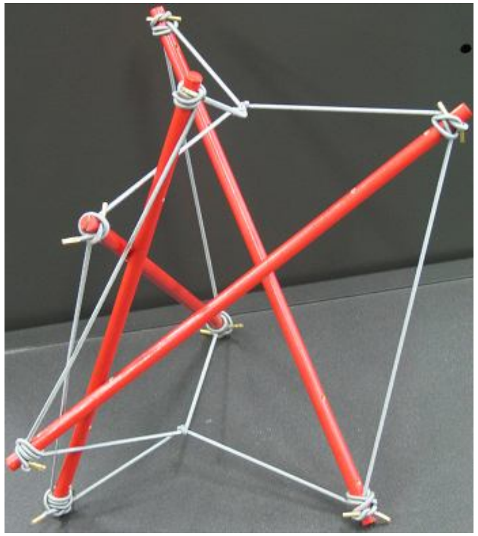
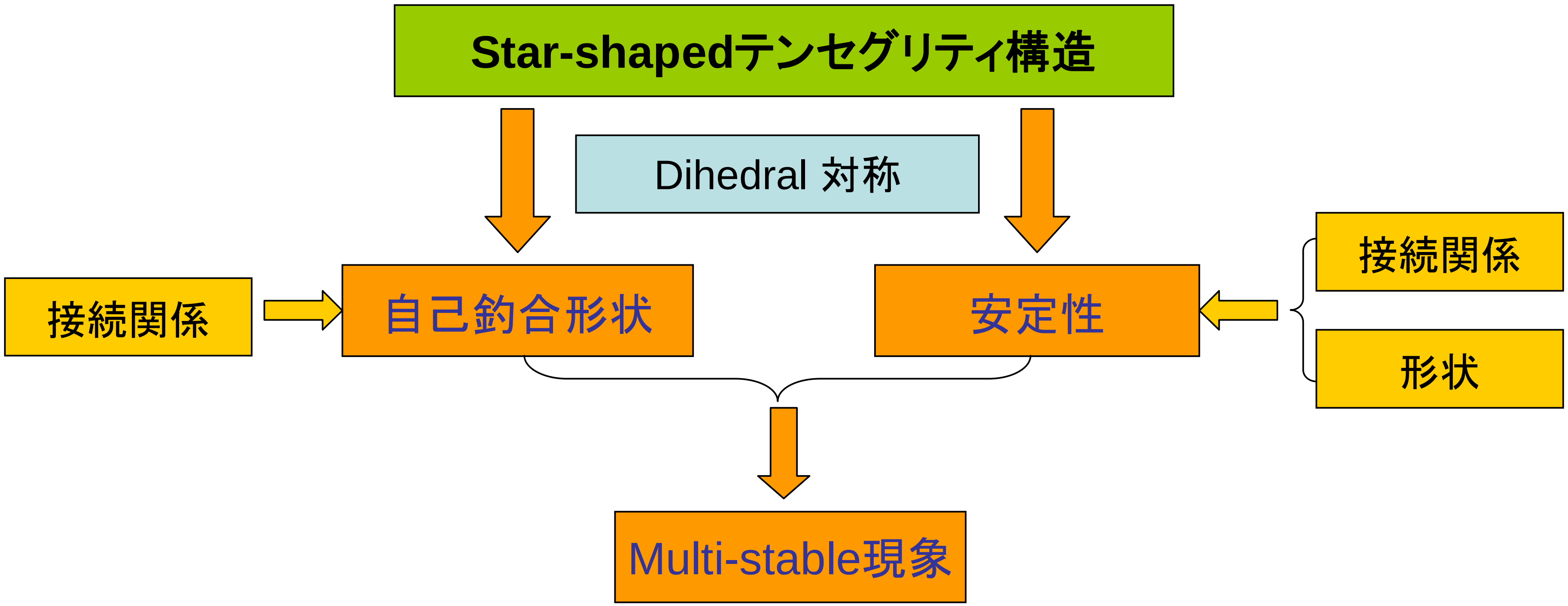
Multi-stable テンセグリティ構造物

張　景耀
大崎 純
S.D. Guest

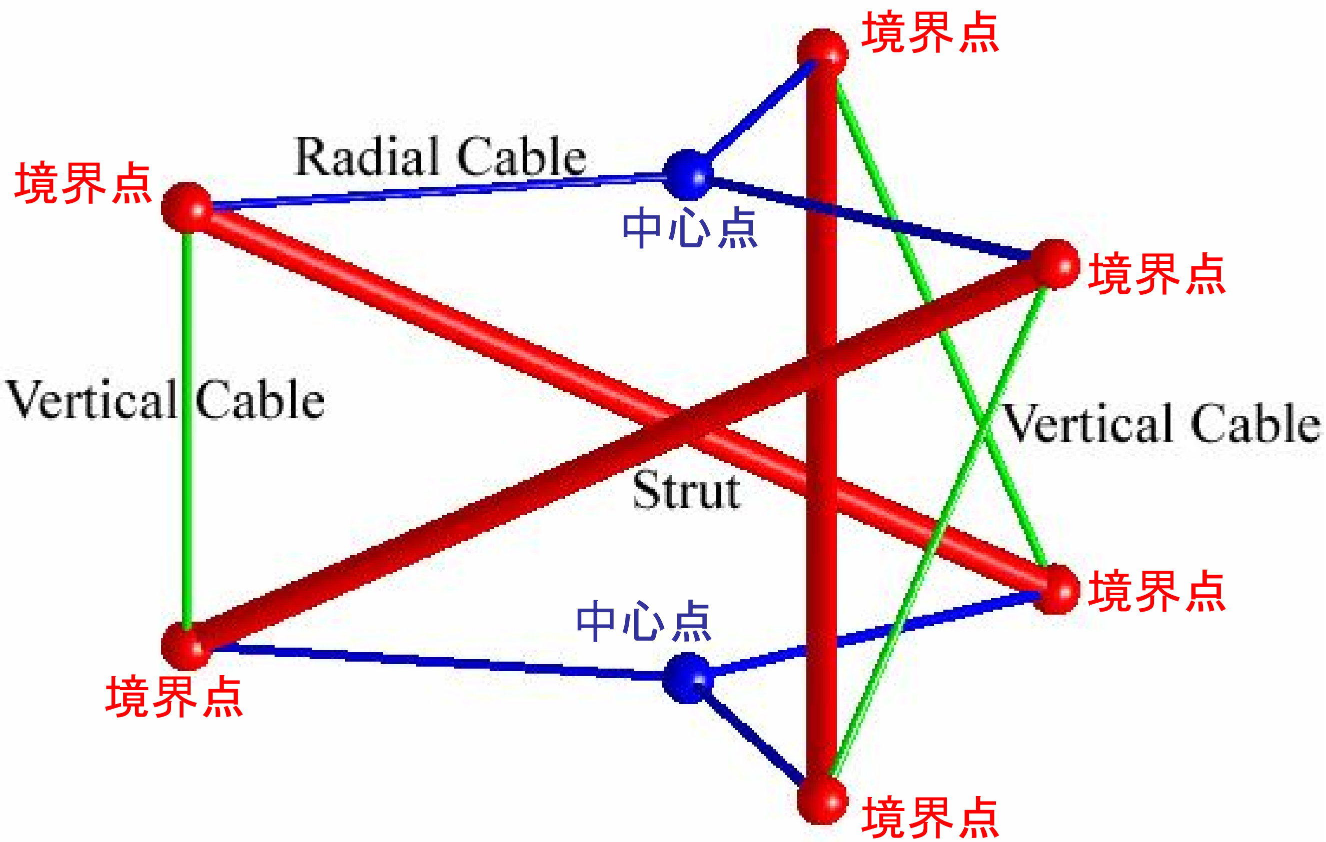
京都大学　建築学専攻



内容


Star-shapedテンセグリティ構造
Dihedral 対称
接続関係
自己釣合形状
安定性
接続関係
形状
Multi-stable現象

形状 $\mathbf{D}_n^v$

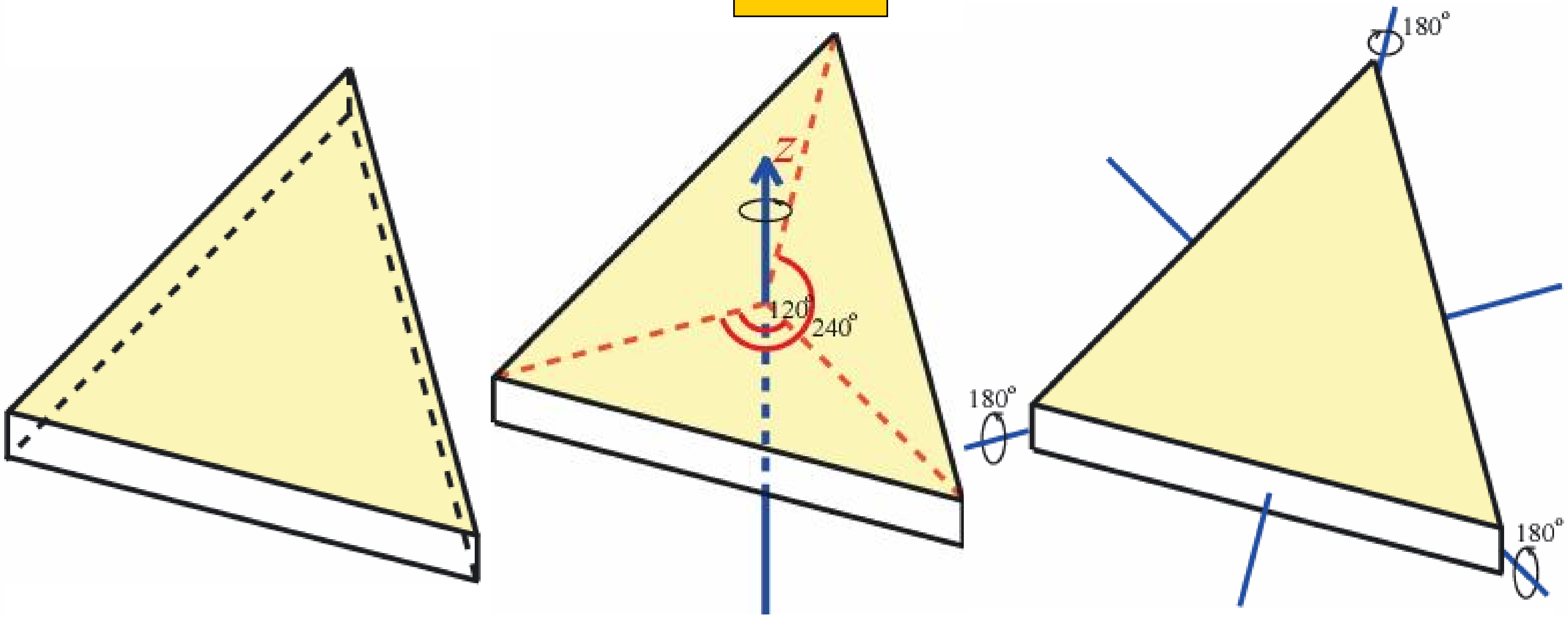


- 6 境界点
- 2 中心点
- 3 Struts
- 6 Radial
- 3 Vertical

Star-shaped テンセグリティ構造 $\mathbf{D}_3^1$

Dihedral对称 $\mathbf{D}_n^v$

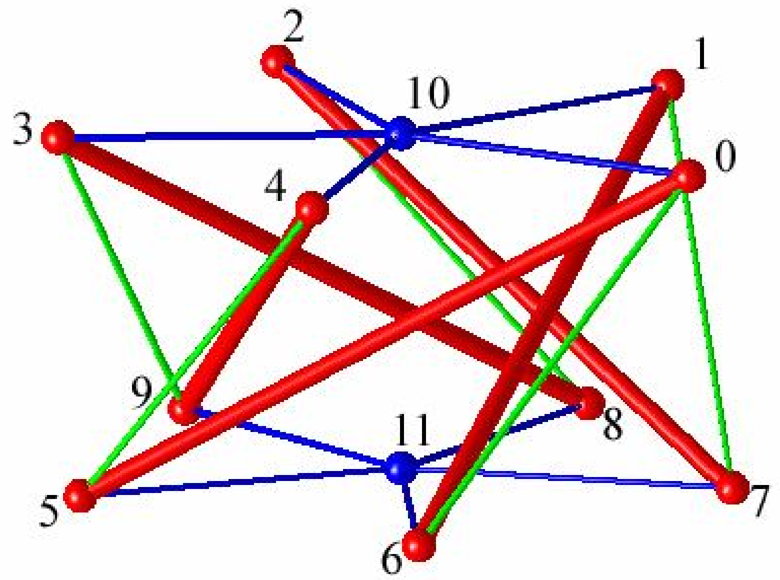
n=3



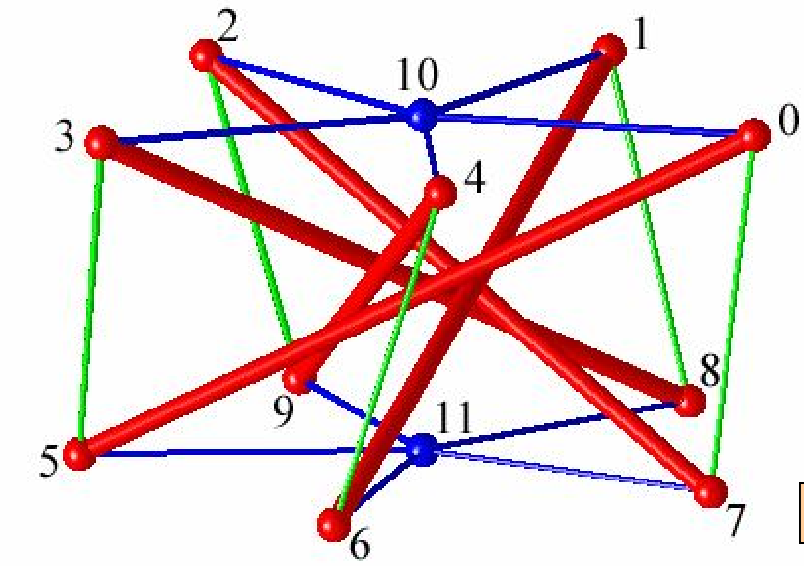
$E\ (C_3^0)$ $C_3^1,\ C_3^2$ C_{21}, C_{22}, C_{23}

对称操作（D_3）

接続関係 $\mathbf{D}_n^{v}$



v=1



v=2

n = 5

境界点

上 : 0, 1, 2, 3, 4(=*n*-1)

下 : 5, 6, 7, 8, 9(=2*n*-1)

中心点

上 : 10(=2*n*)

下 : 11(=2*n*+1)

Strut $i \longleftrightarrow n+i \ (i<n)$

(0, 5); (1, 6); (2, 7); (3, 8); (4, 9)

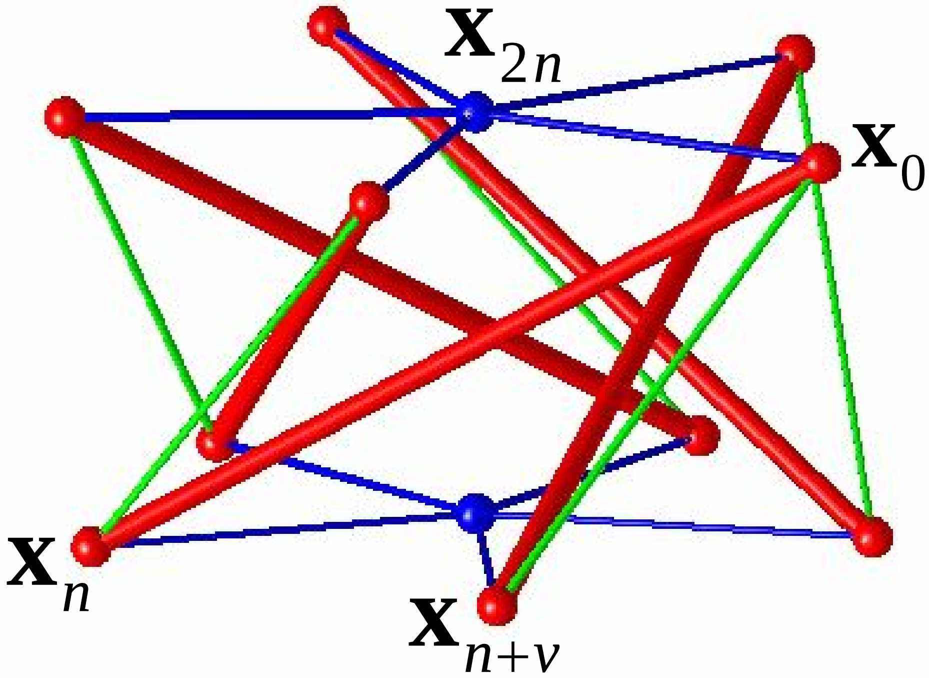
Radial

上 : $i \longleftrightarrow 2n$

下 : $n+i \longleftrightarrow 2n+1$

Vertical $i \longleftrightarrow n+v+i$

自己釣合形状

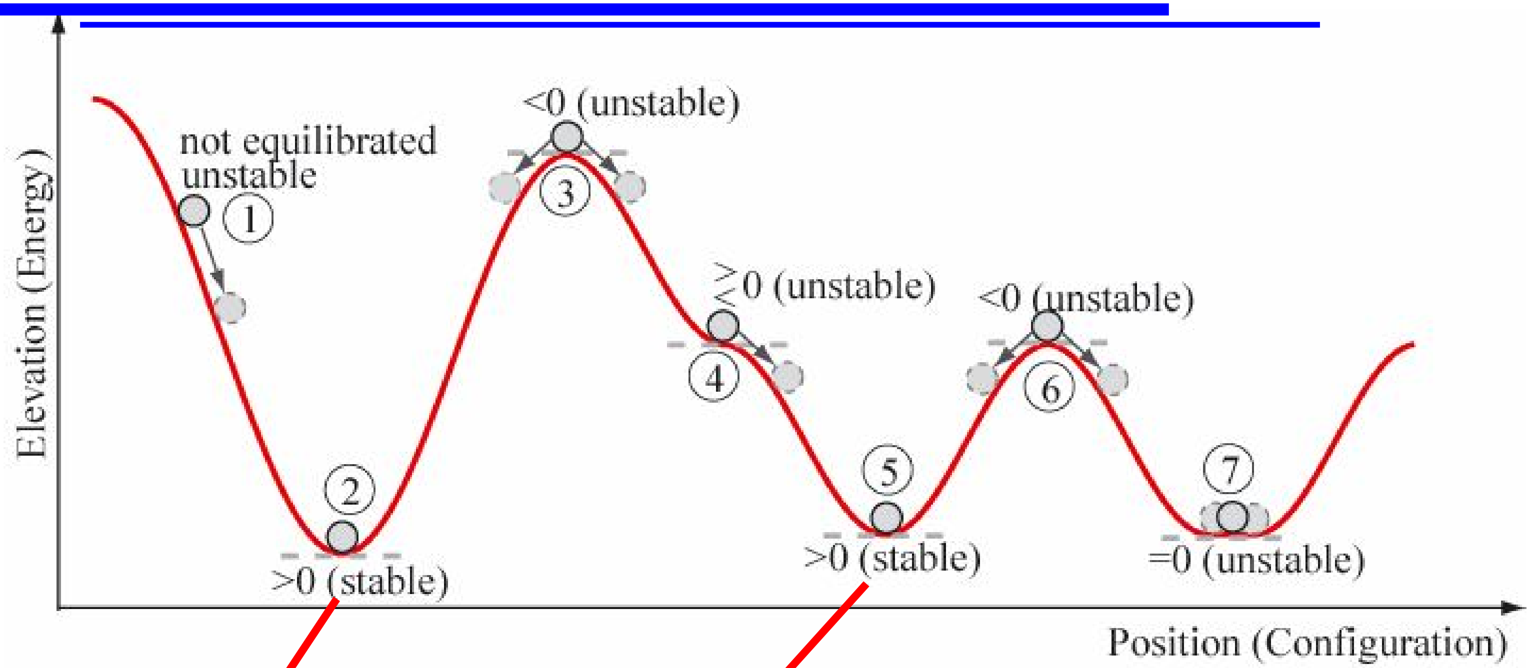


$$\mathbf{Ax}_0 = \mathbf{0} \xrightarrow{\text{A 特異}} \begin{cases} q_v / q_s = -1 \\ q_r / q_v = \sqrt{2(1-\cos(2v\pi / n))} \end{cases}$$

(Force density)

$$\mathbf{x}_0 \xrightarrow{\text{対称操作}} \mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \ldots, \mathbf{x}_i, \ldots, \mathbf{x}_{2n-1}$$

安定条件



$$\mathbf{K} = \mathbf{K}^G + \mathbf{K}^E > 0$$

+∞ 線形剛性

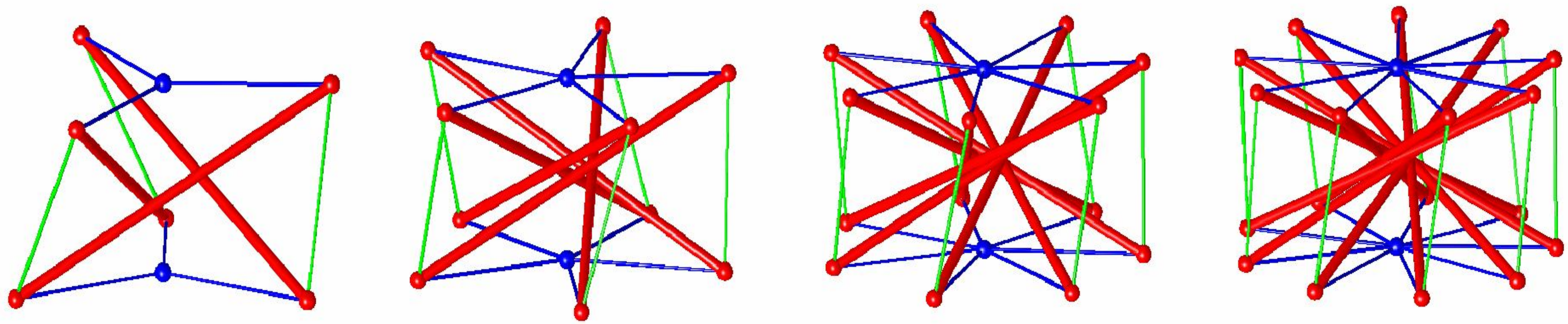
$$\mathbf{K}^E \to 0 \quad \text{or} \quad +\infty$$

$$\mathbf{Q} = \mathbf{M}^T \mathbf{K}^G \mathbf{M} > 0$$

M ? mechanism

無条件的安定

nが奇数	→	奇数のstrut	→ $\mathbf{K} > 0$
$v = (n-1)/2$	→	Strutの間の距離が最小	

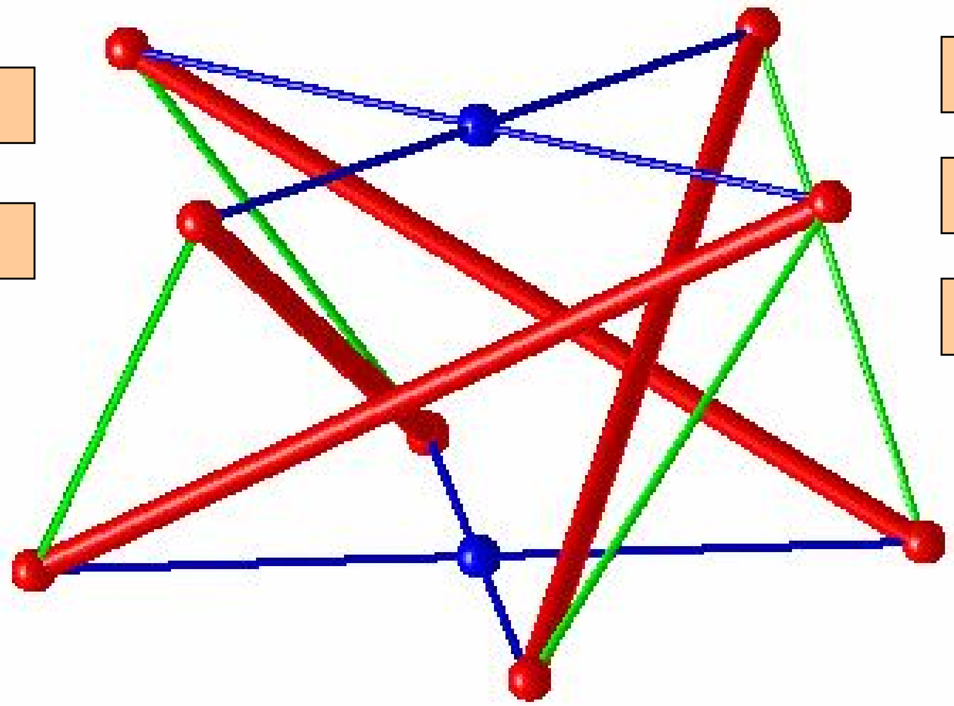


$\mathbf{D}_3^1$ $\mathbf{D}_5^2$ $\mathbf{D}_7^3$ $\mathbf{D}_9^4$

条件的安定の構造 $\mathbf{D}_4^1$

境界点 8個

中心点 2個



Strut 4本

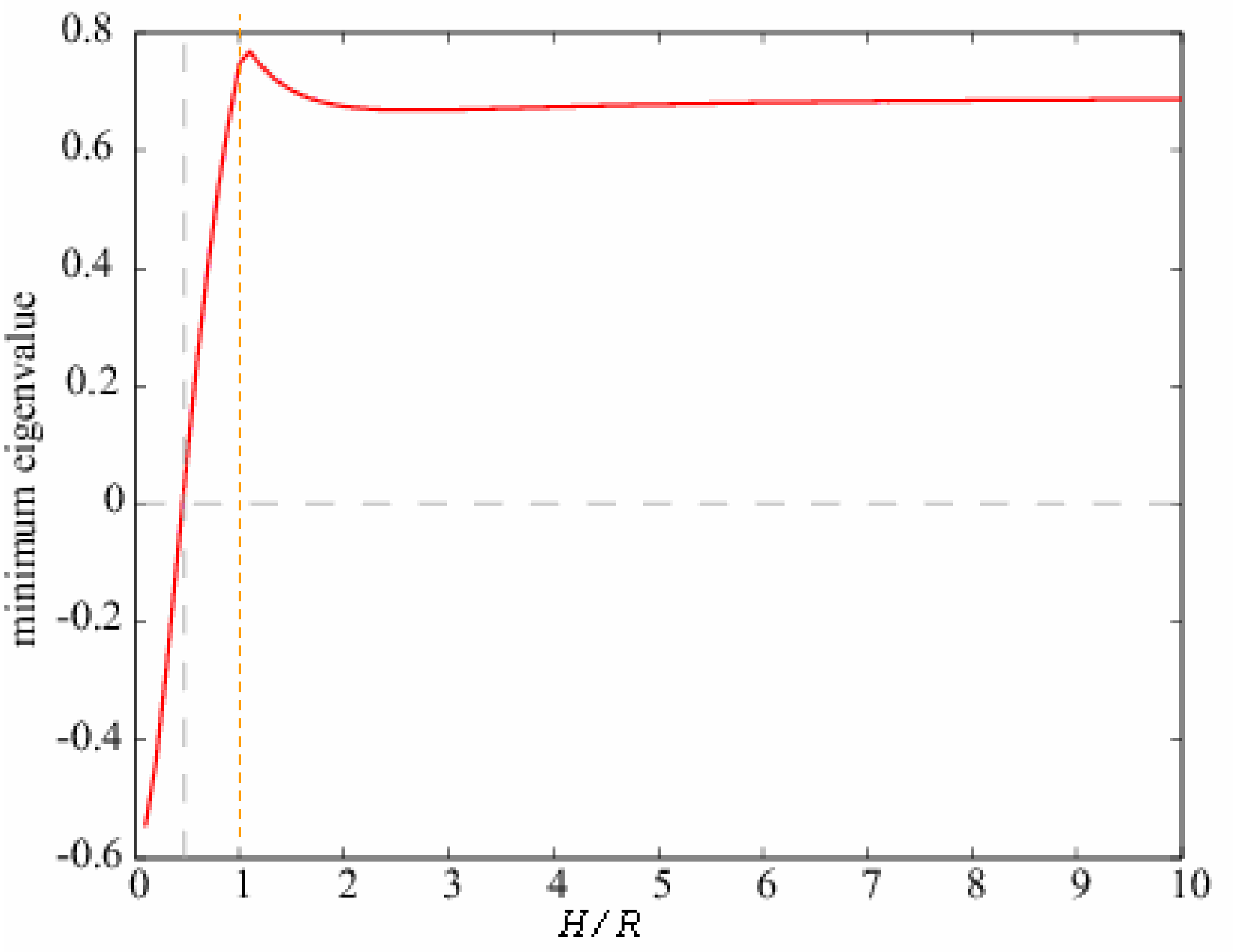
Radial 8本

Vertical 4本

軸力モード 1個

Mechanism 9個

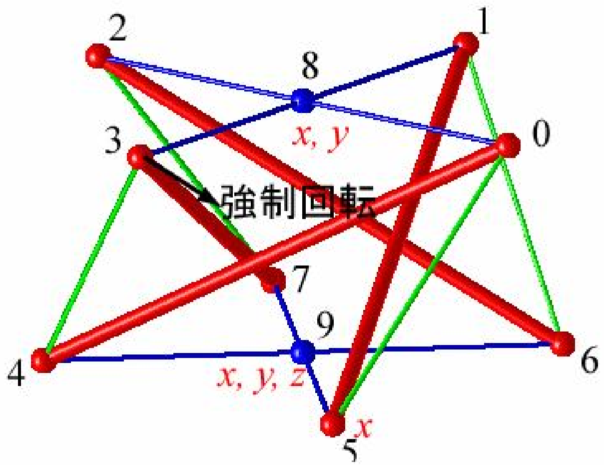
$\mathbf{D}_4^1$ の安定性と形状の関係

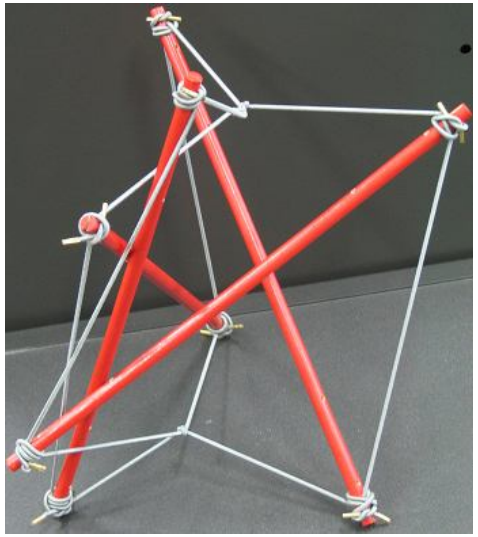


部材剛性が無限大

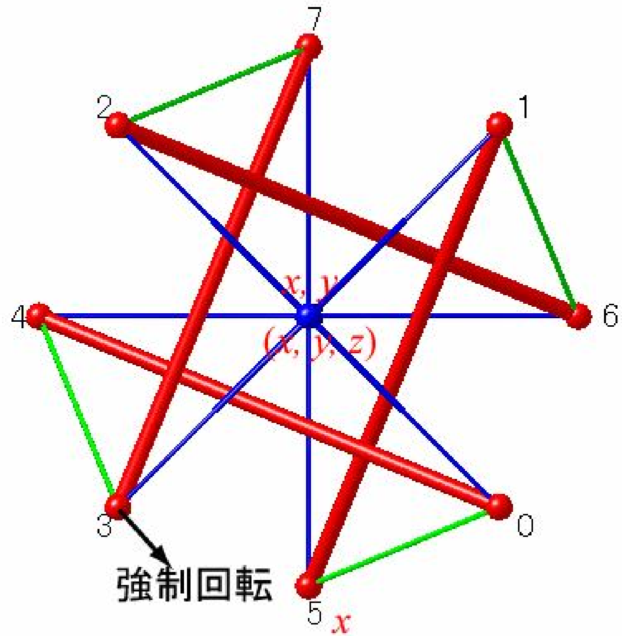
D_4^1 の安定形状

安定形状一

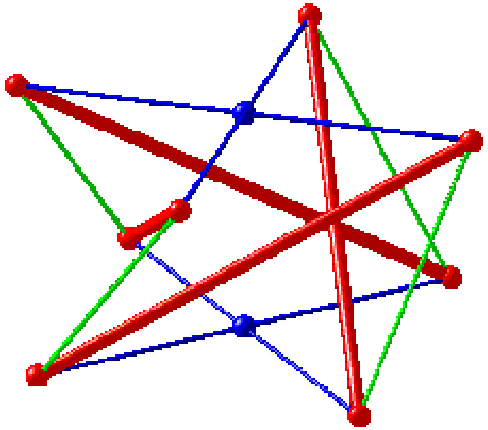




安定形状二

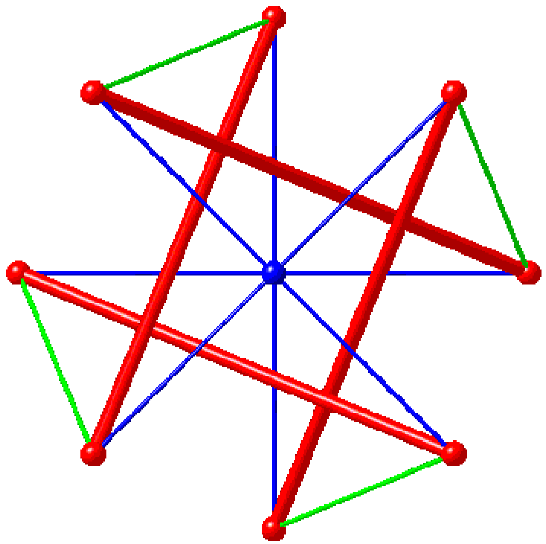


Multi-stable追跡



Side View

$\mathbf{D}_4^1$



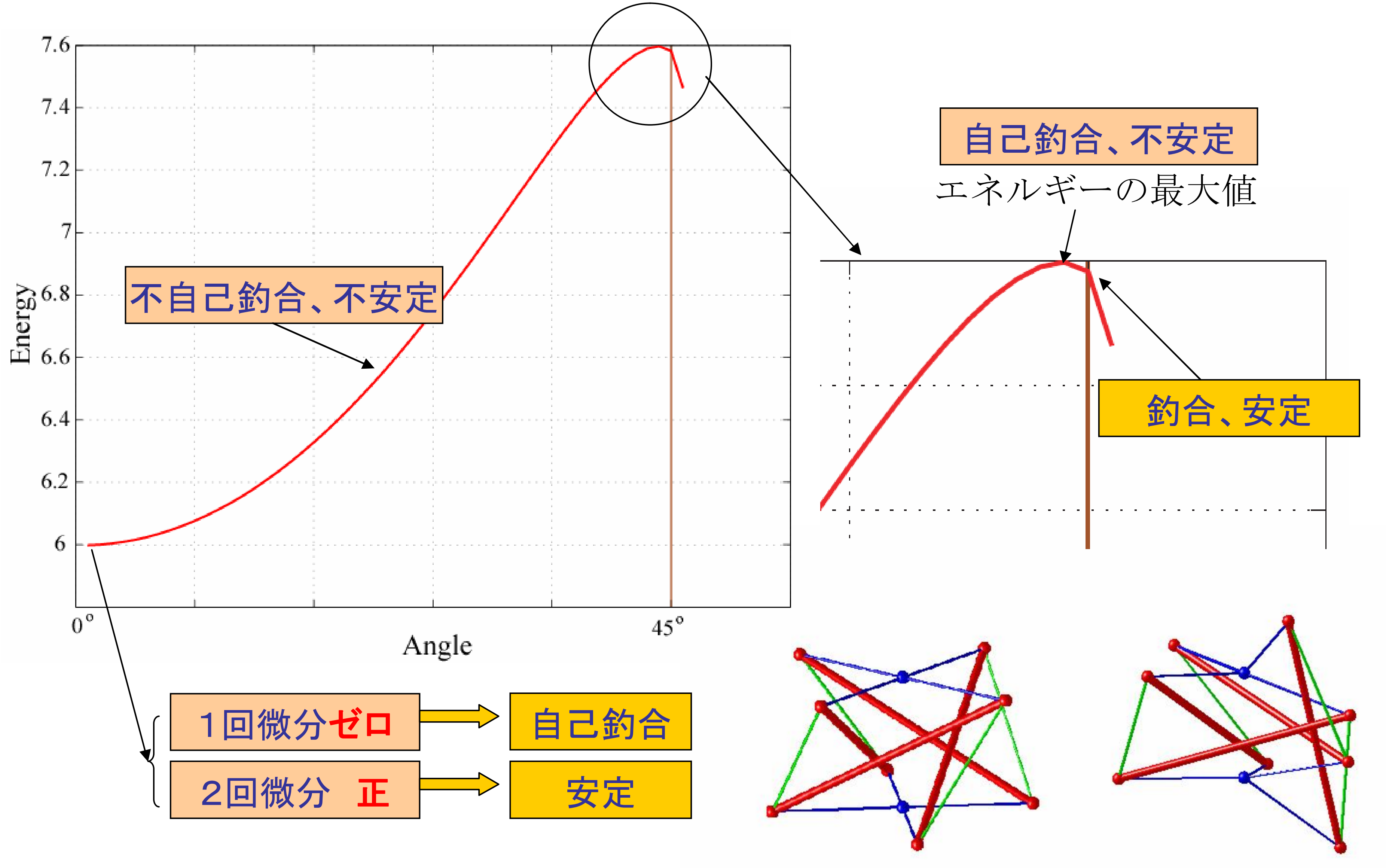
Top View

H / *R* = 1.0

Strutの線形剛性1.0E6 N

Cableの線形剛性1.0E2 N

ひずみエネルギー

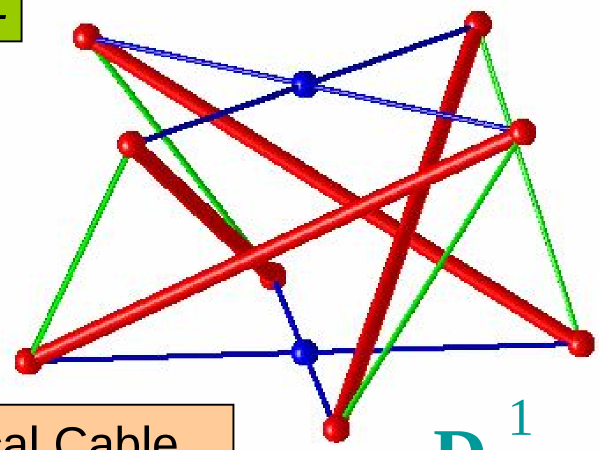

7.6
7.4
7.2
7
6.8
6.6
6.4
6.2
6
Energy
0°
45°
Angle
不自己釣合、不安定
自己釣合、不安定
エネルギーの最大値
釣合、安定
1回微分ゼロ
自己釣合
2回微分　正
安定

まとめ

Star-shaped Prismaticテンセグリティ構造

対称性

- 自己釣合形状
- 安定性
  - 接続関係 → Vertical Cable
  - 形状 → 高さ / 半径
  - 多数の安定形状の追跡



D_4^1