

ゴム製品に関するCAE設計技術の確立

金属・物性科
繊維・高分子科

○工藤弘行
小林慶佑

背景（朝日ラバー ペルチエモジュール）

一般的なペルチエ・モジュールは、
半導体及び配線部をセラミックス材料で挟んだ構造。

これに対して

開発品は、半導体及び配線部をゴム材料で封止したことが特徴。

曲面に取り付けて、使用することができる。



実施内容（企業要望を踏まえたCAEの活用を探索）

これまでにない用途で使用されることが期待されており、
設計変更や顧客に対する用途提案のため、
フレキシブル型サーマルモジュールに関するCAE解析を獲得したい。

・伝熱CAE

ペルチェ効果による吸熱・発熱だけでなく、ジュール発熱や、熱伝導もあり、熱の出入りは複雑。
⇒ ANSYS の「電気－伝熱要素」を利用し、ペルチェ効果、ゼーベック効果の解析を実施

・変形解析CAE

ゴム材料の挙動を表現できる「超弾性材料」モデルを使用
⇒ 引張試験の結果をもとに、カーブフィッティングを実施。

・DIC画像解析による変形測定

CAEの妥当性を検証

・事例解析

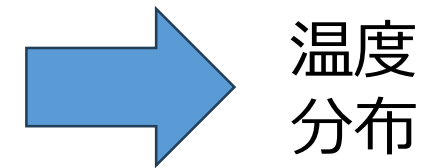
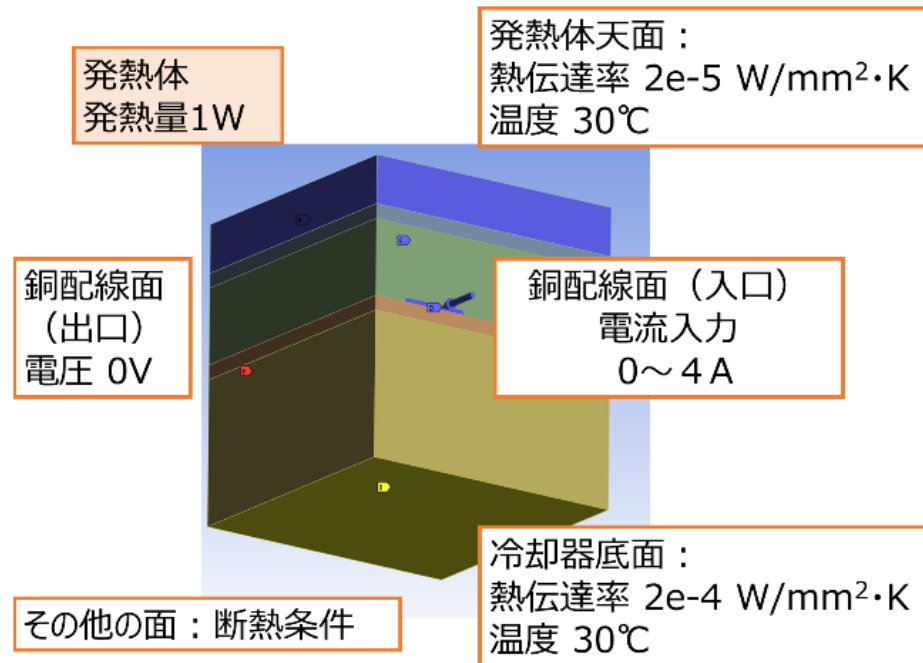
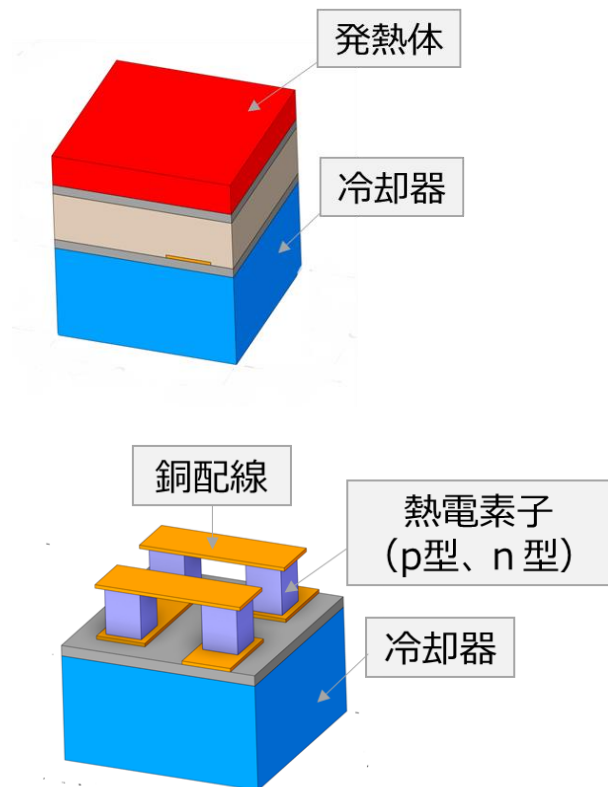
実際の用途提案につながる解析。解析を簡便に行う工夫がポイント

実施内容①a 伝熱CAEモデル（ペルチェ効果）

電気入力条件を与え、温度分布や、熱流を求める問題。
発熱体、冷却器も含むモデルを対象とした。

CAE解析モデル（2対モデル）

境界条件



温度
分布

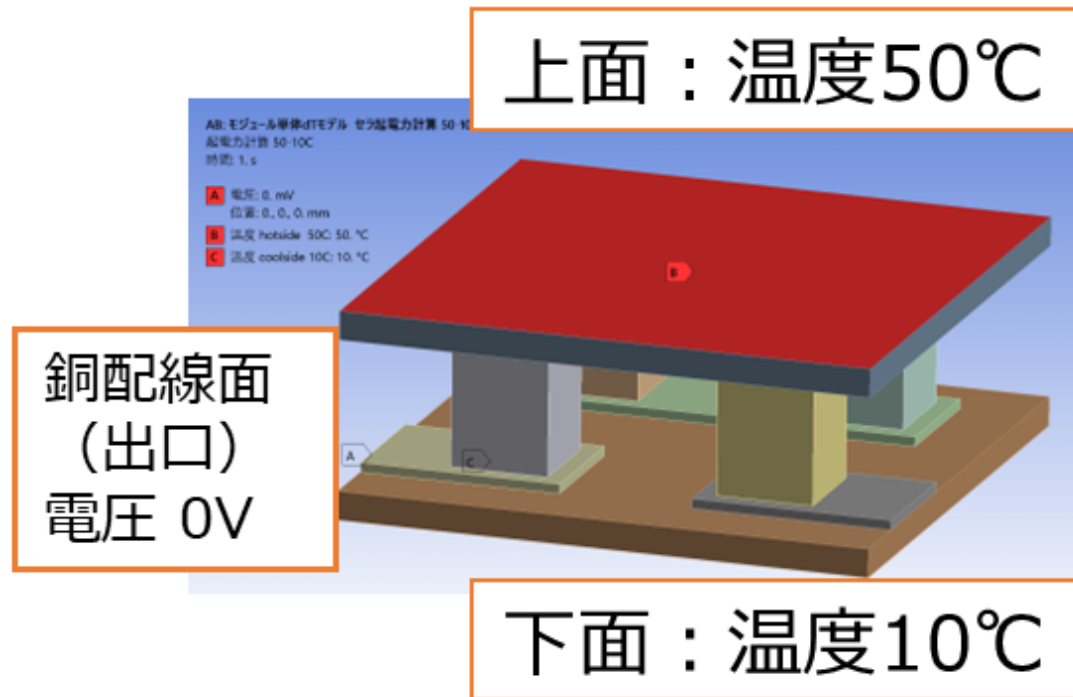
計算結果は
非公開とさせて
いただきます。

実施内容①b 伝熱CAEモデル（ゼーベック効果）

温度入力条件を与え、発電量を求める問題。
発熱体、冷却器を含まないモデルを対象とした。

CAE解析モデル（2対モデル）

境界条件



発電量
(電圧分布)

計算結果は
非公開とさせて
いただきます。

実施内容②a フィットティングによる材料物性の決定

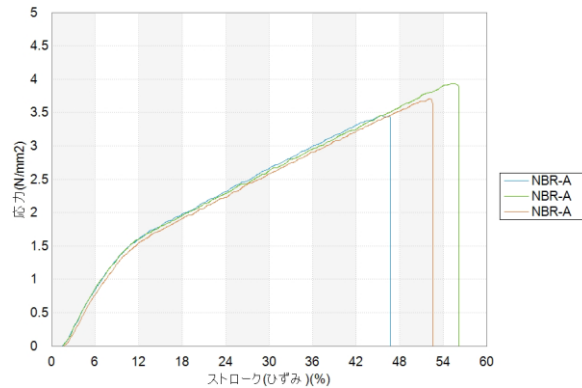
超弾性モデルの共通形式 $[S] = \frac{\partial W}{\partial [E]}$ S 応力、Eひずみ、W ひずみエネルギー関数

Wは、様々な研究者により提案されており、10個程度が定着している。これを材料構成式と呼ぶ。

Mooney-Rivlin 2パラメータ・モデルは、次式のとおり

$$W = C_{10}(\bar{I}_1 - 3) + C_{01}(\bar{I}_2 - 3) + \frac{1}{d}(J - 1)^2$$

C₁₀、C₀₁、dの3つが、入力するパラメータ

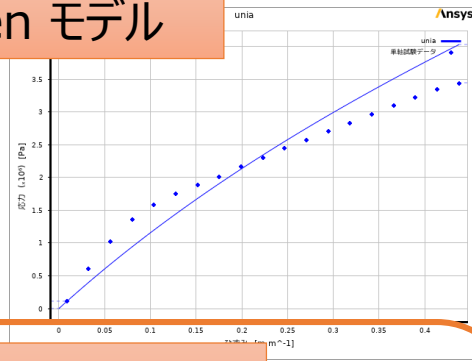


どのモデル、材料構成式が妥当か？
また、パラメータはどの数値が妥当か？
を決定するため、カーブフィッティングを行う。

複数のモデルで計算し、試行錯誤的に最適なものを選ぶことが一般的。

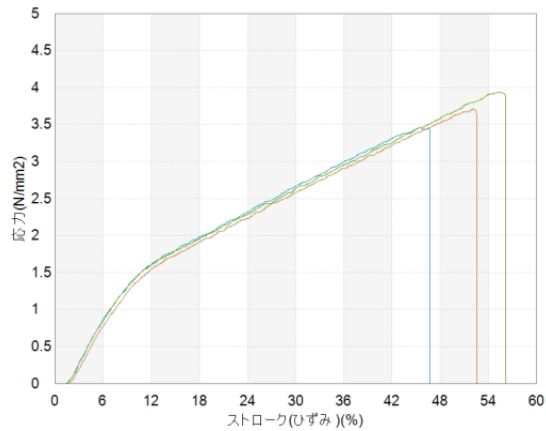
結果②a カーブフィッティング結果

1次 Ogden モデル

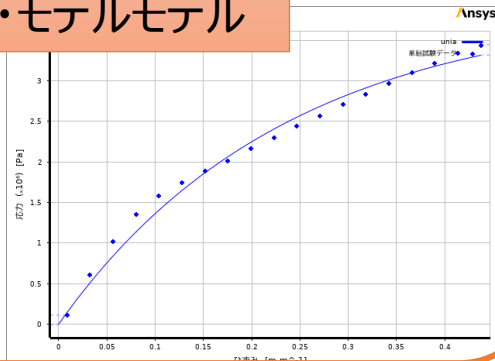


点線が実験。実線がCAE。
両者の合致の程度を判断する。

NBR材の応力-ひずみグラフ



Mooney-Rivlin
2パラメータ・モデルモデル

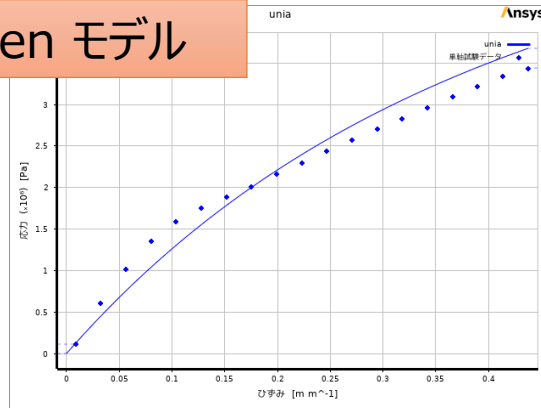


最も合致する

Mooney – Rivlinモデルを採用
決定したパラメータは以下の通り

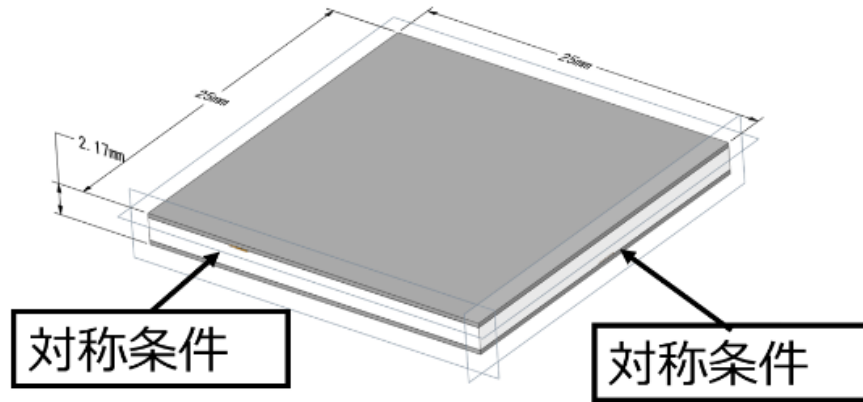
2パラメータ Mooney-Rivlin		
材料定数 C10	-9.3092E+06	Pa
材料定数 C01	1.4259E+07	Pa
非圧縮性パラメータ D1	0	Pa ⁻¹

1次 Ogden モデル



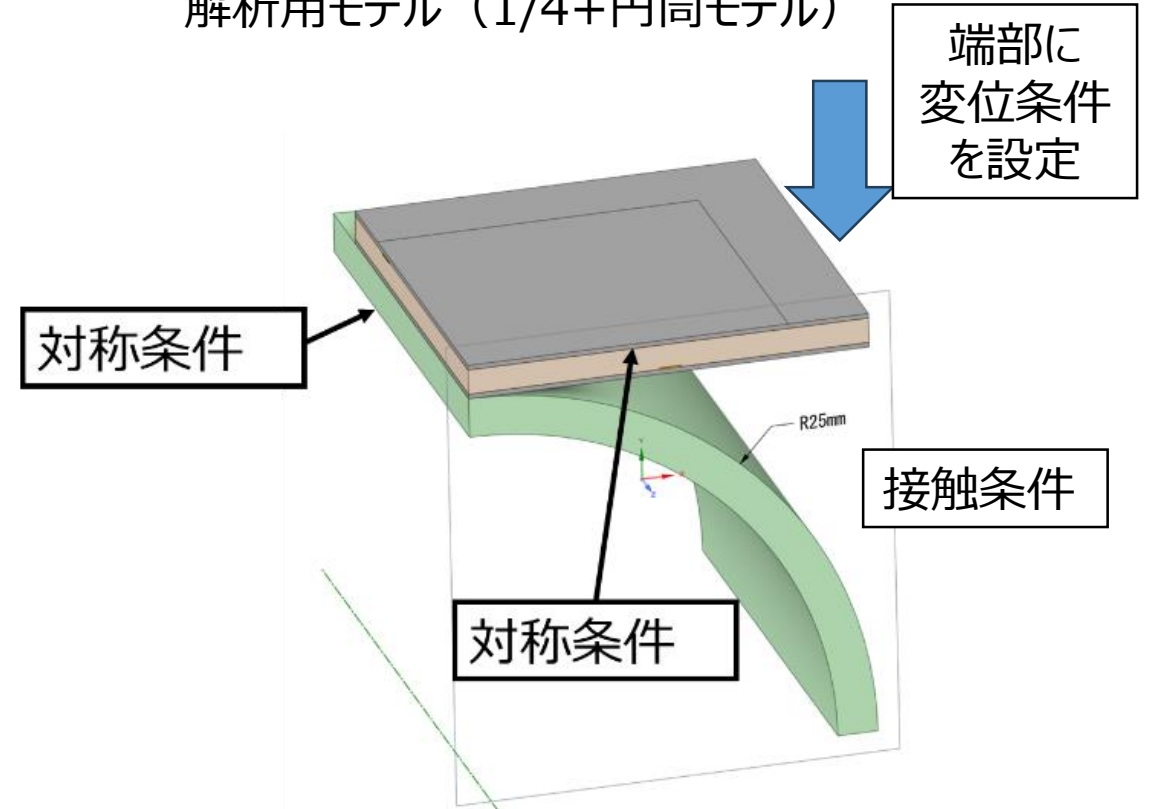
実施内容②b 変形CAEモデル（湾曲変形）

モジュール1/4モデル



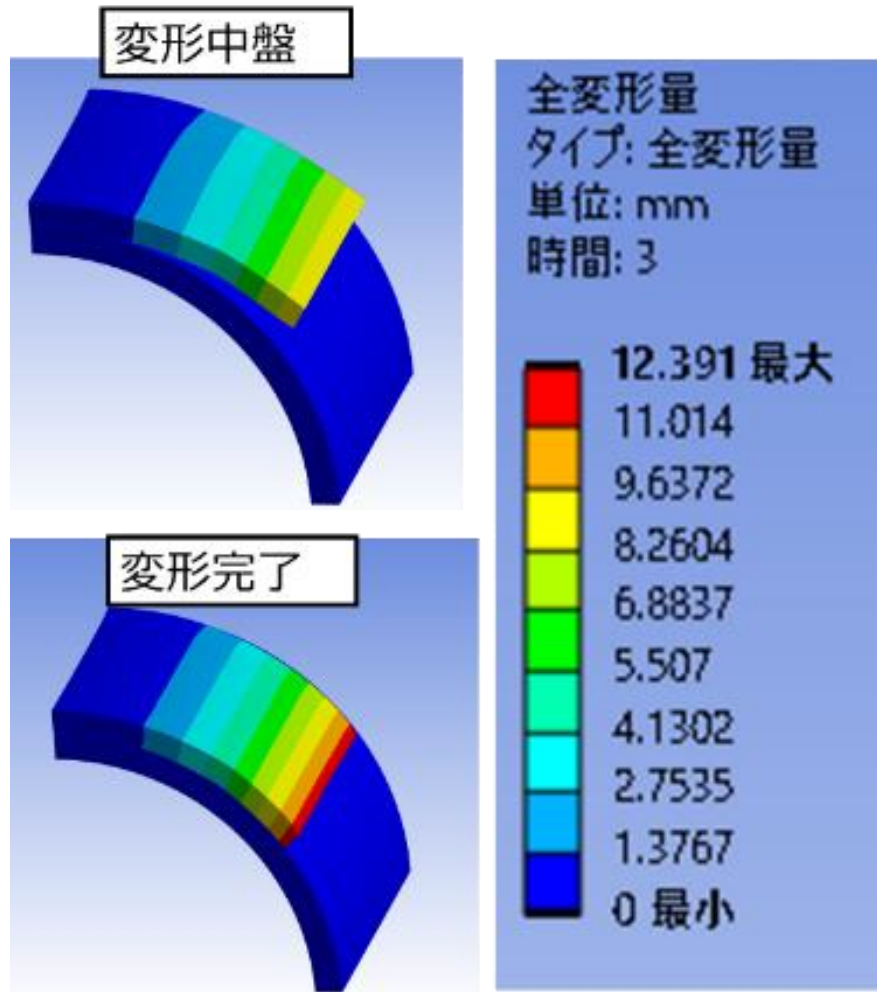
製品の対称性を踏まえ、1/4モデルとする。

解析用モデル（1/4+円筒モデル）

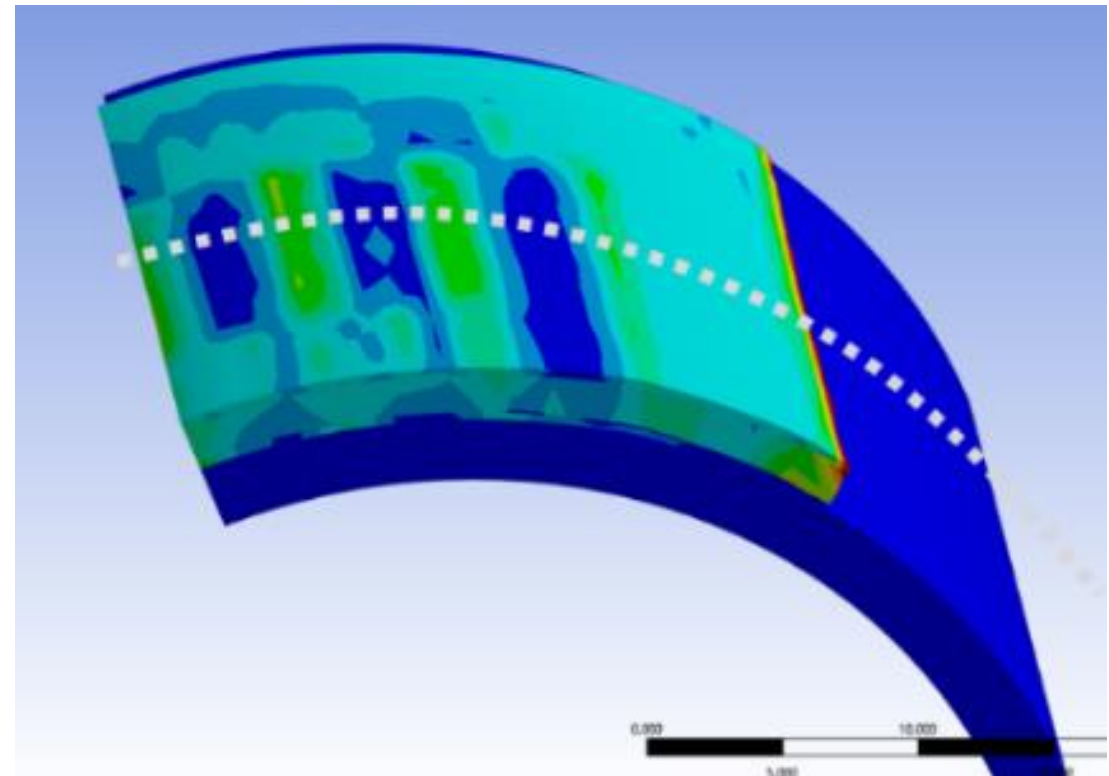


製品の使用法を踏まえ、R25mmの円筒面にモジュール中央部を接触させた後、モジュールの端部に変位を与える条件とする。

結果②b 変形CAE（湾曲変形）



狙い通りを変形を与えることができた。

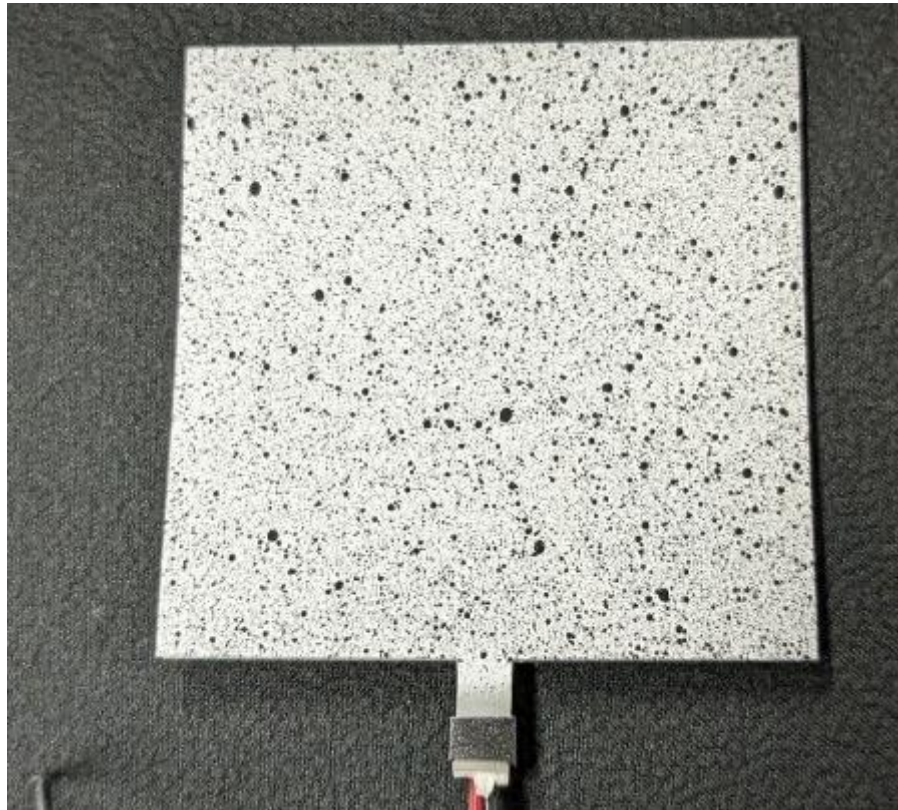


内部構造に由来する周期的なひずみ分布が生じた。

実施内容②c DIC画像処理による変形測定

DIC 画像処理 を用いて、製品の湾曲変形時の変形測定を実施し、CAEの妥当性を検証した。

白黒ランダムスプレー塗布したモジュール



DIC撮影の様子



測定サンプル (最終状態)

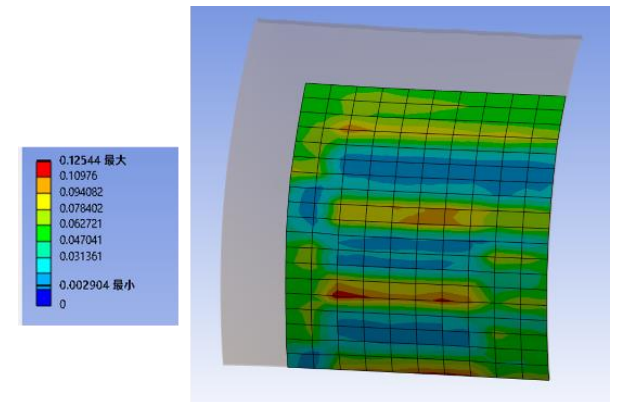
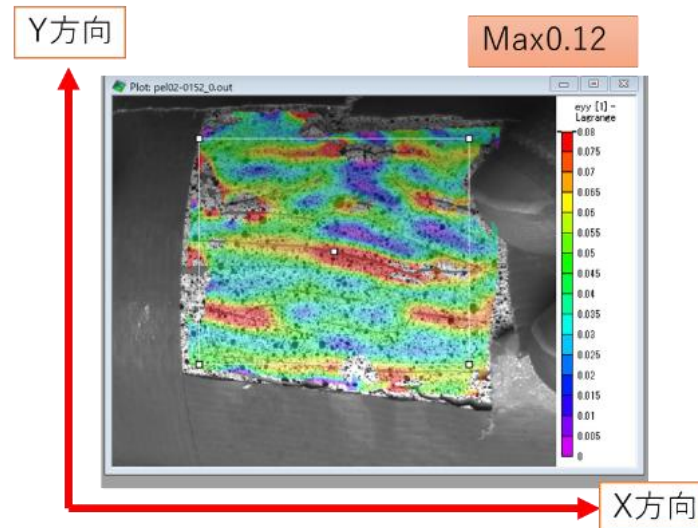
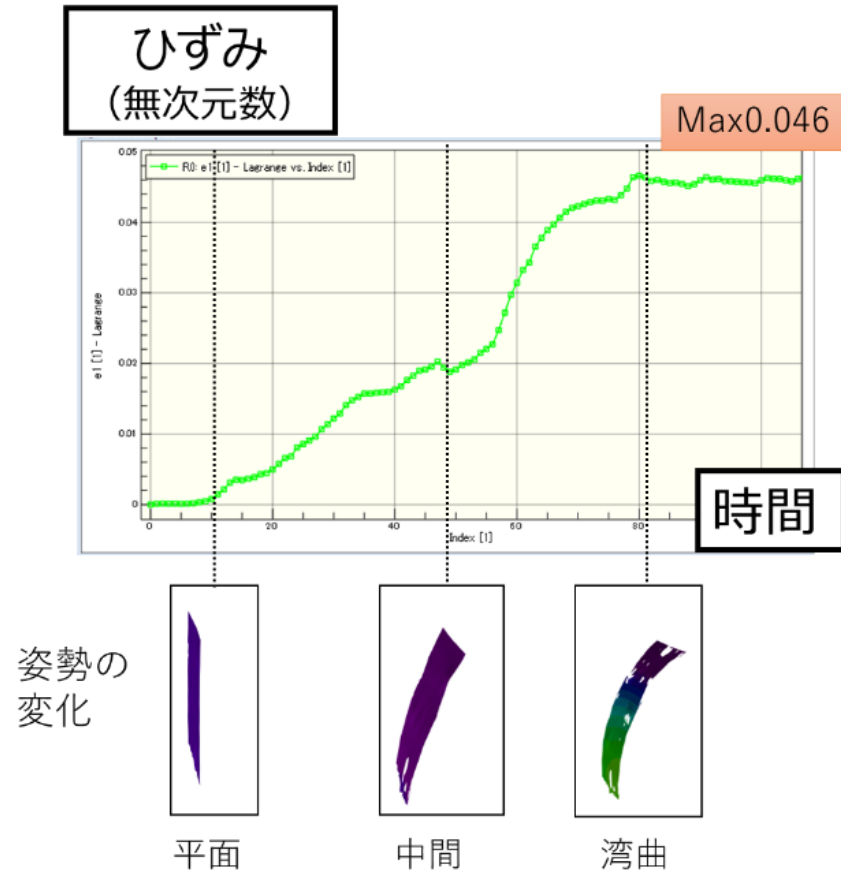


結果②c DIC画像処理による変形測定

湾曲変形中のDIC測定結果

湾曲時のひずみ分布

CAE結果

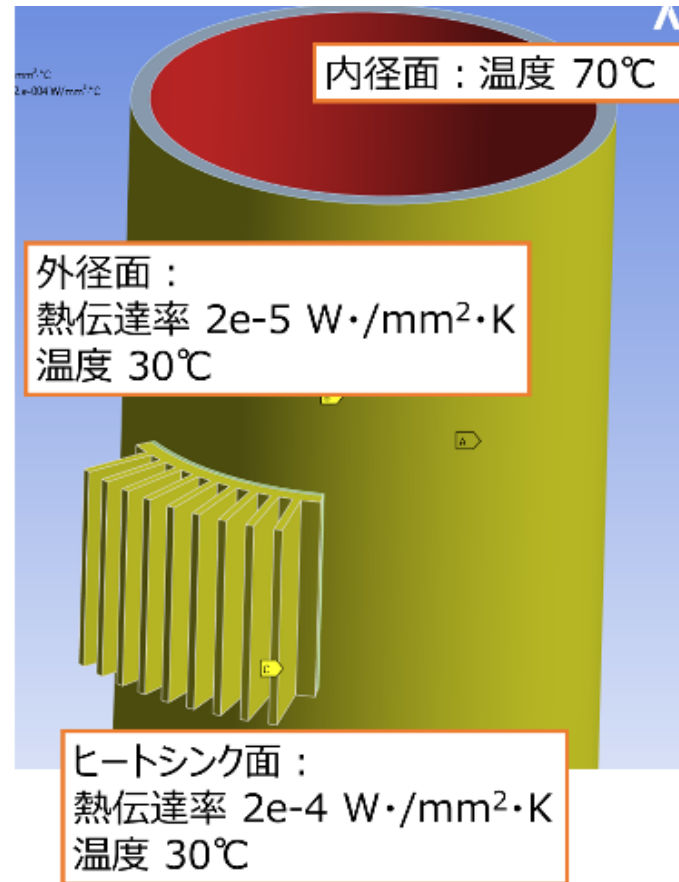
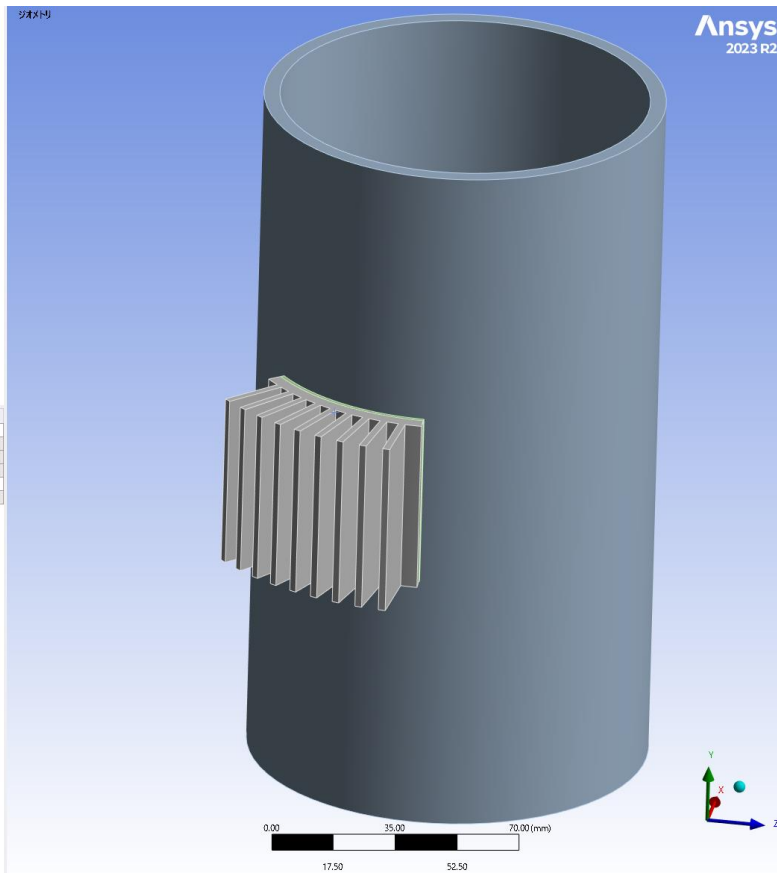


CAEとDICは、ほぼ同じような結果となり、
CAEは概ね妥当と考えてよい。

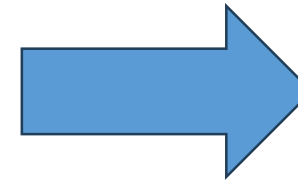
実施内容③ 事例解析

全体モデルでは、モジュールを均質なシートとして扱い、温度差を求める。
ゼーベック効果モデルでは、上下面の温度差から、起電力を求める。

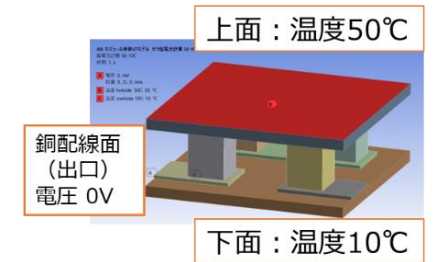
全体モデル



温度



ゼーベック効果
モデル

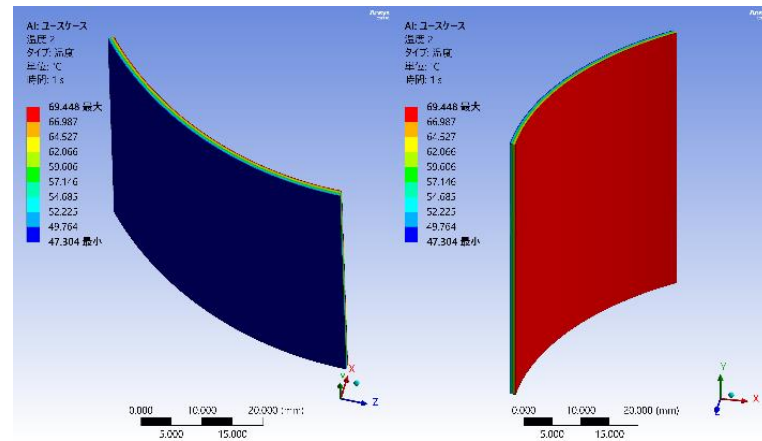
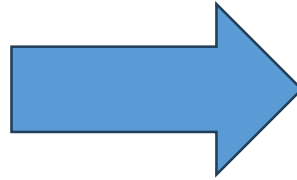
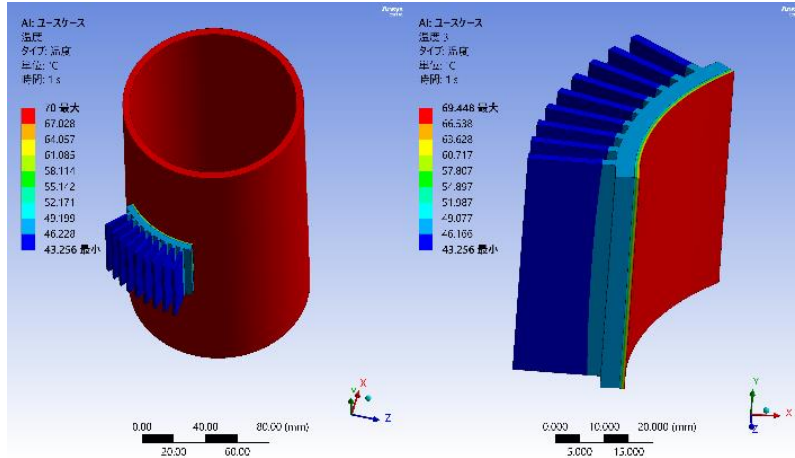


温度⇒起電力

結果③ 事例解析

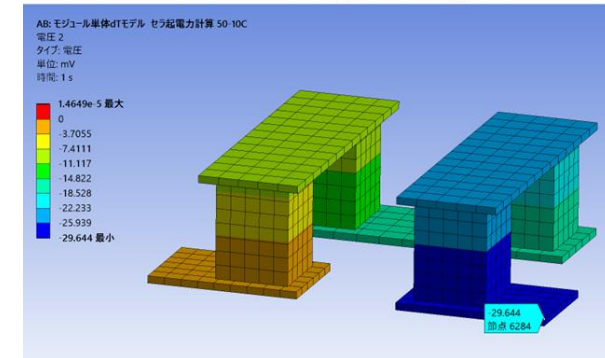
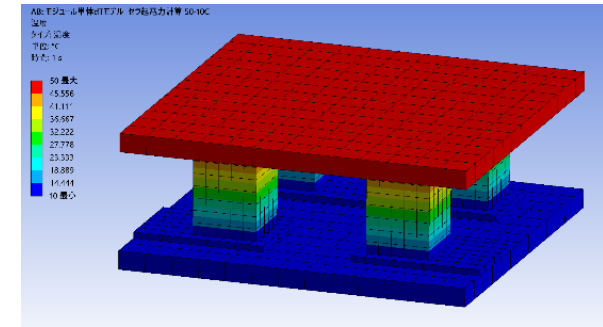
簡単に計算できることを確認

全体モデル



外面 47.3°C
内面 69.4°C
 $\Delta T = 22.1^\circ\text{C}$

ゼーベック効果
モデル



この数値にモジュールの対数（ついで）
を掛けて起電力を算出

まとめ

ゴム製のペルチェモジュールに必要なCAE技術を検討し、実用性と妥当性を確認した。

・伝熱CAE

ANSYS の「電気－伝熱要素」を利用
ペルチェ効果、ゼーベック効果 とともにOK

・変形解析CAE

超弾性材料のカーブフィッティング計算を習得

・事例解析

うまい工夫ができた。⇒ 今後バリエーションを増やしていく。