



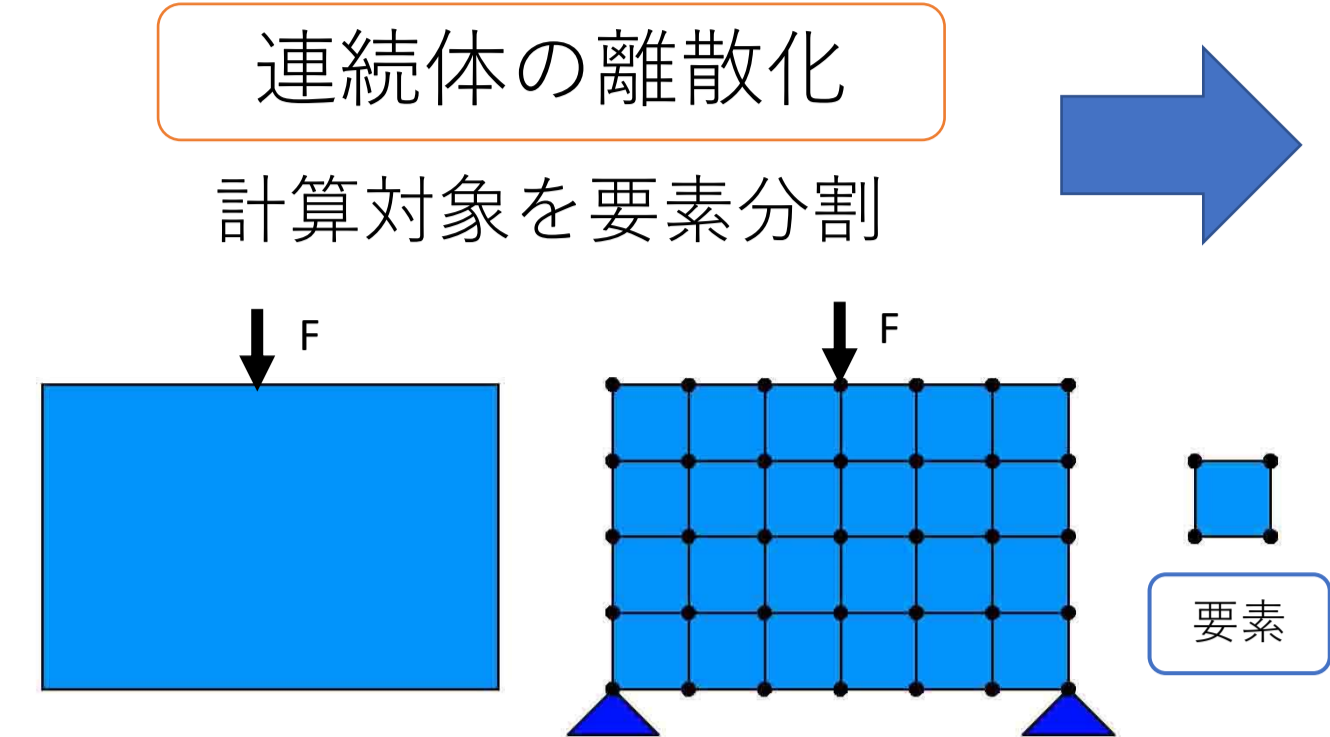
最適化設計を目指したCAEシステム活用法

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

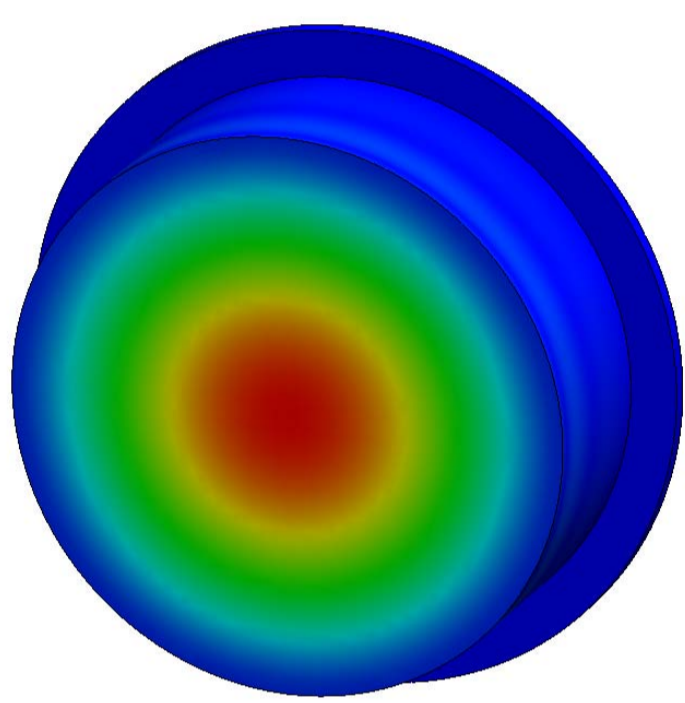
$$\begin{aligned} F &= B^T D^T B u \\ &= B^T D^T \epsilon \\ &= B^T \sigma \end{aligned}$$

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。

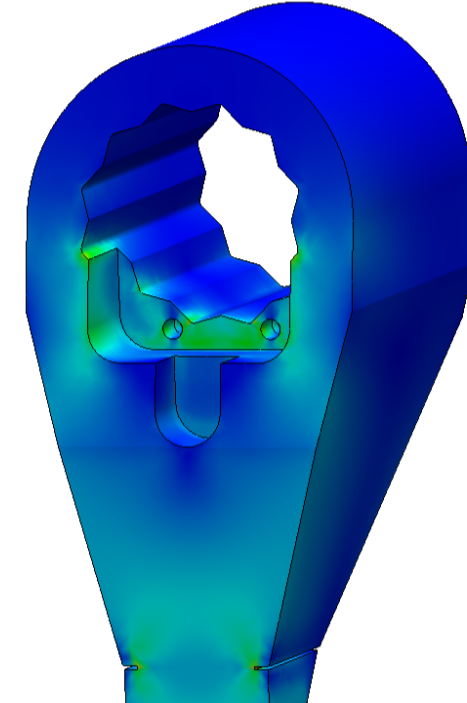


県内の部品製造企業

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。

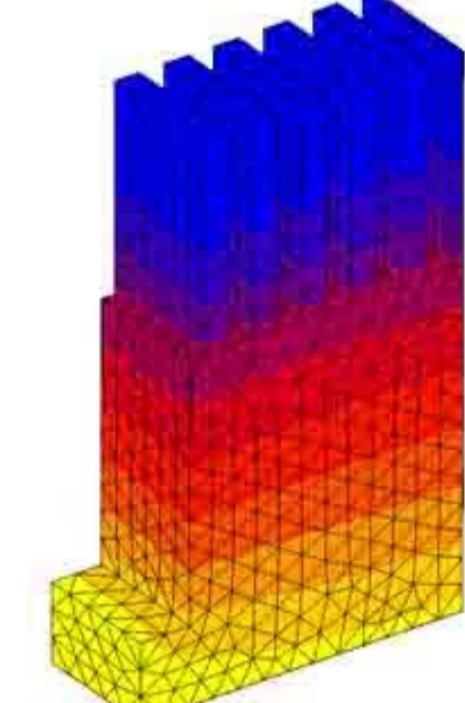


県内の設計製造企業

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。

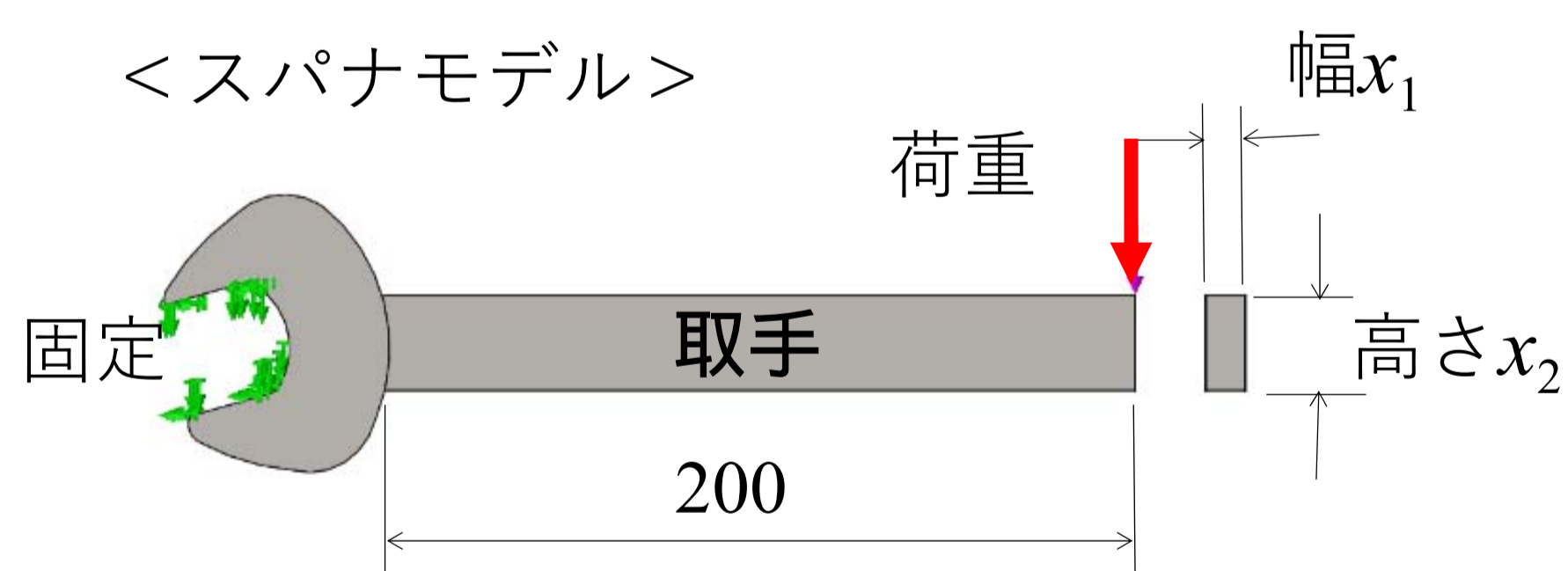
- 企業ニーズ
- なるべく軽くしたい（質量最小）
 - 強度は確保したい（許容応力以下）
 - 取手サイズを決めたい

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	80.8	75.9	71.2	66.6	61.8	57.1	49.5	48.5
19.0	90.3	83.7	78	73.3	68.9	64.6	60.4	56.2	51.9	47.3	50.3
20.0	81.1	75.9	70.3	62.3	63.3	59.9	57.2	54.5	50.9	49.1	

(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	185.8	191.3	196.7	202.2	207.6	213.1	218.5	224	229.4
8.0	182.7	189.2	195.2	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								385.7
18.0	260.9	274.9	288.9								401.3
19.0	268.8	283.7	298.3								417
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

