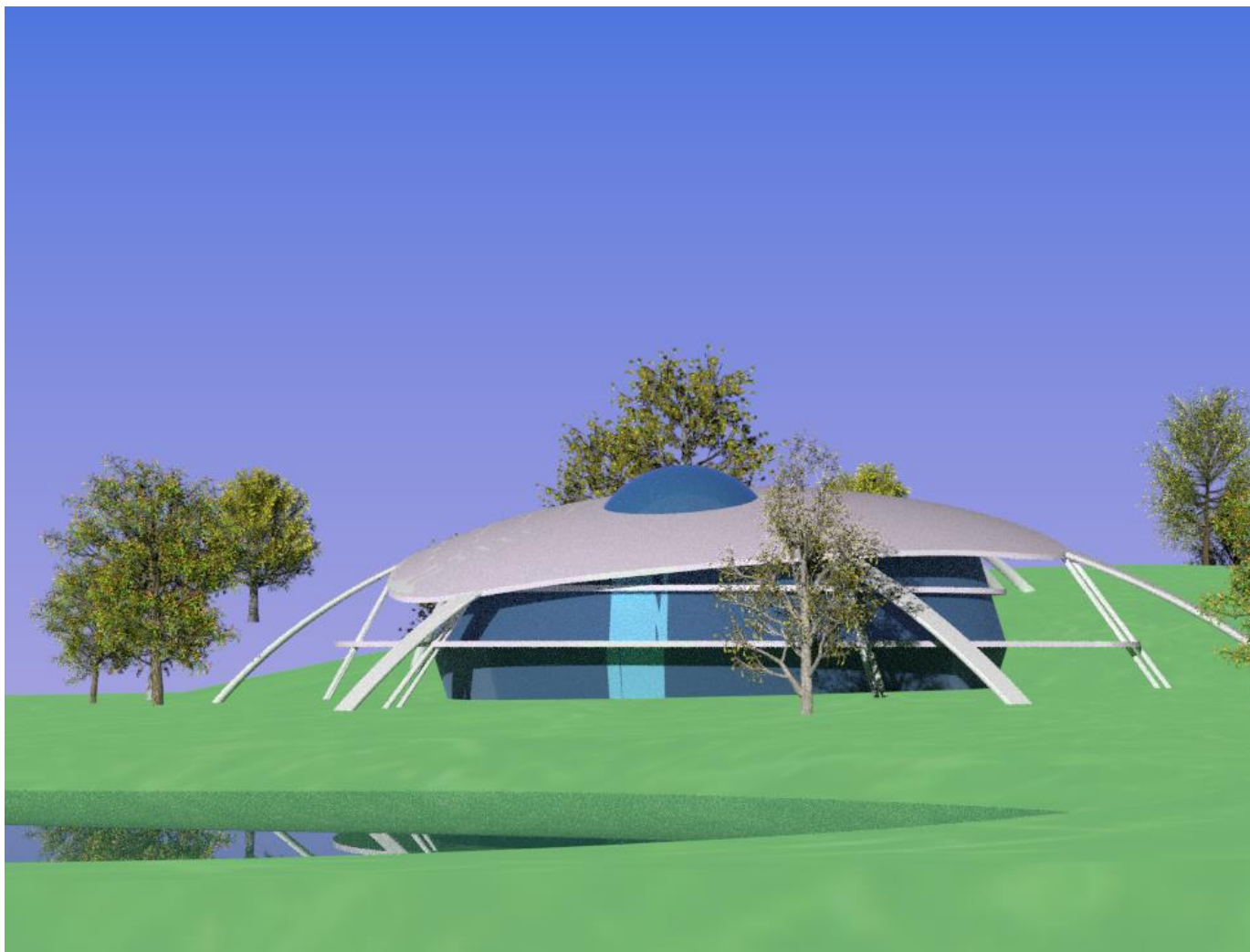


NURBSの特性を意識したコンピューテーショナルモデリング



建築情報学会 2024.2.29

株式会社アプリアフト・中島 淳雄

自己紹介

デジタルモデリングエキスパート
(デジタルによる曲面造形)

AppliCraft Co., Ltd. 設立 1997/8

Rhinoceros 総代理店. 1998～
当時のRhinoのサブタイトル;“NURBS Modeling for Windows ”

建築関連

2010 Grasshopper Primer 翻訳

Rhino・Grasshopper関連書籍の出版

2010～2012 岡山県立大学 講師

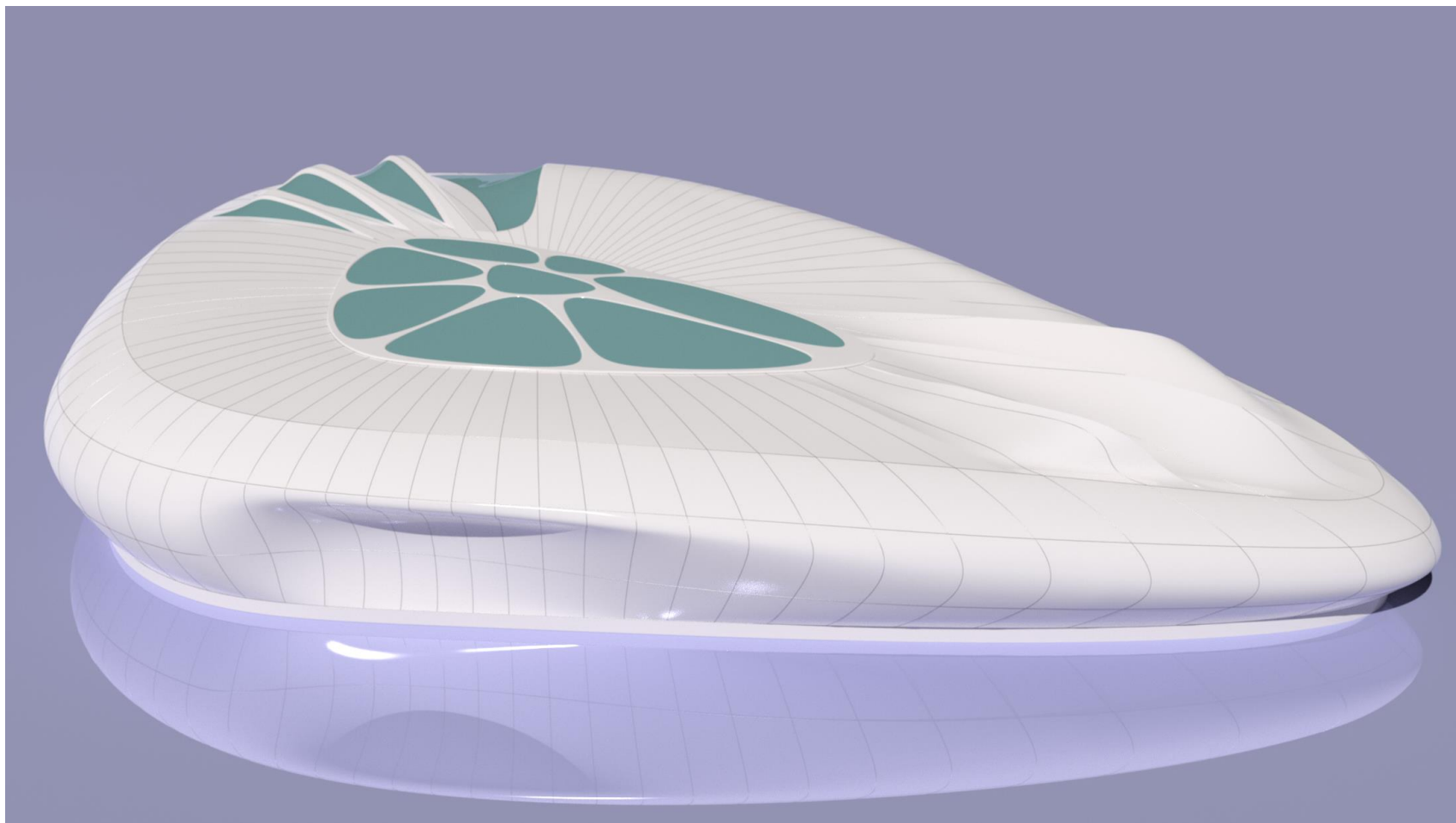
2011～2018 慶應義塾大学SFC 講師

2015～2021 武蔵野美術大学 講師

意匠建築モデルの例

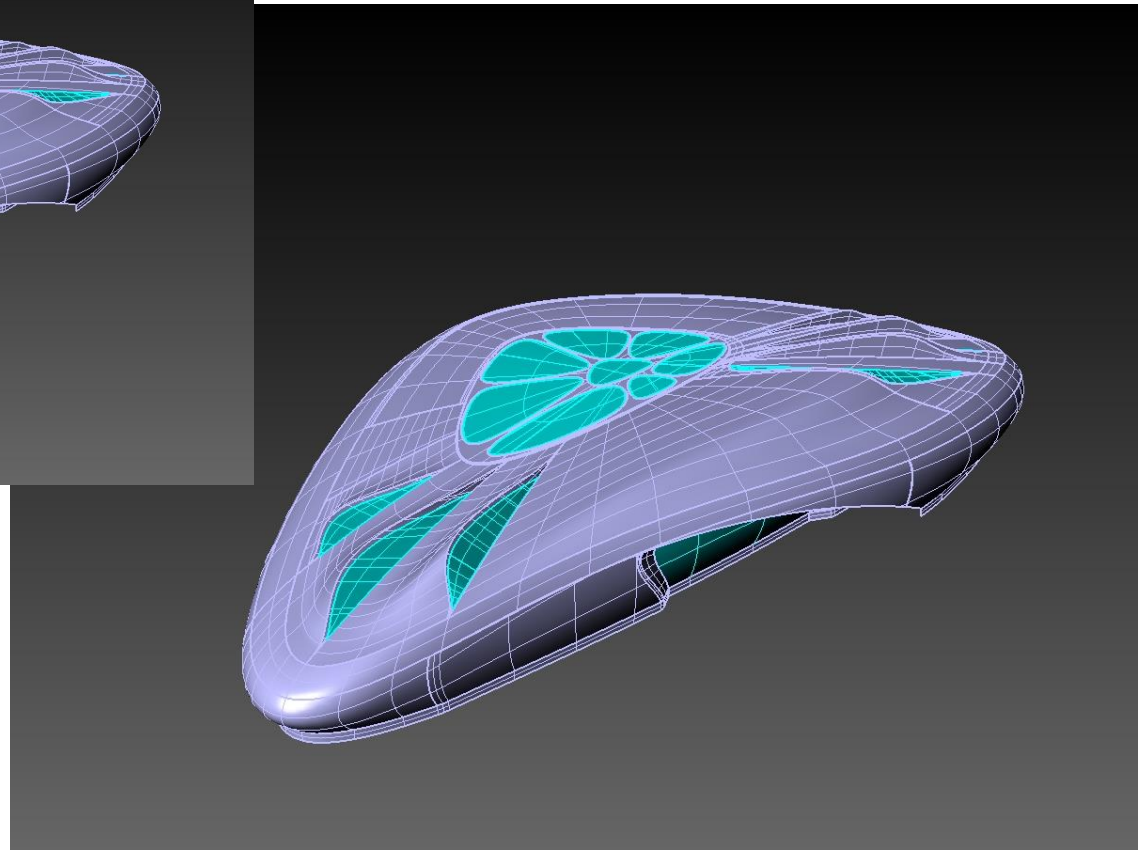
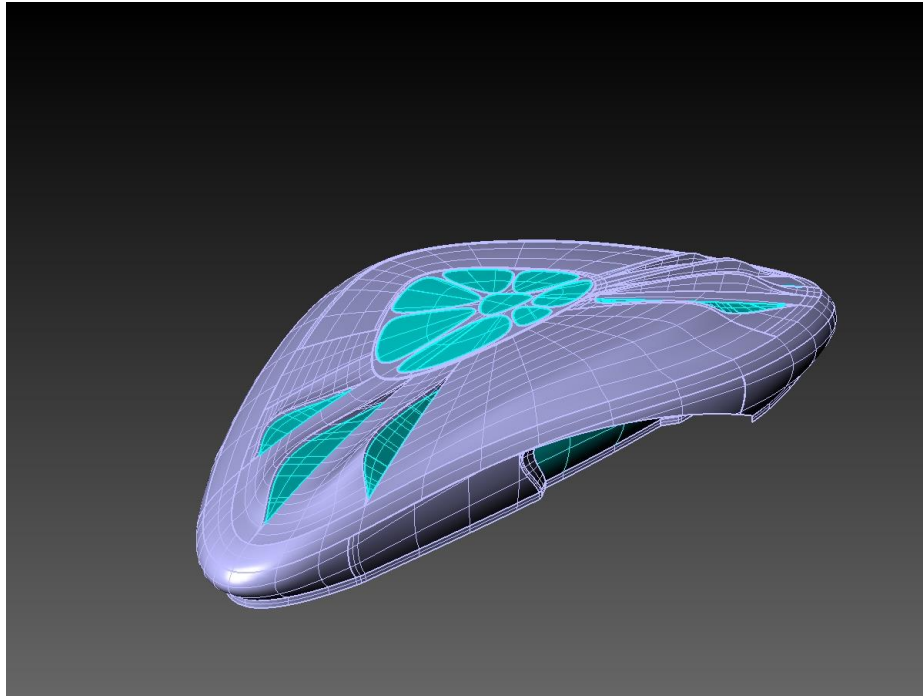
- | | | |
|--------|--|-------|
| Case:1 | ZAHA Mobile Art Pavillion | 2012年 |
| Case:2 | 仮想のスタジアム | 2013年 |
| Case:3 | 未来の住宅 IERR2040
アルゴリズムを利用した意匠検討と意思決定 | 2019年 |
| Case:4 | NURBSの特性を意識したコンピューティショナルモデリング
本日の主題 | |

Case:1 ZAHA Mobile Art Pavillion



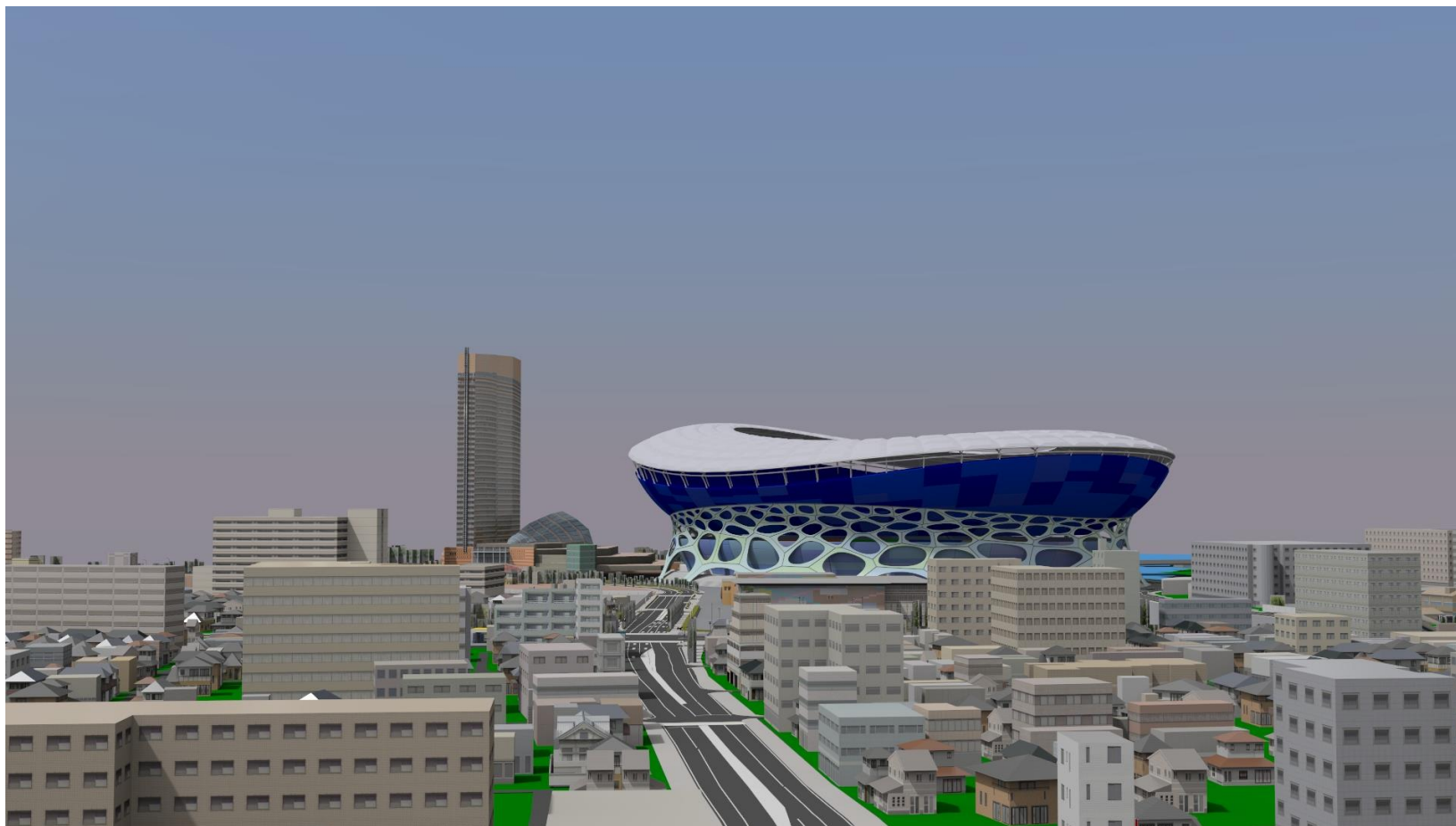
- 2011年、慶應義塾大学SFC授業でプロセス公開
全てRhinoのみでモデリング

Grasshopperを使用しない従来のモデリング によるZAHA Mobile Art Pavillion

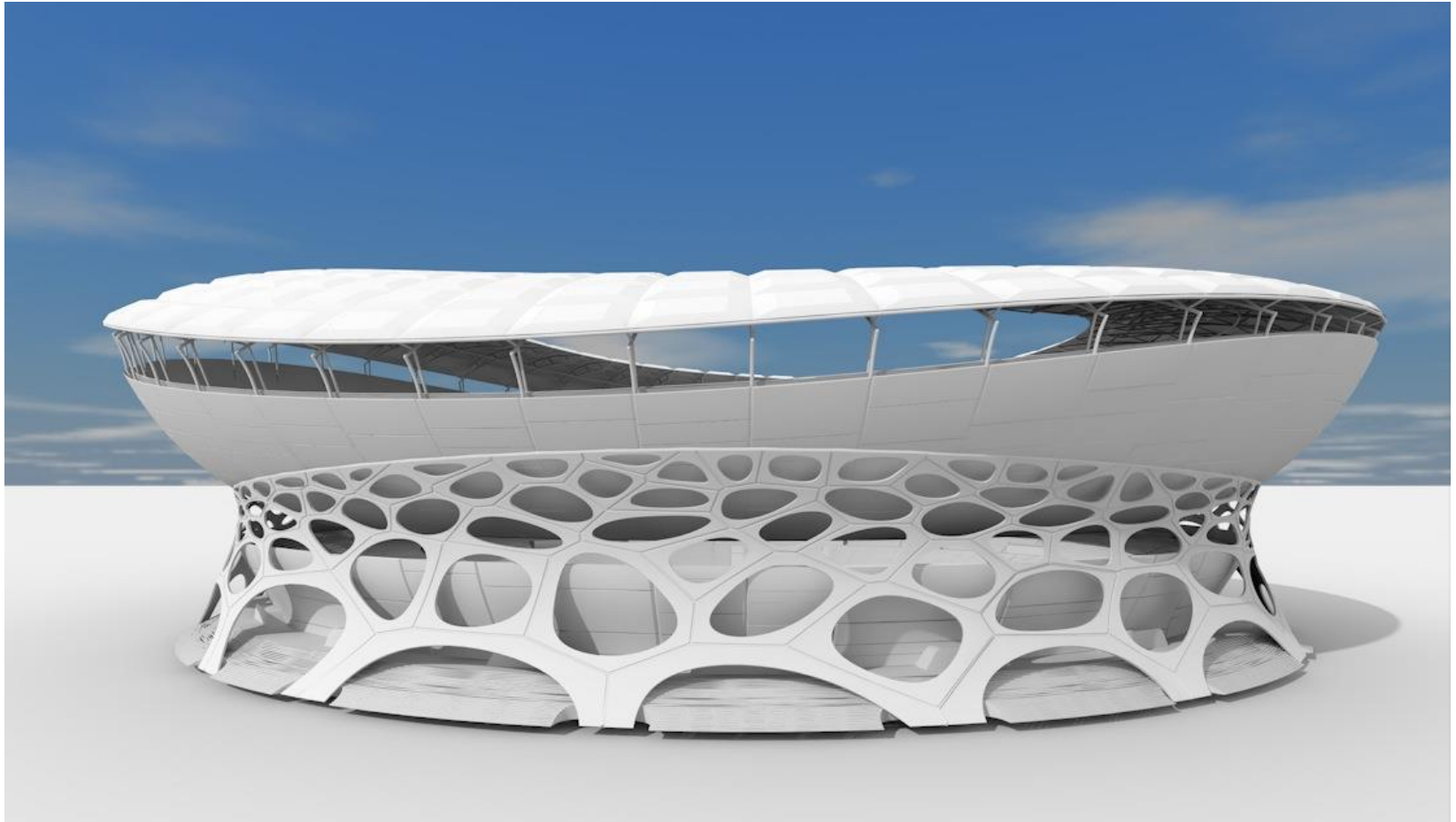


■ トリムサーフェスを含む複合曲面の集合体

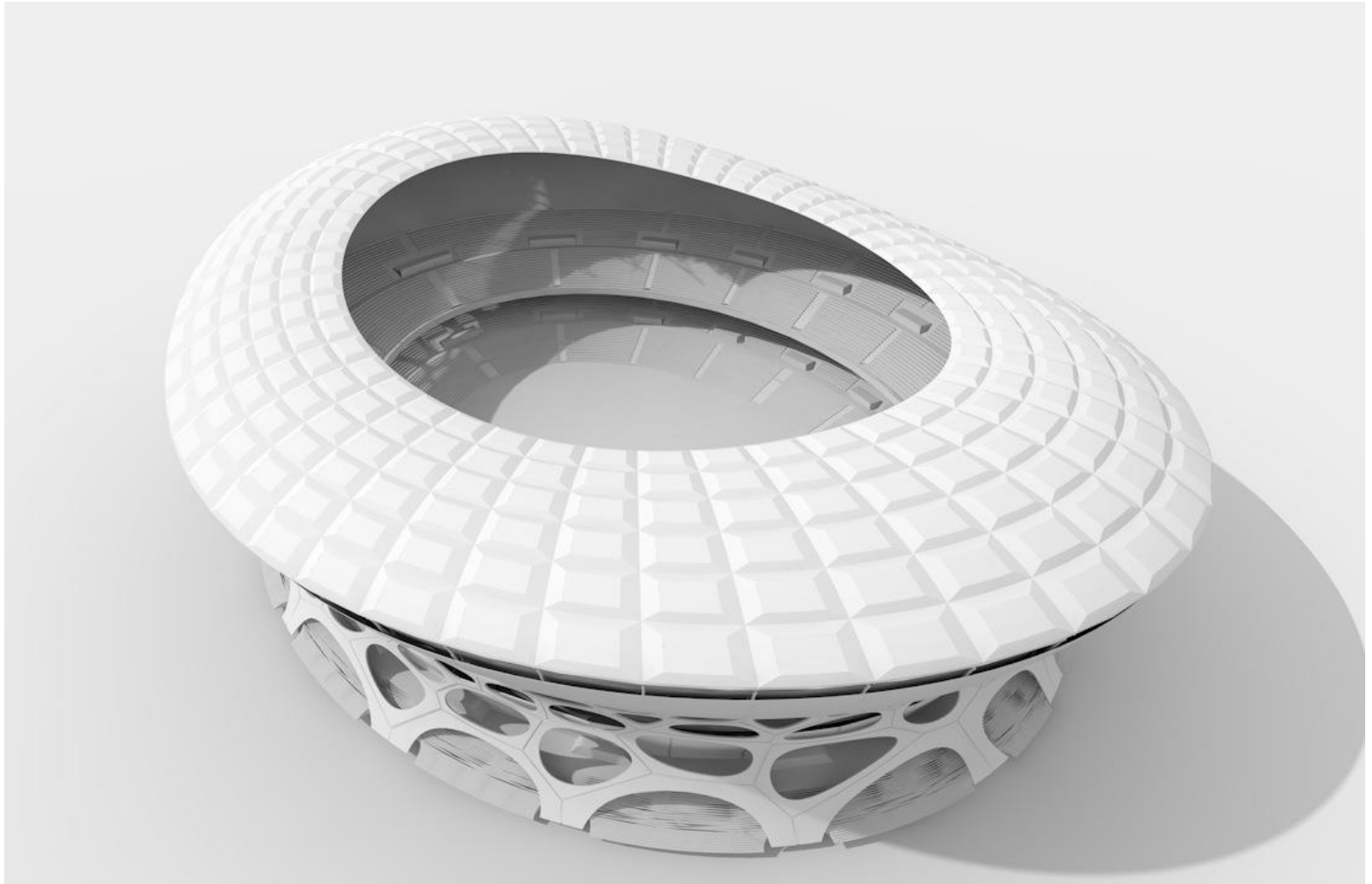
Case:2 仮想のスタジアム



- 2013年、Rhinocerosで極めるデジタルモデリングより
Rhinoで基本形状生成；Grasshopperでパターン・パネリング生成
背景景観モデル：株式会社ジオ研究所様提供

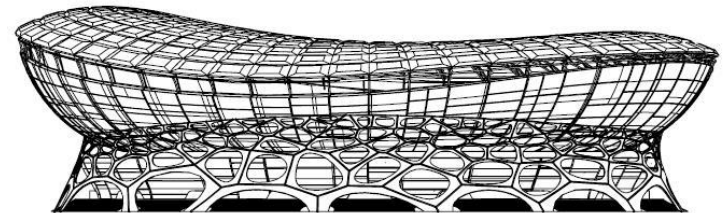
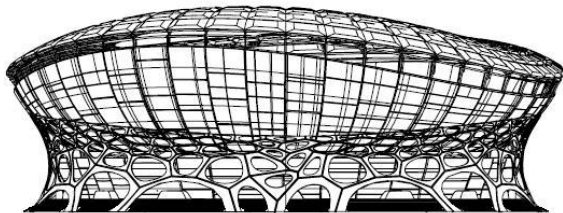
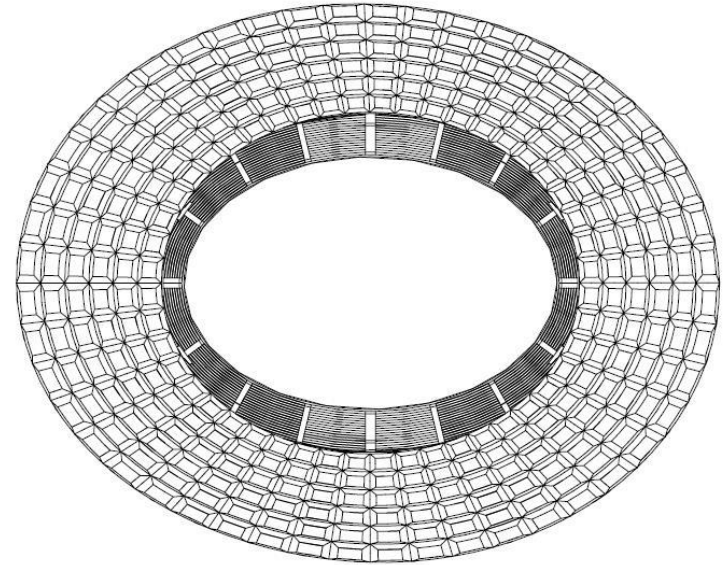
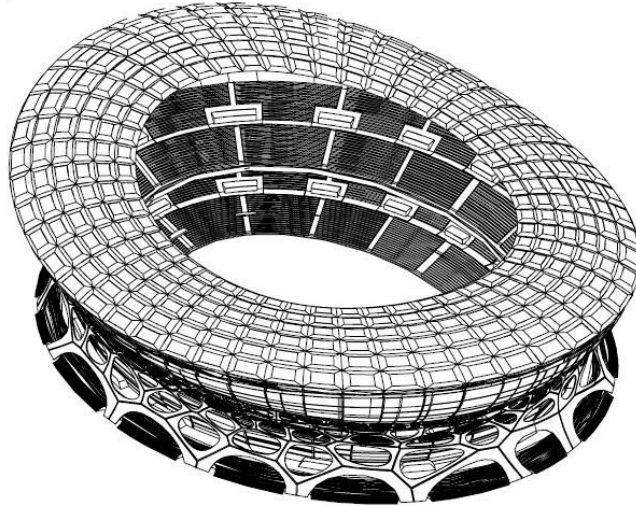


- 主要3次元カーブは全て手書き
- パターン生成、パネリング等でGrasshopperを使用
- 基本形状の修正に、連動してアルゴリズム

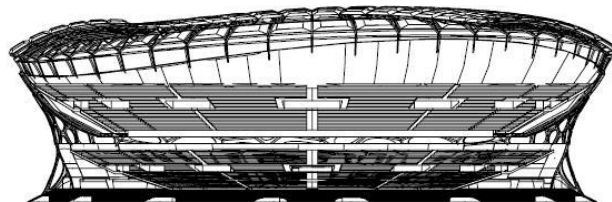
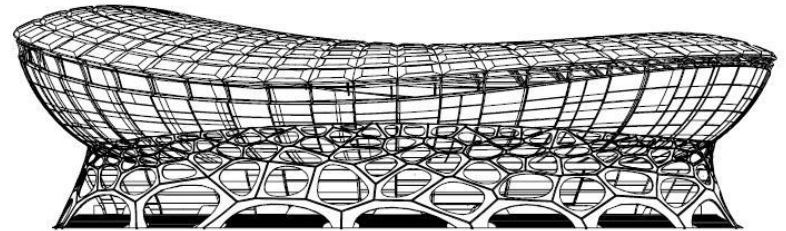
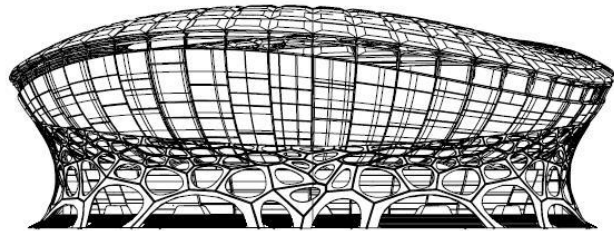


VectorWorks で図面化

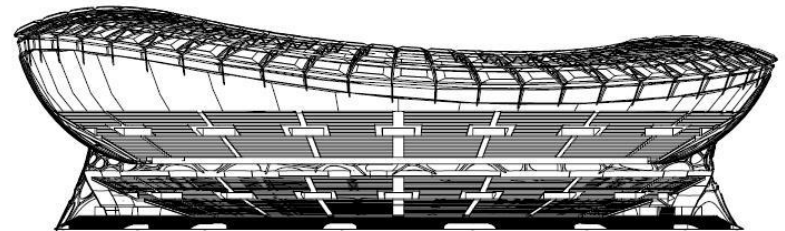
7



VectorWorks で図面化

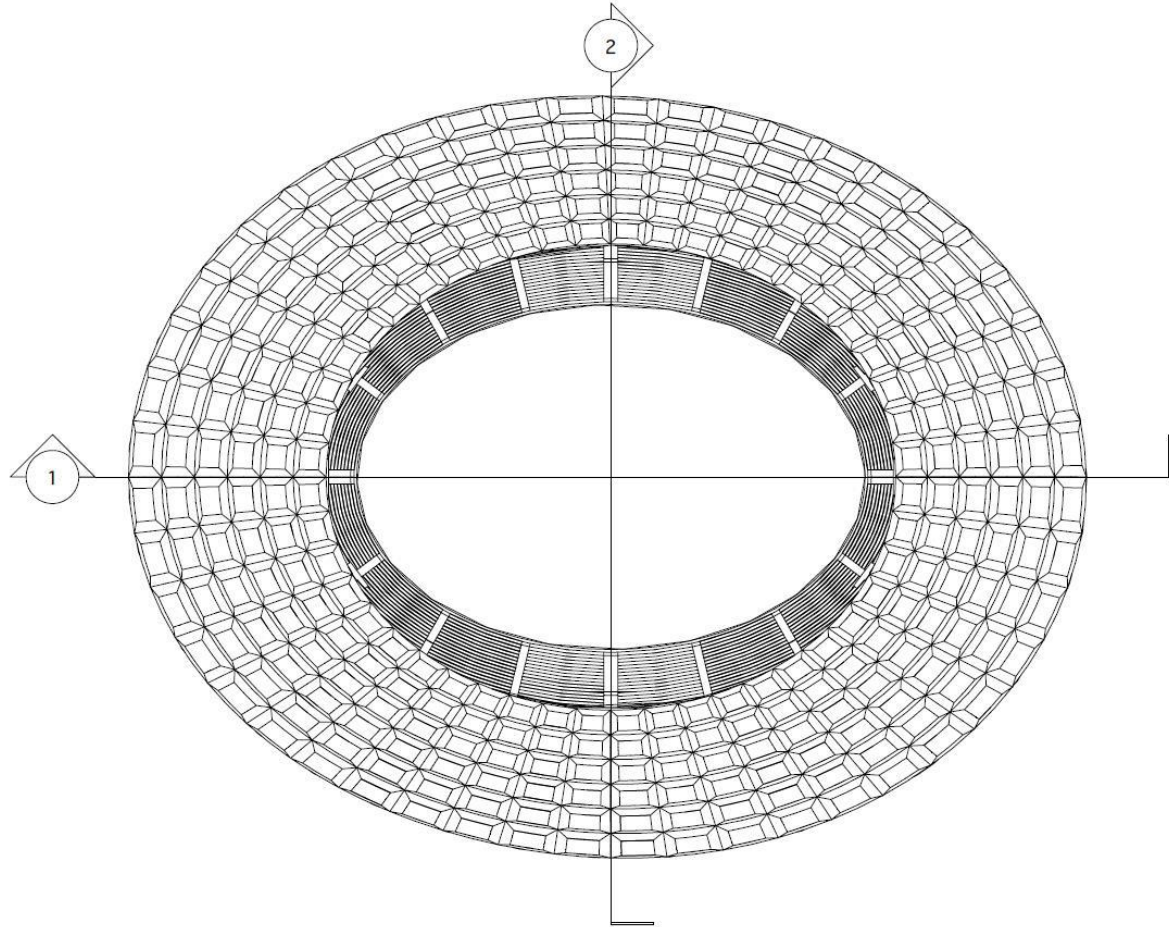


2 [図面タイトル]
縮尺: 1:1500



1 [図面タイトル]
縮尺: 1:1500

VectorWorks で図面化



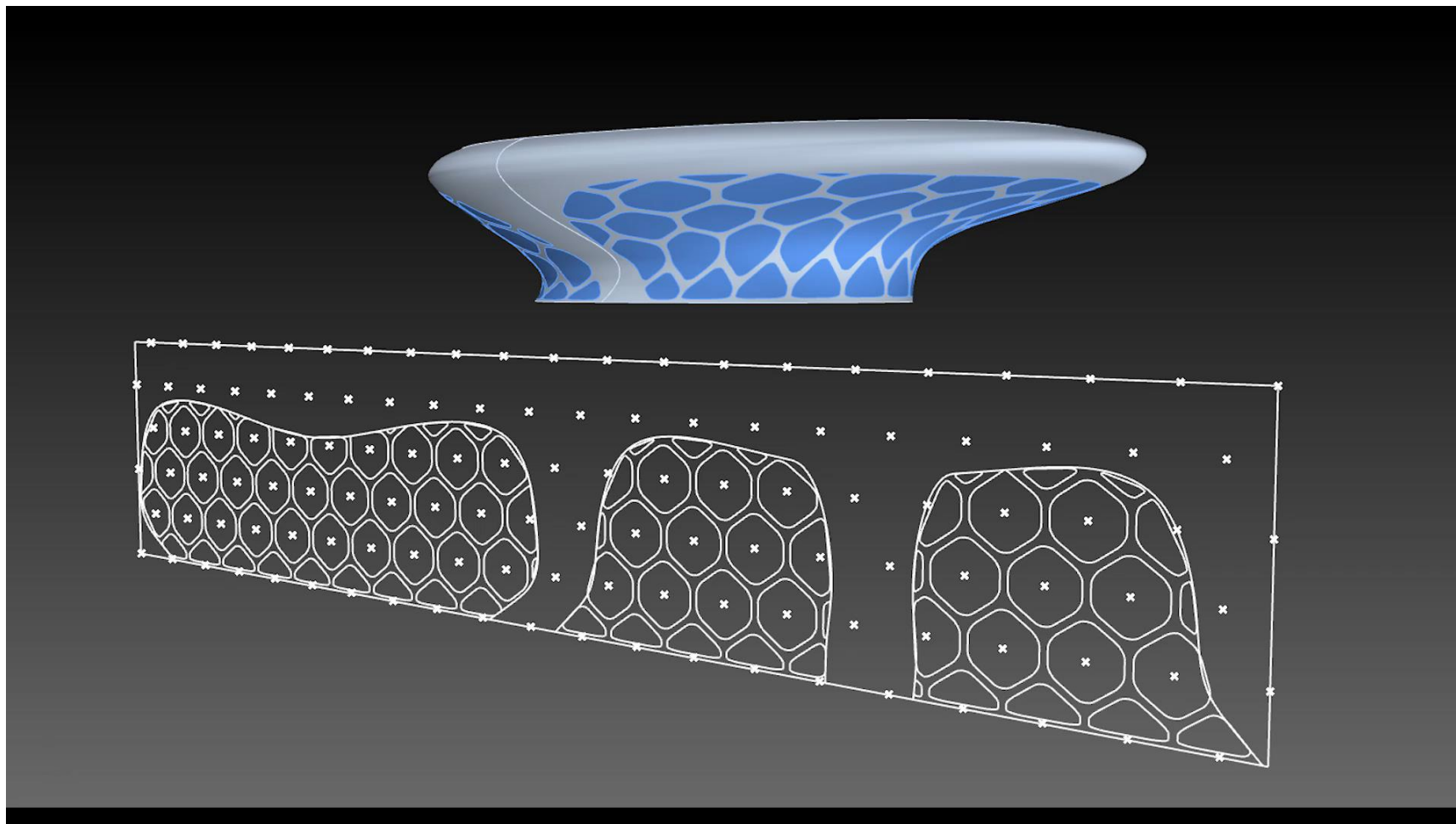
Case:3 未来の住宅 IERR2040

アルゴリズムを利用した意匠検討と意思決定

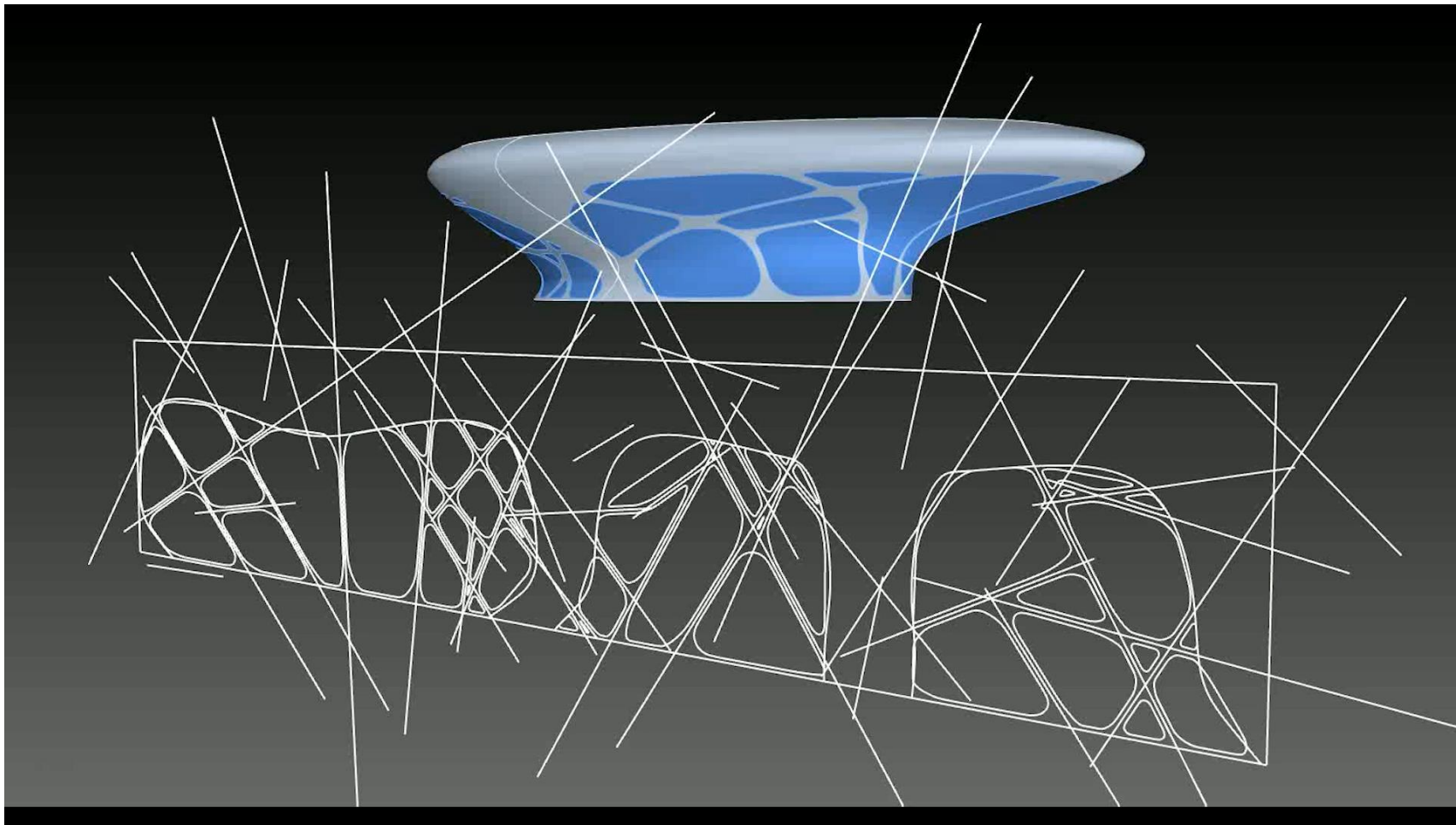


- 2019年、“コンピューテーショナルモデリング入門から応用”出版記念セミナー
プロダクトデザイナー・澄川伸一氏 デザインのアルゴリズム担当
SUDARE・丹野氏、竹中工務店・林氏 設計・施工モデル担当

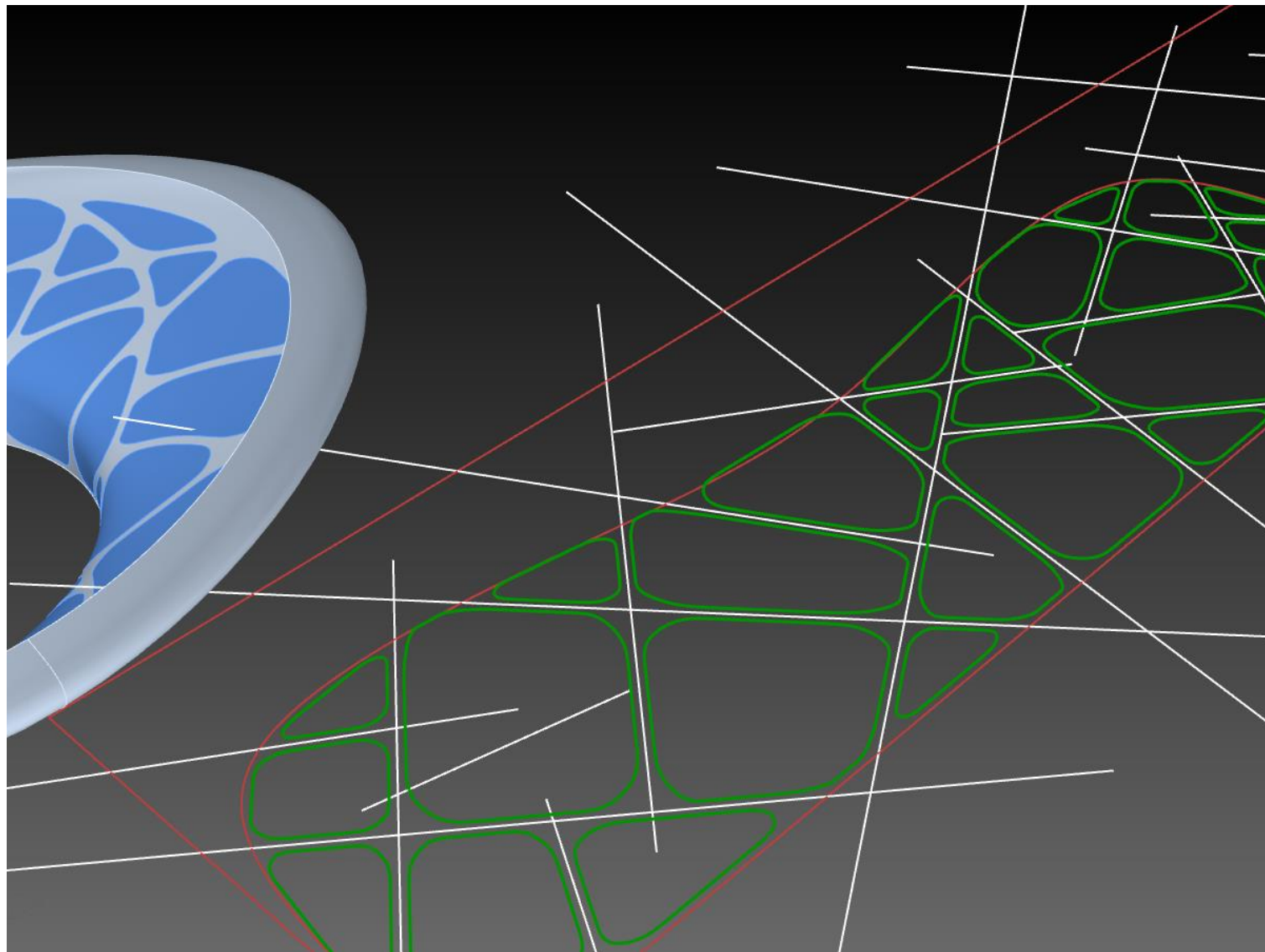
シンプルなHexaパターンから、Voronoiパターンを利用した意匠検討
初期段階、ありふれてつまらないので没



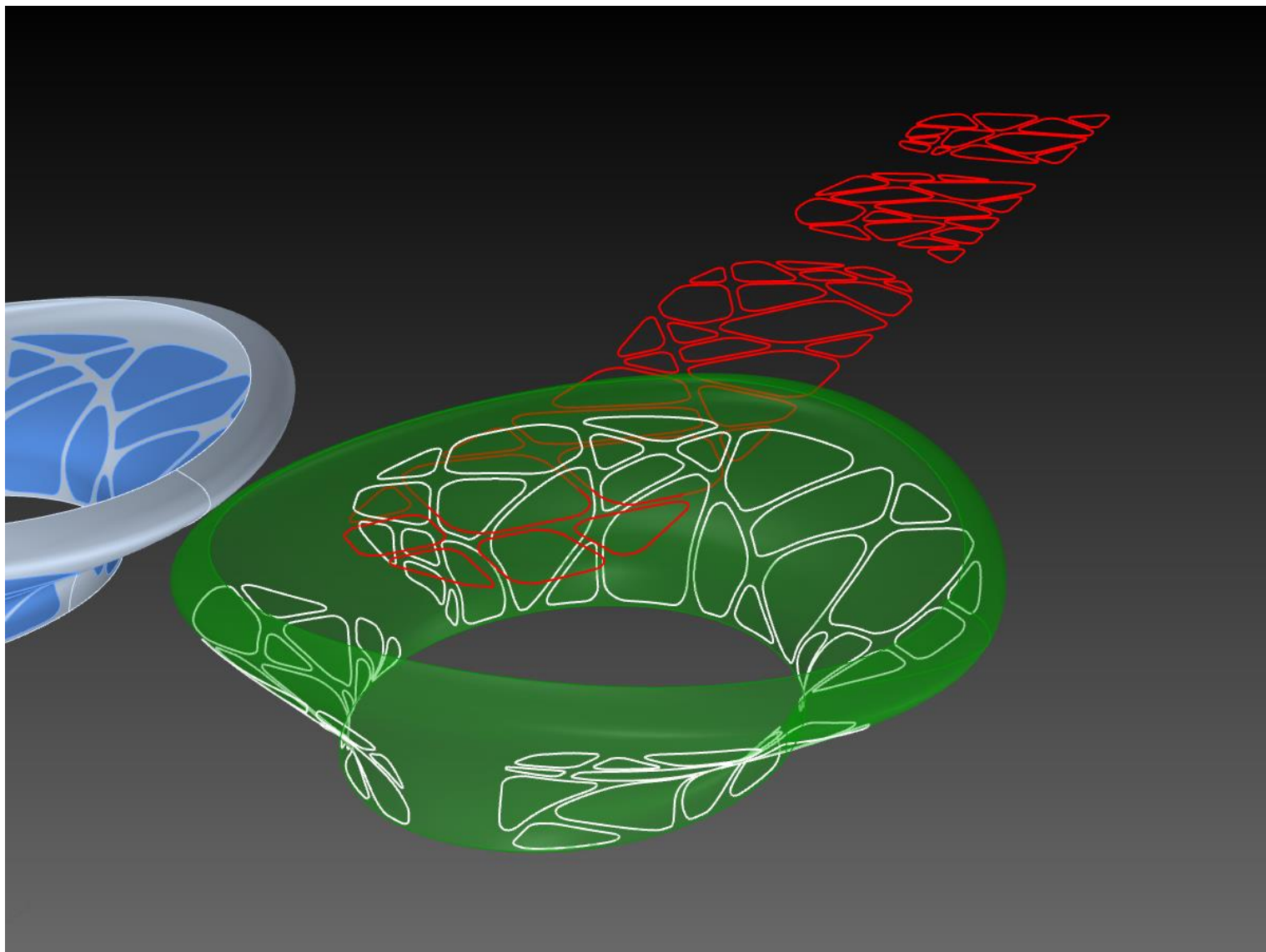
任意の直線群からパターンからアルゴリズムによる意匠検討
デザイナーが自由に、インタラクティブにパターン創生のアルゴリズムでデザイン支援



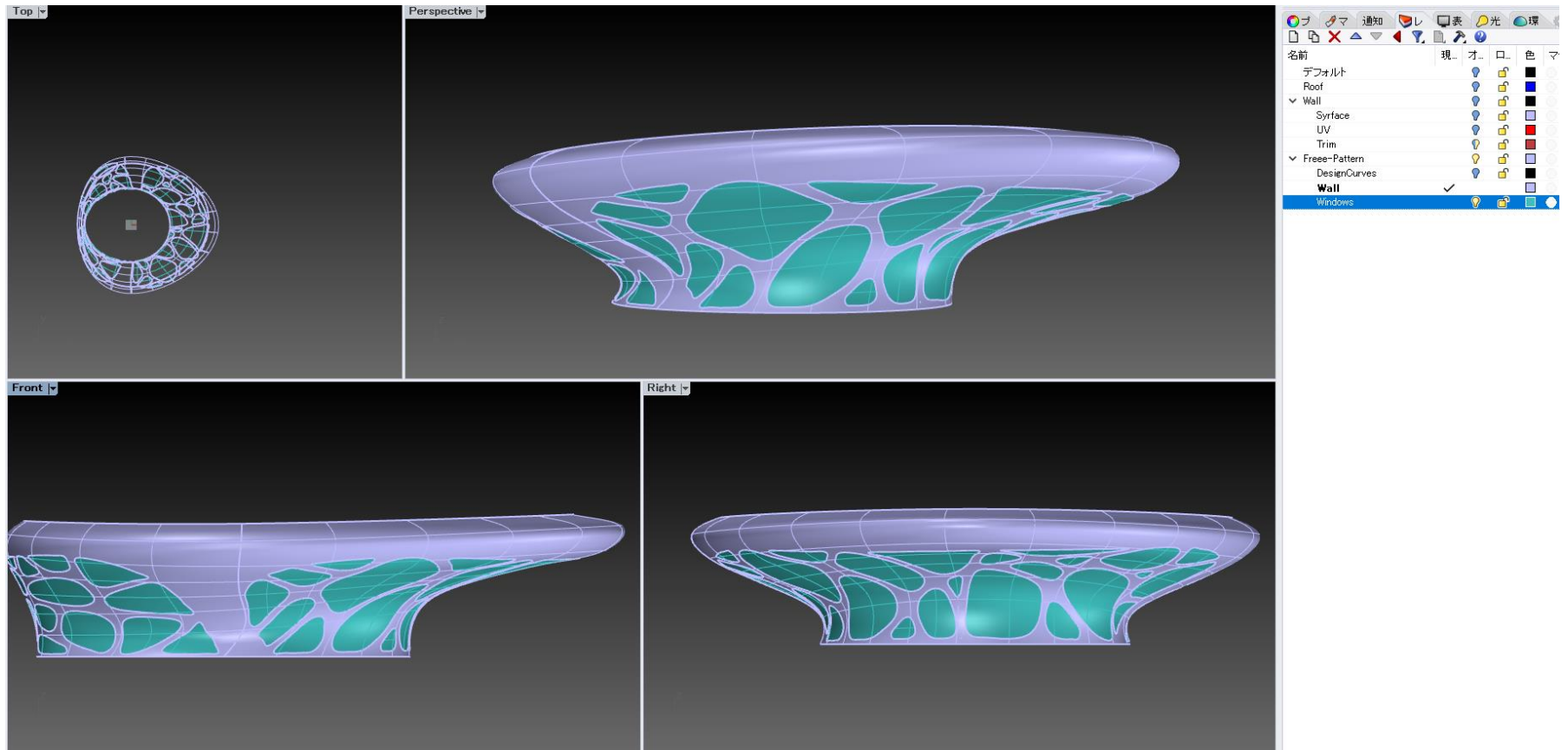
操作イメージ



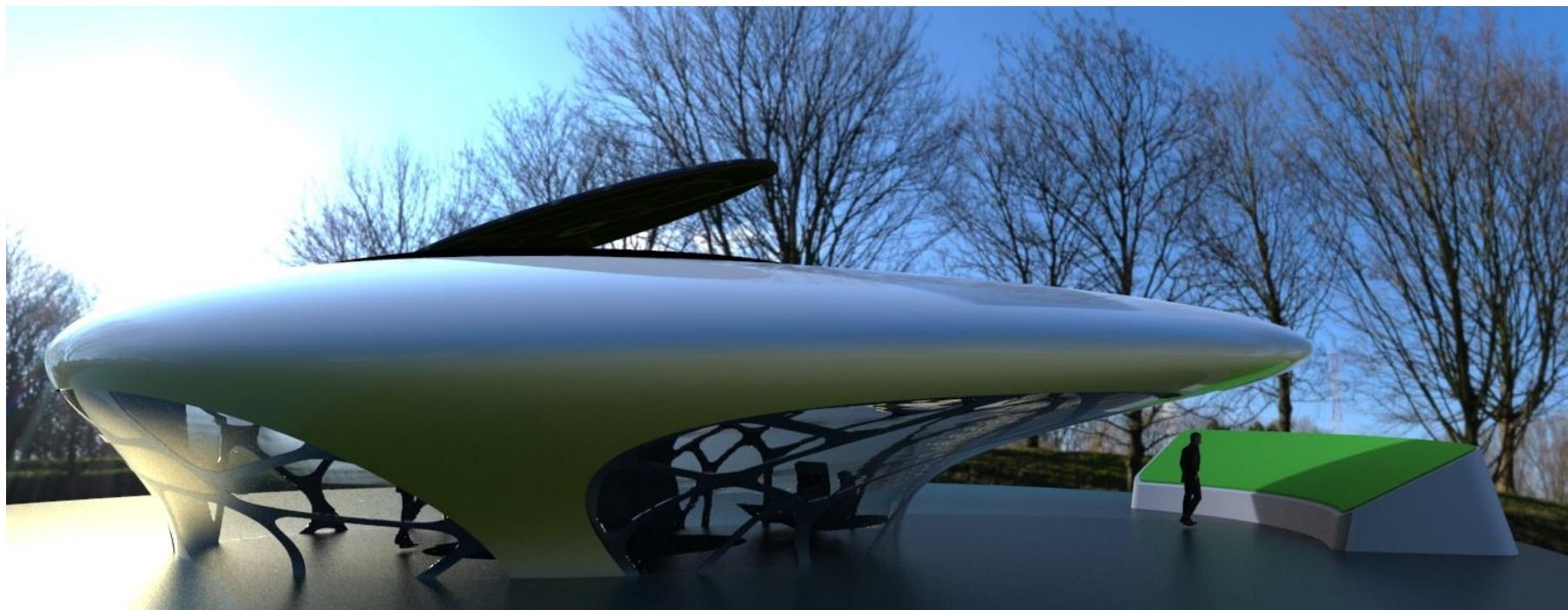
操作イメージ



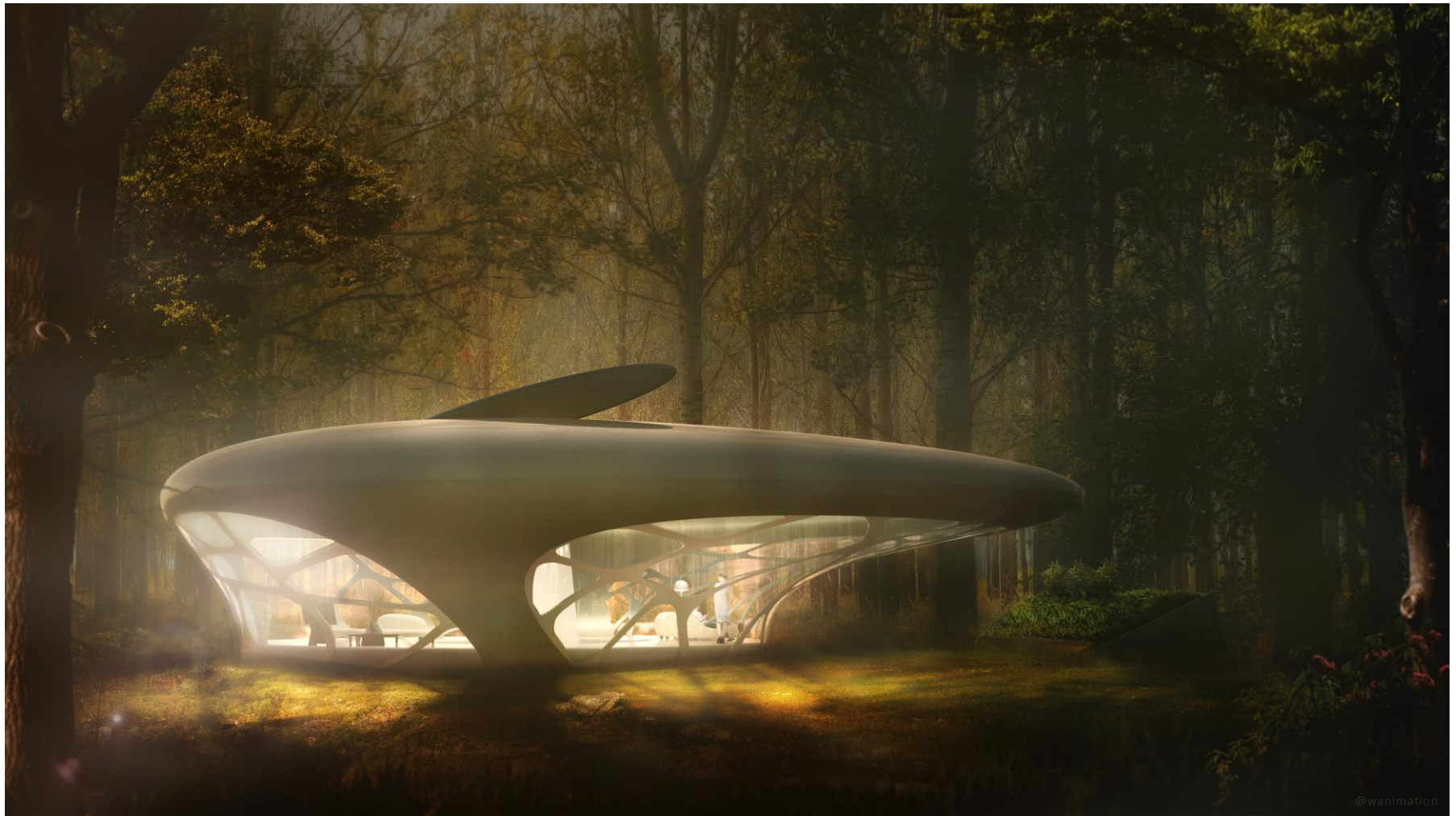
完成イメージ



完成イメージ・レンダリング



レンダリング・Twinmotion

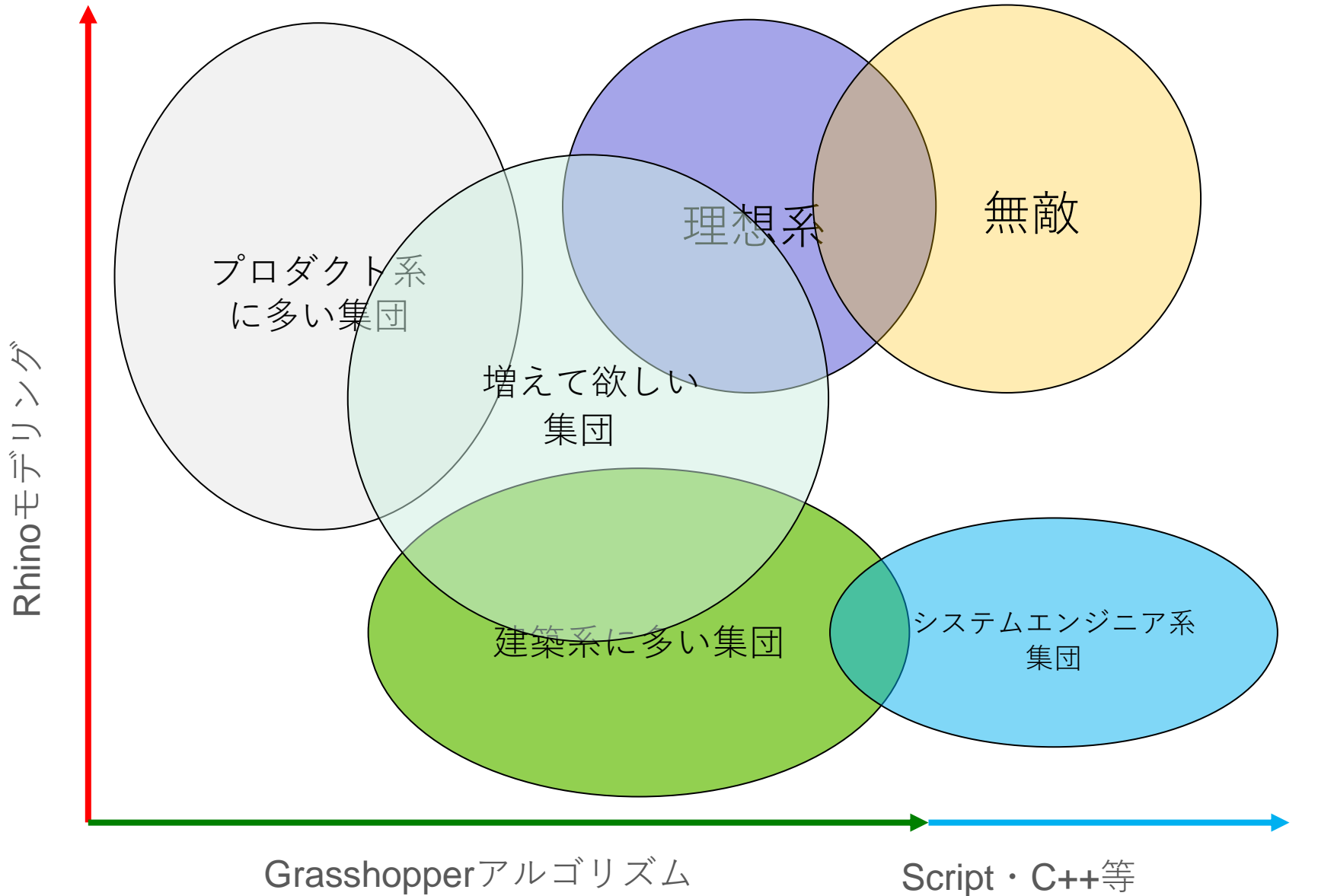


最終パターンの決定

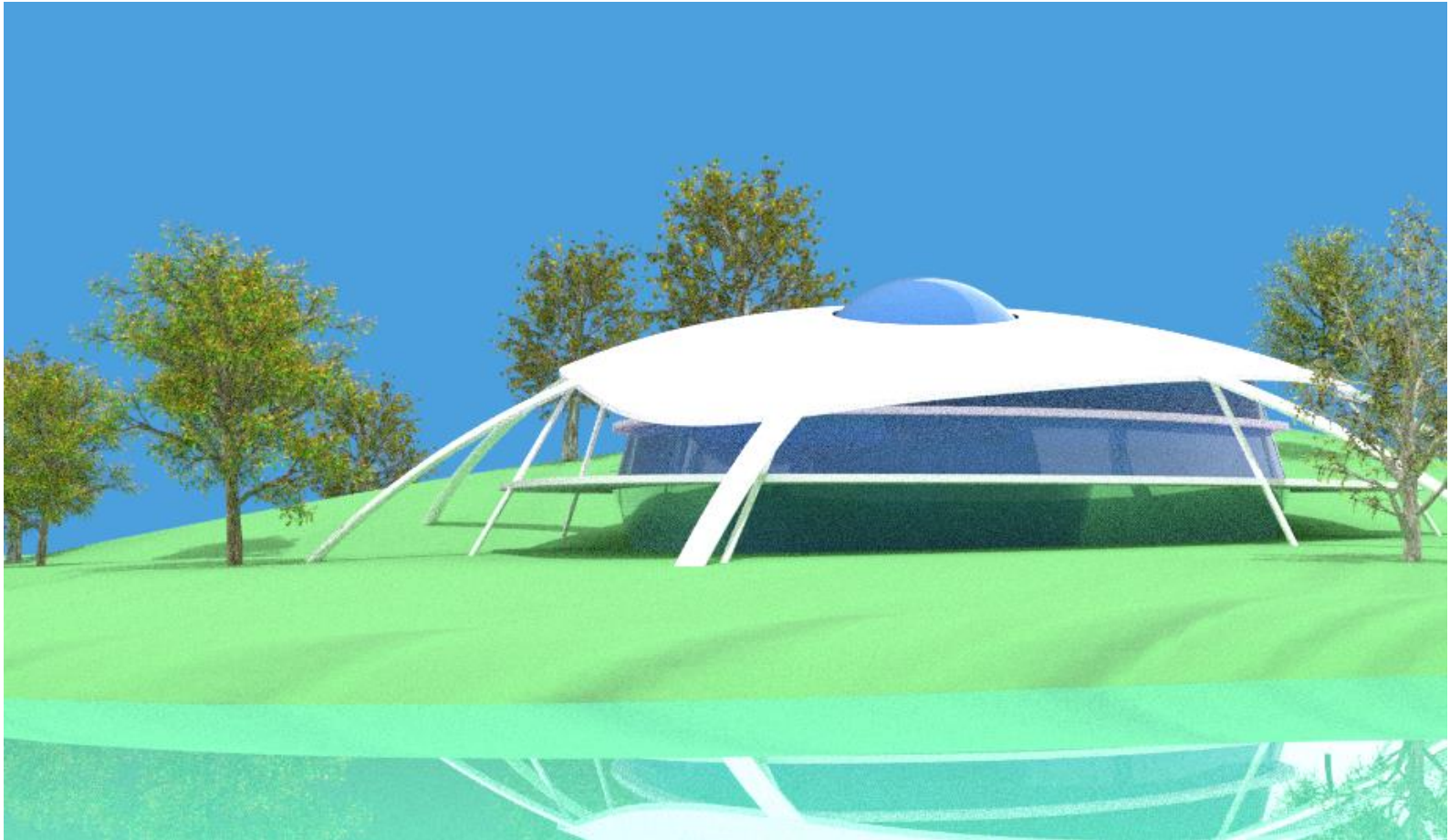
アルゴリズムによって生成されたパターンは最終ではない。

人間系の編集を加えることにより洗練させていく。

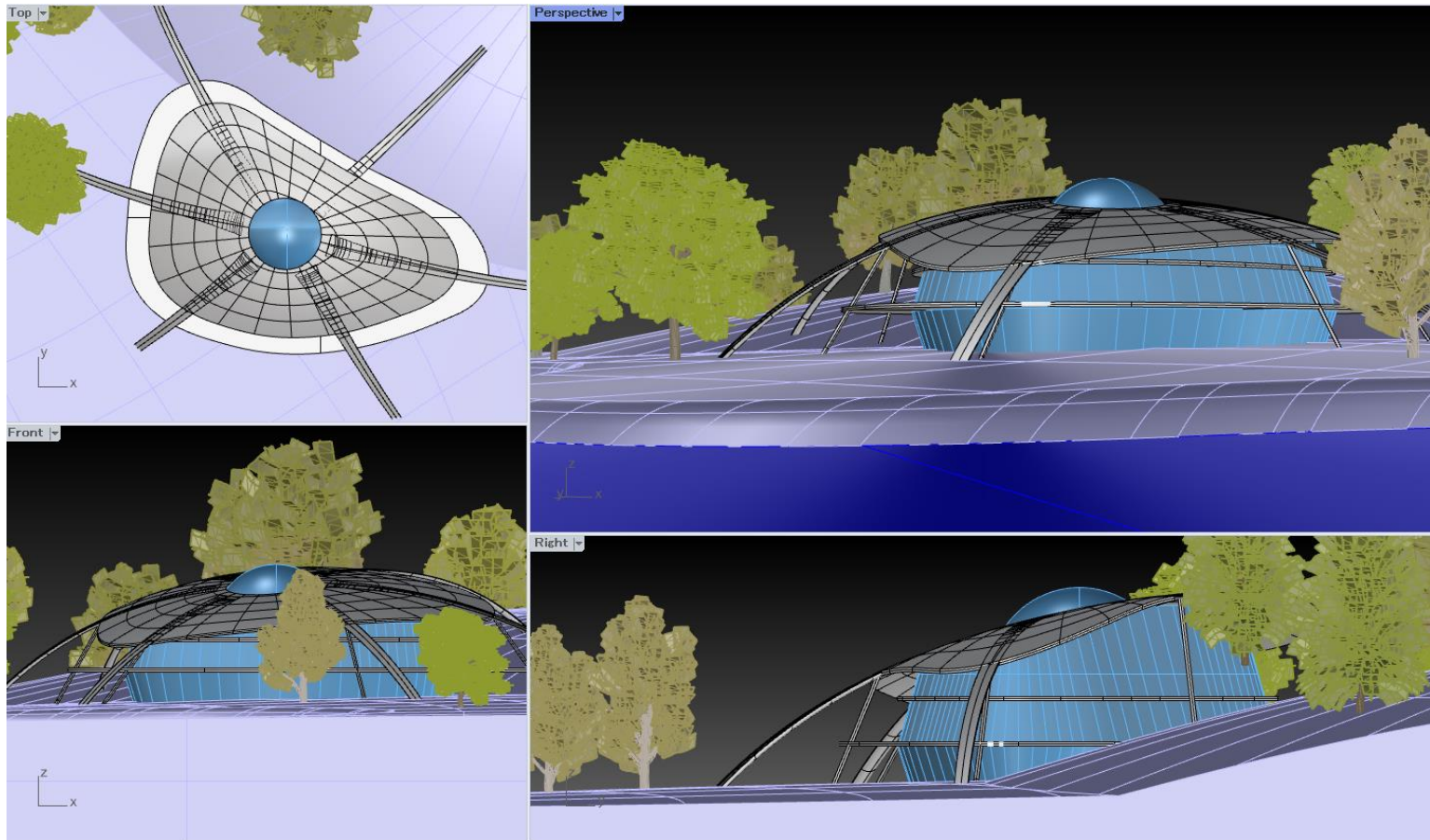
Rhino/Grasshopper スキル別マップ



Case:4 NURBSの特性を意識したコンピューテーショナルモデリング
本日の主題

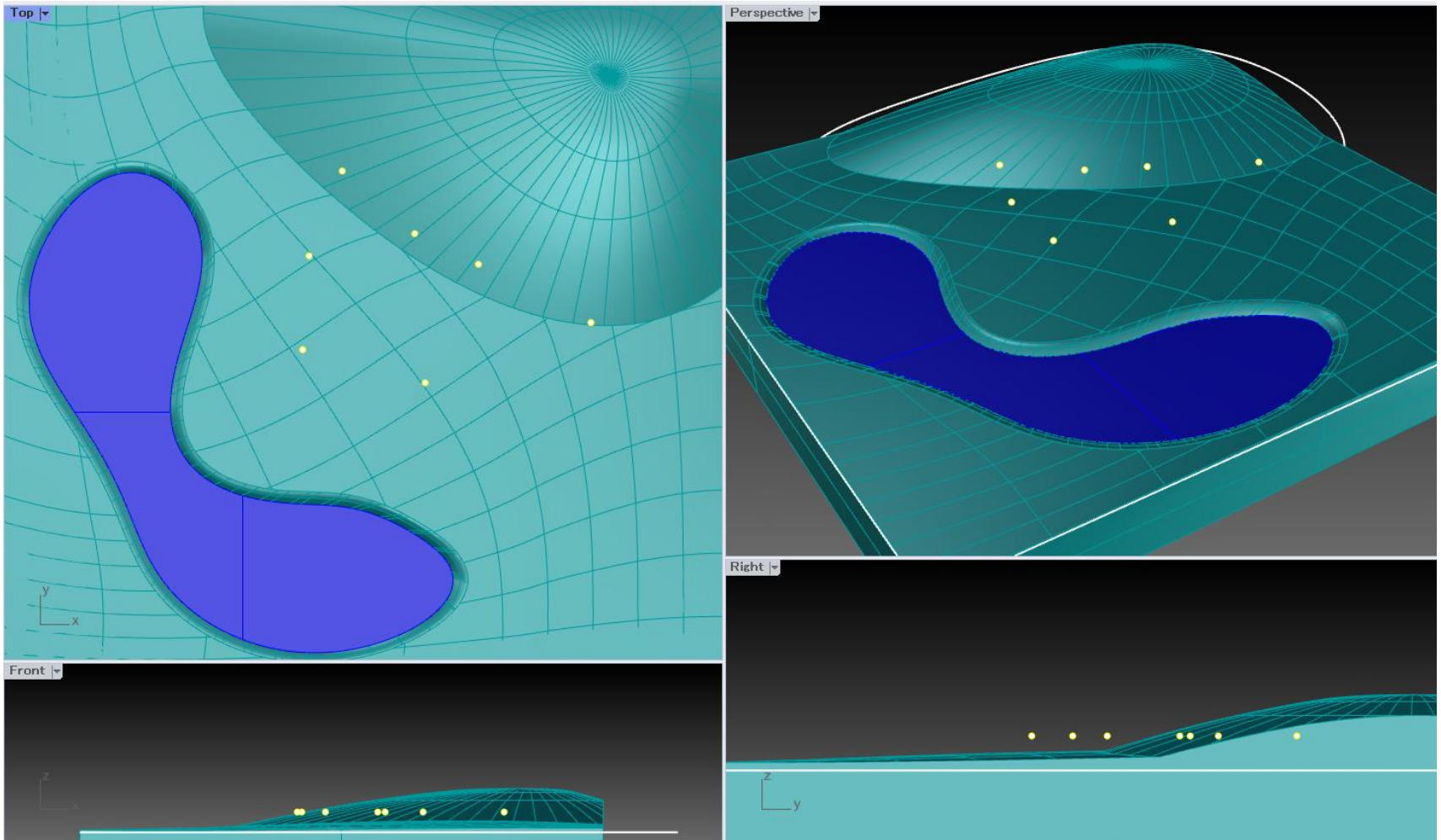


後工程を意識したコンセプトデザイン



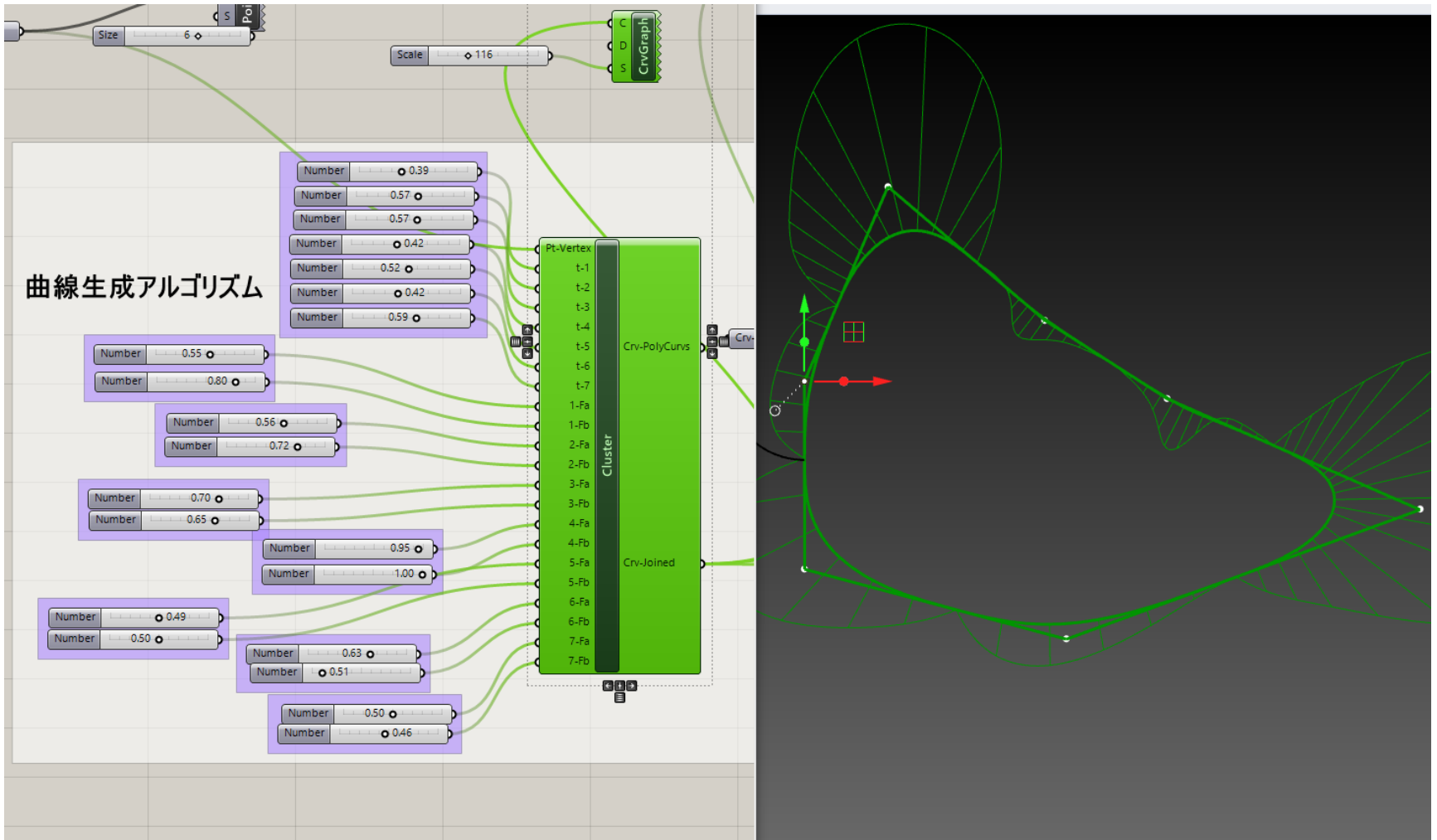
- 習熟したモデリングスキルを必要としない造形
- “t”パラメーターをフルに利用する
- トリムサーフェスの生成を極力さける

後工程を意識したコンセプトデザイン



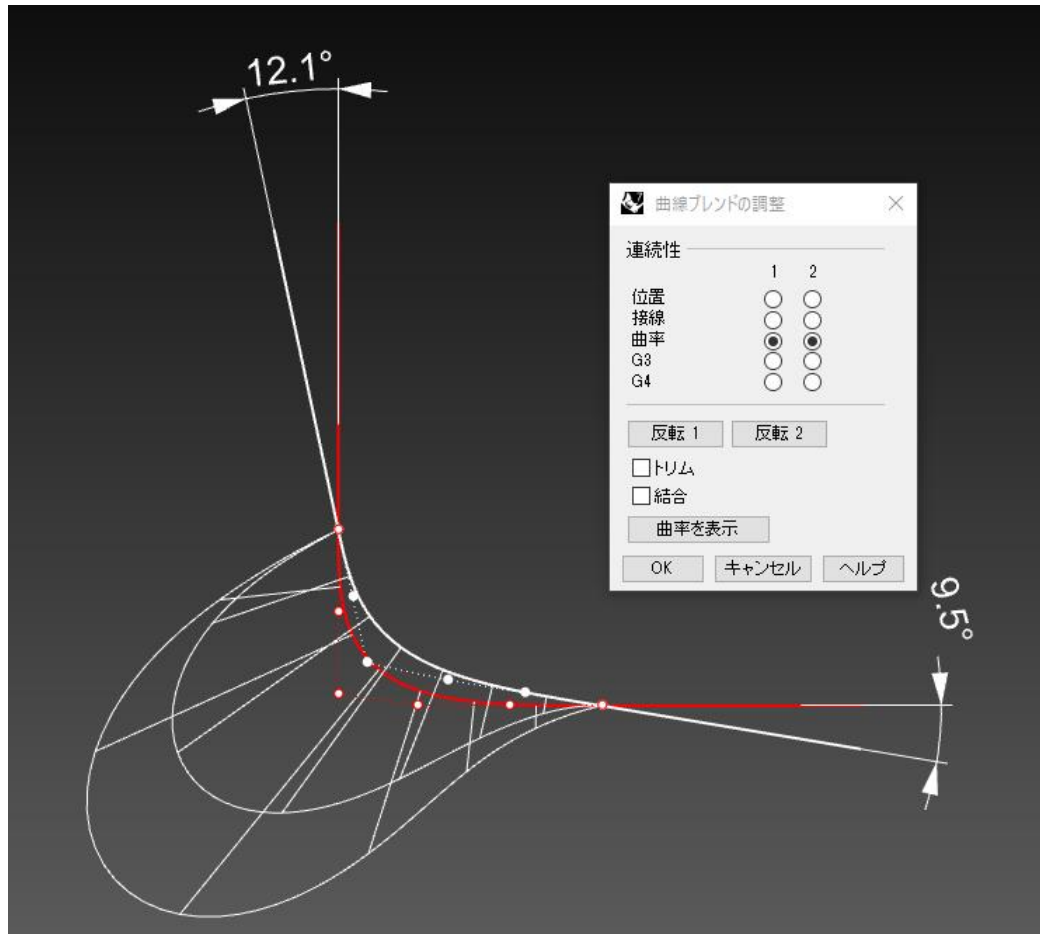
■ 地形データと平面上に配置された、7つの点データのみ

後工程を意識したコンセプトデザイン

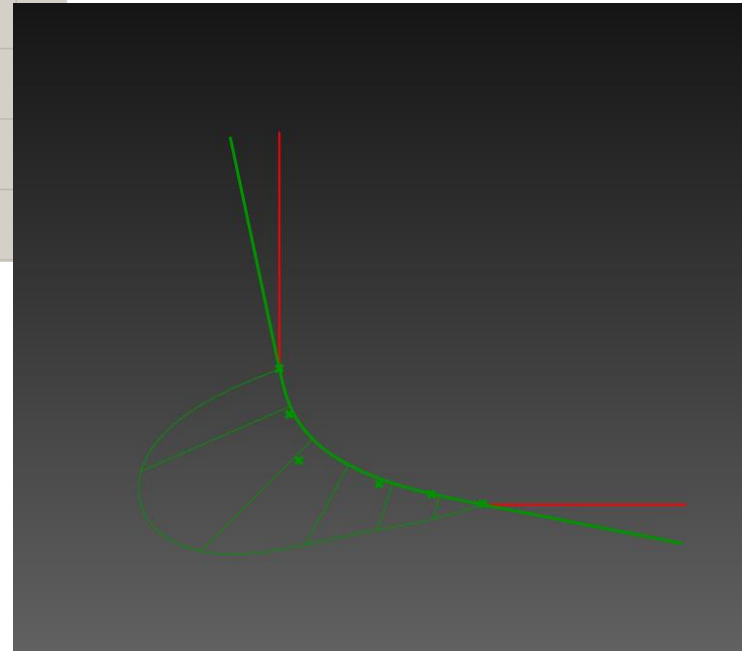
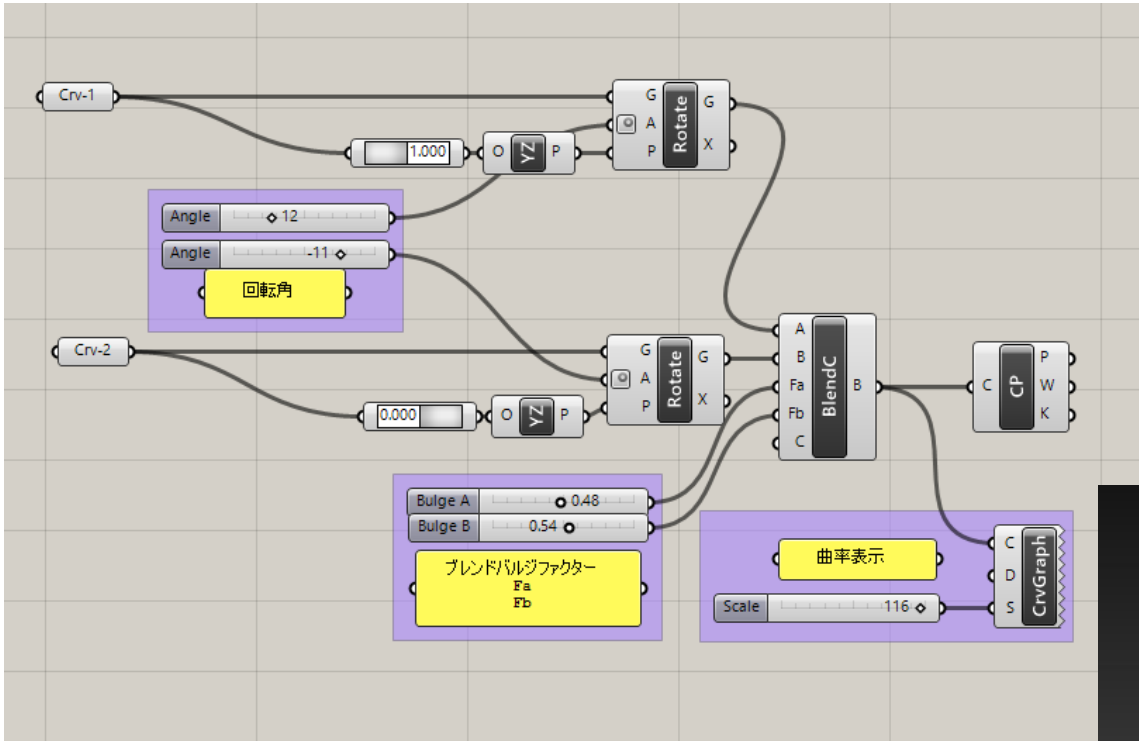


■ 点データを読み込、ポリカーブ間にブレンドカーブを生成

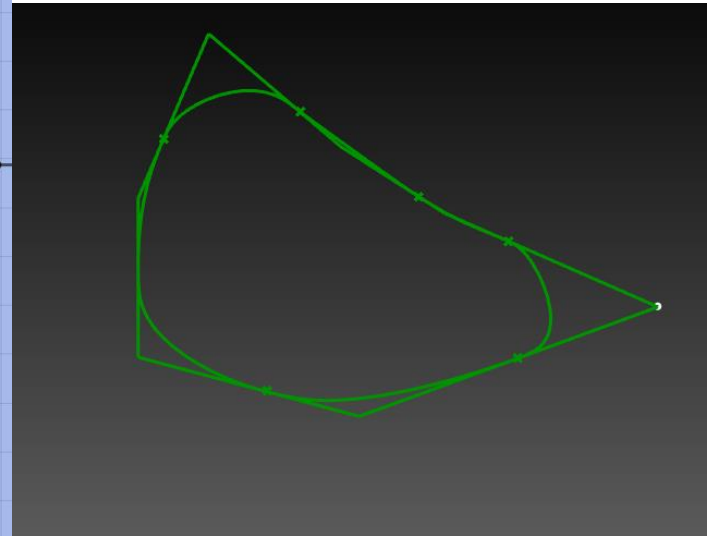
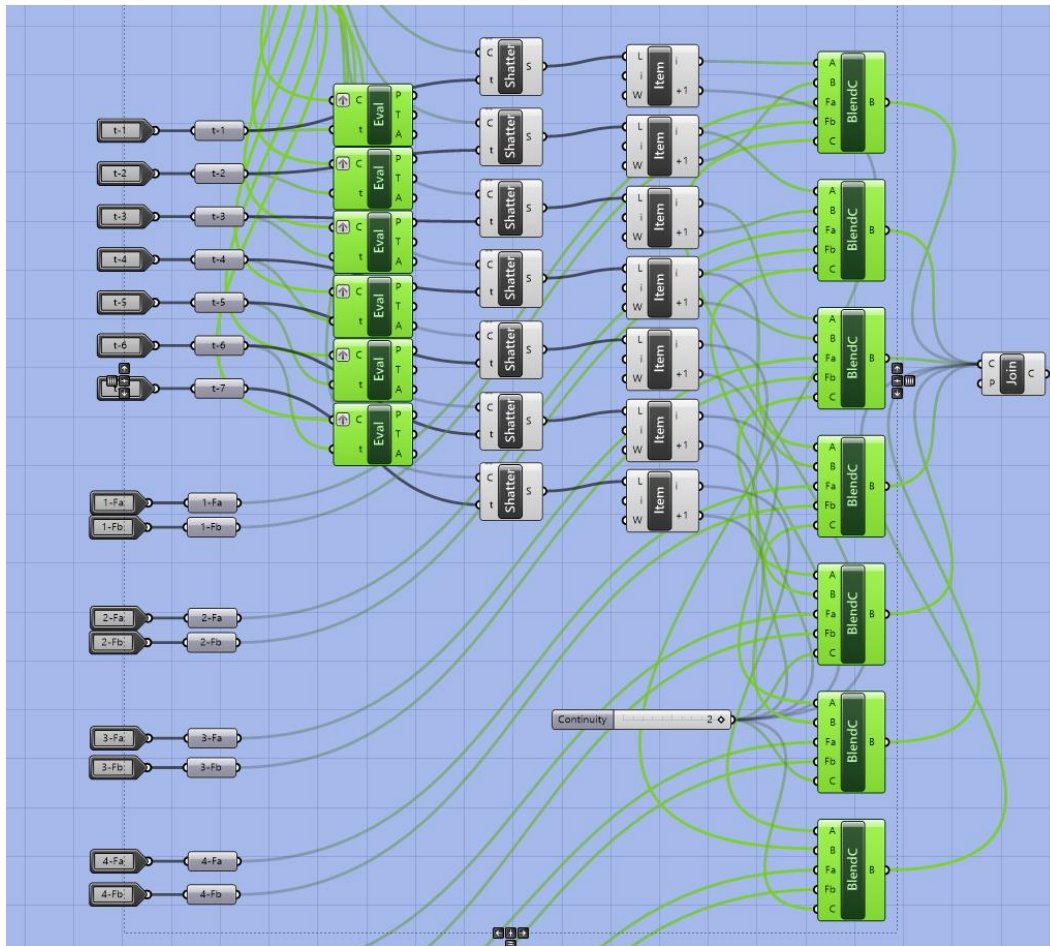
ブレンド機能を使用したカーブの生成 (Rhinoコマンドによる)



ブレンド機能を使用したカーブの生成 (Grasshopperアルゴリズムによる)

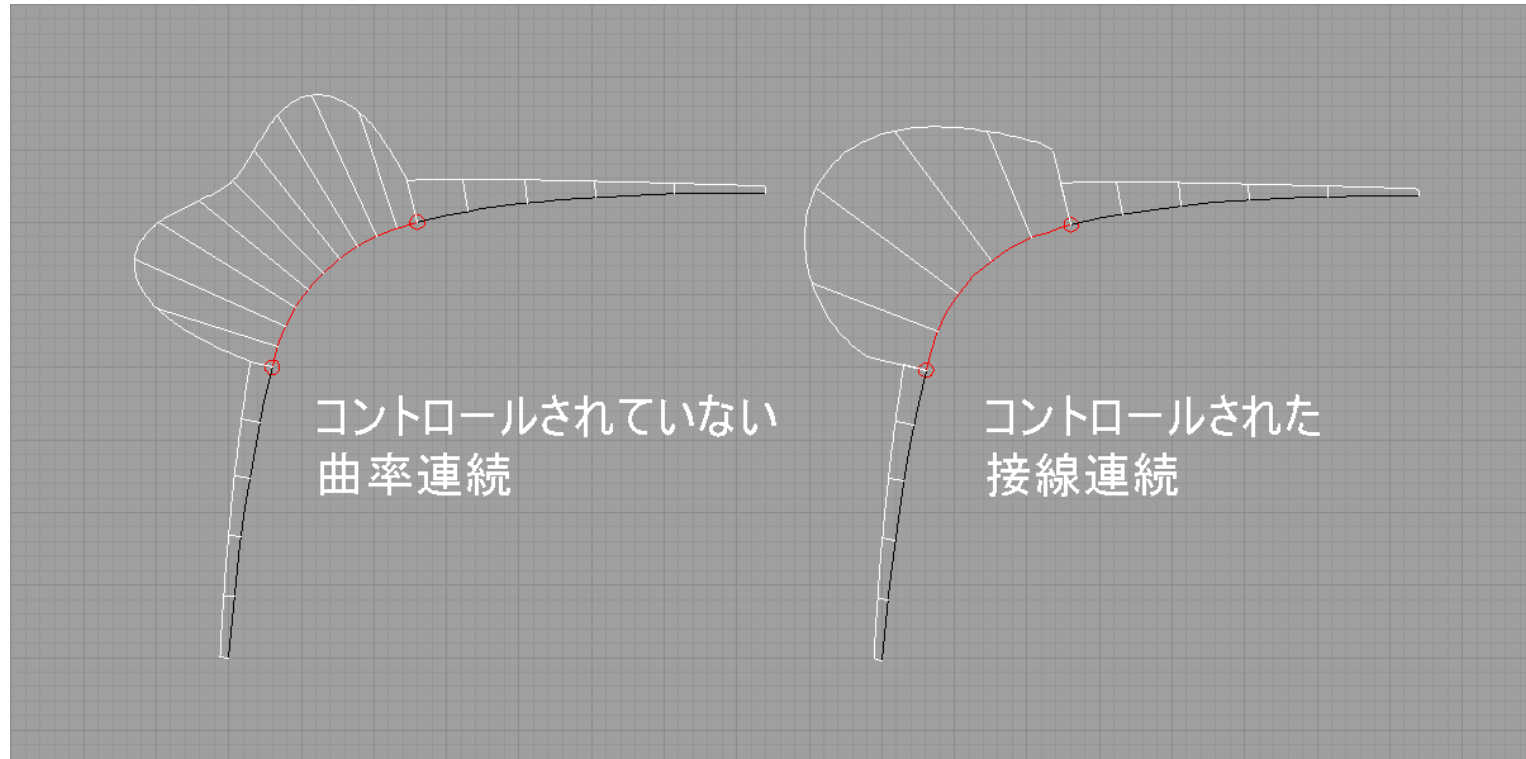


後工程を意識したコンセプトデザイン

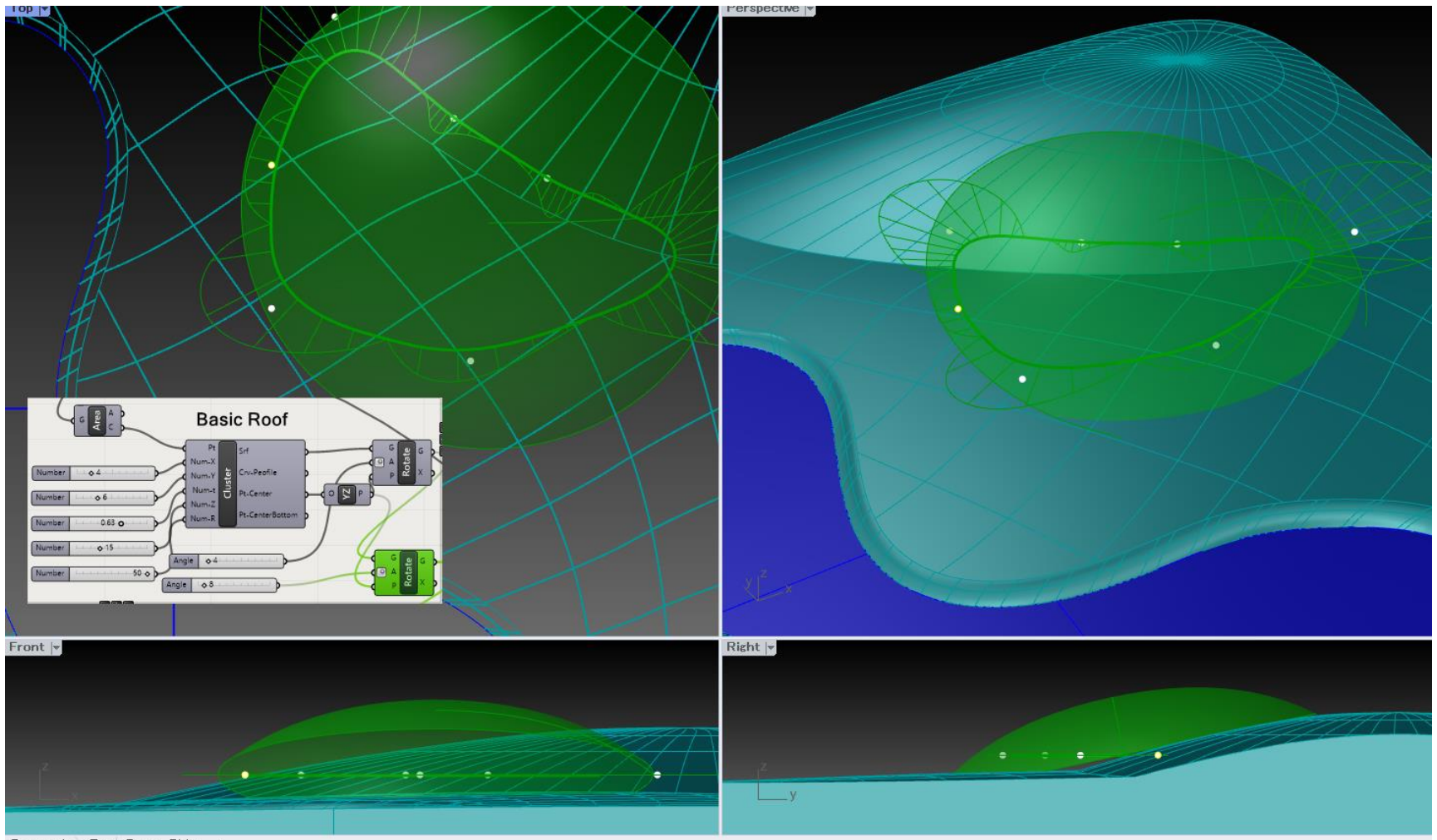


■ 点データを読み込、ポリカーブ間にブレンドカーブを生成

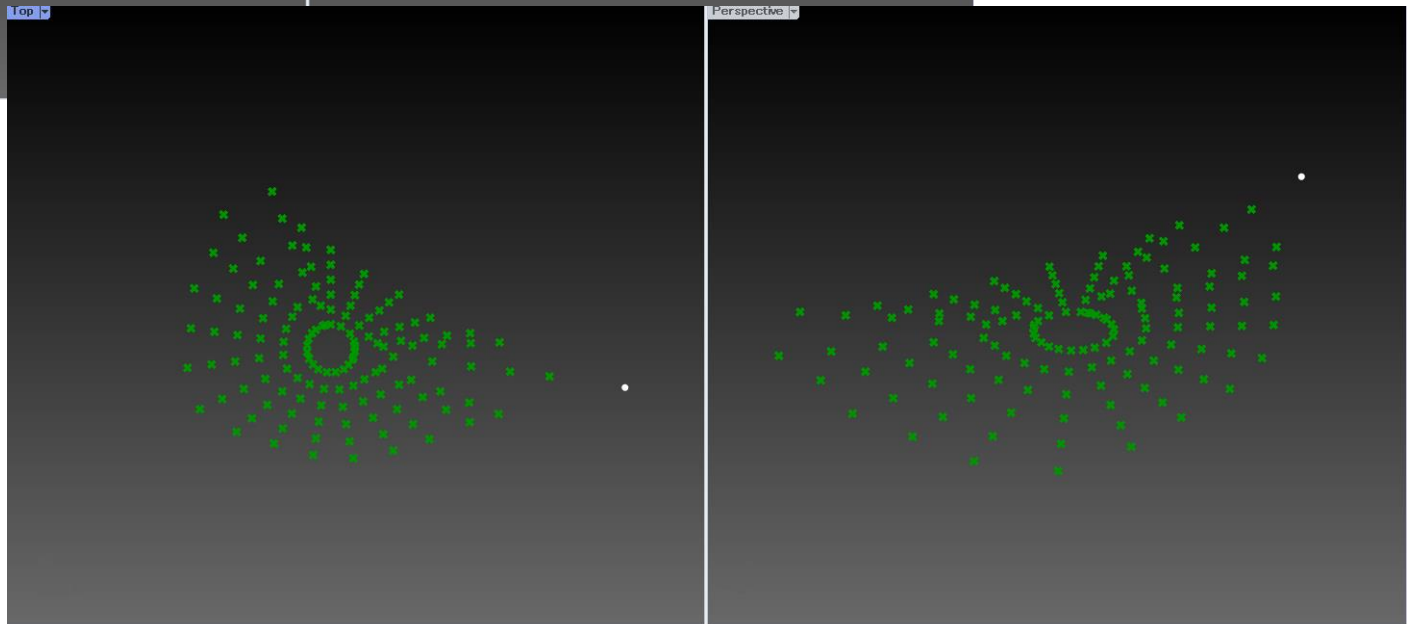
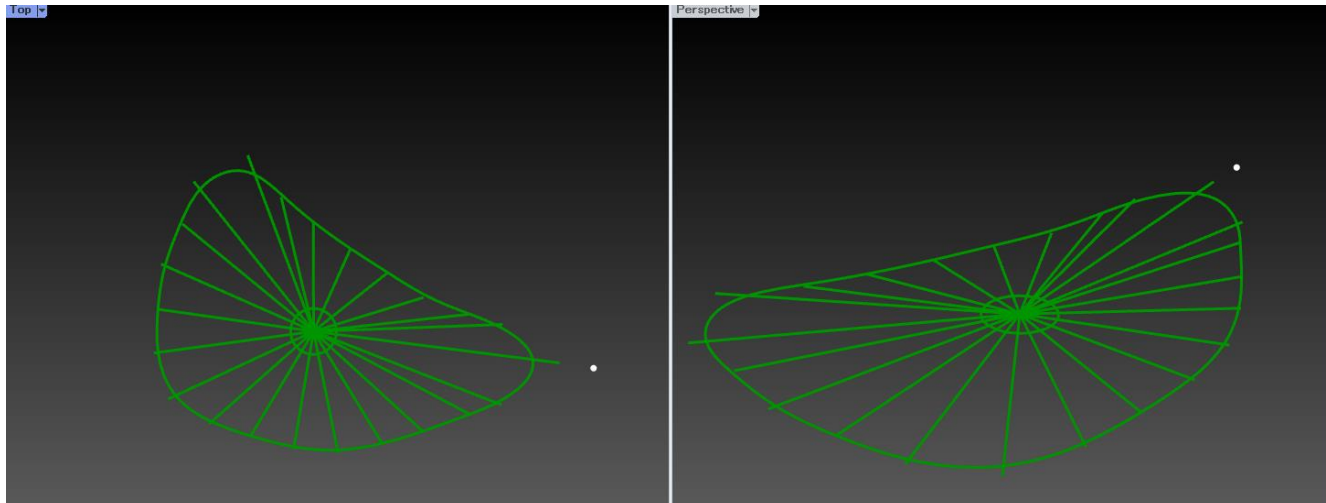
Appndix; Modeling example, product model.



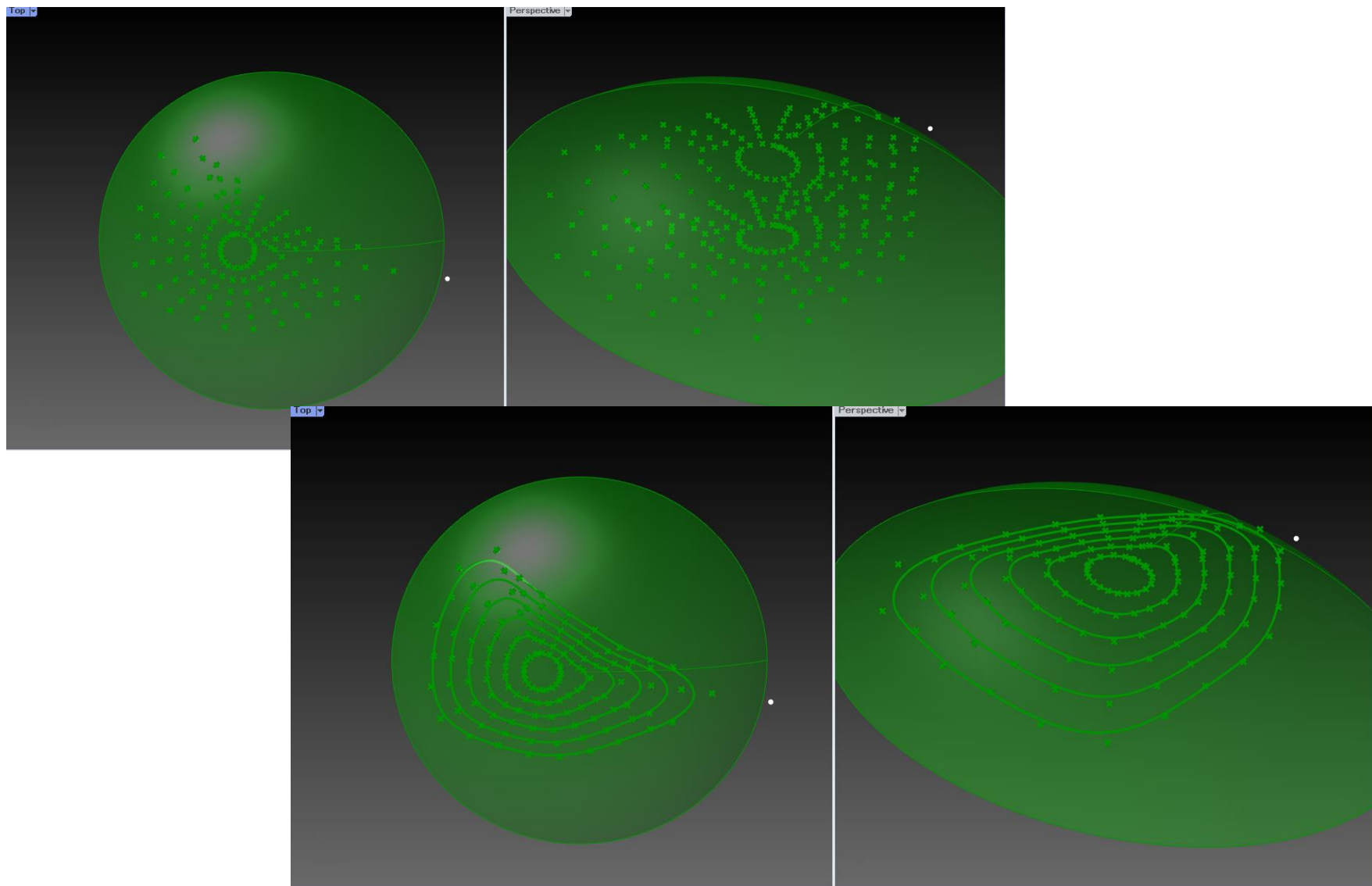
後工程を意識したコンセプトデザイン



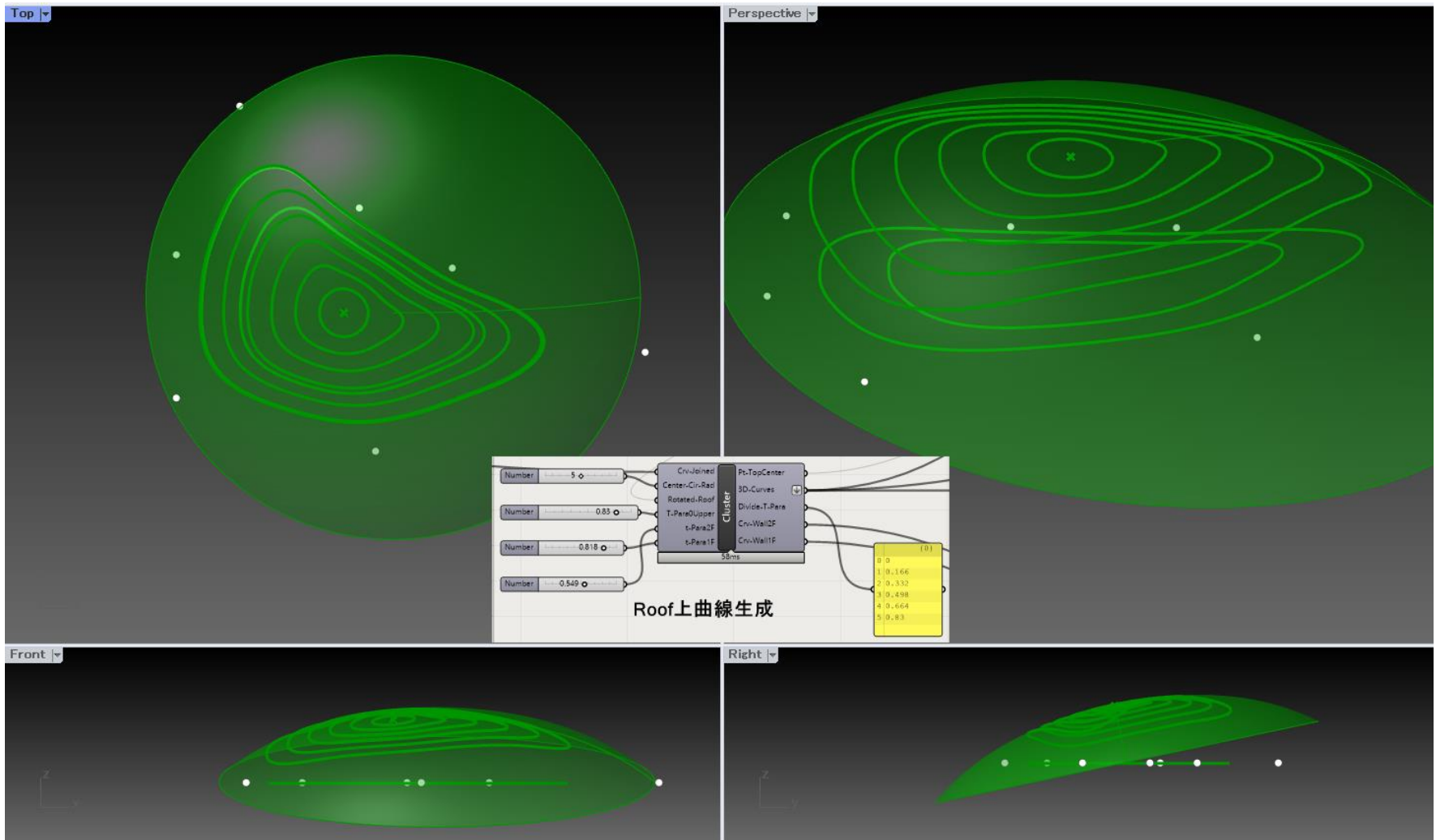
後工程を意識したコンセプトデザイン



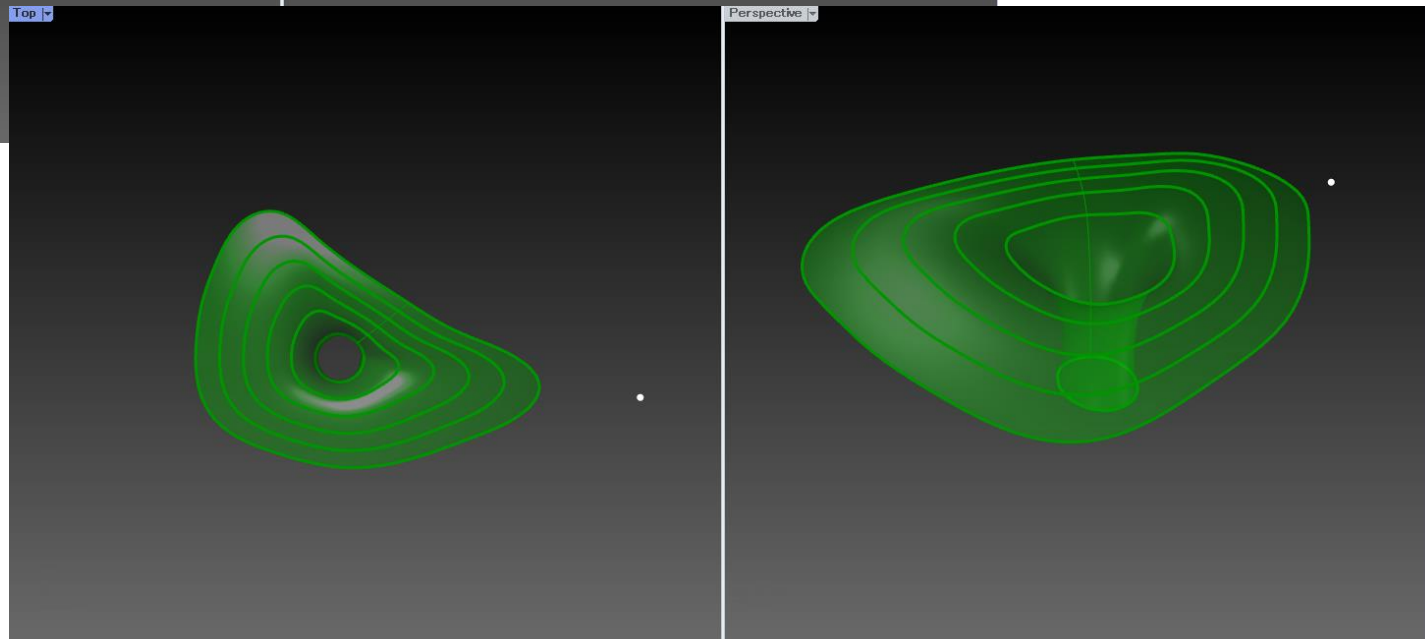
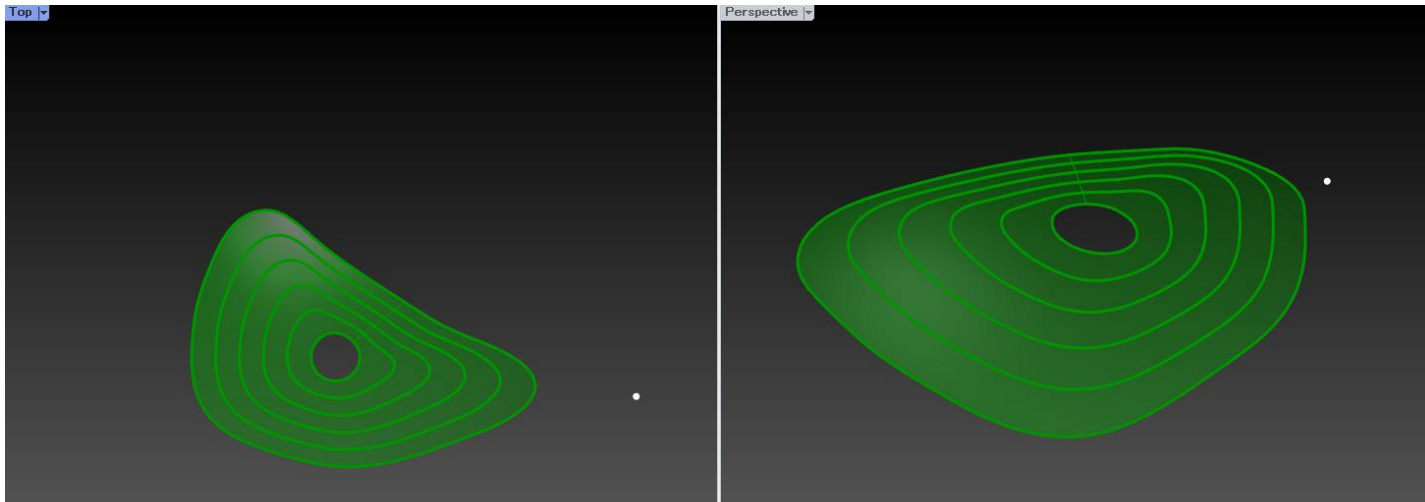
後工程を意識したコンセプトデザイン



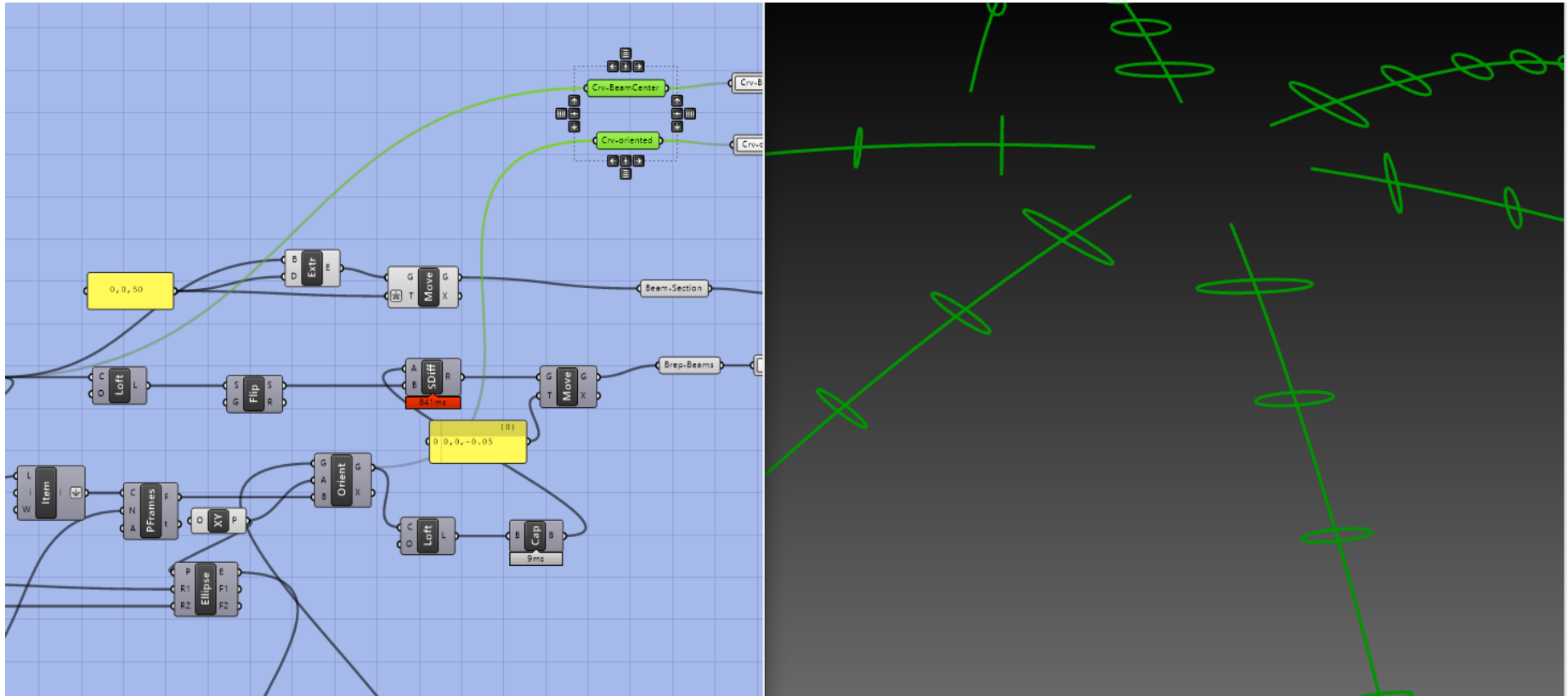
後工程を意識したコンセプトデザイン



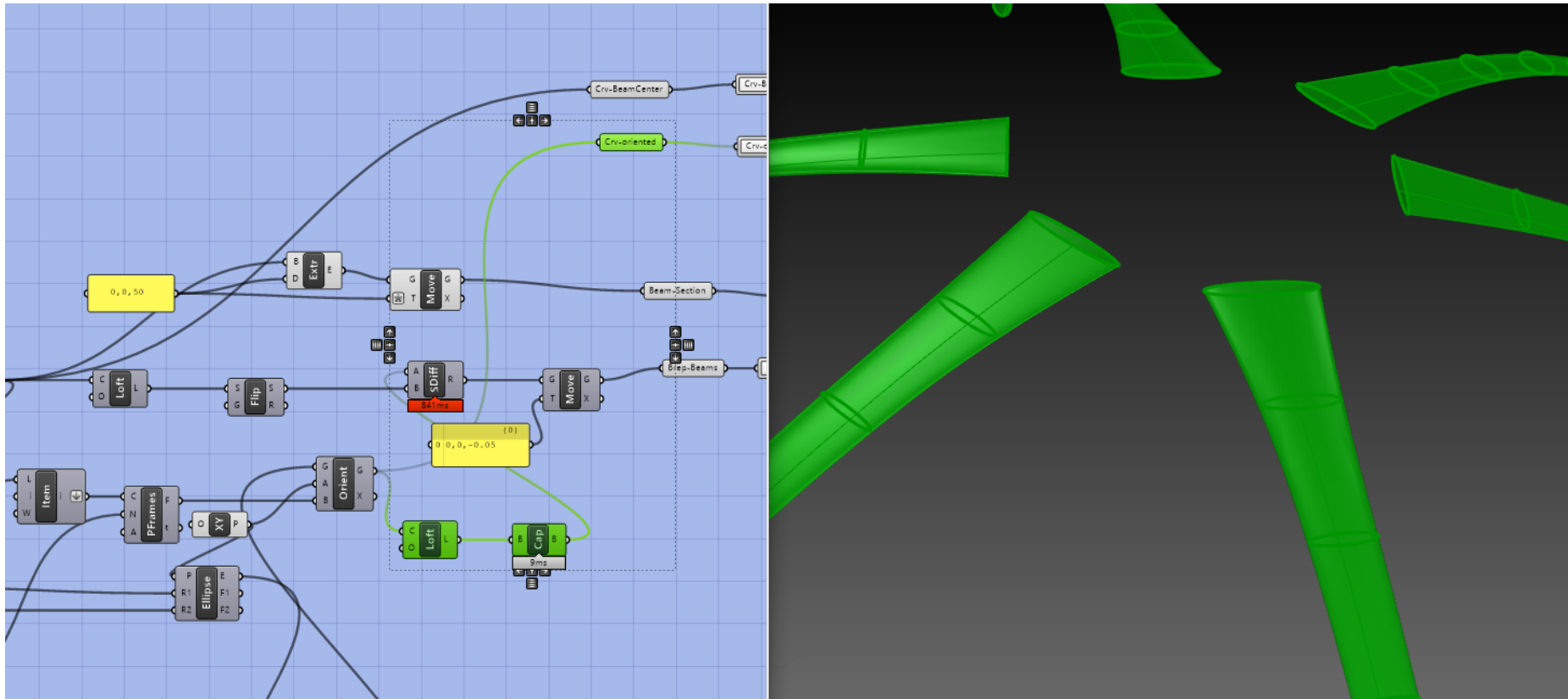
後工程を意識したコンセプトデザイン



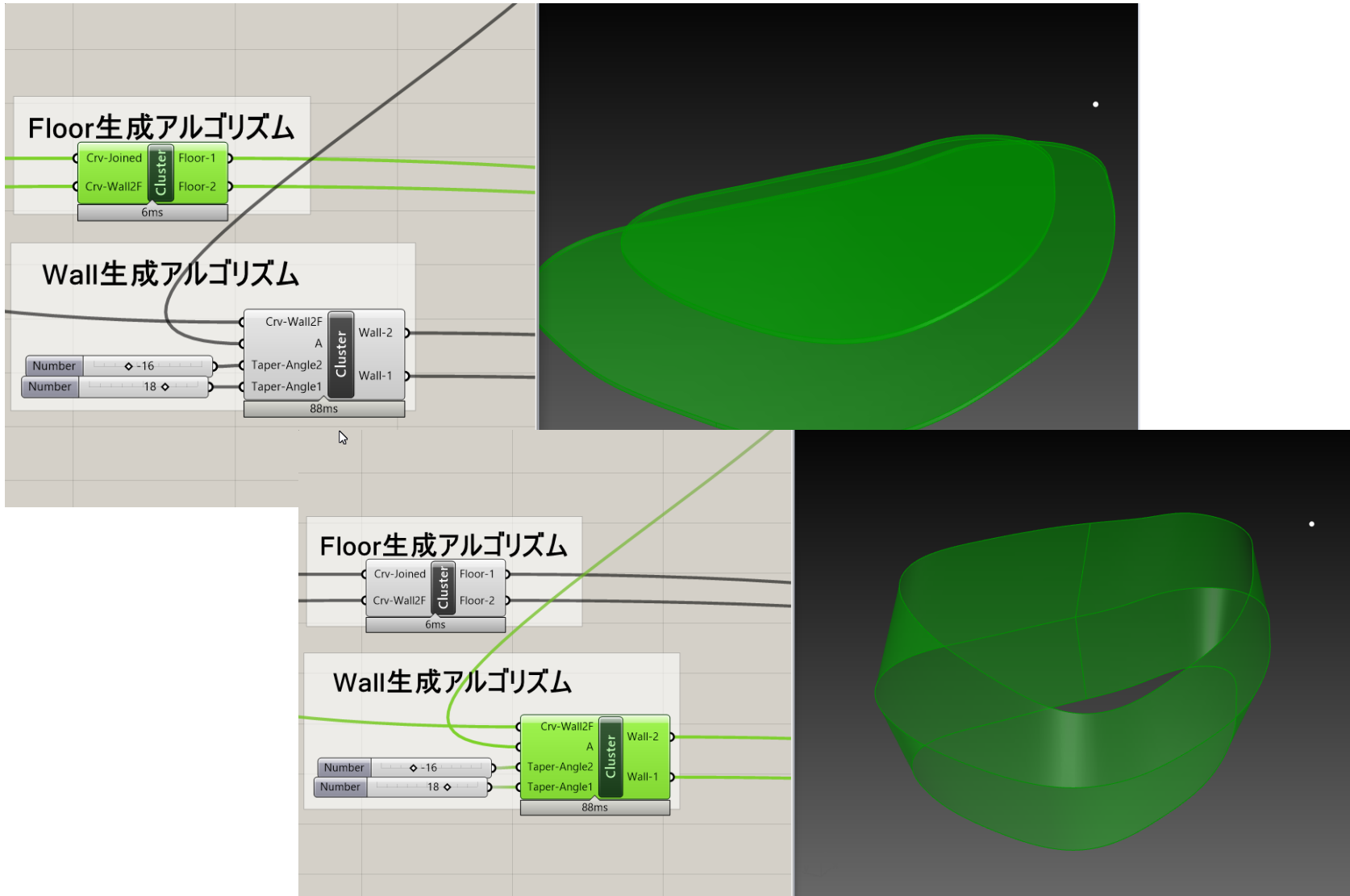
後工程を意識したコンセプトデザイン



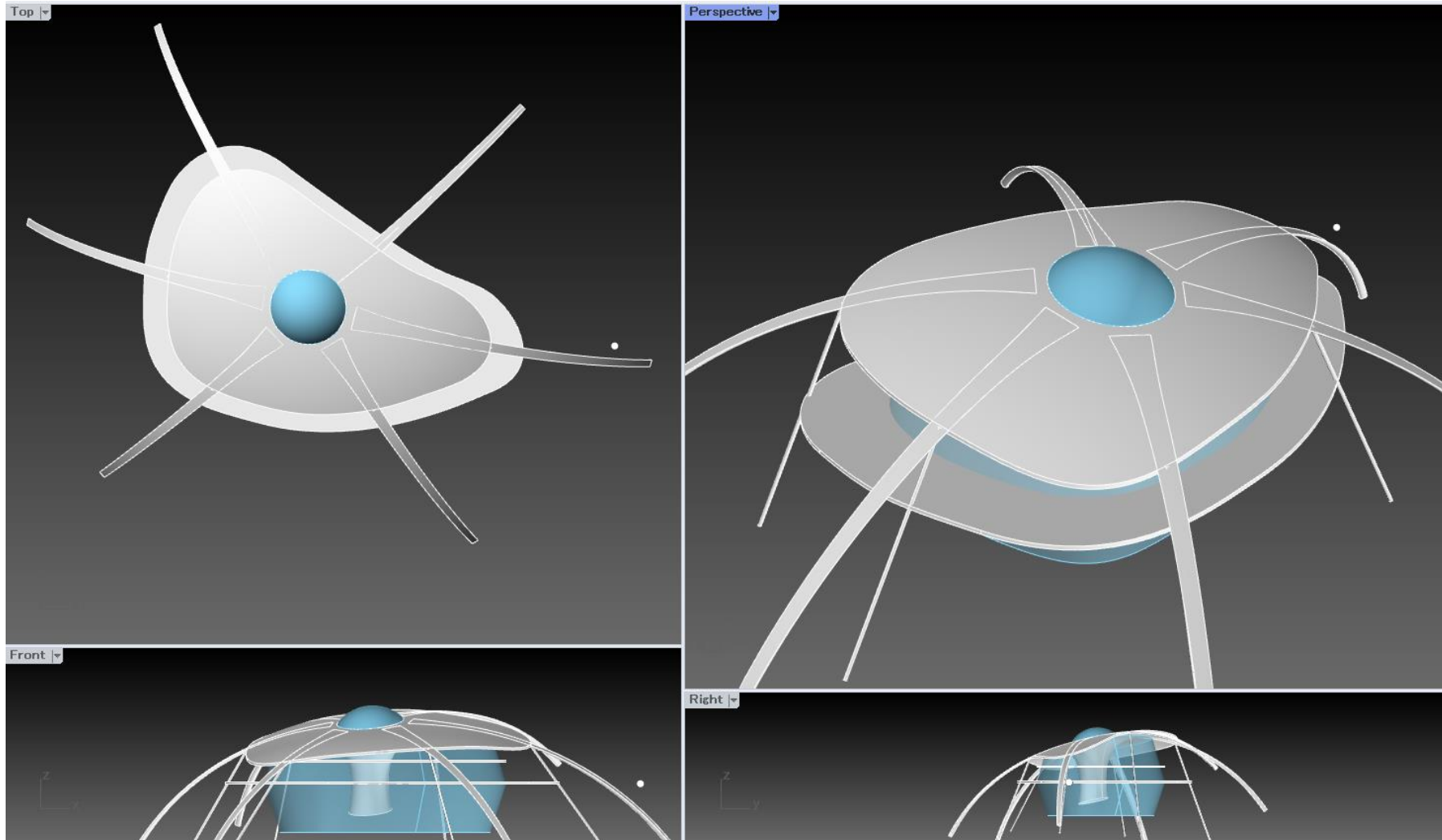
後工程を意識したコンセプトデザイン



後工程を意識したコンセプトデザイン



後工程を意識したコンセプトデザイン



3Dデジタルモデリングを阻むハードル

1. ジオメトリー表現の知識の欠如
特にNURBSの知識、出来れば熟知しておいた方が良い
2. コンピュータショナルモデリングに必要な知識の欠如
アルゴリズムを構築できる論理性、データ構造の知識
建築情報学会のメンバーは恐らく習得済み
3. “0”から立体を創生するスキルの欠如
自由曲線・曲面の造形スキル
プロダクト系も含め多くの分野で望まれる

イントロダクション・終了

3Dデジタルモデリングの基礎知識

1. Polygon and Geometry

ポリゴンと形状表現（ジオメトリー）

2. Geometry expression type

形状表現の種類

3. 3D digital model with NURBS

NURBSによるデジタルモデル

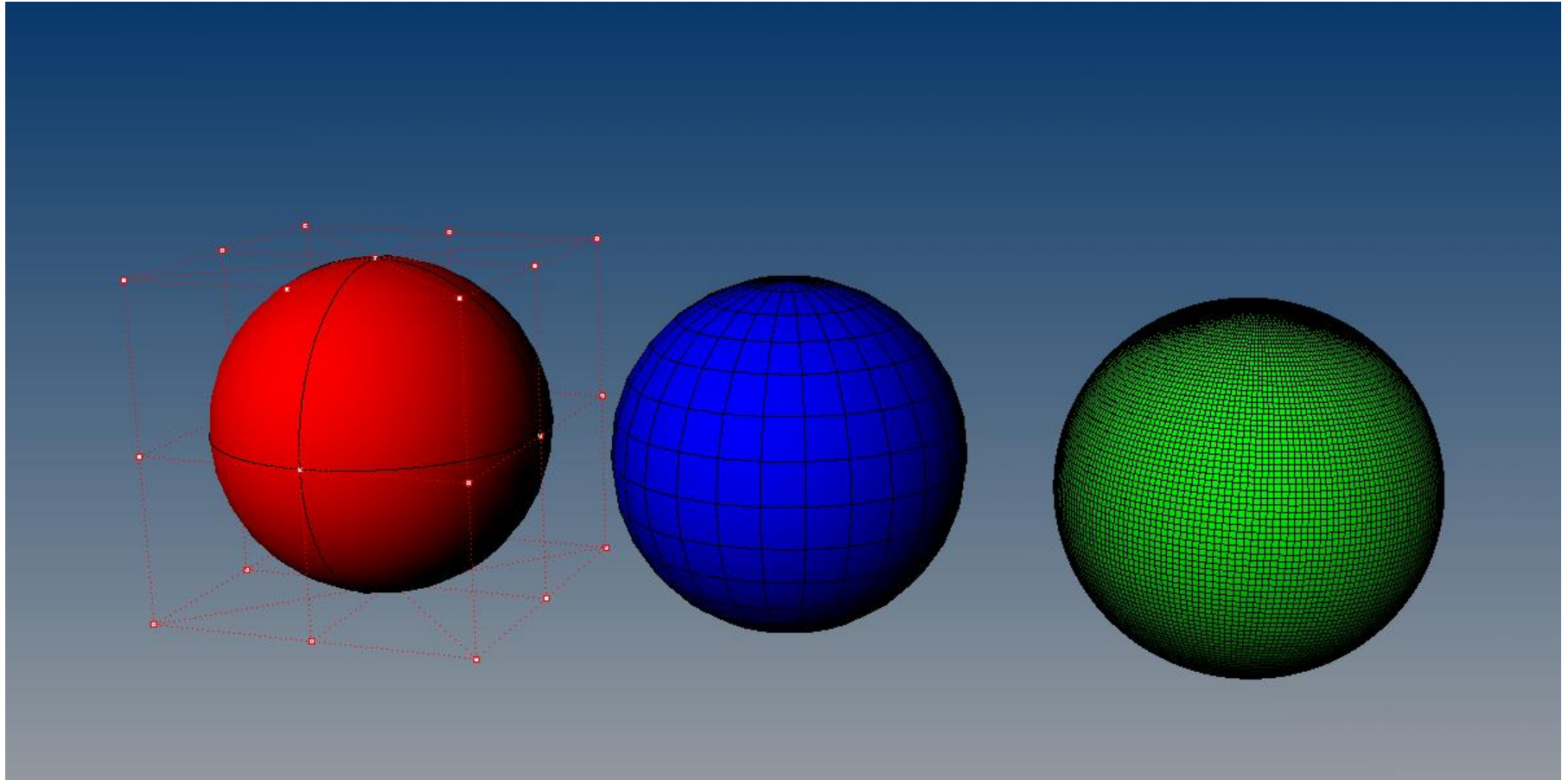
4. Surface model and Solid model

サーフェスモデルとソリッドモデル

5. Data format

データフォーマット

1. ポリゴンと ジオメトリー (NURBS) 表現

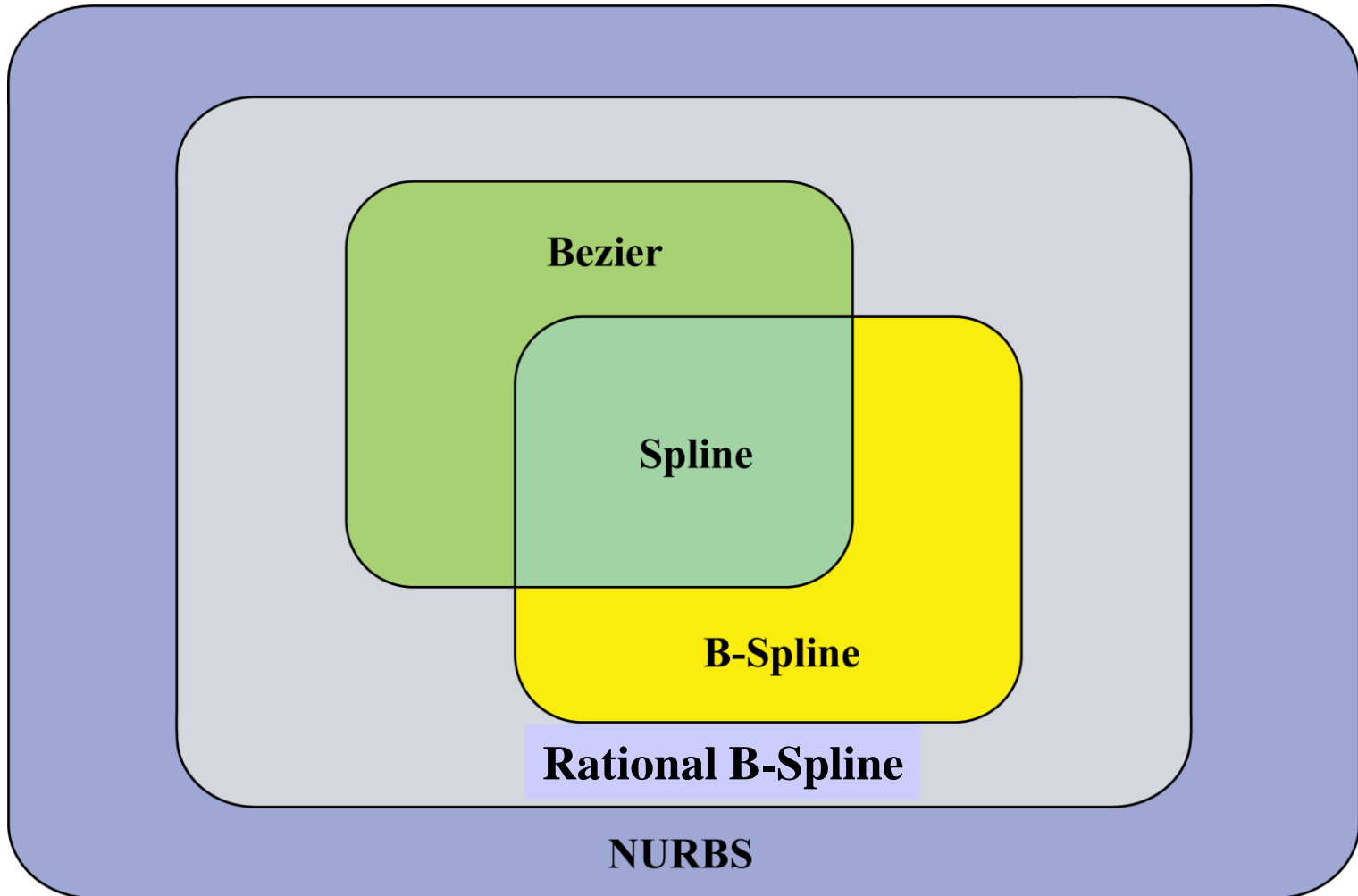


NURBS による球
27個の制御点で形状を定義

Polygonsによる球
676 の多角形で表現

Polygonsによる球
38024 の多角形で表現

2. ジオメトリー表現の分類

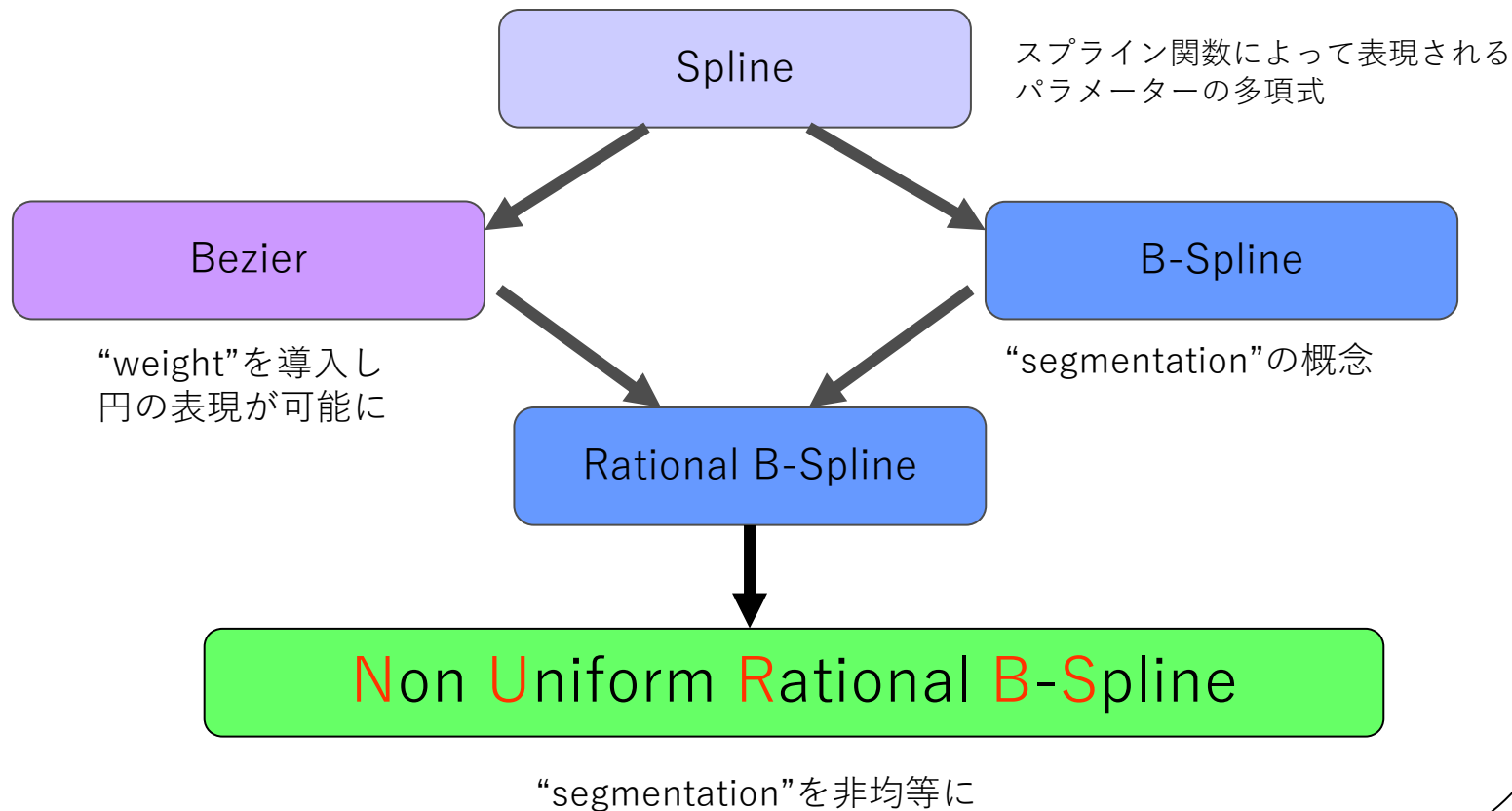


2. ジオメトリ表現の分類

パラメトリック表現

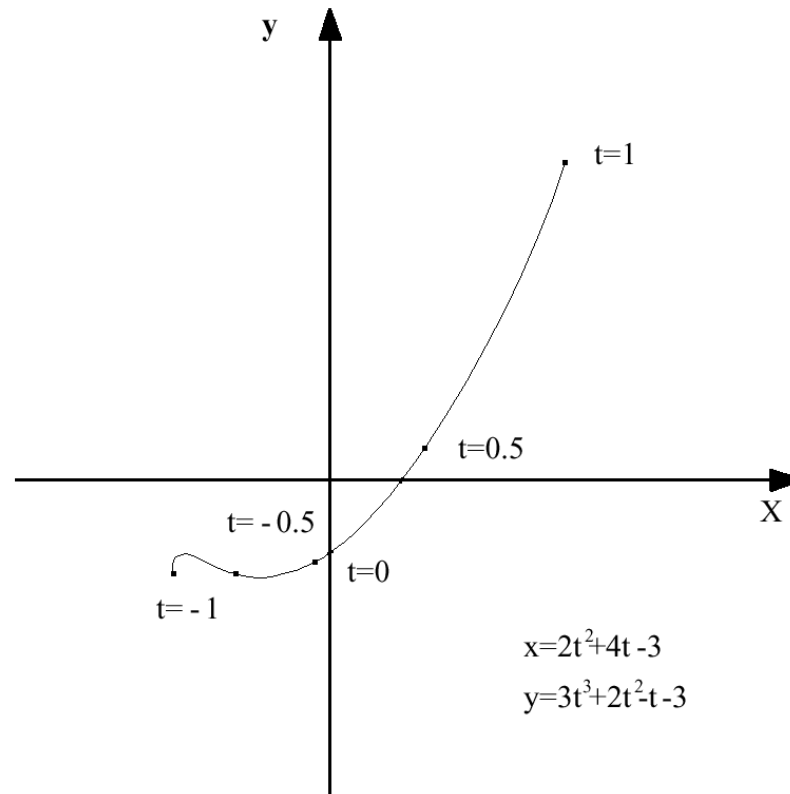
3次元自由曲線 1つのパラメーター “t”によって表現される

3次元自由曲面 2つのパラメーター “u, v”によって表現される



2. 2次元の数学表現

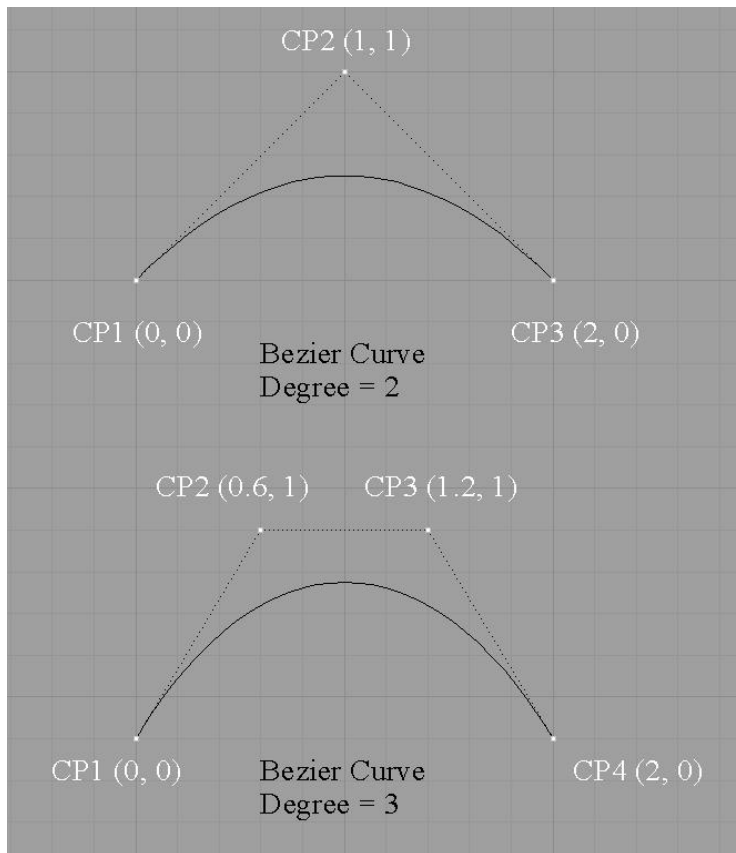
2. 1)パラメトリック”t”によるカーブ



NURBS (Rhinoのジオメトリ) カーブは、一つの変数、“t”の多項式で表現される。2次元のカーブ (x, y 空間)、3次元のカーブ (x, y, z) も同様で、このようなカーブを変数“t”をパラメーターとするパラメトリックカーブと呼ぶ。

2. 2次元の数学表現

2-2) 2次元のベジエカーブの方程式



Equation; Bezier Curve 2 degree

$$P(t) = [t^2 \ t \ 1] \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} CP1(x,y) \\ CP2(x,y) \\ CP3(x,y) \end{bmatrix} \quad (\text{eq. 1})$$

$$\left. \begin{aligned} x(t) &= 2t \\ y(t) &= 2t(1-t) \end{aligned} \right\} \quad (\text{eq. 2})$$

Case; CP1 = (0, 0), CP2 = (1, 1), CP3 = (2, 0)

Equation; Bezier Curve 3 degree

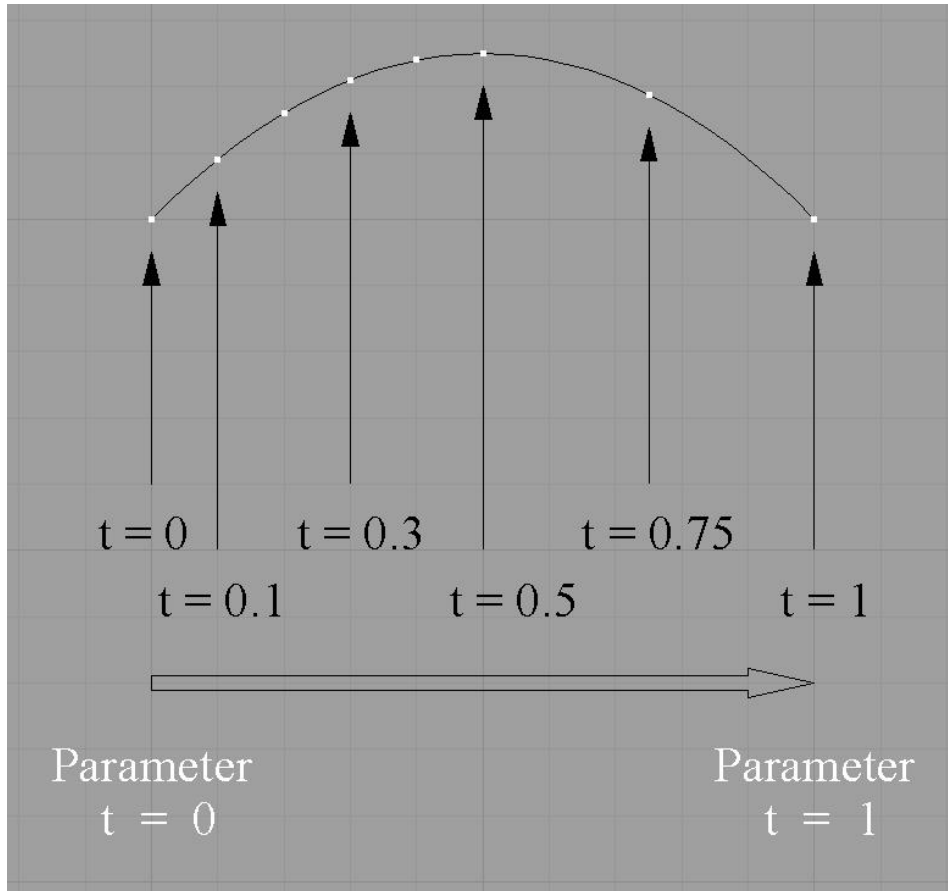
$$P(t) = [t^3 \ t^2 \ t \ 1] \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} CP1(x,y) \\ CP2(x,y) \\ CP3(x,y) \\ CP4(x,y) \end{bmatrix} \quad (\text{eq. 3})$$

カーブは“制御点の座標”と次数“t”で表現される。

2. 2次元の数学表現

2-3) パラメーターの正規化 (Parameterize)

パラメーター空間の範囲 (Domain) を“0” to “1”に限定する。



正規化されたパラメーター
“t”

始点位置: $t = 0$

終点位置: $t = 1$

正規化されていないパラメーター
“t”

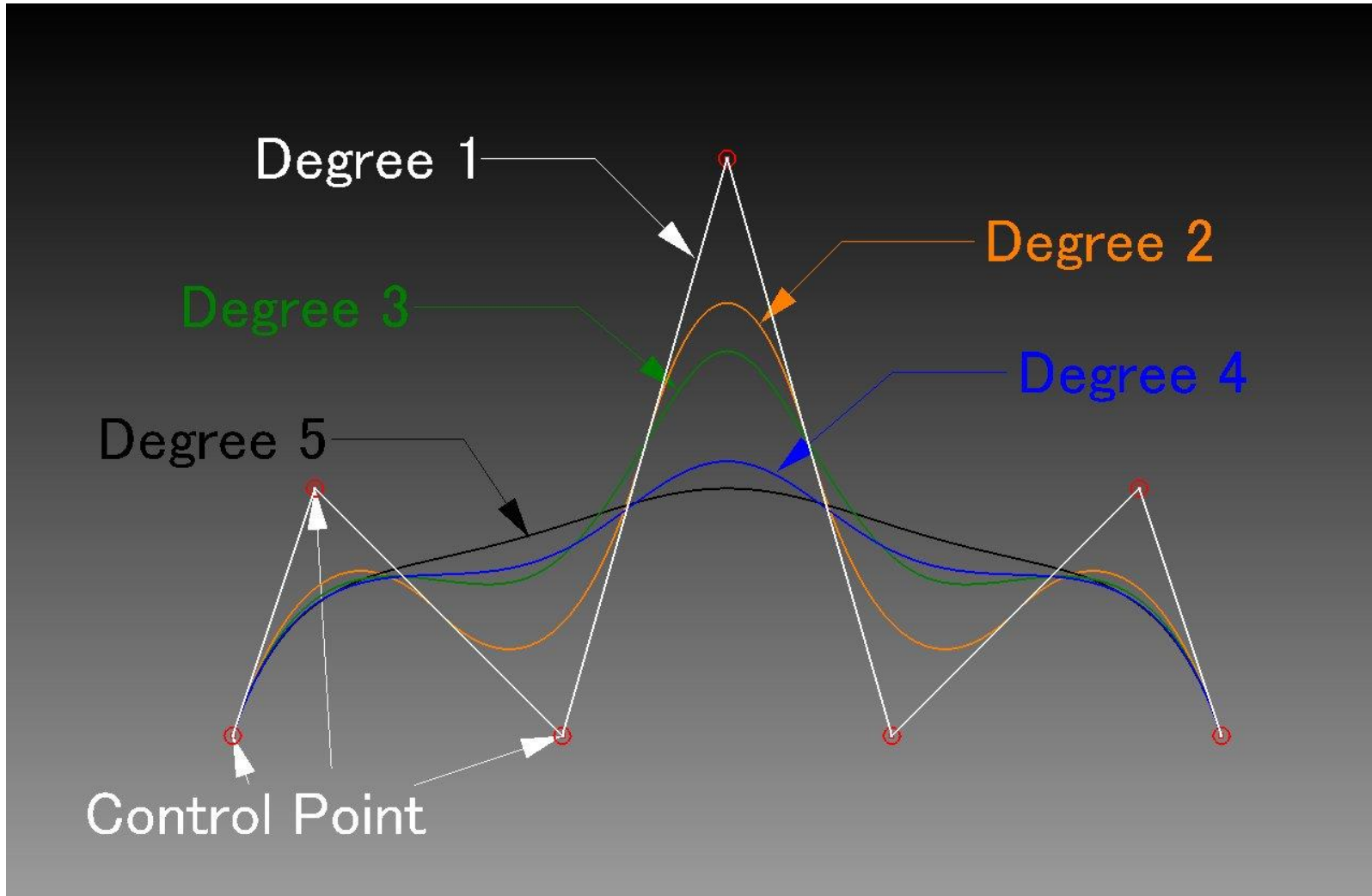
始点位置: $t = 0$ (?)

終点位置: $t = \text{“カーブの長さ”}$

カーブは“t”の始点から終点へ移動する軌跡。

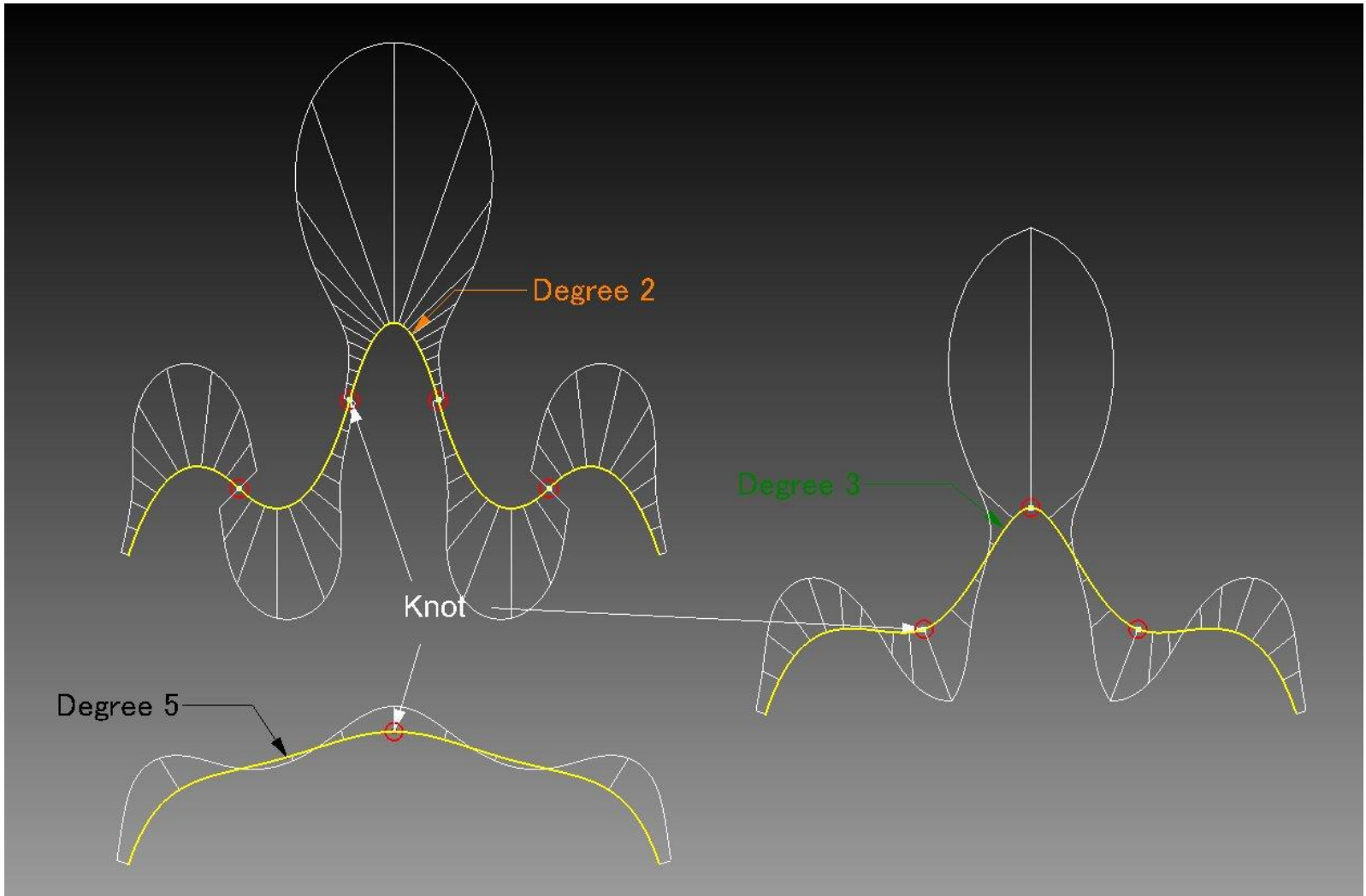
3. RhinoによるNURBS表現

3-1) 次数と制御点



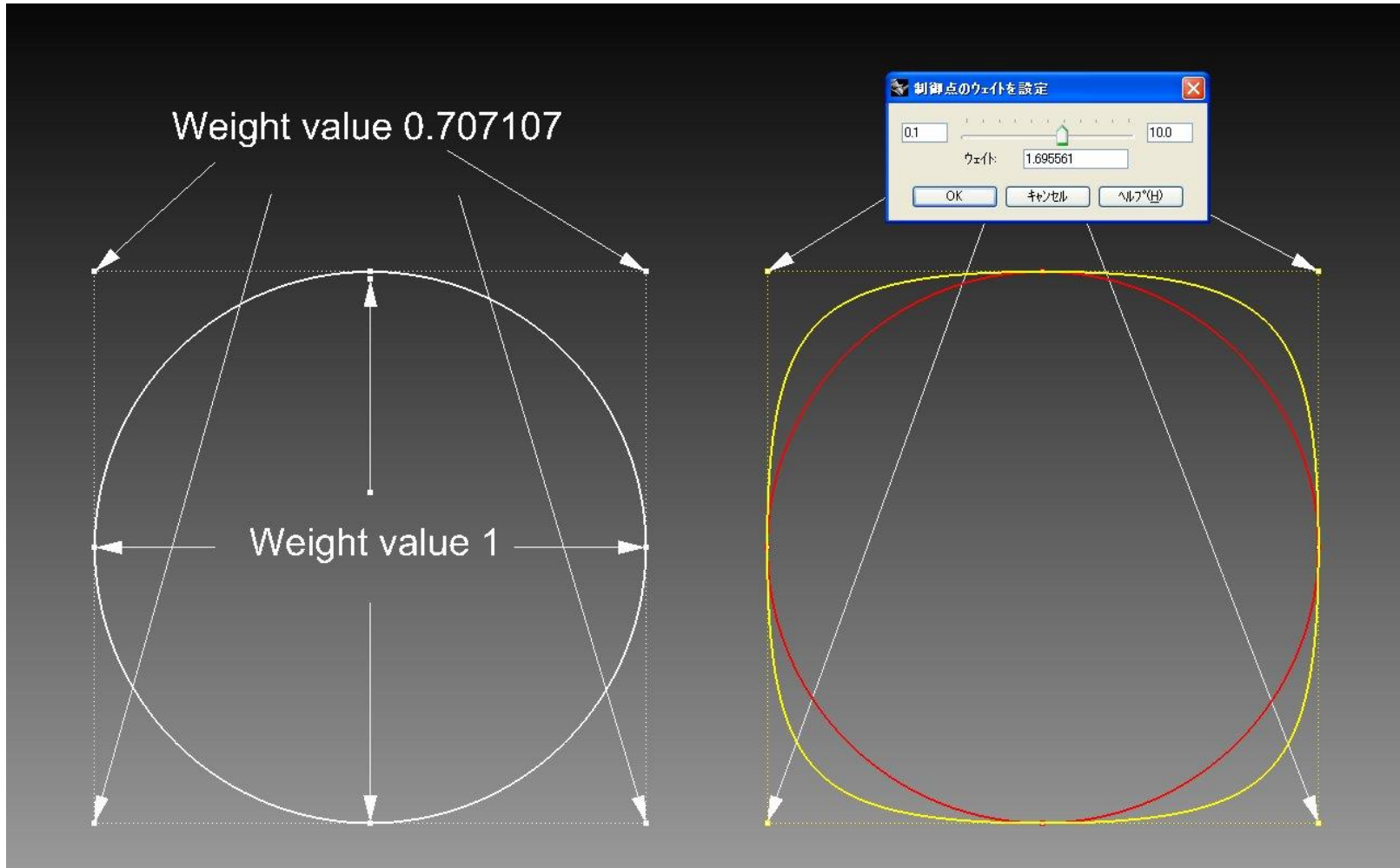
3. RhinoによるNURBS表現

3-2) ノットと曲率表示



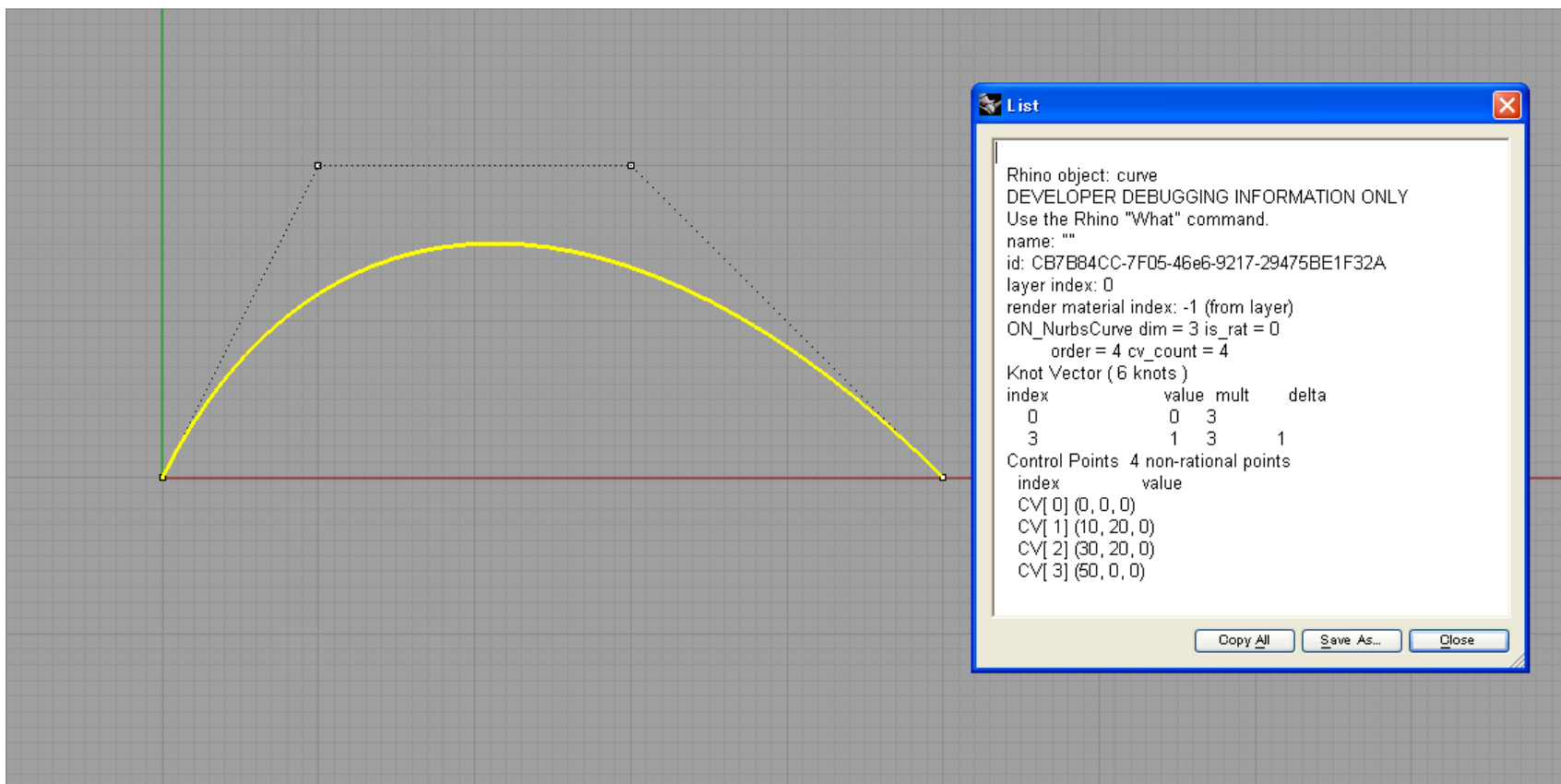
3. RhinoによるNURBS表現

3-3) Weight (重み) による形状



3. RhinoによるNURBS表現

3-4) NURBS カーブの構造



3 degree, 4 points NURBS Curve

Knot Vector

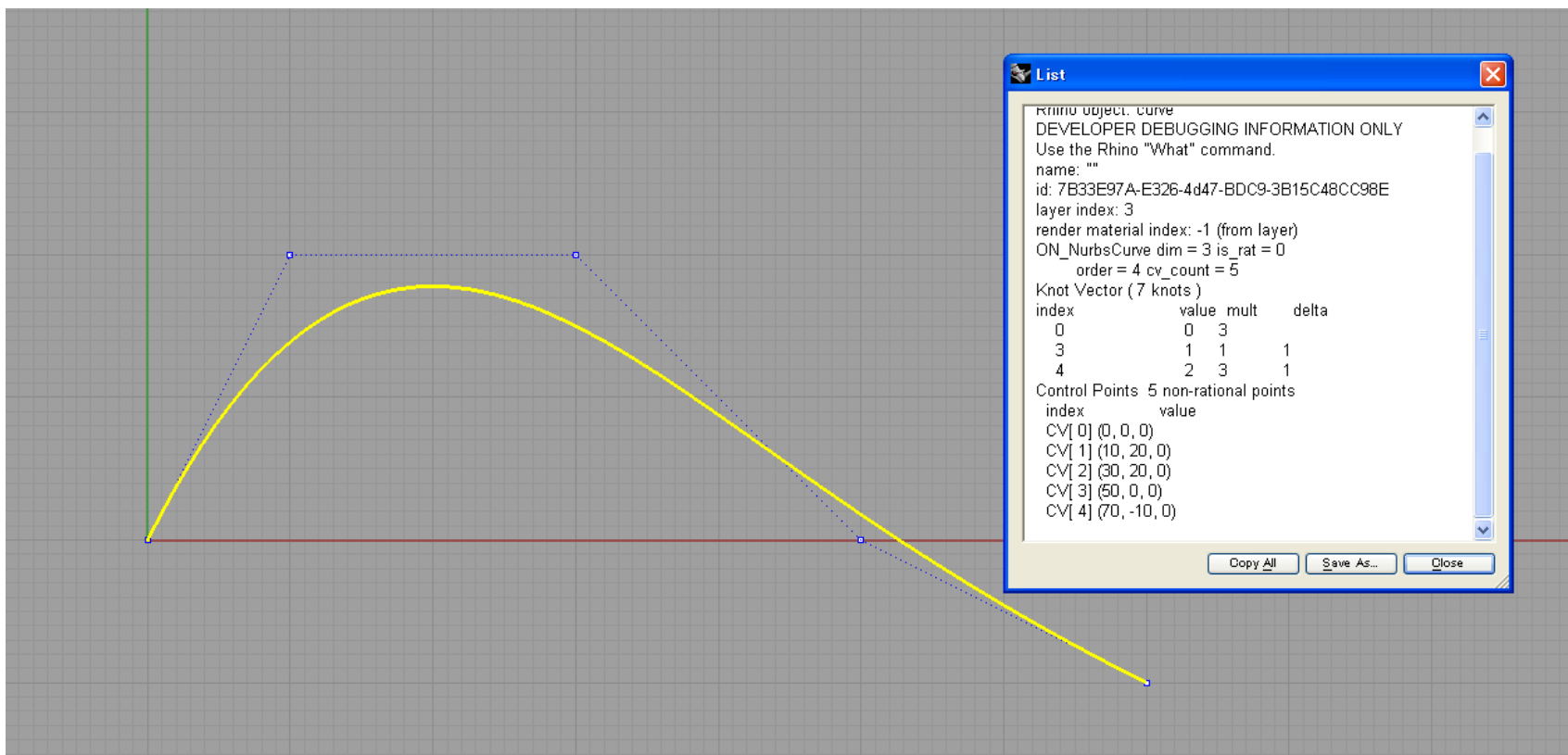
3 degree, Bezier Curve

[0, 0, 0, 1, 1, 1]

Multiple Knot at the end point

3. RhinoによるNURBS表現

3-4) NURBS カーブの構造



3 degree, 4 points NURBS Curve

Knot Vector

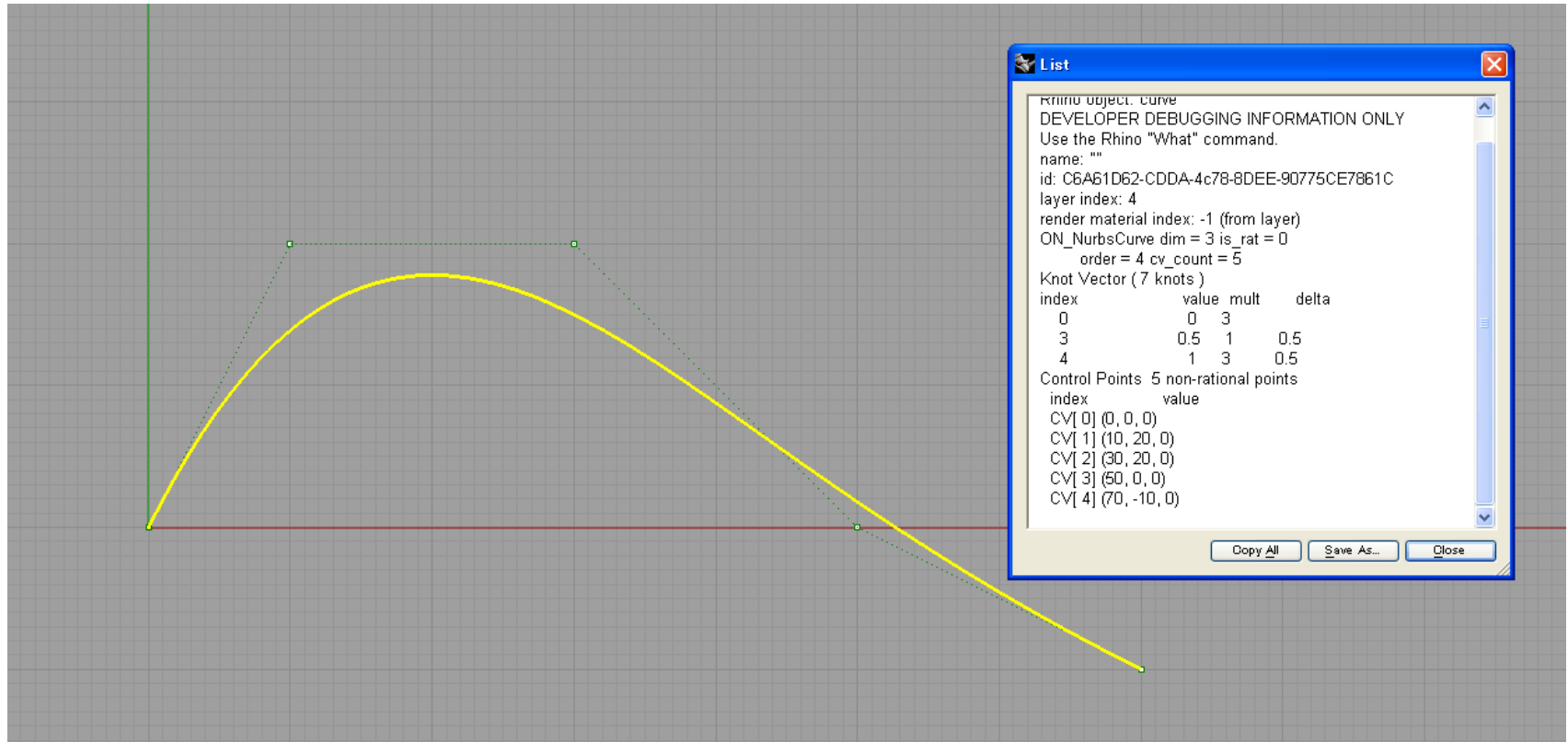
3 degree, B-Spline Curve

[0, 0, 0, 1, 2, 2, 2]

Single Knot at the mid point

3. RhinoによるNURBS表現

3-4) NURBS カーブの構造



3 degree, 5 points NURBS Curve

Knot Vector

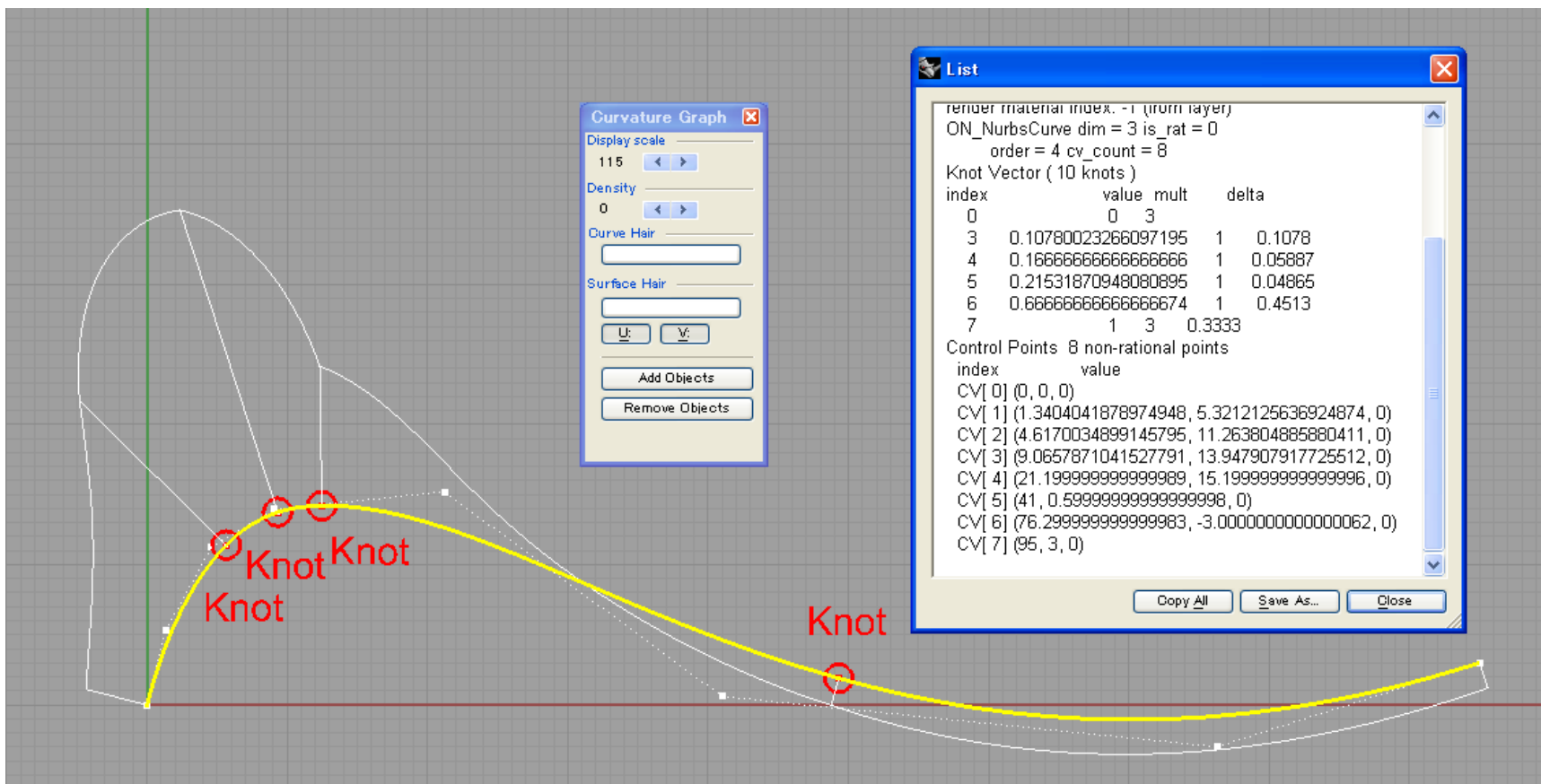
3 degree, B-Spline Curve

[0, 0, 0, 0.5, 1, 1, 1]

Knot domain normalized(reparameterized)

3. RhinoによるNURBS表現

3-4) NURBS カーブの構造



3 degree, 8 points NURBS Curve

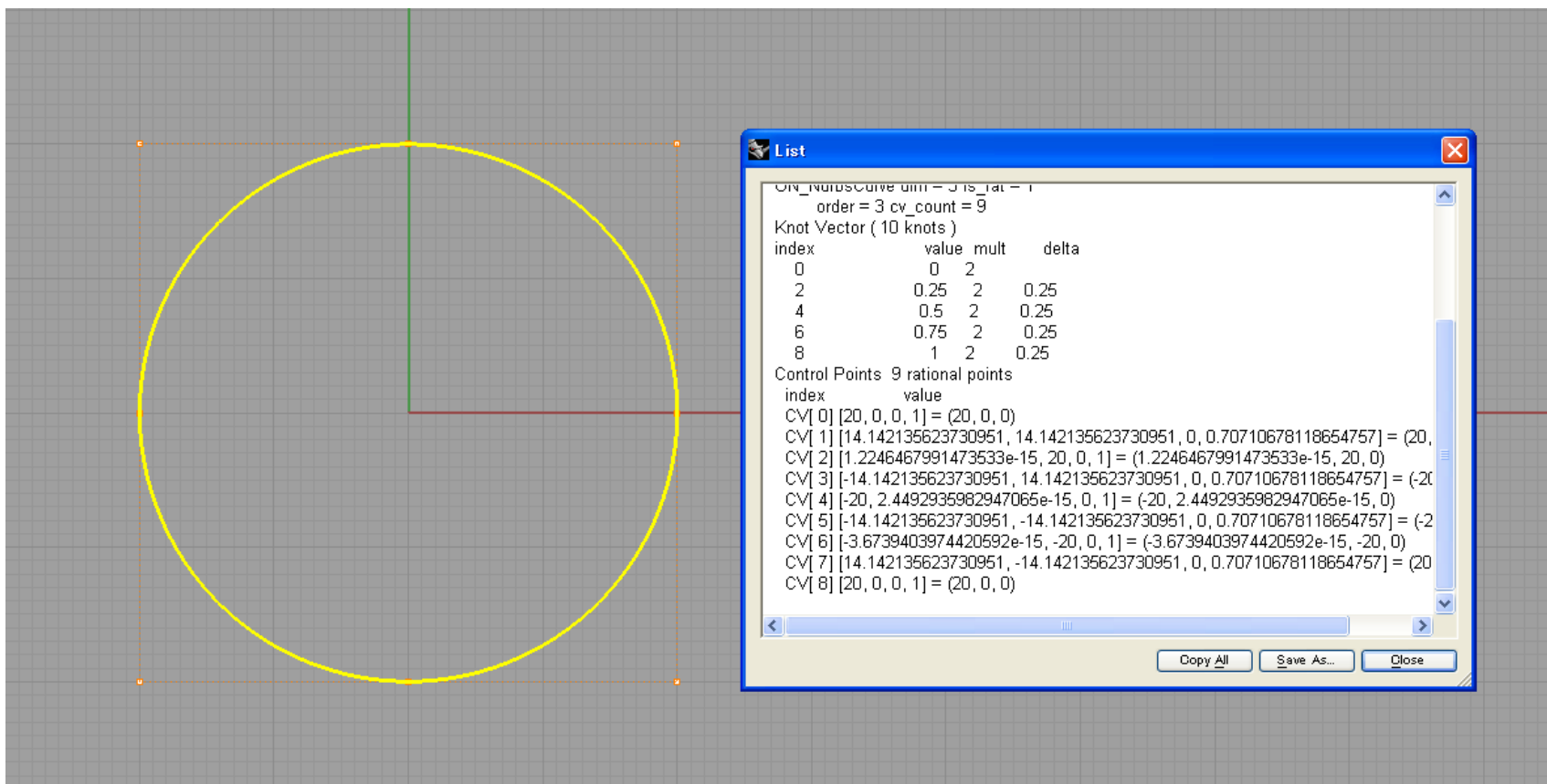
Knot Vector

3 degree, Non uniform B-Spline Curve

[0, 0, 0, 0.108, 0.167, 0.215, 0.667, 1, 1, 1]
Knot interval non uniform

3. RhinoによるNURBS表現

3-4) NURBS カーブの構造



2 degree, 9 points NURBS Curve

Knot Vector

2 degree, Rational B-Spline Curve

[0, 0, 0.25, 0.25, 0.5, 0.5, 0.75, 0.75, 1, 1]
Knot interval even and multiple

3. RhinoによるNURBS表現

3-5) 次数と連続性

次数 1; ライン、ポリライン

次数2; 円、円弧、楕円、パラボラ
ノット位置において、接線連続を保つ

次数3; 自由曲線
ノット位置において、接線連続を保ち、曲率の値も同じ

次数4; 自由曲線 よりスムーズな自由曲線
ノット位置において、接線連続を保ち、曲率の値、曲率の変化の値（3階微分値）も同じ

次数5; 自由曲線 よりスムーズな自由曲線
ノット位置における隣り合うセグメントの4階微分値も同じ

次数11; RhinoのNURBSの上限値
(Rhino1.0 では64次も可能、必要がないので上限値を設定)

3. RhinoによるNURBS表現

3-6) 制御点、ノット、weight

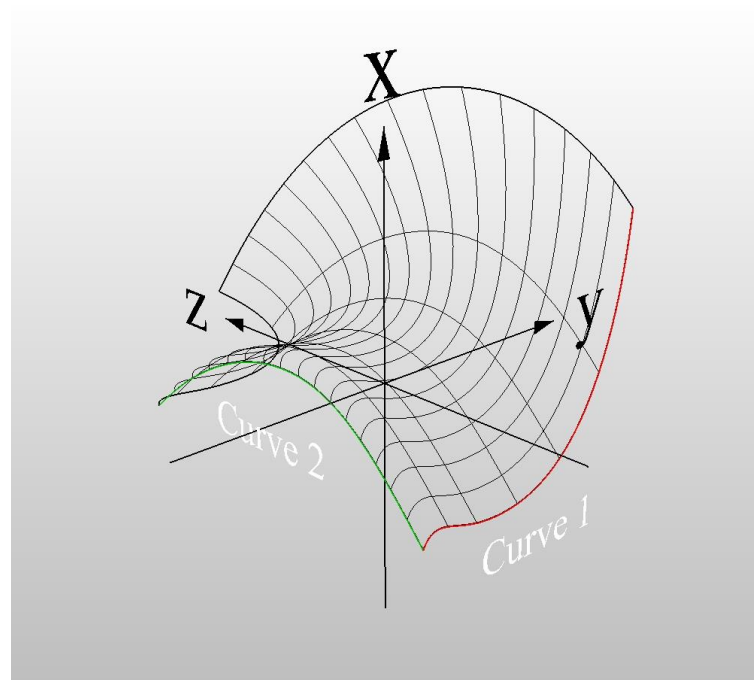
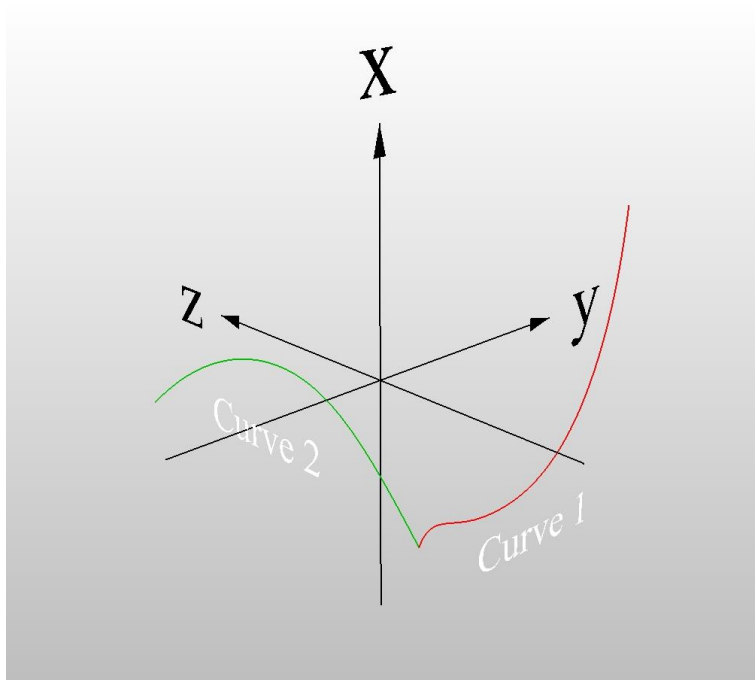
制御点の数; 数の最小値は、次数 + 1

ノット; 始点・終点に存在

制御点の数が次数 + 1 より、増加するとノットが追加され
セグメント化される

Weight; 全ての制御点は“Weight値（重み）”を持つ
初期値は、“1”.

3. RhinoによるNURBS表現 3-7)3次元曲面



NURBSサーフェスカーブは、パラメトリック空間において直交する2つのパラメトリックカーブの軌跡と考えられる。

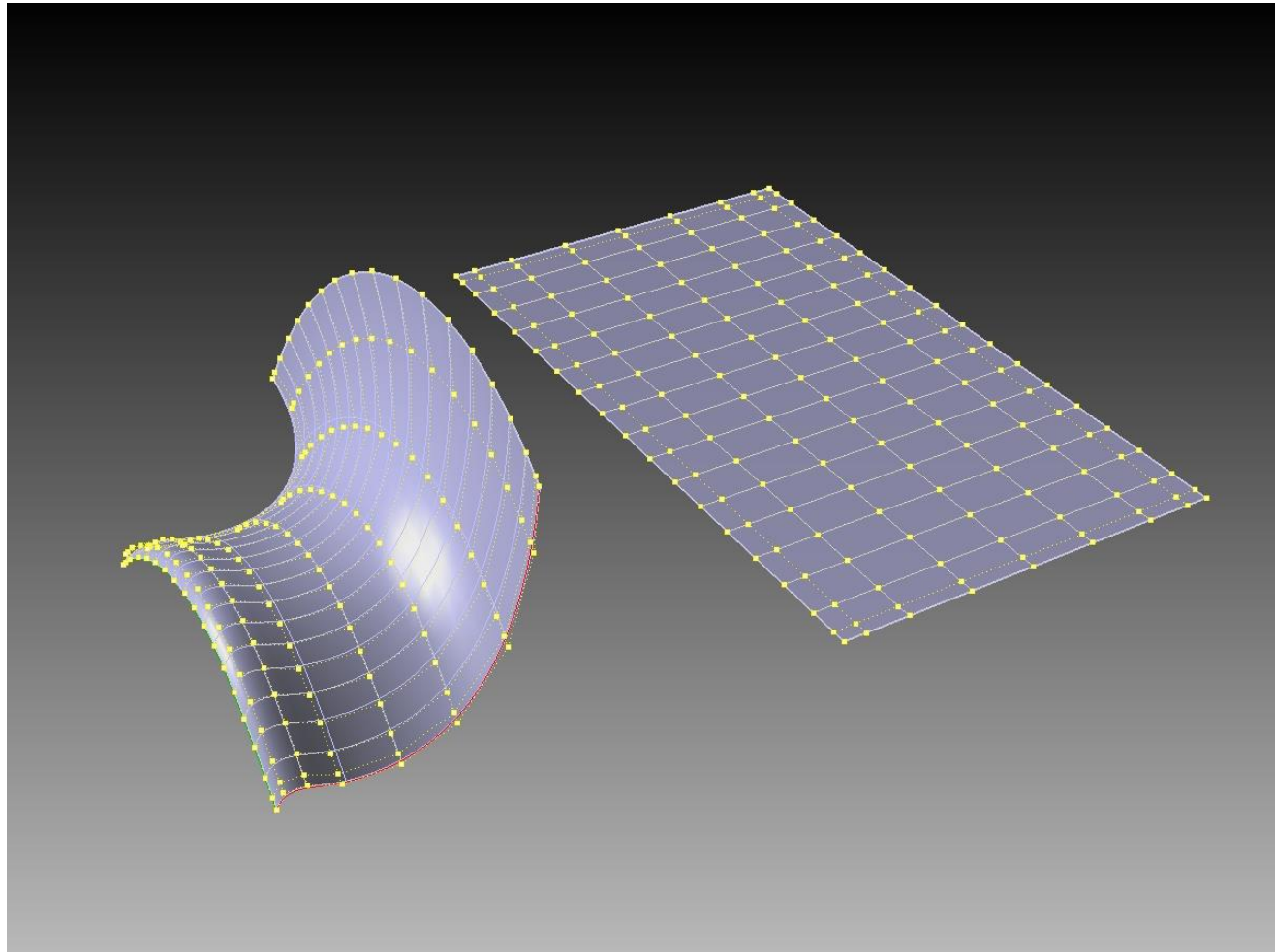
サーフェスを定義する2つのカーブの変数は、“u”パラメーター、“v”パラメーターと呼ばれ、サーフェスが持つ2次元の内部空間を“UV”空間と呼ぶ。

※パラメーターは増加する値である。（正規化した場合、0~1に増加）

パラメーターの最低値：カーブの始点、最大値：カーブの終点

3. RhinoによるNURBS表現

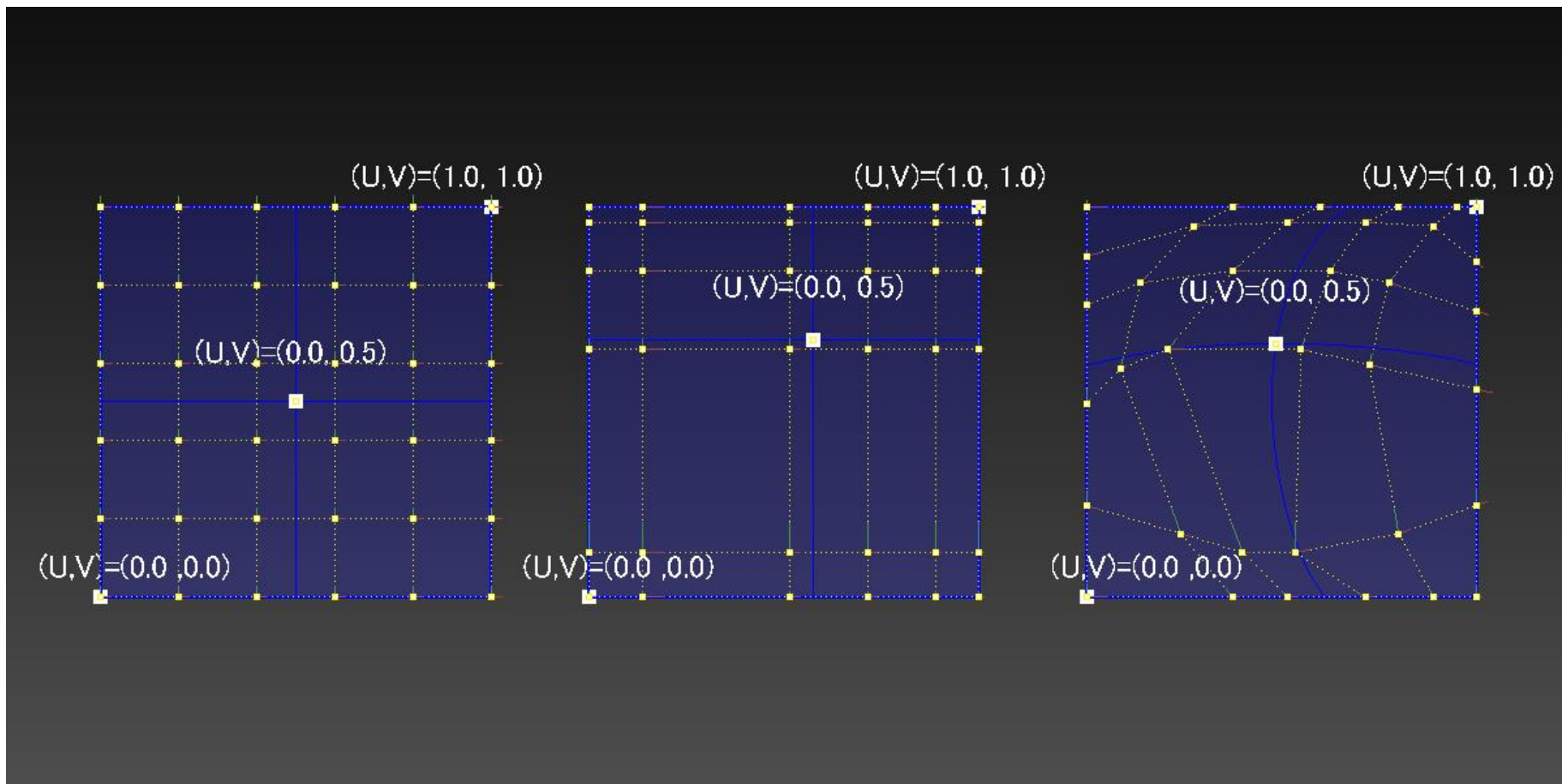
3-7)3次元曲面



上記2つのサーフェスは、形状は異なるが、同じ数の制御点、次数を持つ

3. RhinoによるNURBS表現

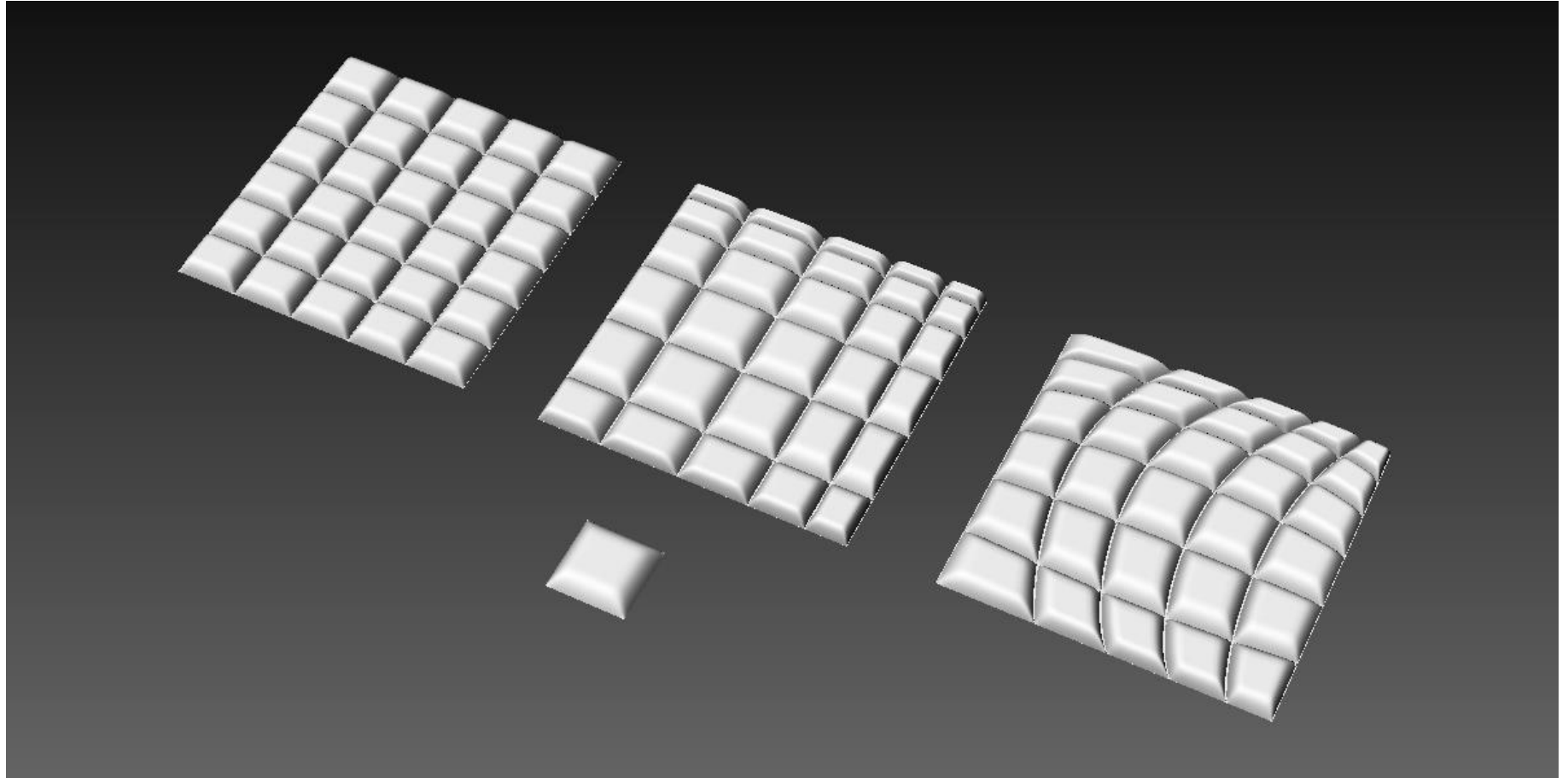
3-7)3次元曲面



上記3つのサーフェスは、同じ数の制御点、次数を持つ。制御点の位置が異なるが、形状は同じ全く同じである。

3. RhinoによるNURBS表現

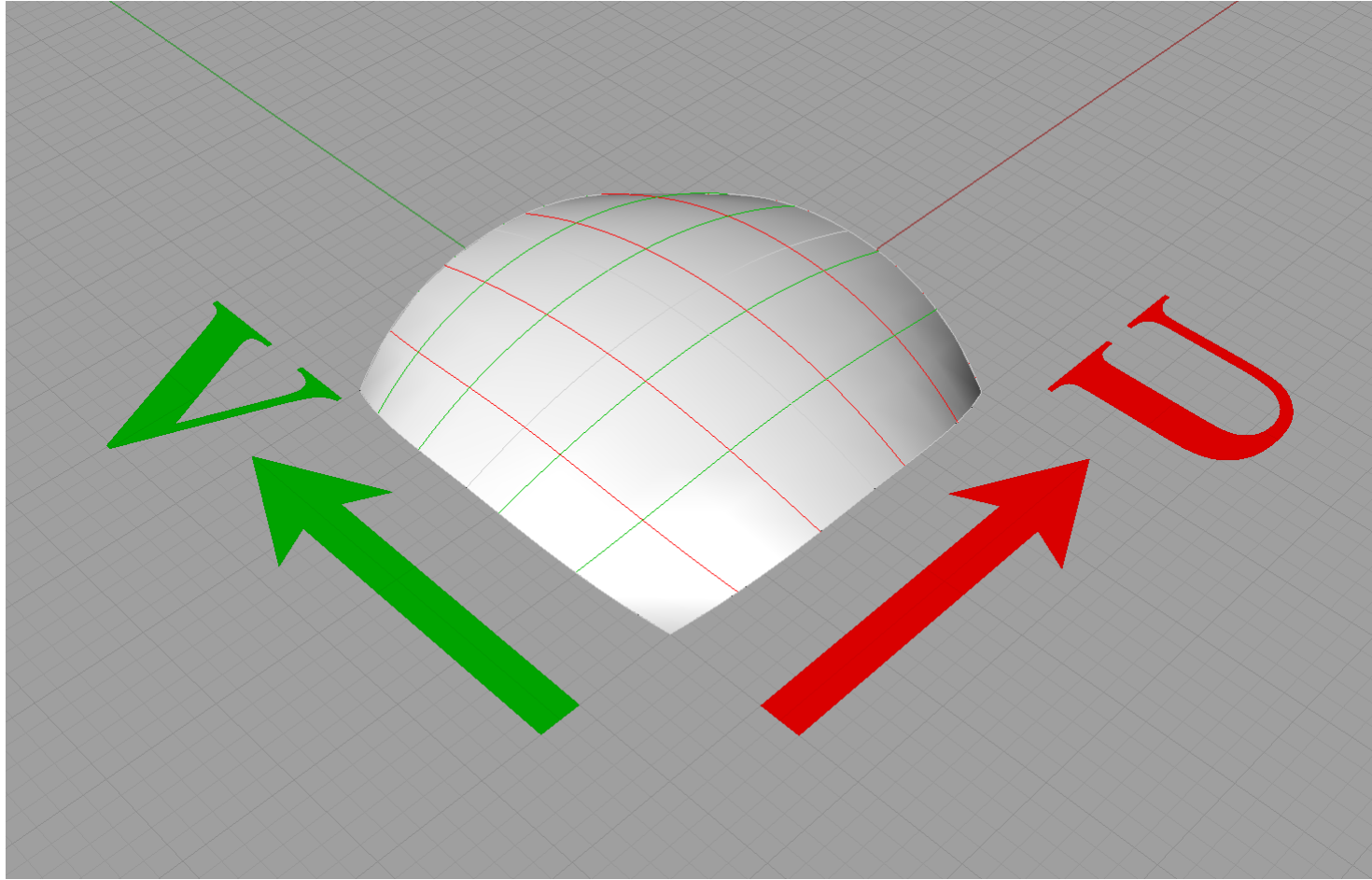
3-7)3次元曲面



オブジェクトをモーフィング配置した結果

3. RhinoによるNURBS表現

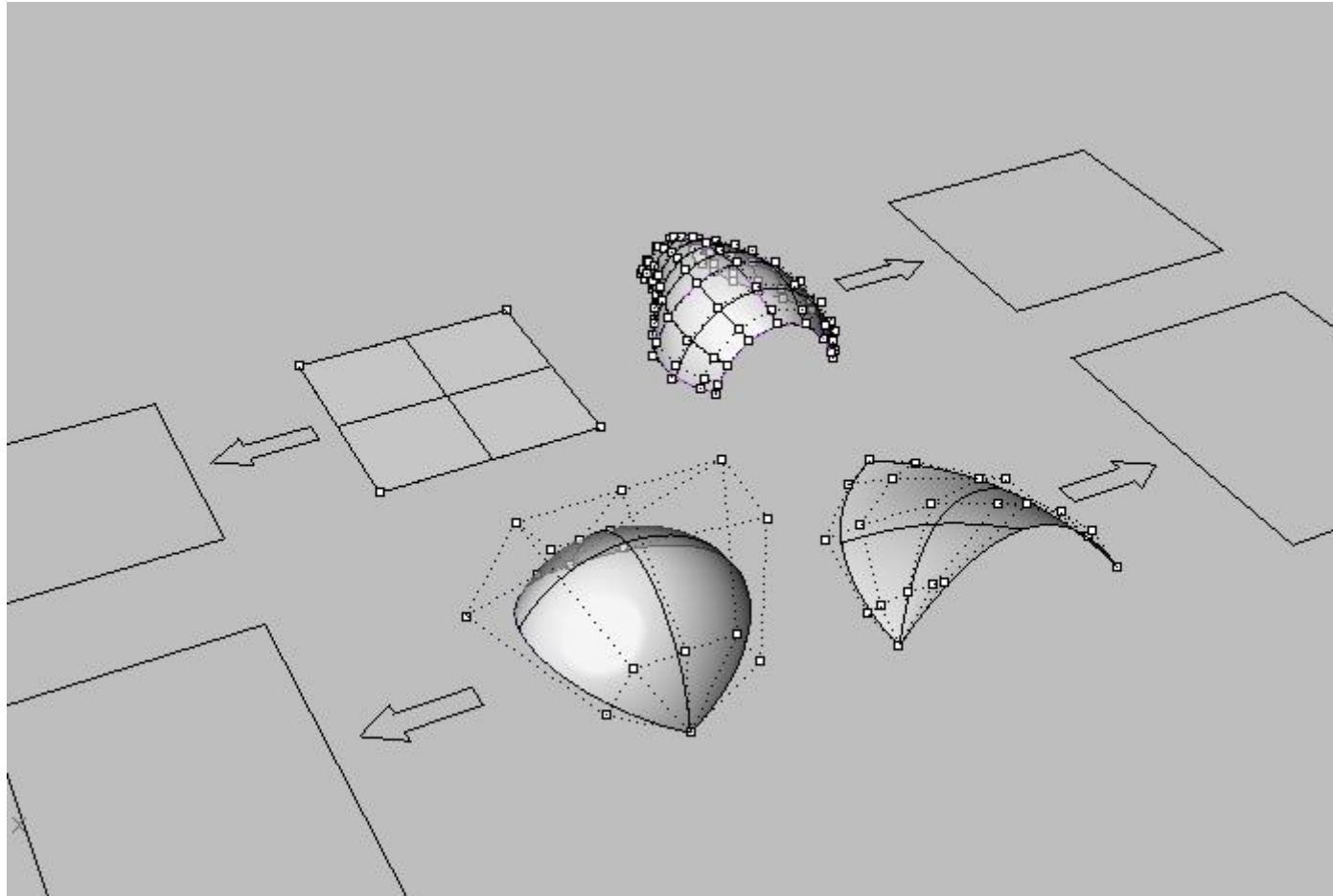
3-8)3次元曲面における“u” and “v”



3D free form Surface is trace of parameter “u” and “v” from the beginning to the end.

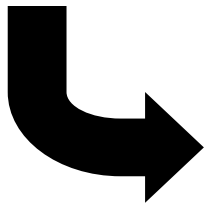
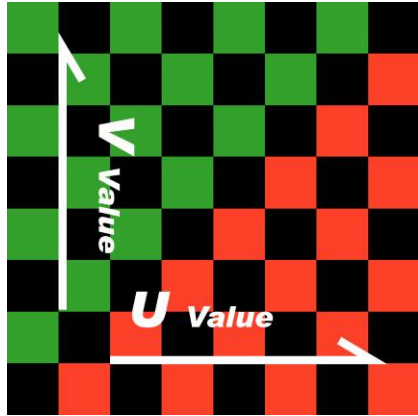
3. RhinoによるNURBS表現

3-8) 3次元曲面を持つ次元のUV パラメーター空間

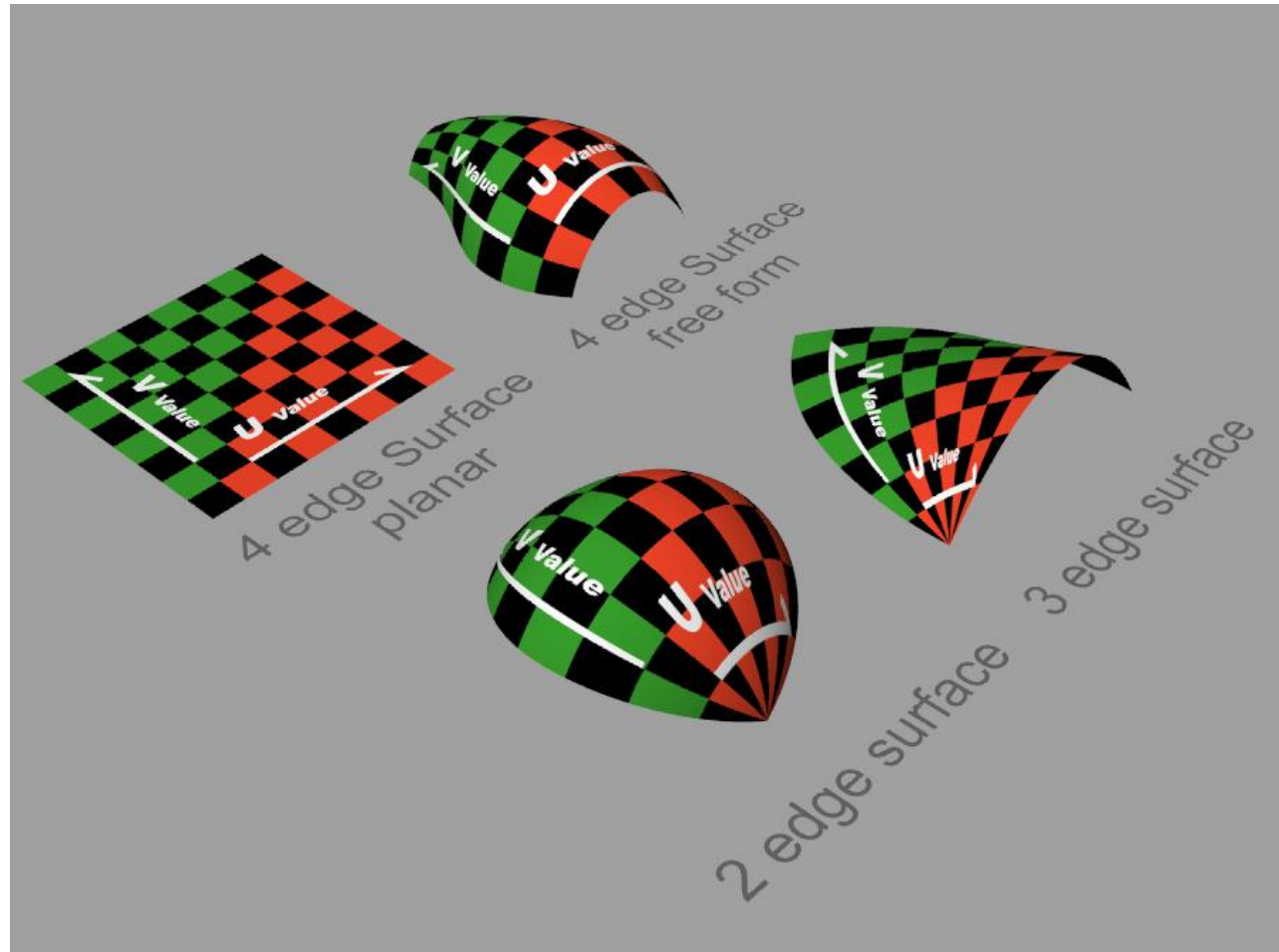


3. RhinoによるNURBS表現

3-8) 3次元曲面が持つ次元のUV パラメーター空間



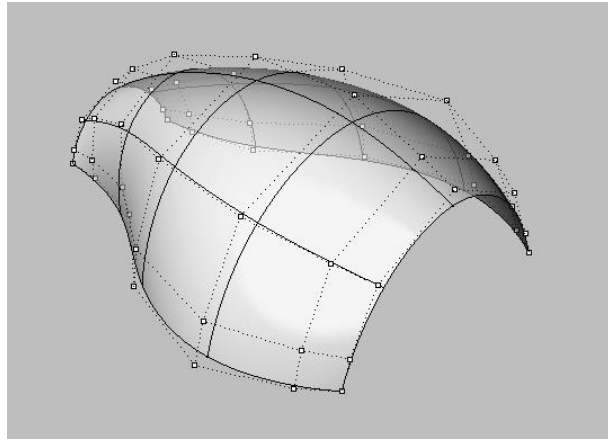
Texture mapping



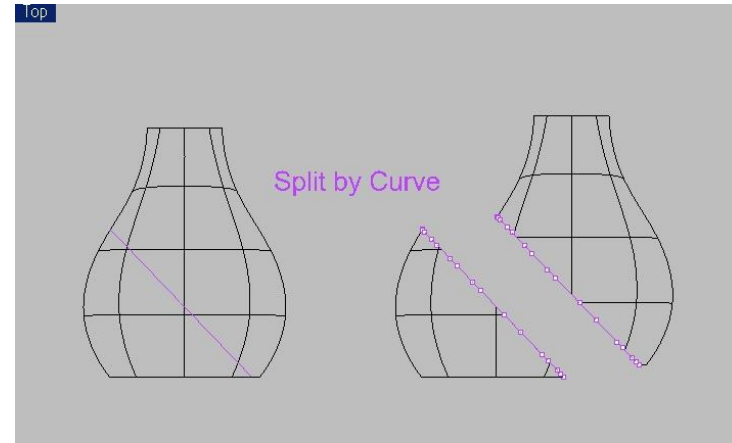
3. RhinoによるNURBS表現

3-9) トリムサーフェス

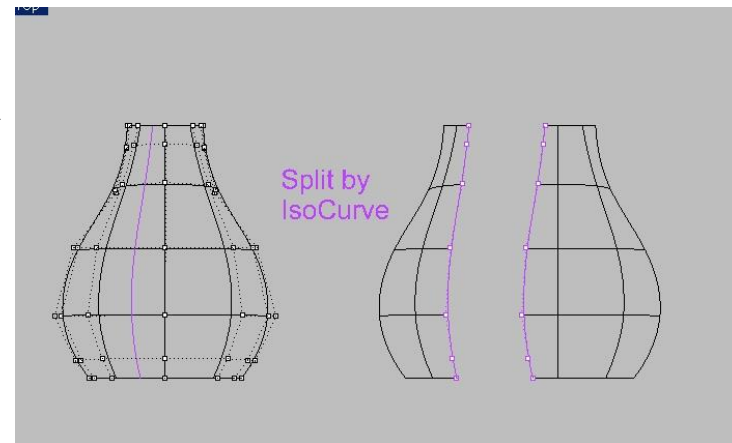
サーフェスの分割



Case 1; 任意のカーブで分割した場合
トリムサーフェスとなる

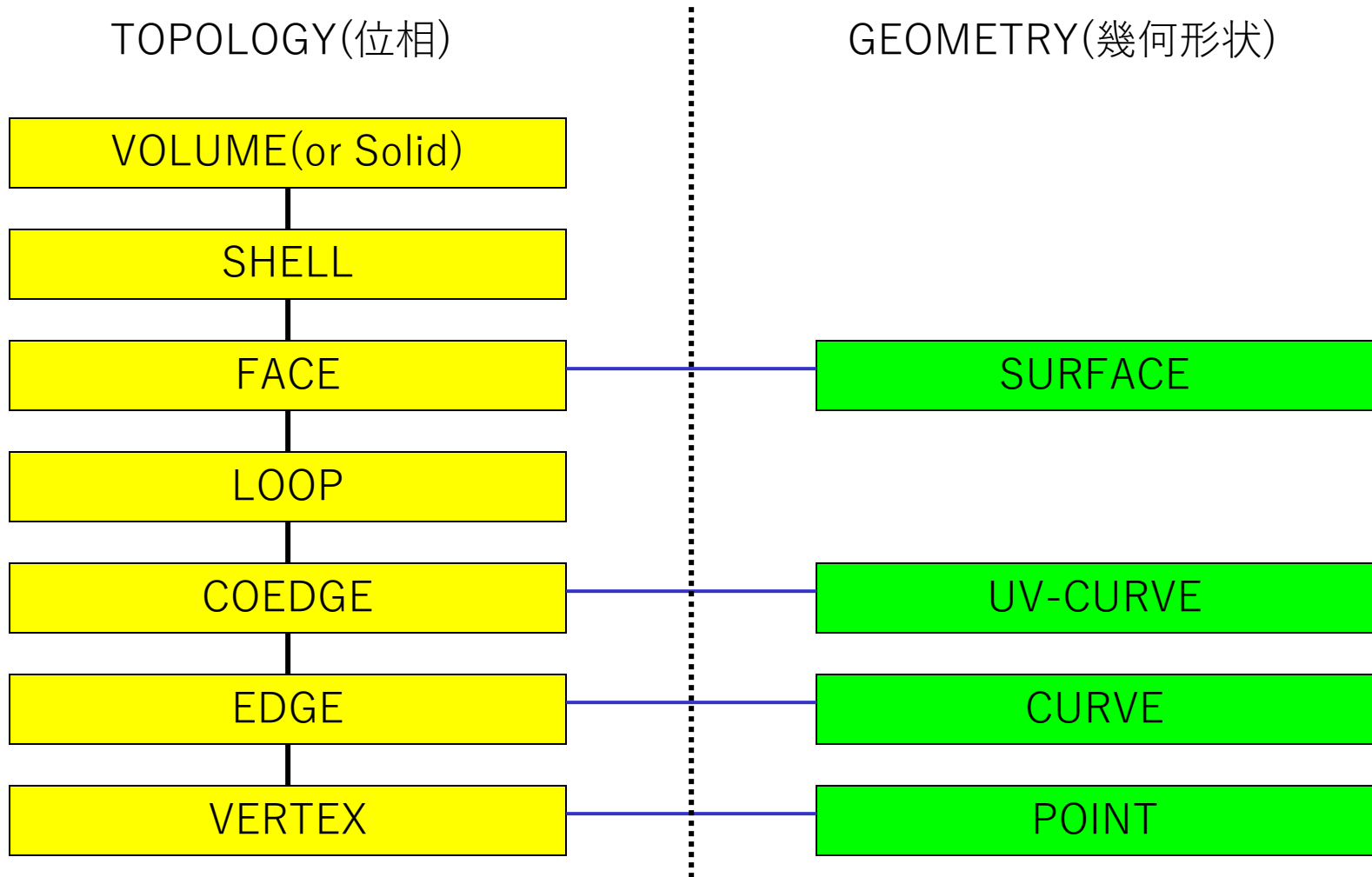


Case 2; ISOカーブで分割した場合
非トリムサーフェスとなる (要ShrinkSrf)



4. サーフェスモデルとソリッドモデル

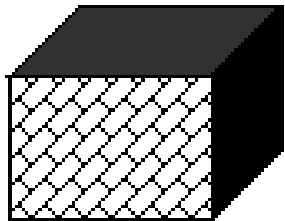
4-1) TOPOLOGY & GEOMETRY (位相と幾何情報)



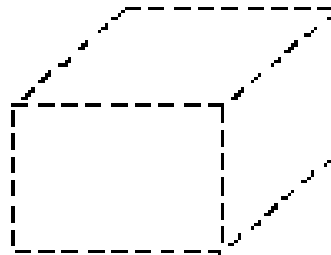
4. サーフェスモデルとソリッドモデル

4-2) ソリッドモデルの構造

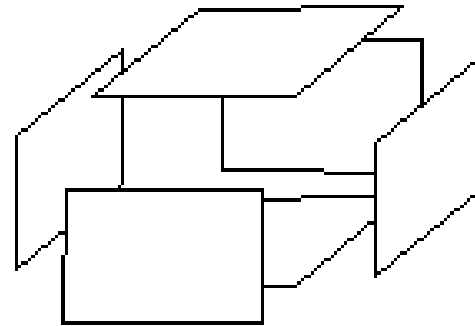
VOLUME



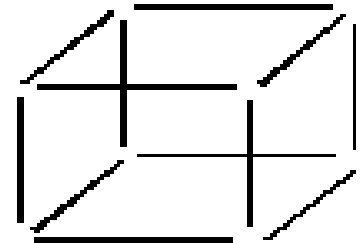
SHELL



FACE



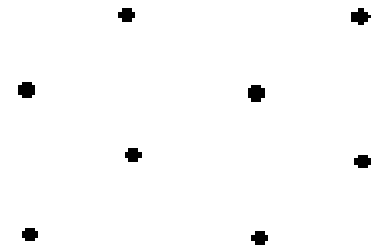
EDGE



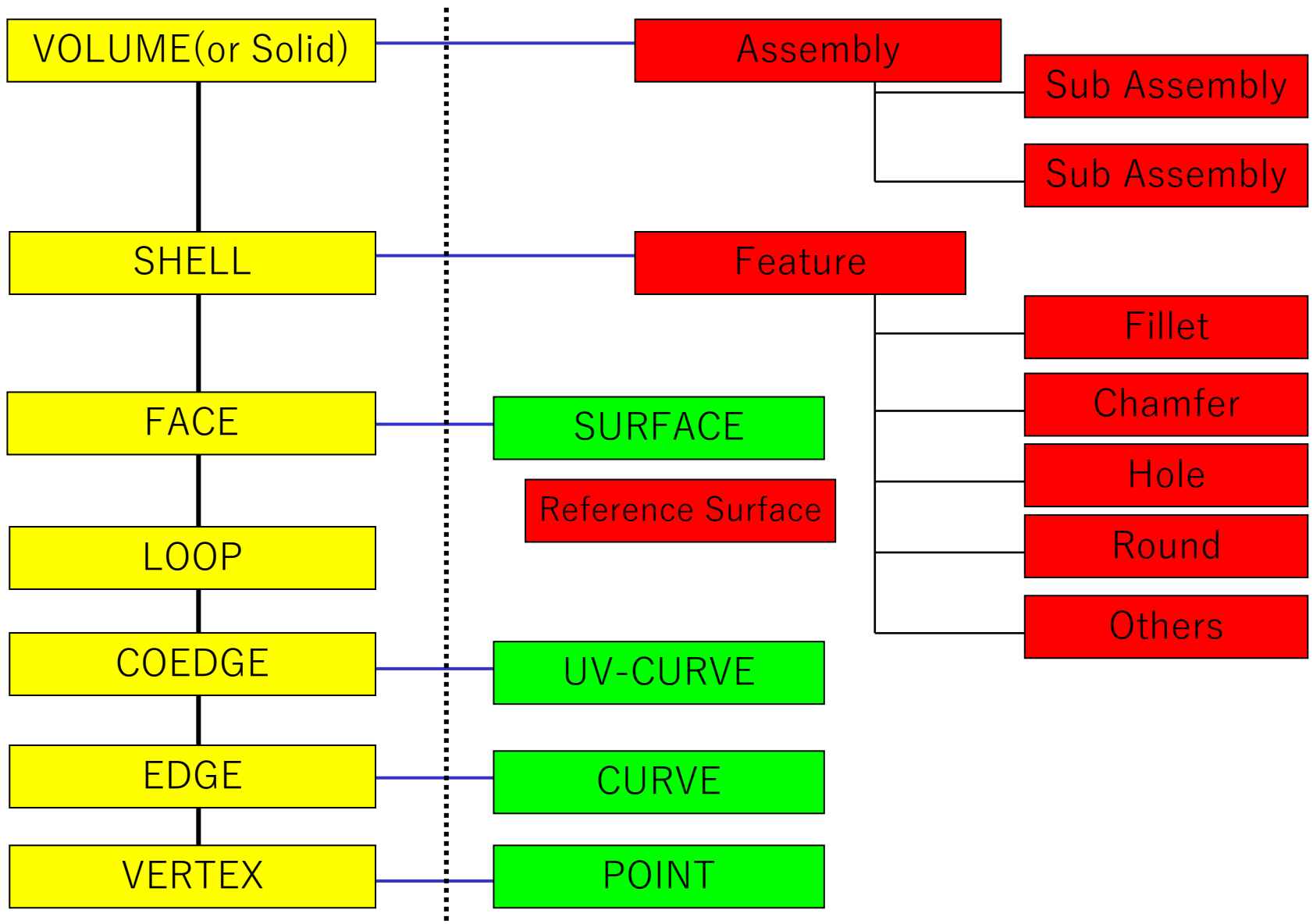
COEDGE



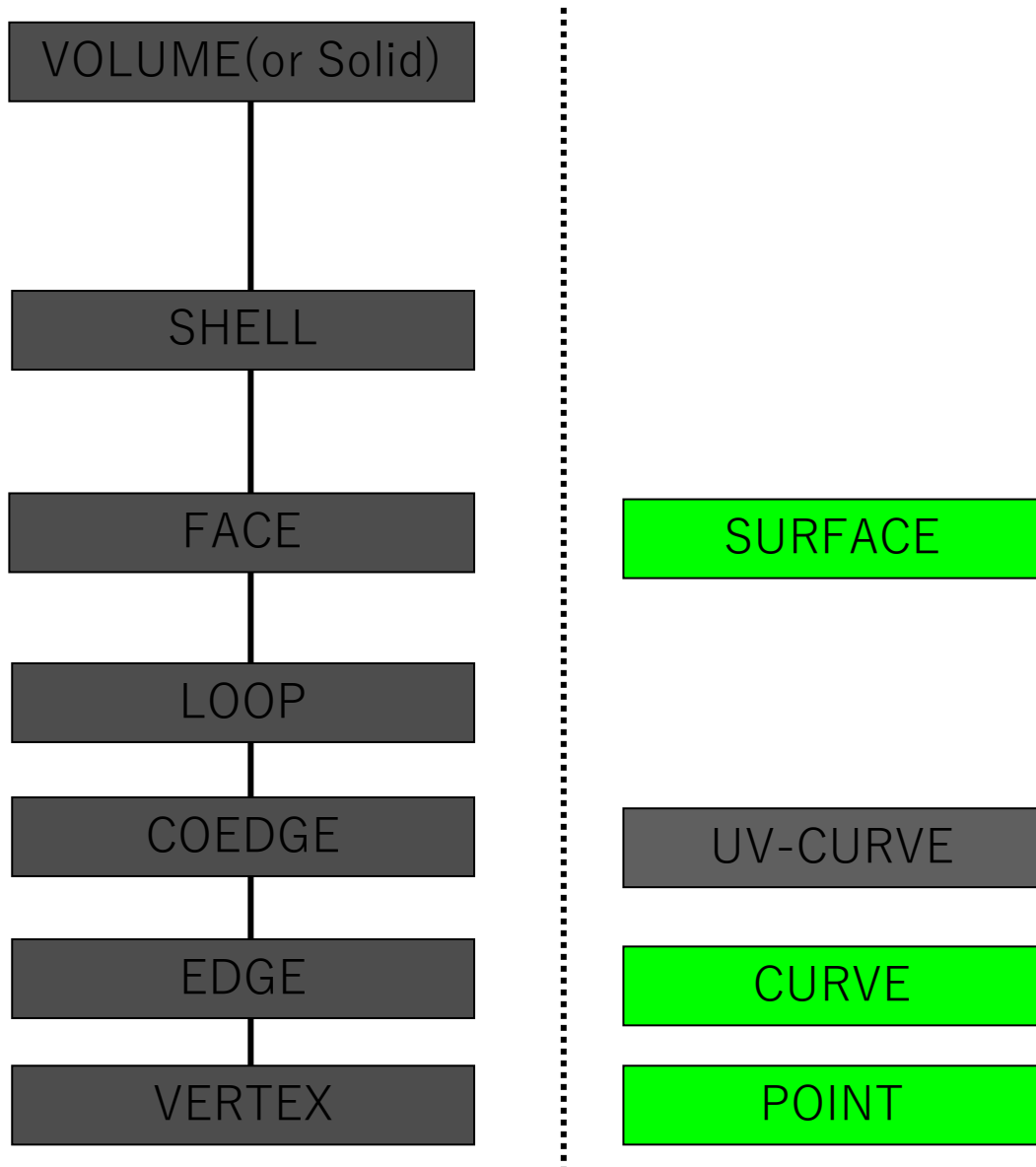
VERTEX



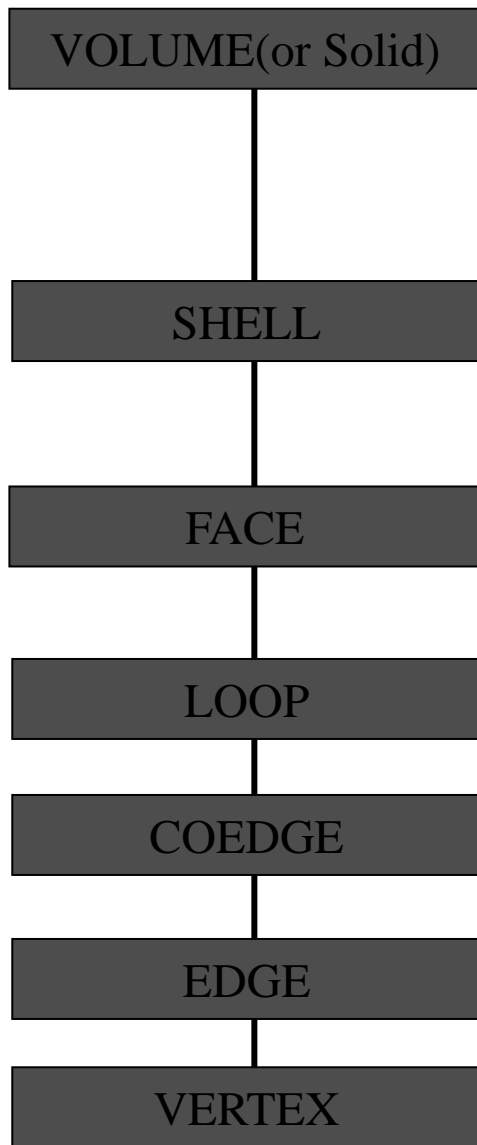
4-2) ソリッドモデルの構造



4-3) サーフェスモデルの構造



4-4) Rhinoモデルの構造



SURFACE

UV-CURVE

CURVE

POINT

Open Single Surface

Open Poly Surface

Brep Solid
Boundary Representative

Closed Single Surface

Closed Poly Surface

Mass property
Boolean operation
available

3D 自然界

分子・原子の配列

3D 人間による

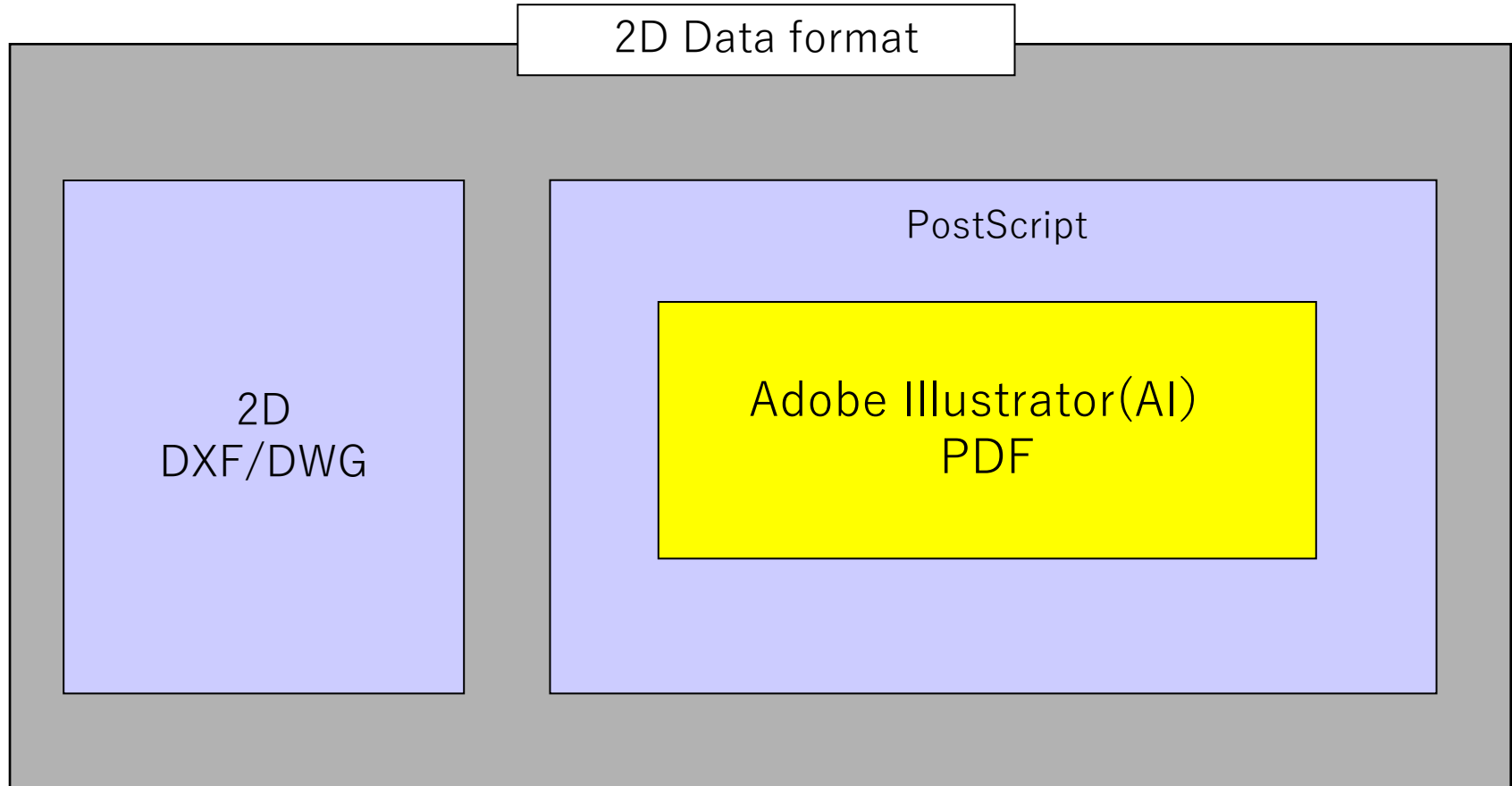
3D ジオメトリー表現による

数学表現、NURBS等

3D CGによる

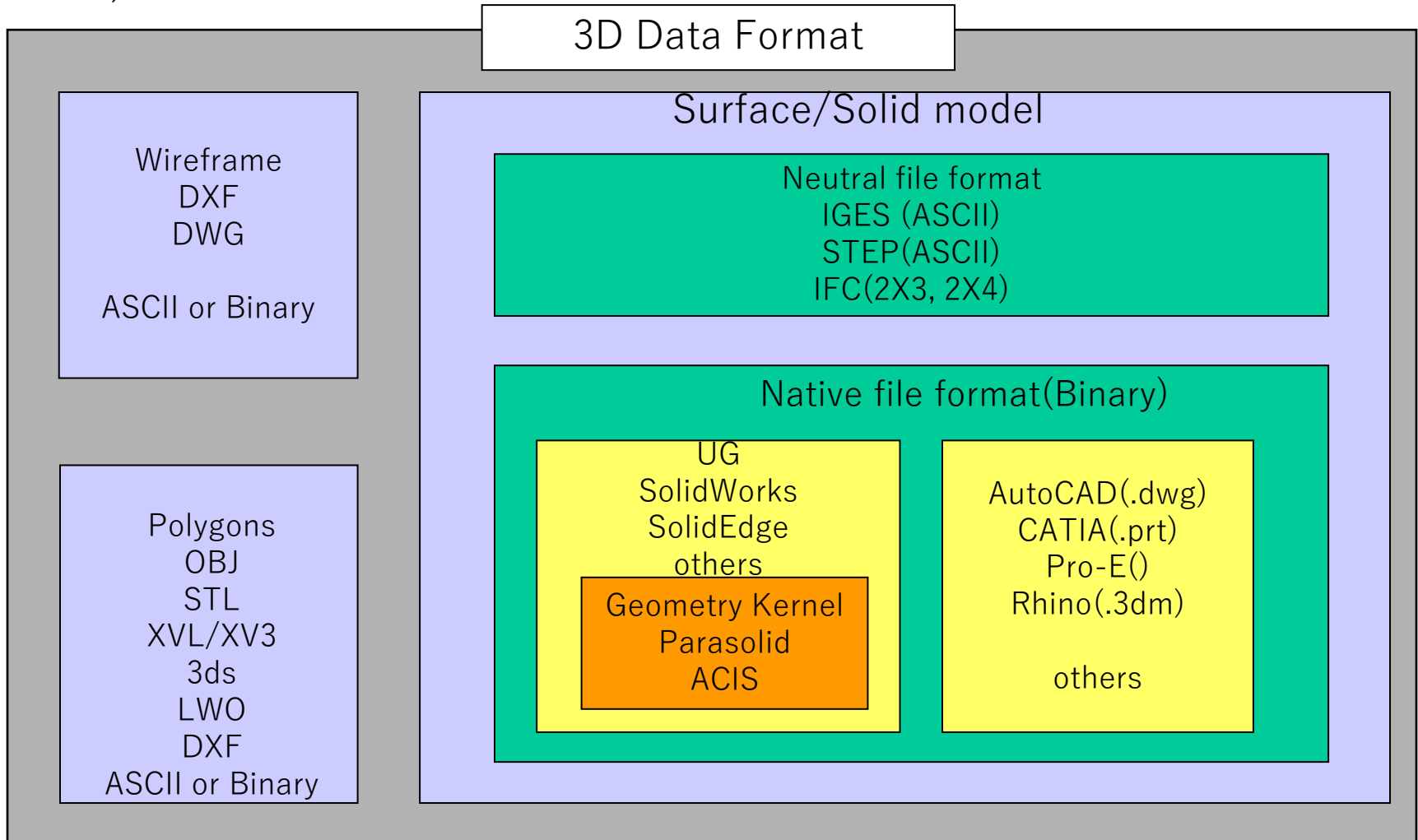
5. データフォーマット

5-1) 2D



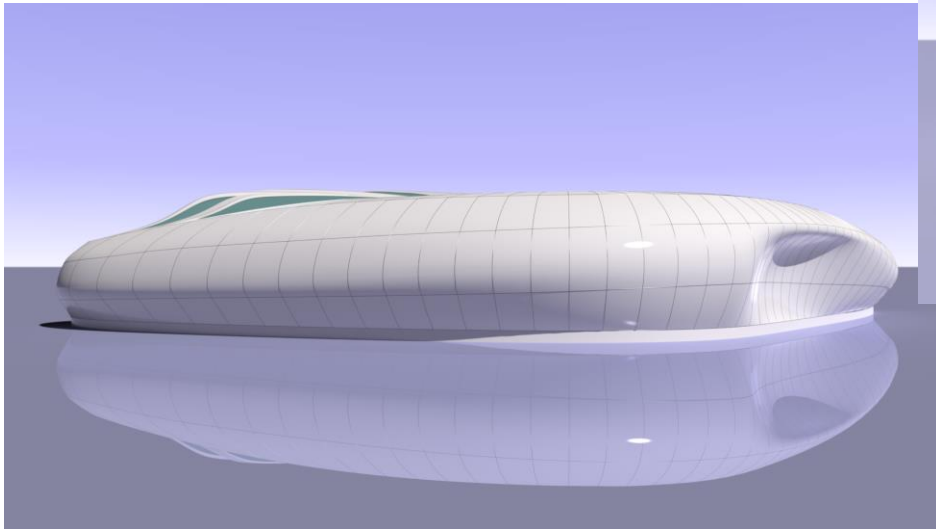
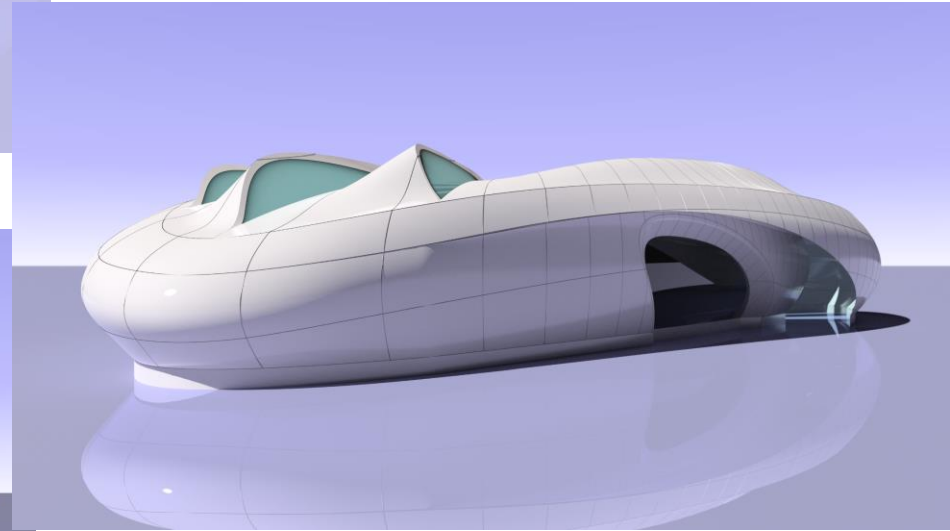
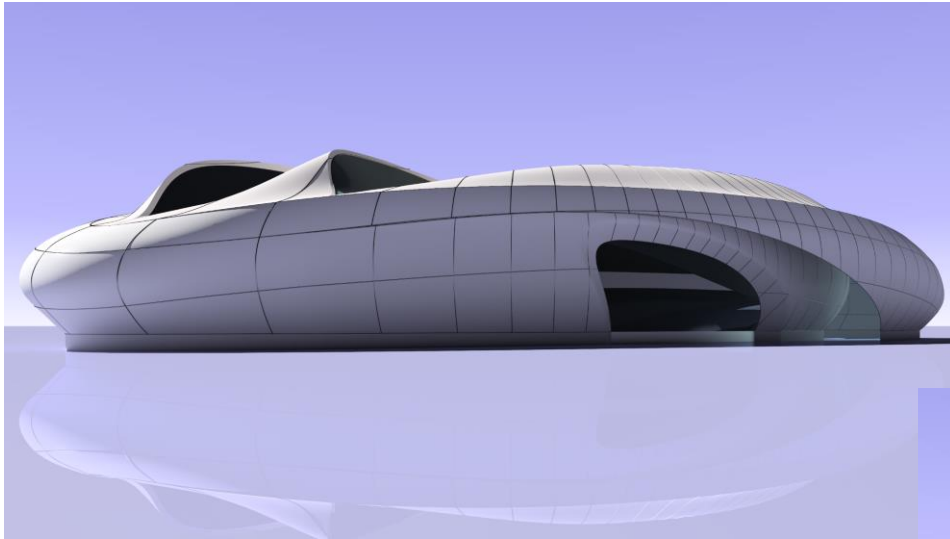
5. データフォーマット

5-2) 3D

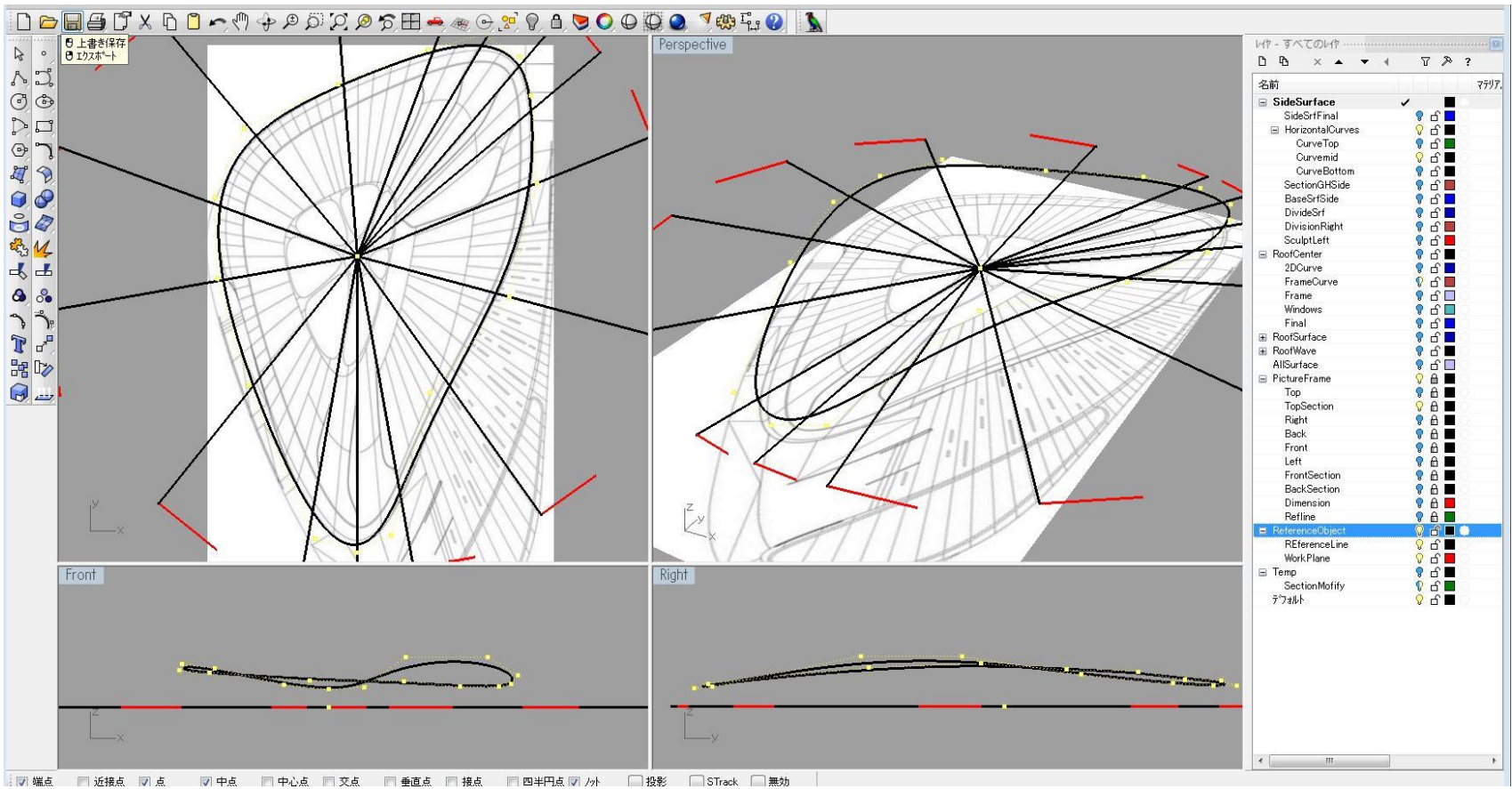


NURBSモデリングの要素

- 幾何要素としてはポイント（点）、カーブ（直線、円弧、自由曲線）、サーフェスの3種類しか存在しない。
- 3次元の立体を表現するには、一枚もしくは複数のサーフェスから構成されるモデルを作る。（1枚または、複数のサーフェスが3次元的に閉じた状態をソリッドと呼ぶ）
- カーブやサーフェスは、コントロールポイントの数と位置と次数によって定義され、コントロールポイントの数や位置、次数の上げ・下げ（Rhincerosでは1次～11次）によって編集することが出来る。
またコントロールポイントは必要に応じて追加、削除する事が出来る。
- これらの要素を、準備された手続きでオブジェクトを作成し、オブジェクト同士の関連付けをコントロールするものがRhinceros（やNURBSをベースとしたCADやCG）のコマンド。
- デザイナー、クリエイター、設計者の意図が最適の状態に反映されたものがデジタルモデルとなる。

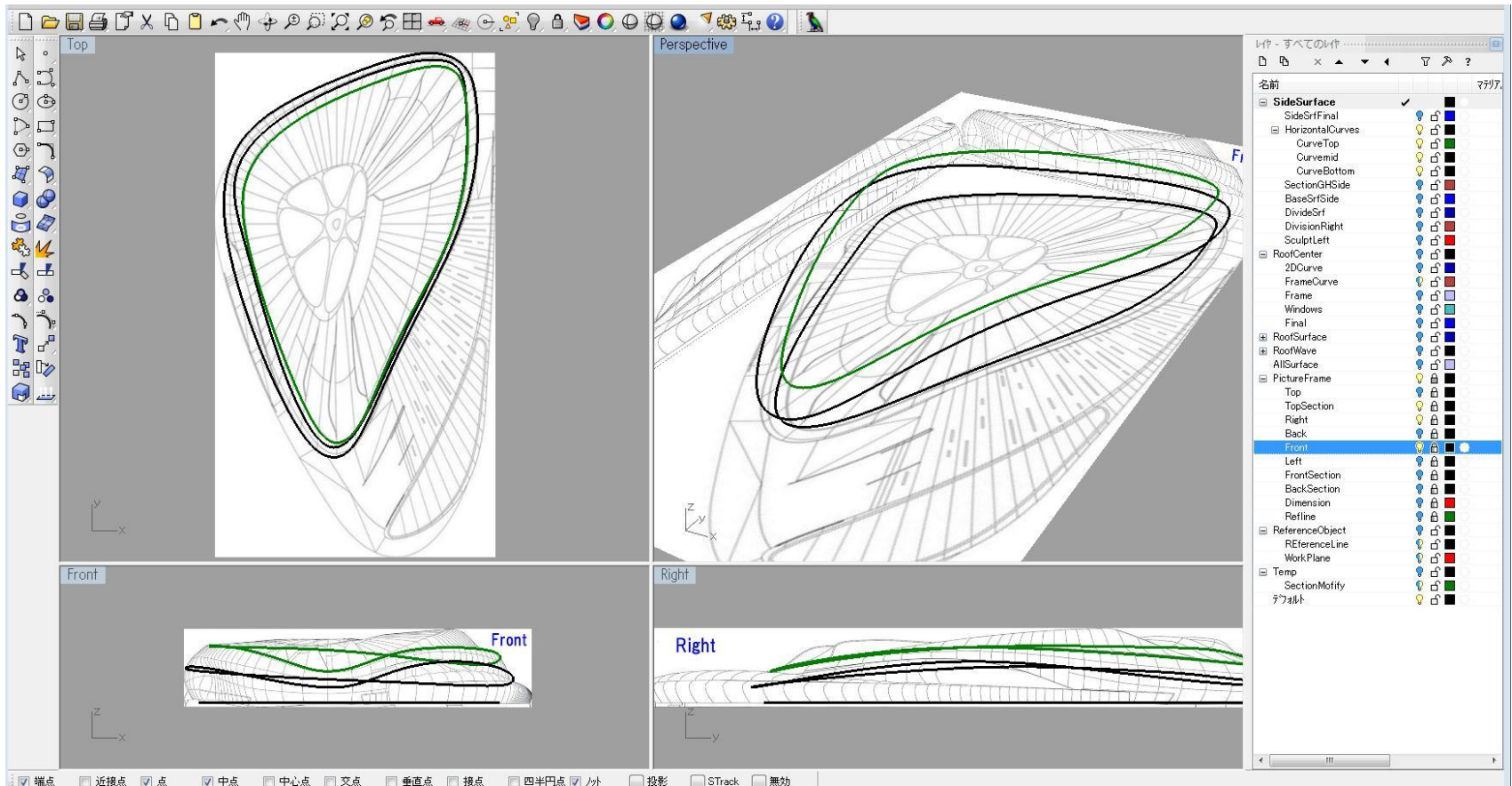


3次元カーブの作成 (MPサイドサーフェス中央カーブ)



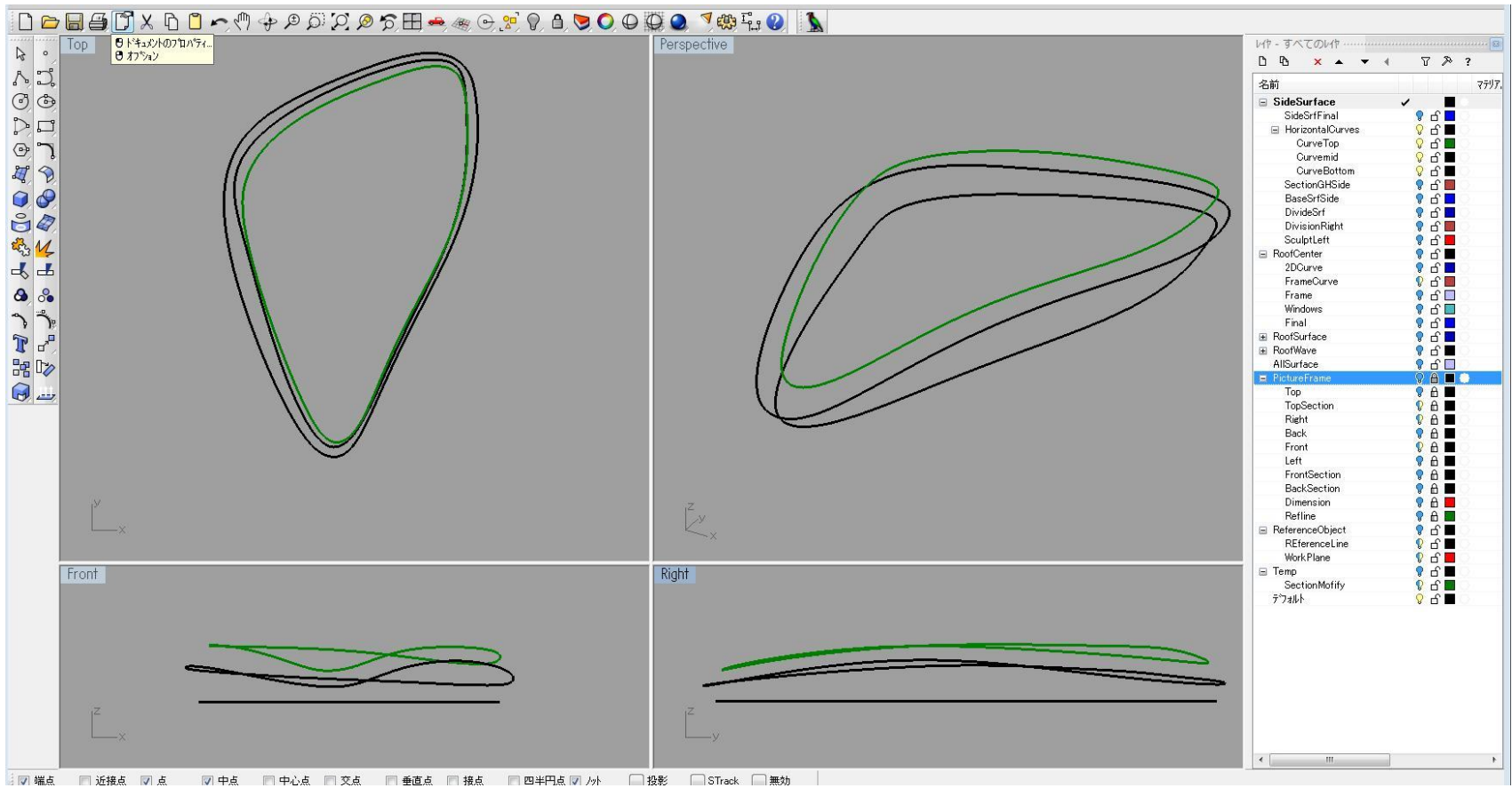
PictureFrame
Curve 5次 15ポイント
Move, Nudgeキー

3次元カーブの作成 (MPサイドサーフェスの全てのカーブ)



PictureFrame
Curve 5次 15ポイント
Move, Nudgeキー

3次元カーブの作成 (MPサイドサーフェスの全てのカーブ)

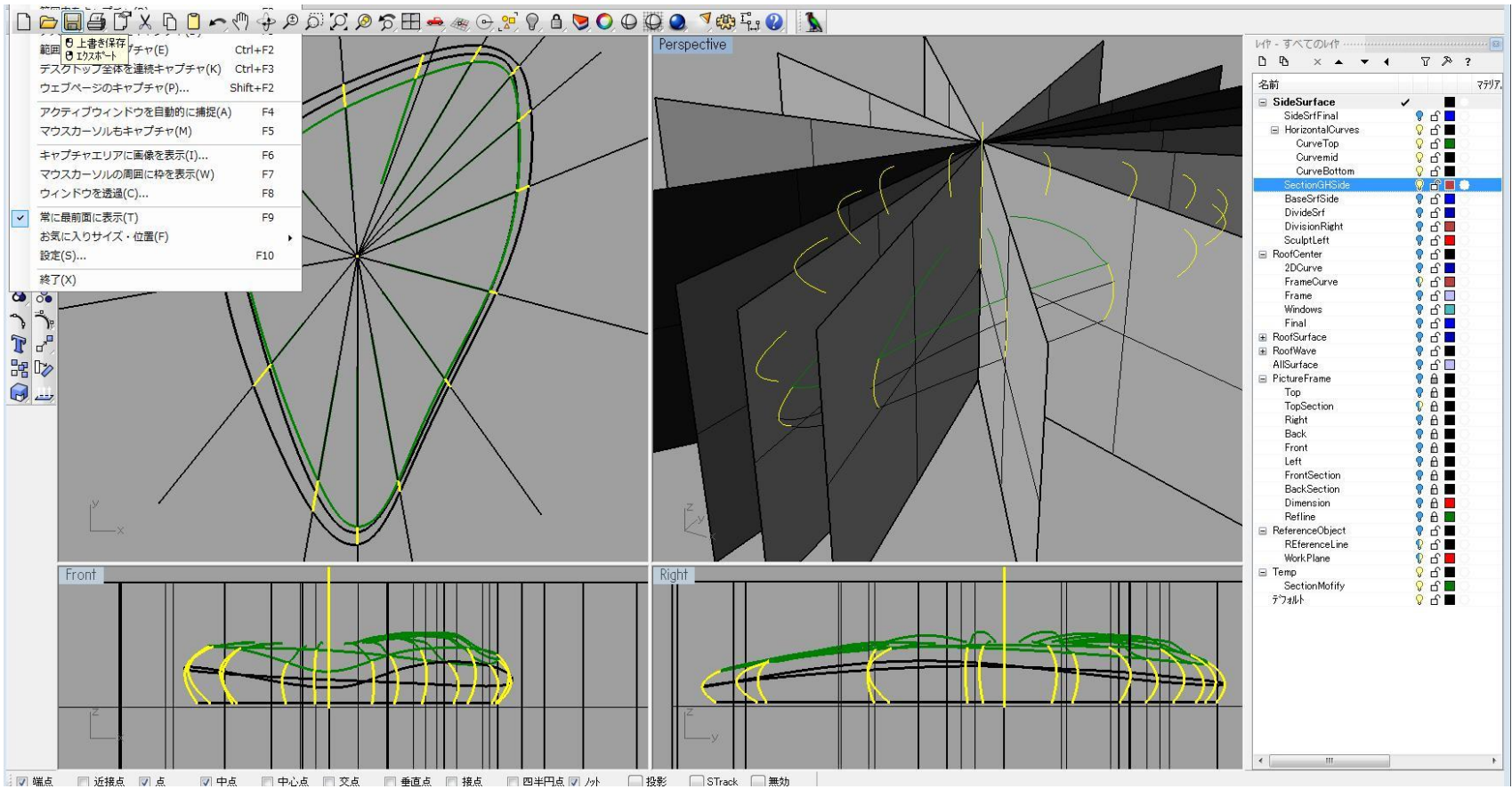


PictureFrame

Curve 5次 15ポイント

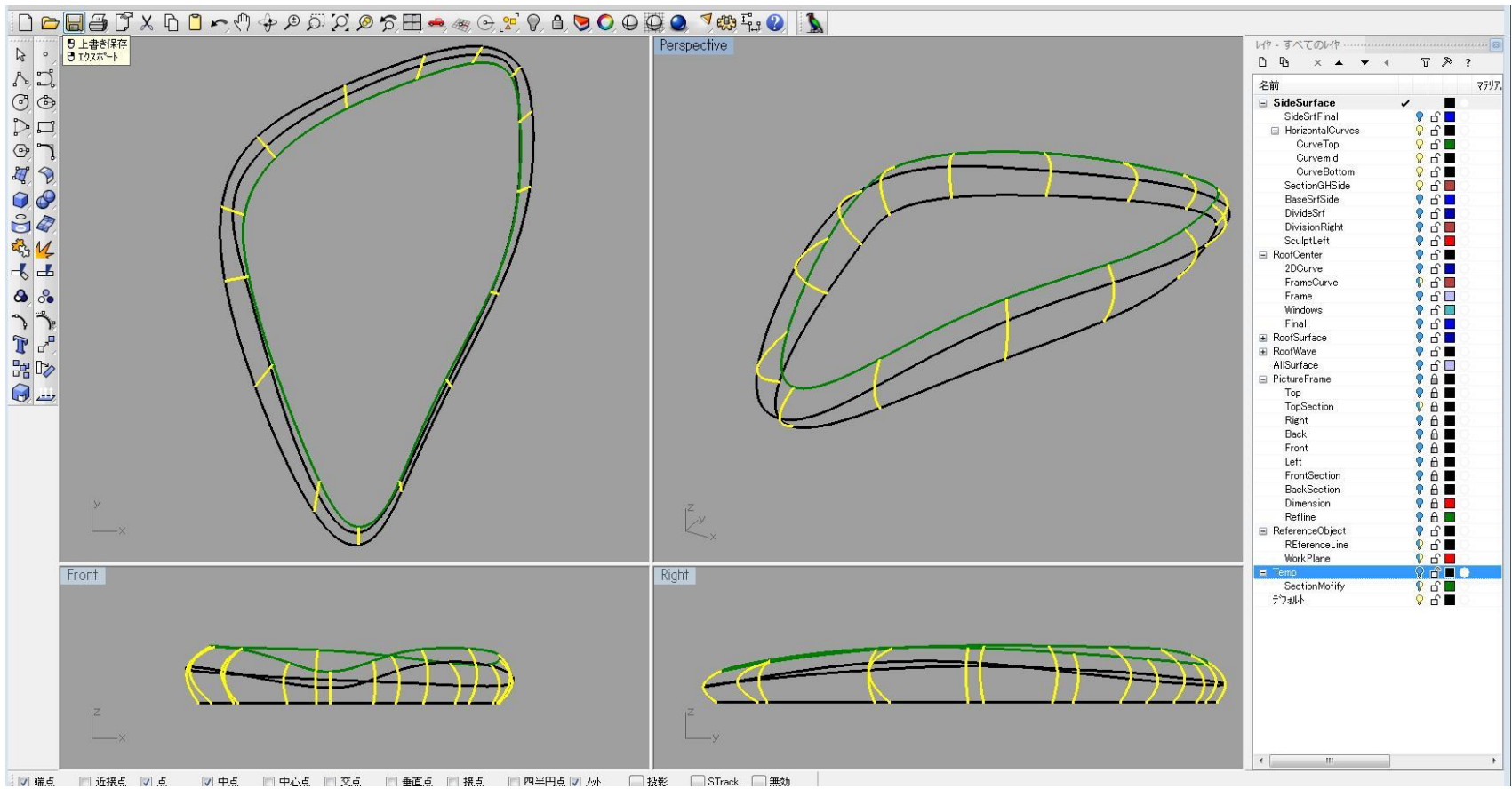
Move, Nudgeキー

3次元カーブの作成（平面との交差上にカーブを生成）



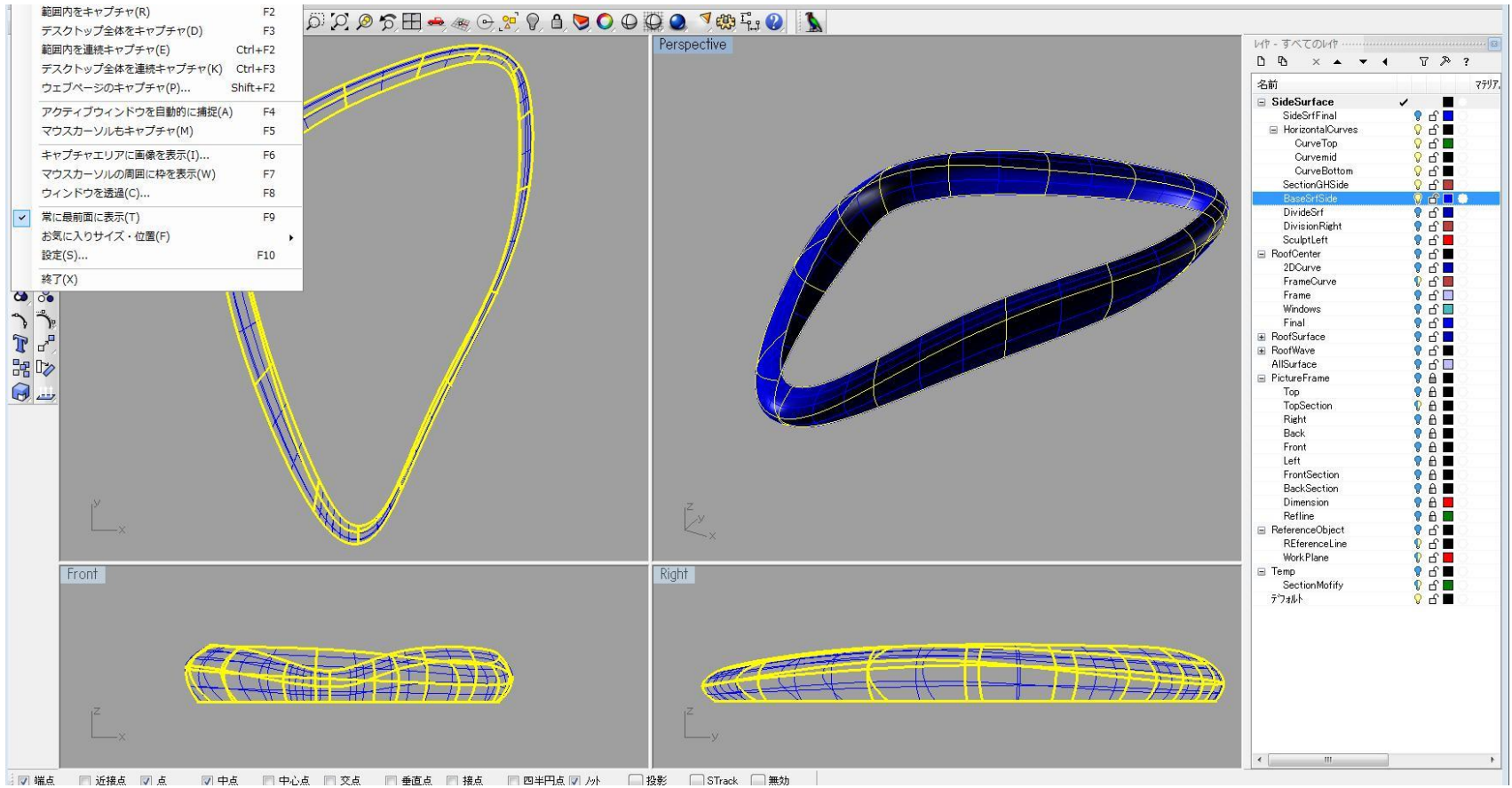
ExtrudeCrv ; カーブの押し出しで平面作成
Intersect ; カーブと平面の交差を取り交点生成
InterpCrv 3次 ; カーブの交点上を通るカーブ作成

3次元カーブの作成（平面との交差上にカーブを生成）



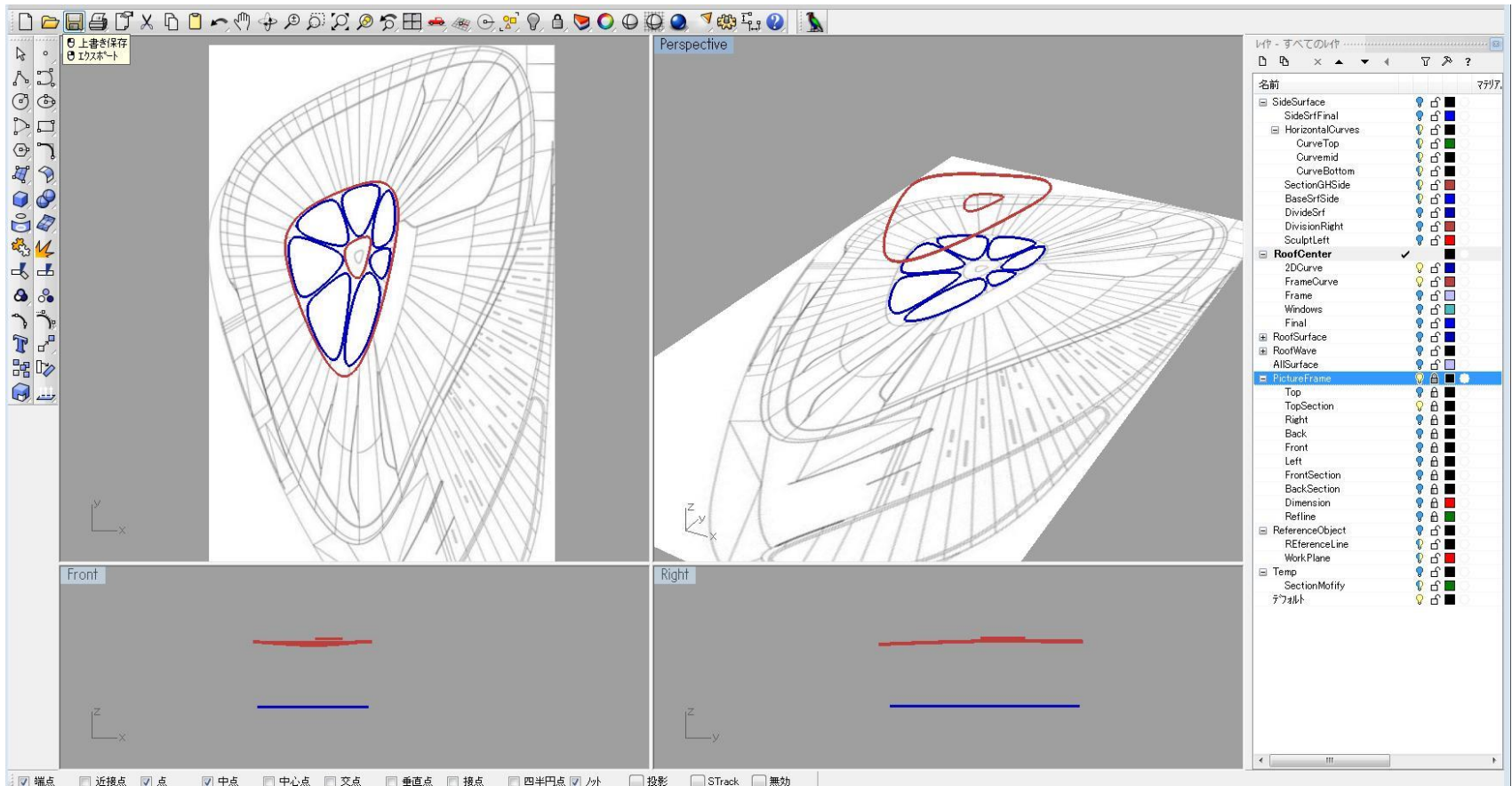
ExtrudeCrv ; カーブの押し出しで平面作成
Intersect ; カーブと平面の交差を取り交点生成
InterpCrv 3次 ; カーブの交点上を通るカーブ作成

3次元サーフェスの生成 (サイドサーフェス)



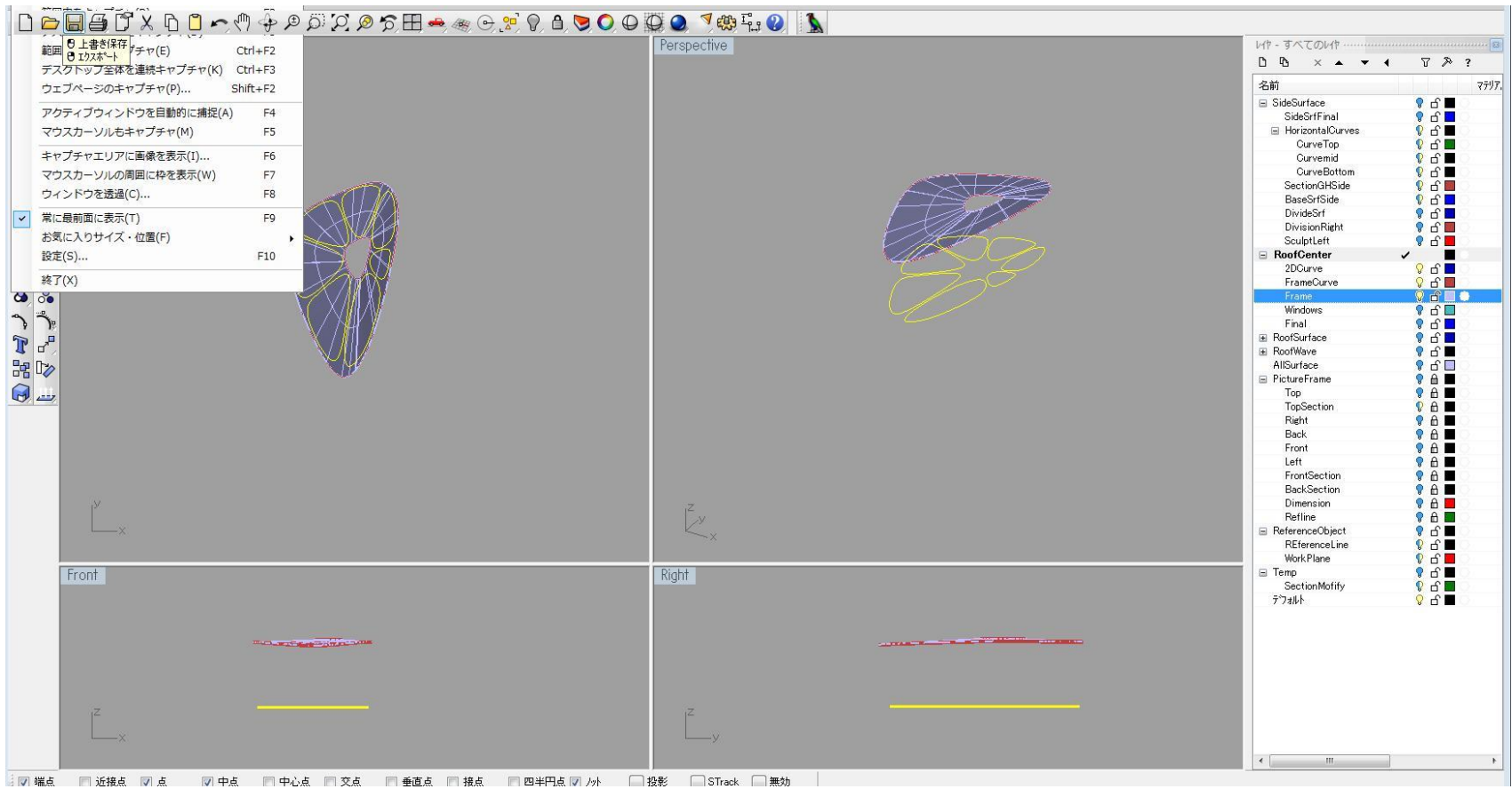
NetworkSrf ; サーフェスを生成

3次元カーブの作成（ルーフ中央部分）



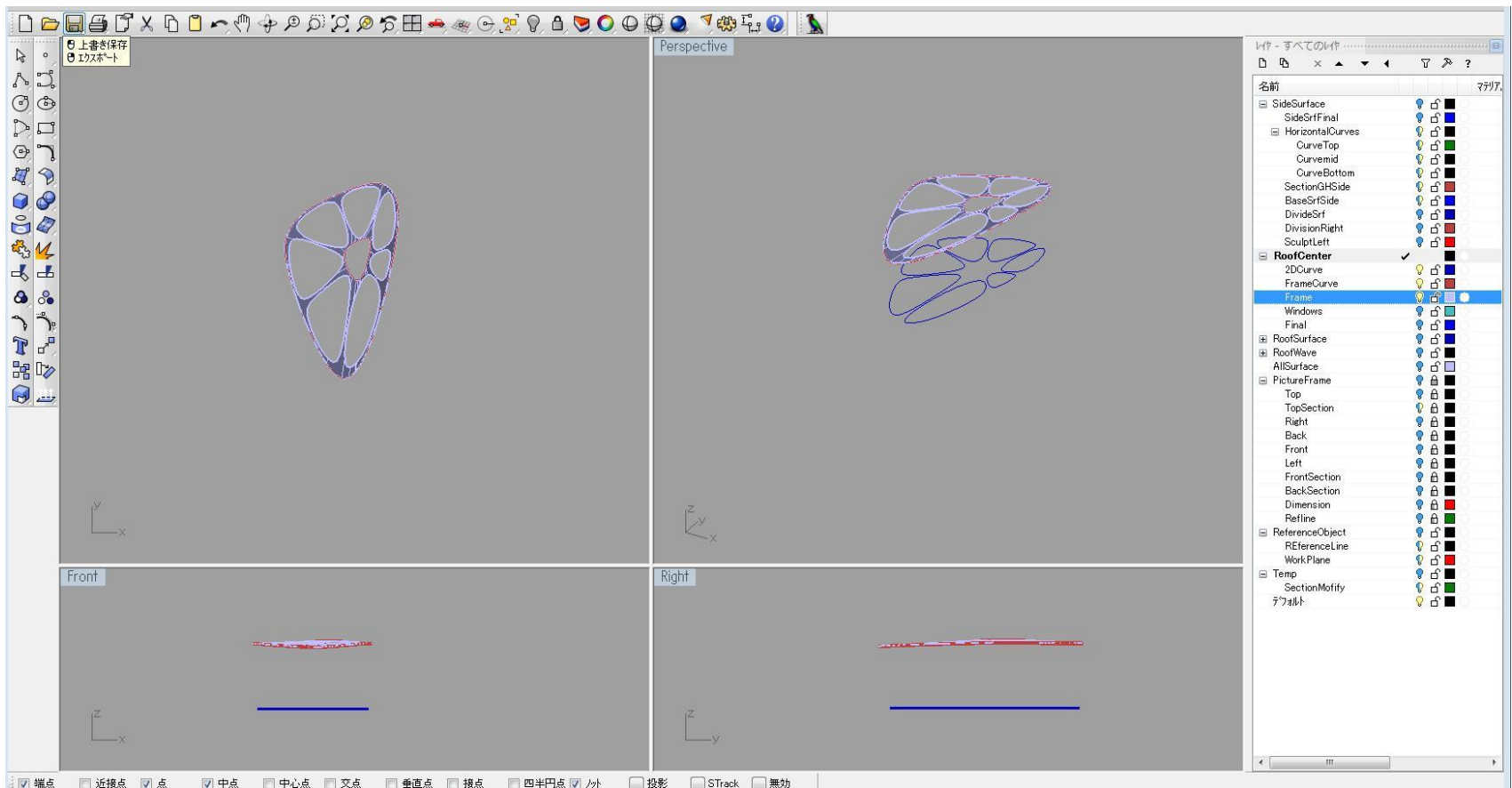
Curve 内側窓 3次 9ポイント
Curve ルーフ部分 5次 15ポイント

3次元サーフェスの作成（ルーフ中央部分）



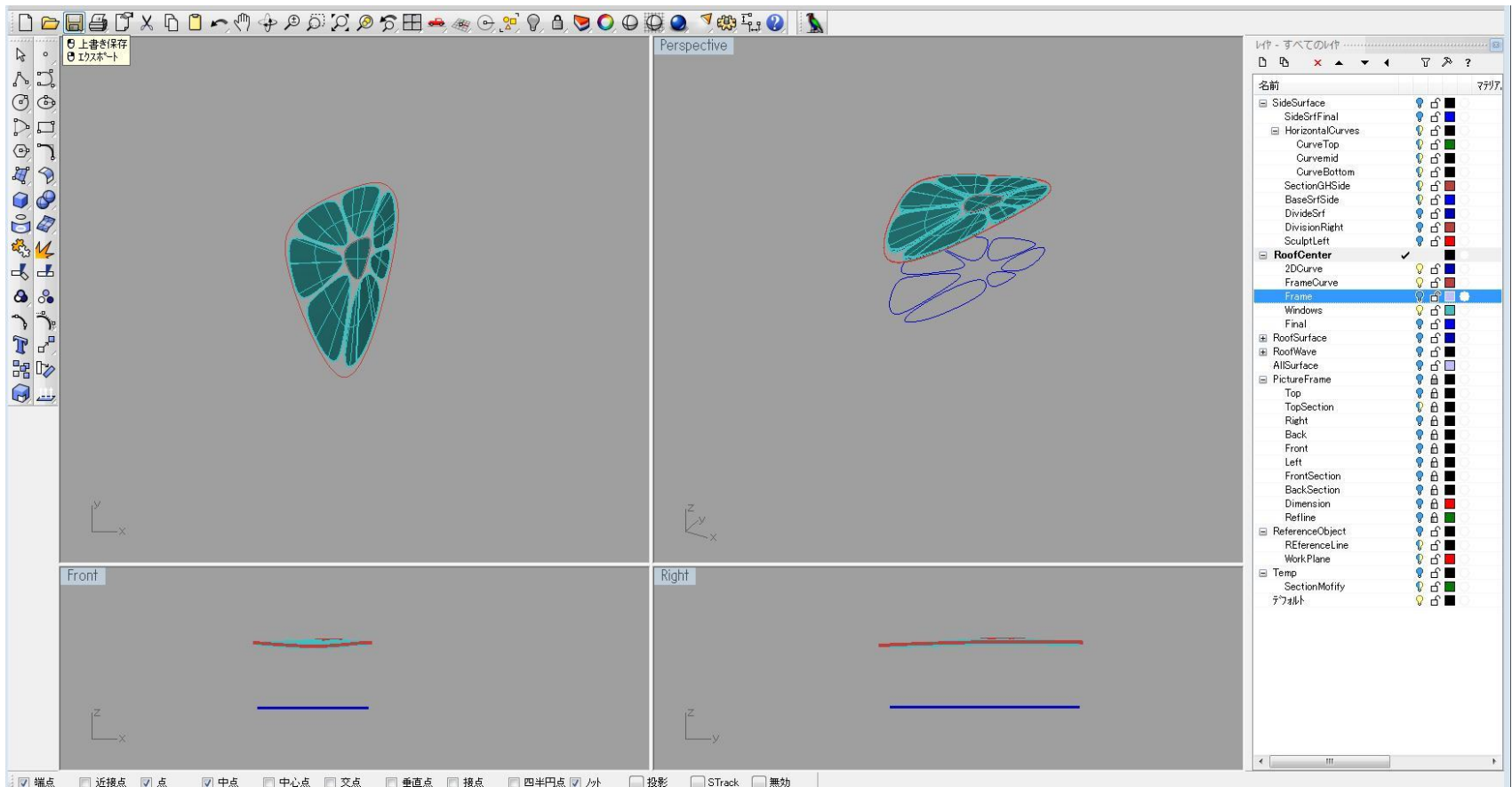
Loft ; サーフェスを生成

3次元サーフェスのトリム（ルーフ中央部分）



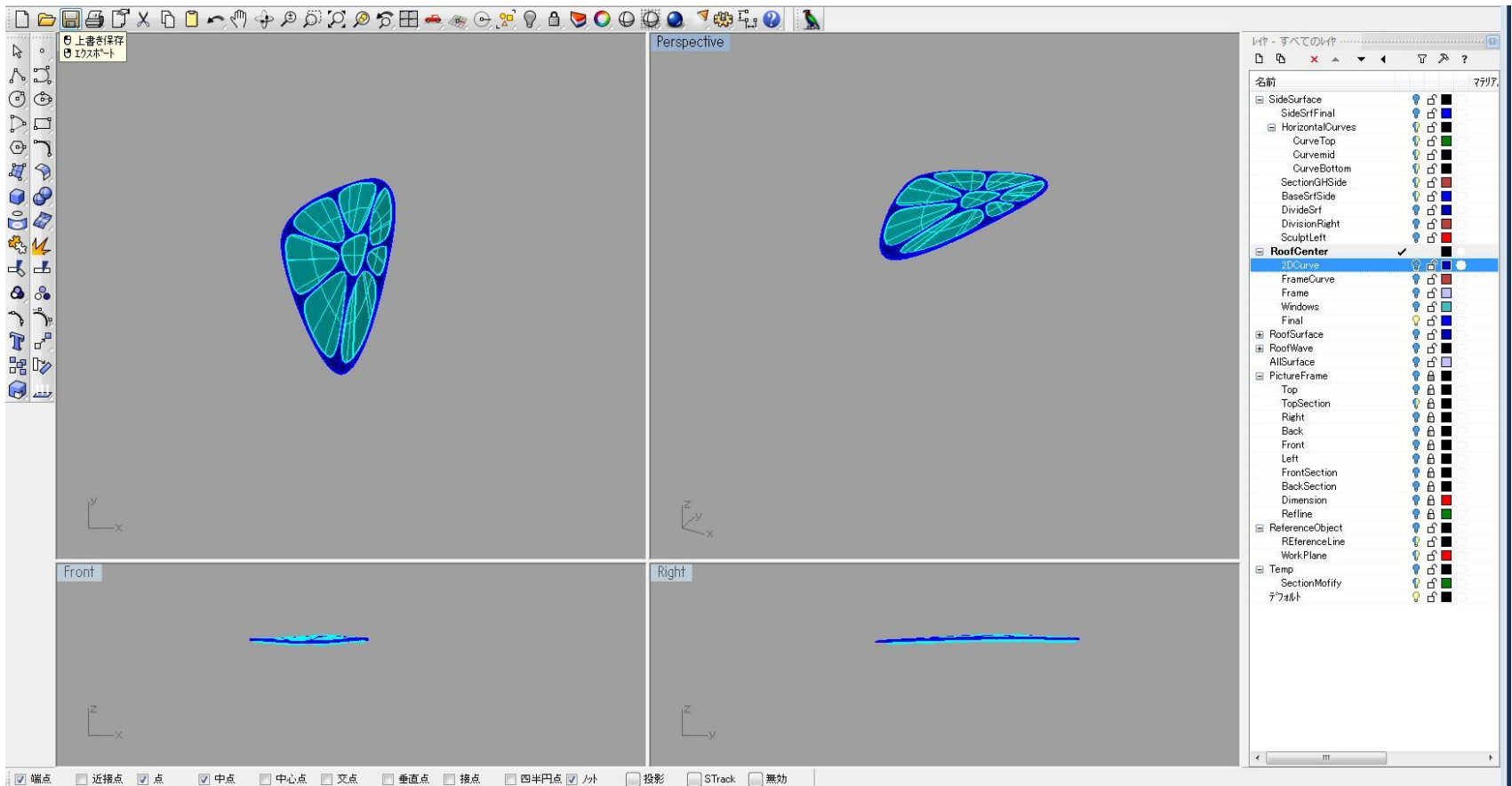
Split **Top面から窓部を分割**

3次元サーフェスの厚み付け（ルーフ中央部分）



ExtrudeSrf サーフエス押し出し厚み付け

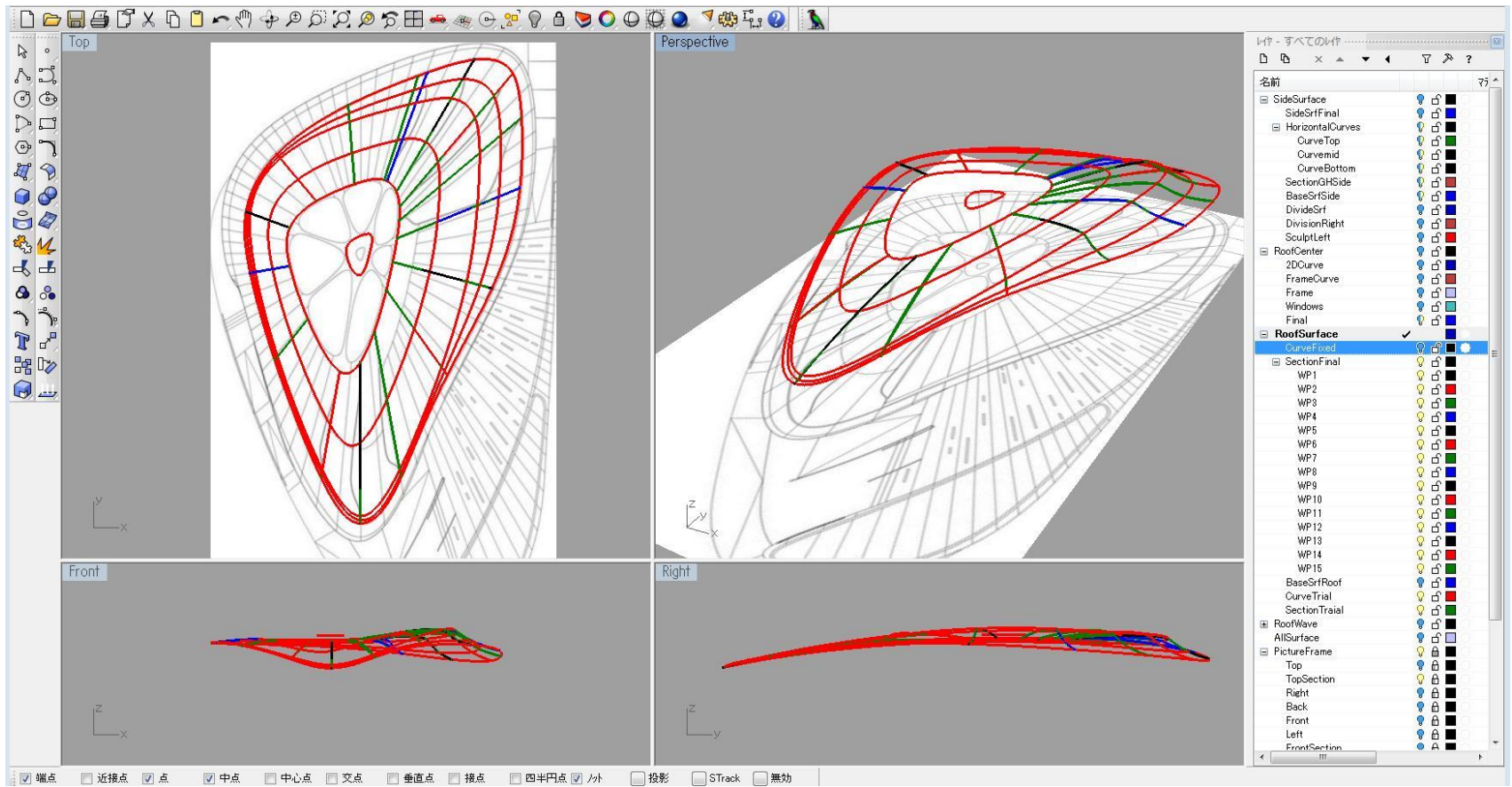
3次元サーフェスの厚み付け（ルーフ中央部分）



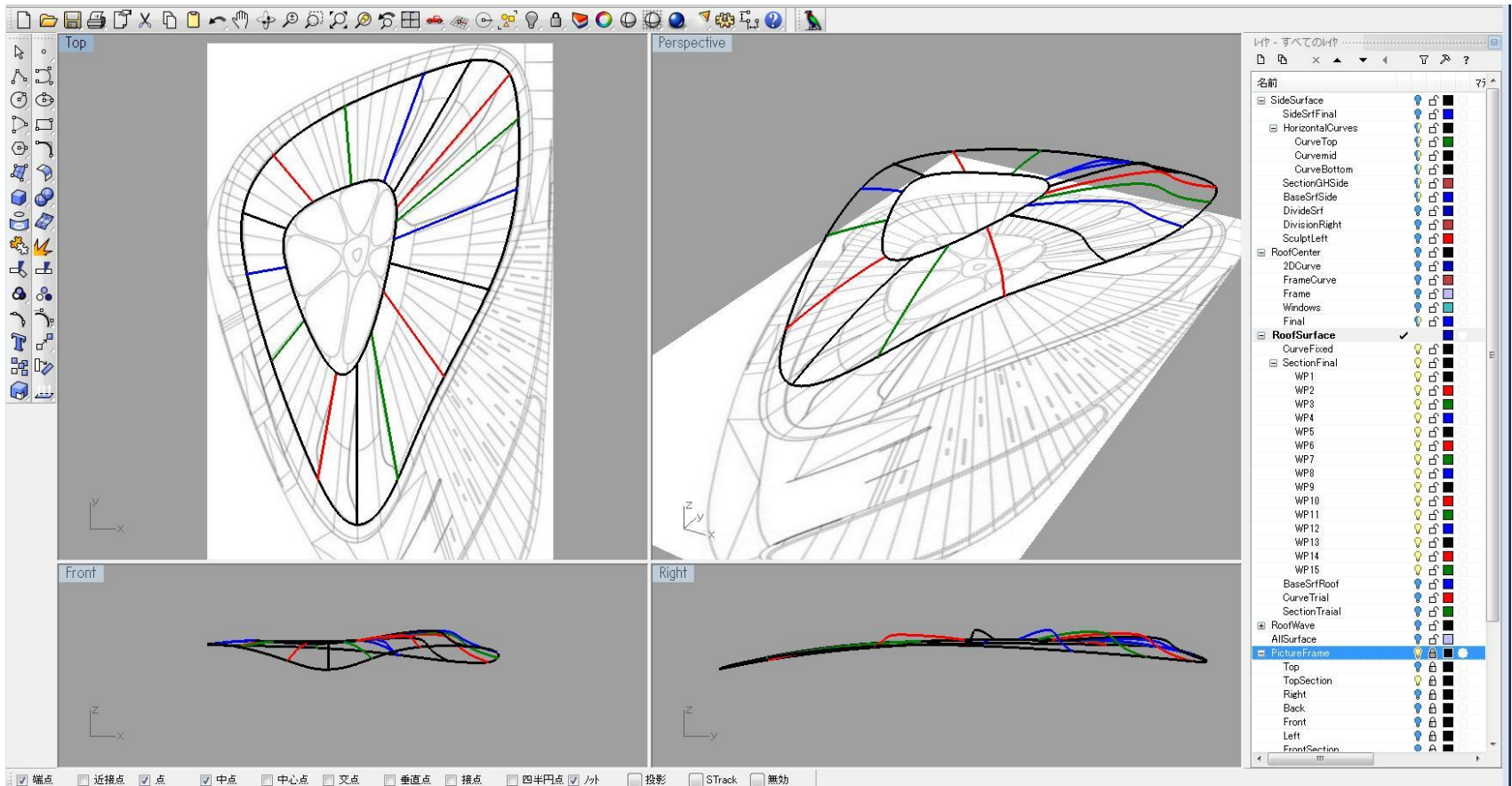
ExtrudeSrf
FilletEdge

サーフェス押し出し厚み付け面から窓部を分割
フィレット作成

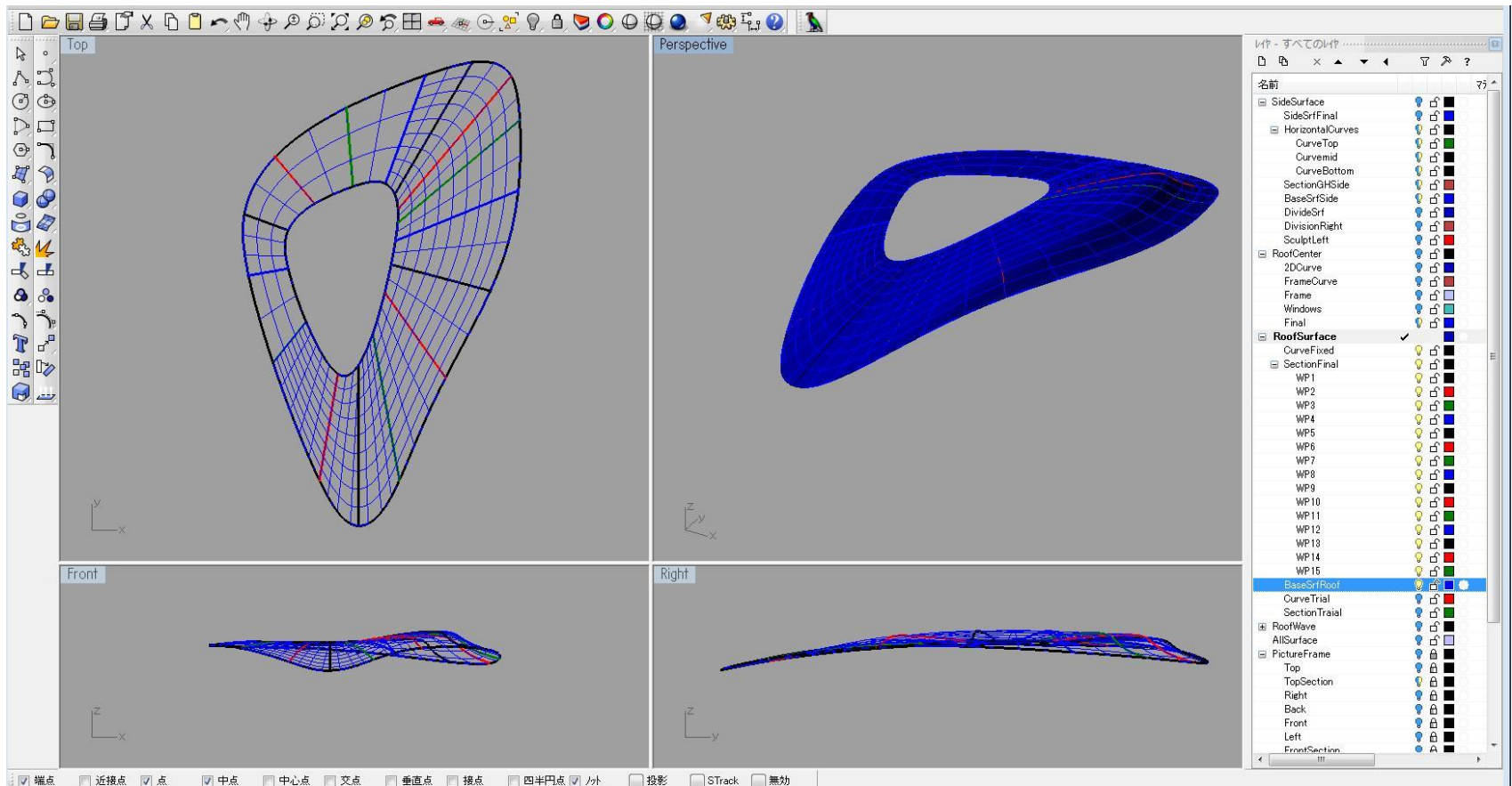
3次元カーブの作成（ルーフ部分 – 検討段階）



3次元カーブの作成（ルーフ部分 - 決定）

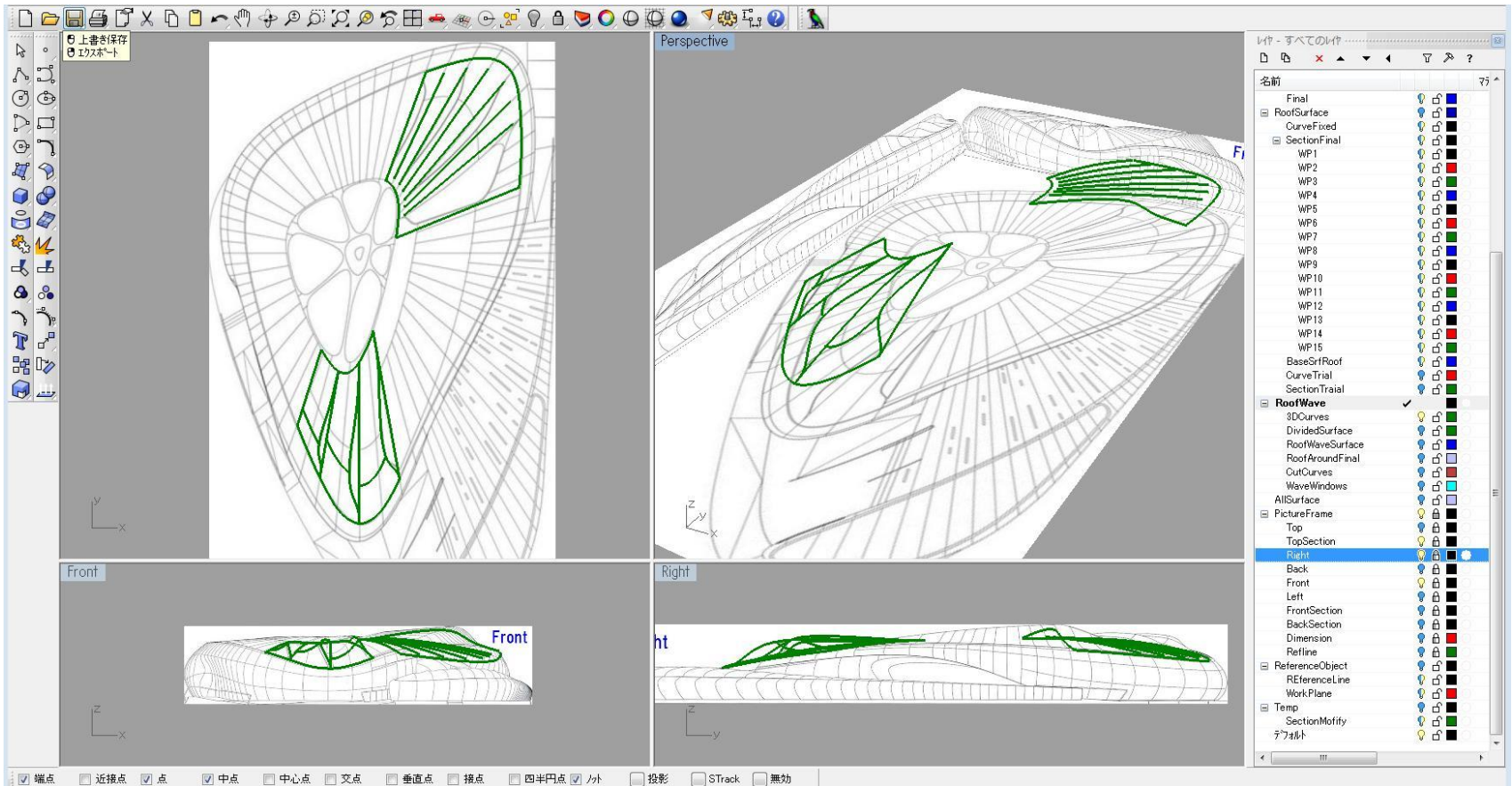


3次元サーフェスの作成（ルーフ部分 – 基本サーフェス）



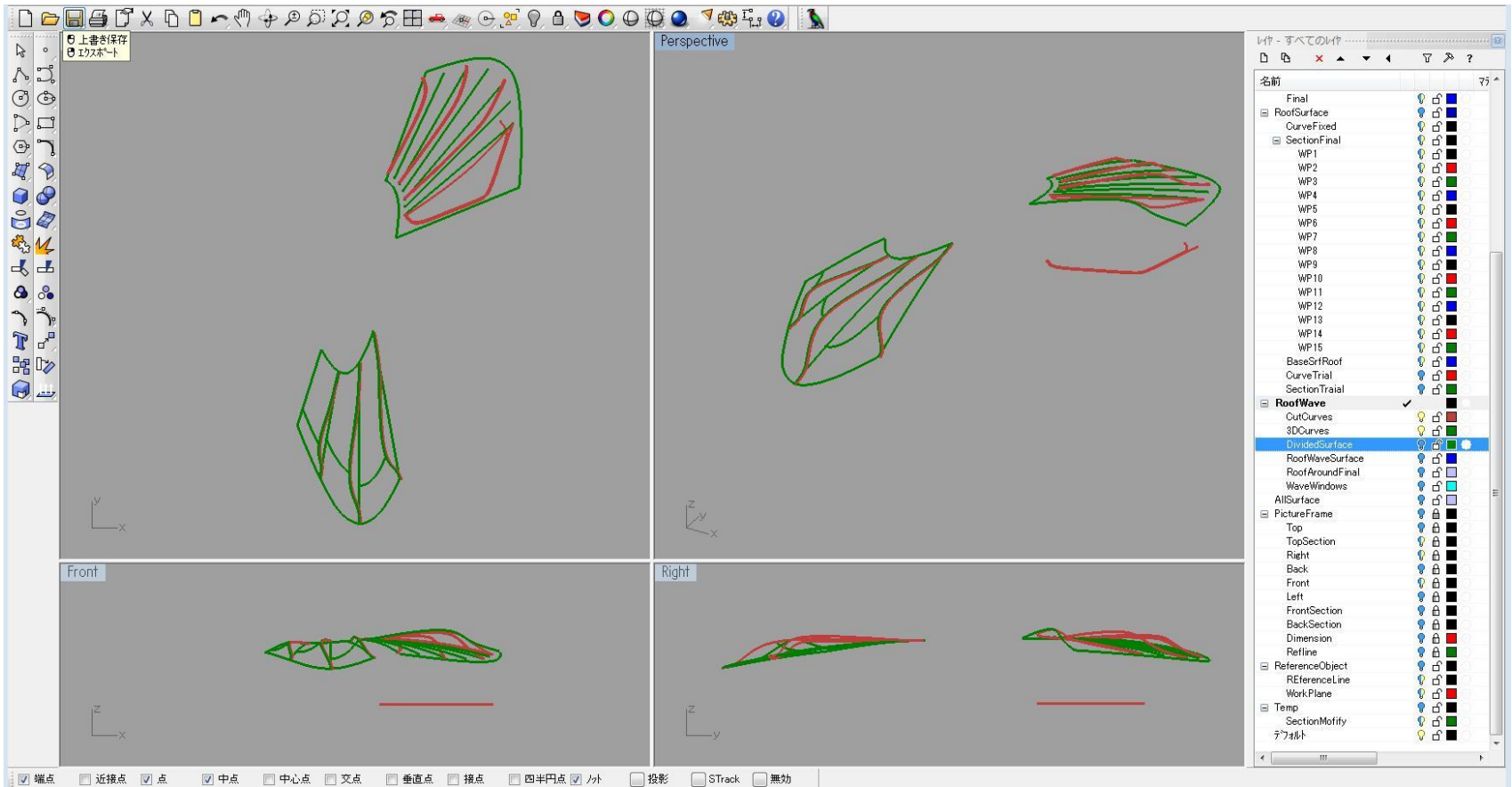
Split オプション：アイソカーブでサーフェス分割

3次元カーブの作成（ルーフ部分 - バリエーション）



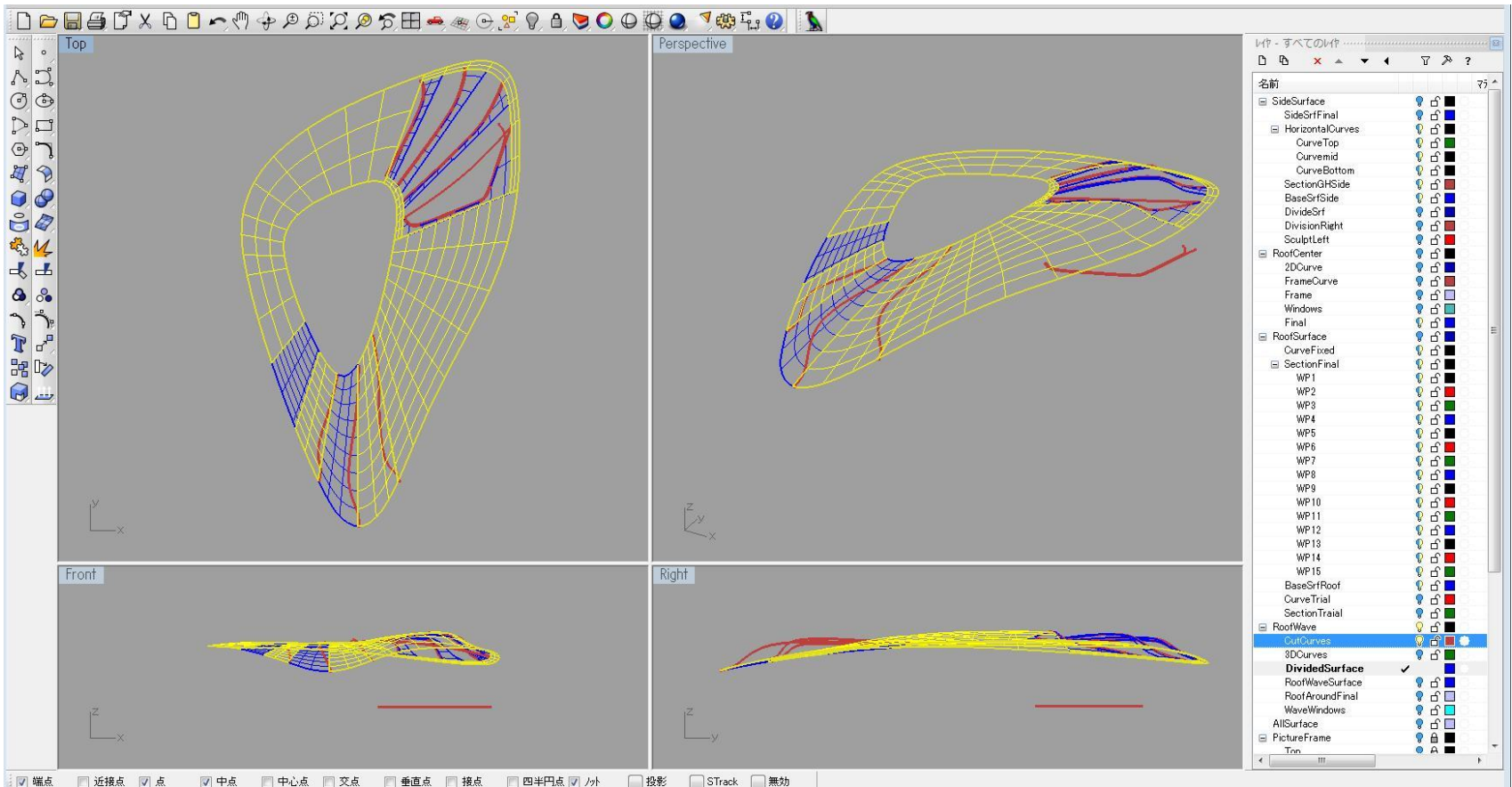
Curve 3次

3次元カーブの作成（ルーフ部分 - バリエーション）



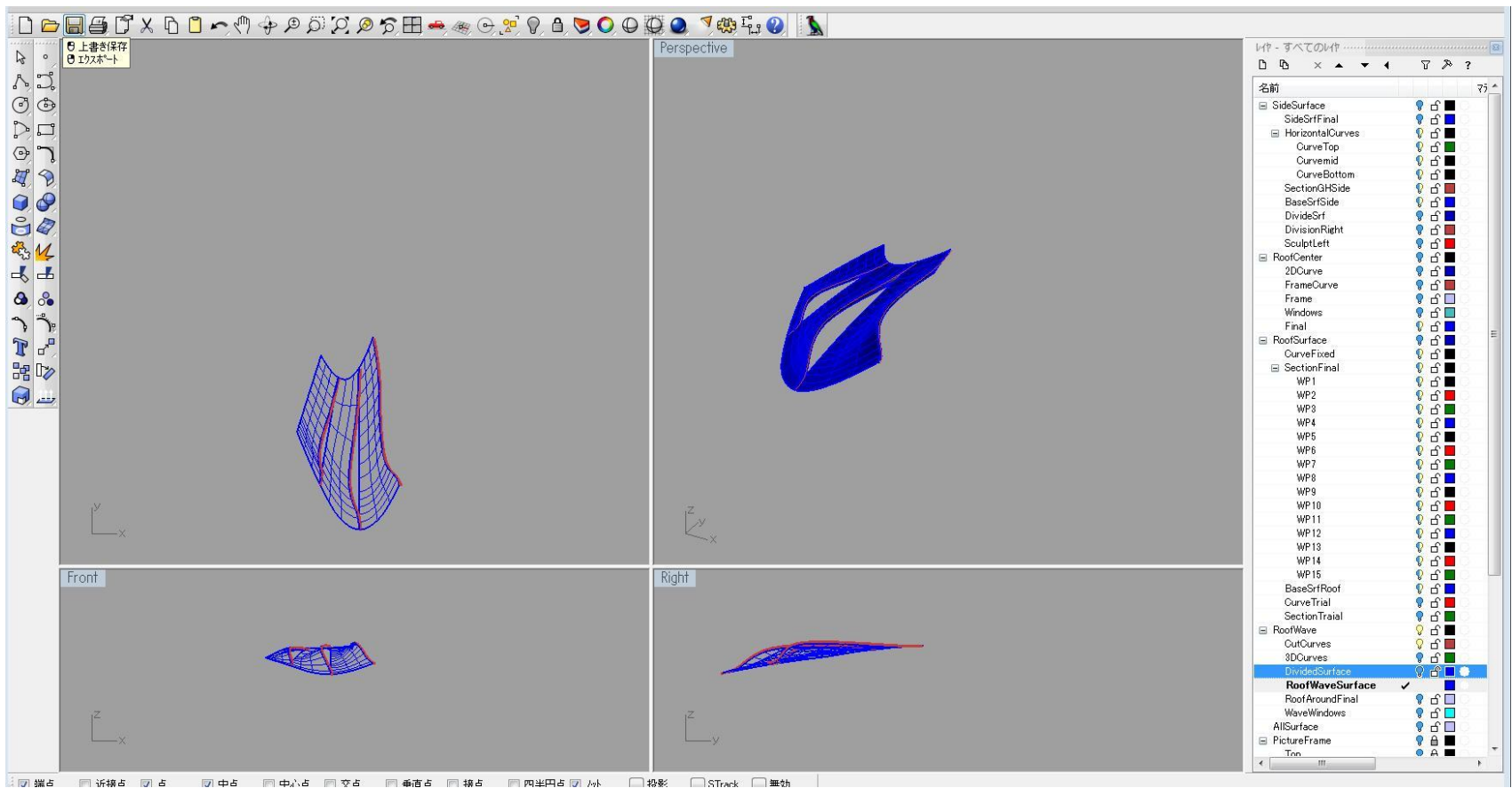
Curve 3次

3次元サーフェスの分割

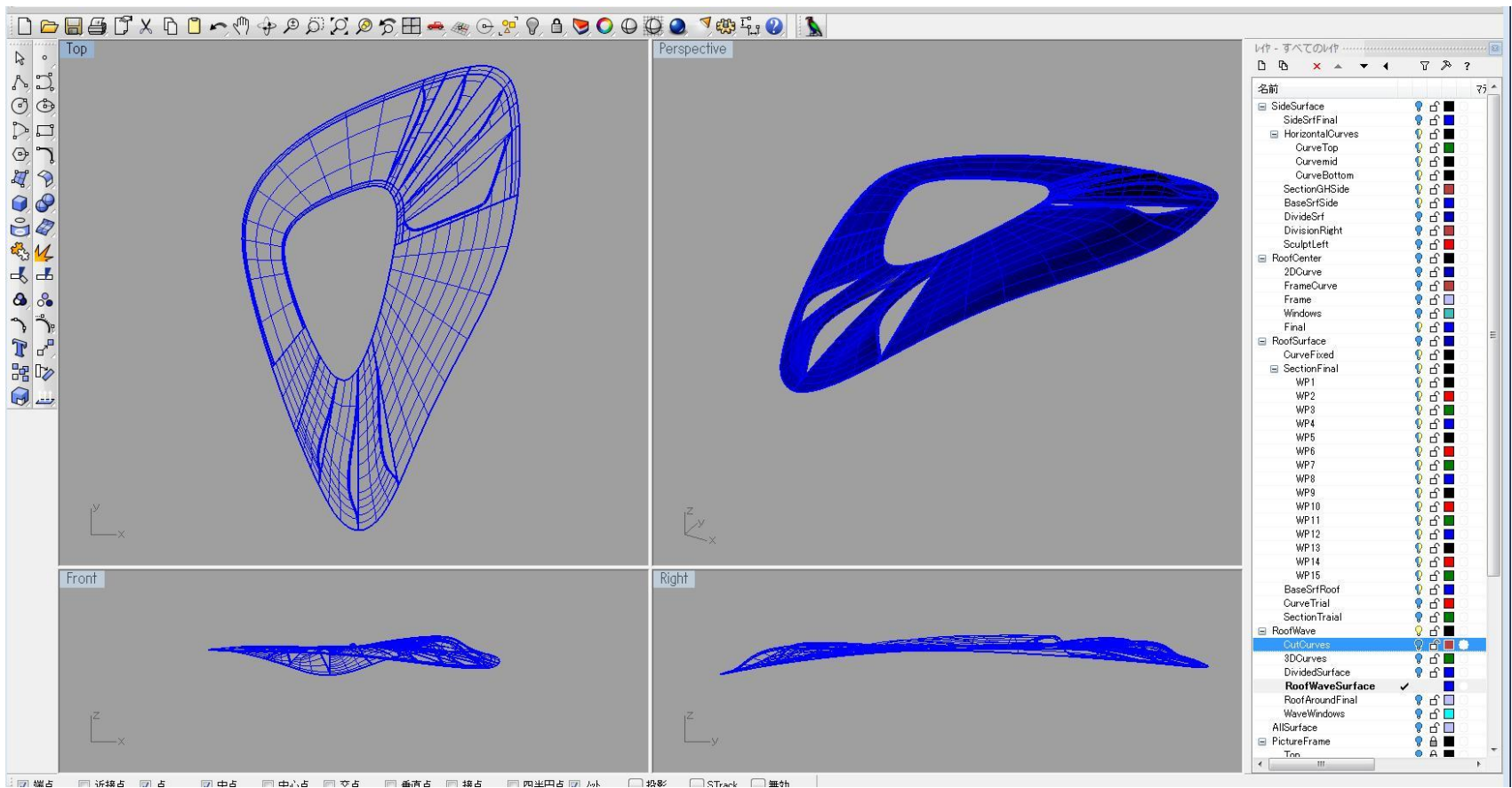


Split オプション：アイソカーブでサーフェス分割

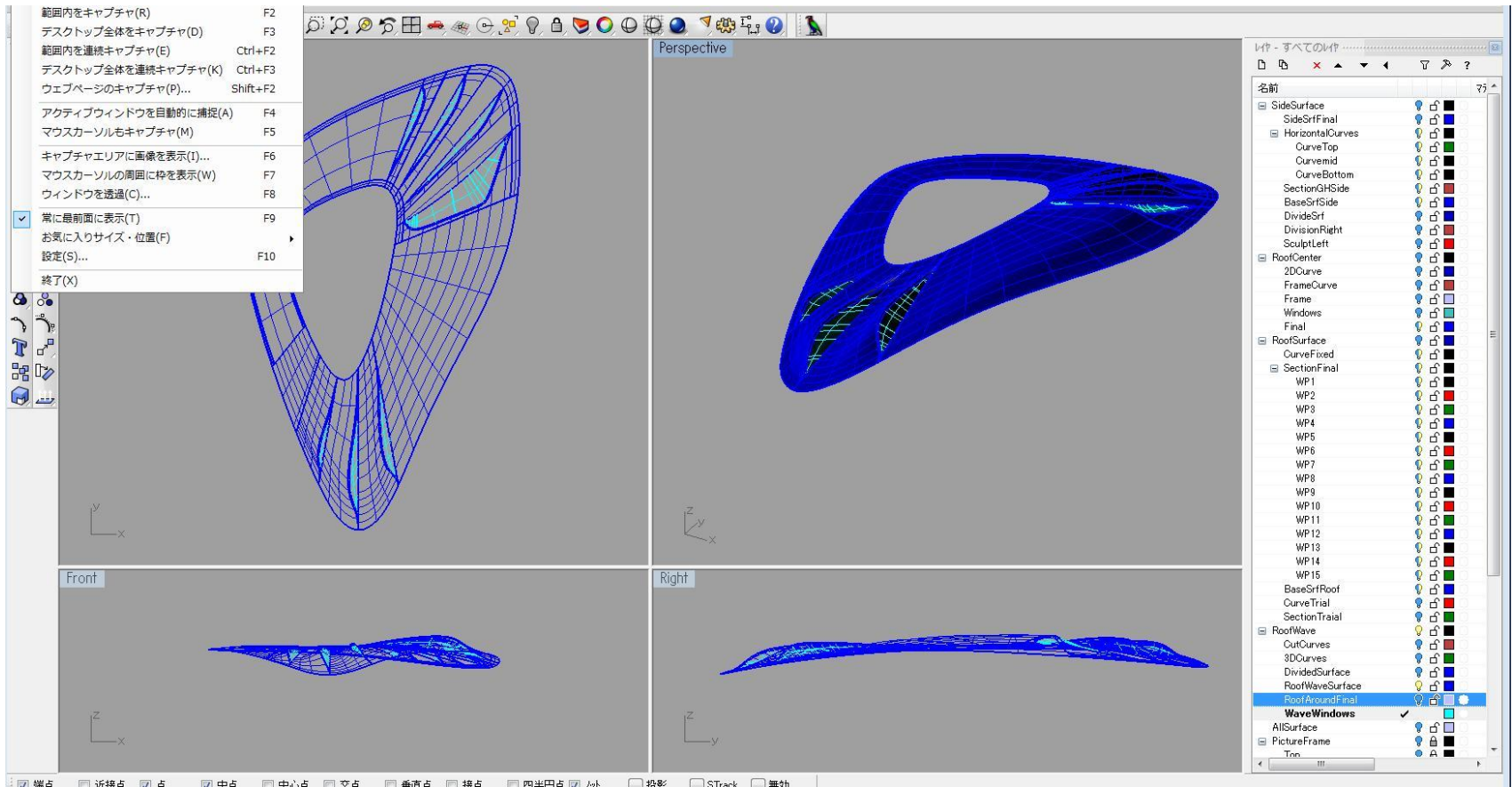
3次元サーフェスの作成（ルーフ部分 - バリエーション）



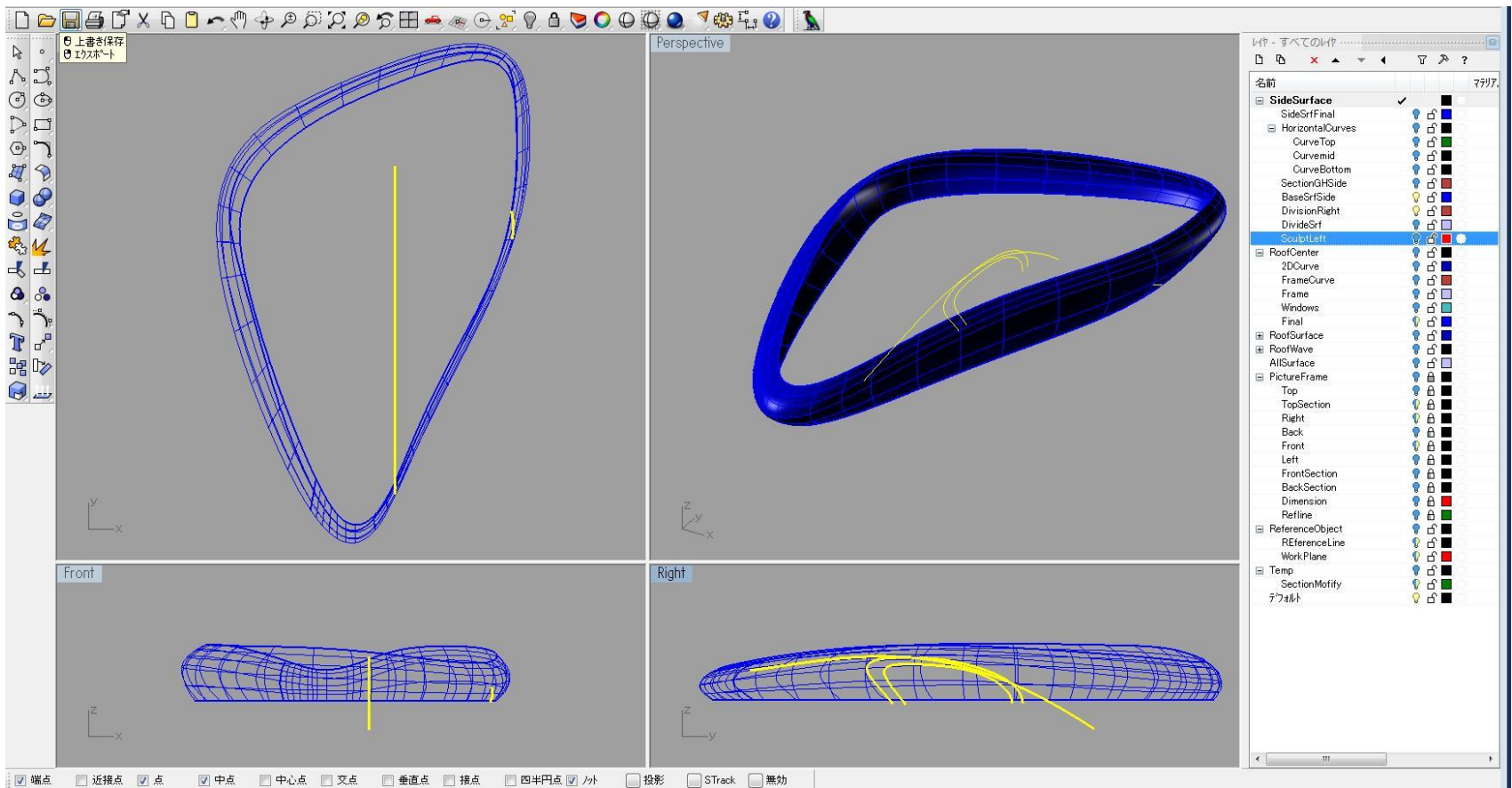
3次元サーフェスの作成（ルーフ部分 – 最終）



3次元サーフェスの作成（ルーフ部分 – 最終）

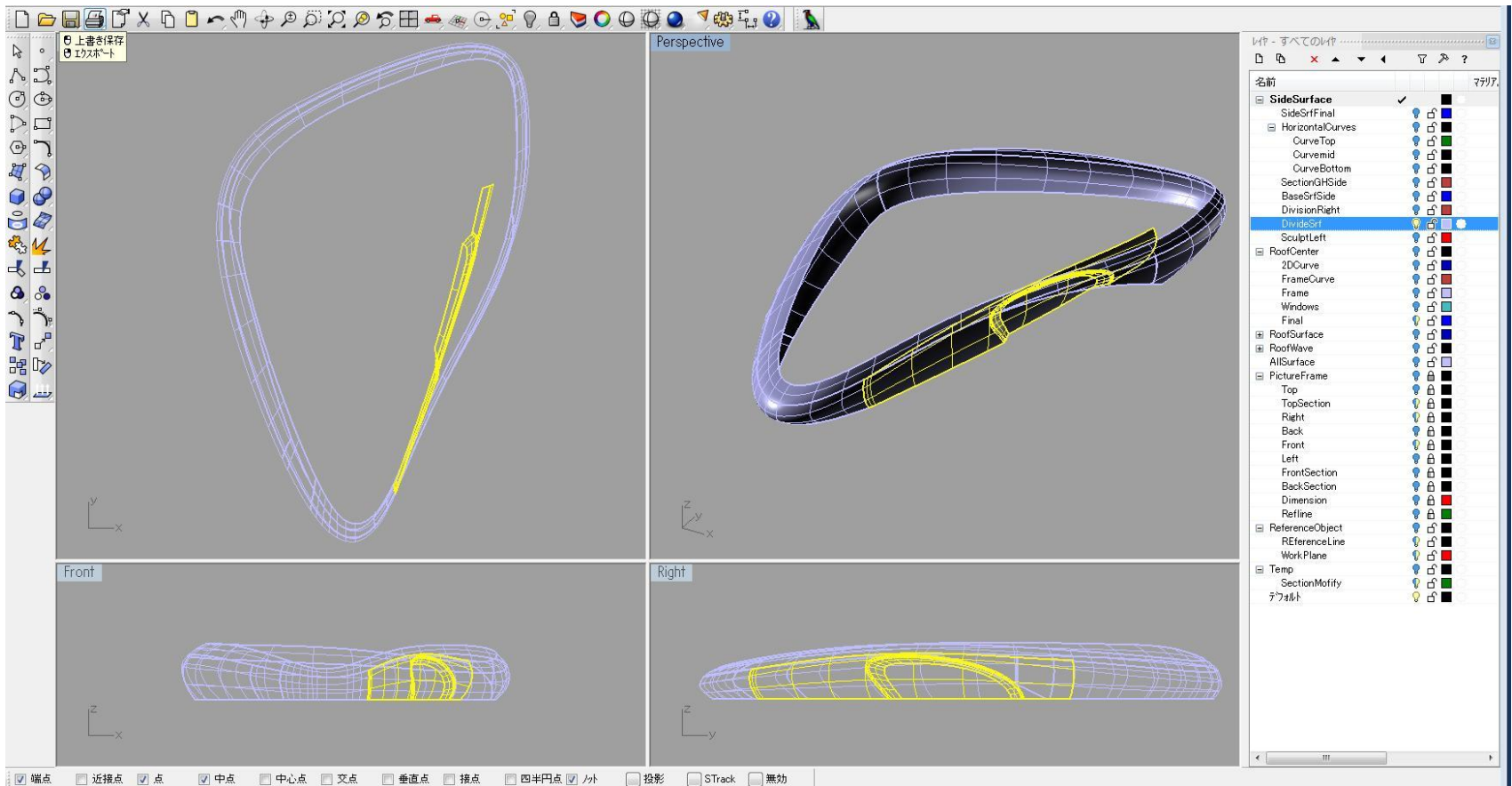


3次元サーフェスの分割（サイド部分）



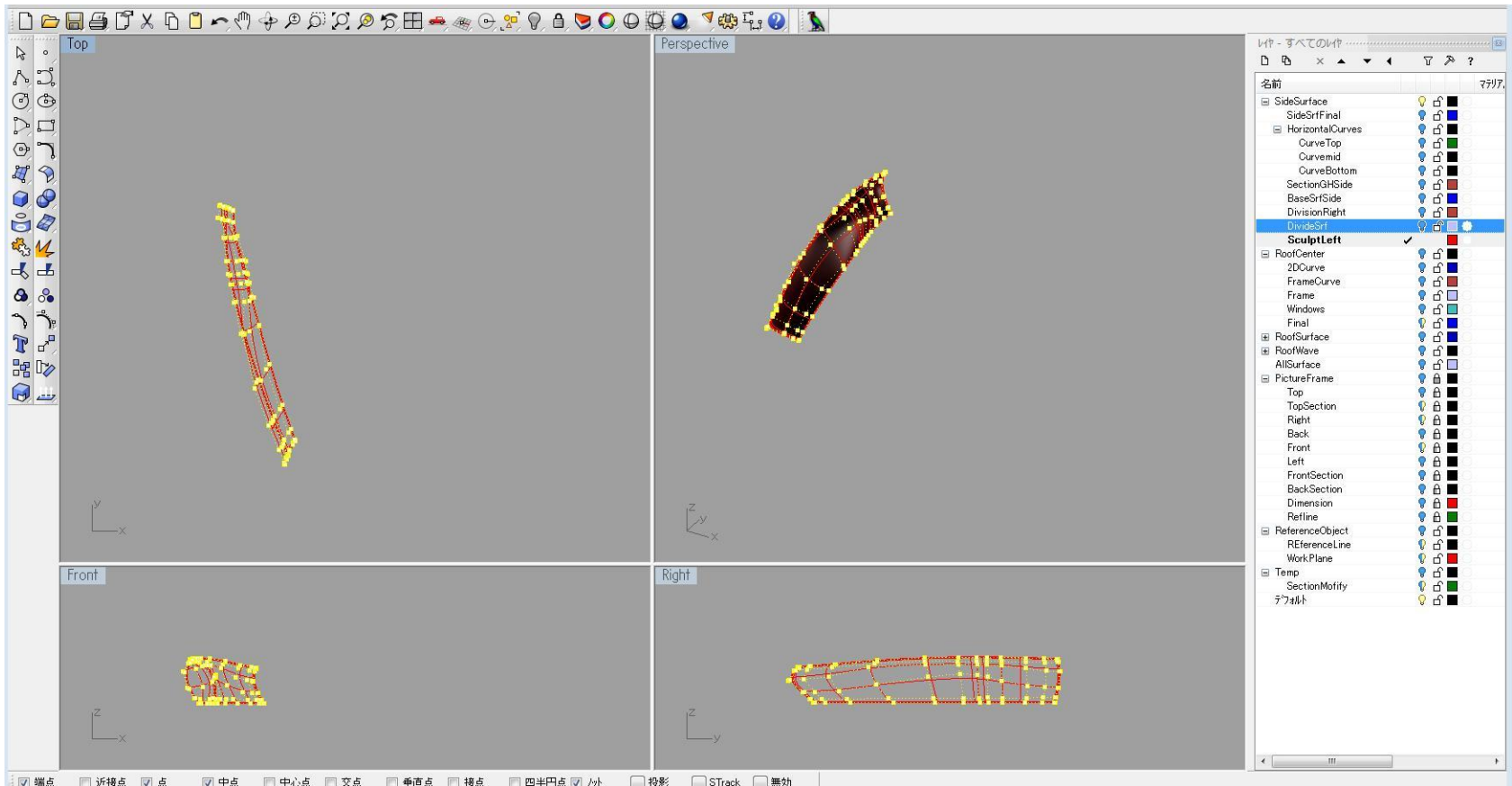
Split

3次元サーフェスの作成（ルーフ部分 – 最終）

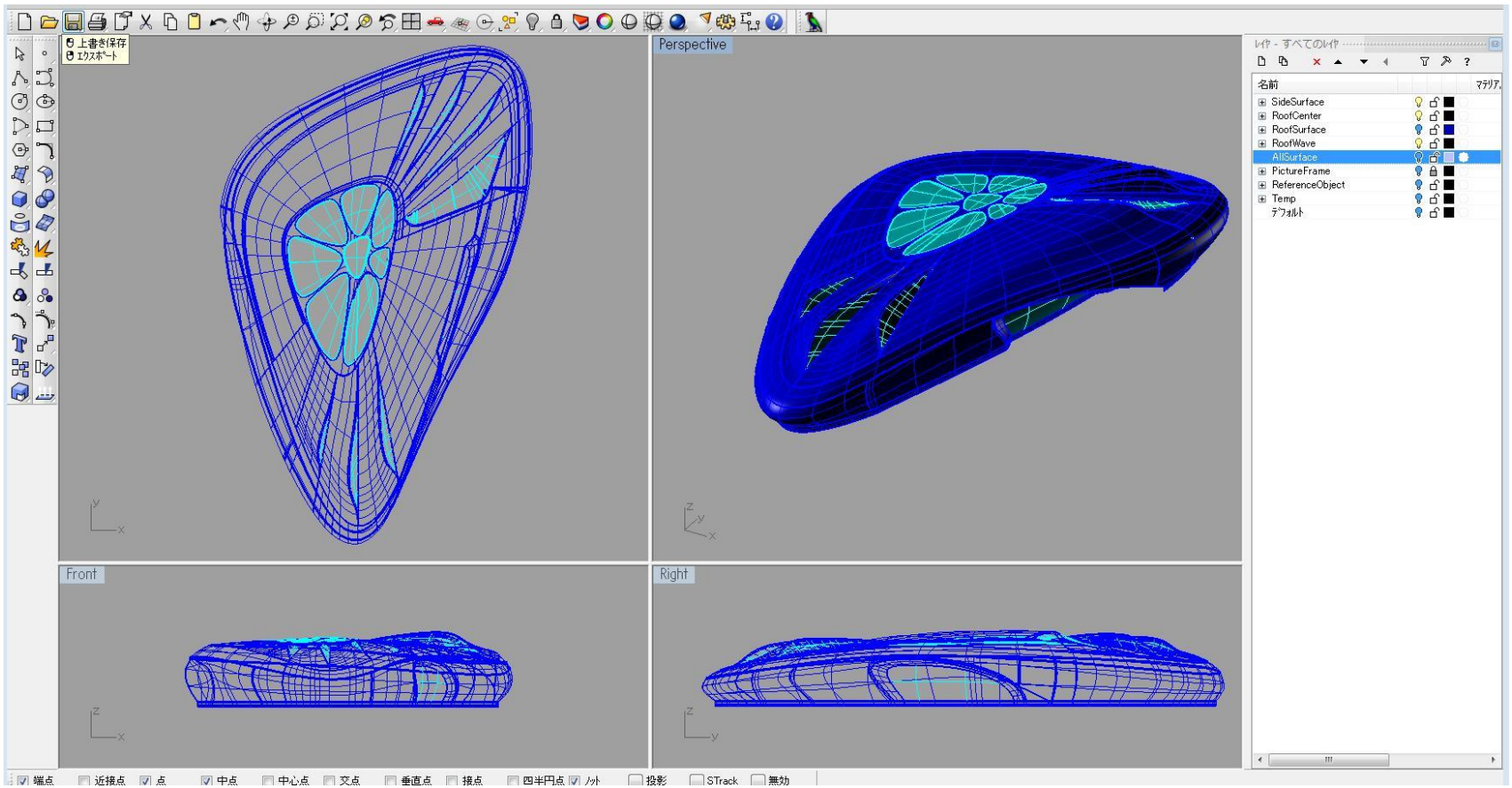


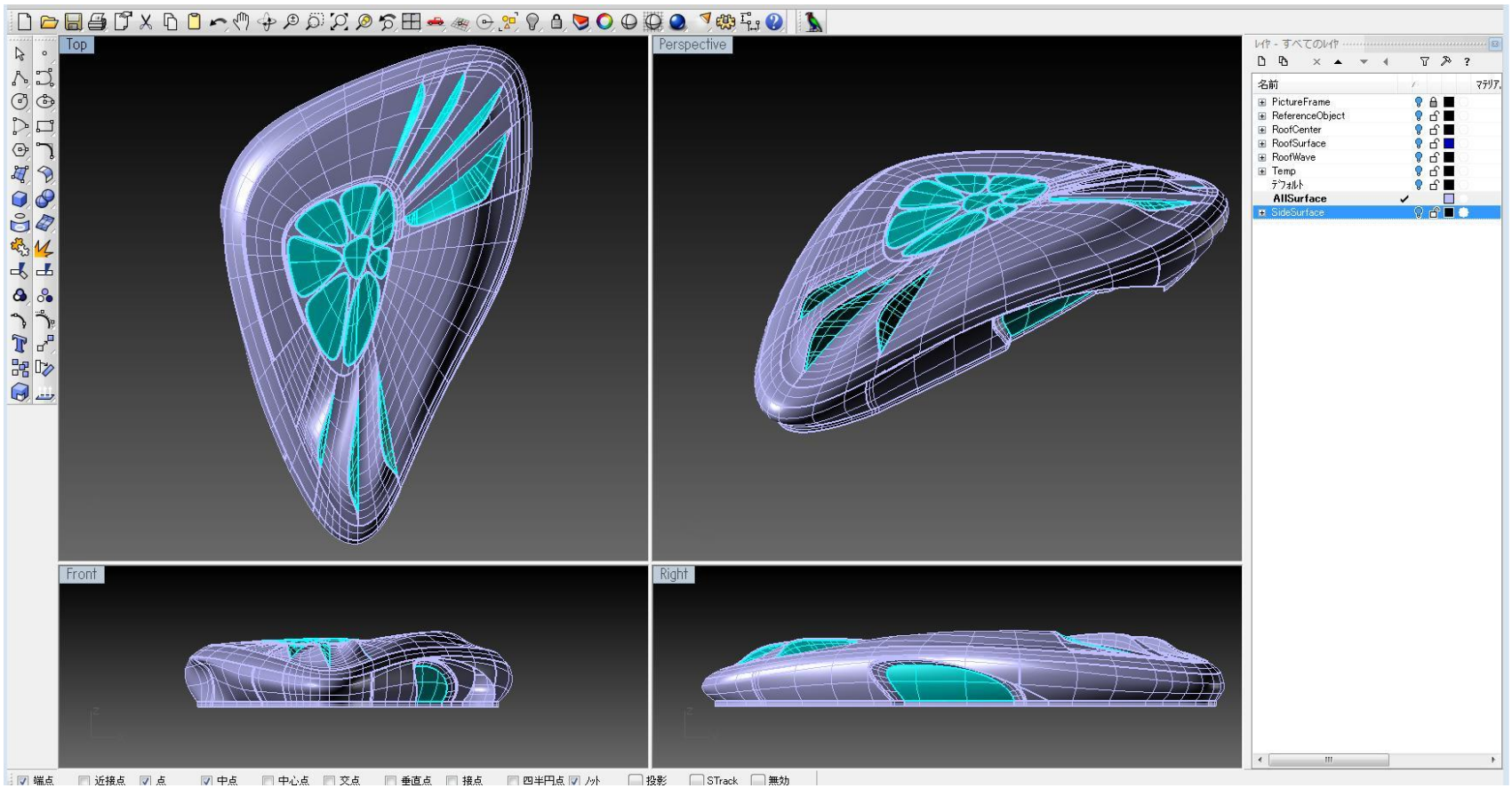
コントロールポイントの移動で面変形

3次元サーフェスの作成（スカラプティングによる編集）



Split オプション：アイソカーブでサーフェス分割
InsertKnot





ダウンロードモデル

Case:1 ZAHA Mobile Art Pavillion 2012年
<https://rutles.co.jp/download/390/3dm/5/MobileARTPV2013.zip>

Case:2 仮想のスタジアム 2013年
<https://rutles.co.jp/download/390/3dm/5/Stadium2013ALL.zip>

Case:3 未来の住宅 IERR2040 2019年
https://www.applicraft.com/upload/book/kj_1.zip

Case:4 NURBSの特性を意識したコンピューテーショナルモデリング（本日の主題）
後日、アプリアフトホームページスキルアップ集中講座にアップロード予定
<https://www.applicraft.com/2020spring/>

デモ途中で使用したNURBS関連のGrasshopperアルゴリズム
https://www.applicraft.com/cms/wp-content/uploads/2019/08/4-2_Nurbs.zip

書籍モデルデータは下記からダウンロード可能
<https://www.applicraft.com/bookdata-download/>

サンプルモデル・アルゴリズム
<https://www.applicraft.com/samplemodel-download/>