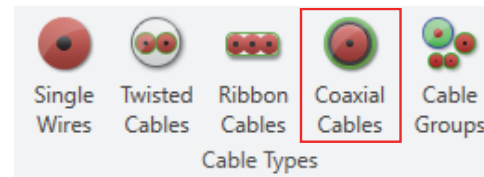


## リボンケーブル

- ケーブルの数を指定
- ケーブル間の距離とケーブルをつなぐ誘電体の厚みを指定
- 導体と誘電体（被覆）の物性値を定義

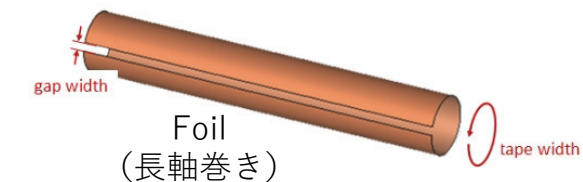
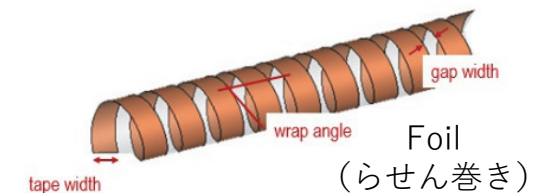
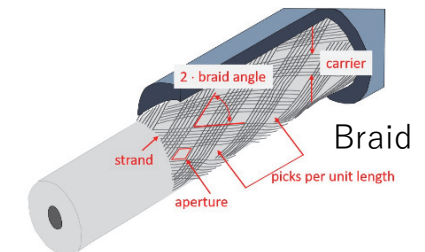
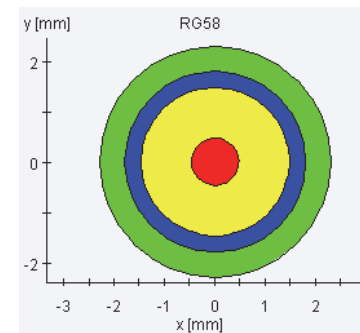
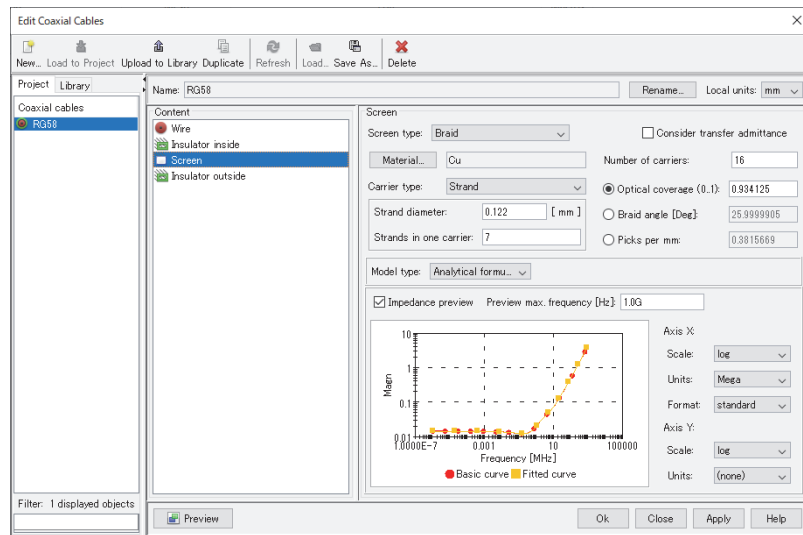


# ケーブルの作成

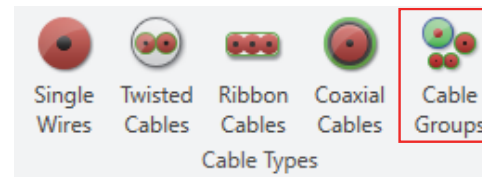


## 同軸ケーブル

- 導体と誘電体の物性値を定義
- スクリーンの種類を選択 (Solid, Foil, Braid)
- スクリーンの伝達インピーダンスモデルを選択 (解析公式 or 測定結果)

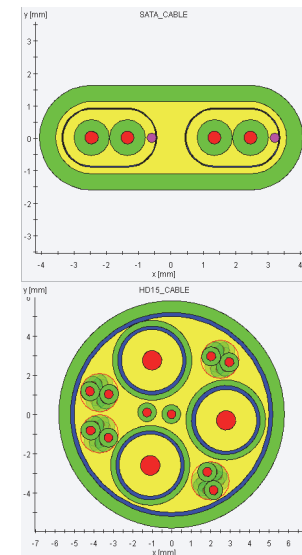
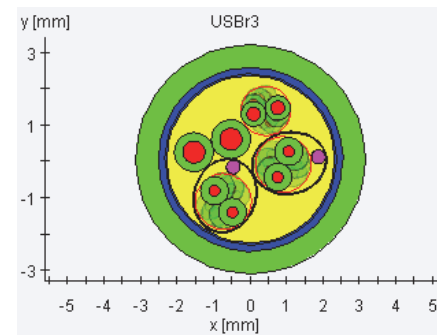
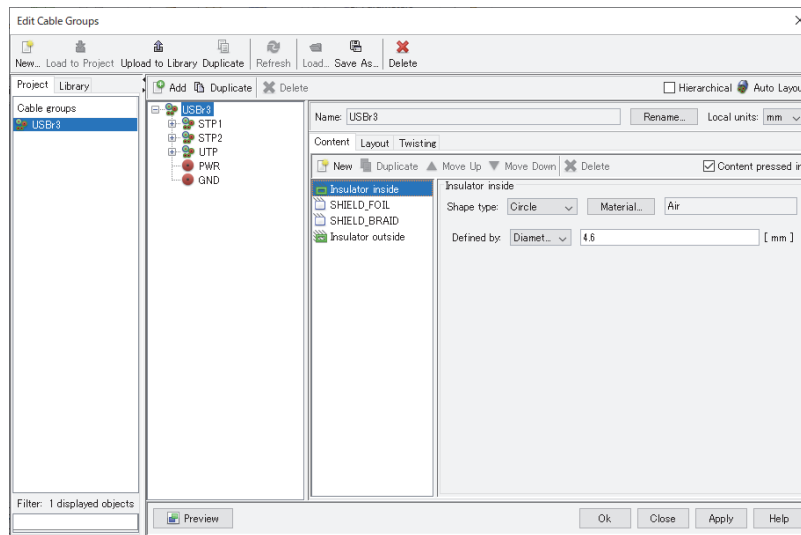


# ケーブルの作成

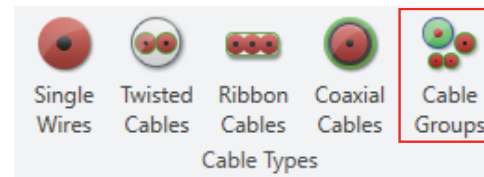


## ケーブルグループ

- 各種ケーブルの組み合わせが可能
- ケーブルグループを組み合わせたケーブルグループの作成が可能
- ケーブルグループ内の各種ケーブルの位置は座標指定か自動配置

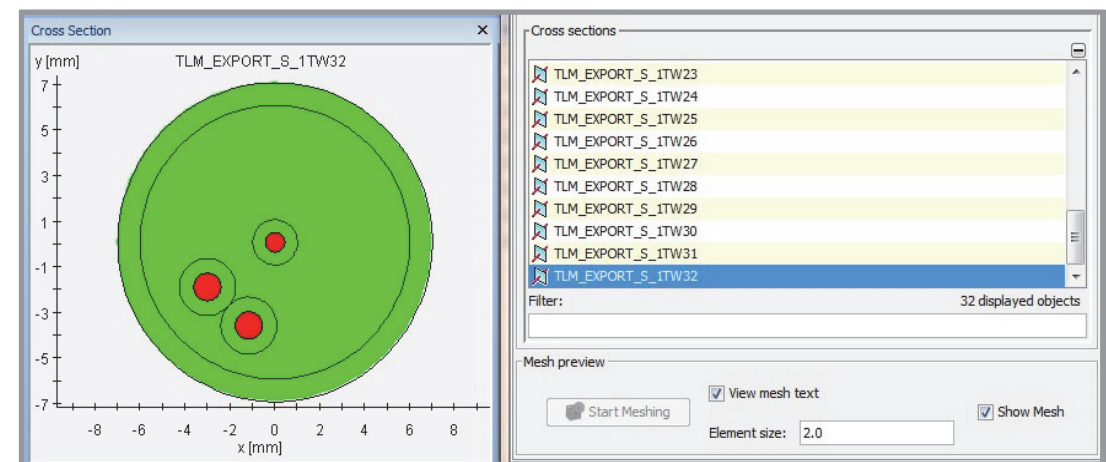
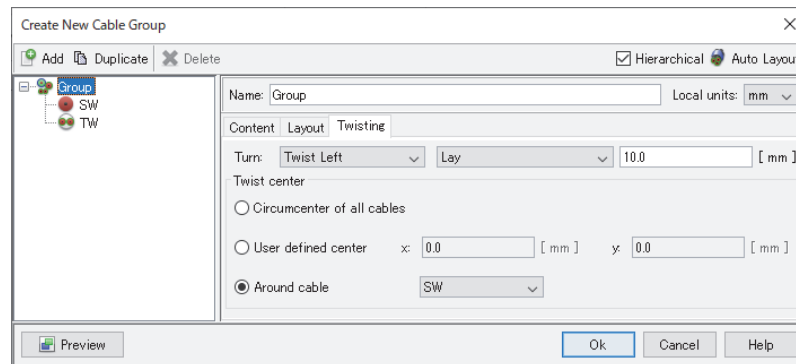


# ケーブルの作成



## ケーブルグループ

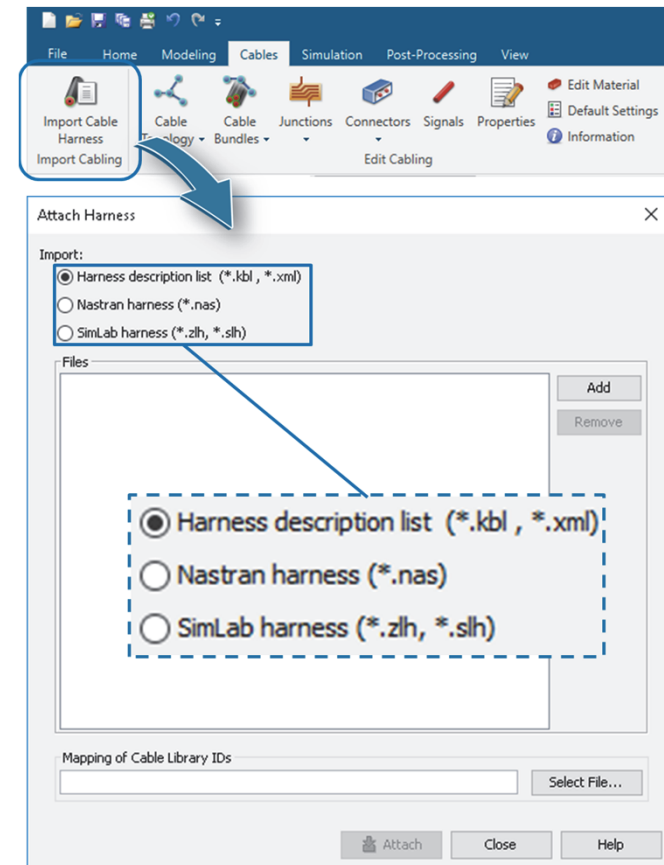
- ケーブルグループ内でのツイストが可能



# ケーブルバンドルの作成

## ケーブルデータインポート

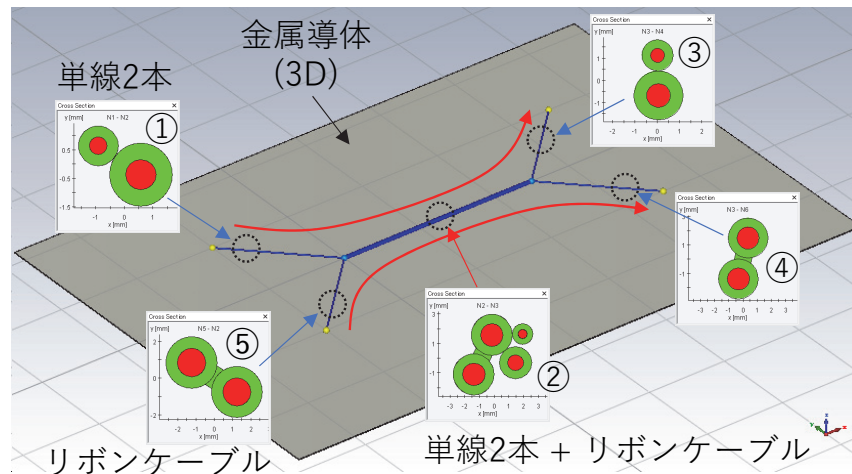
- Harness Description List (\*.kbl, \*.xml)
  - パブリックドメインのデータ
  - XML形式
  - OEM（自動車製造者）やサプライヤーが生成
- Nastran Harness (\*.nas)
  - CADツール（CATIA, Pro-E）のデータをインポート
  - ポリゴンラインで描かれたケーブルパス（type: CBAR）
- SimLab Harness (\*.zlh, \*.slh)
  - CST CS の内部的なデータ形式





# ケーブルの電氣的モデリング

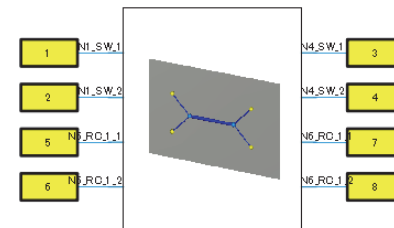
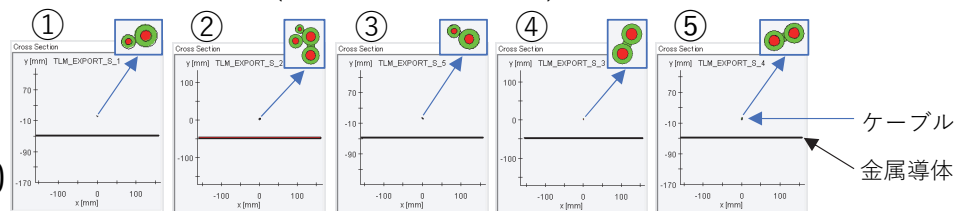
## Transmission Line モデリング



1. ケーブルの断面構造から決まる単位長さあたりのRLCGパラメータをケーブルセグメントごとに抽出（モーメント法）
2. 伝送線路理論に基づいて、セグメントごとに集中定数モデル（格子型回路網）を形成
3. 各セグメントを統合してケーブル全体の回路網モデルを作成
4. 回路網モデルは Design Studio で使用



メッシュビュー  
(クロスセクション)



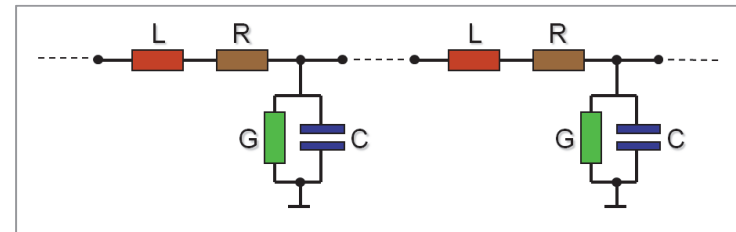
# ケーブルの電氣的モデリング

## Transmission Line モデリング

### 1. Lumped (Lattice Network) Model

$$l_{\max} \leq \frac{1}{10} \lambda_{\min}$$

Not suited for very long segments, since many cascaded elements are required  
**Only choice in case of 3D field coupling**



### 2. Distributed (Modal) Model

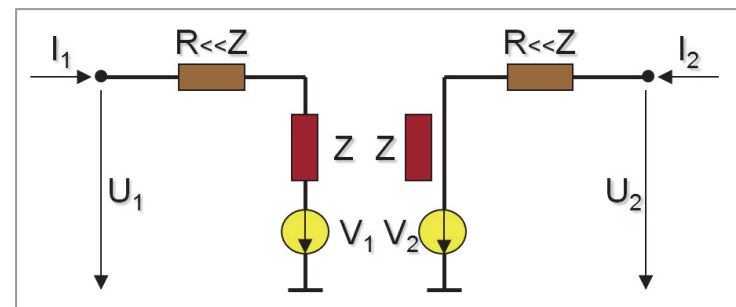
$$Z = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}}$$

$$\gamma = \sqrt{(R' + j\omega L')(G' + j\omega C')}$$

$$V_1 = (U_2 + ZI_2)e^{-\gamma l} = \left( \left(1 + \frac{Z}{R}\right)U_2 - \frac{Z}{R}V_2 \right)e^{-\gamma l}$$

$$V_2 = (U_1 + ZI_1)e^{-\gamma l} = \left( \left(1 + \frac{Z}{R}\right)U_1 - \frac{Z}{R}V_1 \right)e^{-\gamma l}$$

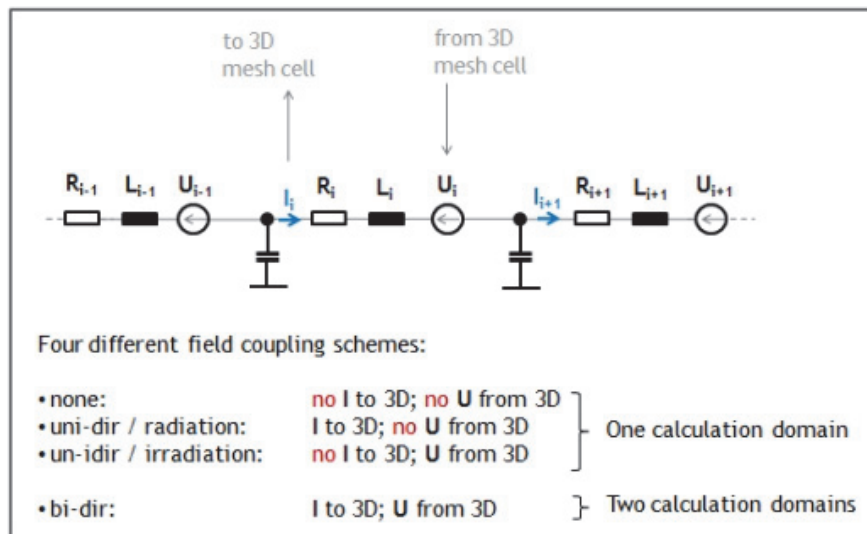
Not suited for very short segments, since time step for SPICE will be small



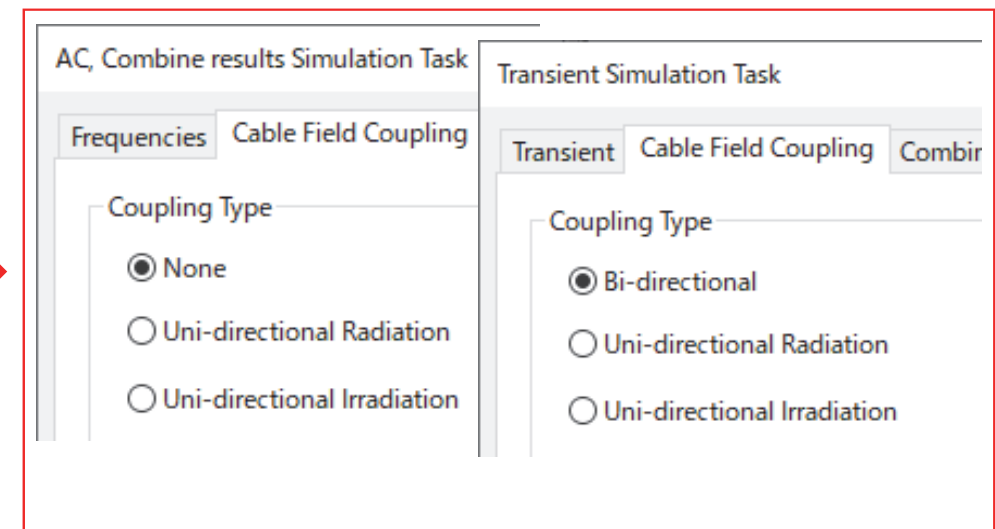
# 3Dフルウェーブソルバとの連携 (Time Domain Solver との連携)

## 3次元電磁界とケーブルの結合（フィールドカップリング）の種類

Uni-directional と Bi-directional  
(一方向性結合と双方向性結合)



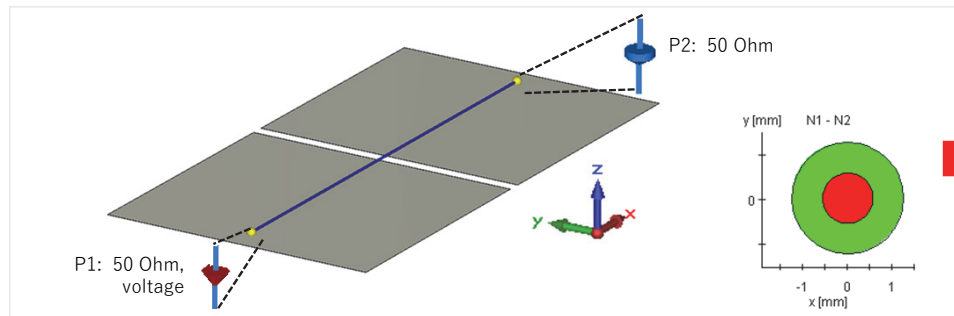
Design Studio で選択



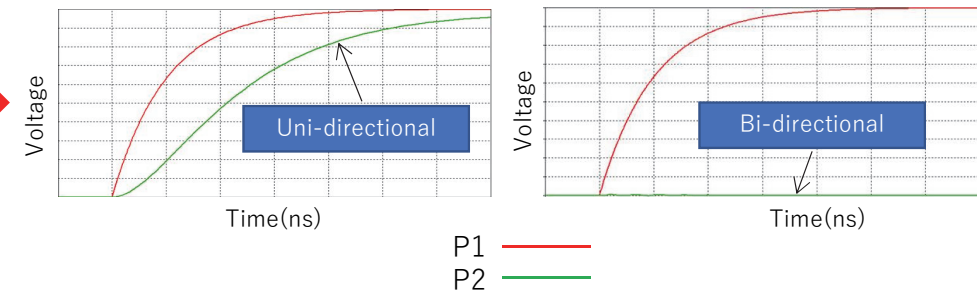
Results: 1D, 2D/3D

# 3Dフルウェーブソルバとの連携 (Time Domain Solver との連携)

## Bi-directional が必要な理由



分離したGNDプレーン上に単線を配線  
ケーブル長: 36m  
ケーブル外径: 2.2mm



### ■ シミュレーションの課題

- ✓ マルチスケール問題への対応
- ✓ GNDプレーンのギャップを適切に考慮

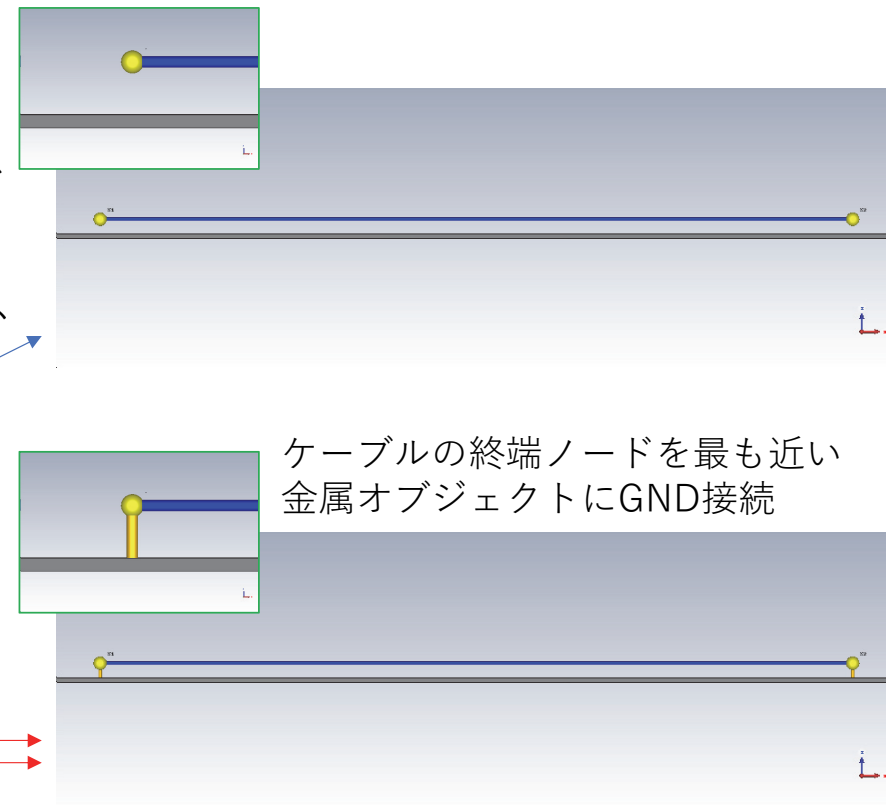
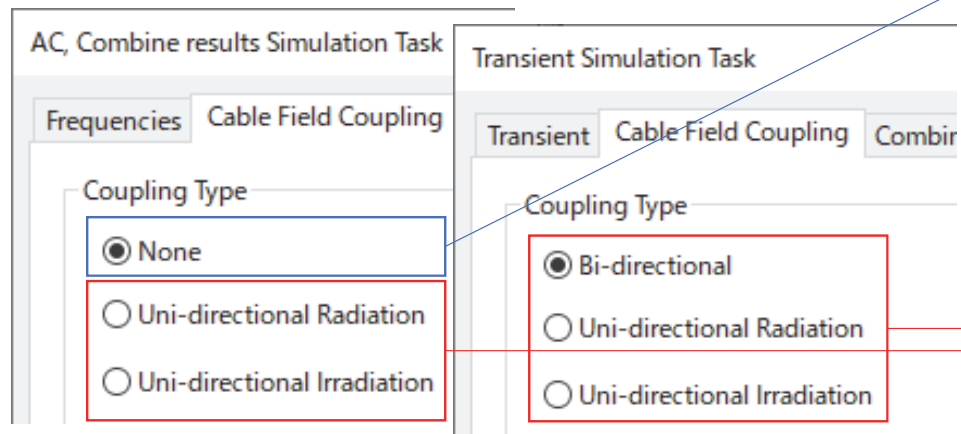
### ■ ソリューション

- × 3Dフルウェーブシミュレーション
- × Uni-Directional
- ◎ Bi-directional

# 3Dフルウェーブソルバとの連携 (Time Domain Solver との連携)

## 3次元構造との接続（自動接続）

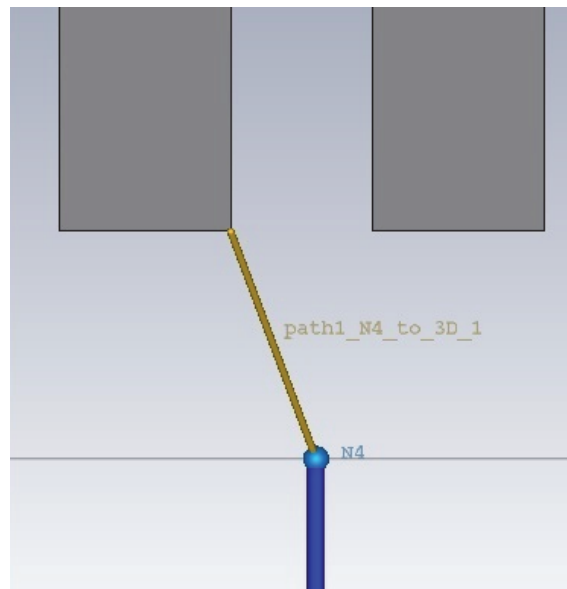
- 黄色ノードは、そのノードと金属オブジェクトの接続が可能である状態
- Uni/Bi-directionalを選択した場合、ケーブルの終端ノードは最も近い金属オブジェクトに**GND接続**（自動接続）
- 終端ノードと金属オブジェクトの接続を明示するワイヤは、TaskをUpdateした後に可視化が可能



# 3Dフルウェーブソルバとの連携 (Time Domain Solver との連携)

## 3次元構造との接続（手動接続）

- 任意の金属オブジェクト（例：3Dコネクタモデルのピン）に電氣的接続を定義可能
- 手動設定によって金属オブジェクトに接続されたノードは青色で表示

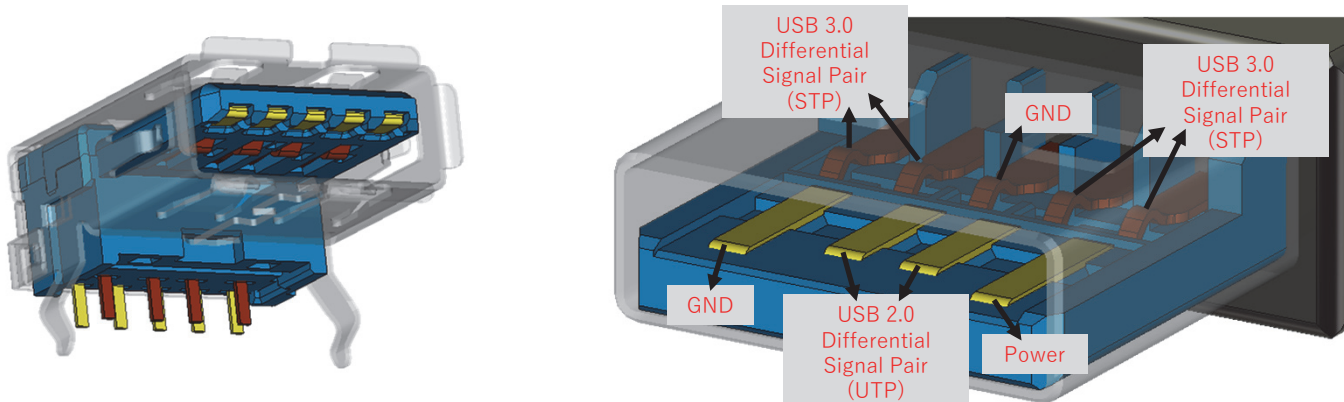


- CABLE STUDIO の基礎
- CABLE STUDIO の応用例
  - USB3.0のSIシミュレーション
  - ケーブルのSusceptibility (ESDシミュレーション)
  - 航空機の落雷シミュレーション

# USB3.0 のSIシミュレーション

## USB3.0 概要

- データ転送速度は「SuperSpeed：最大5Gbps」
  - ✓ USB2.0（Hi-Speed：最大4.8Gbps）の約10倍の速度
- USB3.0 Standard-A コネクタは、USB2.0 Standard-A コネクタと互換性を保持
  - ✓ USB3.0コネクタには、SuperSpeed（USB3.0）通信ができるように5ピン追加
  - ✓ USB2.0コネクタ使用時はHi-Speedモード、USB3.0コネクタ使用時はSuperSpeedモードの通信を行う
  - ✓ USB3.0ではSTP（Shielded Twisted Pair）を使用、USB2.0ではUTP（Unshielded Twisted Pair）を使用

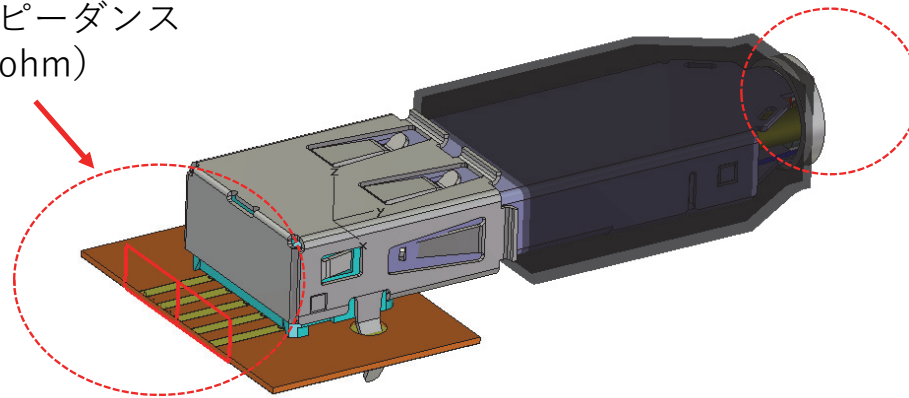




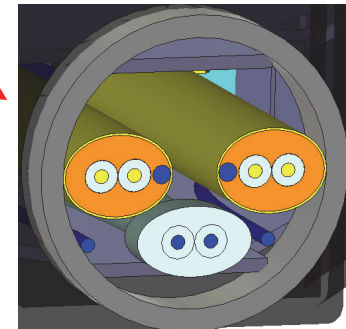
# 3次元電磁界モデル

## Time Domain Solver による3Dフルウェーブシミュレーション設定

差動インピーダンス  
(90ohm)



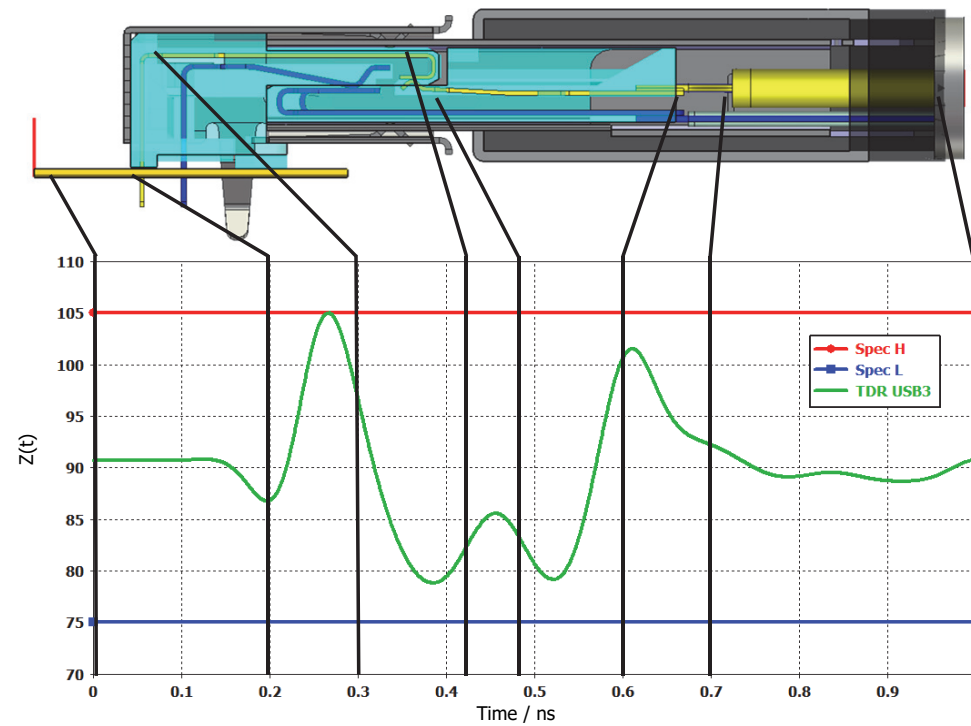
3次元ケーブルモデル



- コネクタ嵌合状態
- 上限周波数 = 11.52GHz (Trise = 50ps (20%-80%) )
- T-solver hexahedral mesh (22M mesh)
- Energy減衰: -40dB
- Open boundary in all directions
- Copper 100% IACS (銅合金) と LCP (ハウジング)

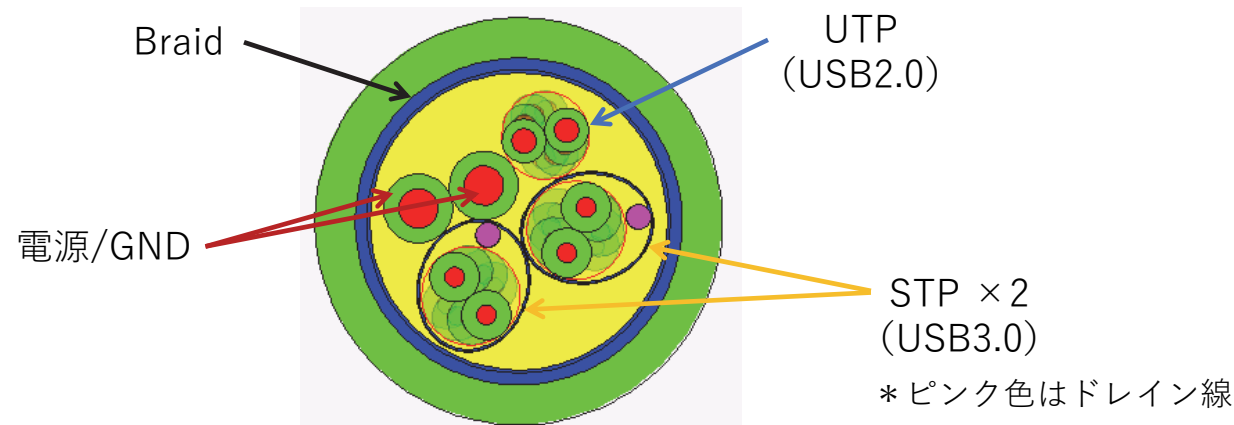
# 差動インピーダンス

## コネクタ嵌合状態における差動TDR



# CABLE STUDIO によるケーブルモデリング

## Transmission Line モデリング

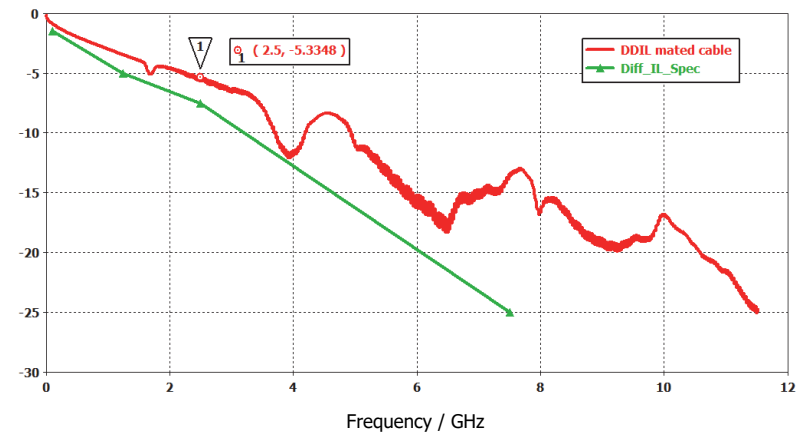
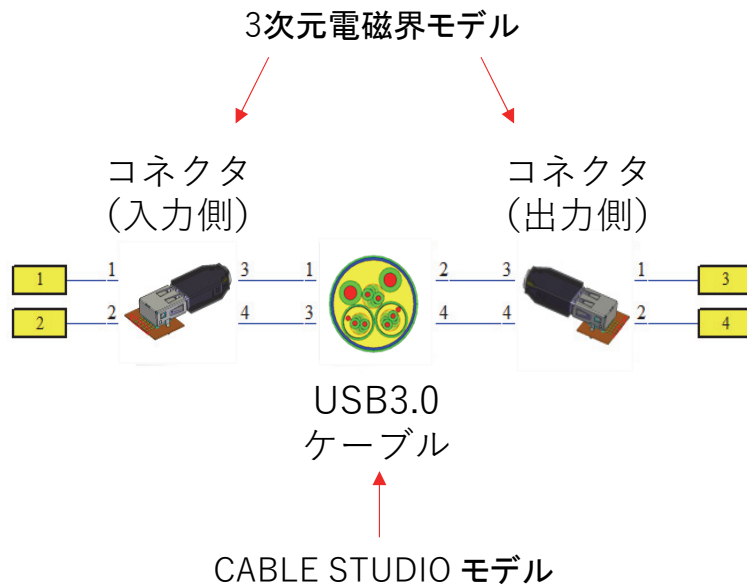


- ケーブルグループで作成したUSB3.0ケーブルのクロスセクション
- 断面構造から決まるケーブルパラメータ(RLCG)を自動抽出(モーメント法)
- 伝送線路理論に基づいてケーブル全体の回路網モデルを作成

# 差動S-Parameter

## Sdd21

- ケーブルとコネクタをアセンブリした状態でシミュレーション
- USB3.0物理層仕様 : Sdd21 -7.5dB@2.5GHz

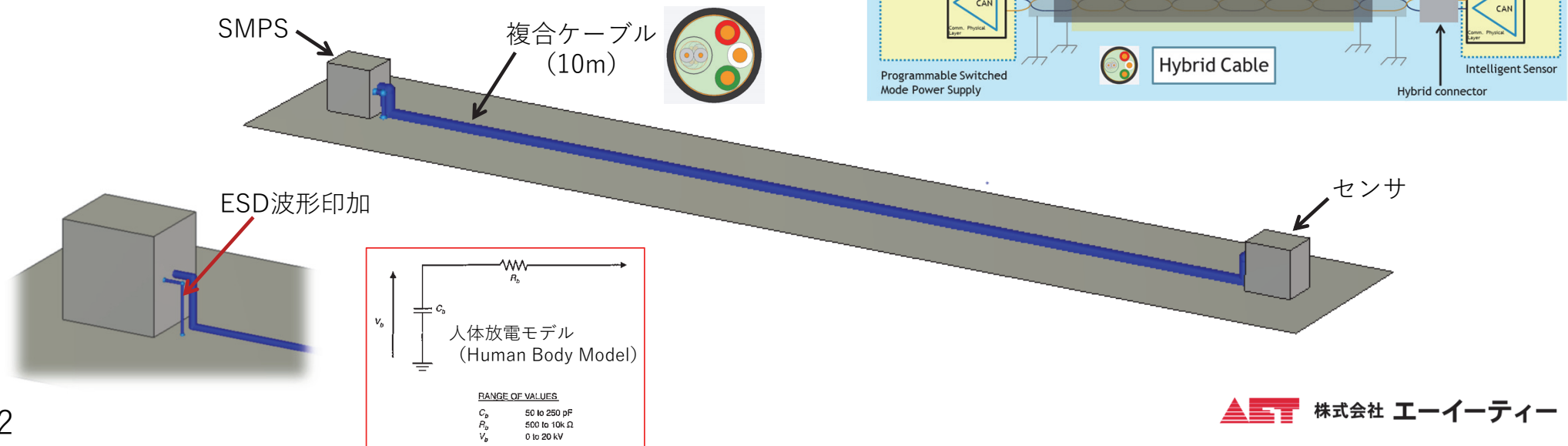


5.3dB loss @2.5GHz

# ケーブルのSusceptibility (ESDシミュレーション)

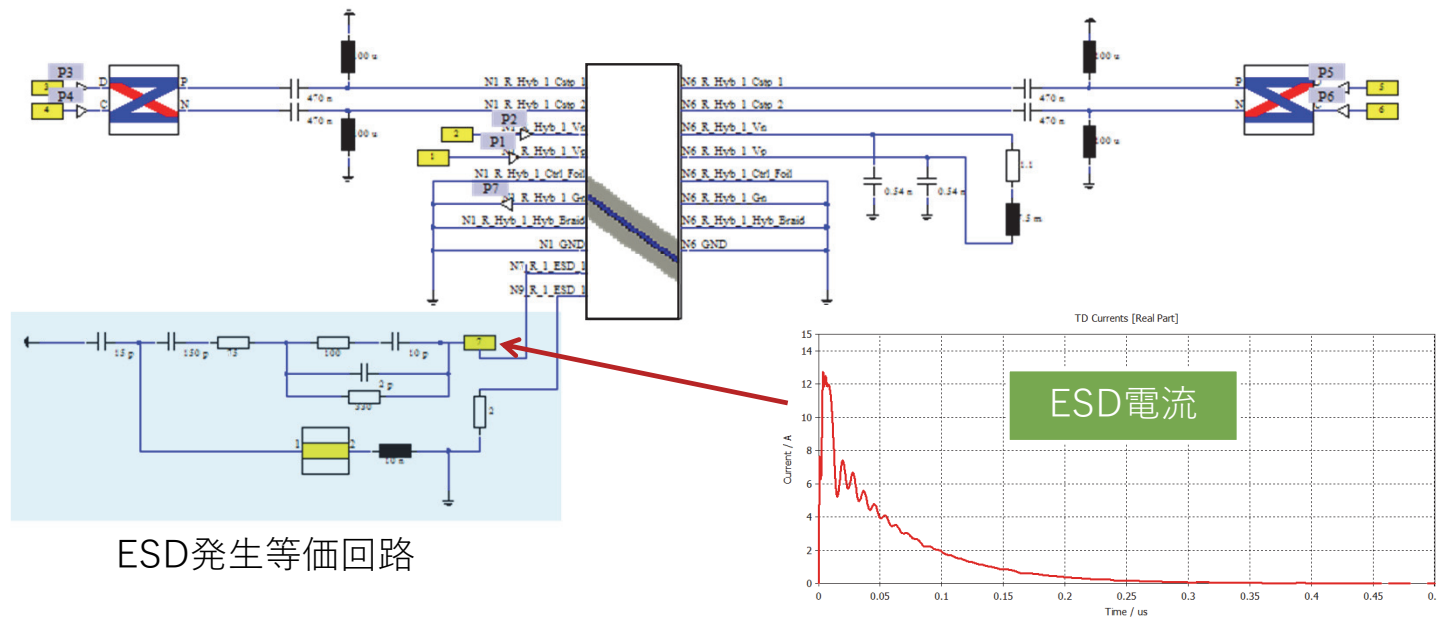
## SMPS / ケーブル / センサシステム

- SMPSとセンサを長さ10mの複合ケーブルでつなぐ
- SMPS側でESDを発生させて、複合ケーブルのSusceptibilityをシミュレーション
- 人体放電モデル(Human Body Model)を使用



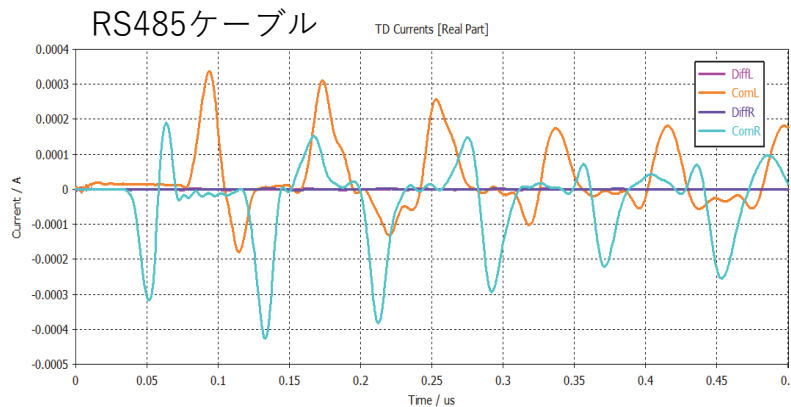
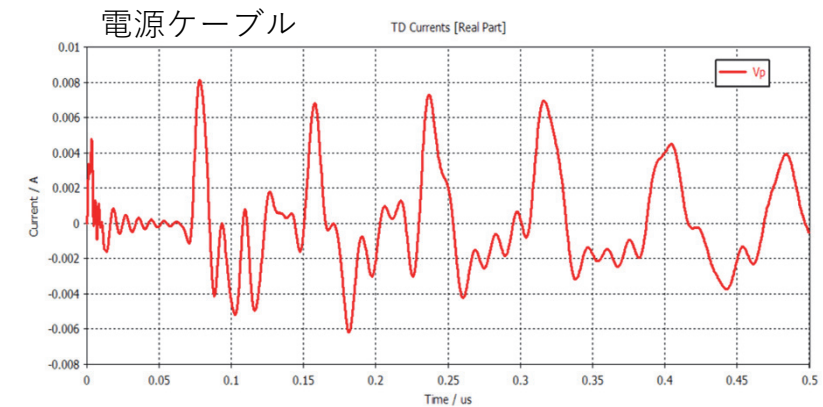
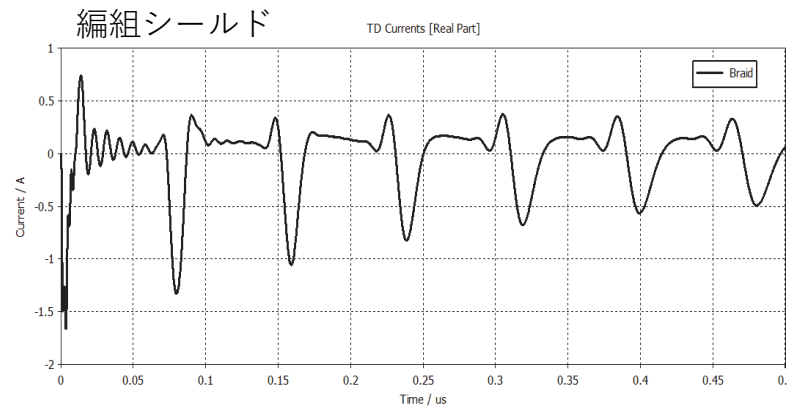
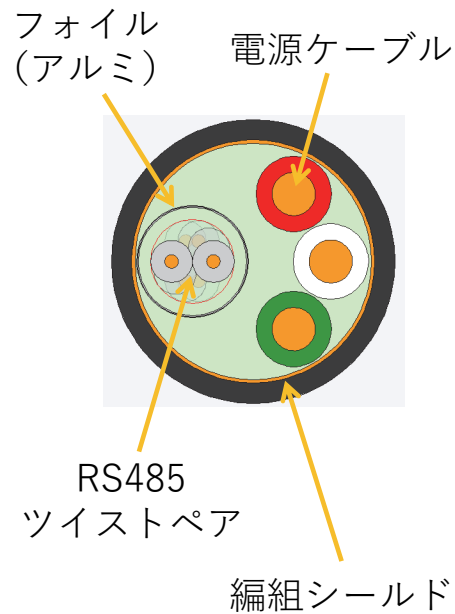
# ESD Transient Co-Simulation

SMPS / ケーブル / センサシステムの回路モデルと  
ESD発生等価回路モデル



# 複合ケーブルへの誘導電流

編組シールド / 電源ケーブル / RS485ケーブル に誘導される電流



# ESDの過渡現象の可視化

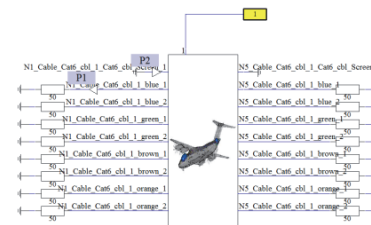
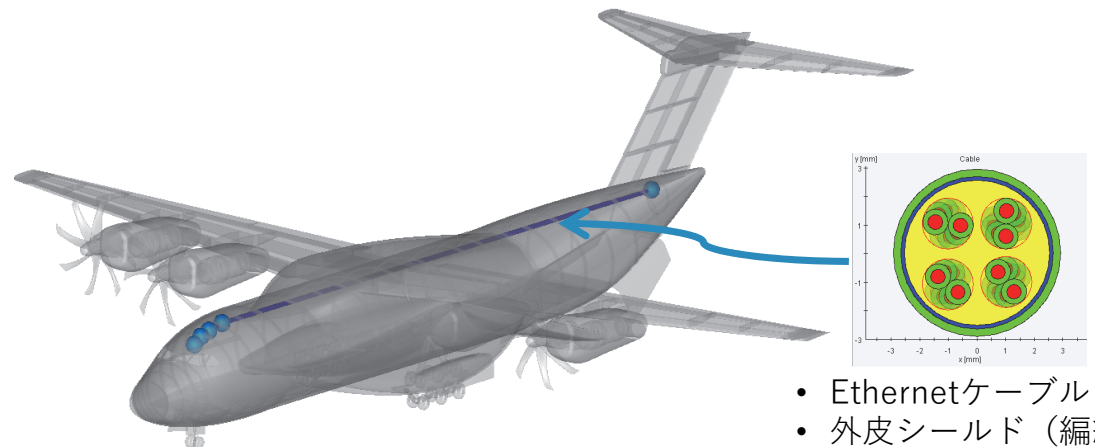
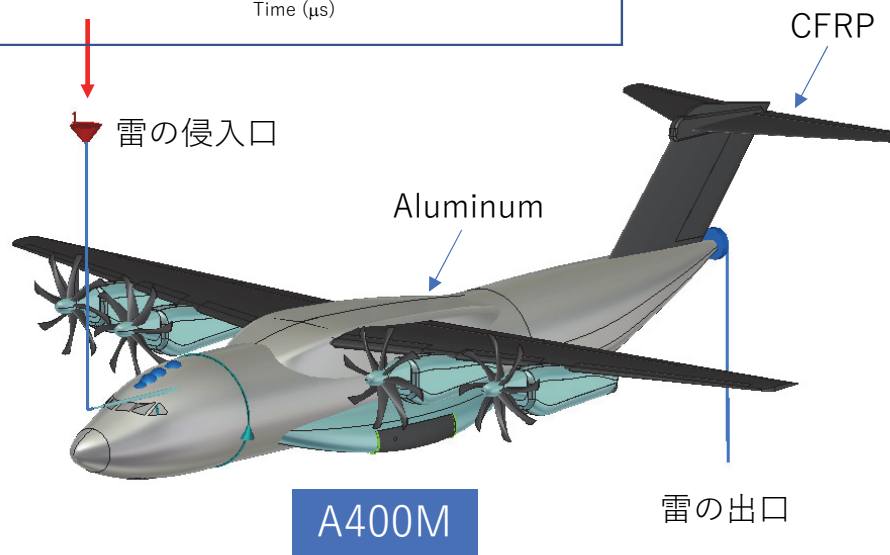
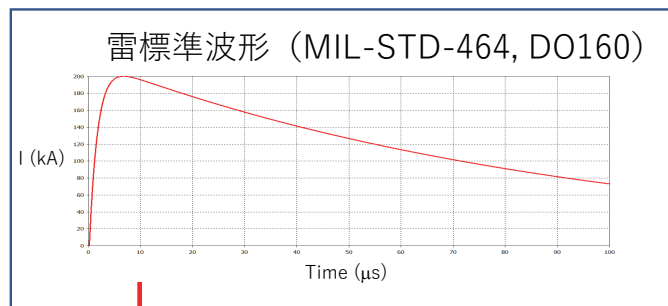
磁界分布の時間変化（タイムドメイン）アニメーション



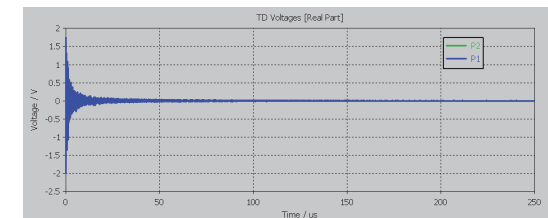


# 航空機の落雷シミュレーション

## 落雷によるケーブルへの影響

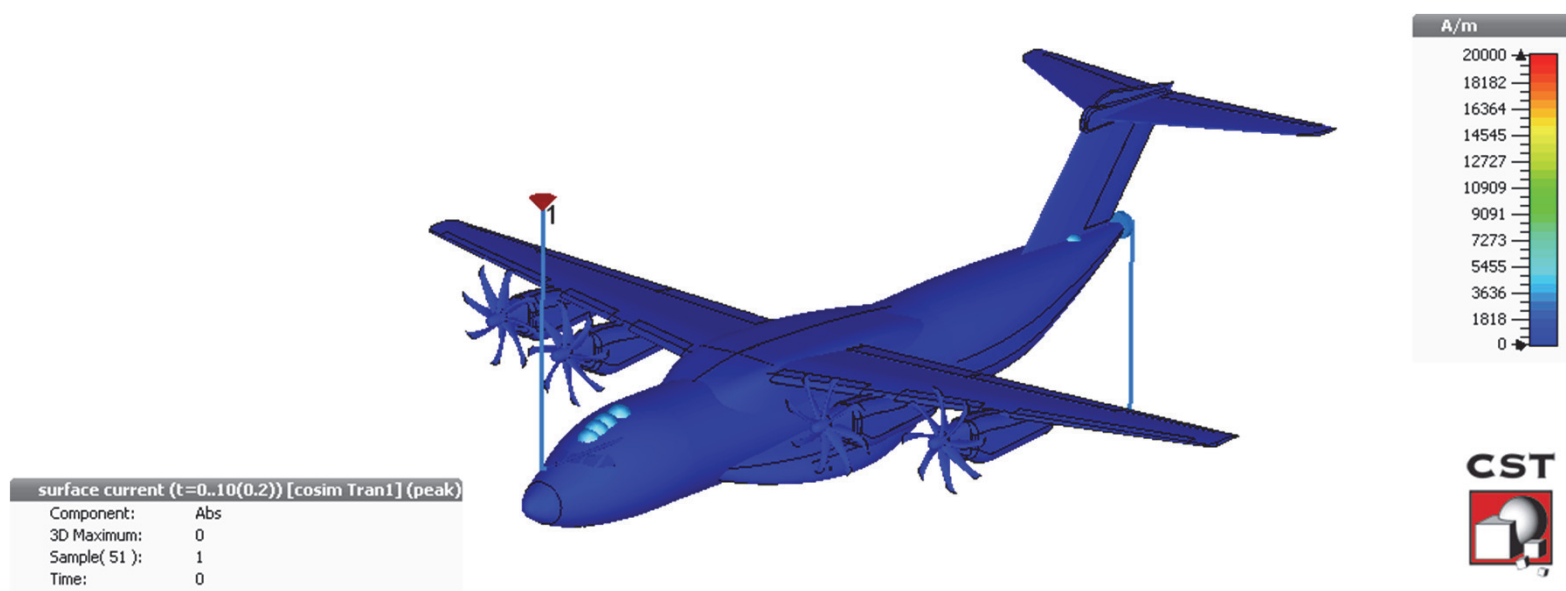


## ケーブルへの誘導電圧波形



# 落雷の過渡現象の可視化

表面電流分布の時間変化（タイムドメイン）アニメーション



# まとめ

- CABLE STUDIO は、ケーブルを回路網モデルで表現
- 3Dフルウェーブソルバ（Time Domain Solver）との連携によって、3次元環境における電磁界とケーブルの結合を考慮した解析が可能
- CABLE STUDIO と連携する Time Domain Solver は、TLM Solver がデフォルトで選択
  - 空間を含む3次元構造を等価回路展開（伝送線路ネットワークでモデル化）する TLM（Transmission Line Matrix）法とケーブル等価回路の連成の相性が良いため、TLM Solver が推奨されている