

Femtetメールマガジン
2025/7/24号コラム

CAE初心者が挑むFemtetによる機構要素技術確立 第3回

液系円筒形セル用カソード端子周りの構造解析

CAE解析ソフトウェア  **femtet** (フェムテット)

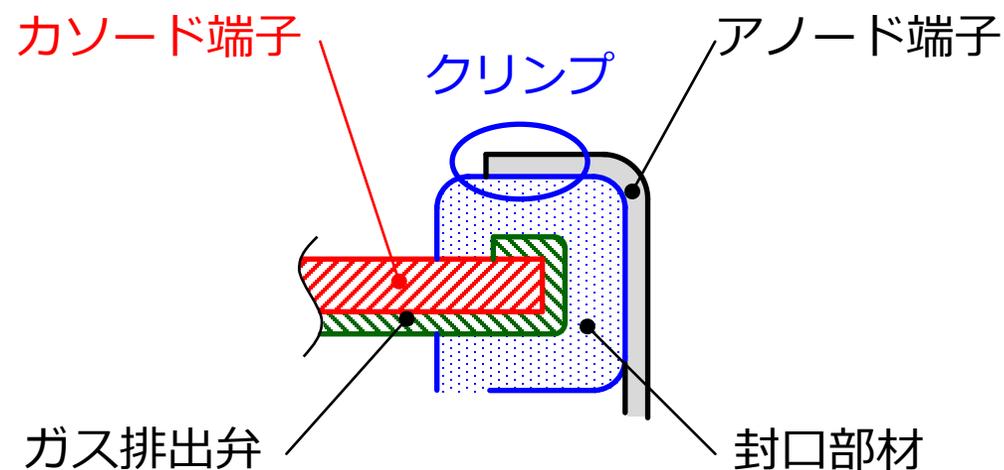
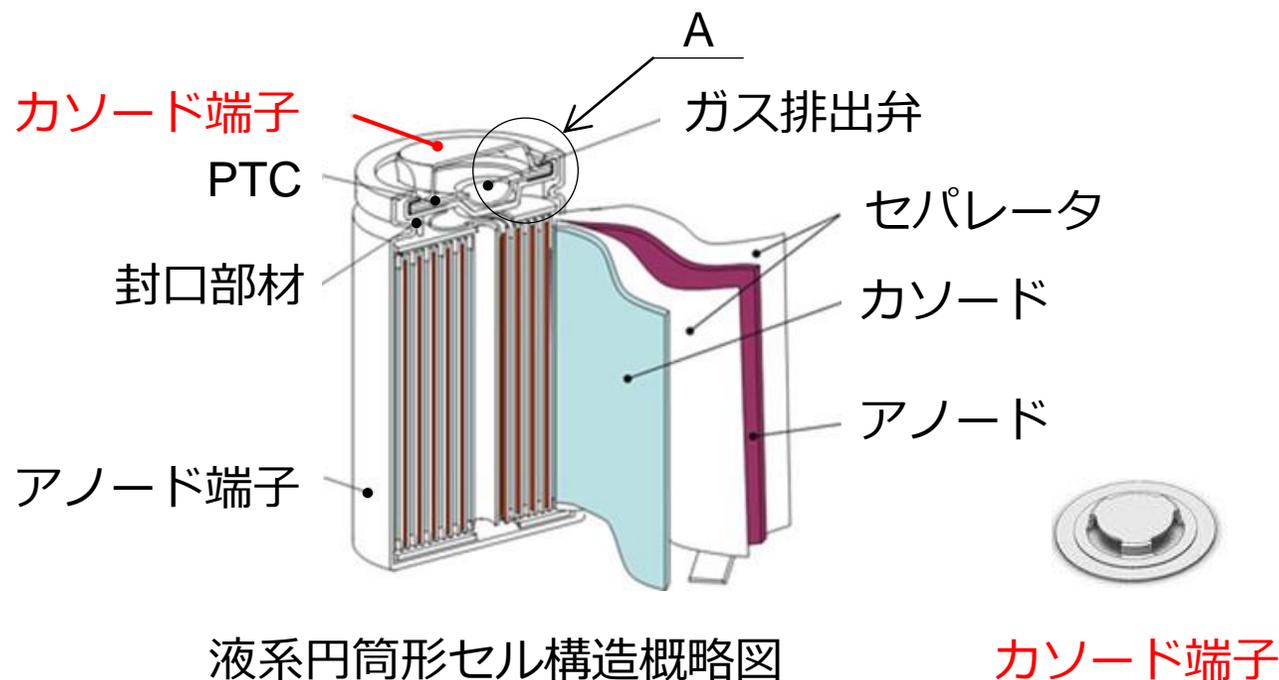
muRata
ムラタソフトウェア株式会社

CAE



目的

液系円筒形セルは、その形状と性能特性から携帯機器から大型電動車両まで幅広い用途で利用されている。具体的には、携帯電子機器・電動工具・電動自転車（e-bike）・電気自動車（EV）およびハイブリッド車（HEV）・エネルギー貯蔵システム（ESS）・ロボット・無人機（ドローン）等である。特にEV分野では、セル標準化と高性能化によりバッテリーセル形式の主流となっている。そこで、一般的な液系円筒形セルの構造を想定して、アノード端子による封口部材・カソード端子へのクリンプ時に与える負荷影響を解析する。

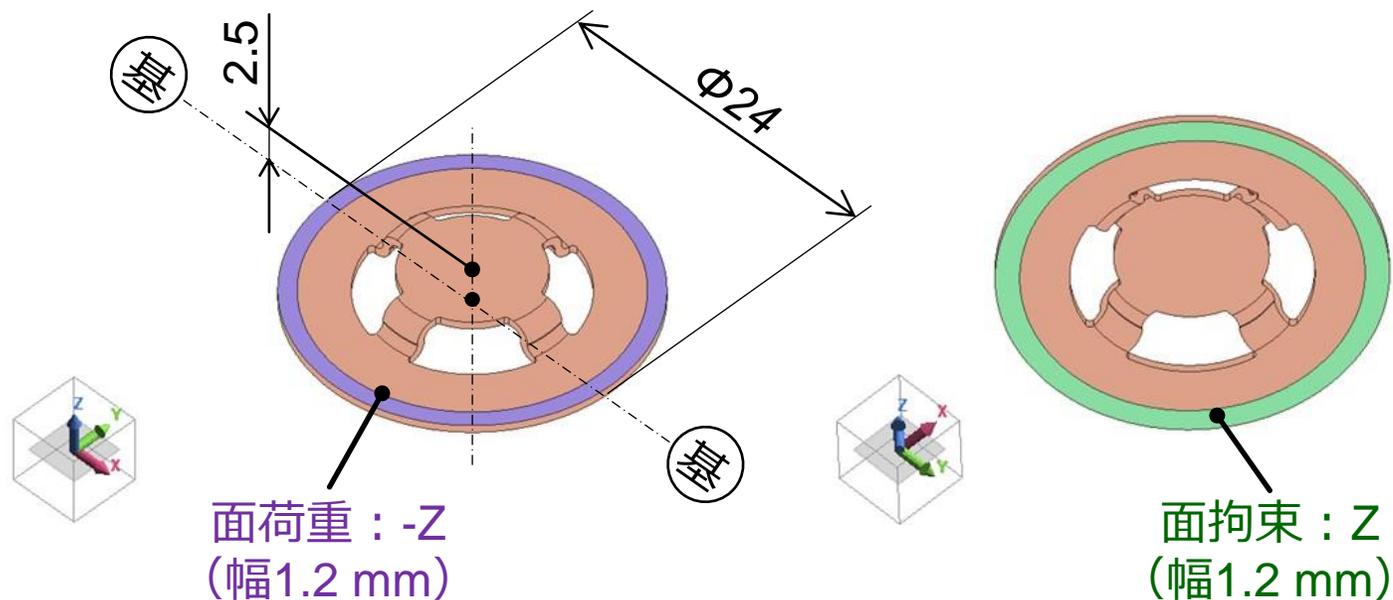


出典<[mm120604_battery04_fig01.jpg \(560×232\)](#)>

カソード端子単体の構造解析

クリンプ工程は、セル製造会社によるKnow-Howが多く含まれている為、開示内容は公知の技術に限定する。前提として、被クリンプの封口部材（PP樹脂）の基本機能は「弾性領域の圧縮特性を維持する」である。これは、荷重が弾性領域内であることが条件となる。（今回は応力限度予測の為、3倍荷重も実施する）

- 解析ソルバ：応力解析、解析タイプ：静解析（パラメトリック解析）
- カソード素子【材料：SPCC、肉厚：0.6 mm】：概略形状は下図を参照のこと
SPCC許容応力：162 MPa【引張強度：270 MPaの6割】、許容曲げ：59.5 mm【伸縮・：1.18 mm】
- 荷重条件：上面（紫色部）へ面荷重【-Z方向への総荷重：3,000 N ~ 15,000 N】
- 拘束条件：下面（緑色部）を固定【Zの変位拘束】



カソード端子概略図

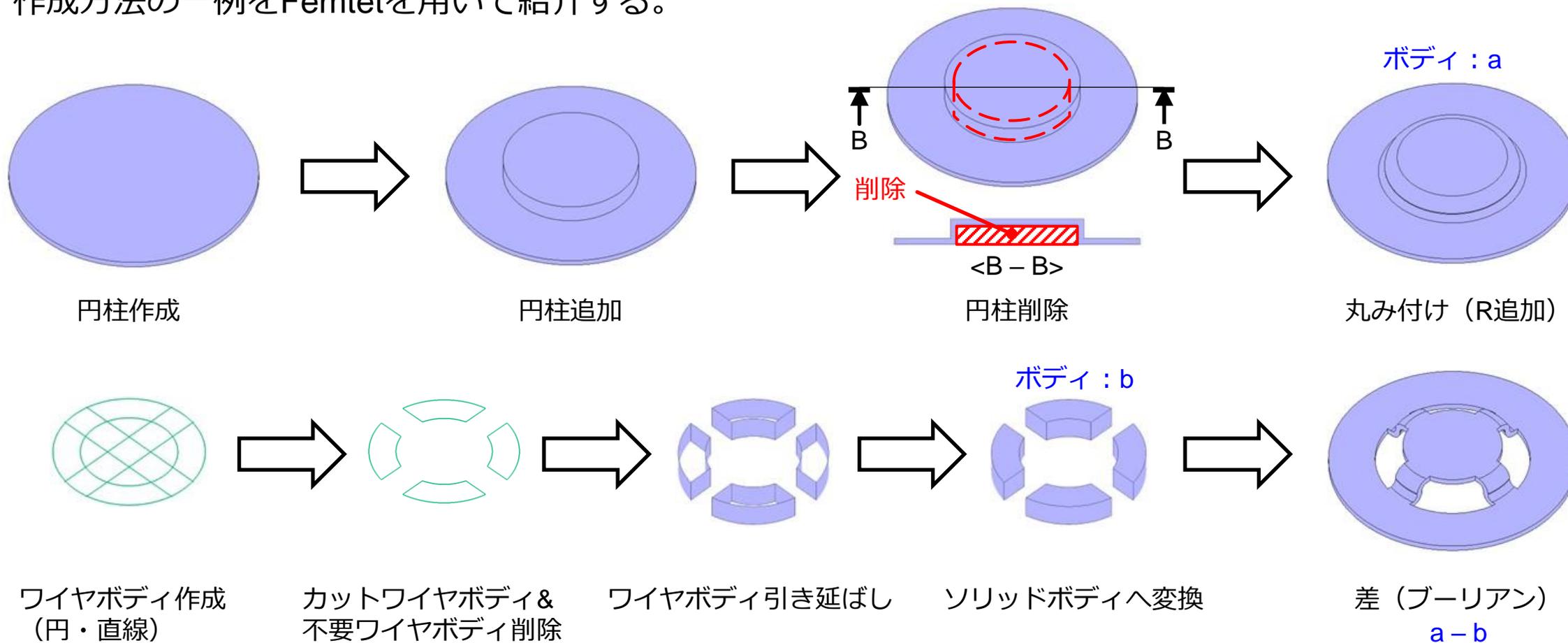
荷重条件表 ($P = \sigma \cdot A$)

σ : PP圧縮強度、 A : 荷重面積、 P : 荷重

| | 最小 | 最大 |
|------------------------|-------|--------|
| σ (MPa) | 38 | 55 |
| A (mm ²) | 86 | |
| P (N) | 3,000 | 5,000 |
| 解析条件 (N) | 3,000 | 15,000 |

カソード端子の3次元（以降3D）モデル作成方法

カソード端子は、金属鋼板に4つの扇形状をパンチングし、円形のエンボス加工を施した後、最後に外径を円形状でブランキングしたものであるが、一般的な3Dモデルの作成工程は実際の加工工程とは異なる為、作成方法の一例をFemtetを用いて紹介する。



カソード端子3Dモデル作成方法

カソード端子単体の構造解析結果

安全率：3を考慮した15,000 N荷重ではミーゼス相当応力がSPCC許容応力を超えることから、塑性領域に入る可能性がある。以上から、15,000 N荷重は推奨出来ない。（次頁に変位とミーゼス相当応力のグラフを示す）

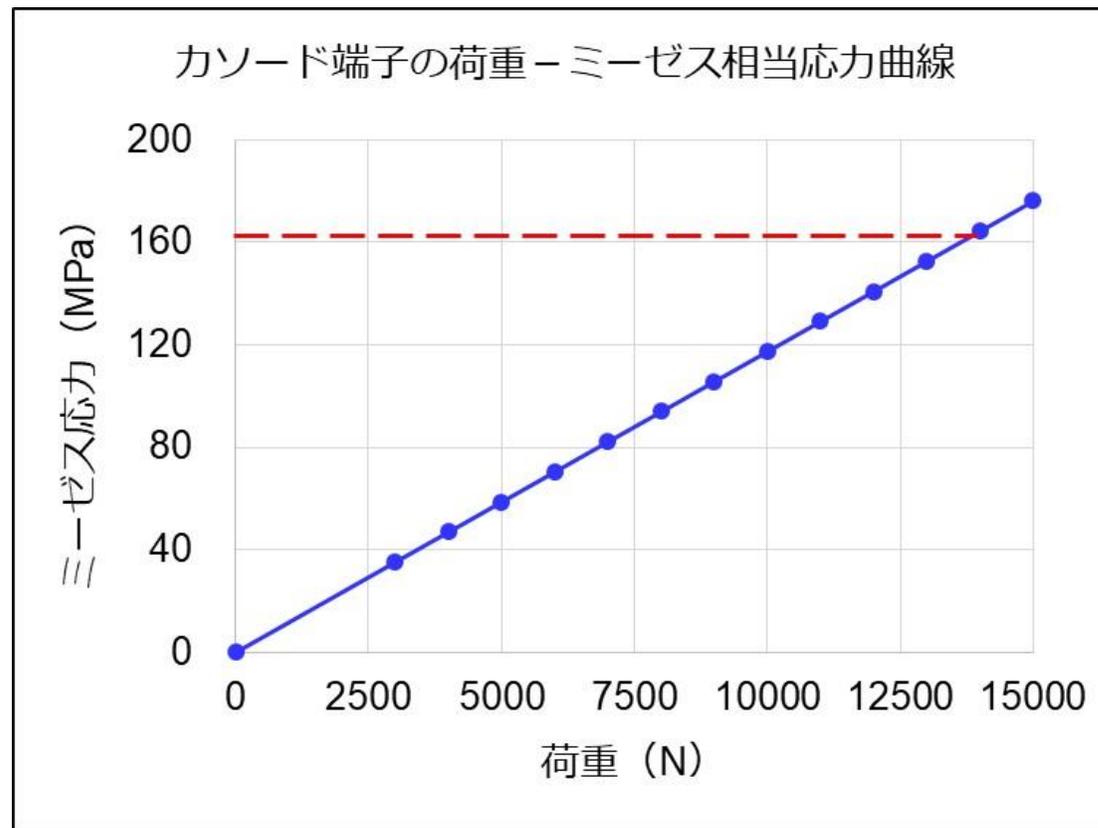
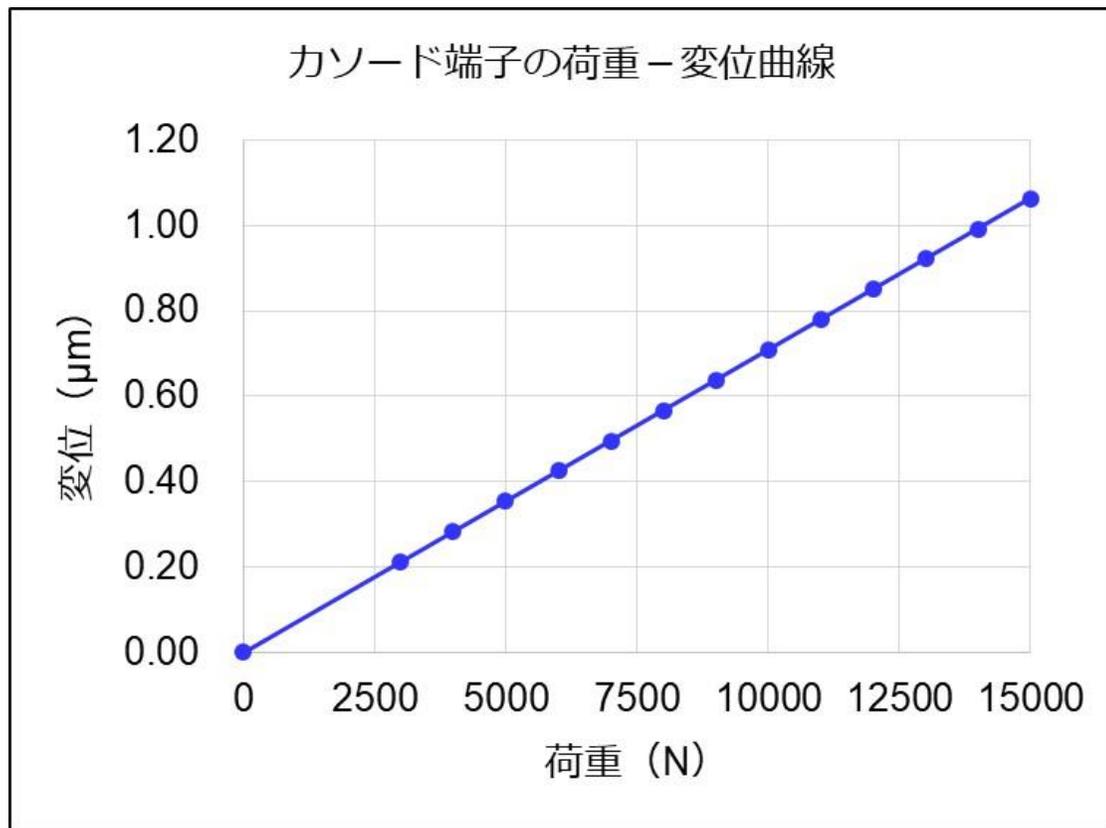
カソード端子の変位・ミーゼス相当応力（荷重：3,000 N、15,000 N）

| 評価項目 | 変位 (μm) | | ミーゼス相当応力 (MPa) | |
|--------|-------------|-------------|----------------|-----------|
| 荷重 (N) | 3,000 | 15,000 | 3,000 | 15,000 |
| コンター図 | | | | |
| 最大値 | 0.21 < 1.18 | 1.06 < 1.18 | 35 < 162 | 176 > 162 |

カソード端子単体の構造解析結果

ミーゼス相当応力がSPCC許容応力：162 MPaを確実に超えない荷重は13,000 Nである。この結果を踏まえ、液系円筒形セルを模擬した構造解析を実施する。

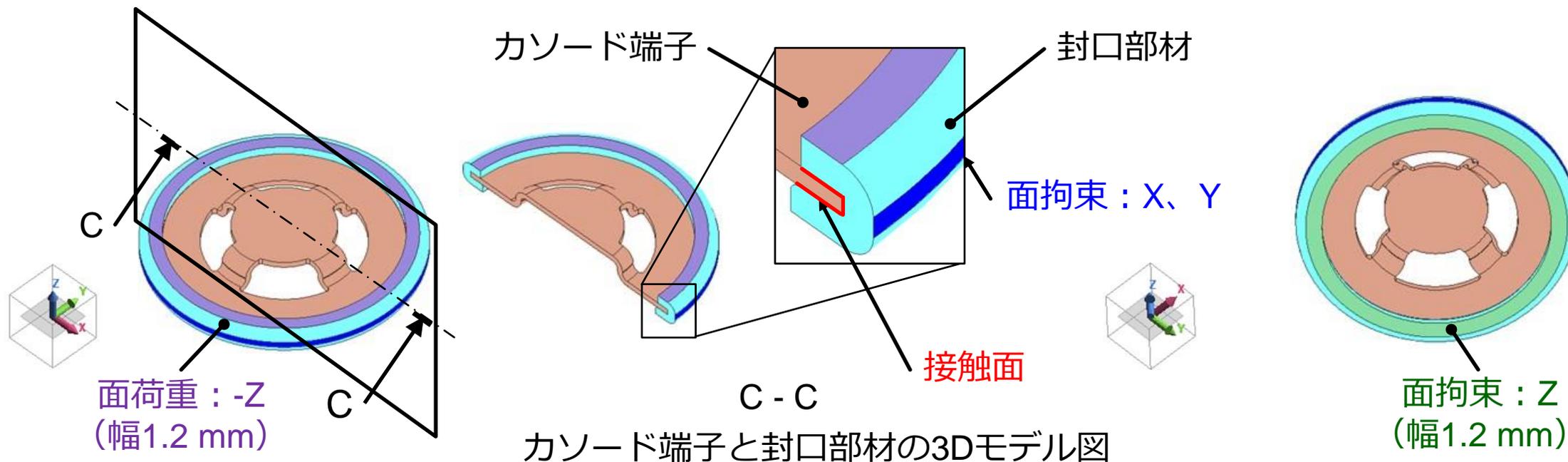
カソード端子の変位・ミーゼス相当応力（荷重：3,000 N～15,000 N）



液系円筒形セルを模擬した構造解析

液系円筒形セルはカソード端子とガス排出弁を締結後、アノード端子をクリンプすることにより、締結部品を封口部材で挟み込む構造になっている（P.2 参照）が、本解析の目的は封口部材物性バラツキによる圧縮限度見極めとカソード端子比較解析（単体・封口部材組付時）の為、ガス排出弁は解析モデルから除外する。

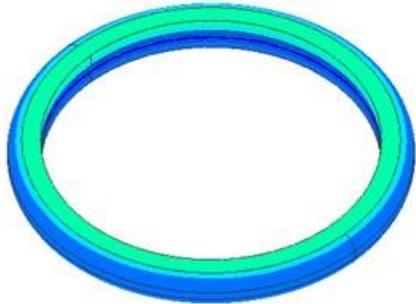
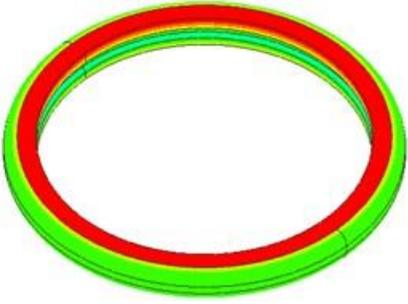
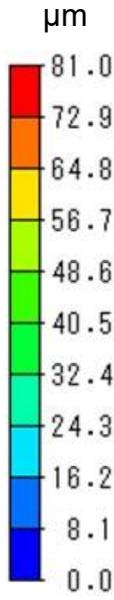
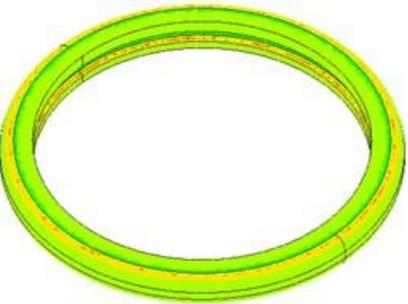
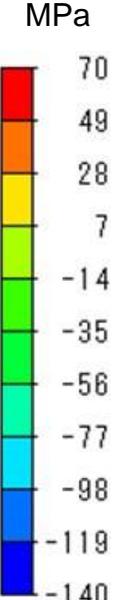
- 解析ソルバ：応力解析、解析タイプ：静解析（接触解析）
- カソード素子【材料：SPCC、肉厚：0.6 mm】
- 封口部材【材料：PP（弾塑性バイリニア：材料特性は付録1を参照のこと）、肉厚：0.9 mm】
- 荷重条件：上面（紫色部）へ面荷重【-Z方向への総荷重：3,000 N ~ 13,000 N】
- 拘束条件：側面（青色部）を固定【X、Yの変位拘束】、下面（緑色部）を固定【Zの変位拘束】



封口部材の構造解析結果1（最小引張強度時） — — 封口部材の許容歪：2.3 %、初期降伏応力：38 MPa

下表のように、3,000 N荷重では許容歪内、初期降伏応力内であり、弾性領域内であることが解る。しかし、5,000 N荷重では許容歪、初期降伏応力共に超えており、**塑性領域**になることが解る。（理論値と一致）

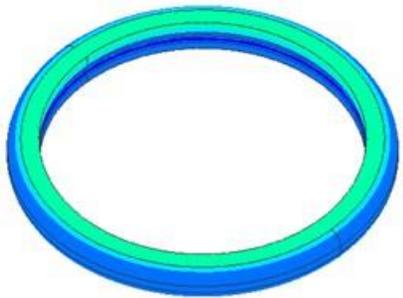
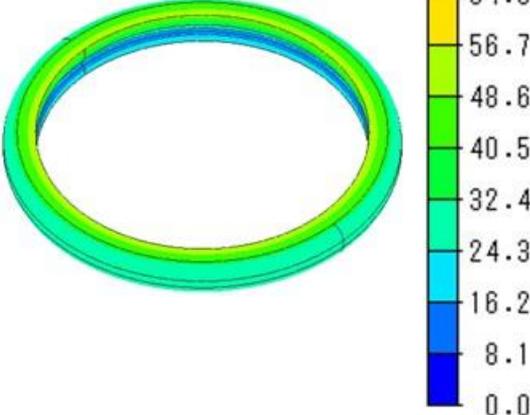
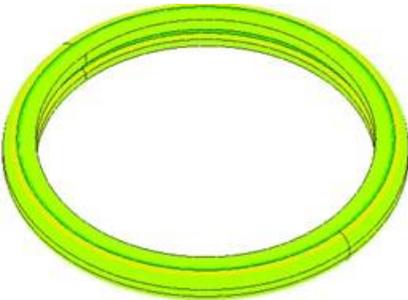
封口部材の変位・最大主応力（荷重：3,000 N、5,000 N）

| 評価項目 | 変位 (μm) | | 最大主応力 (MPa) | |
|----------|--|--|--|---|
| 荷重 (N) | 3,000 | 5,000 | 3,000 | 5,000 |
| コンター図 |  |  ★ 塑性領域  |  |  ★ 塑性領域  |
| 最大値 (割合) | 29.9 (1.7 % < 2.3 %) | 80.4 (4.5 % > 2.3 %) | 27 < 38 | 66 > 38 |

封口部材の構造解析結果2（最大引張強度時） — — 封口部材の許容歪： **3.3 %**、初期降伏応力： **55 MPa**

下表のように、3,000 N荷重・5,000 N荷重では、共に許容歪内、初期降伏応力内であり、弾性領域内である。以上から、封口部材の初期降伏応力：38 MPaでは許容荷重は3,000 Nとなり、初期降伏応力：55 MPaでは許容荷重は5,000 N以上となる。（理論値と一致）

封口部材の変位・最大主応力（一時降伏応力：55 MPa、荷重：3,000 N、5,000 N）

| 評価項目 | 変位 (μm) | | 最大主応力 (MPa) | |
|-------------|--|---|--|--|
| | 3,000 | 5,000 | 3,000 | 5,000 |
| コンター図 |  |  |  |  |
| 最大値 (割合) | 29.7 (1.7 % < 3.3 %) | 51.1 (2.8 % < 3.3 %) | 28 < 55 | 46 < 55 |

封口部材の物性違いによるカソード端子の構造解析結果

封口部材の物性が異なっても封口部材が弾性域内であれば、カソード端子への応力影響はないと考えられる。しかし、カソード端子単体の解析結果とは異なっていることから、歪量、最大主応力、ミーゼス相当応力の比較解析を実施する。**(単体解析：3,000 N --- 35 MPa、5,000 N --- 59 MPa)**

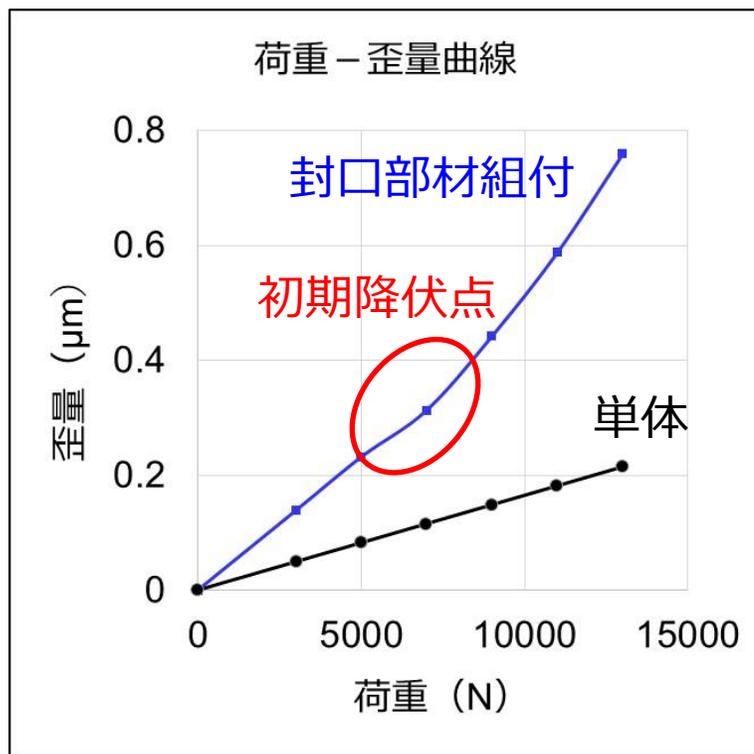
カソード端子のミーゼス相当応力（荷重：3,000 N、5,000 N）

| 封口部材 | 最小引張強度時 | | 最大引張強度時 | |
|-----------|-------------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| | 許容歪：2.3 %、初期降伏応力：38 MPa | | 許容歪：3.3 %、初期降伏応力：55 MPa | |
| 荷重 (N) | 3,000 | 5,000 | 3,000 | 5,000 |
| コンター図 | | | | |
| 最大値 (MPa) | 65 < 162 | 106 < 162 | 65 < 162 | 109 < 162 |

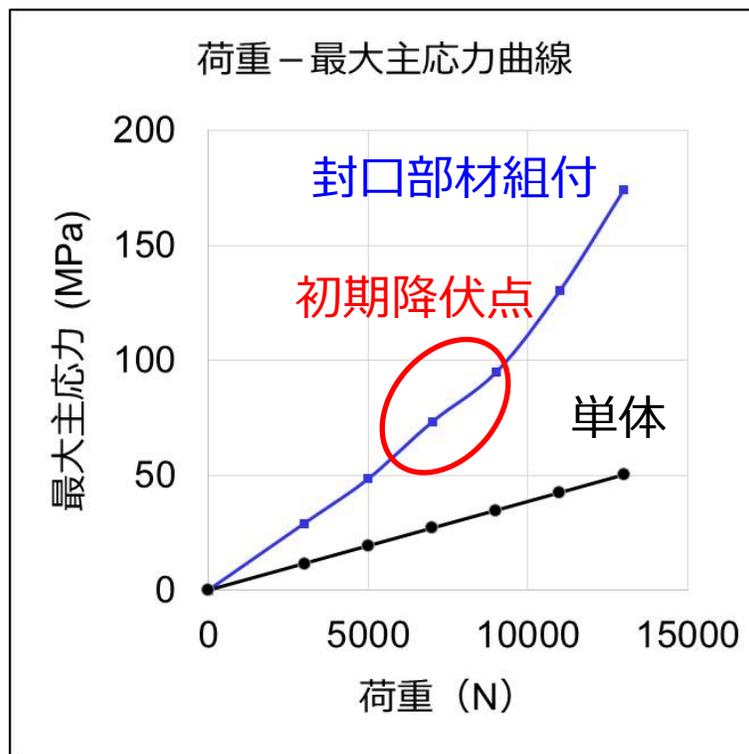
カソード端子比較解析結果（単体・封口部材組付時）

カソード端子単体の解析では、封口部材組付時より歪量、最大主応力、ミーゼス相当応力の全てが低い値となることから、**実物に近づけるためには液系円筒形セルを模擬したモデル化が必要がある**。尚、封口部材の初期降伏応力は55 MPaとした。（38 MPaの場合、5,000 N荷重で封口部材が塑性領域になるため）
クrimp許容荷重は約7,000 N。（カソード端子のミーゼス相当応力がSPCC許容応力：162 MPa以下）

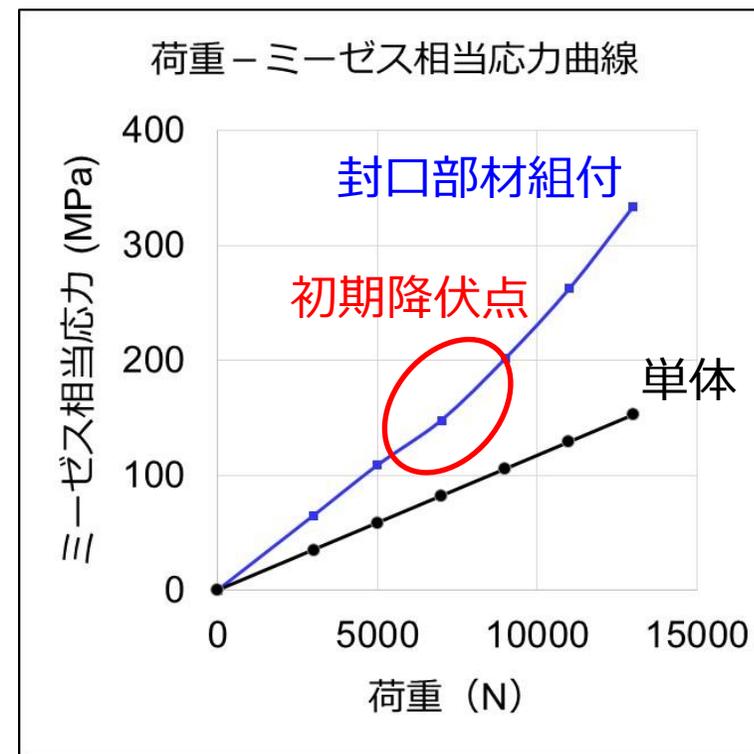
カソード端子の歪量比較



カソード端子の最大主応力比較



カソード端子のミーゼス相当応力比較



結論

カソード端子単体と比べて、封口部材組付時のような実物を模擬した解析は時間を要する。しかし、最大主応力やミーゼス相当応力比較のように、解析結果が異なることがある為、単体解析と実物を模擬した解析とは、使い分けする必要がある。今後は、時間を要する解析データを数多く蓄積し、AI活用することで、**イノベーション**を起こせると考えている。



想像上の液系円筒形セル概略図

★AIとCAEを活用した電池開発プロセス（AI予測）

- (1) 材料設計の自動化と最適化
- (2) 多スケールモデリングによる性能予測
- (3) 製造プロセスの最適化
- (4) 劣化予測と寿命設計の高度化
- (5) 開発サイクルの短縮とコスト削減

AIとCAEの融合により、従来数年かかっていた電池開発が大幅に短縮され、試作・実験コスト削減と迅速な市場投入が可能となる。

次回は「設備関連の応力解析」を掲載予定です。
ぜひ次回もご覧ください。

付録 (1)

- PP (ポリプロピレン) 樹脂のSS Curve (ヤング率 : 1.65GPa、歪硬化率 : 0.25、ポアソン比 : 0.4) を下図に示す。尚、引張強度は圧縮強度と同等であると仮定し、Min. 38 MPa、Max. 55 MPaとする。

