平成28年11月14日

SIP革新的設計生産技術
公開シンポジウム2016

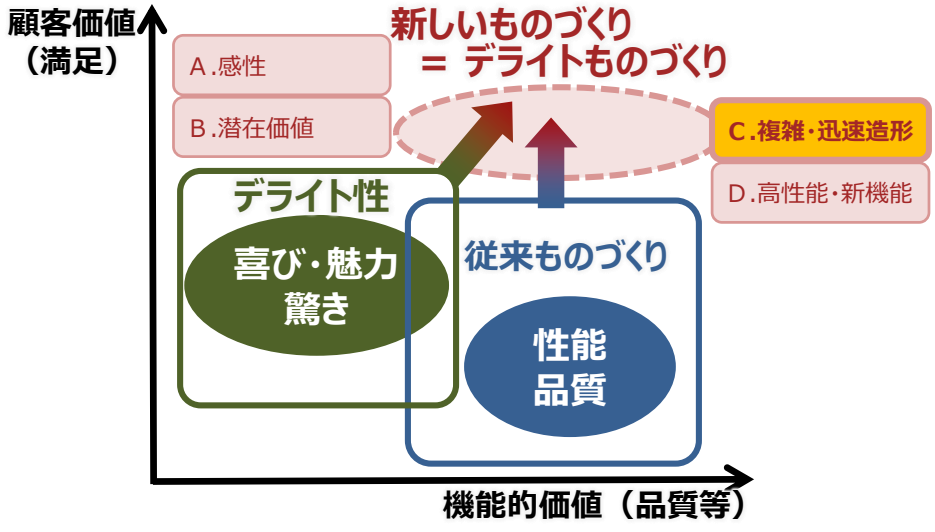
デライトなものづくりを目指したトポロジー最適化に基づく構想設計法の開発

京都大学　西脇眞二

京都大学　（株）豊田中央研究所
（株）岐阜多田精機　（株）ナガセインテグレックス
東北大学　アイシン・エィ・ダブリュ（株）　（株）くいんと

SIP革新的設計生産技術が実現するデライトものづくり

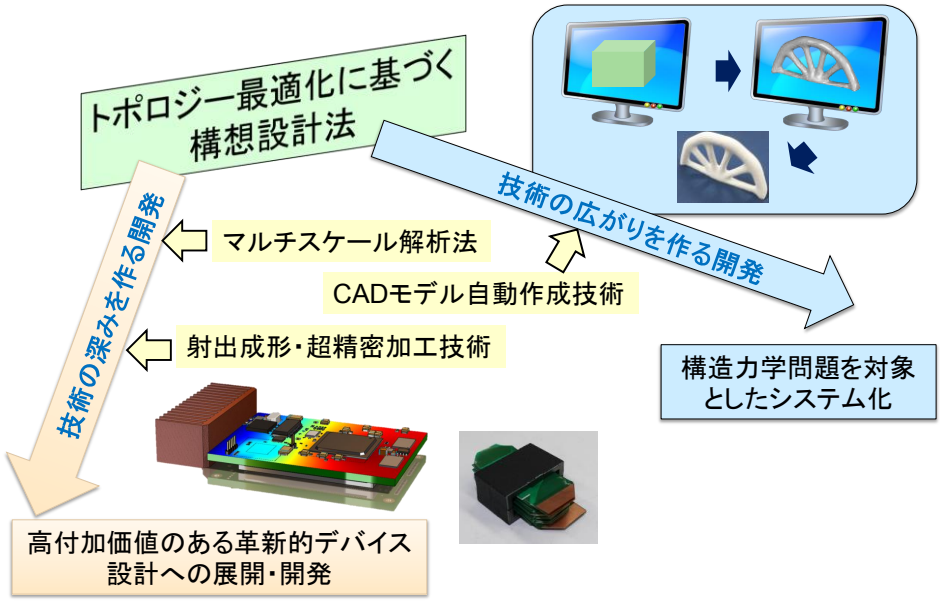
ＳＩＰ革新的設計生産技術ではデライトものづくりの中で
A.感性　B.潜在価値　C.複雑・迅速造形　D.高性能・新機能
に集中的に取り組む



研究開発テーマの目的

- トポロジー最適化による構造創成設計，性能評価→逆問題的設計手法による新機能をもつ革新的な設計案の創出
- CAD，CAE，CAMとの有機的統合化→開発期間の短縮，製品の質の向上

開発課題(H26～H30)



5

本年度からの新設課題

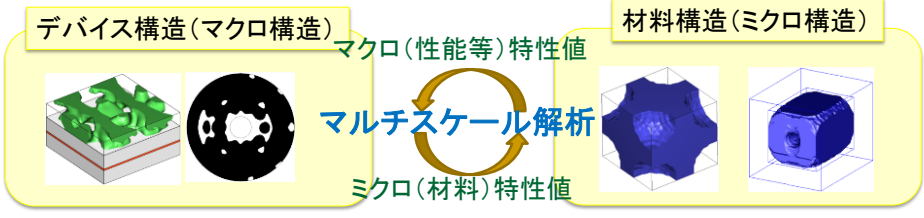
- トポロジー最適設計法と超微細三次元造形法の統合化
  - 横浜国立大学　丸尾教授代表のプロジェクト:「超3D造形技術プラットフォームの開発と高付加価値製品の創出」との連携を実施.
  - 限られた微小な空間でも動作可能という新しい付加価値を持ったデライトなマイクロデバイスのプロトタイプの作製.」

- トポロジー最適設計法に基づくデライトものづくりシステムの構築
  - COMSOL上で実装したシステムのプロトタイプを横展開.
  - 大阪府立産業技術総合研究所において拠点設立.
  - 設計者とのインタラクション環境の構築を行うためのトポロジー最適化データマイニング手法を開発.

6

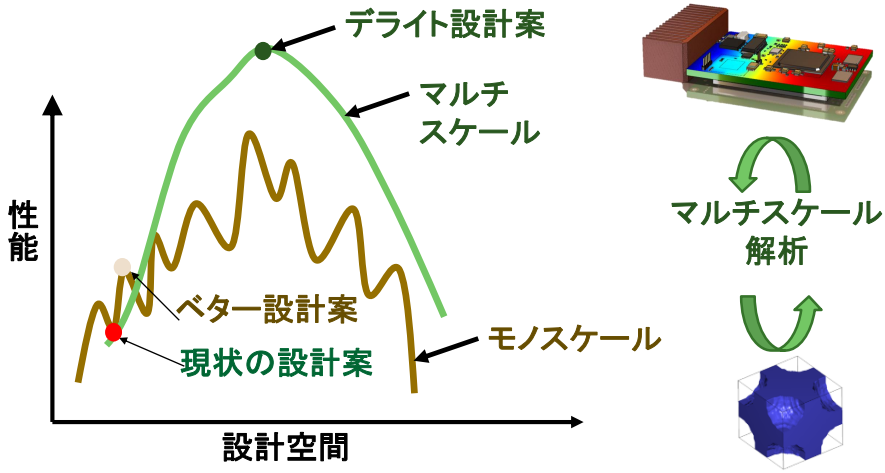
革新的なデバイス設計への展開・開発

- マルチスケール解析とトポロジー最適化に基づくミクロ・マクロ構造創成設計法の構築
  - マルチスケール解析の導入により設計自由度を飛躍的に拡大
  - マスト設計，ベター設計の枠に留まりがちな従来のモノスケールにおける構造設計が提供できない新たな機能性，価値を実現



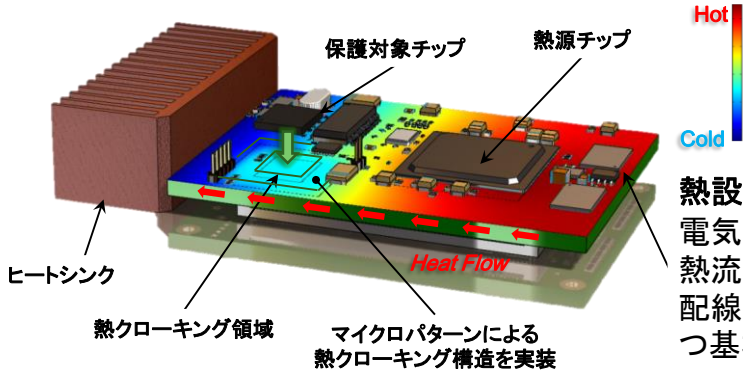
- ミクロ・マクロ構造創成設計法による高性能デバイスの開発
  - デライトをもたらす新デバイス，魅力ある性能の実現⇒デライトの提供

マルチスケールトポロジー最適化



熱制御デバイス

- 高密度実装用基板の熱誘導制御デバイス



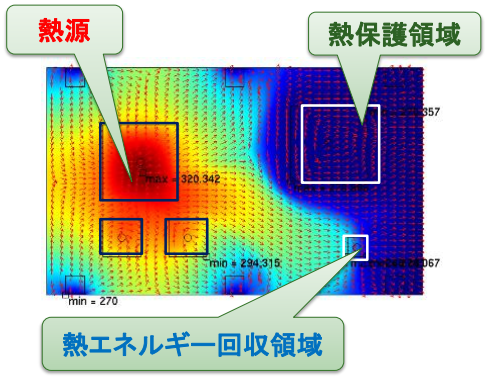
熱設計PCB*:
電気のみではなく熱流束を制御する配線パターンを持つ基板

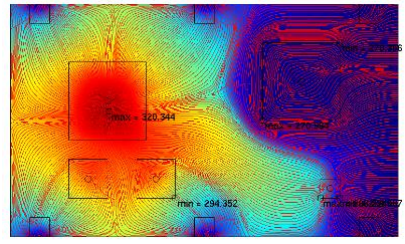
温度条件に敏感な素子を回避して
排熱を効率よくヒートシンク側に誘導するデバイス

*PCB：Printed circuit board プリント基板

熱制御構造

1. トポロジー最適化により，最適熱伝導率テンソル配置を求める．
   （マクロ構造の決定）
2. テンソル配置より最適な流線，縞構造を創出する．
   （ミクロ構造の決定）
3. 最大性能を得るテクスチャパターン(縞構造)を生成する．

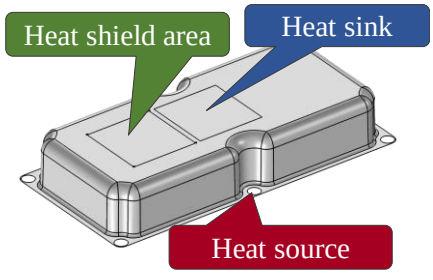




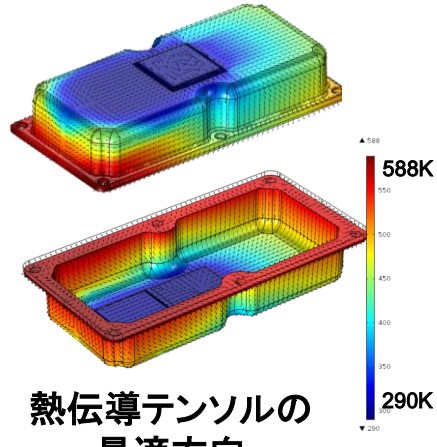
最適縞構造

設計例

- ハイブリット車の簡易インバータケースモデル



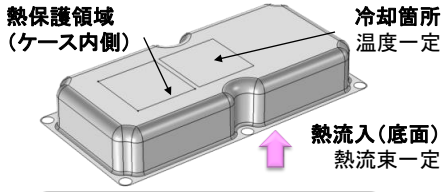
設計領域

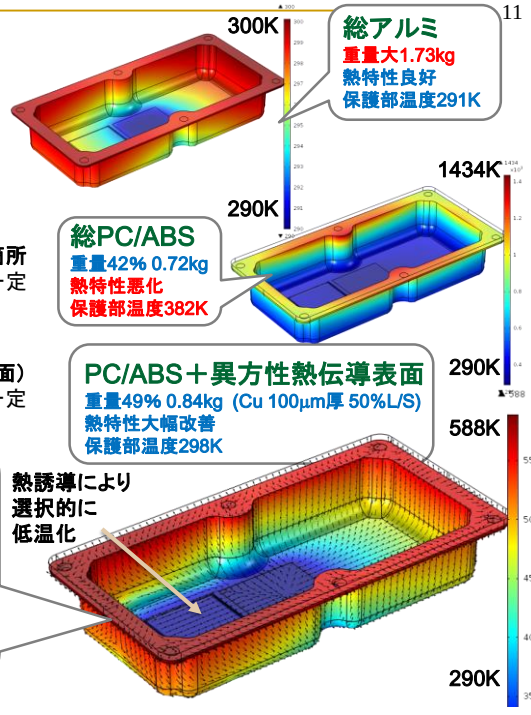


熱伝導テンソルの最適方向

表面熱伝導設計

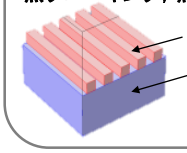
- 表面の異方性熱伝導テンソル分布最適化
  - ベクトルトポロジー最適化
  - シェル・ソリッド連成





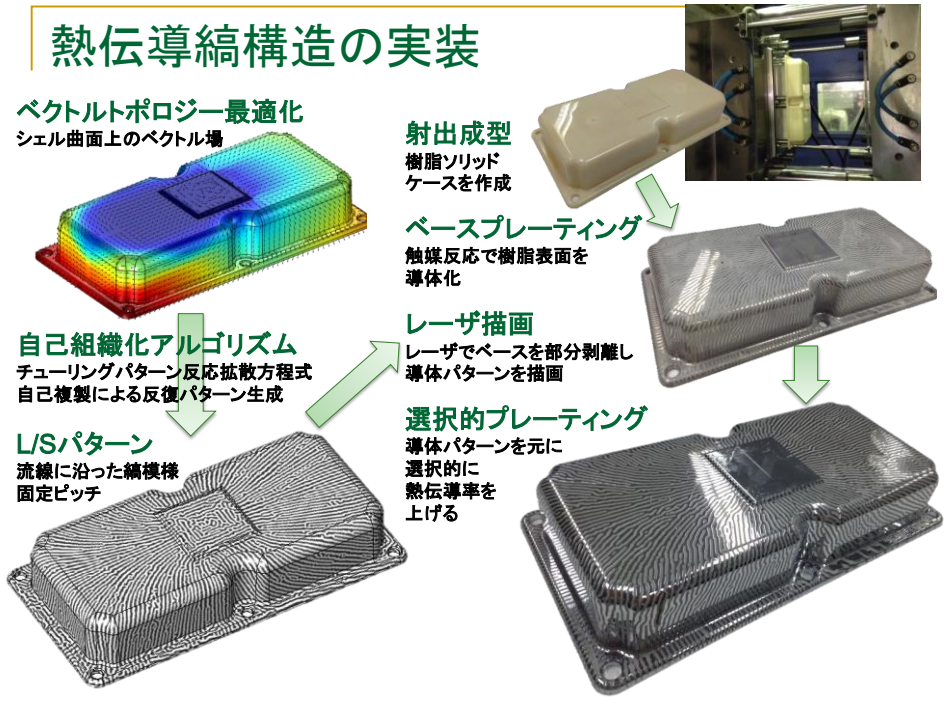
Ultra-thin thermal composite

面内熱伝導率比100:1以上
熱誘導効果 （熱のメタサーフェイス：熱クローキング，熱流束反転などを実証*）



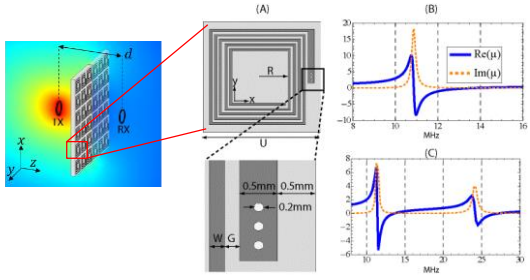
*Appl. Phys. Lett. 103, 063501 (2013)

熱伝導縞構造の実装



電磁場制御デバイス

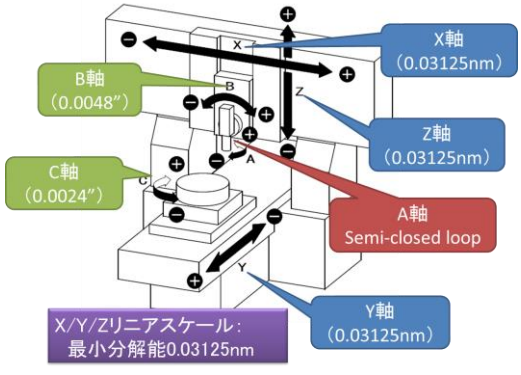
- 微小コイルの配列による電磁気構造体により，特定周波数の漏洩磁場を反射，吸収.
- EMC（ノイズ）対策デバイスとして利用.
  - 構造体の面外等価透磁率を0に近づけ，特性発現.
  - フェライトを樹脂・金属複合体で置き換え
    - 軽量化、機械的特性向上、コスト低減
    - シェル構造体に拡張して、実用化を目指す



Figures: Sci Rep. 2014 Jan 10;4:3642.

*Sci Rep. 2015; 5: 12764.

6軸超精密加工機の構成と特長



6軸精密加工機

曲面上微細加工のワーク例

- 5軸加工機では製造困難であった微細形状を自由曲面上に形成することが可能となる.

15

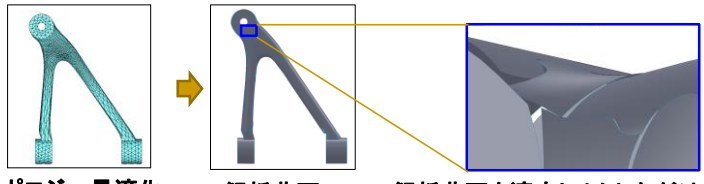
構造力学問題を対象とした方法論のシステム化

- 汎用性を考慮したシステムを念頭に置き開発
  - 取り扱う構造に常に汎用性を要求される，構造力学問題を対象にシステム開発，汎用CADに搭載．
  - CADモデルおよびSTLモデルを介したコンピュータ支援技術との有機的統合化は，汎用性をもつことを念頭に開発．

16

CADモデルを作成可能なソフトウェアの改良

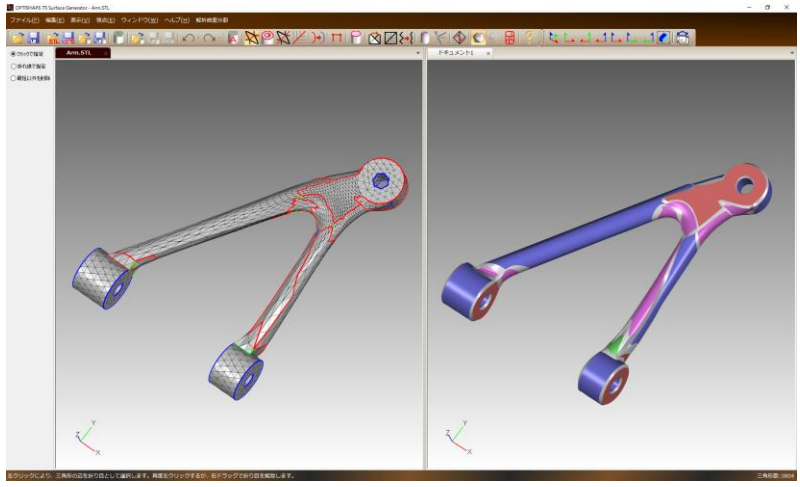
- 最適構造から，**自動的に解析曲面（平面・円筒面等）**を含んだCADモデルを生成する手法を検討・開発．



トポロジー最適化結果（STLモデル）　解析曲面で構成したCADモデル　解析曲面を適宜トリムしただけでは、曲面間に貫入や隙間が生じてしまう

解析曲面の領域境界となる三角形辺に基づいて隙間を設けることにより，隙間を自由曲面で埋める手法を開発．

実装システム



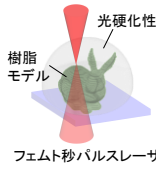
本年度からの新設課題

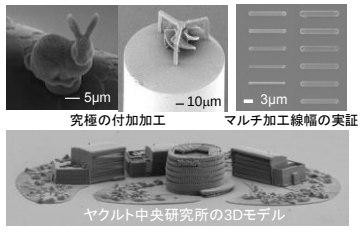
- トポロジー最適設計法と超微細三次元造形法の統合化
  - 横浜国立大学　丸尾教授代表のプロジェクト:「超3D造形技術プラットフォームの開発と高付加価値製品の創出」との連携を実施.
  - 限られた微小な空間でも動作可能という新しい付加価値を持ったデライトなマイクロデバイスのプロトタイプの作製.」
- トポロジー最適設計法に基づくデライトものづくりシステムの構築
  - COMSOL上で実装したシステムのプロトタイプを横展開.
  - 大阪府立産業技術総合研究所において拠点設立.
  - 設計者とのインタラクション環境の構築を行うためのトポロジー最適化データマイニング手法を開発.

超3D造形技術プラットフォームの開発と高付加価値製品の創出

サブ100nmから100μmの加工線幅でマルチスケールな3D造形を実現

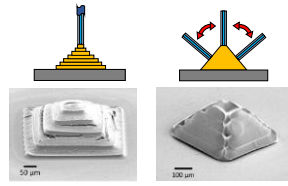
①2光子マイクロ光造形による超高精細・微細3D造形





究極の付加加工　マルチ加工線幅の実証

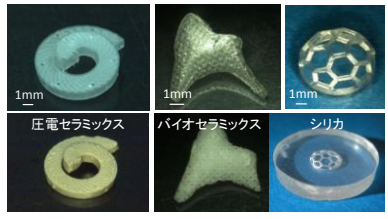
②光ファイバを用いた全方位造形



一方向積層造形（段差あり）　全方位造形（段差を大幅低減）

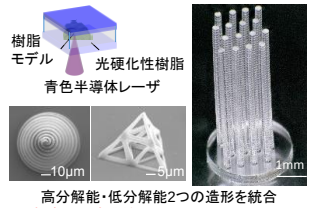
③マイクロ光造形を用いた3Dセラミックス鋳型技術

マイクロ光造形により3D樹脂型
↓
セラミックススラリーを注入
↓
樹脂型を熱分解
↓
3D構造体を形成



さまざまなセラミック材料を用いて微小な3D構造体を形成
幅広い応用（医療、Lab-on-a-chip、MEMS）

④青色半導体レーザによる普及型3D造形装置

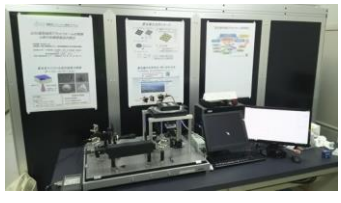


高分解能・低分解能2つの造形を統合
神奈川県産業技術センターに設置・運用

①超3D造形ものづくネットワーク設立とオープンイノベーション

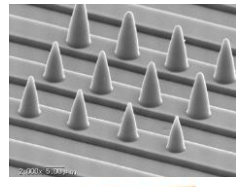
3D造形に関する相談窓口開設

②普及型3D造形装置の公開



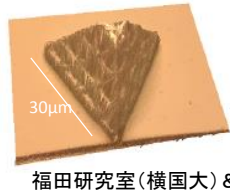
神奈川県産業技術センターに設置・運用
（2015年10月運用開始）

③共同研究の実施例



（株）協同インターナショナル

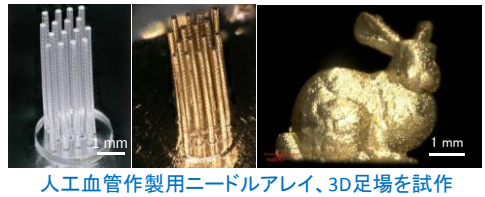
ナノインプリントフィルムに3D付加加工
↓
マイクロニードルアレイ



材料メーカー（A社）

微細3D造形に適した
セラミックス含有樹脂の開発

福田研究室（横国大）＆本間研究室（関東学院大）



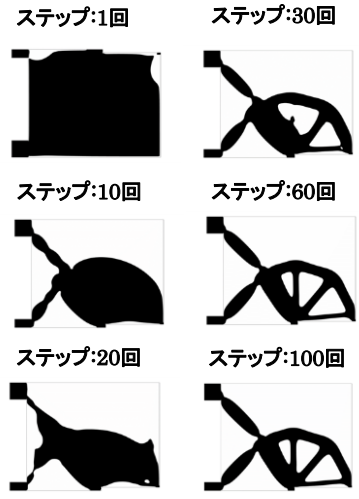
人工血管作製用ニードルアレイ、3D足場を試作

トポロジー最適化と超3D造形技術の統合化

丸尾研究室との共同研究
マイクロピンセットの創成設計・開発

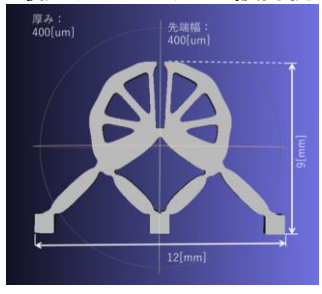
設計例

赤矢印の方向に作用荷重を負荷した場合に，先端部が青矢印の方向に最大限変形

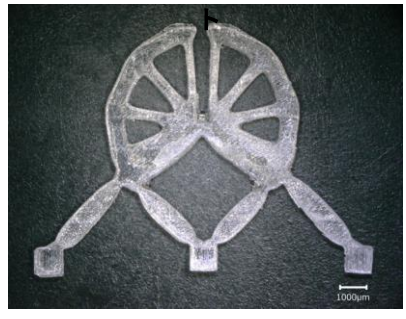


トポロジー最適化と超3D造形技術の統合化

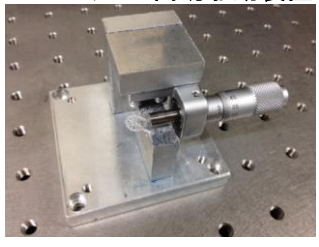
最適化ピンセットの設計例



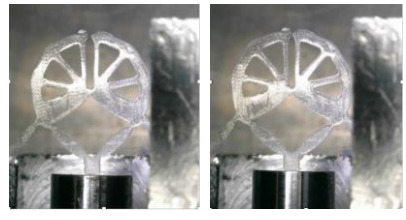
マイクロ光造形による試作ピンセッ



ピンセットの簡易駆動装置

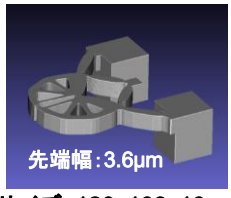


ピンセットの開閉実験

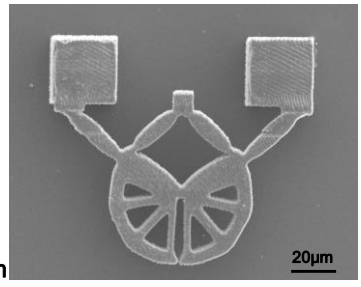


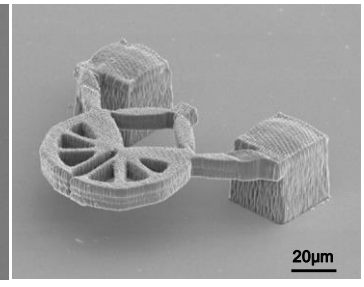
2光子マイクロ光造形による
微細ピンセットの試作と駆動検証

試作例



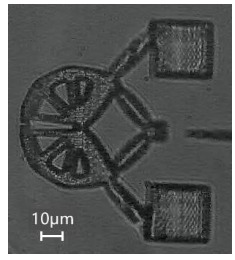
サイズ：120x108x10μm

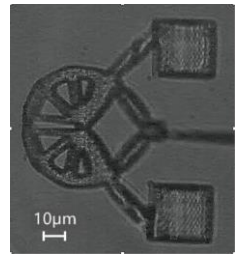




駆動検証実験

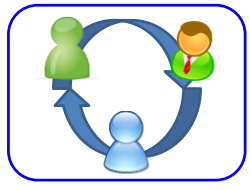
ガラスニードルを用いた
微小ピンセットの開閉を実証
↓
微小物体の把持実験に応用予定

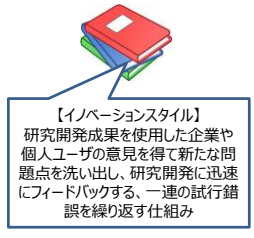


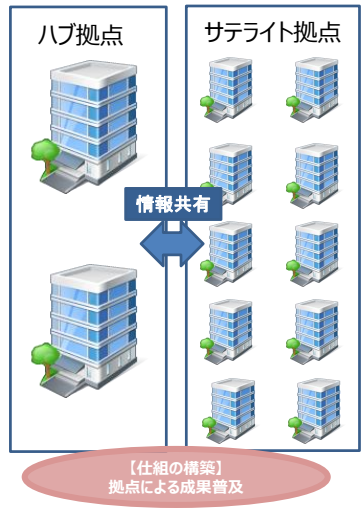


革新的設計生産技術の実用化

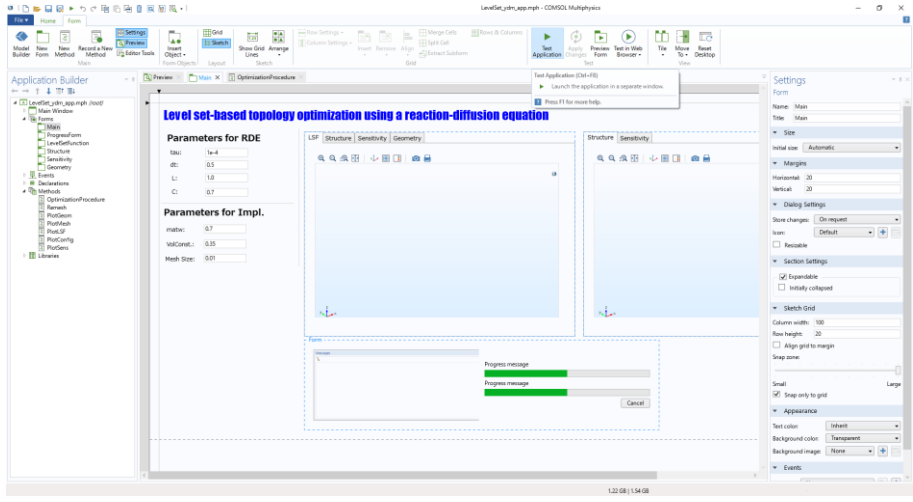
・研究成果のツール化【ソフトウェア（プログラム等）、ハードウェア（装置等）】
・開発した技術等を拠点に設置し、活用事例の作成
を中心に研究成果の実用化を進めていく





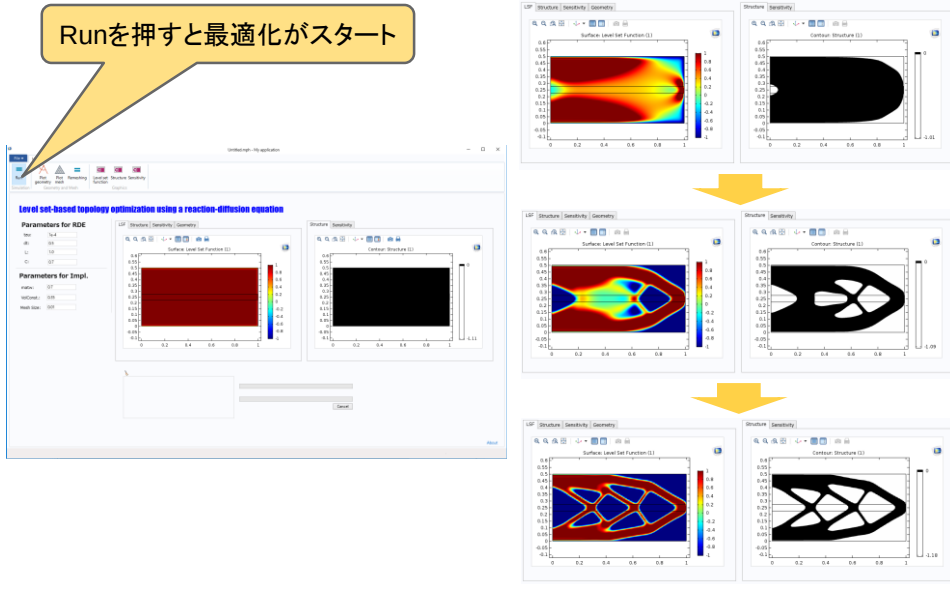


COMSOL上で実装したシステムのプロトタイプ



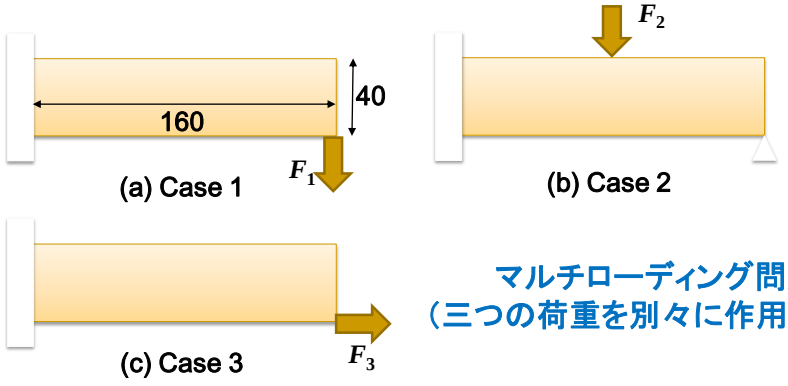
アプリケーションビルダーの利用

システムの実行



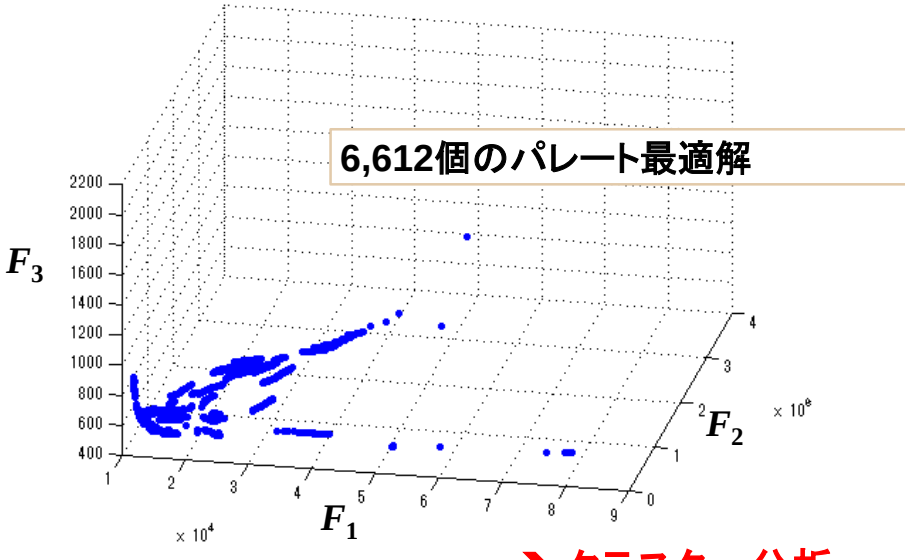
トポロジーデータマイニング手法

- デライト性を評価しながら設計者の創造性を発揮できる設計者とのインタラクション環境の構築.
- 設計者の力学的理解を支援.



マルチローディング問題
（三つの荷重を別々に作用させる）

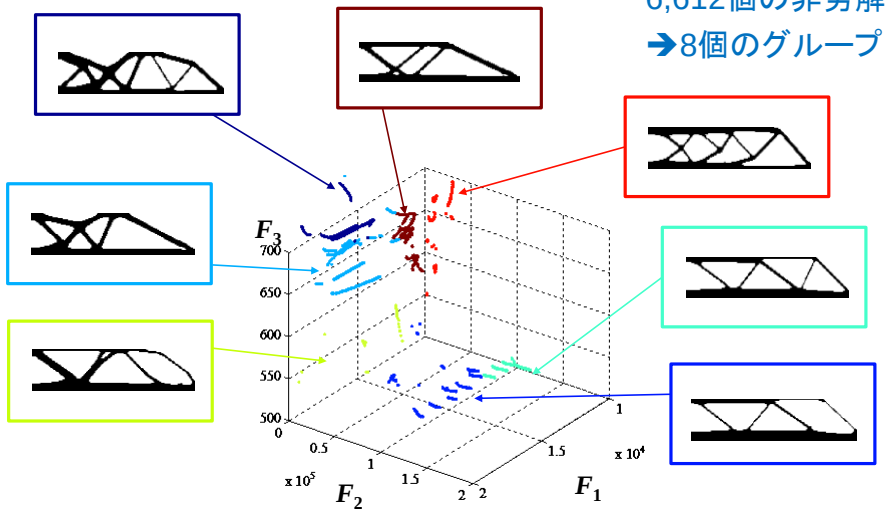
多目的最適化

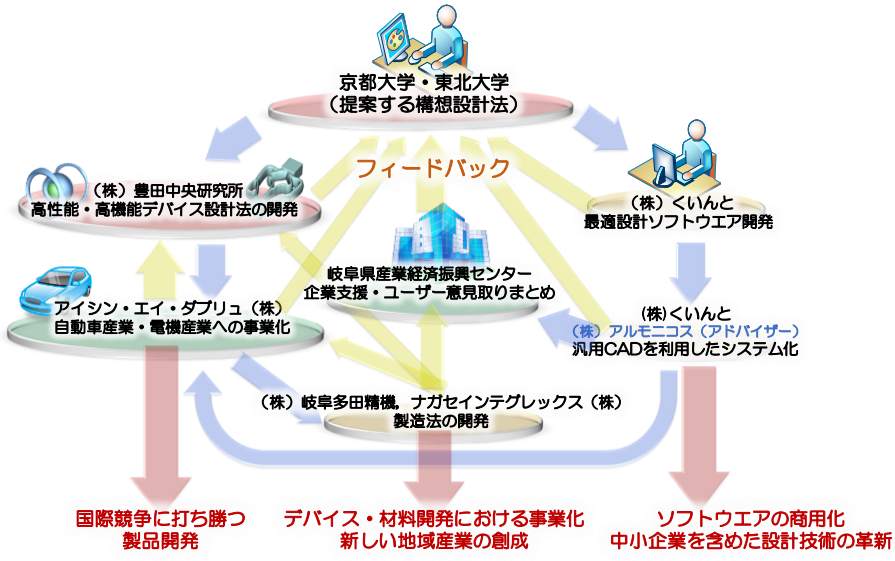


➔ クラスター分析

クラスター分析結果(K-means法）

6,612個の非劣解
➔8個のグループ



1. 最適解が得られた力学的根拠が理解できる.
2. 境界条件が変更された場合に最適解がどのように変化するかが理解できる.

イノベーションスタイル