

# トポロジー最適化技術を用いた 設計手法の開発

機械・加工科

副主任研究員 坂内駿平

質問はメールにて事務局までお気軽にお問い合わせください。

問い合わせ先：福島県ハイテクプラザ 企画連携部産学連携科

e-mail : [hightech-renkei@pref.fukushima.lg.jp](mailto:hightech-renkei@pref.fukushima.lg.jp)

# 背景・研究概要

治具には加工の際の有害な振動やたわみを抑制するために高い剛性が必要である。そのため、治具は重量が重くなることが多く、段取り替えなどでの作業者の負担が大きい。

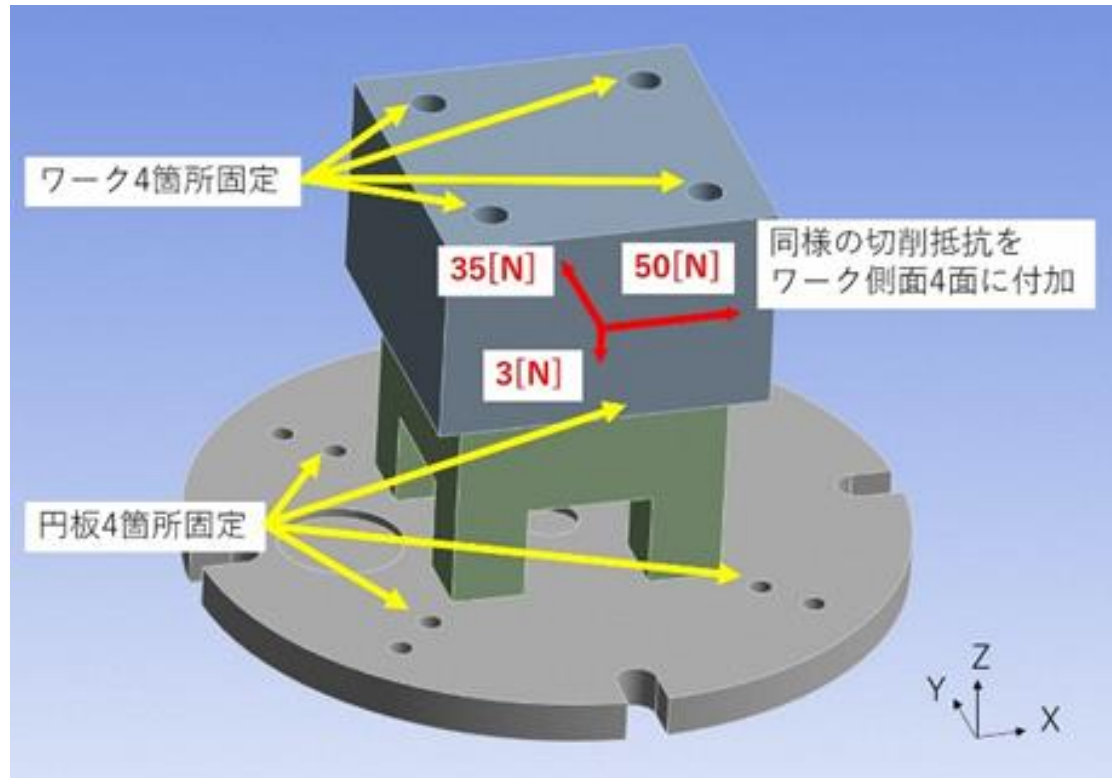


ハイテクプラザ保有治具  
(20.62kg)

切削加工用の治具を例に、トポロジー最適化を用いて 治具の剛性を保ちつつ、軽量化に取り組んだ。

# 解析条件

ANSYSを用いて、ベース治具の構造解析を行った。  
その後、ベース治具の構造解析結果を基に、トポロジー最適化を行った。  
今回の解析では、固定点、荷重、物性値（密度、ヤング率、ポアソン比）が必要。



構造解析の解析条件

## 物性値

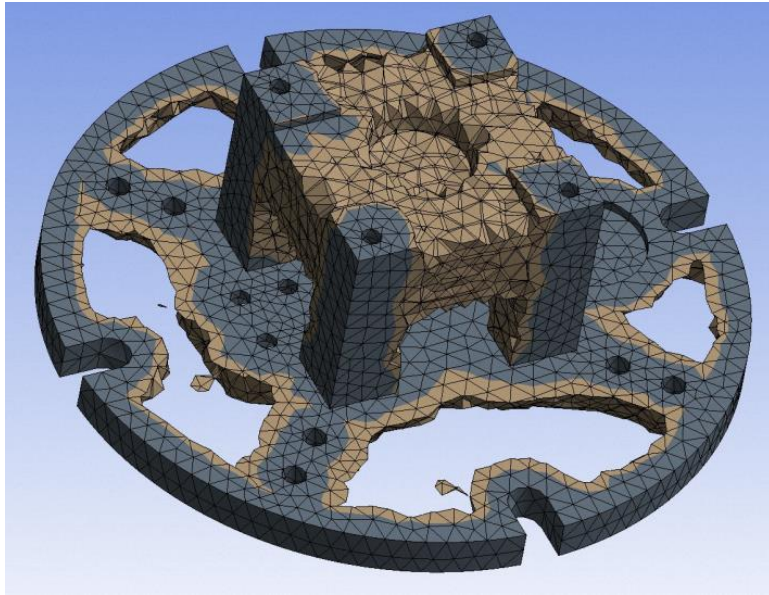
治具材料：SS400      ヤング率：205[Gpa]  
ポアソン比：0.3      密度：7,850[kg/m<sup>3</sup>]

## トポロジー最適化条件

- ・ 製造制約：メンバー厚み20mm以上確保
- ・ 目的関数：コンプライアンス最小化  
(= 剛性最大化)
- ・ 応答拘束：質量40%削減  
(初期重量比)

# 解析結果

トポロジー最適化前後の相当応力と変形量を比較し、形状の妥当性を評価した。



得られた最適化形状

	最大相当応力[Mpa]	最大変形量[ $\mu$ m]
ベース治具	 0.3385	 0.0877
最適化治具	 0.3213	 0.0887

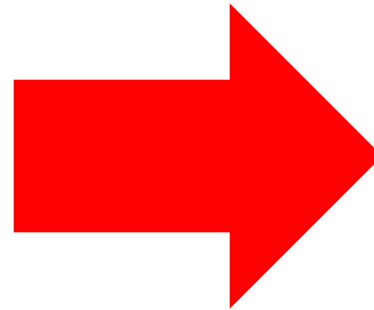
相当応力、変形量ともに従来品と比較して大きな差は見られなかったため、最適化治具はベース治具と同等の性能を有していると判断した。

# 治具の製作

導出した最適化形状をSTL形式で出力し、CAM(Master CAM)に取り込んで加工パスを作成した。その後、5軸マシニングセンタ (MX-520) で治具を製作した。



ベース治具 (20.62kg)



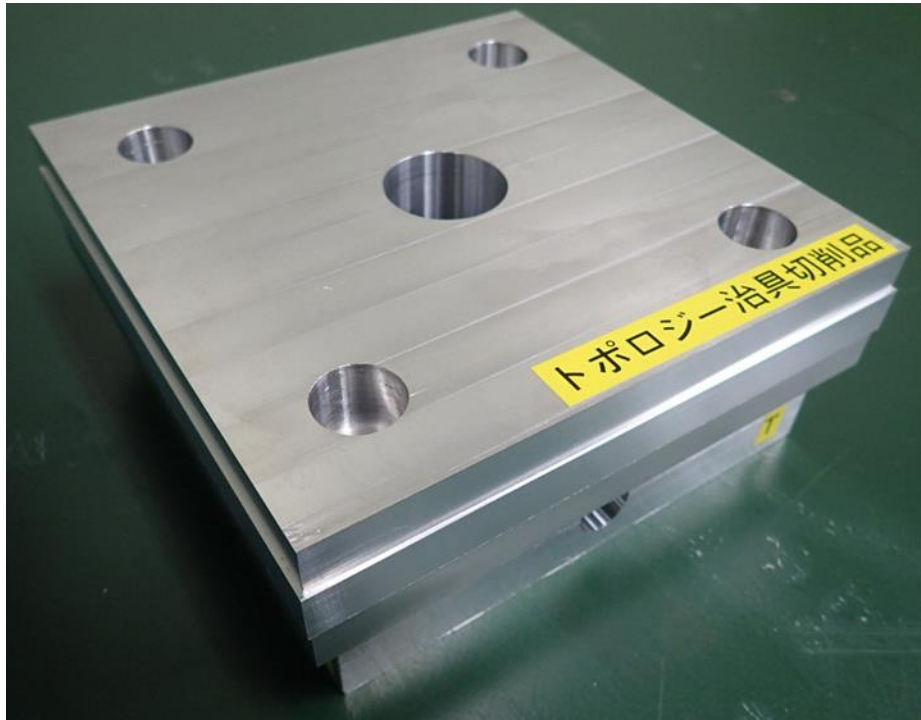
重量35%減



製作した最適化治具 (13.28kg)

# 切削実験

製作した最適化治具にアルミブロックを取り付け、JIS B 6336-7のM4試験体を製作した。同じ実験をベース治具でも行い、結果を比較した。

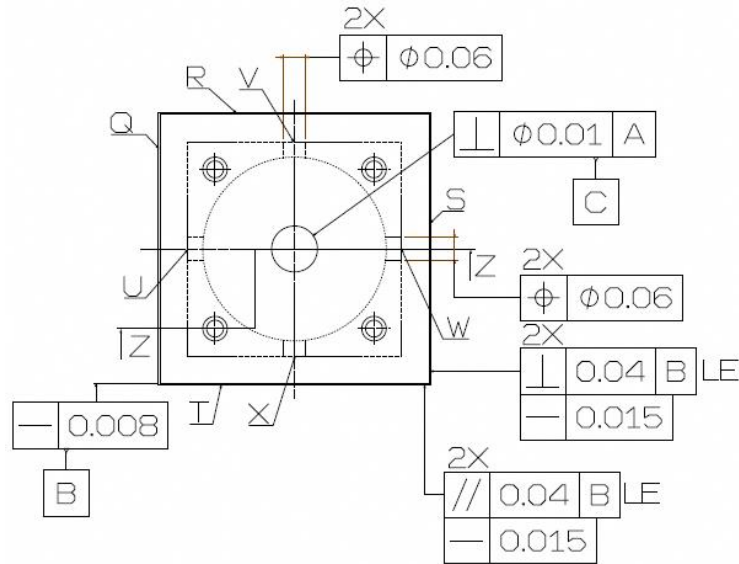


M4試験体

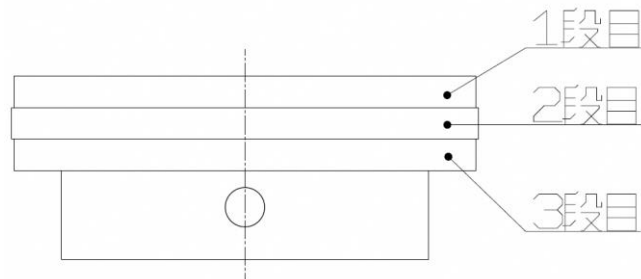
## 切削条件

- ・ワーク材種：A5052
- ・工具： $\Phi 20$ [mm]スクエアエンドミル（4枚刃）  
 $\Phi 10$ [mm]スクエアエンドミル（2枚刃）
- ・工具回転数：5000[rpm]（ $\Phi 20$ エンドミル）  
10000[rpm]（ $\Phi 10$ エンドミル）
- ・切削送り：1000[mm/min]

# 寸法・表面粗さ測定



寸法測定箇所(一部のみ抜粋)



表面粗さ測定箇所

試験事項	ベース治具 測定値[mm]	最適化治具 測定値[mm]	許容値 [mm]
側面Qの真直度	0.0003	0.0011	0.015
側面Rの真直度	0.0019	0.0017	
側面Sの真直度	0.0012	0.0016	
側面Tの真直度	0.0015	0.0011	

寸法測定結果(一部のみ抜粋)

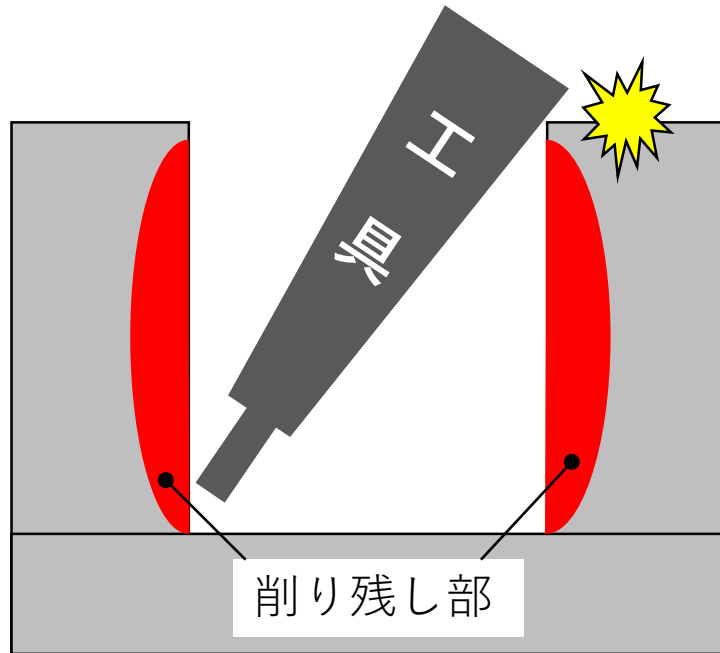
測定箇所	ベース治具 表面粗さRa測定値[ $\mu\text{m}$ ]	最適化治具 表面粗さRa測定値[ $\mu\text{m}$ ]
Q-1段目	0.14852	0.14206
Q-2段目	0.15397	0.16103
Q-3段目	3.38743	1.78359

表面粗さ測定結果

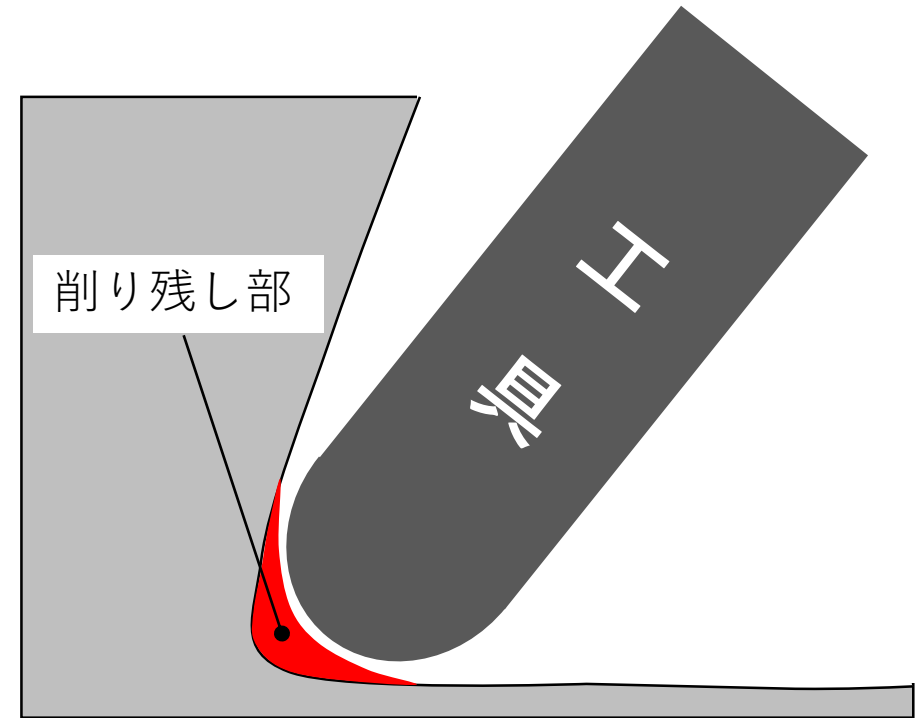
ベース治具と最適化治具で有意な差は見られず、同等の性能を有していることを確認した。

# 考察 1

今回製作した最適化治具の重量は、トポロジー最適化で設定した重量40%削減に未達であった。



アンダーカット部



工具が入らない形状

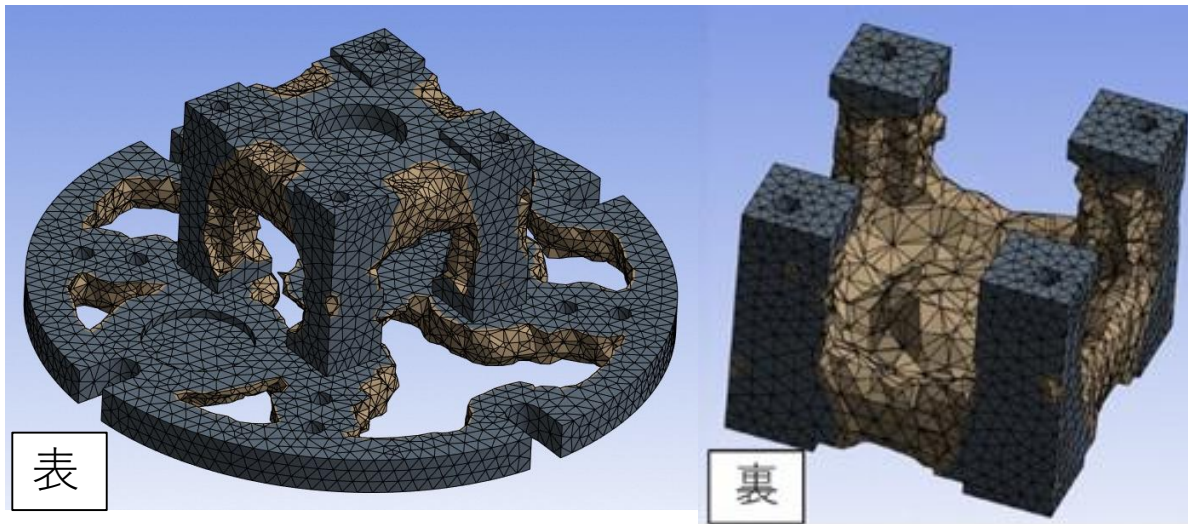
マシニングセンタで最適化形状を切削する場合、アンダーカット部や工具が入らない形状が含まれる場合は、目標重量未達となる場合がある。



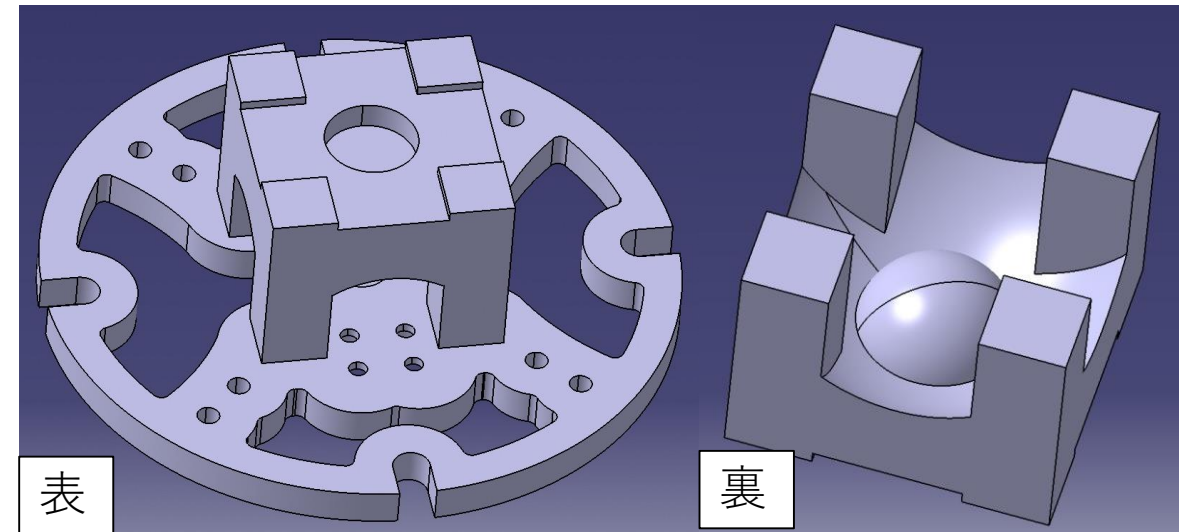
# 考察 2

解析時間：約25分（条件入力20分、解析5分）

最適化治具の製作時間：**約50時間**



導出した最適化形状



CADで修正した形状（重量約25%削減）

ANSYSの場合、最適化形状は多数の面で構成されたSTLデータで出力される。作業時間短縮のためには、前述の形状再現性の観点からも、得られた形状をCADで切削しやすい形状に修正することが望ましい。

# まとめ

- ・トポロジー最適化を用いることで、ベース治具から重量を約35%削減することができた。
- ・切削実験を行った結果、切削物の寸法精度と表面粗さはベース治具と同等であり、軽量化してもたわみやびびり振動は発生していないことが確認できた。
- ・マシニングセンタによる切削でトポロジー最適化形状を製作する際は、得られた最適化形状をCADで切削しやすい形状に修正することが望ましい。