

## 賛助会員紹介

# 計測エンジニアリングシステム株式会社

— マルチフィジックスCAEに基づいた静電気応用によるものづくり —

## 1. はじめに

弊社は2001年に設立され、製品設計開発プロセスにおける計測・制御・シミュレーション分野において顧客ニーズに最適かつ最新のテクノロジーを提供してきた。

弊社は自社のオリジナル製品の開発とともに設立同年からCOMSOL AB社（スウェーデン）が開発したシミュレーションソフトウェアCOMSOL Multiphysics®を日本に導入し日本総代理店としてこのソフトのものづくりへ向けた研究開発でお客様に活用いただいている。

また近年、大きな注目を集めている機械学習に基づいたエンジニア向けの予測ツールSmart UQ（アメリカ）を日本に導入し日本のものづくりに力を入れて最大限に活かしている。

静電気応用によるものづくりは様々な分野が含まれる。そのため弊社は長年蓄積した技術を利用して極めて有効なソリューションを提供している。

## 2. 静電気応用におけるマルチフィジックス解析

### 2.1 汎用有限要素解析ソフトCOMSOL Multiphysics®

COMSOL Multiphysics®（以下、COMSOL）は、マルチフィジックス解析を前提として設計されている有限要素法（FEM）ベースの汎用物理シミュレーションソフトウェアである。

COMSOL シミュレーション環境は、幾何学式の定義、物理現象の特定、メッシュ生成、計算、結果の後処理といったモデリングプロセスのすべてのステップを容易にする。マルチフィジックス解析は伝熱、構造、流体、化学、電磁気、量子力学、音響、生物物理、数理科学、食品科学といった広い分野にまたがるが、予め定義されたCOMSOLアプリケーションテンプレートによって多くの問題を解決できる。ユーザはマルチフィジックスメニューから異なる物理モデルを選択し、ユーザ自身で相互依存性を定義できる。または、ユーザ独自の微分方程式（PDE/ODE）を定義し、他の方程式や物理モデルと組み合わせることも可能である。

### 2.2 COMSOLのプラズマモジュール

#### 2.2.1 非平衡低温プラズマの解析

COMSOL プラズマモジュールは非平衡低温プラズマに対

して流体モデルを採用している。一般的な種類のプラズマに対するアプリケーション固有のインターフェースを提供する。

プラズマモジュールを利用すれば、プラズマ計算のための複雑な電子衝突断面積などの入力作業を容易にするとともに、荷電粒子と分子や原子および中性粒子間の衝突反応式をモジュール設定画面に直接的に示すことで、入力作業を非常に分かりやすくしている。また、空間荷電粒子を含めた電場の計算は自動的に連成されるので、追加作業は不要である。流れ、伝熱および外部電気回路などとの連成計算も可能である。

#### 2.2.2 熱プラズマの解析

COMSOL プラズマモジュールはアーク放電などの熱プラズマを解析するため、伝熱、流れおよび電磁場の連成計算に基づく局所熱力学平衡（Local Thermodynamic Equilibrium: LTE）放電の解析モデルを提供している。熱平衡プラズマにおける電子、イオンおよび中性粒子の輸送は解かず、伝熱、流れおよび電磁場を解く。

#### 2.2.3 プラズマモジュールの特徴

プラズマモジュールの主な特徴を以下に示す。

- ア) 一般的な種類のプラズマに対するアプリケーション固有のインターフェースを提供する。
- イ) 2項ボルツマンソルバー：ソース係数および輸送特性を断面積データから計算する。また、このソルバーをプラズマインターフェースに直接導入できる。
- ウ) 化学反応、表面反応、および化学種を追加/削除することで、任意のガス組成におけるプラズマの化学的性質を作成できる。
- エ) 電子衝突の断面積データ、参照表、アレニウス係数、速度定数、またはタウンゼント係数を用いて、反応ソースを定義する。
- オ) 静磁場がある場合は電子およびプラズマの伝導性のテンソル輸送特性を自動的に計算する。
- カ) 表面反応によるプラズマ成膜あるいはエッチングの成長/剥離の速度や膜厚分布を計算できる。
- キ) 熱プラズマにおける伝熱、流れおよび電磁場の強連成、および温度に依存するガス材料特性を提供する。

### 2.3 COMSOLの電磁界解析モジュール

COMSOLの電磁界解析モジュールはAC/DCモジュールとRFモジュールであり、低周波から高周波までの電磁気と電気機械部品に対して幅広いモデリング機能とEMI/EMC

および電磁界解析の数値解析技術を実装している。電磁気学の各分野に対応したユーザーインターフェースが組み込まれており、特定のモデリング目的のバリエーションを提供する。有限要素法 (FEM) と境界要素法 (BEM) があり、これらを組み合わせることによって有限要素 - 境界要素のハイブリッド法を用いることもできる。

2.4 静電気分野における各種の解析モデル

COMSOL で開発された静電気応用に向けた各種の解析モデルの具体例を以下に示す。

- 1) 静電 / 誘電の遮蔽および高圧絶縁の評価
  - ◎静電 / 誘電の遮蔽：静電遮蔽境界条件を完全忠実モデルと比較する事例と誘電遮蔽境界条件の信頼性を議論する事例。
  - ◎高電圧絶縁体：高電圧絶縁体の表面電界の不均一性とフラッシュオーバー電圧を検討する事例。
  - ◎電力線からの電場と磁場：高電圧の三相電力を伝送する鉄塔がモデル化され、生じる電場又は磁場を計算する事例。
  - ◎電気破壊の粒子モデル：タウンゼント係数が指定の閾値に達するとストリーマが形成され、短絡が発生することを評価する事例。図1に平板 - 平板電極間における空気ギャップの絶縁評価のための電力線は粒子軌跡によって示された。

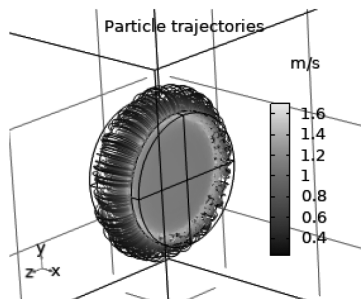


図1 平板 - 平板電極間の電力線

- 2) コロナ放電とストリーマ放電のシミュレーション
  - ◎大気圧コロナ放電：電気集塵機に基づいて大気圧の乾燥空気中の同軸 DC コロナ放電の解析例。
  - ◎双頭ストリーマの解析：大気圧の窒素における負および正のストリーマが電極に向かって伝播する解析例。
  - ◎空気中のストリーマ放電：乾燥空気中における正ストリーマの成長過程の解析例。図2に正ストリーマにおける電界強度を示す。
- 3) 電気集塵器と四重極型質量分光器および誘電泳動の計算
  - ◎静電集塵器：電気集塵器における異なる直径の粒子の伝送確率を計算し、分離効率を分析する事例。
  - ◎四重極型質量分光器：四重極における様々な分子重量

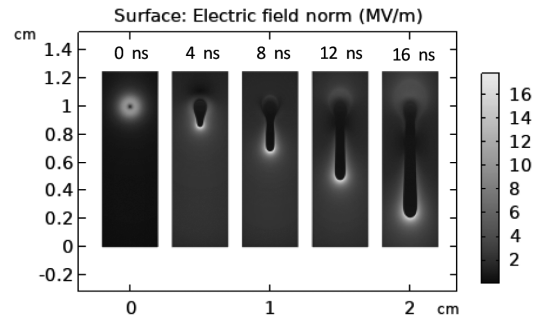


図2 正ストリーマの成長過程

- をもつイオンの軌跡を計算する事例。
- ◎血小板の誘電泳動分離：マイクロ流体チャンネルでの血小板 (PLT) の赤血球 (RBC) からの連続分離の計算例。
- 4) ESD と雷放電の解析
  - ◎PCB の ESD テスト：PCB のマイクロチップの論理エラーを引き起こる ESD テスト事例。
  - ◎架空送電線の雷誘導の解析：架空送電線の雷誘導電圧の計算例。
- 5) EMC と EMI および力学の解析
  - ◎回路基板の基本的なエミッションとイミュニティ解析：プリント回路基板の基本的な放射と外部ノイズからのイミュニティ応答をシミュレートする事例。
  - ◎シグナルインテグリティ (SI) 分析：時間領域反射率測定によって信号経路を分析し回路を調整する事例。
  - ◎パワースイッチの電気力学：鉄のプランジヤがその周りのコイルを流れる電流によって発生する磁気吸引力で動かされる仕組みの電気機械デバイスの計算例。

3. 機械学習に基づく予測技術SmartUQ

SmartUQ は、強力な AI・機械学習および不確かさの定量化 (UQ) ソフトウェアである。このソフトは、設計者 CAE のための最新の実験計画法 (DOE) やインテリジェントなサンプリングアルゴリズム、機械学習モデリング、統計的キャリブレーション、最適化、感度解析、逆解析、不確かさの伝播などの強力な解析ツールを備えている。

4. おわりに

本稿では特に COMSOL シミュレーションソフトウェアおよびエンジニアリングに取り入れる予測ツール SmartUQ を紹介した。これによって、弊社の保有の技術を生かし、生産工程コストのかかる実験を減らし、生産性を向上させることへの貢献に尽力する所存である。

今後とも新たな静電気課題の解決を心掛けながら、お客様に十分な満足をいただける新技術を追い求めていきたい。

(修 立柱)