



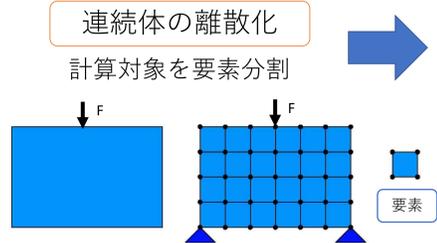
# 最適化設計を目指したCAEシステム活用法

生産技術部 田中徹

## CAEシステム

CAEシステムは、有限要素法などの数値解析手法を用いて、工学的な計算をコンピュータで支援するツールのこと。装置や部品の強度などを計算する構造解析システムは、主に有限要素法が使用されている。

### <有限要素法の計算の流れ>



要素剛性マトリックス  
全体剛性マトリックス

各要素をバネと考え、要素及び全体の剛性マトリックスを組立てる

境界条件を導入し連立1次方程式を解く (F=KU)

F: 荷重ベクトル, K: 全体剛性マトリックス, U: 変位ベクトル

$$\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \cdots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1} & k_{n2} & \cdots & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix}$$

変位ベクトルから応力を算出

変位とひずみ、ひずみと応力の関係から応力を算出

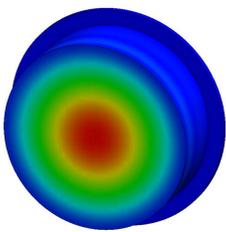
$$\begin{aligned} F &= B^T D^T B u \\ &= B^T D^T \epsilon \\ &= B^T \sigma \end{aligned}$$

## 研究背景

これまでCAEシステムを活用して、県内企業の製品（部品）設計において機能や強度の確保に関する検討を行い、製品（部品）設計の効率化・高度化に貢献してきた。

### 真空チャンバーの変形量の検討

真空チャンバーに大気圧が作用したときの、変形量を抑える部材厚さの検討を行った。

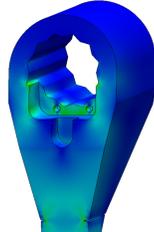


県内の部品製造企業

使用する材料を少なくしたい

### 装置の部品強度の検討

装置に使用する部品が破損しないように、作用荷重における強度確保の検討を行った。

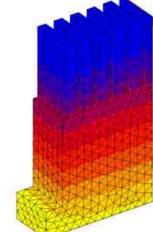


県内の設計製造企業

部品の変形を極力小さくしたい

### 部品機能の検討

装置内の冷却部品の温度分布により、冷却効果の検討を行った。



県内の設計製造企業

製品（部品）の機能を確保したい

CAEシステムの活用には、目的に応じた最適設計への要望があった。

## 研究モデル

スパナモデルの最適化設計を検討

## 最適化手法

最適設計支援を確立するために、CAEシステムに寸法最適化の適用法を検討する。

- 企業ニーズ
- なるべく軽くしたい（質量最小）
  - 強度は確保したい（許容応力以下）
  - 取手サイズを決めたい

目的関数:  $f(x) = \rho V$  (最小化)  
制約条件:  $g(x) = \sigma_{eq} < \alpha = 100\text{MPa}$   
設計変数:  $5 < x_1 < 10, 5 < x_2 < 20$

<寸法最適化> 想定された形状（寸法）を基にした最適化が可能な方法

- 目的関数:  $f(x)$  (最小化) → 最適化で改善したい評価指標  
制約条件:  $g(x) < \alpha$  (制約定数) → 最適化において満足しなければならない条件  
設計変数:  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  → 目的関数を改善するために調整可能な変数

## 研究結果



制約条件を満足

制約条件を満たす設計変数の組み合わせが61組あり、1組の設計変数を求めることができない。

| Height [mm] | Width [mm] |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 5.0        | 5.5   | 6.0   | 6.5   | 7.0   | 7.5   | 8.0   | 8.5   | 9.0   | 9.5   | 10.0  |
| 5.0         | 1021       | 936.3 | 852.6 | 769.4 | 741.5 | 690   | 644.9 | 598   | 557   | 514.3 | 490.5 |
| 6.0         | 729        | 670.7 | 610.7 | 572.6 | 533.9 | 492.4 | 459.2 | 424.1 | 397.1 | 371.7 | 348.5 |
| 7.0         | 561.5      | 509   | 477.4 | 440   | 405.6 | 364.8 | 353.3 | 300   | 302   | 277.7 | 263.2 |
| 8.0         | 439        | 398   | 365.5 | 338.3 | 313.3 | 296.1 | 273.7 | 252.7 | 233.9 | 215.5 | 207.5 |
| 9.0         | 353.6      | 322.6 | 296.5 | 275.6 | 254.2 | 237.9 | 220.6 | 208.5 | 190.9 | 175.2 | 166.6 |
| 10.0        | 295.4      | 268.6 | 250.8 | 231.1 | 217   | 199.7 | 189.8 | 175.8 | 162.1 | 148.2 | 138   |
| 11.0        | 240.4      | 221.7 | 205.4 | 191.2 | 178.2 | 166.8 | 155.2 | 143.9 | 134.6 | 122.3 | 114.8 |
| 12.0        | 205.5      | 191.3 | 175.6 | 165.6 | 152.1 | 141.6 | 131.8 | 123.1 | 113.3 | 105.5 | 100   |
| 13.0        | 182.9      | 169.8 | 155.5 | 142.3 | 134.1 | 126.3 | 117.6 | 106.4 | 100.5 | 94.3  | 89.5  |
| 14.0        | 153.9      | 144.5 | 132.2 | 124   | 115.4 | 108   | 101   | 93.8  | 87.8  | 81.7  | 76.0  |
| 15.0        | 139.1      | 129.2 | 119.3 | 110.1 | 102.3 | 95.0  | 88.4  | 84.7  | 77.1  | 70.6  | 65.2  |
| 16.0        | 124.8      | 116.8 | 108.7 | 99.1  | 92.6  | 86.1  | 81.8  | 77.0  | 69.1  | 67.0  | 61.8  |
| 17.0        | 110.9      | 100.2 | 92.9  | 87.3  | 82.1  | 77.2  | 72.1  | 66.6  | 62.1  | 56.4  | 55.1  |
| 18.0        | 103.9      | 94.6  | 86    | 80.3  | 75.2  | 70.3  | 65.3  | 60.3  | 54.5  | 49.5  | 48.5  |
| 19.0        | 90.3       | 83.7  | 78    | 73    | 68.3  | 63.3  | 59.9  | 57.2  | 54.5  | 50.9  | 50.3  |
| 20.0        | 81.1       | 75.9  | 70.7  | 65.3  | 60.3  | 55.9  | 53.2  | 51.4  | 50.9  | 48.1  | 47.7  |

(制約条件)

目的関数を適用

61組のうち、目的関数（質量最小）を満たす1組の設計変数（最適解）を求めることができる。

| Height [mm] | Width [mm] |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 5.0        | 5.5   | 6.0   | 6.5   | 7.0   | 7.5   | 8.0   | 8.5   | 9.0   | 9.5   | 10.0  |
| 5.0         | 159.3      | 163.2 | 167.1 | 171   | 174.9 | 178.8 | 182.7 | 186.6 | 190.5 | 194.4 | 198.3 |
| 6.0         | 167.1      | 171.8 | 176.5 | 181.1 | 185.8 | 190.5 | 195.2 | 199.9 | 204.6 | 209.2 | 213.9 |
| 7.0         | 174.9      | 180.4 | 185.9 | 191.3 | 196.7 | 202.2 | 207.6 | 213.1 | 218.5 | 224   | 229.4 |
| 8.0         | 182.7      | 189.2 | 195.7 | 201.4 | 207.6 | 213.9 | 220.1 | 226.3 | 232.6 | 238.9 | 245   |
| 9.0         | 190.5      | 197.5 | 204.5 | 211.5 | 218.5 | 225.6 | 232.6 | 239.6 | 246.6 | 253.6 | 260.6 |
| 10.0        | 198.3      | 206.1 | 213.9 | 221.7 | 229.5 | 237.3 | 245.1 | 252.9 | 260.7 | 268.4 | 276.2 |
| 11.0        | 206.1      | 214.7 | 223.3 | 231.8 | 240.4 | 249   | 257.6 | 266.1 | 274.7 | 283.3 | 291.9 |
| 12.0        | 213.9      | 223.3 | 232.6 | 242   | 251.3 | 260.7 | 270   | 279.4 | 288.8 | 298.1 | 307.5 |
| 13.0        | 221.7      | 231.9 | 242   | 252.1 | 262.3 | 272.4 | 282.5 | 292.7 | 302.8 | 313   | 323.1 |
| 14.0        | 229.5      | 240.5 | 251.4 | 262.3 | 273.2 | 284.1 | 295   | 306   | 316.9 | 327.8 | 338.7 |
| 15.0        | 237.4      | 249.1 | 260.8 | 272.5 | 284.2 | 295.9 | 307.6 | 319.3 | 331   | 342.7 | 354.4 |
| 16.0        | 245.2      | 257.7 | 270.1 | 282.6 | 295.1 | 307.6 | 320.1 | 332.6 | 345   | 357.5 | 370   |
| 17.0        | 253        | 266.3 | 279.5 | 292.6 | 305.7 | 318.8 | 331.9 | 345   | 358.1 | 371.2 | 384.3 |
| 18.0        | 260.9      | 274.9 | 288.9 | 302.8 | 316.7 | 330.6 | 344.5 | 358.4 | 372.3 | 386.2 | 400.1 |
| 19.0        | 268.8      | 283.7 | 298.3 | 312.1 | 325.9 | 339.7 | 353.5 | 367.3 | 381.1 | 394.9 | 408.7 |
| 20.0        | 276.5      | 292.1 | 307.6 | 323.4 | 339   | 354.6 | 370.2 | 385.8 | 401.4 | 417.1 | 432.7 |

(目的関数)

## 活用事例

貯水タンクモデルに最適化を適用

- 企業ニーズ
- 側壁の変形を小さくしたい
  - 強度は確保したい（許容応力以下）
  - 補強材の位置を決めたい

