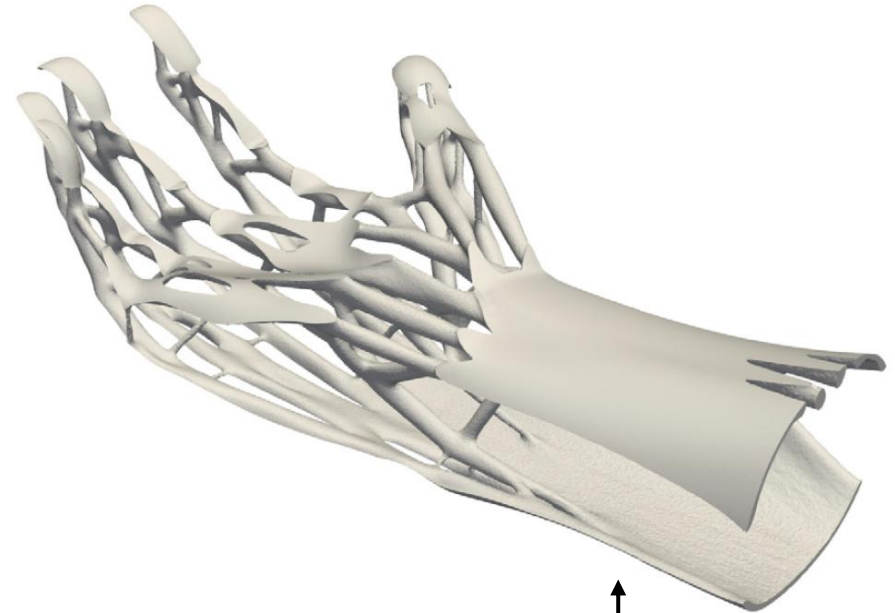
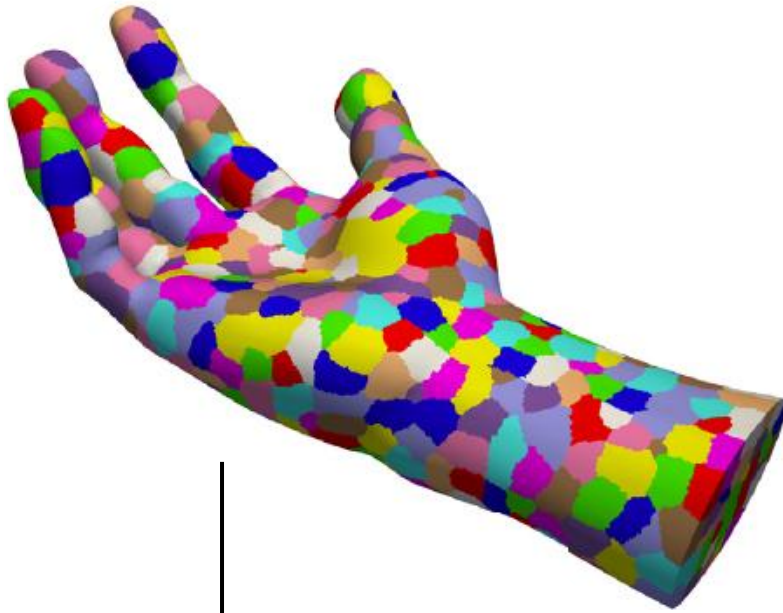


マイクロエンジニアリング専攻 構造材料強度学研究室（泉井研）

- 数理的なアプローチに基づいたシステムの設計論の革新 -



Li et al. (2023) AES

```

begin
  for  $it = 0; it < 500; it = it + 1$  do
    solve the governing equations, cf. Eq. (16)
    compute the objective value  $J$ , cf. Eq. (7a)
    compute the global and local volume constraint  $G_1$  and  $G_2$ , cf. Eq. (7b)
    if  $\|J_{it+1} - J_{it}\| < \epsilon, \|G_{it+1} - G_{it}\| < \epsilon$  then
      break;
    else
      compute  $\mathcal{G}'$  by solving PDE, cf. Eq. (18)
      compute the sensitivity  $P'$ , cf. Eq. (9)
      compute the Lagrange multipliers  $\lambda_{1,2}$ , cf. Eq. (12)
      update the level-set function  $\phi$  by solving RDE, cf. Eq. (19)
      update the characteristic function  $\chi_\phi$ , cf. Eq. (2)
      compute the local averaged characteristic function  $\bar{\chi}$  by PDE filter, cf. Eq. (17)
    end
  end
end
  
```

最適化計算

研究室メンバー（2026年度）

2



IZUI Kazuhiro

泉井 一浩 教授

専門：最適設計

担当講義

生産工学，品質管理，設計生産論，
応用数値計算法，最適システム設計論，
アーティファクトデザイン，
複雑系機械システムのデザイン



LIM Sunghoon

林 聖勲 講師

専門：最適設計，電磁場設計

担当講義

Elementary Experimental Physics-E2，
Fundamental Physics A-E2，
Advanced Course of Electromagnetism-E2，
有限要素法特論，最適システム設計論



HAN Jike

韓 霽珂 特定准教授

専門：計算力学，応用力学

担当講義

機械システム工学実験 3
機械製作実習

+ もう1人助教（選考中）



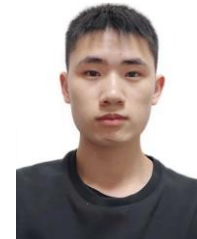
秘書さん



D3



D3



D3



D2



D1



M2



M2



M2



M1



M1



京都大学
KYOTO UNIVERSITY

研究室概要 (計算系の研究室です)

- 構造力学を基盤としながら、機械システムの設計・開発から製造、運用、廃棄までのライフサイクル全体を対象とした、**数理的なアプローチ**に基づくシステムの**設計論の革新**に挑戦しています。
- 当該分野の研究において、日本で**最も進んでいる研究室**です。これまでに多くの科研費を獲得しています。

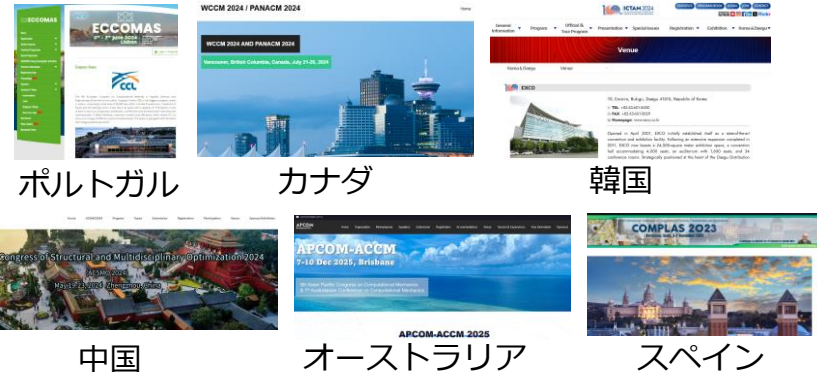
科研費
KAKENHI

<https://nrid.nii.ac.jp/ja/nrid/1000090314228/>

- 毎年多くの研究論文を発表
- 様々な国際会議へ出張 (国内も)



研究に必要な環境 (計算機など)
整備を積極的に行います。



ポルトガル

カナダ

韓国

中国

オーストラリア

スペイン

出張費用は全額研究費から支出します。
学生が自己負担することはありません。

- コアタイムはありません。**

本研究室は、学生の主体性を重んじます。ただし、学生を放置することはありません。



京都大学
KYOTO UNIVERSITY

研究連携体制

- 国内外の大学と、盛んに学術交流を行ってきました。



中国



泉井研



韓国



マレーシア



インド



デンマーク



ドイツ



フランス



アメリカ



ブラジル

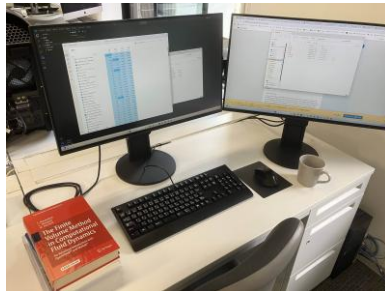
- 民間企業・研究所と、盛んに共同研究を行ってきました。
豊田中央研究所, アイシン, 三菱電機, ヤンマー,
IHI, 本田技研工業, トヨタ自動車, JAXA, その他多数



京都大学
KYOTO UNIVERSITY

研究体制

- 卒業研究は、先輩学生と教員がサポートします。
4回生（および修士課程）で身につく技能
 - 論理的思考力
 - 最適化に必要な数学や物理の知識
 - プログラミングや数値解析に関する知識
 - 英語の4技能
- 豊富な計算資源を有しています。



デスクまわり

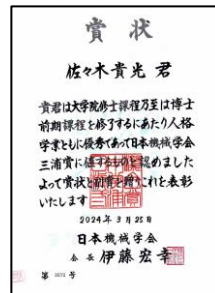


計算機（パワー）

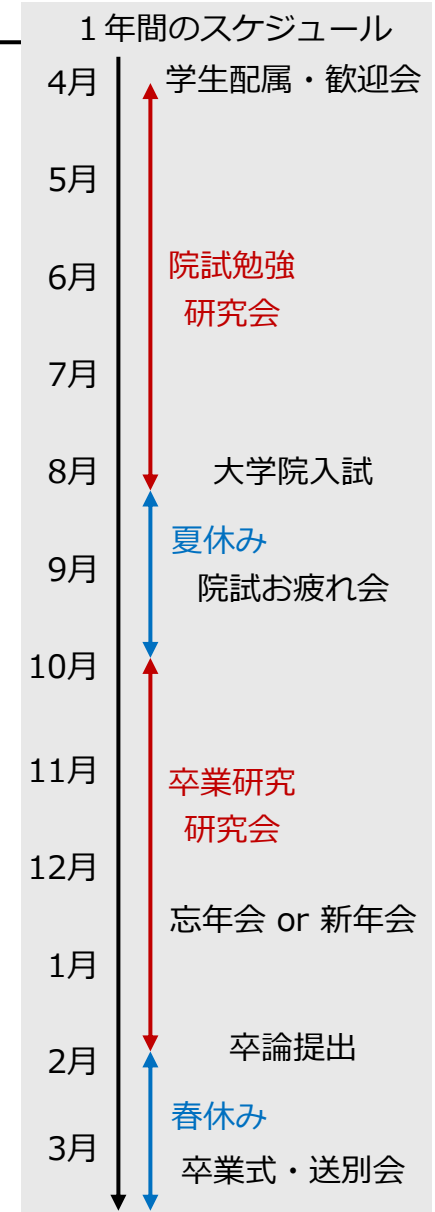


京大スパコン

- 学生の頑張りが形となって現れています。



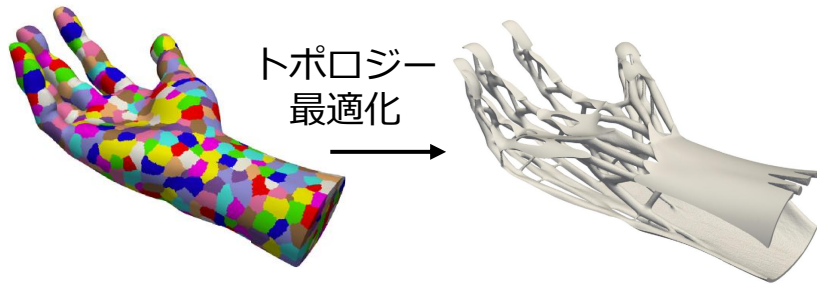
前述の研究論文の発表に加えて、
学士・修士・博士課程それぞれで受賞しています。



こんな人に向いてるかも？

- 何かを**最適化**してみたい人
物理現象からシステム設計まで、どんなテーマでもOKです！
- **数値シミュレーション**に興味がある人
研究室のムキムキな計算機やスパコンなど使って、スマートに研究しましょう！
- **数学**や**物理**が比較的好きな人
複雑な現象がなぜそうなっているのか、数式で説明したくない？
- 学外の研究者と**共同研究**してみたい人
おおよそどの学生も、学外の研究者と何かしらの共同研究をやっています。
- **オン・オフの切り替え**をちゃんとしたい人
昼間は自分が頑張って、夜間は計算機に頑張ってもらいましょう！徹夜厳禁！健康第一！
- 何か**デカい**ことを成し遂げたい**野心のある人**
圧倒的なパワー、大きなエネルギー求む！一緒に歴史に名前残しましょう。





トポロジー最適化を400字でまとめて



トポロジー最適化は、与えられた材料の量、荷重条件、境界条件に基づき、構造物や部品の最適な形状（トポロジー）を決定する設計手法です。目的は、強度や剛性を確保しつつ、材料の無駄を削減して軽量化を図ることです。この手法は、従来の設計方法では考えつかないような革新的な形状を自動的に導き出すことができます。

最適化は、有限要素法（FEM）などの数値解析を利用して行われ、設計空間内で材料の配置や密度を調整します。結果として、材料が必要最小限の場所に集中し、力が加わる部分には十分な強度を持たせつつ、その他の部分は材料が取り除かれたり薄くなったりします。これにより、構造物は軽量かつ効率的に作られます。

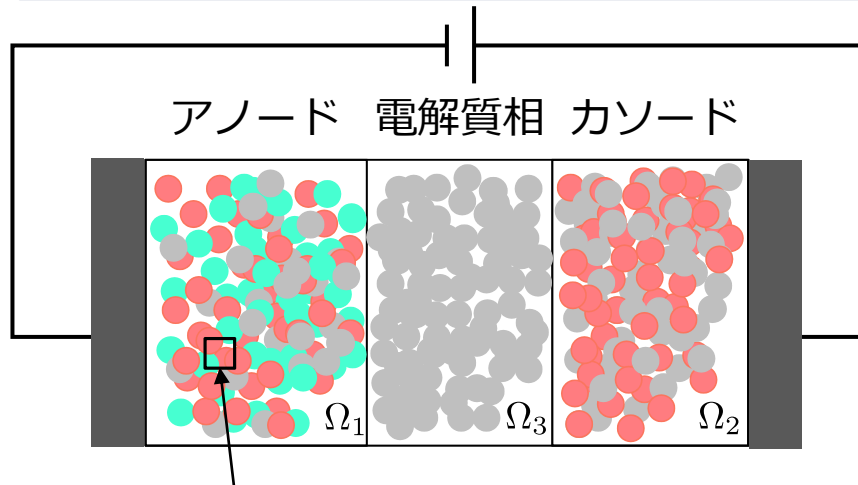
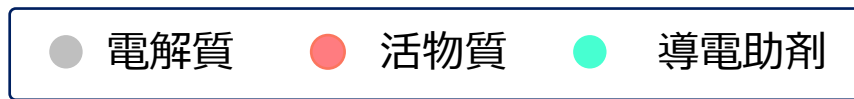
トポロジー最適化は航空機、自動車、建築など、強度と軽量化が重要な分野で広く利用されています。例えば、航空機部品や自動車のシャシー、建築物の構造設計において、最適化された形状が用いられることで、性能の向上や製造コストの削減が可能になります。しかし、得られた最適形状が製造に適さない場合もあり、製造技術との調整が重要な課題となります。また、計算には高い計算リソースが求められるため、効率的なアルゴリズムの開発も進められています。

研究例 1：全固体電池の最適設計

- 従来研究：試行錯誤に基づく実験的開発
- 本研究：トポロジー最適化法に基づき最適構造を導出

全固体電池の構成

材料一覧



従来の電池は3つの材料が均一に混ざっていた

それぞれの材料の役割を活かした
混ぜ方が存在するはず（不均一に混ぜる）

トポロジー最適化法の構築

最適化問題

設計変数

アノード内に存在する3つの材料の体積分率の分布

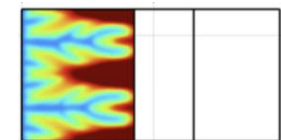
目的関数

過電圧

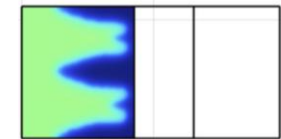
最適化結果

0 体積分率 0.8

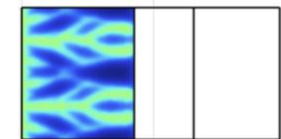
電解質



導電助剤



活物質



研究例 2 : 流体ダイオードの3次元最適設計

9

- 従来研究 : 2次元解析による設計がほとんど
- 本研究 : 3次元問題への拡張 + 製造性(自立性)の担保

最適設計問題

$$\begin{aligned} \underset{\gamma}{\text{minimize}} \quad & J = \int_{\Gamma} \left(p_r + \frac{\mathbf{u}_r \cdot \mathbf{u}_r}{2} \right) (\mathbf{u}_r \cdot \mathbf{n}) d\Gamma \\ \text{subject to:} \quad & G_1 = - \int_{\Gamma} \left(p_f + \frac{\mathbf{u}_f \cdot \mathbf{u}_f}{2} \right) (\mathbf{u}_f \cdot \mathbf{n}) d\Gamma - J_{f,\max} \leq 0 \end{aligned}$$

$$G_2 = \int_{\Omega} (1 - \hat{\gamma}) T^2 d\Omega - J_{h,\max} \leq 0$$

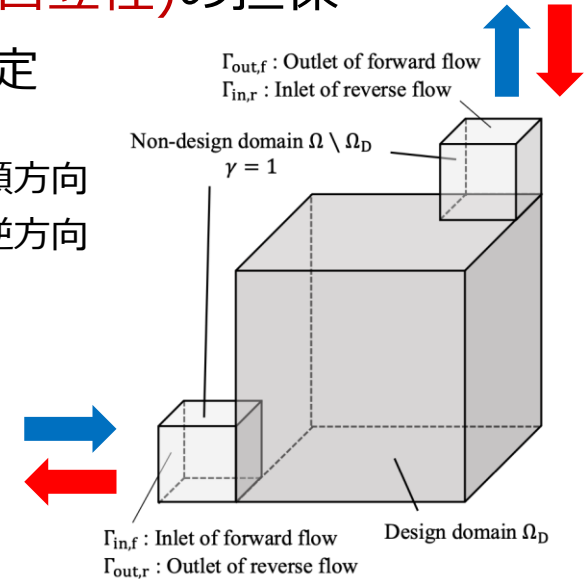
$$0 \leq \gamma \leq 1$$

$$\begin{cases} \nabla \cdot (\mathbf{u} \mathbf{u}^T) = \nabla \cdot \bar{\boldsymbol{\sigma}}(\mathbf{u}, p) - \alpha(\hat{\gamma}) \mathbf{u} & \text{in } \Omega \\ \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 & \text{in } \Omega \\ \mathbf{u} = \mathbf{u}_D & \text{on } \Gamma_D \\ \bar{\boldsymbol{\sigma}}(\mathbf{u}, p) \cdot \mathbf{n} = \mathbf{0} & \text{on } \Gamma_N \\ \nabla \cdot (d(\hat{\gamma}) \nabla T) + (1 - \hat{\gamma} - T) = 0 & \text{in } \Omega \\ T = 0 & \text{on } \Gamma_T \\ d\nabla T \cdot \mathbf{n} = 0 & \text{on } \Gamma_q \end{cases}$$

製造性 (自立性)

問題設定

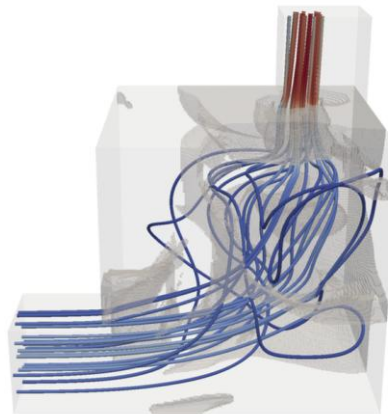
→ : 順方向
→ : 逆方向



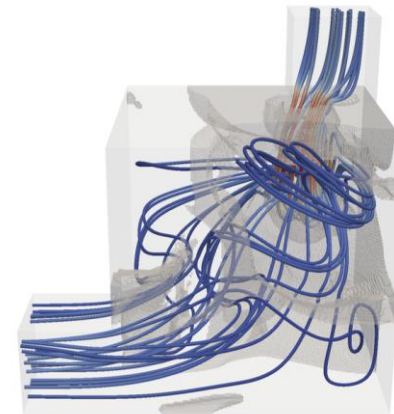
最適化結果



仮想的な数値モデルによって
非自立構造を検出→制約で除去



順方向流れ (流れやすい)



逆方向流れ (流れにくい)

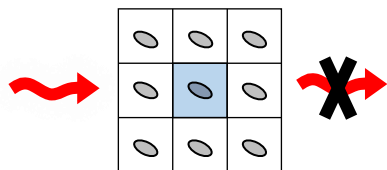


京都大学
KYOTO UNIVERSITY

- 従来研究 : 二つの材料を用いた設計
- 本研究 : 三つ以上の材料を用いた設計 + 初期構造への依存性低減

フォノニック結晶

振動を遮断する周波数領域
(バンドギャップ)を持つ周期構造



最適設計問題

三つ以上の材料を用いることで重量を抑えつつ(①)バンドギャップを最大化する。
また、初期構造への依存性を低減するための制約を加える(②)。

$$\text{maximize}_{\phi_1, \dots, \phi_{M-1}} F_n = \frac{\min \omega_{n+1}(\mathbf{k}) - \max \omega_n(\mathbf{k})}{0.5 (\min \omega_{n+1}(\mathbf{k}) + \max \omega_n(\mathbf{k}))}$$

$$\text{s.t. } G_1 = \int_{\Omega} \rho d\Omega - M_{max} \leq 0, \quad \textcircled{1}$$

$$G_2 = \sum_{i=1}^{n_k} w(k_i) h(\omega_{n+1}(\mathbf{k}_i) - \omega_n(\mathbf{k}_i)) \leq 0. \quad \textcircled{2}$$

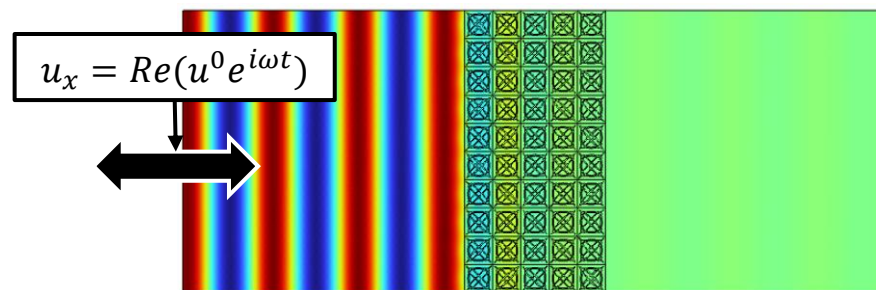
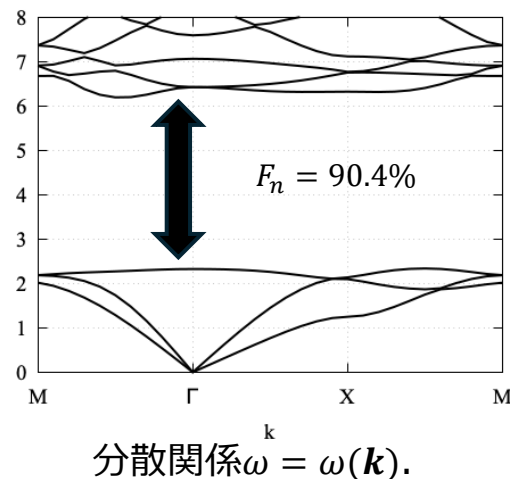
$$\int_{\Omega} (\tilde{w}_{i,j} + ik_j \tilde{w}_i)^* C_{ijkl} (\tilde{u}_{k,l} + ik_l \tilde{u}_k) d\Omega = \omega(\mathbf{k})^2 \int_{\Omega} \rho \tilde{w}_i^* \tilde{u}_i d\Omega, \quad \forall \tilde{w} \in P_{\Omega}$$

最適化結果



単位格子

■ : Epoxy³
■ : Al
■ : W



左端に $\omega = 3c/l$ で振動する規定変位を与えた時の u_x の分布

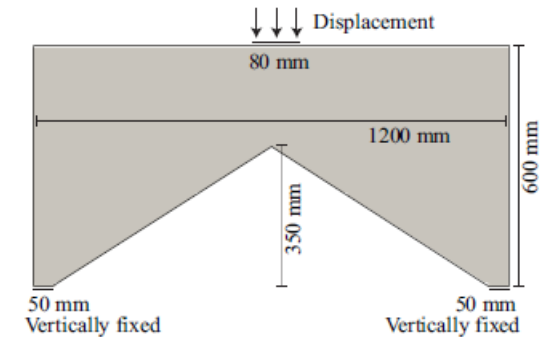
- 従来研究 : トポロジー最適化を行う材料は線形弾性体
- 本研究 : **金属材料**を想定した材料をトポロジー最適化に導入

設計感度

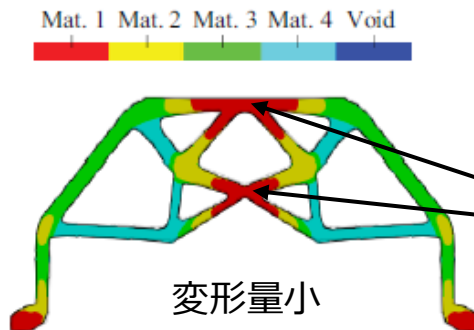
$$s_{D_0,i} = \bar{s}_{D_0,i} - \sum_{l=1}^i (\theta_l - \theta_{l+1}) \frac{1}{\omega_i} \prod_{k=1}^m \omega_k \text{ in } D_0$$

$$\text{with } \bar{s}_{D_0,i} = \begin{cases} \int_t \left[\frac{\partial f_{B_0}}{\partial \omega_i} + \omega_m^p \left(H : \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial \omega_i} - \mathbf{w} \cdot \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial \omega_i} \right. \right. \\ \quad \left. \left. - \eta^p \left(\frac{\partial \|\boldsymbol{\tau}_{\text{dev}}\|}{\partial \omega_i} - \sqrt{\frac{2}{3}} \left(\frac{\partial R}{\partial \omega_i} (y_0 + r^p) + R \left(\frac{\partial y_0}{\partial \omega_i} + \frac{\partial r^p}{\partial \omega_i} \right) \right) \right) \right. \right. \\ \quad \left. \left. + \frac{\partial p_p}{\partial \omega_i} \tilde{\beta} (\bar{\alpha} - \alpha) + \frac{\partial q_p}{\partial \omega_i} \nabla \tilde{\beta} \cdot \nabla \bar{\alpha} \right) \right] dt \text{ for } i = 1, 2, \dots, m-1 \\ \int_t \left[\frac{\partial f_{B_0}}{\partial \omega_m} + \frac{\partial \omega_m^p}{\partial \omega_m} \left(H : (\mathbf{P} - \boldsymbol{\sigma}^f) - \mathbf{w} \cdot \mathbf{B} + p_p \tilde{\beta} (\bar{\alpha} - \alpha) + q_p \nabla \tilde{\beta} \cdot \nabla \bar{\alpha} \right) \right] dt \text{ for } i = m \end{cases}$$

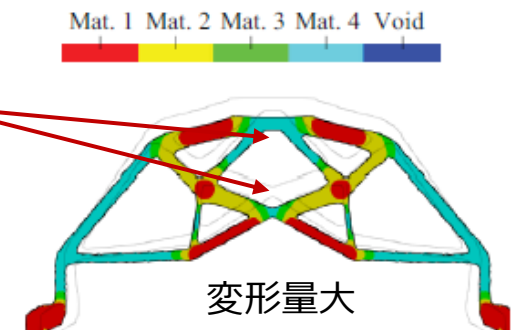
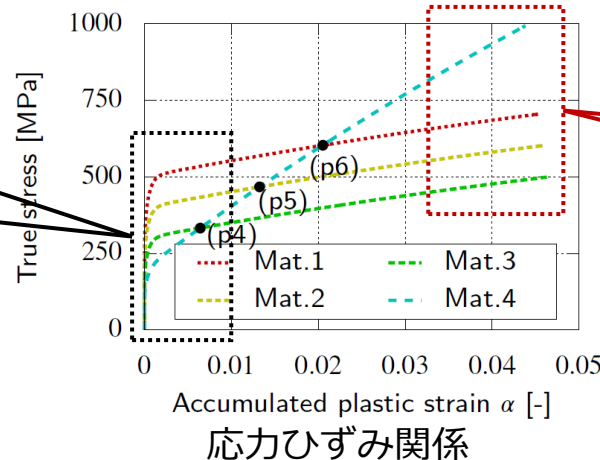
解析モデル



最適化結果



変形量が小さい場合は、
初期降伏応力の大きい材料が
応力集中部に集まる



変形量が大きい場合は、
硬化力の大きい材料が
応力集中部に集まる

その他の研究テーマ (一部抜粋)

- 傾斜機能ヒートシンクを対象とした構造最適化手法の構築
- 製造性を考慮したトポロジー最適化法の構築
- ベイズ最適化に基づくトポロジー最適化法の構築
- 金属積層造形における製造性を考慮したトポロジー最適化
- 接合費用と剛性を同時考慮した複数材料のトポロジー最適化
- 熱および電磁気問題を対象とした最適設計法

固体力学, 流体力学, 熱力学, 電磁気学, 音響工学から, 接合費用, 製造性, 不確実性など, 様々な問題を対象とした **最適化問題** を日々極めていきます.

定義 [編集]

[最適化問題 - Wikipedia](#)

最適化問題を数学的に記述すると、最小化問題の場合

与えられた関数 $f: A \rightarrow \mathbb{R}$ について、 $x_0 \in A: \forall x \in A, f(x_0) \leq f(x)$ なる x_0 を求めよ

となる。最大化問題の場合には $\forall x \in A, f(x_0) \geq f(x)$ となる x_0 を探すことになる。最大化問題は $\max f(x) = \min(-f(x))$ のように目的関数の符号を反転させることにより等価な最小化問題に書き直せるので、最小化用のアルゴリズムが使える^[3]。



卒業生の進路

- 博士前期課程修了（直近4年）
 - 博士後期課程進学
 - トヨタ自動車
 - 日産自動車
 - 豊田中央研究所
 - 三菱重工
 - 川崎重工
 - ソニー
 - Panasonic
 - 三菱電機
 - 京セラ
 - JR西日本
 - 日本製鉄
 - 富士フイルム
 - 三菱商事
 - JAL(パイロット)
- 博士後期課程修了
 - 京都大学
 - 名古屋大学
 - 大阪大学
 - 広島大学
 - 豊田中央研究所
 - IHI
 - 海外ポスドク

本研究室は、大学院への進学を積極的に奨励しています。
奨学金・学振獲得ノウハウ有り



研究室説明会・見学会の予定

アクセス



- 見学会（詳細情報はHPに載せます）
場所：桂C3棟b2S05

- 連絡先
韓：han.jike.8r@kyoto-u.ac.jp

京都大学大学院 工学研究科 マイクロエンジニアリング専攻 構造材料強度学研究室

English

SIMISL 京都大学大学院 工学研究科 マイクロエンジニアリング専攻
構造材料強度学研究室

お知らせ
news

メンバー紹介
members

研究詳細
research overview

研究成果
research publications

獲得研究資金
research funding

研究室へのアクセス
access map

トポロジー最適化
応用コンソーシアム
SIP 革新的設計生産技術

熱流体を対象とした
トポロジー最適化
研究コンソーシアム

研究室のご紹介

構造材料強度学研究室では、構造力学を基盤としながら、機械システムの設計・開発から製造、運用、廃棄までのライフサイクル全体を対象とした、数理的なアプローチに基づいたシステムの設計論の革新に取り組んでいます。社会の持続的な発展に寄与するため、多様な領域の研究との融合を図りながら、次世代の機械システムやデバイスの創出を目指します。本研究室への問い合わせ、研究室見学希望などは教員の韓（han.jike.8r@kyoto-u.ac.jp）へご連絡ください。

本研究室のキーワード：数値シミュレーション、数理最適化、材料力学、流体力学、電気化学、機械学習



<https://www.osdel.me.kyoto-u.ac.jp/index.html>

Webで検索！

🔍 構造材料強度学 京大



京都大学
KYOTO UNIVERSITY

余談：研究室選びのアドバイス

- 研究室の数が多いので、まずは**各研究室のHP**を覗いてみてください。
<https://www.s-es.t.kyoto-u.ac.jp/mec/ja/information/laboratory>
- 中身は分からないと思いますが、**研究紹介ページ**を見ましょう。
直感的に惹かれる単語を、ウェブで検索してみましょう。



<https://www.osdel.me.kyoto-u.ac.jp/overview.html>

ググってみる



https://www.youtube.com/watch?v=t_hUNyIAFXI

トポロジー最適化とは何ぞや？

泉井研は計算系っぽいぞ！

- 複数の研究室HPで単語検索をしていると、検索結果から、**実験系**（自分自身が手を動かす系）もしくは**計算系**（理論やシミュレーションをやる系）が気になっているのか、明らかになってくると思います。
- 気になる研究室の**研究室説明会・見学会**に参加してみましょう！

