

エネルギー密度位相最適化法の提唱

Proposed Energy Density Topology Optimization



○佐々木 淑恵(明治大学) 萩原 一郎(明治大学)
明治大学先端数理科学インスティテュート

発表者自己紹介

大学卒業後、民間企業に勤務。

2020年度より、明治大学萩原研究室にて固有振動周波数解析、最適化設計について研究を行う。エネルギー密度位相最適化法を提唱し、今後、折紙輸送箱への応用展開を考えている。



固有周波数の最適化について、輸送箱の材料となる平板で 基礎的な研究

いちごなどの青果物、細胞、血液が輸送中に傷む要因に傷みやすい振動帯域があるものと推定される。その振動帯域を避けるように、輸送箱の固有周波数を移動する。複数の固有周波数を制御する困難な課題であるが、エネルギー密度位相最適化法で穴を設けるだけで最適化して解決を図り、研究成果を発表する。

位相最適化法の歴史

- ① 1980年 有限要素法と最適化技術のドッキング
寸法最適化のみ。

一つの固有周波数を僅かに変えるだけでも困難

- ② 1988年 Bendsoe-Kikuchi 均質化法を使った位相最適法の開発

:大金星. 関連研究が一挙に大爆発.

しかし, 振動問題への適用は困難であった.

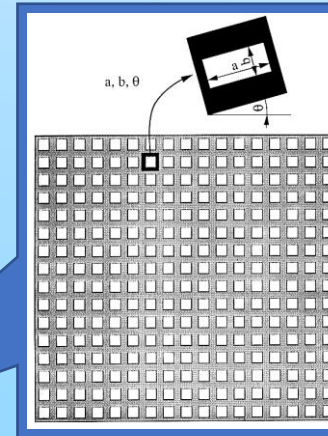
- ③ 1994年 Tenek-Hagiwara 均質化法位相最適化法
初めて振動問題に適用

- ④ 1994年 Tenek-Hagiwara 均質化法位相最適化法
と板厚を設計変数とする場合の比較. ほとんど変わらない.

以降, 密度法で. しかし複数の固有周波数のコントロール
殆ど不可能

- ⑤ 2021年 佐々木—萩原, 応用数理学会年会など
エネルギー密度位相最適化法の開発

①と同程度の大金星.



リサイジング則(感度解析)

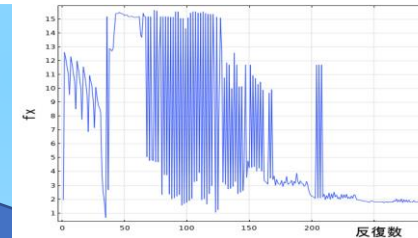
$$x_i^{k+1} = D_i^k x_i^k$$

$$D_i^k = \sqrt{-\frac{\Delta f}{\Delta x_i}}$$

x_i^k : i番目設計変数の
ステップ kでの値

f : 目的関数

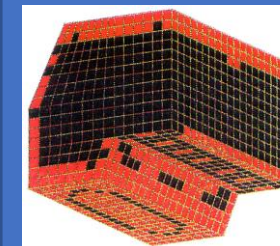
目的関数: 一般化固有値指標



$$\lambda^* = \begin{cases} \lambda_0^* + \left(\sum_{i=1}^m w_i (\lambda_{n_i} - \lambda_{0_i})^n / \sum_{i=1}^m w_i \right)^{\frac{1}{n}} & (n \neq 0 \text{ の整数}) \\ \lambda_0^* + \exp \left(\sum_{i=1}^m w_i \ln |\lambda_{n_i} - \lambda_{0_i}| / \sum_{i=1}^m w_i \right) & (n=0) \end{cases}$$

パラメーター: $w_i, n, \lambda_{0_i}, \lambda_0^*$

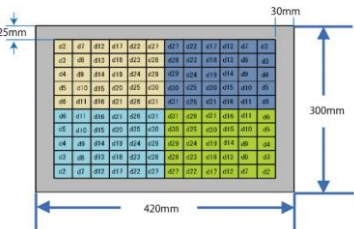
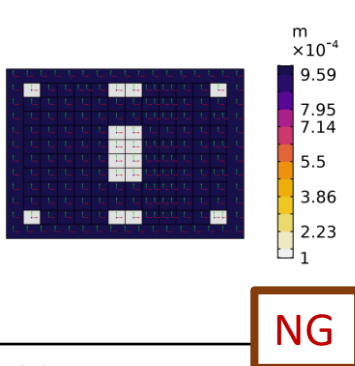
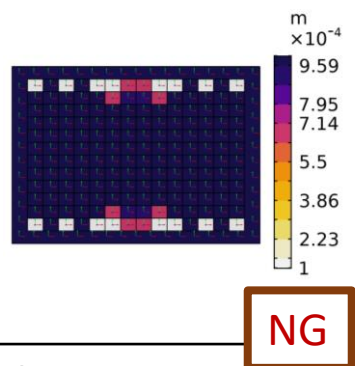
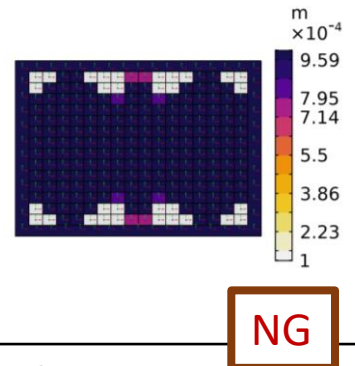
No	Initial Value	Target Value	Result Value
1	6.2	15.0	15.0
2	8.2	20.0	19.1
3	11.7	25.0	25.0
4	14.3	30.0	29.7



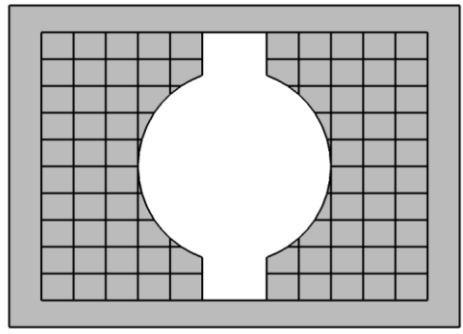
トラックキャビン
最適化のための
固有周波数の制御

従来の位相最適化で複数の固有周波数制御の困難さ

8Hz～20Hz，固有周波数が存在しないよう制御

要素の数			120分割 30要素	168分割 42要素	224分割 50要素	400分割
計算時間			53min	2h39min	11h51min	計算時間 がかかり 結果を出 すことが できない。
 板厚1mm 段ボール						
次数	初期	目的				
7次	8.24Hz	7.0Hz	7.83Hz	8.04Hz	8.10Hz	
8次	9.38Hz	7.5Hz	8.03Hz	8.90Hz	8.84Hz	
9次	19.14Hz	21.0Hz	18.29Hz	19.00Hz	19.24Hz	
10次	19.34Hz	22.0Hz	19.24Hz	19.72Hz	19.81Hz	

位相最適化技術の大変革 エネルギー密度最適化は，目的周波数が得られる



穴だけで目的の周波数
製造が容易（滑らかでシンプルな形状）

計算時間 10分

最適化後固有周波数（Hz）
（板厚1.2mm） 7.25,7.62,20.55,20.67

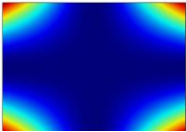
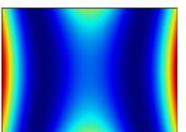
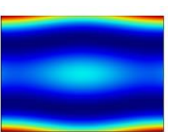
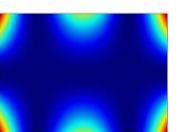
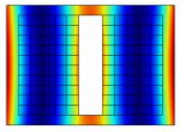
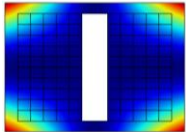
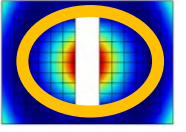
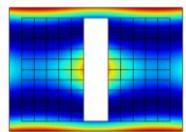
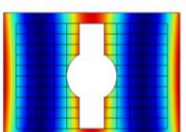
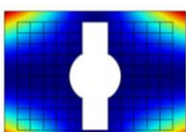
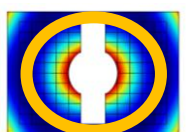
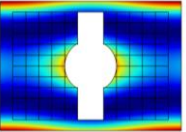
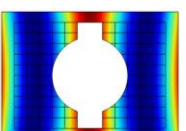
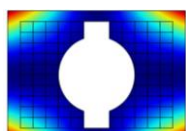
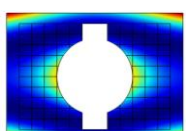
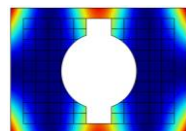
OK

対象となる平板形状とエネルギー密度位相最適化の考え方 **エネルギー密度位相最適化とは？**

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_n}{m_n}}$$

固有周波数を下げる場合は、バネ部に穴 上げる場合は、マス部に穴

8 Hzから20Hzまで固有周波数が存在しない

目標周波数👉		7次 7.0Hz	8次 7.5Hz	9次 21.0Hz	10次 22.0Hz
はじめの状態	平板のエネルギー密度分布👉 上運動エネルギー密度分布 (マス) 下 歪エネルギー密度分布 (バネ) 7次8次を下げたい 8次バネ部に穴を設ける	8.24Hz 	9.38Hz 	19.14Hz 	19.34Hz 
	板厚1mm	以下 運動エネルギー密度分布のみ表示			
	1 8次バネに穴を設けたとき👉 9次を上げたい 9次マス部 (赤) に穴を設ける	5.49Hz 	7.17Hz 	16.26Hz 	18.01Hz 
	2 9次マスに穴を設けたとき👉 9次を上げたい 9次マス部 (赤) に穴を設ける	5.69Hz 	6.92Hz 	17.13Hz 	17.63Hz 
繰り返しの回数	3 9次マスに穴を設けたとき👉 9次を上げたい 終了(赤なし) ⇒板厚最適化	6.09Hz 	6.40Hz 	17.26Hz 	17.37Hz 
板厚寸法最適化後の固有周波数👉 設計変数：下限0.5mm上限1.5mm (板厚1.2mm)		7.25Hz	7.62Hz	20.55Hz	20.67Hz

今後、エネルギー密度位相最適化の応用 今後、どのようなところに応用されるか？

従来手法では目的の輸送箱を得るのは不可能に近いが、新しい手法では高速・高精度で目的の輸送箱が得られる見通し

★ 1 複数固有周波数制御を必要とする課題への適用

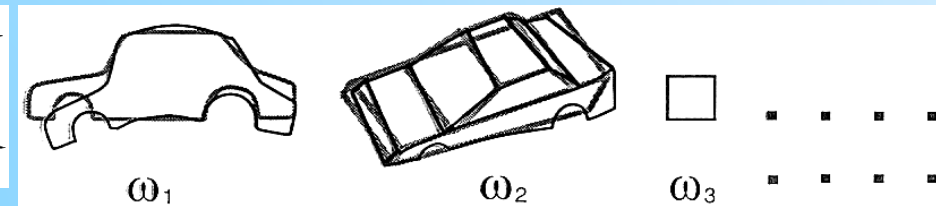
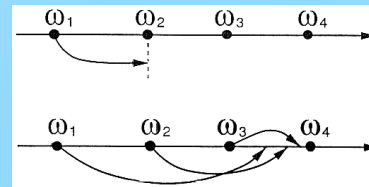
① 苺，酒，ワイン，血液，ips細胞の輸送箱への適用

② 自動走行車への適用：乗員の不安感，恐怖感を助長する周波数帯域内の乗員，シート，フロア系の共振周波数を帯域外に移動

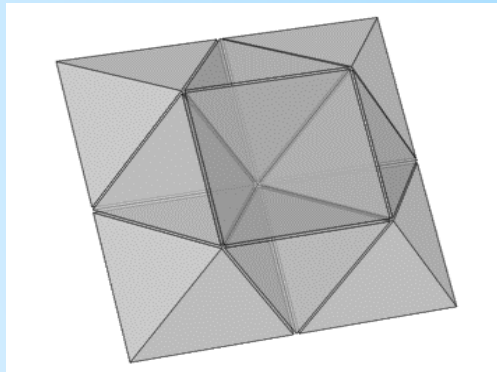
★ 2 適用範囲の拡張

① 固有モードコントロール 一つ

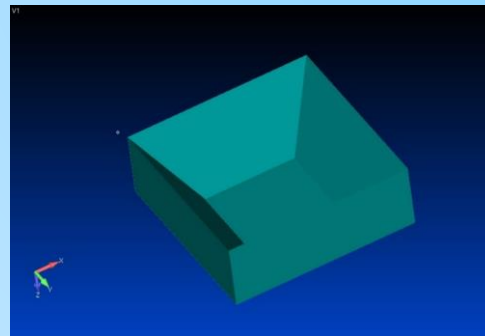
② 静的問題などへの拡張 複数



ATCP (Assembly Truss Core Panel)



空間充填補強箱



いちごの輸送



外箱



萩原一郎，寺田耕輔，コアパネル，2018-160214（2018年8月29日），特開2019-043676（2019年3月22日）

萩原一郎，奈良知恵，笠間直子，崎谷明恵，箱，及び，箱の組み立て方法，

出願番号：特願2019-8367（出願日：平成31年1月22日），特開2020-11750（2020年8月6日）

萩原一郎，崎谷明恵，意匠に係る物品：「包装用箱の内蓋」，出願番号：意願2019-004088，出願日：平成31年2月28日