Form generation

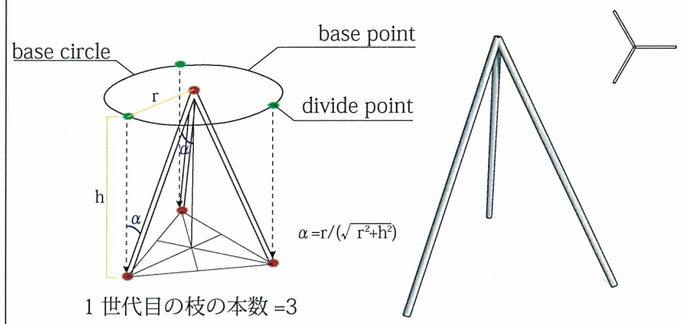
この構造体の形態を決定するアルゴリズムは、全て以下のプログラミング言語内に示されている。以下の記述をコンピュータに読み込ませる事で自動的に形態が生成される。パラメータを調整することで様々な形態を生み出す事ができる設計図である。

```
transaction graphChange 'Add line01, point01'
{
  feature User.Objects.point01 Bentley.GC.Features.Point
  {
    CoordinateSystem      = baseCS;
    XTranslation          = 0;
    YTranslation          = 0;
    ZTranslation          = 5;
  }
  feature User.Objects.line01 Bentley.GC.Features.Line
  {
    Direction             = baseCS.ZDirection;
    Length                = point01.Z;
    StartPoint            = point01;
  }
}

transaction graphChange 'Add point02'
{
  feature User.Objects.point02 Bentley.GC.Features.Point
  {
    Curve                 = line01;
    NumberAlongCurve      = -line01.Length;
  }
}

transaction graphChange 'Add line02'
{
  feature User.Objects.line02 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point02;
    StartPoint            = point01;
  }
}

transaction graphChange 'Add circle01'
{
  feature User.Objects.circle01 Bentley.GC.Features.Circle
  {
    CenterPoint           = point02;
    Radius                = line02.Length;
    Support               = baseCS.XYPlane;
  }
}

transaction graphChange 'Add point03'
{
  feature User.Objects.point03 Bentley.GC.Features.Point
  {
    Curve                 = circle01;
    NumberAlongCurve      = 4;
  }
}

transaction graphChange 'Add polyLine01'
{
  feature User.Objects.polyLine01 Bentley.GC.Features.PolyLine
  {
    Vertices              = point03;
  }
}

transaction graphChange 'Add point04'
{
  feature User.Objects.point04 Bentley.GC.Features.Point
  {
    Curve                 = polyLine01;
    Spacing               = 2;
  }
}

transaction graphChange 'Add direction01'
{
  feature User.Objects.direction01 Bentley.GC.Features.Direction
  {
    DirectionPoint        = point02;
    Origin                = point01;
  }
}

transaction graphChange 'Add line03'
{
  feature User.Objects.line03 Bentley.GC.Features.Line
  {
    Direction             = direction01;
    Length                = point03.Z;
    StartPoint            = point03;
  }
}

transaction graphChange 'Add line04'
{
  feature User.Objects.line04 Bentley.GC.Features.Line
  {
    Direction             = direction01;
    Length                = point04.Z;
    StartPoint            = point04;
  }
}

transaction graphChange 'Add point05'
{
  feature User.Objects.point05 Bentley.GC.Features.Point
  {
    Curve                 = line03, line04, line01;
    Spacing               = 3.3;
  }
}

transaction graphChange 'Change baseCS, circle01, direction01, line01, line02, line03, line04, point02, polyLine01'
{
  feature User.Objects.baseCS Bentley.GC.Features.CoordinateSystem
  {
    Visible               = false;
  }
  feature User.Objects.line01 Bentley.GC.Features.Line
  {
    Visible               = false;
  }
  feature User.Objects.point02 Bentley.GC.Features.Point
  {
    Visible               = false;
  }
  feature User.Objects.line02 Bentley.GC.Features.Line
  {
    Visible               = false;
  }
  feature User.Objects.circle01 Bentley.GC.Features.Circle
  {
    Visible               = false;
  }
  feature User.Objects.polyLine01 Bentley.GC.Features.PolyLine
  {
    Visible               = false;
  }
  feature User.Objects.direction01 Bentley.GC.Features.Direction
  {
    Visible               = false;
  }
  feature User.Objects.line03 Bentley.GC.Features.Line
  {
    Visible               = false;
  }
  feature User.Objects.line04 Bentley.GC.Features.Line
  {
    Visible               = false;
  }
}

transaction graphChange 'Add line05'
{
  feature User.Objects.line05 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point03;
    StartPoint            = point01;
  }
}

transaction graphChange 'Add line06, line07, line08, line09, line10, line11'
{
  feature User.Objects.line06 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[2][0];
    StartPoint            = point01[1][0];
  }
  feature User.Objects.line07 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[2][1];
    StartPoint            = point01[1][1];
  }
  feature User.Objects.line08 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[2][0];
    StartPoint            = point01[1][1];
  }
  feature User.Objects.line09 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[2][1];
    StartPoint            = point01[1][2];
  }
  feature User.Objects.line10 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[2][1];
    StartPoint            = point01[1][2];
  }
  feature User.Objects.line11 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[2][2];
    StartPoint            = point01[1][2];
  }
}
```

```
transaction graphChange 'Add line12, line13, line14, line15, line16,
line17, line18, line19, line20, line21, line22, line23, line24, line25, line26'
{
  feature User.Objects.line12 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[3][0];
    StartPoint            = point03[2][3];
  }
  feature User.Objects.line13 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[3][5];
    StartPoint            = point03[0][3];
  }
  feature User.Objects.line14 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[3][6];
    StartPoint            = point04[2][6];
  }
  feature User.Objects.line15 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point05[2][0];
    StartPoint            = point04[2][6];
  }
  feature User.Objects.line16 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[3][1];
    StartPoint            = point04[2][6];
  }
  feature User.Objects.line17 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[3][5];
    StartPoint            = point04[2][2];
  }
  feature User.Objects.line18 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[3][2];
    StartPoint            = point04[2][2];
  }
  feature User.Objects.line19 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[3][4];
    StartPoint            = point04[2][2];
  }
  feature User.Objects.line20 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point05[2][0];
    StartPoint            = point04[2][1];
  }
  feature User.Objects.line21 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[3][2];
    StartPoint            = point04[2][1];
  }
  feature User.Objects.line22 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[3][3];
    StartPoint            = point04[2][1];
  }
  feature User.Objects.line23 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[3][4];
    StartPoint            = point03[2][2];
  }
  feature User.Objects.line24 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[3][3];
    StartPoint            = point03[2][2];
  }
  feature User.Objects.line25 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[3][2];
    StartPoint            = point03[2][1];
  }
  feature User.Objects.line26 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[3][1];
    StartPoint            = point03[2][1];
  }
}

transaction graphChange 'Add line27, line28, line29, line30, line31, line32, line33,
line34, line35, line36, line37, line38, line39, line40, line41, line42, line43, line44, line45,
line46, line47, line48, line49, line50, line51, line52'
{
  feature User.Objects.line27 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][5];
    StartPoint            = point03[3][2];
  }
  feature User.Objects.line28 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][6];
    StartPoint            = point03[3][1];
  }
  feature User.Objects.line29 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][6];
    StartPoint            = point04[3][4];
  }
  feature User.Objects.line30 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][7];
    StartPoint            = point04[3][4];
  }
  feature User.Objects.line31 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][5];
    StartPoint            = point04[3][3];
  }
  feature User.Objects.line32 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point05[0][1][2][0];
    StartPoint            = point04[3][3];
  }
  feature User.Objects.line33 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][4];
    StartPoint            = point04[3][3];
  }
  feature User.Objects.line34 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][4];
    StartPoint            = point04[3][3];
  }
  feature User.Objects.line35 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][4];
    StartPoint            = point04[3][2];
  }
  feature User.Objects.line36 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point05[0][1][3][0];
    StartPoint            = point04[3][2];
  }
  feature User.Objects.line37 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][3];
    StartPoint            = point04[3][2];
  }
  feature User.Objects.line38 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point05[0][1][3][0];
    StartPoint            = point05[2][0];
  }
  feature User.Objects.line39 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point05[0][1][3][0];
    StartPoint            = point05[2][0];
  }
  feature User.Objects.line40 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point05[0][1][2][0];
    StartPoint            = point05[2][0];
  }
  feature User.Objects.line41 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][7];
    StartPoint            = point04[3][5];
  }
  feature User.Objects.line42 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][8];
    StartPoint            = point04[3][5];
  }
  feature User.Objects.line43 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point05[0][1][3][0];
    StartPoint            = point04[3][5];
  }
  feature User.Objects.line44 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][3];
    StartPoint            = point03[3][1];
  }
  feature User.Objects.line45 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][2];
    StartPoint            = point03[3][1];
  }
  feature User.Objects.line46 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point05[0][1][3][0];
    StartPoint            = point04[3][1];
  }
  feature User.Objects.line47 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][2];
    StartPoint            = point04[3][1];
  }
  feature User.Objects.line48 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][1];
    StartPoint            = point04[3][1];
  }
  feature User.Objects.line49 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][1];
    StartPoint            = point04[3][0];
  }
  feature User.Objects.line50 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point05[0][1][3][0];
    StartPoint            = point04[3][0];
  }
  feature User.Objects.line51 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][0];
    StartPoint            = point04[3][0];
  }
  feature User.Objects.line52 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][0];
    StartPoint            = point03[3][3];
  }
  feature User.Objects.line53 Bentley.GC.Features.Line
  {
    EndPoint              = point04[4][8];
    StartPoint            = point03[3][3];
  }
}
```

形態生成のアルゴリズム。base point、base circle、divide point によって構造体の概形が決定される。r と h というパラメータを調整することで構造体の半径・高さが決まる。

1

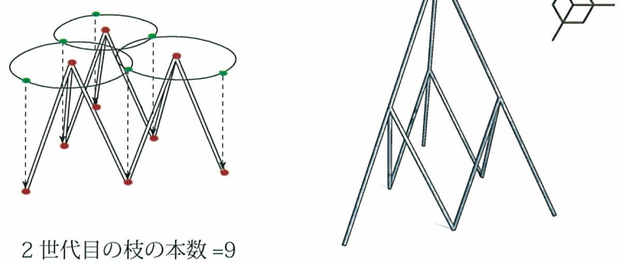


1 世代目の枝の本数 =3

r：構造体の開き具合を決定する
α：構造体の開き具合
h：各世代の高さを決定する

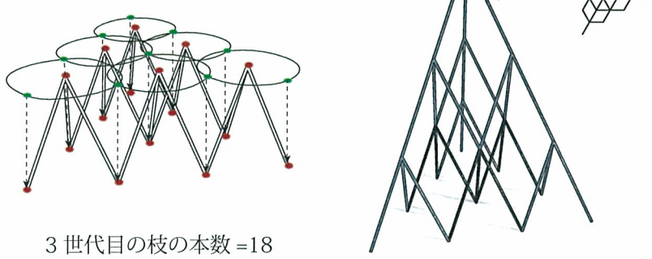
base circle：r から決定される
divide point：base circle を等分割した点
base point：形態生成の基点

2



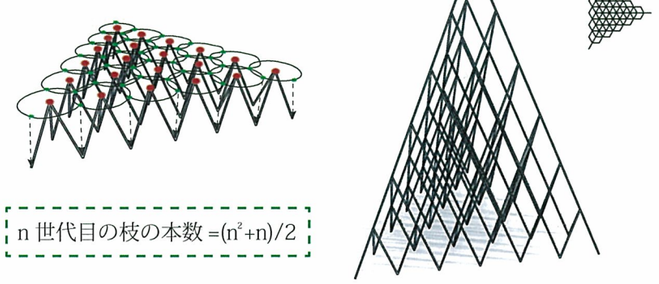
2 世代目の枝の本数 =9

3



3 世代目の枝の本数 =18

n

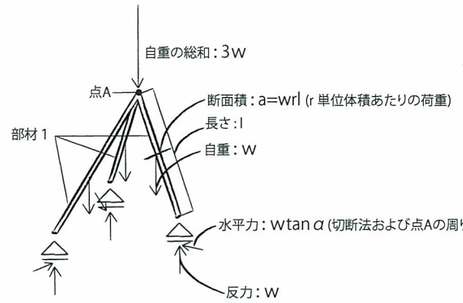


n 世代目の枝の本数 =(n²+n)/2

Structual analysis

構造体をもっとも安定的に自立させるため、構造体の各部材においける応力度が一定になるように各層における各部材に対して、圧縮方向と引張方向の軸力の総和から、その総和を受け止めるのに必要な断面積を求めていく。

1段目における垂直方向、水平方向の力による応力度計算



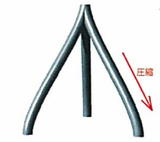
部材 1 に関する計算：

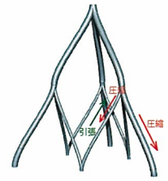
軸力 N1a = wcos α (圧縮)
N1b = wtan α *sin α = wsin²α (圧縮)

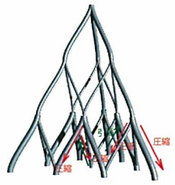
よって、軸力の総和は、圧縮方向を正にして、

w (cos²α + sin²α) / cos α

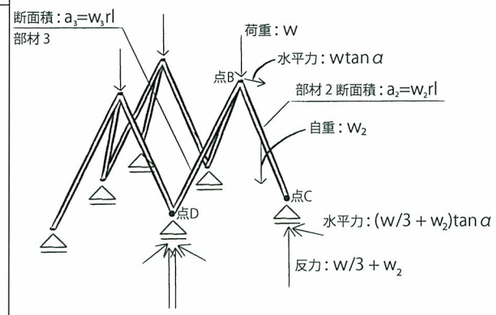
よって応力度 acos α /w (cos²α - sin²α)







2段目における垂直方向、水平方向の力による応力度計算（各段の応力度が均等になるように部材に求められる太さを計算していく）



部材 2 に関する計算：
部材 1 に関する計算と同様に求め、応力度が各部材に対して均等になるようにw₂を求める

{(w /3) + w₂} ・cos α + w ・tan α ・sin α : (w₂/r l) + (1/3) ・(w/r l)
=w ・(1/cos α) ・(cos²α - sin²α) : w ・(1/r l)

(1/r l) ・(w + w/3) ・(1/cos α)(cos²α - sin²α) = (1/r l) ・{(w/3) + w} ・cos α + (w ・tan α sin α)

w₂ + (w/3) = {cos²α /(cos²α - sin²α)} ・(w/3)+ w ・{cos²α (1/cos²α - sin²α)} + w ・{sin²α (1/cos²α - sin²α)}

w₂ ・{1 - (cos²α /cos²α - sin²α)} = 1/3 ・[{1/(cos²α - sin²α)} ・(w ・cos²α) - {w ・(cos²α - sin²α)} + w ・sin²α]

{(-sin² α)/(cos α -sin α)} ・w = 1/3 ・w ・{2sin α /(cos α - sin α)}

w₂ = - 2w/3

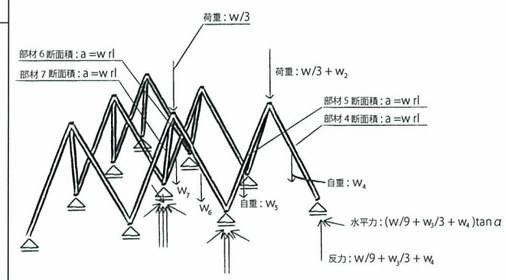
部材 3 に関する計算：
部材 1 に関する計算と同様に求め、応力度が各部材に対して均等になるようにw₃を求める

{(w₃/r l) + (1/3) ・(w/r l)} ・{(w/cos α) ・(cos α²- sin α)} = (w/r.l) ・{(w + w/3) ・cos α - (1/2 ・√ 3 ・w ・tan α ・sin α)}

w₃ + w/3 = [cos α ・{1/(cos²α - sin²α)} ・cos α ・w₂] + {(w ・cos α ・1/3) ・cos α {1/(cos²α - sin²α)} - [cos α {1/(cos²α - sin²α)} ・1/2 ・√ 3 ・tan α ・sin α ・w]

w₃ = {(cos²α - sin²α) ・(-1/sin²α)} ・{sin²α ・1/(cos²α - sin²α)} ・1/6 ・(2- 3√ 3) ・w
= {(-2 + 3√ 3) ・w} ・1/6

3段目における垂直方向、水平方向の力による応力度計算（各段の応力度が均等になるように部材に求められる太さを計算していく）



部材 4 に関する計算：
部材 1 に関する計算と同様に求め、応力度が各部材に対して均等になるようにW₄を求める

(w/9+w₄/3+w₆)cos α +(w/3+w₄)tan α sin α :w /r.l+1/3 ・w /r.l=w(cos²α -sin²α)/cos α :w/r.l

w₄/3+w₆=w/9 ・cos²α /(cos²α -sin²α)+w₄/3 ・cos²α /(cos²α -sin²α)+w₆ ・cos²α /(cos²α -sin²α)+w /3 ・sin²α /(cos²α -sin²α)+w₆ ・sin²α /(cos²α -sin²α)

w₆=w/9 ・(cos²α +3sin²α)/(cos²α -sin²α)+w/3(cos²α +3sin²α)/(cos²α -sin²α)-w₄/3

-w₆=w/9 ・(cos²α +3sin²α)/sin²α +w₄/3 ・(cos²α +3sin²α)/sin²α -w₄ ・(cos²α +sin²α)/3sin²α

|w₆|=w/9 ・(cos²α +3sin²α)/sin²α +4w₄/3

|w₆|=w ・(cos²α +3sin²α +8sin²α)/9sin²α

|w₆|=w ・(cos²α +11sin²α)9sin²α

|w₆|=w ・(1/9sin²α +10/9)

部材 5 に関する計算：
部材 1 に関する計算と同様に求め、応力度が各部材に対して均等になるようにW₅を求める

(w/9+w₄/3+w₆)cos α -√3/2(w/3+w₆)tan α sin α :w₅/r.l+1/3 ・w₅/r.l=w(cos²α -sin²α)/cos α :w/r.l

w₄/3+w₆=w/9 ・cos²α /(cos²α -sin²α)+1/3w₄ ・cos²α /(cos²α -sin²α)+w cos²α /(cos²α -sin²α)-√3 /2 ・(w/3+w₆)sin²α /(cos²α -sin²α)

w₅ ・(-sin²α)/(cos²α -sin²α) =(cos²α ・w/9+cos²α ・w₆/3-cos²α ・w₄/3+sin²α ・w₆/3-sin²α ・w/3 ・√3/2-w₅ ・sin²α ・√3/2)/(cos²α +sin²α)

|w₆|=-w/9 ・cos²α /sin²α +√3 w/6+(3√3 -2)w/18

|w₆|=3√3 w/18+(3sin²α -3)/18sin²α +(3√3 -2)w/27

|w₆|=(15√3+5-9/sin²α)w/54

部材 6 に関する計算：
部材 1 に関する計算と同様に求め、応力度が各部材に対して均等になるようにW₆を求める

(2w/9+2w /3+w)cos α +3(w/3+w)tan α ・sin α : w /r l+2w /3r l=w(cos α -sin α)/cos α : w/r l

(w +2w /3) ・(cos α -sin α)/cos α =(2w/9+2w /3+w)cos α +3(w/3+w)tan α ・sin α

w =w/9(-cos α /sin α)-w/2-(2w /3) ・(cos α /sin α)+(2w /3) ・(cos α /sin α)-3w /2

w =-(2w/9) ・(cos α /sin α)-w/2-3w /2

|w |=3√ w/4+2w/9sin α -2w/9

部材 7 に関する計算：
部材 1 に関する計算と同様に求め、応力度が各部材に対して均等になるようにW₇を求める

(2w/9+2w /3+w)cos α +√ (w/3+w)tan α ・sin α : w /r l+2w /3r l=w(cos α -sin α)/cos α : w/r l

(w +2w /3)(cos α -sin α)/cos α =(2w/9+2w /3+w)cos α -√ (w/3+w)sin α /cos α

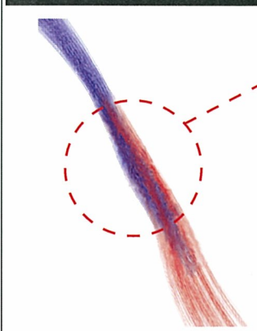
w +2w /3={(2wcos α /9+2w cos α /3+w cos α)-(√ w ・sin α +√ w ・sin α)}/(cos α -sin α)

w ={-2cos α /9sin α +√ /3)w+(-2/3+2√ /3)w

w ={2+3√ +11-3√)w/9-2w/9sin α

|w |=(13-2/sin α)w

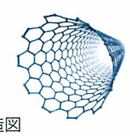
Joint



・部材のジョイント

各世代の部材のジョイントは、繊維という構造材の特性を生かし、図の様に互いの材を絡み合わせる事で行う。また、わらぼっちが結び目で補強されている様に、各世代の枝分かれの部分を補強する事も可能である。

Material



■CNT 構造図

■カーボンファイバー製ロボットアーム

・カーボンナノチューブ (CNT)

カーボンナノチューブは炭素原子からなる六員環構造の管状ナノ材料である。太さは髪の毛の 1/50000 で構造として曲げ、引っ張りに強く鋼鉄の 1/10 以下の比重、20 倍の強度を持つ。

・カーボンファイバー

繊維材のひとつであるカーボンファイバーはアクリル繊維またはピッチを原料に高温で炭化して作った繊維である。軽量で強度が高いという特徴を持つ。