

ELDC

MEMS設計のための 構造最適化とマルチフィジックス解析技術のご紹介

- ✓ 最適化で新規性・意匠性の高いデザインを実現
- ✓ シミュレーションの積極活用で設計・試作のトライ＆エラーを低減

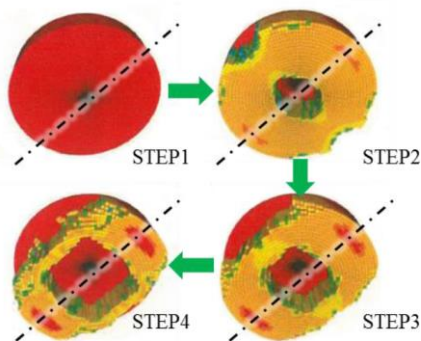
エレメンタル デザイン & コンサルティング 株式会社
URL: www.eldc.co.jp Email: Sales@eldc.co.jp
TEL: 03-6869-7874 FAX: 03-6893-3931

MEMS設計のためのCAE技術

高度なシミュレーションの活用により試行錯誤を低減し、開発を効率化

位相最適化 (トポロジ最適化)

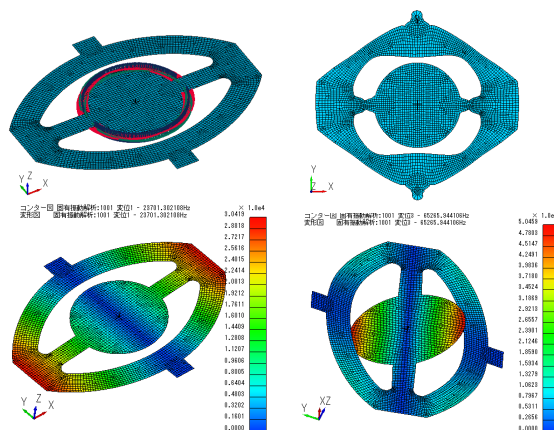
- ✓ 自動で不要な部分を削除し
斬新なアイデア取得
- ✓ 3Dプリンタとも相性抜群



MEMSミラーのリブ設計

形状最適化

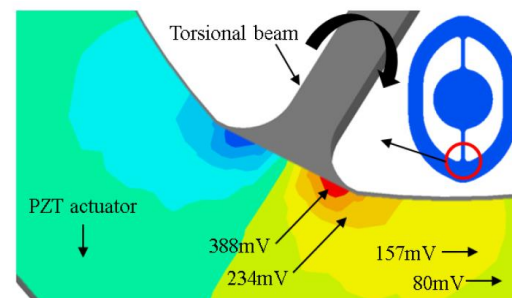
- ✓ 固有振動数の改善、剛性
UP・応力低減が可能
- ✓ 自動で外形形状を変更



固有値を目標に合せ込み

マルチフィジックス解析

- ✓ 電場・磁場・圧電効果を考慮
した高精度設計
- ✓ パラメトリック検討にも対応



パラメトリック検討による応力低減

【事例 1】 位相最適化とマルチフィジックス解析

位相最適化で斬新な形状を導き、マルチフィジックスのプラスタで高精度設計が可能

MEMSミラー

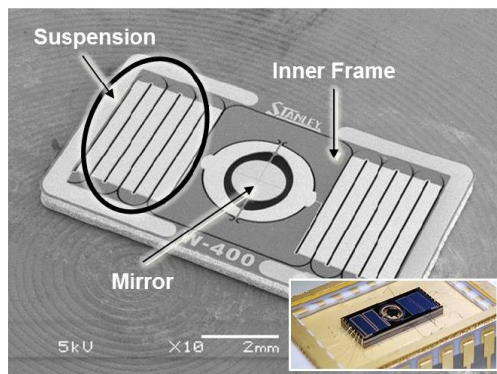


Figure 1. Biaxial piezoelectric MEMS scanning mirror developed by the PZT process on an SOI wafer.

【構想設計】 ノンパラメトリック最適化

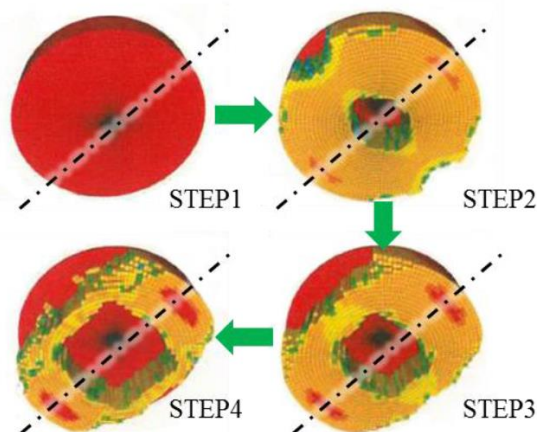


Figure 2. Process of non-parametric topological simulation to find an optimized design for the rib structure on the backside of the mirror to suppress the dynamic deformation.

【詳細設計】 マルチフィジックス解析

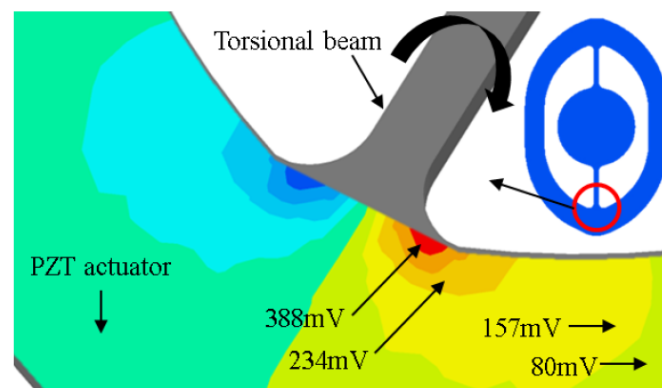


Figure 3. Result of strong-coupled analysis on piezoelectric effect to find a spot of large polarization potential due to the mechanical strain, where a sensing electrode is placed to pick up the scanner's deflection.

(出展) Ikegami, Keiichi; Koyama, Takaaki; Saito, Takao; Yasuda, Yoshiaki; Toshiyoshi, Hiroshi, "A biaxial piezoelectric MEMS scanning mirror and its application to pico-projectors," Optical MEMS and Nanophotonics (OMN), 2014 International Conference on , vol., no., pp.95,96, 17-21 Aug. 2014

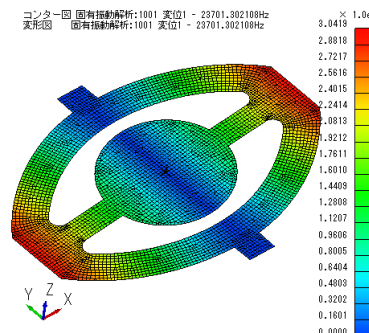
東京大学・スタンレー電気(株)の共同研究

【事例 2】 形状最適化による固有振動数の合わせ込み

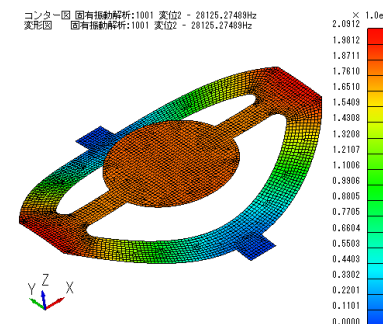
人手では困難な設計が、最適化により可能です。

（課題） 1 ～ 4 次の固有振動数を、同時に目標値に合わせる。

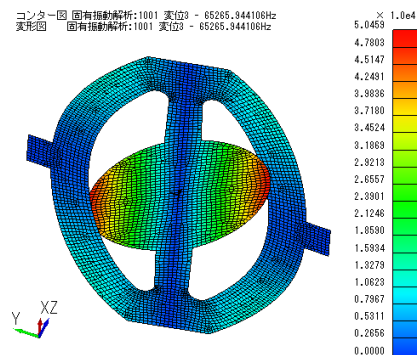
モード	初期形状	設計目標
1	23,866	25,000
2	28,291	30,000
3	65,777	70,000
4	70,506	80,000
5	103,627	—



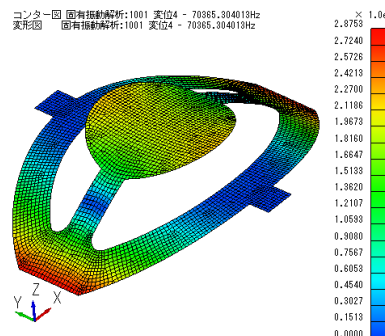
1 次モード
(23866Hz)



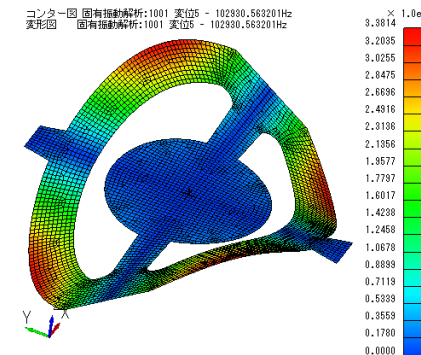
2 次モード
(28291Hz)



3 次モード
(65777Hz)



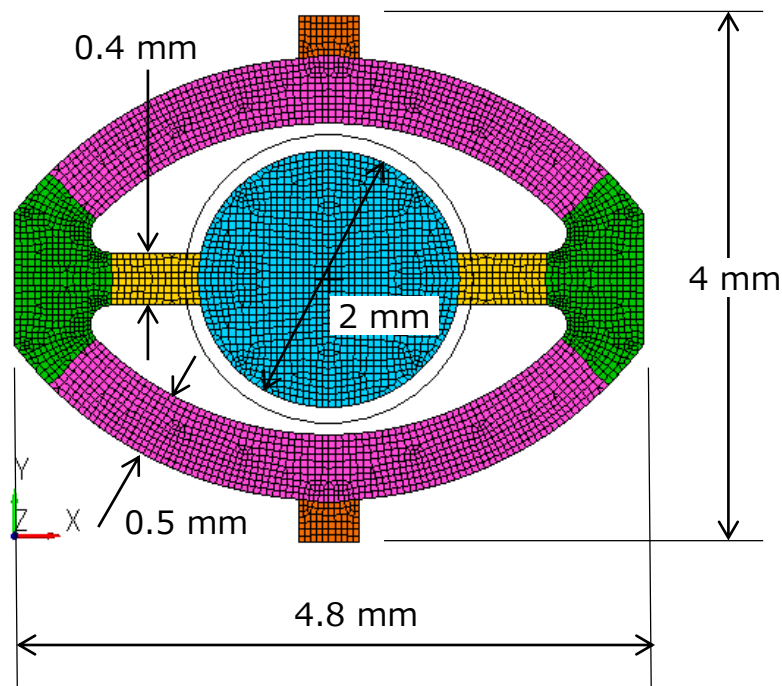
4 次モード
(70506Hz)



5 次モード
(103627Hz)

検討条件

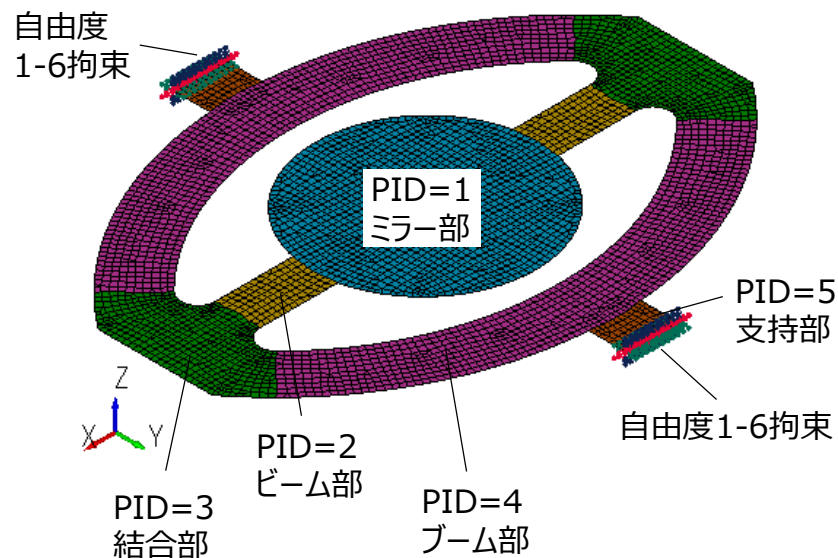
FEMモデルを作成し、最適化を行います。



$E = 160,000 \text{ MPa}$ 板厚 $t = 0.2 \text{ mm}$
 $\nu = 0.33$
 $\rho = 2.3\text{E-}9 \text{ ton/mm}^3$

寸法と材料

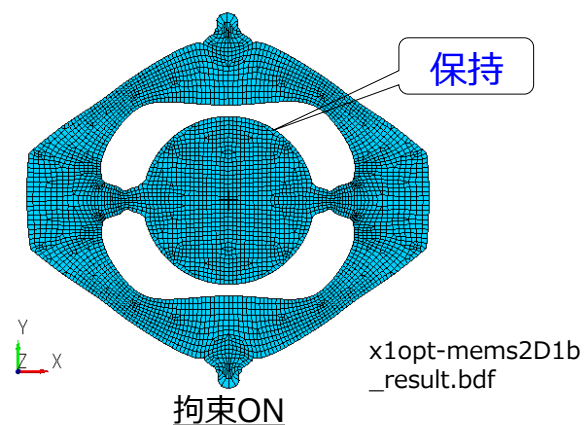
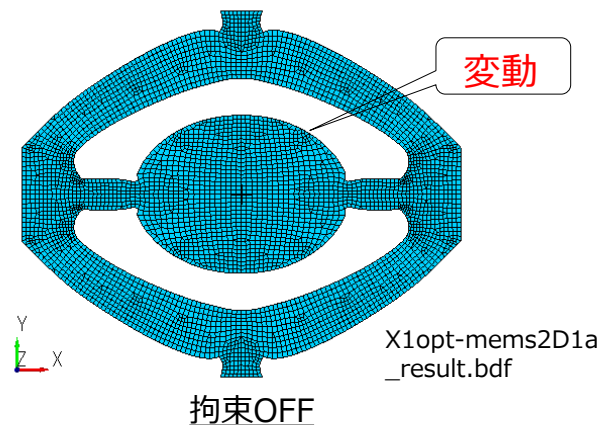
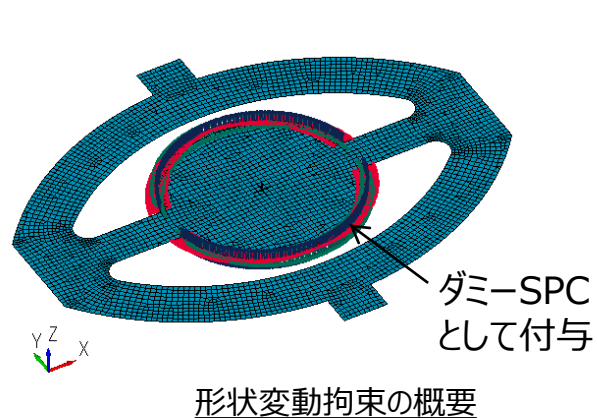
今回の最適化は、体積一定で、固有振動数を目標値に収束させるように条件を設定した。
1ステップ当たりの計算時間は約1分。
計算マシンのIntel Core i7*4CPU・メモリ4GBを使用。



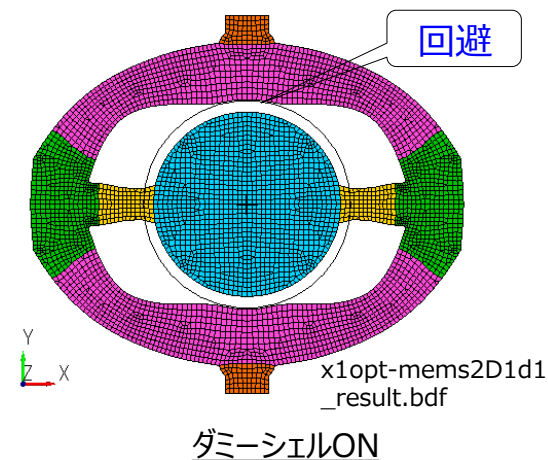
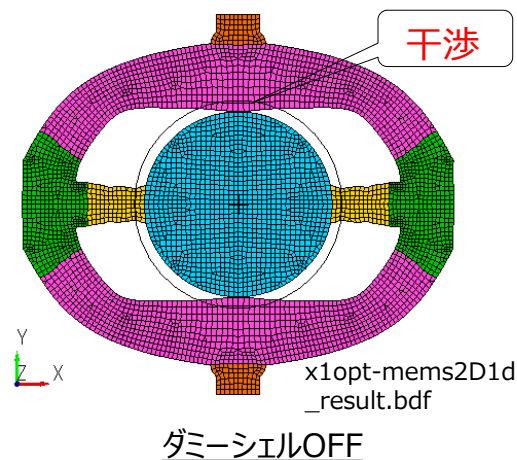
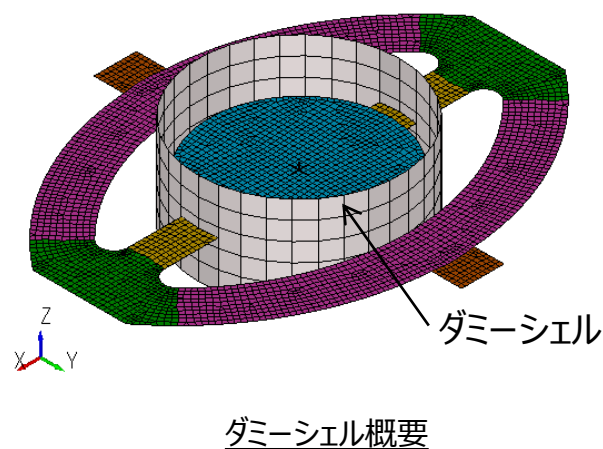
節点：13695、要素：シェル2次（4辺形：4300、三角形：68）
板厚分布の最適化もできるように部位毎にPIDで区分

FEMモデル概要

製造に必要な条件を設定して、最適化を行いました。



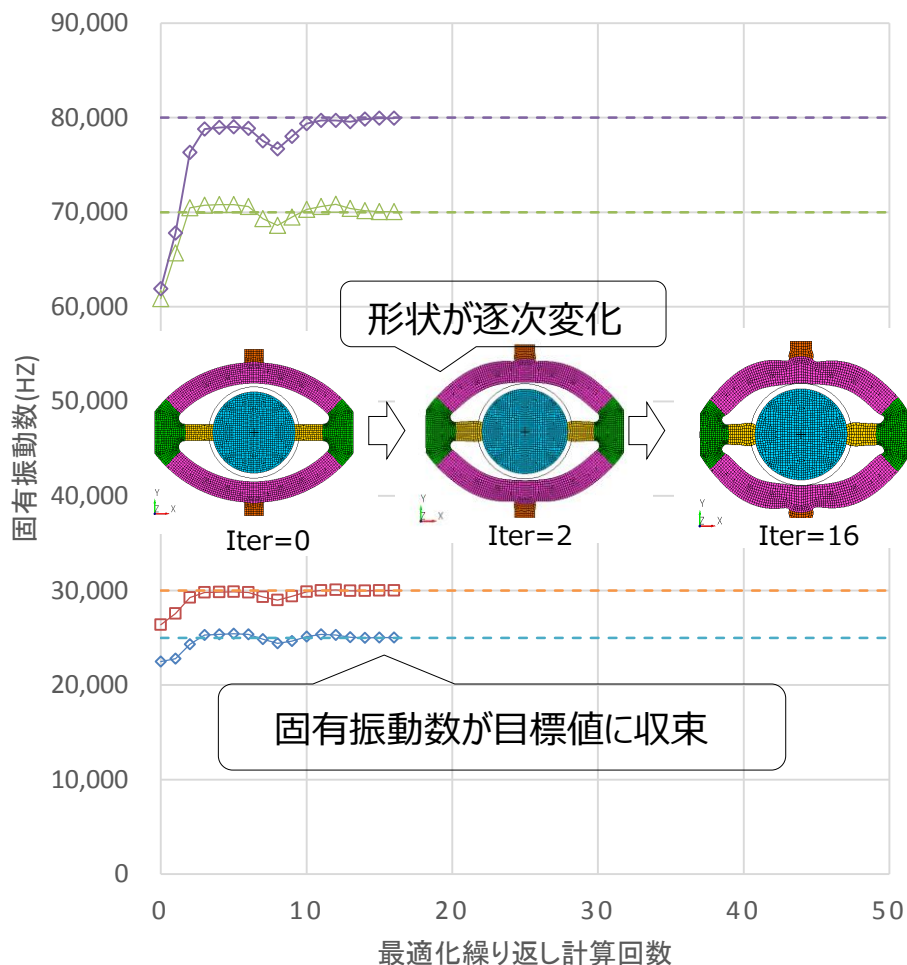
図：形状変動拘束の効果



図：干渉防止ダミーシェルの効果

ケース 1：板厚一定、固有振動数を最適化

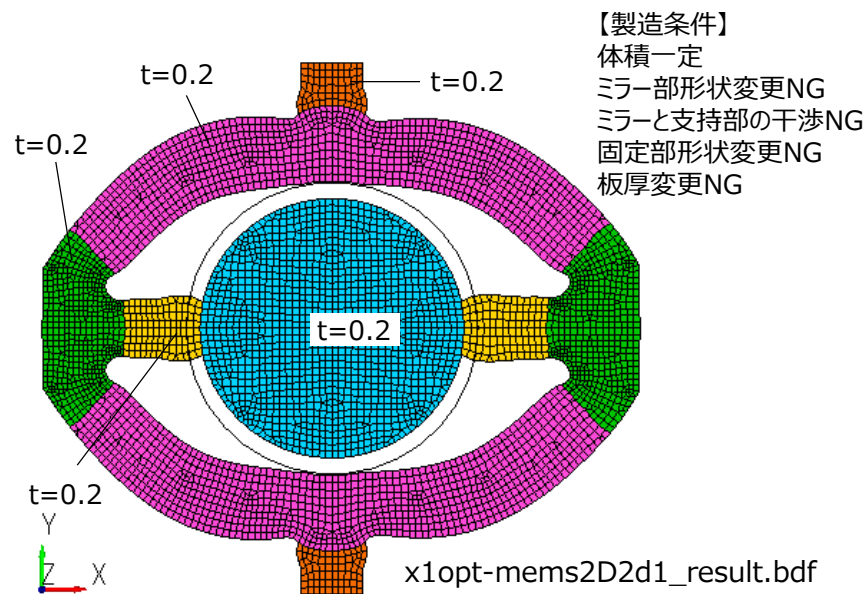
固有振動数が目標値に収束するように、解析と形状変更を繰り返します。



図：最適化による固有振動数と形状の変化

表：固有振動数の比較

モード	初期形状	設計目標	最適化結果	誤差	可否
1	23,866	25,000	25,003	0.01%	○
2	28,291	30,000	29,998	-0.01%	○
3	65,777	70,000	70,018	0.03%	○
4	70,506	80,000	79,992	-0.01%	○
5	103,627	-	106,663	-	-



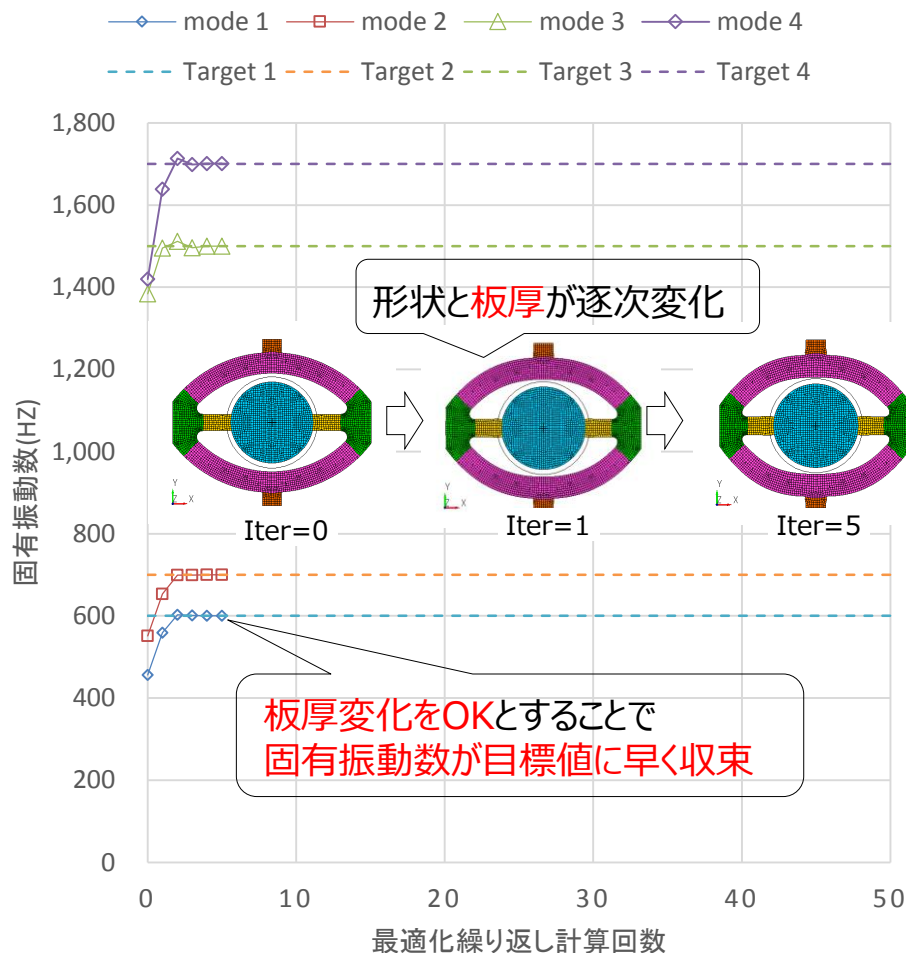
図：最適化結果形状 (Iter=16)

ケース2：板厚変動可、固有振動数を最適化

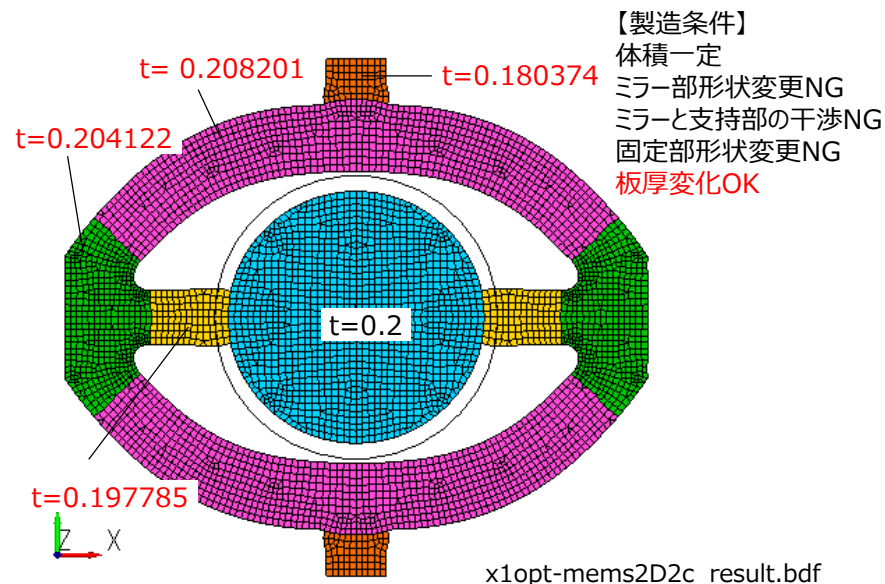
外形形状と同時に板厚も最適化し、早い段階で収束しました。

表：固有振動数の比較

モード	初期形状	設計目標	最適化結果	誤差	可否
1	23,866	25,000	25,011	0.04%	○
2	28,291	30,000	30,004	0.01%	○
3	65,777	70,000	70,020	0.03%	○
4	70,506	80,000	80,005	0.01%	○
5	103,627	-	108,111	-	-



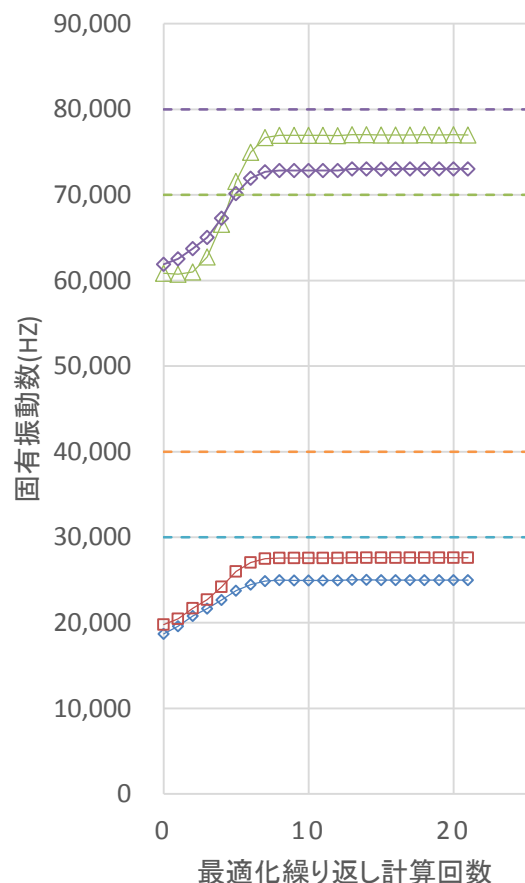
図：最適化による固有振動数と形状の変化



図：最適化結果形状 (Iter=5)

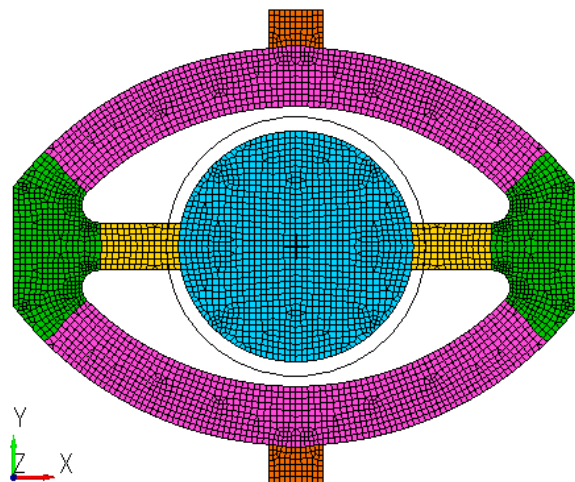
ケース3：目標値を大幅アップ（最適解が無い場合）

最適解が無い領域では、固有値は目標値に到達せず一定値に収束しました。

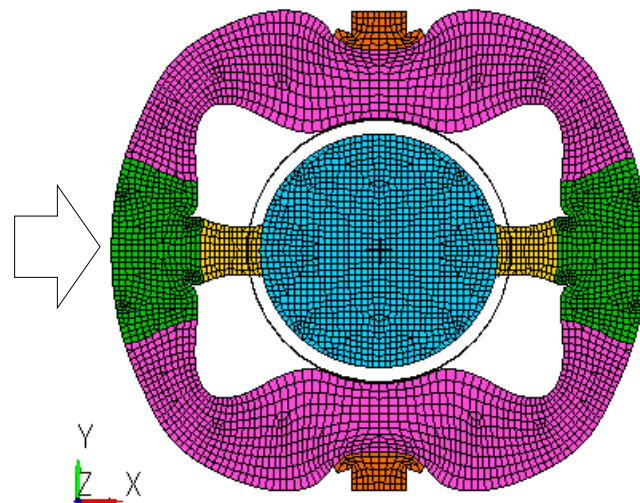


モード	初期形状	旧設計目標	新設計目標
1	23,866	25,000	30,000
2	28,291	30,000	40,000
3	65,777	70,000	70,000
4	70,506	80,000	80,000
5	103,627	—	—

【製造条件】
ミラー部形状変更NG
ミラーと支持部の干渉NG
固定部形状変更NG
板厚変更NG



図：最適化初期形状



x1opt-mems2D2d7_result.bdf

図：最適化結果形状（Iter=22）

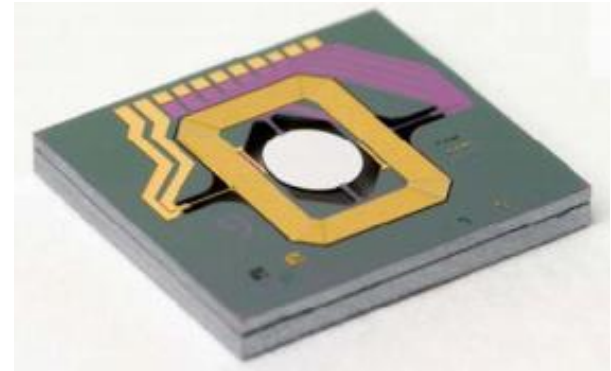
図：最適化による固有振動数の変化

【事例 3】マルチフィジックス解析のパラメトリック検討

Micro-mirror Design

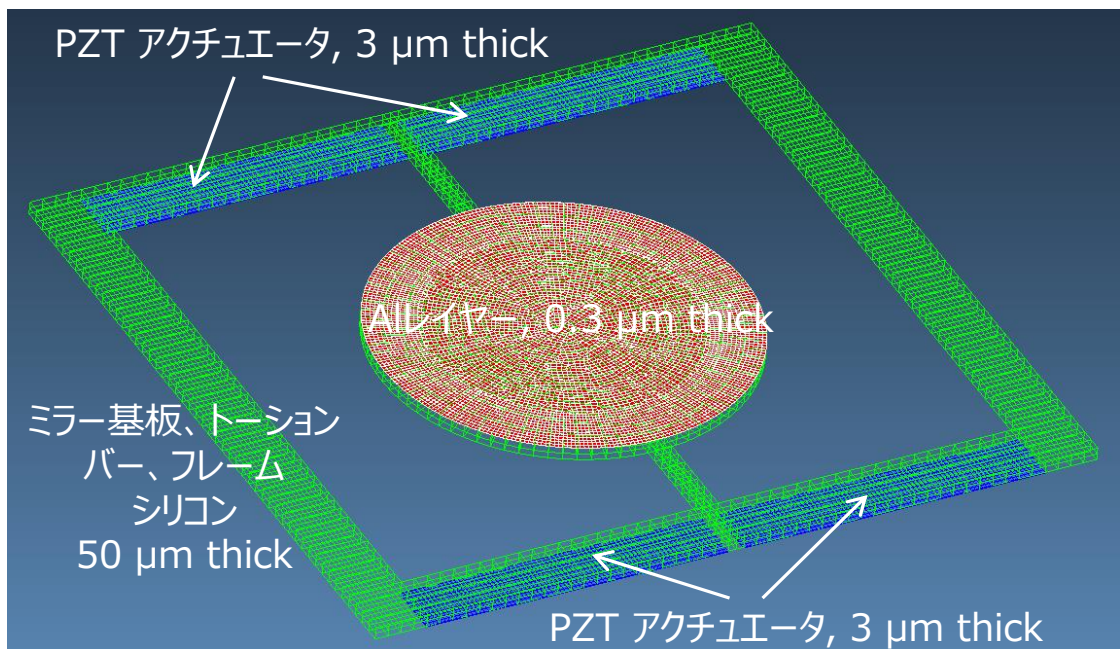
Using

Piezoelectric
Capabilities in OOFELIE



パラメトリック検討用モデル作成

圧電体の特性を付与し、外枠の形状をパラメトリック検討対象としました。



- ✓ パラメトリックモデル
- ✓ 残留応力を定義可能

材料特性の定義

The screenshot shows the "Define" tab of a material definition dialog box. The "Name" field is set to "Piezoelectric". The "Material" dropdown menu is set to "Piezoelectric". The "Crystal type" is set to "Hexagonal". The "Data entering form" is set to "Strain-Char". The "Mass density" is set to 0. The "Elastic compliance" values (S_{11} , S_{21} , S_{31} , S_{33} , S_{44}) are all set to 0. The "Strain piezo coupling" values (d_{31} , d_{33} , d_{14} , d_{15}) are all set to 0. A red box highlights the "Strain piezo coupling" section.

Crystal type	Hexagonal
Data entering form	Strain-Char
Mass density	0
Elastic compliance (S_{11})	0
Elastic compliance (S_{21})	0
Elastic compliance (S_{31})	0
Elastic compliance (S_{33})	0
Elastic compliance (S_{44})	0
Strain piezo coupling (d_{31})	0
Strain piezo coupling (d_{33})	0
Strain piezo coupling (d_{14})	0
Strain piezo coupling (d_{15})	0

圧電体の特性を設定

光学設計ソフトとマルチフィジックス解析の連携

ZEMAXとパラメトリック検討により動的応答時の挙動を最適化

モーダル解析

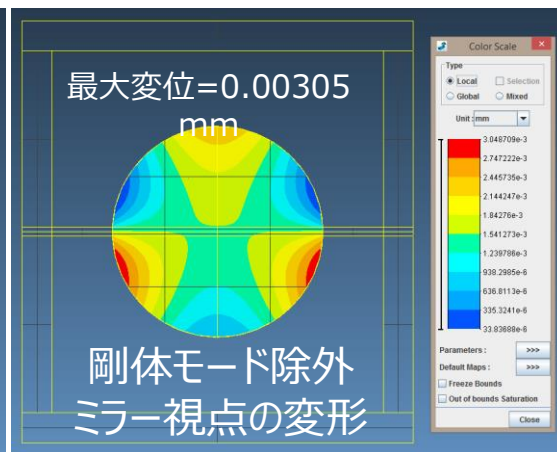
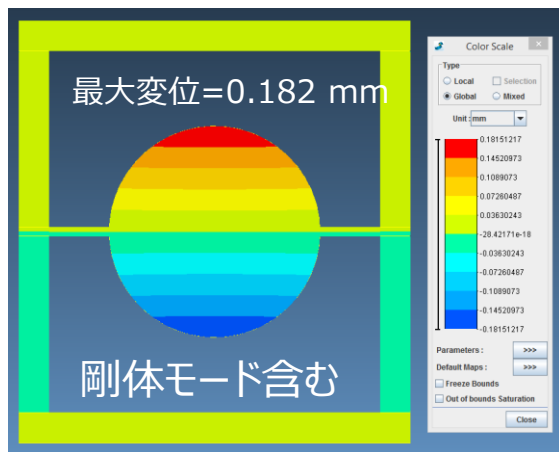
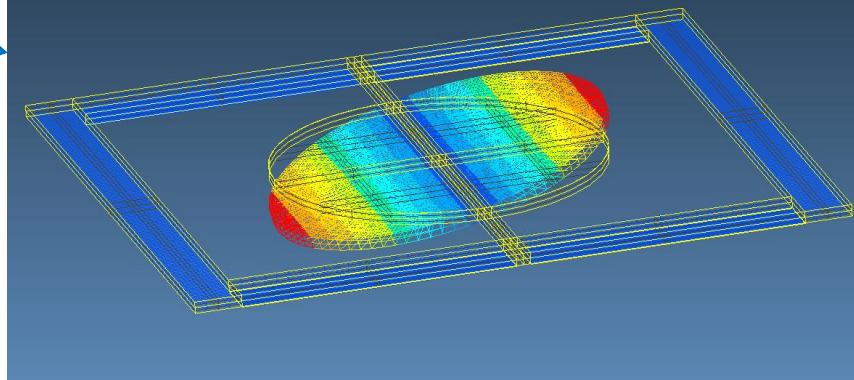


周波数応答解析

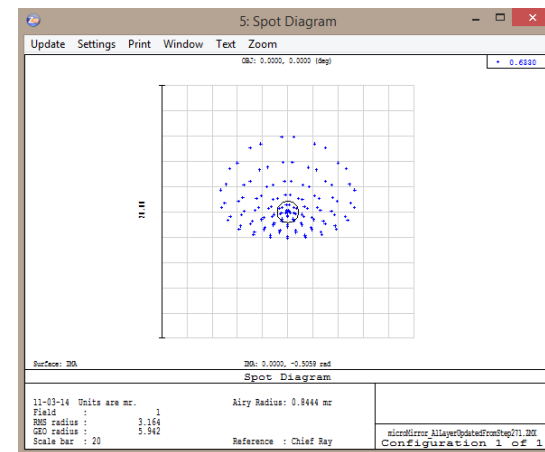


動的解析 (ZEMAXとの連携):

ミラー回転モード: 15997 Hz



ZEMAXへデータ出力



構造最適化ソフト：OPTISHAPE-TS

内臓ソルバの解析と最適化により、軽量化、剛性・応力・固有振動数の改善を実現

①力法・形状最適化

形状変動が位相最適化レベル

節点移動により
表面形状を変化
(特許技術)

干渉を回避しつつ剛性UP軽量化

ソリッドだけでなくシェルにも対応
板厚・高さ・配置の最適化

全て板厚1mm

②位相（トポロジ）最適化

不要部位のヤング率を
ゼロに漸減し形状導出

構想検討
骨格・リブ検討に有用

位相最適化とノンパラメ
トリック形状最適化の
両方の特性を兼ね備え
た手法

③レベルセット法 形状最適化

体積を制約し
固有振動数(7~10次)を最大化

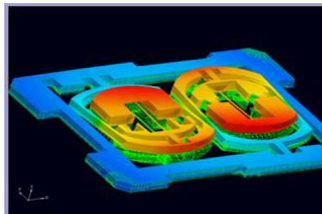
マルチフィジックス解析ソフト : OOFELIE::Multiphysics

大規模モデルを取扱いできる強連成FEM/BEM解析ソフト
強連成の設定は、ダイアログボックスで物理場を選択のみで、自動設定

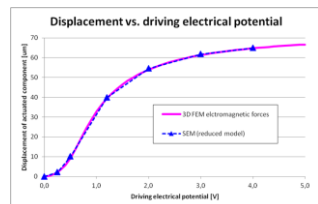
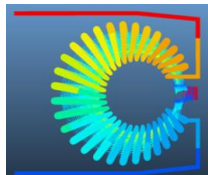
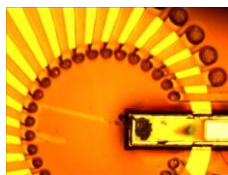
①MEMS・光学設計



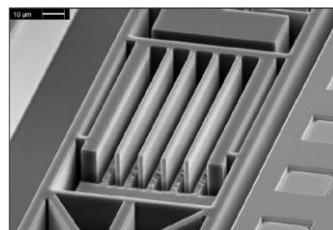
加速度計（圧電効果）



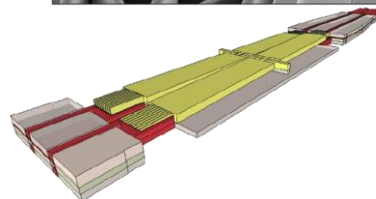
空間電位分布（BEM）



電磁MEMS
（電磁場解析とモデル縮約）



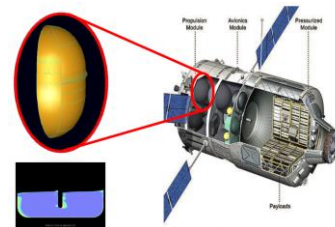
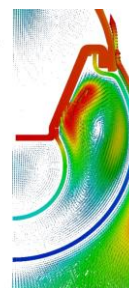
くし歯解析（静電効果）



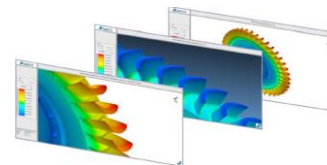
②流体熱構造連成



LED熱設計



燃料タンクのスロッシング



タービンブレード

③外部ソフトと連携

Zemax

光学設計ソフト

SoftMEMS

Bringing MEMS to the Mainstream

MEMS設計ソフト



流体解析ソフト

Moldex3D
MOLDING INNOVATION

樹脂流動解析ソフト

お問い合わせ先

ご相談は無料です。

ご興味を頂けましたら下記までご連絡をお願いします。

弊社担当からご連絡させて頂き、さらに詳しい情報をお届けします。

弊社ビジネス一覧

1 設計サービス



- ☒ 軽量化・構造最適設計
- ☐ CFRP複合材の活用
- ☒ MEMS・光学設計
- ☐ 熱流体・構造連成解析

2 ソフト販売



- ☐ TransMagic (CAD/PMI表示・変換)
- ☒ OPTISHAPE-TS (最適化)
- ☒ OOFELIE (マルチフィジックス解析)
- ☐ IHS Goldfire (検索システム)

3 マーケティング



- ☐ コンサルティング
- ☐ 一括請負
- ☐ PR Support

エレメンタル デザイン & コンサルティング 株式会社

URL: www.eldc.co.jp Email: Sales@eldc.co.jp

〒107-0062 東京都港区南青山 2-2-15 ウィン青山942

TEL: 03-6869-7874 FAX: 03-6893-3931