

トポロジー最適化に基づく高機能デバイス 設計法と形状構想設計システムの開発



発表者: 京都大学 西脇眞二

実施機関: 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・エイ・ダブリュ(株) (株)くいと

開発内容

トポロジー最適化に基づく
形状構想設計法



技術の広がりを作る開発

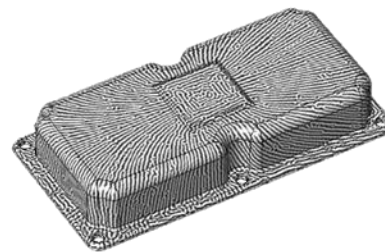
構造力学問題を対象
としたシステム化

マルチスケール解析法

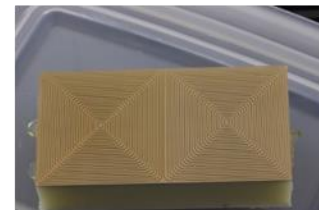
CADモデル自動作成技術

射出成形・超精密加工技術

高付加価値のある革新的デバイス設計
への展開・開発



熱制御デバイス

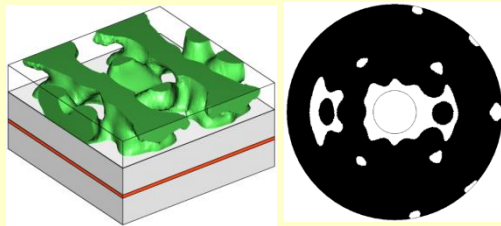


電磁波制御デバイス

マルチスケールトポロジー最適化

- マルチスケール解析とトポロジー最適化に基づくマイクロ・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
- マイクロ・マクロ構造創成設計法による高性能デバイスの開発

デバイス構造(マクロ構造)

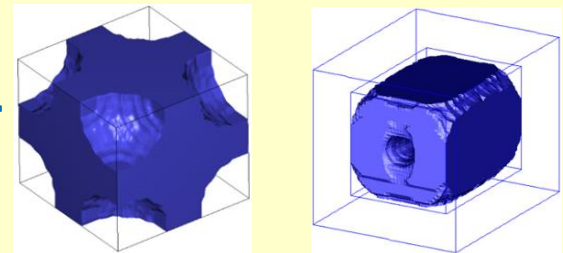


マクロ(性能等)特性値

マルチスケール解析

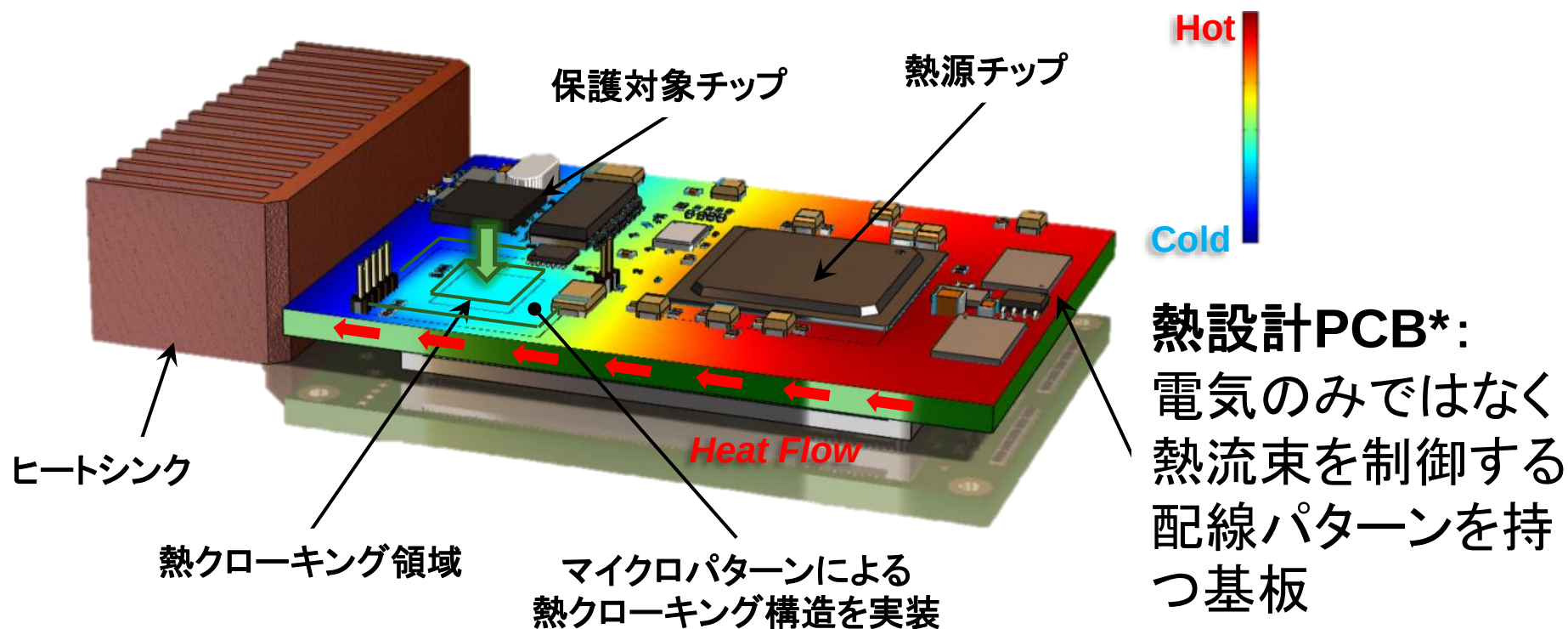
マイクロ(材料)特性値

材料構造(マイクロ構造)



熱制御デバイス設計への展開

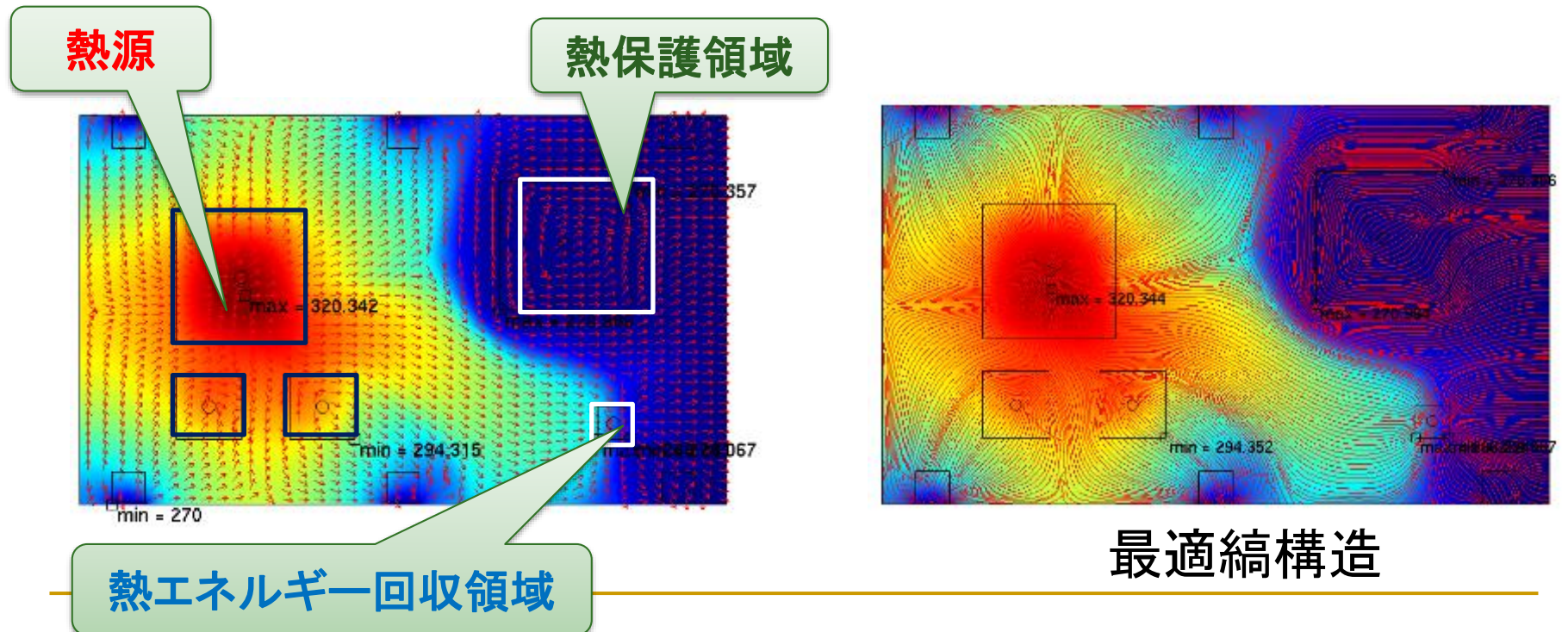
■ 高密度実装用基板の熱誘導制御デバイス



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

熱制御構造

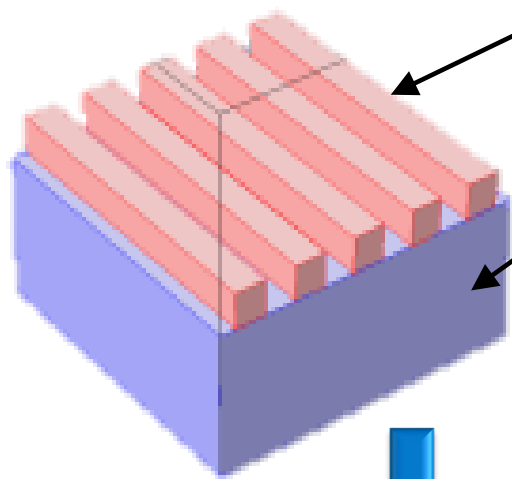
1. トポロジー最適化により, 最適熱伝導率テンソル配置を求める.
(マクロ構造の決定)
2. テンソル配置より最適な流線, 縞構造を創出する.
(ミクロ構造の決定)
3. 最大性能を得るテクスチャパターン(縞構造)を生成する.



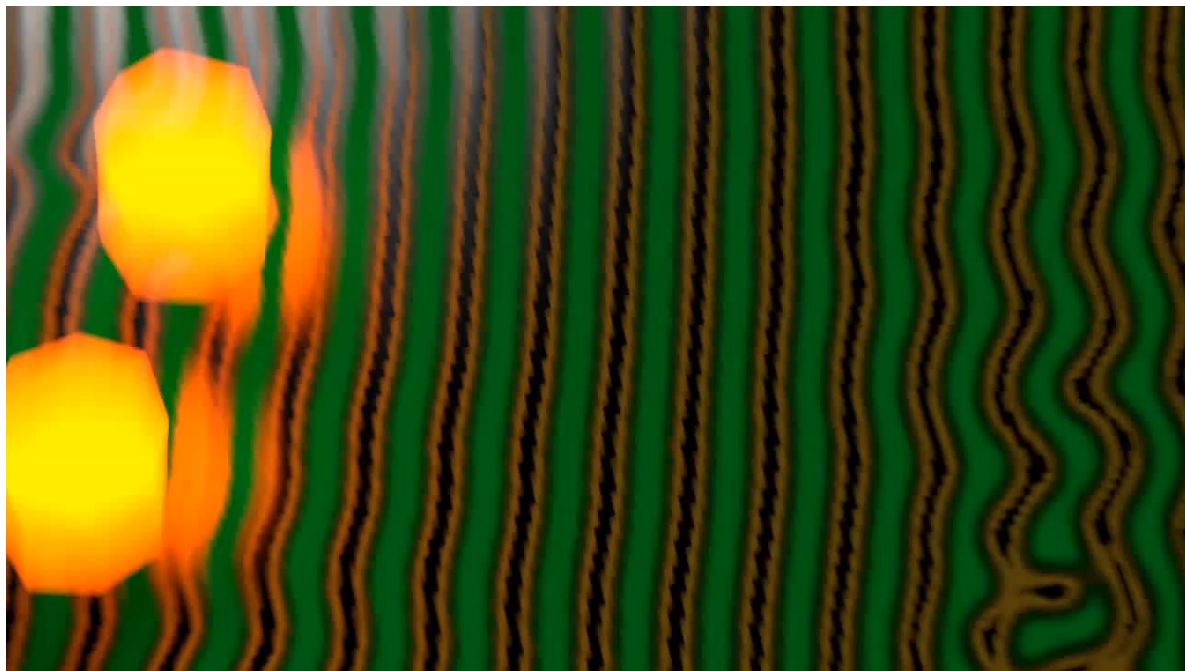
縞構造の効果

縞構造 (高熱伝導率)

マトリクス(低熱伝導率)



熱誘導効果



縞構造の創成

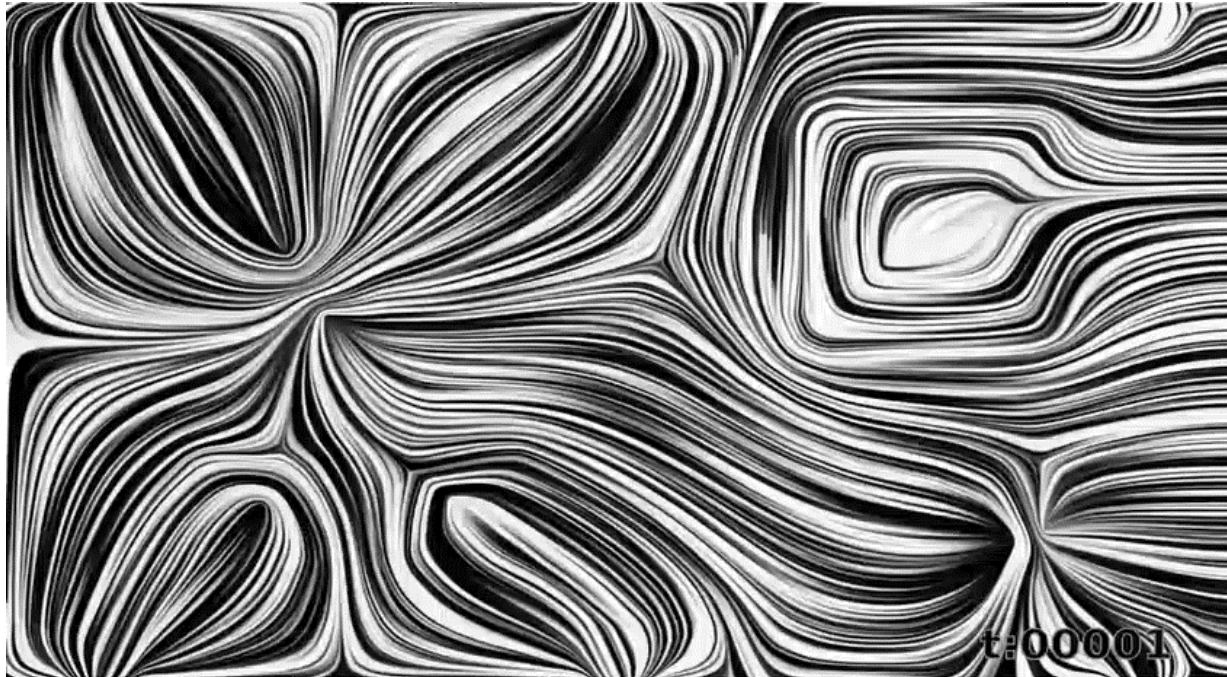
チューリングタイプの反応拡散方程式を利用

$$\frac{\partial u}{\partial t} = F(u, v) - d_u u + D_u \Delta u$$

$$0 \leq F(u, v) = a_u u + b_u v + c_u \leq F_{max}$$

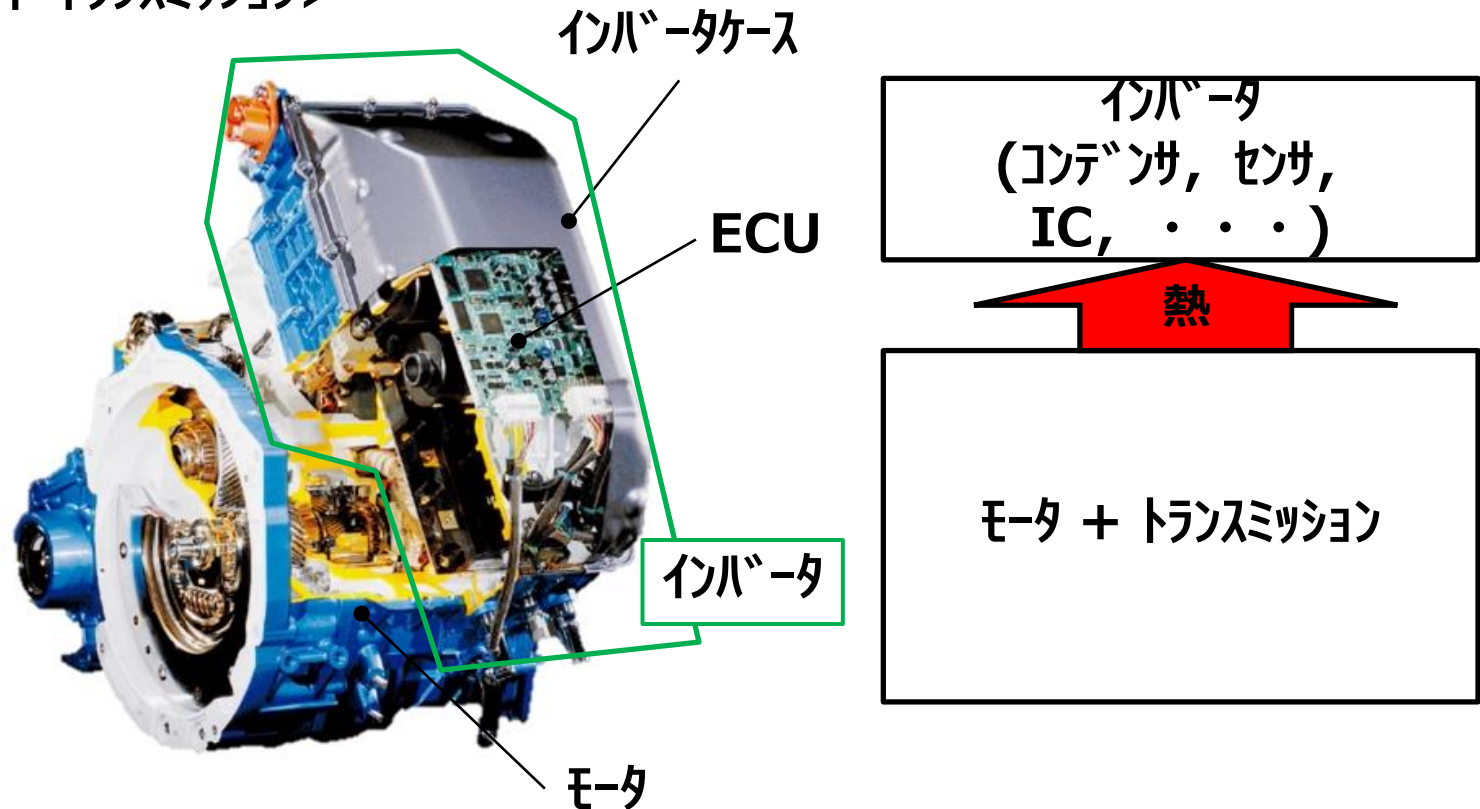
$$\frac{\partial v}{\partial t} = G(u, v) - d_v v + D_v \Delta v$$

$$0 \leq G(u, v) = a_v u + b_v v + c_v \leq G_{max}$$



インバータケースへの適用

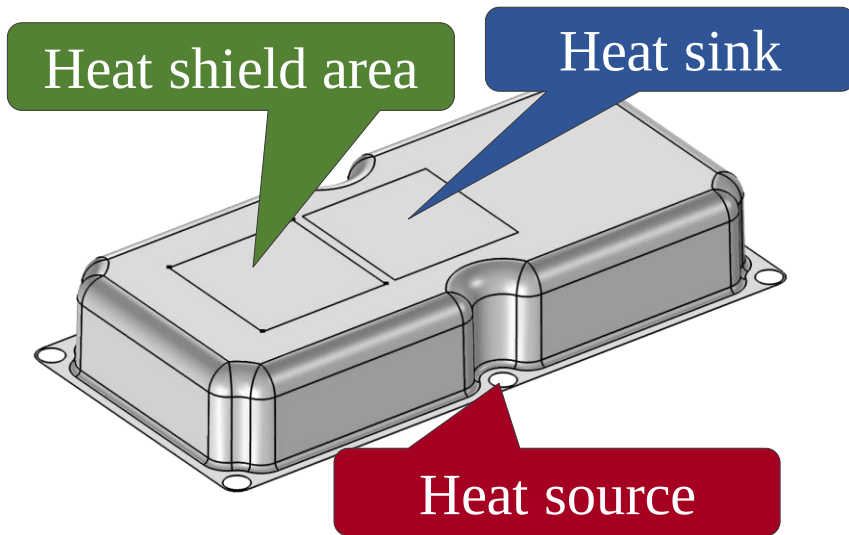
<ハイブリッドトランスミッション>



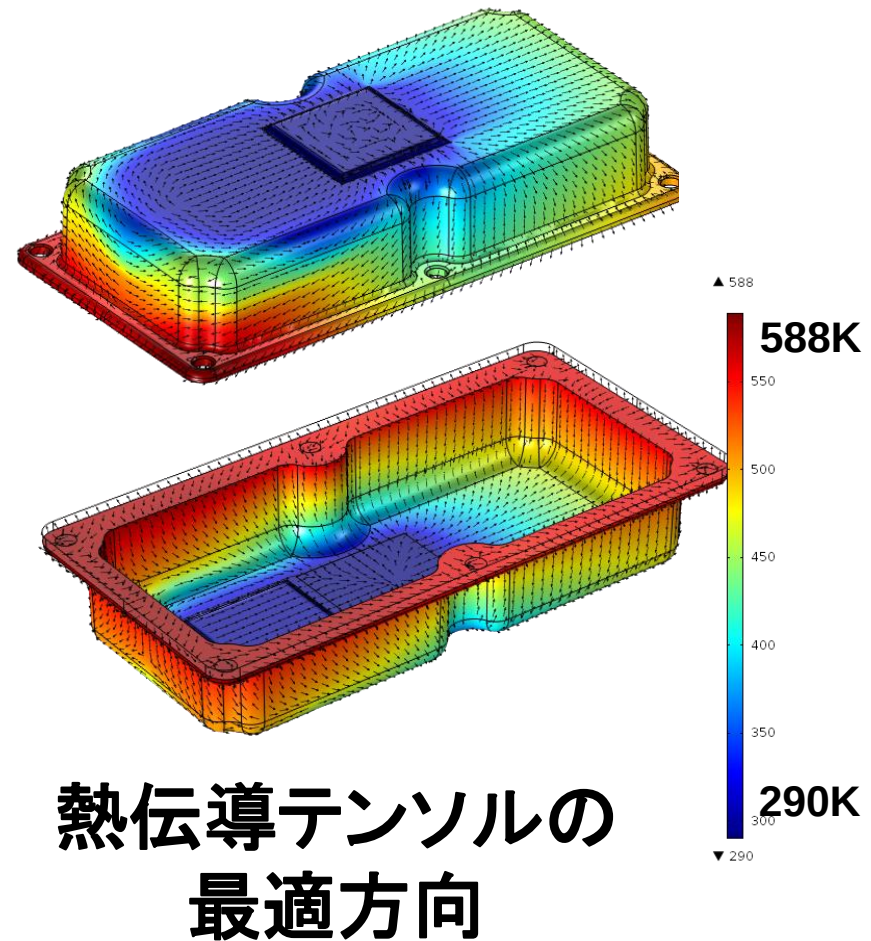
問題：インバータ内のコンデンサが熱に弱く、T/Mからの煽り熱の影響を受ける。
ニーズ：T/Mからの熱をコンデンサを迂回するように熱制御し、
コンデンサの熱負荷を低減する手法の開発

設計例

■ ハイブリット車の簡易インバータケース



設計領域



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

熱保護領域
(ケース内側)

冷却箇所
温度一定

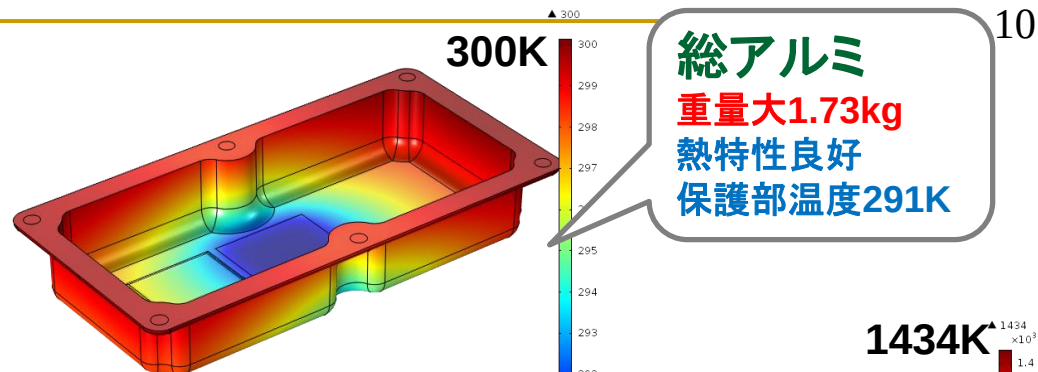
熱流入(底面)
熱流束一定

Ultra-thin thermal composite

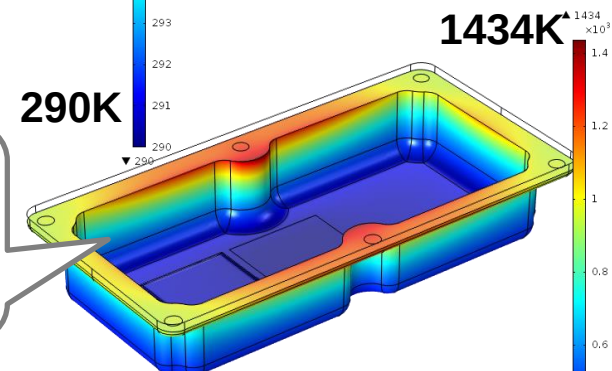
面内熱伝導率比100:1以上
熱誘導効果 (熱のメタサーフェイス:
熱クロッキング, 熱流束反転などを実証*)



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

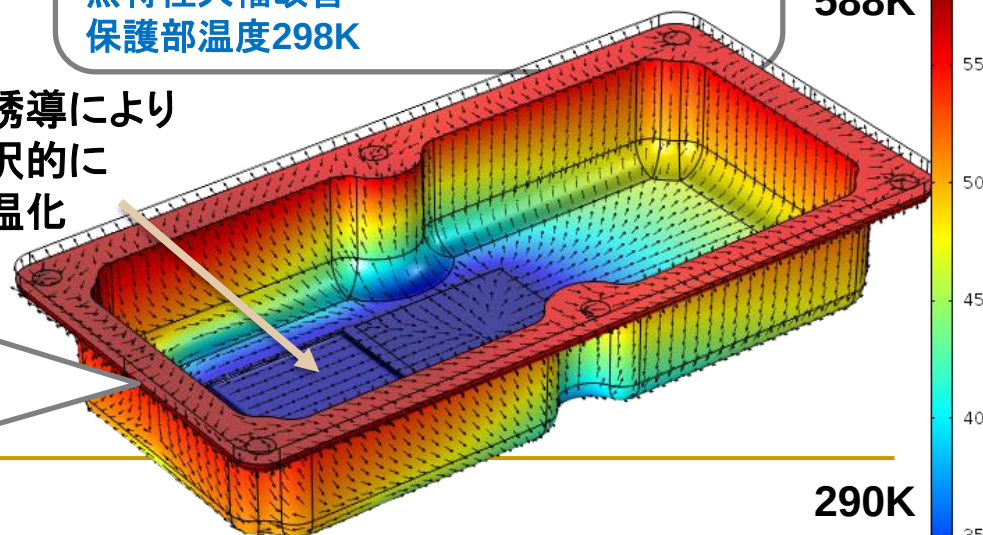


総PC/ABS
重量42% 0.72kg
熱特性悪化
保護部温度382K



PC/ABS+異方性熱伝導表面
重量49% 0.84kg (Cu 100μm厚 50%L/S)
熱特性大幅改善
保護部温度298K

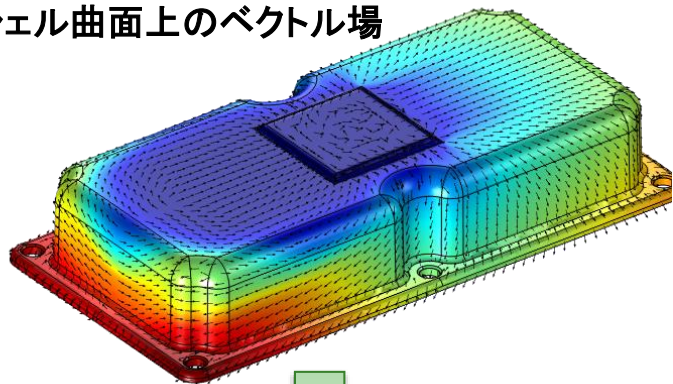
熱誘導により
選択的に
低温化



熱伝導縞構造の実装

ベクトルトポロジー最適化

シェル曲面上のベクトル場

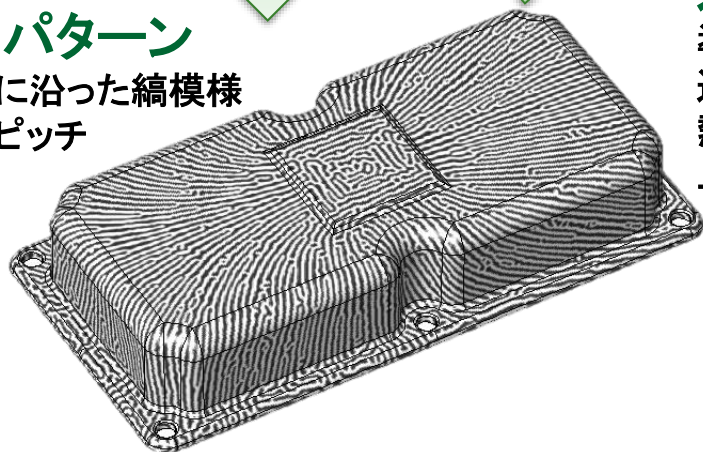


自己組織化アルゴリズム

チューリングパターン反応拡散方程式
自己複製による反復パターン生成

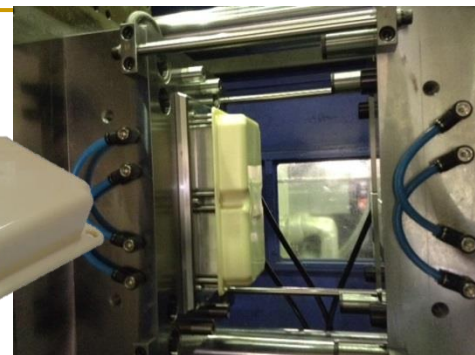
L/Sパターン

流線に沿った縞模様
固定ピッチ



射出成型

樹脂ソリッド
ケースを作成



ベースプレーティング

触媒反応で樹脂表面を
導体化



レーザ描画

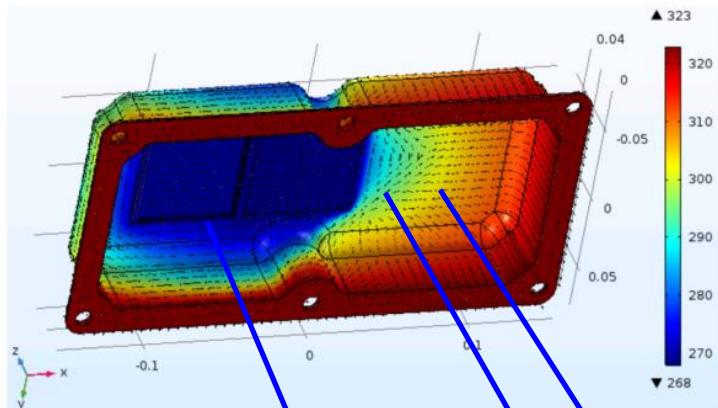
レーザでベースを部分剥離し
導体パターンを描画

選択的プレーティング

導体パターンを元に
選択的に
熱伝導率を
上げる



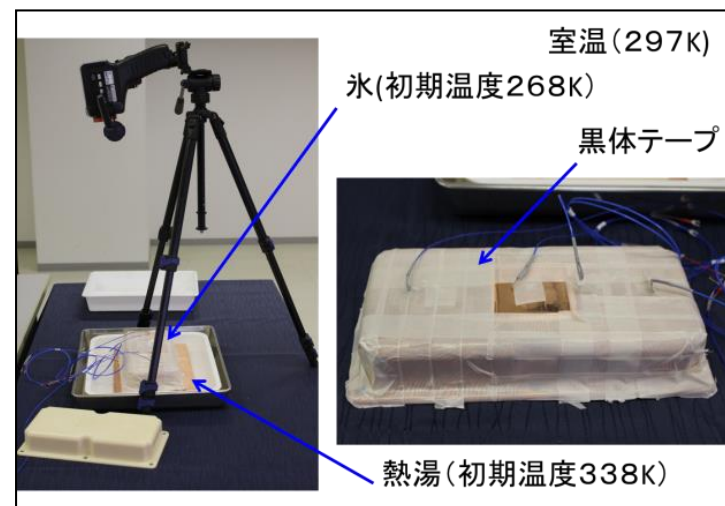
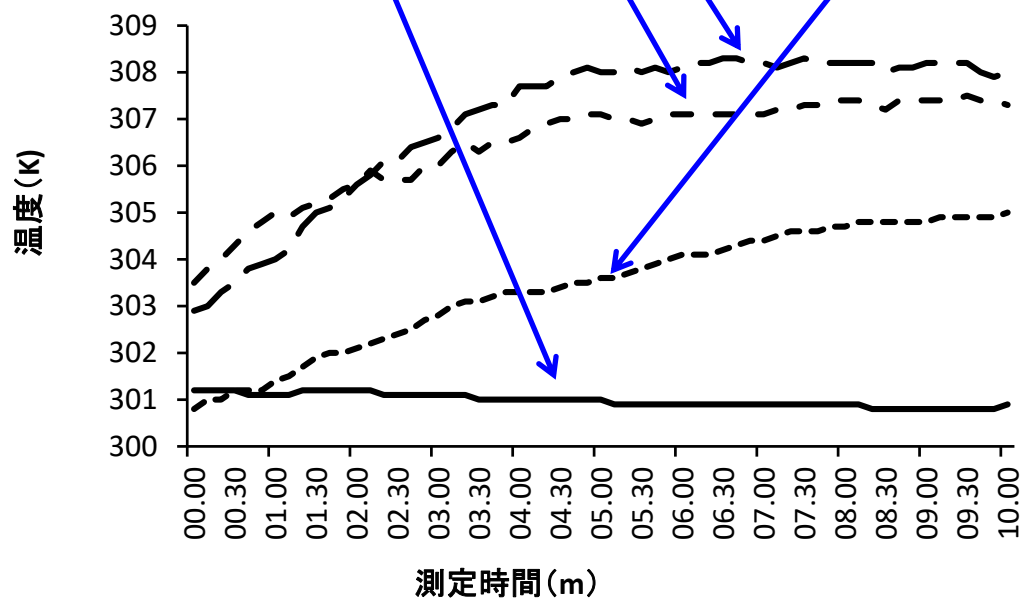
性能の実験検証



最適構造

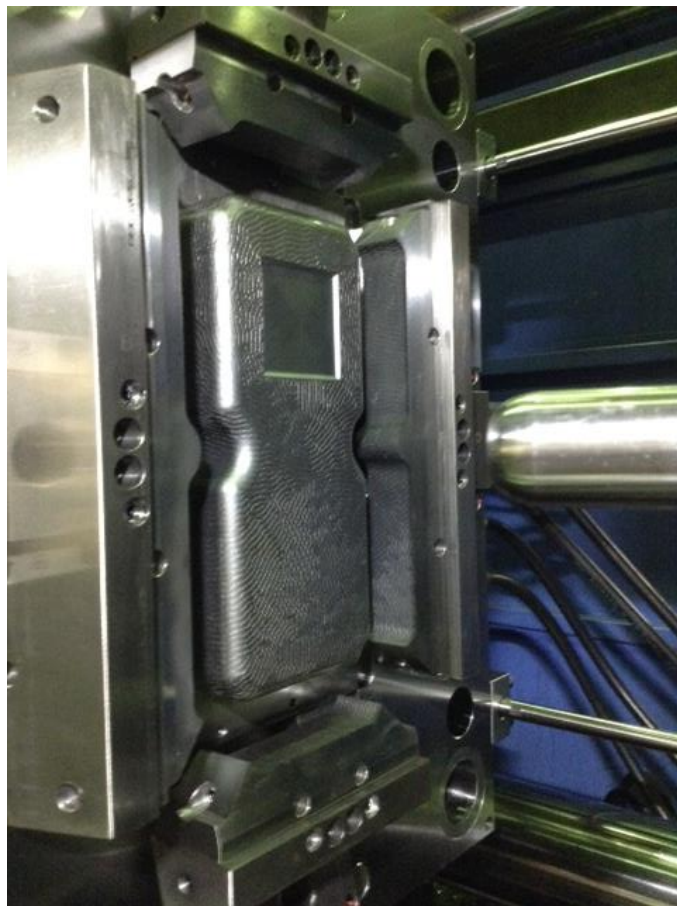


テストピース



熱伝達性能試験実施

熱制御デバイスの大量生産技術

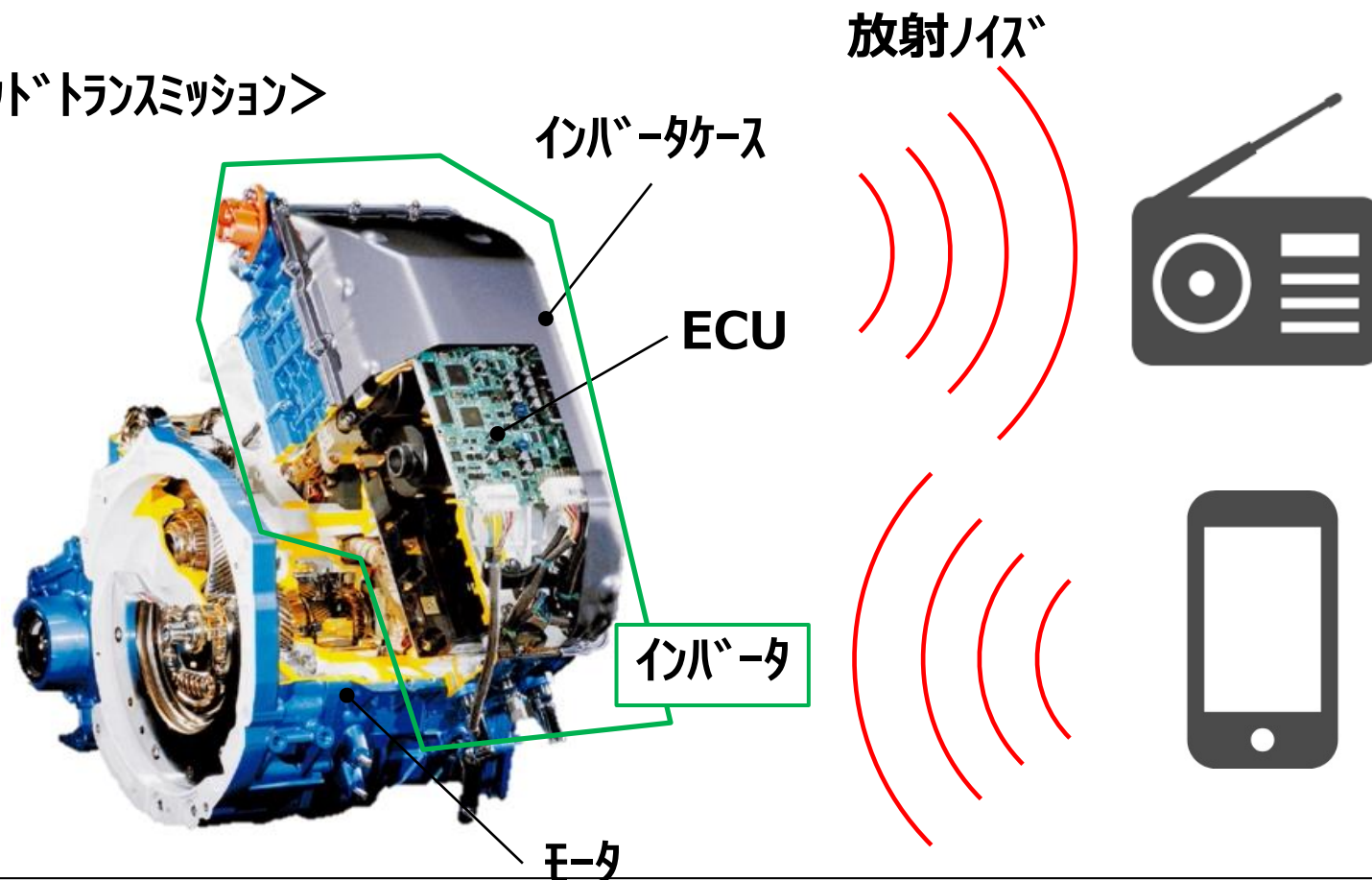


デバイス全面に、最適化模様の溝を再現し、凹溝に導電性ペーストを塗布する。



インバータケースへの適用

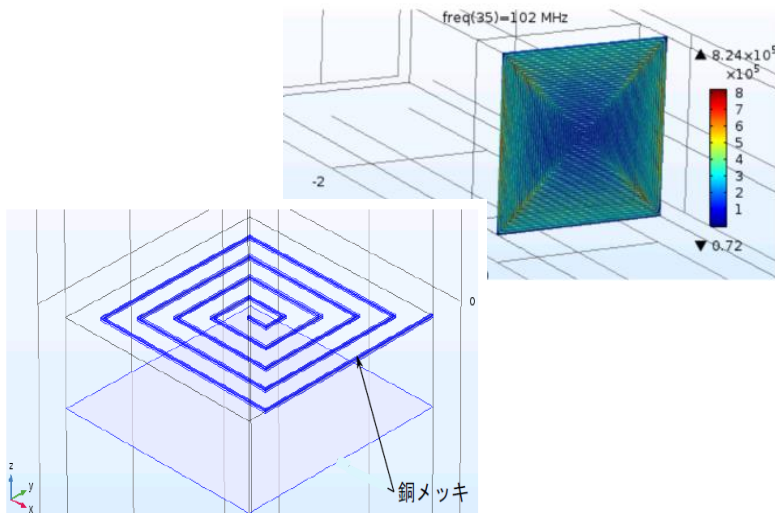
<ハイブリッドトランスミッション>



問題：互いの機器が電磁波干渉すると不具合発生

ニーズ：発生する放射ノイズを定められた国際規格のノイズレベルに抑え、かつ他機器からの放射ノイズを保護する手法の開発

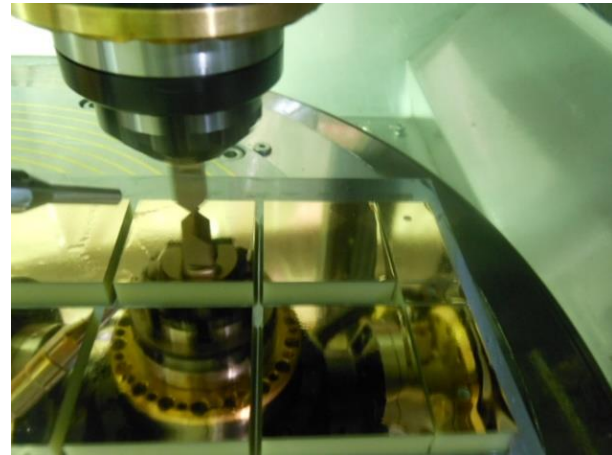
電磁波制御デバイス



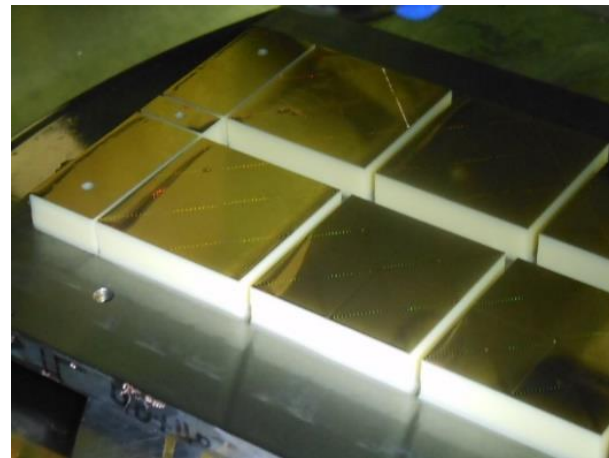
電磁波制御デバイスの構造



テストピース



加工中のテストピース



加工後のテストピース

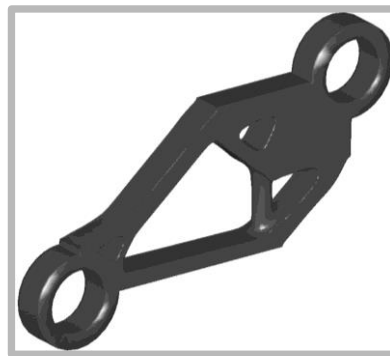
形状構想設計法のシステム化

Top τ ++

- ミドルレンジCADに搭載予定.
- 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.



CAD上の操作・設定



最適化



STL・CADモデル化

レベルセット法に基づくトポロジー最適化

従来法



Homogenization Design



SIMP without filtering



SIMP with filtering



Density Approach (MPPM)

- グレースケール, 幾何学的に複雑な構造が含まれるため, 工学的な応用が難しい.

レベルセット法に基づく方法(京都大学提案(2010))



$$\tau = 5 \times 10^{-4}$$



$$\tau = 2 \times 10^{-4}$$



$$\tau = 1 \times 10^{-4}$$

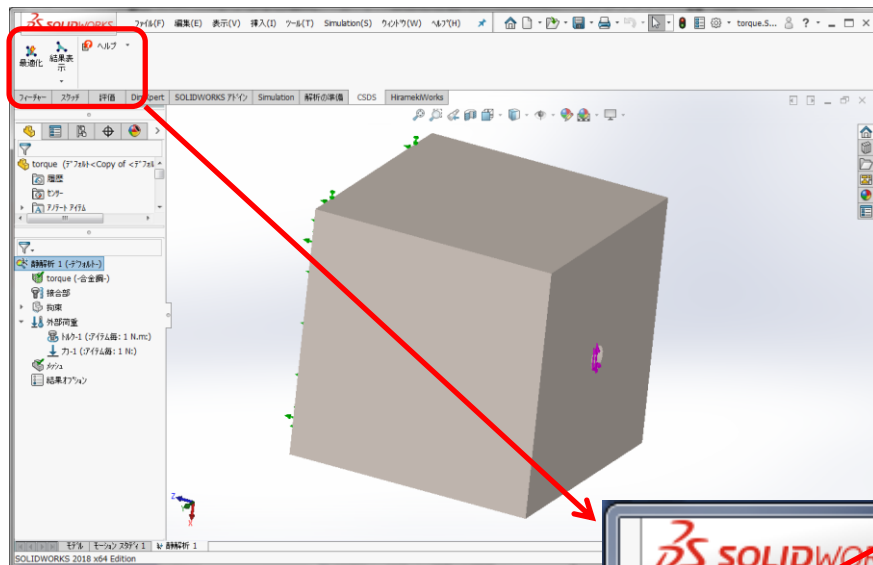


$$\tau = 1 \times 10^{-5}$$

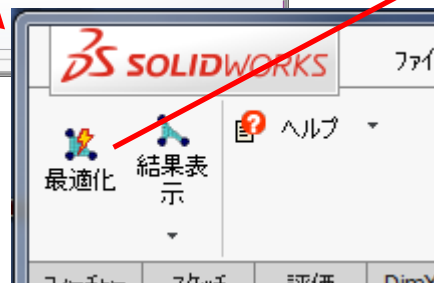
- グレースケールを含まない明確な境界をもつ最適構造
- パラメータ τ で, 幾何学的複雑さを制御可能

Top τ ++

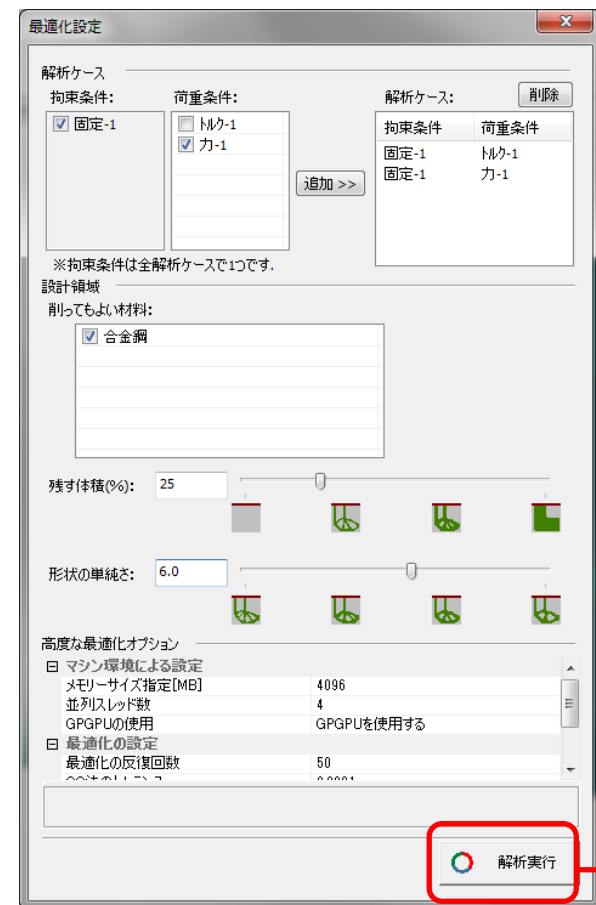
形状構想設計システム



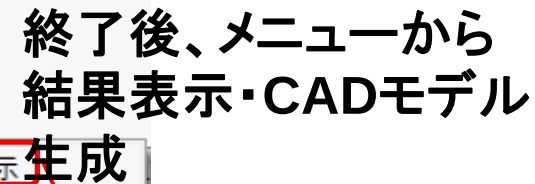
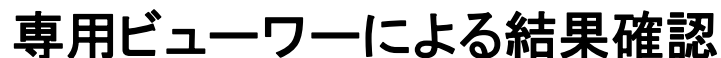
**SOLIDWORKS
にてモデル作成**



**アドインメニューから
システム起動**

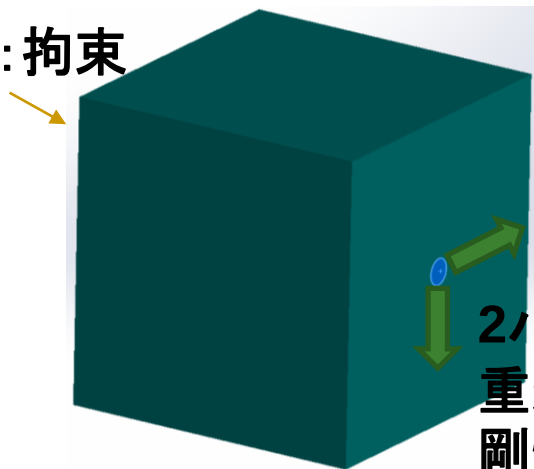


**最適化条件を設定して解析
実行**



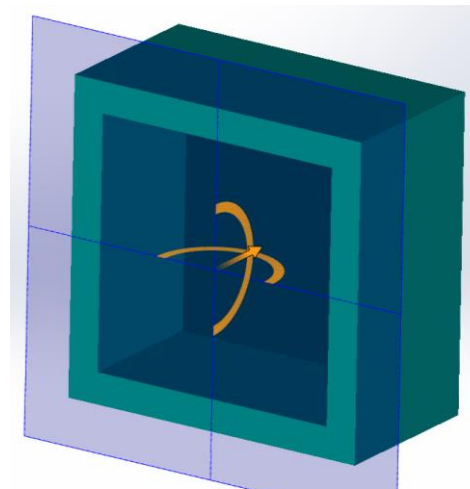
形状構想設計システム

背面:拘束



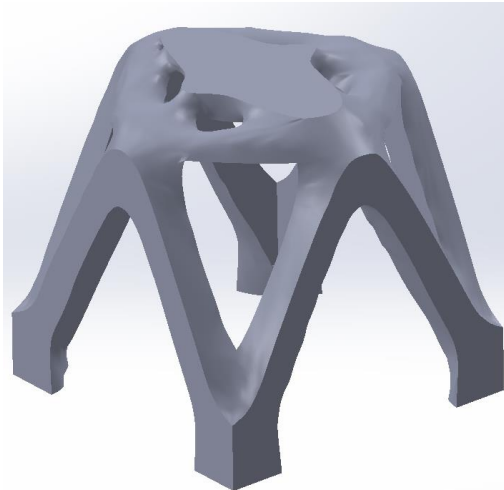
2パターンの荷
重条件に対する
剛性最大化

初期形状



初期形状(断面)

最適化結果

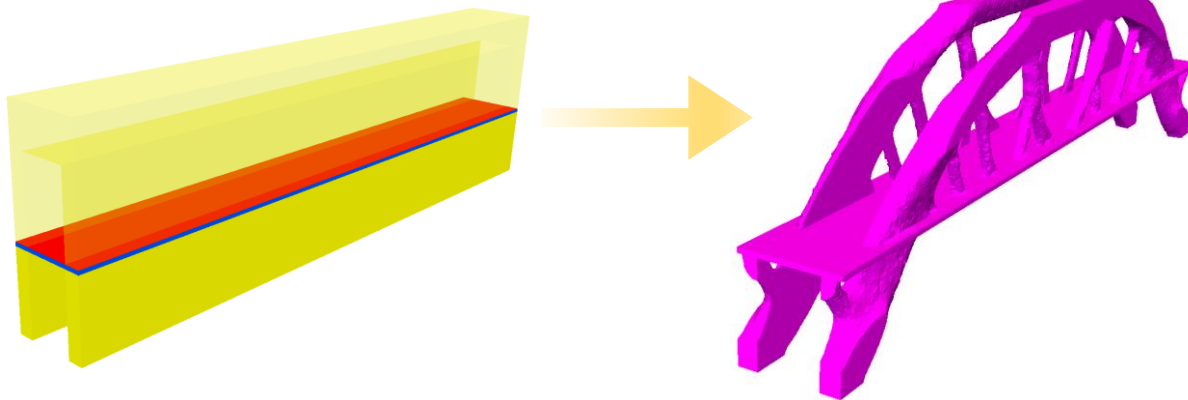


複雑

単純

形状構想設計システム

・ボクセルベースの解析により，メッシュ依存性のない安定性とGPUによる高速化が可能。



節点数: 120,003

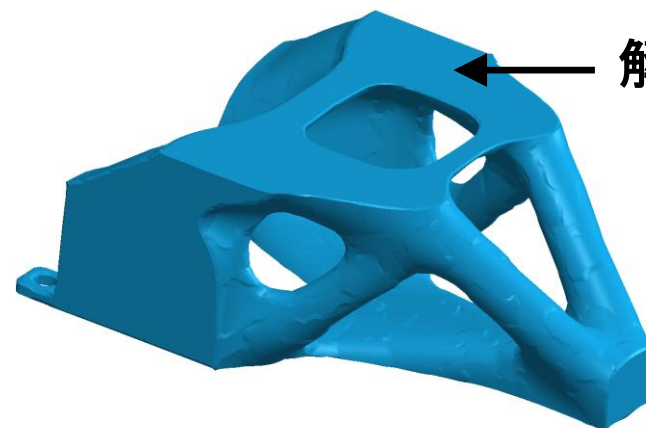
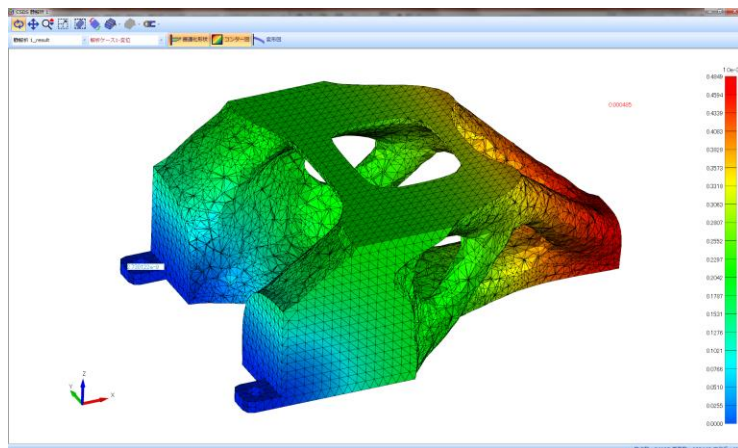
要素数: 97,200

CPU4並列: 1時間39分3秒

GPU : 19分33秒

約5倍速い！

・最適構造から，解析曲面で構成されるCADモデルを自動認識して作成可能。



解析曲面

まとめ

- マルチマテリアルトポロジー最適化にもとづく熱制御デバイス・電磁波制御デバイスの構造設計法を構築した.
- 得られた熱制御デバイス・電磁波制御デバイスの構造設計案からデバイスを製造する方法を開発した.
- 構造力学問題を対象として, 既存の商用3D CADと連携したトポロジー最適化に基づく形状構想設計法のシステムを開発した.