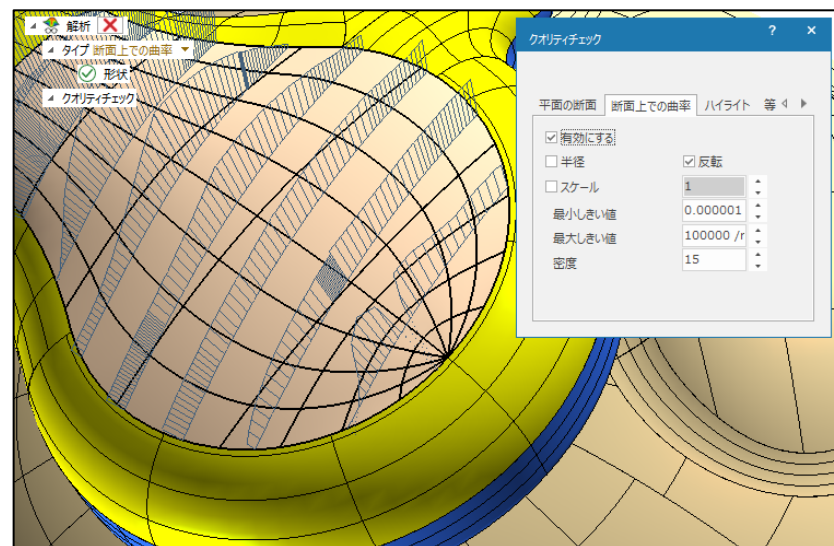


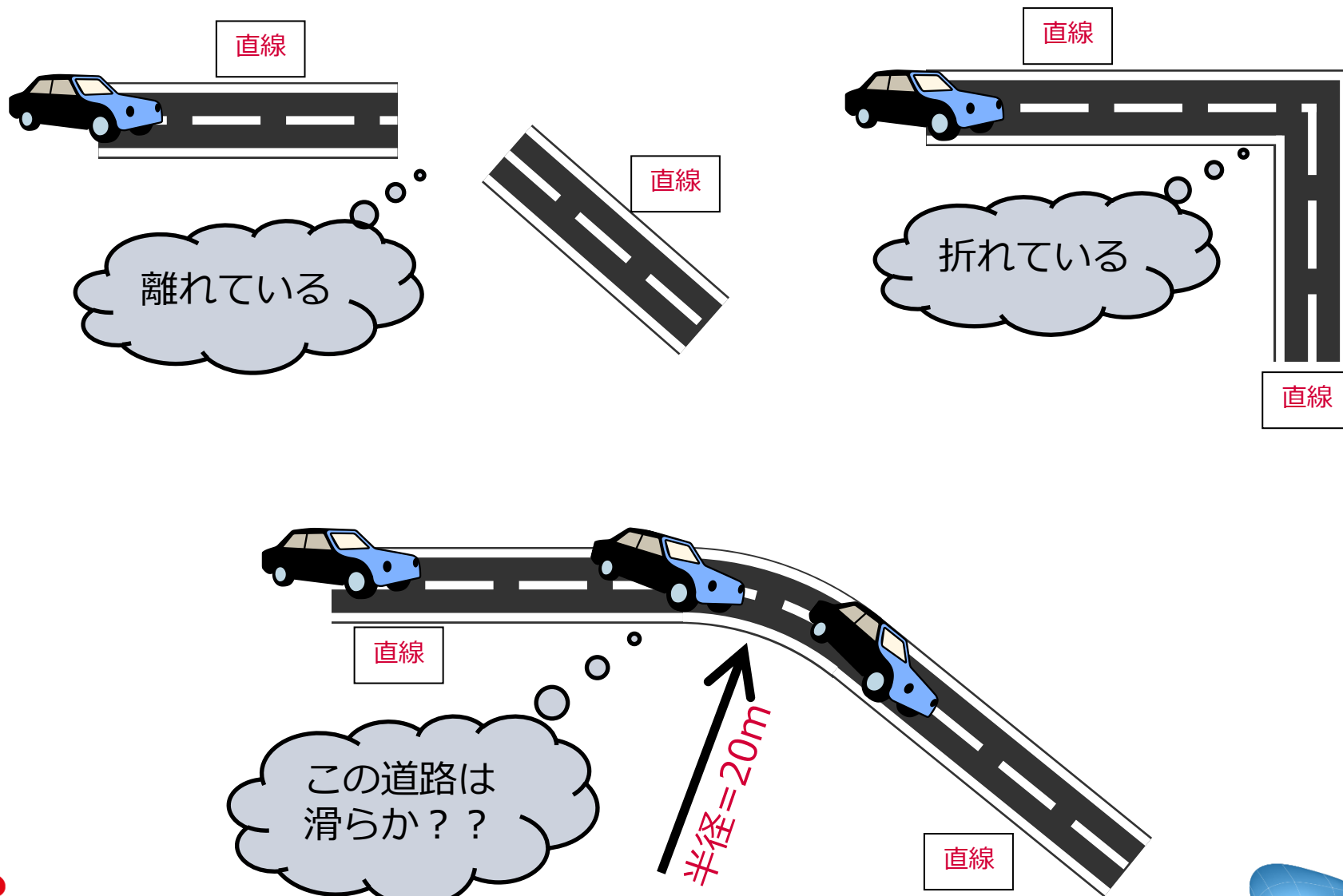
ThinkDesign 滑らかって何だ？

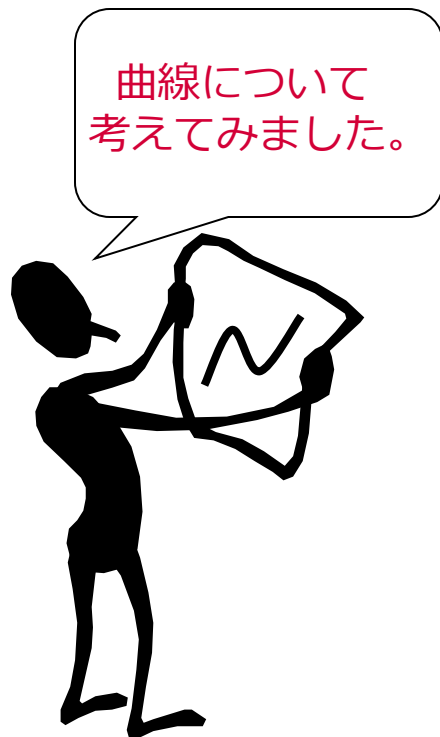
- 「滑らか」な道路とは？
- 滑らかさを表すキーワード
- 滑らかさの度合い
- 位置連続
- 接線連続
- 曲率連続
- 曲率とは？
- 接触平面とは？
- 曲率と接触平面
- ねじれ率とは？
- 曲率と接触平面とねじれ率
- 滑らかさの度合い（再）
- 再び、道路の例
- 道路を曲線に見立てると
- 「滑らかな」道路とは？（再）
- 連続性の確認方法
- 曲線の連続性と制御点
- 曲面の連続性の確認
- まとめ



「滑らか」な道路とは？

think3





接線連続

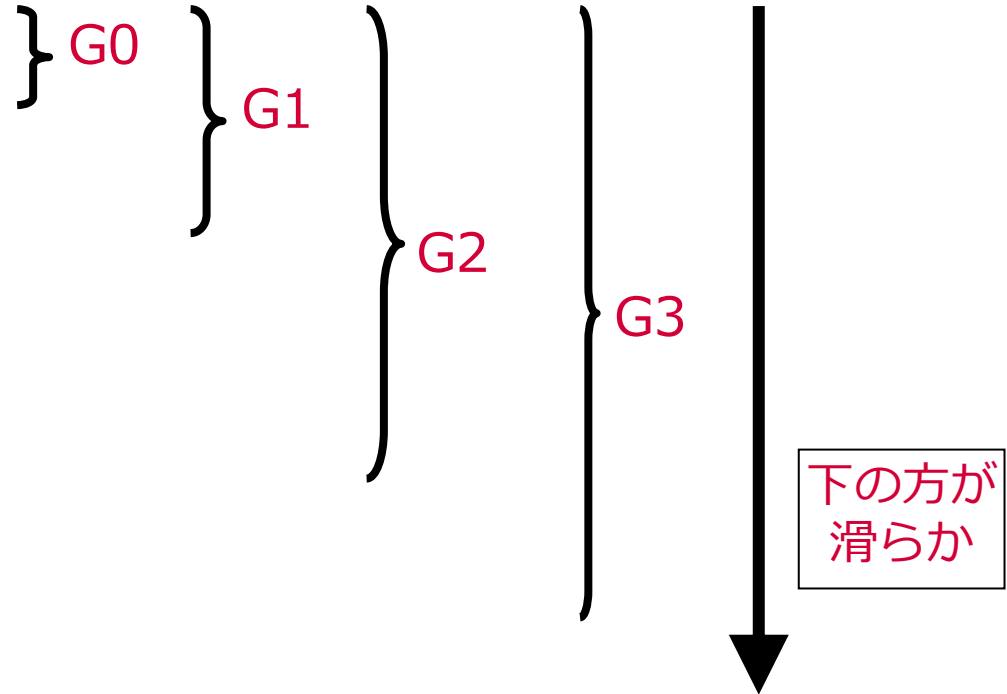
曲率連続

$G1, G2 \dots$

接触平面

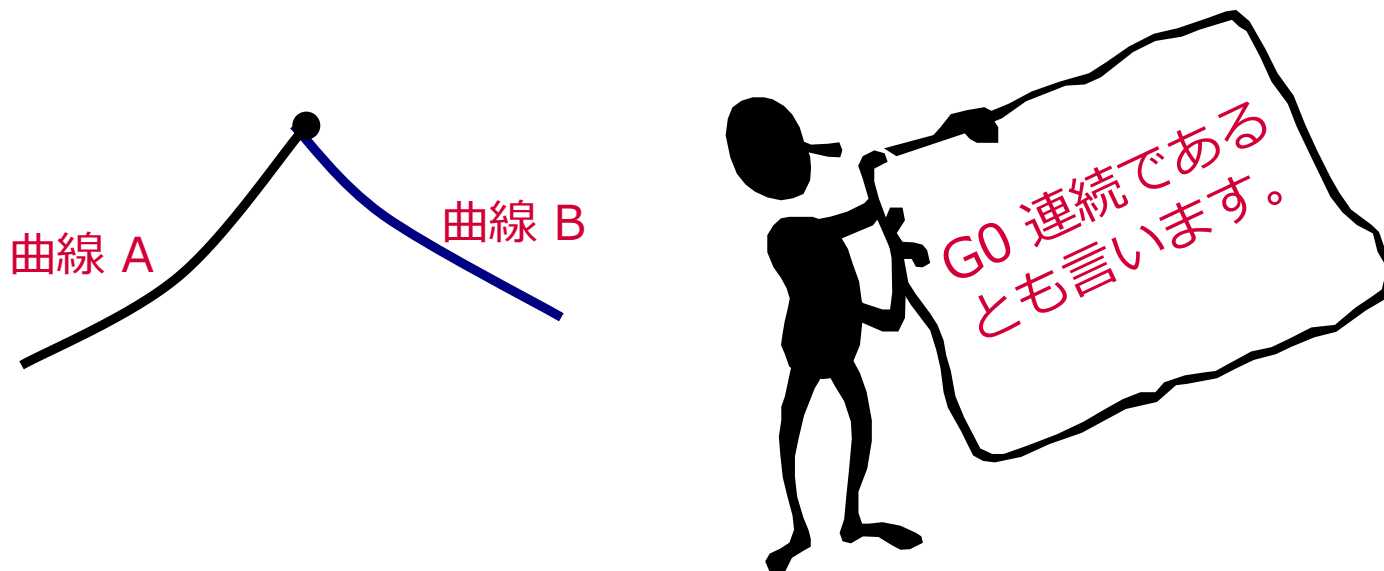
ねじれ率

- 位置連続
- 接線連続
- 曲率連続
- 接触平面
- ねじれ率

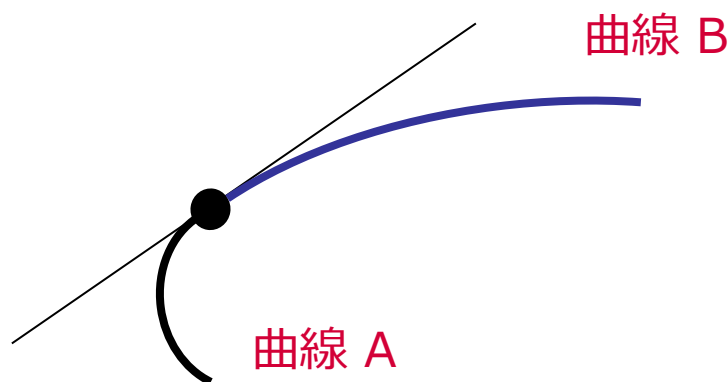


滑らかさは、このように表します。

- 曲線 A と曲線 B の端点の位置が一致しているとき、
 - 「曲線 A と曲線 B とは位置連続である。」



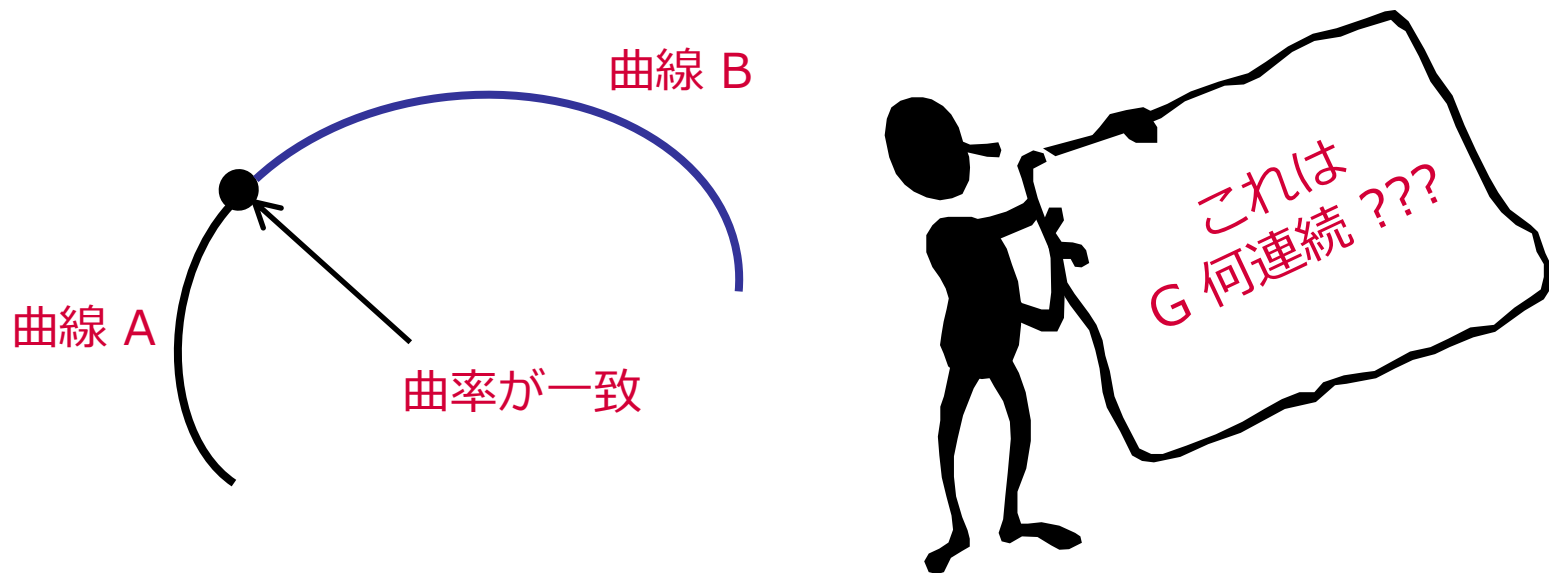
- 曲線 A と曲線 B とが G0 連続であり、かつ、その端点での接線の方向が一致しているとき、
 - 「曲線 A と曲線 B とは接線連続である。」



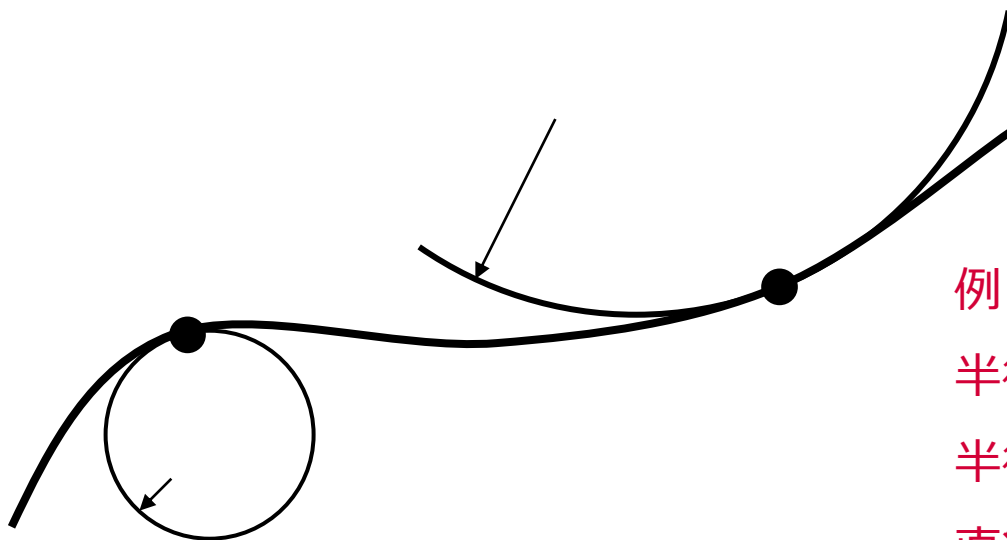
接線ベクトルの方向のみ。
大きさは問いません。



- 曲線 A と曲線 B とが G1 連続であり、かつ、その端点での曲率の値が一致しているとき、
 - 「曲線 A と曲線 B とは曲率連続である。」



- 曲線に、ある任意の点でフィットする円を考えたときの、その円の半径を「曲率半径」という。
 - 「曲率」 = $1 / \text{曲率半径}$
- 曲線の曲がり具合（直線からの離れ具合）



例：

半径10 → 曲率 = $1/10 = 0.1$

半径100 → 曲率 = $1/100 = 0.01$

直線 = 半径 ∞ → 曲率 = $1/\infty = 0$

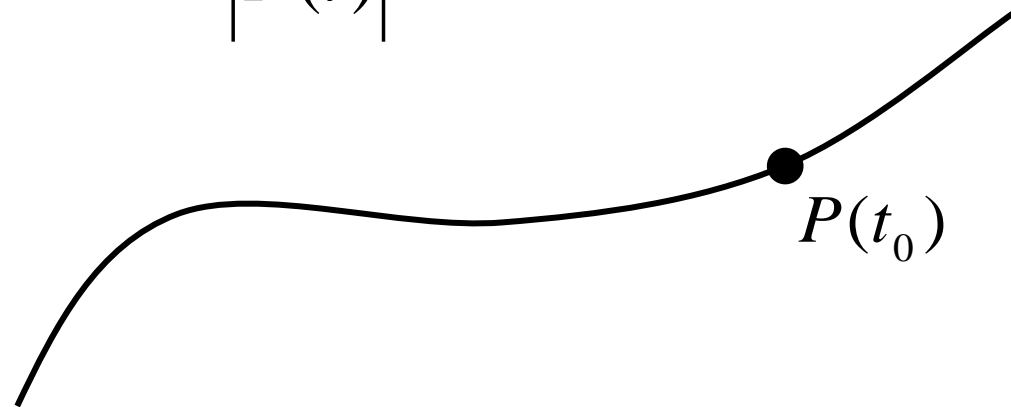
曲率とは？ – 数学的には

- 曲線を下記の様にパラメトリック表現したとき、

$$P(t) = [x(t) \ y(t) \ z(t)]$$

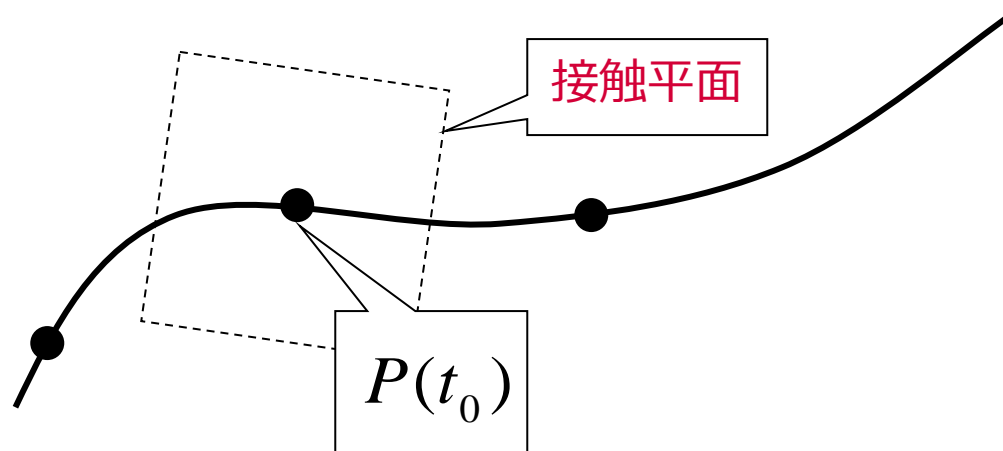
- 曲率 κ

$$\kappa(t) = \frac{|\dot{P}(t) \times \ddot{P}(t)|}{|\dot{P}(t)|^3}$$



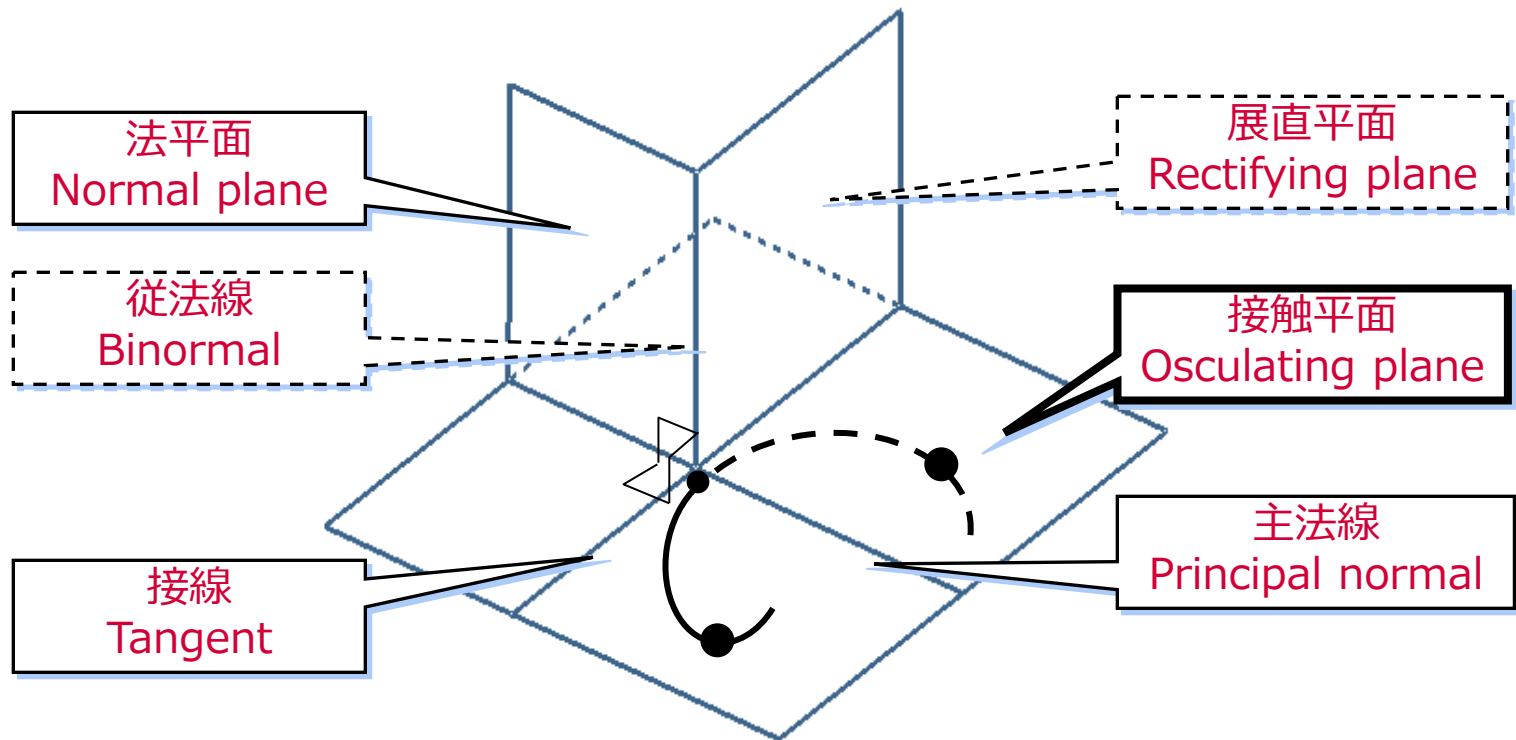
接触平面とは？

- 曲線 A 上に点 $P(t_0)$ を中心とする 3 つの点を考えます。
 - 3 点あれば、平面が定義できます。
- 両脇の 2 点を点 $P(t_0)$ に果てしなく近づけた場合を考えます。
 - この極限時の平面を、「接触平面」と言います。
- 点 $P(t_0)$ において、
曲線 A に最もフィットする平面とも言えます。

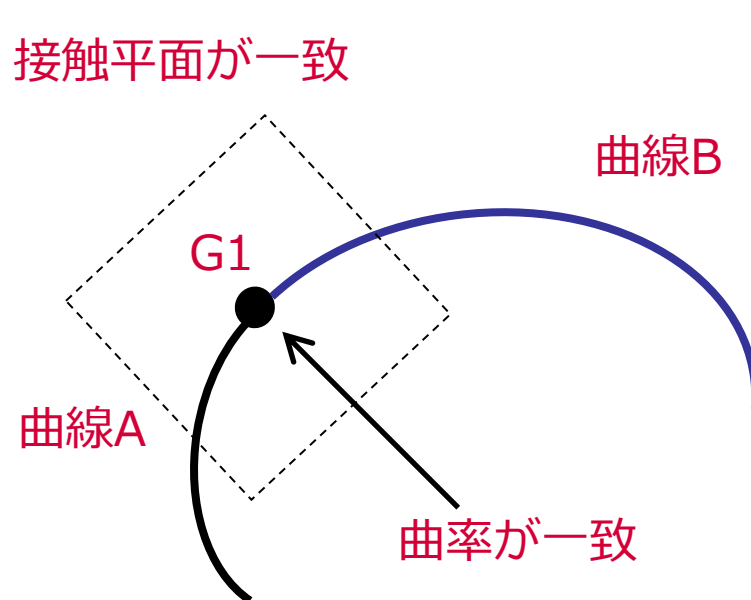


接触平面とは？（２）

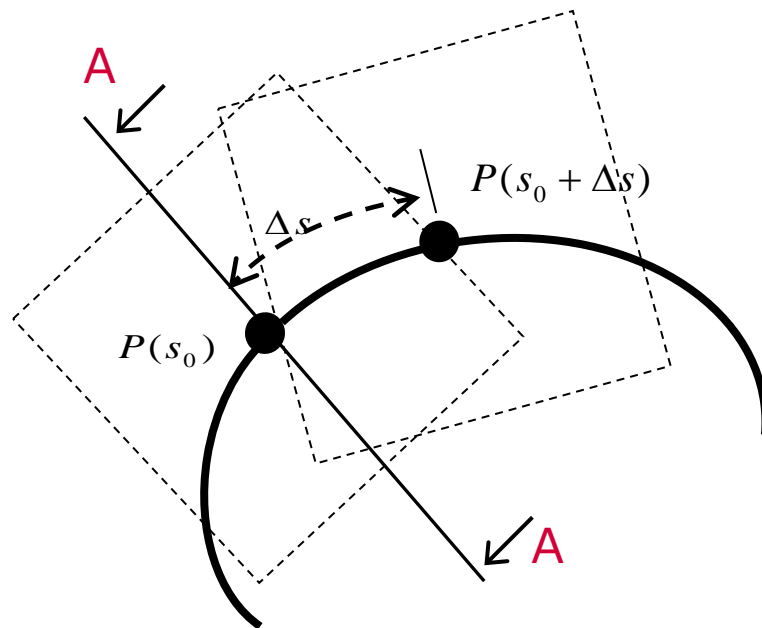
- 曲線 A が平面曲線ではない場合も同じ。



- 曲線 A と曲線 B とが G1 かつ曲率連続であり、かつ、その端点での接触平面が一致しているとき、
 - 「曲線 A と曲線 B とは G2 連続である。」



- 曲線 A 上で $P(s_0)$ と $P(s_0 + \Delta s)$ における接触平面を考えます。
- 2つの接触平面間の角度を $\Delta\phi$ とおき、 Δs を果てしなくゼロに近づけた極限を考えます。
 - この時の極限值をねじれ率と言います。
- この値は $P(s_0)$ における単位距離あたりの接触平面の変化角度を示しており、 $P(s_0)$ における、接触平面の変化の割合とも言えます。



$$\tau = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta\phi}{\Delta s}$$

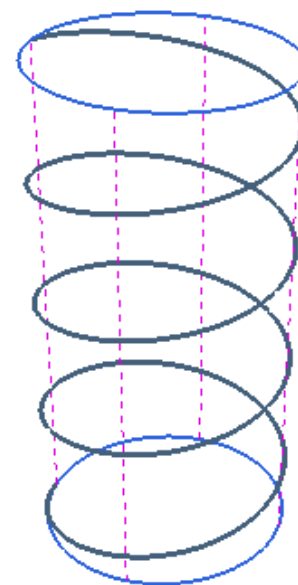
Sec A-A

ねじれ率（ τ ）とは？

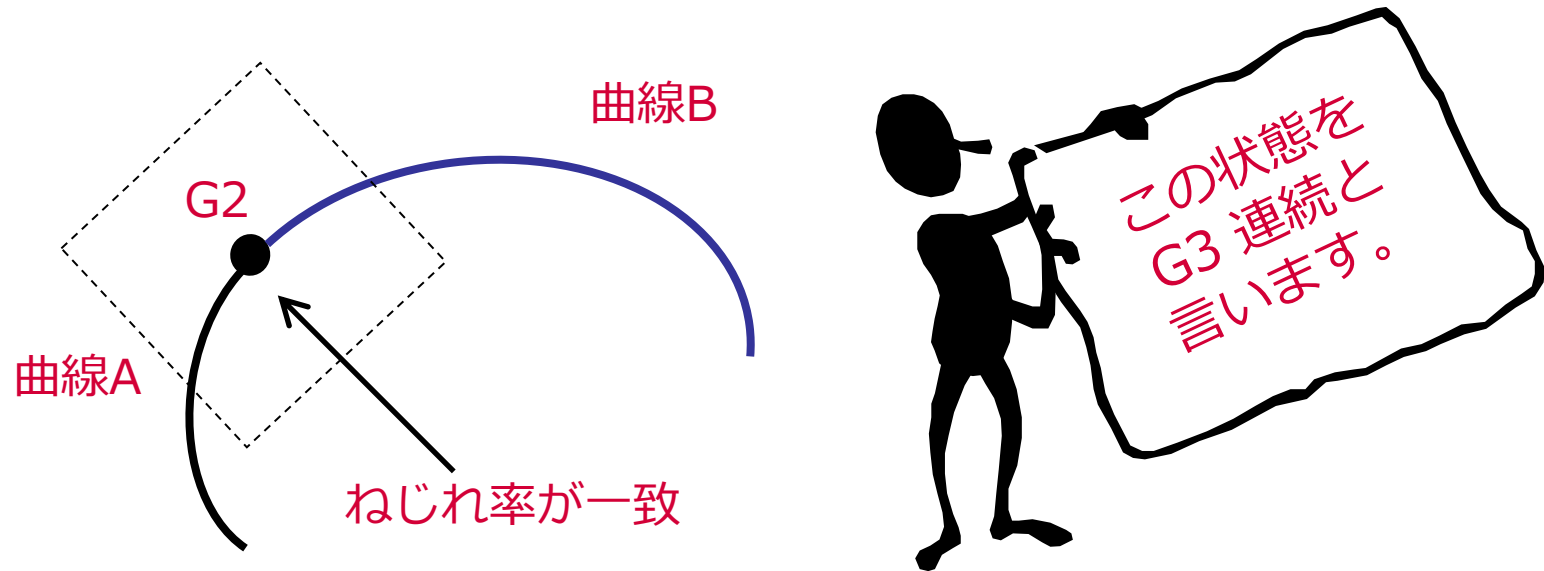
- 曲線の非平面性を表す。平面曲線の場合は 0。
- 「捩率」（れいりつ）とも言う。
 - 参考： 数学的には次式で表現します。

$$\tau(t) = \frac{\det(\dot{P}(t), \ddot{P}(t), \dddot{P}(t))}{|\dot{P}(t) \times \ddot{P}(t)|^2}$$

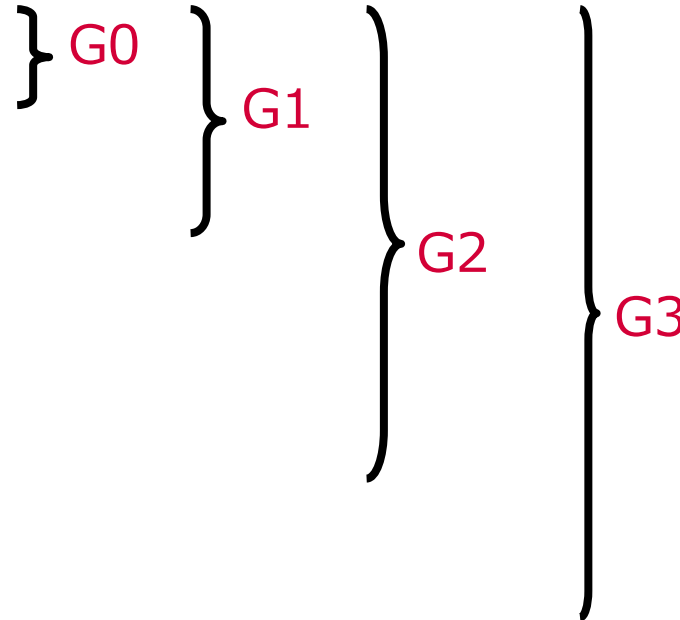
- 曲率とねじれ率とがともに一定な曲線
→ つるまき線



- 曲線 A と曲線 B とが G2 連続であり、かつ、その端点でねじれ率が一致しているとき、
 - 「曲線 A と曲線 B とは G3 連続である。」



- 位置連続
- 接線連続
- 曲率連続
- 接触平面
- ねじれ率

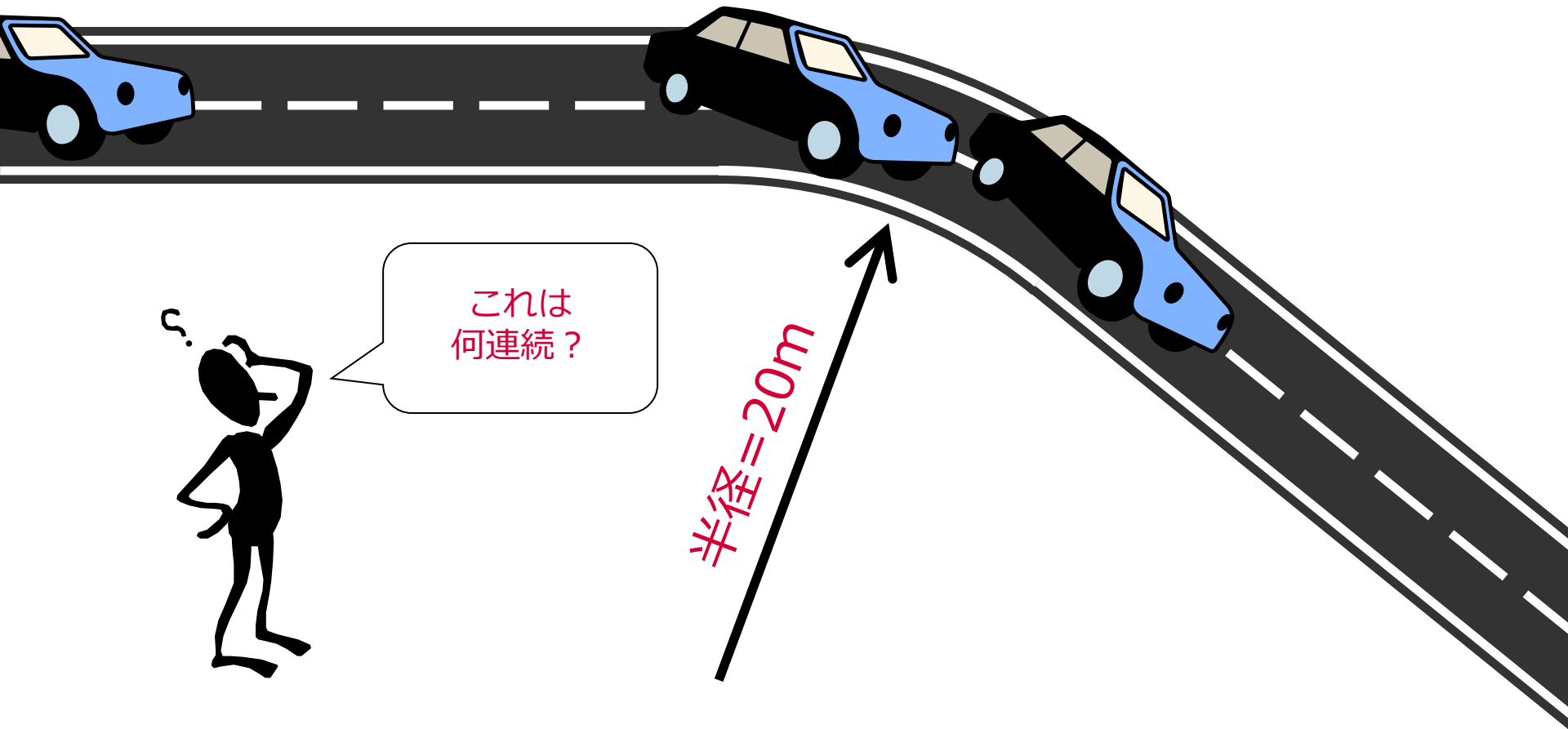


※一般的には、人間の目で違いを認識できるのは
G2 までとされています。

※「フィレット」は必ず G1（接線連続）です。

再び、道路の例

think3



道路を曲線に見立てると

think3

曲率が連続していない！

→ 連続性は G1 (接線連続)

急ハンドル

一定

急ハンドル

直線
↓
半径無限大
↓
曲率 0

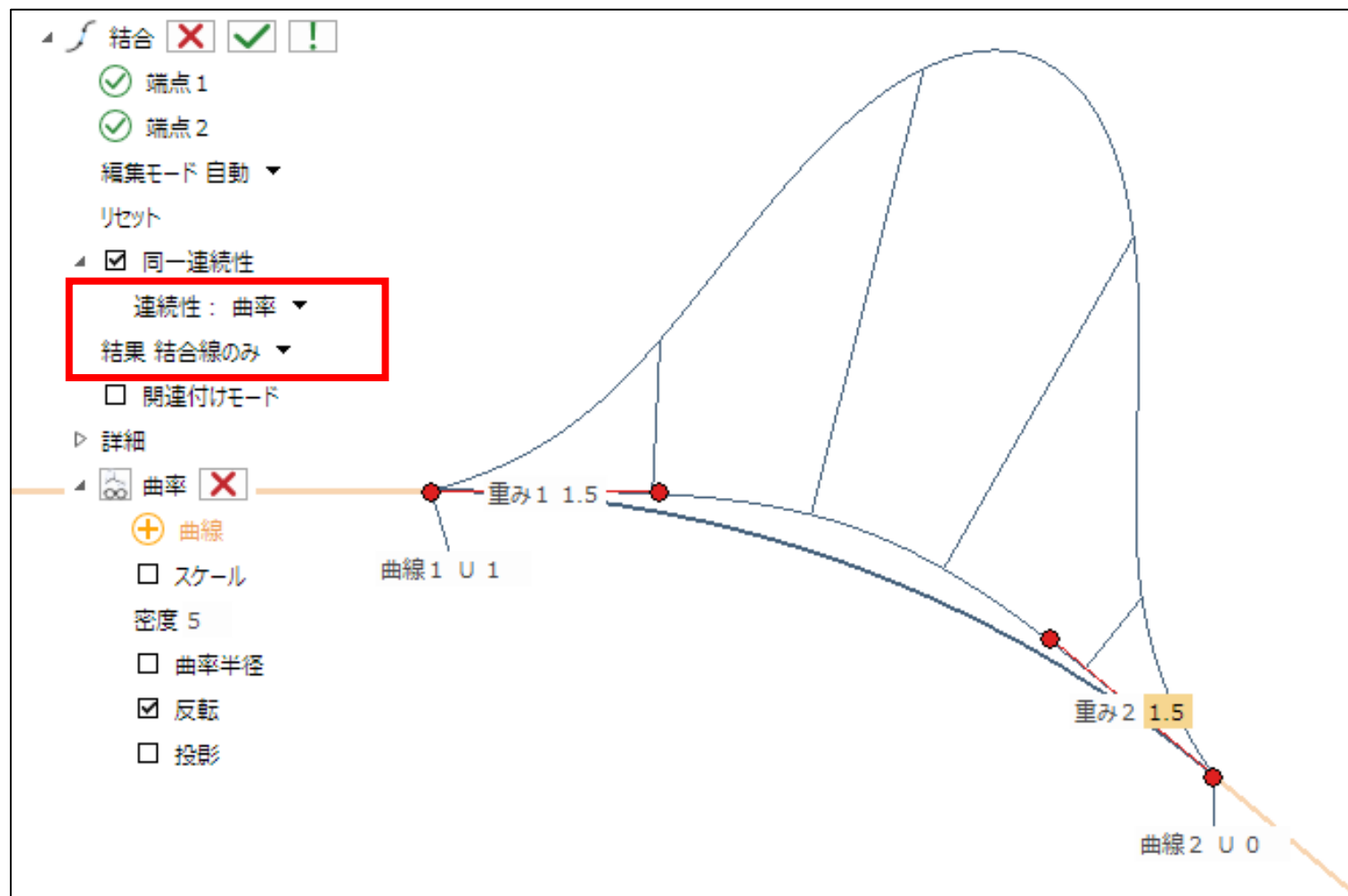
曲率が
急激に
変化

円弧
↓
半径一定
↓
曲率一定

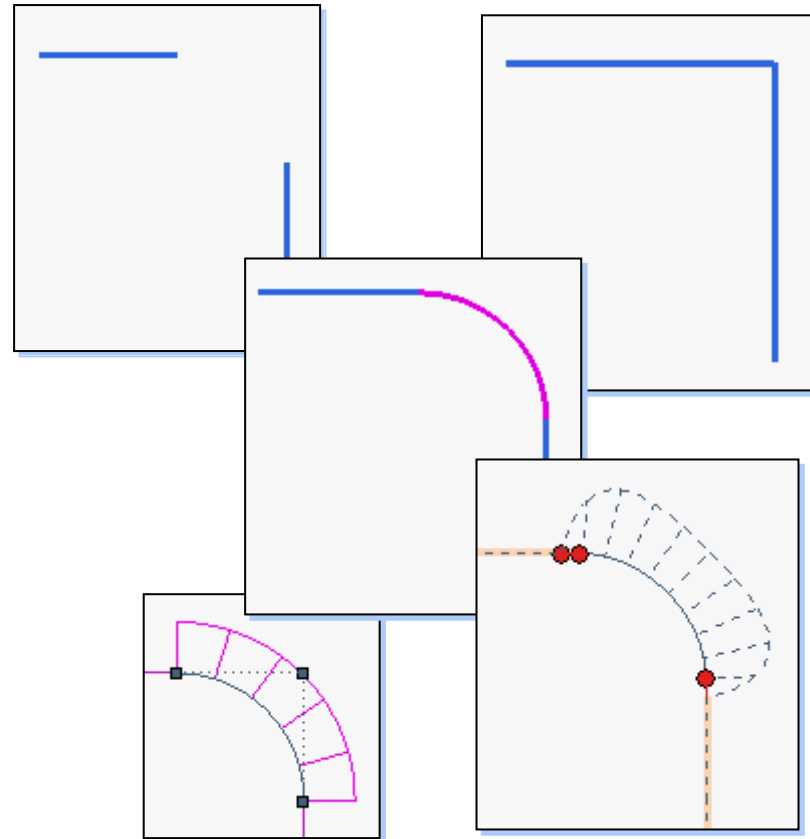
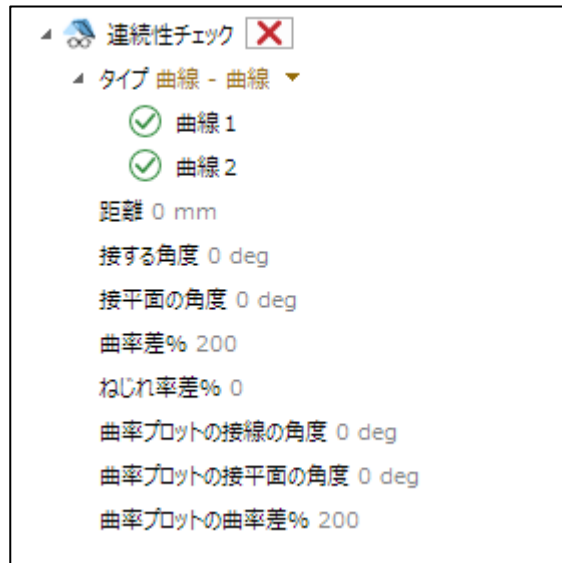
曲率が
急激に
変化

滑らかな道路とは？（再）

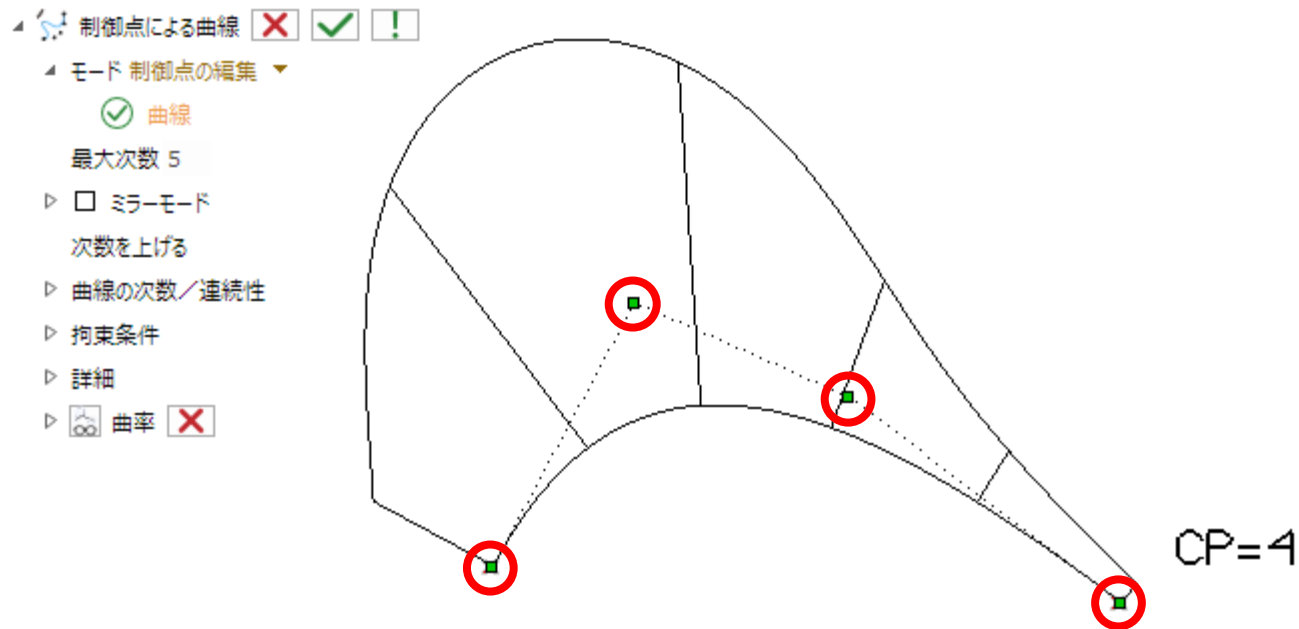
think3



- 連続性チェックコマンド
(ツール／情報／連続性チェック)
 - ThinkDesign のコマンドで見る連続性

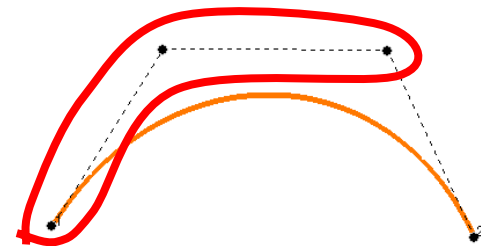
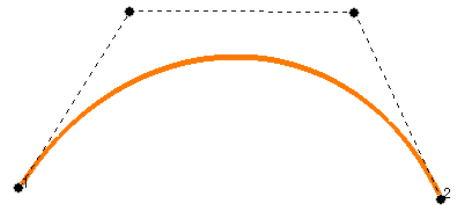
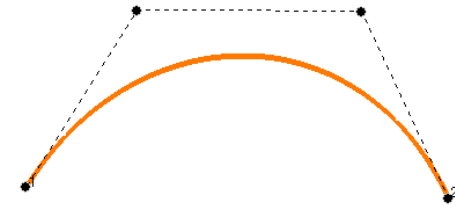


- 曲線と制御点
 - 曲線は制御点を持つ
 - ThinkDesign では、曲線は NURBS 形式(*)で表現される

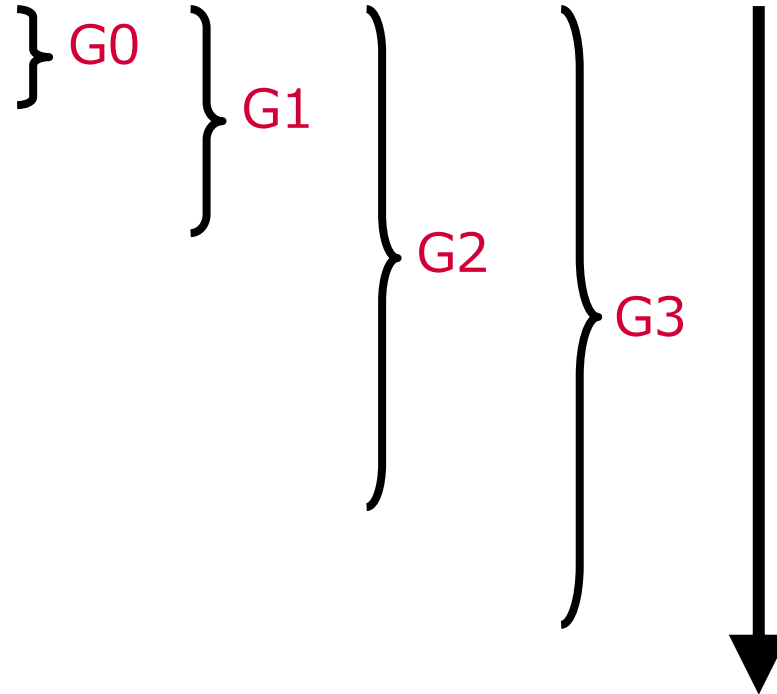


※ (*) NURBS: Non Uniform Rational B Spline
非一様有理Bスプラインなどと訳される。曲線の表現形式の1つ。
滑らかで不自然な歪みが出にくい、円錐曲線なども近似することなく正確に表現できるなどの特徴がある。

- 曲線と制御点の関係
 - 端部の制御点で、
曲線端部の位置が決まる。
 - 端から 2 つの制御点で、
曲線端部の接線ベクトルが決まる。
 - 端から 3 つの制御点で、
曲線端部の曲率が決まる。

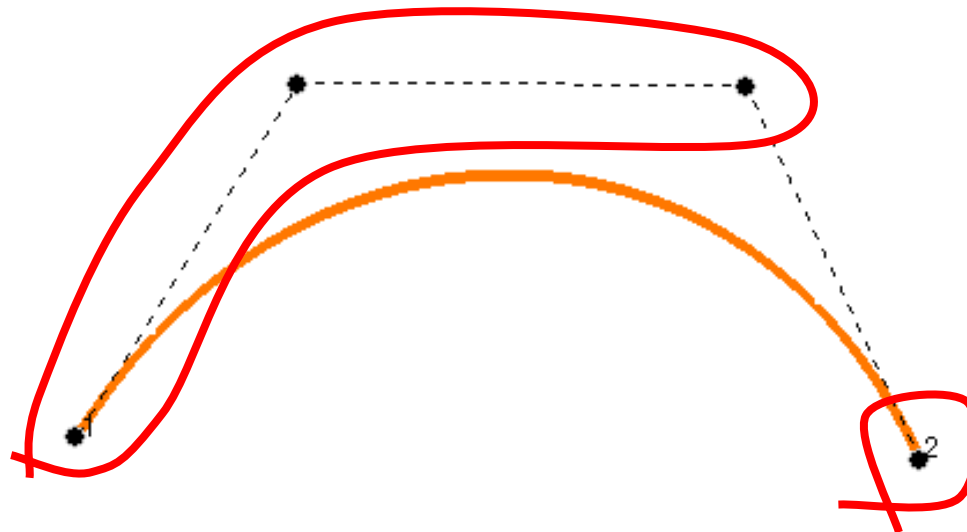


- 位置連続
- 接線連続
- 曲率連続
- 接触平面
- ねじれ率



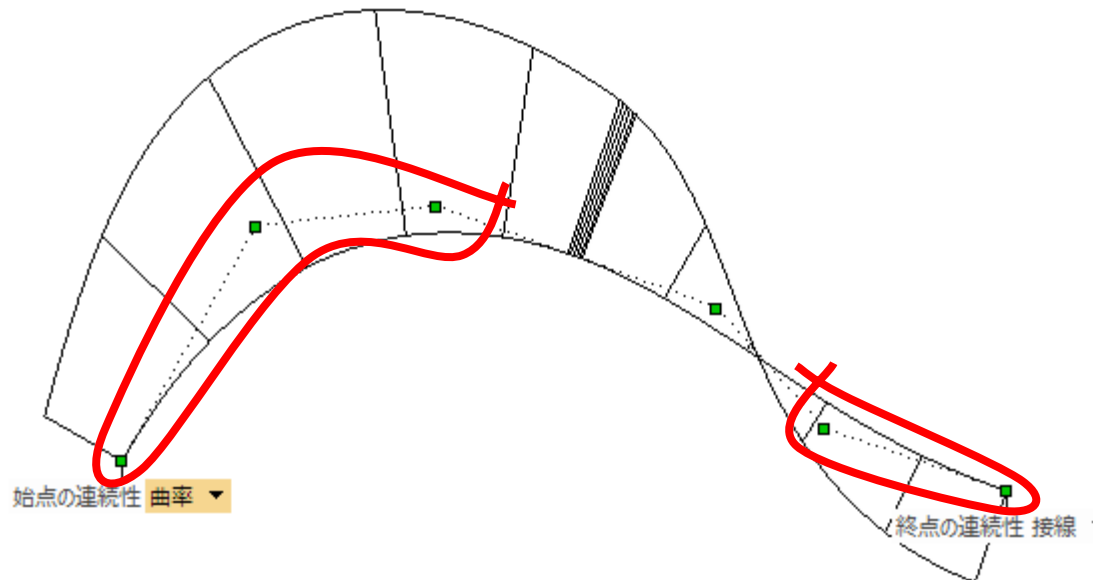
1 つ下に降りるごとに
制御点が 1 つ必要

- 編集時の制限
 - 例えば下図の曲線で、左から3つの制御点を使用してしまうと、右端は接線方向も指定できない。



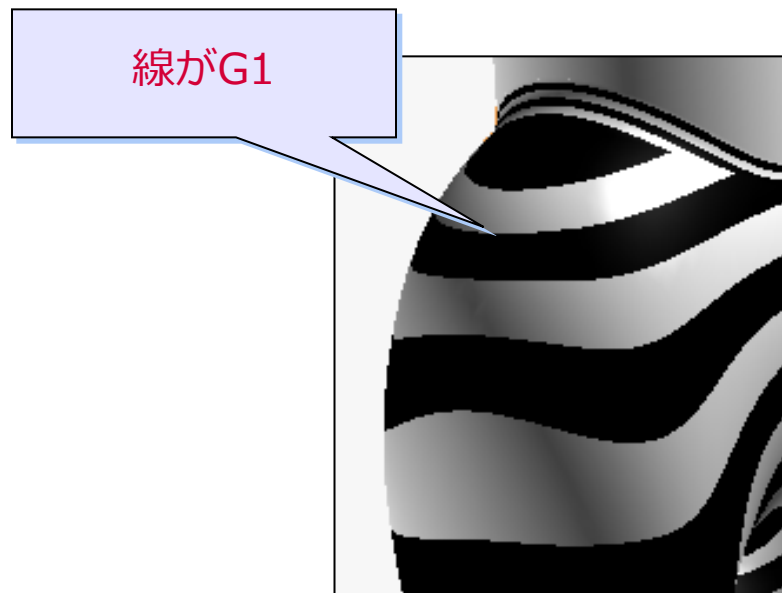
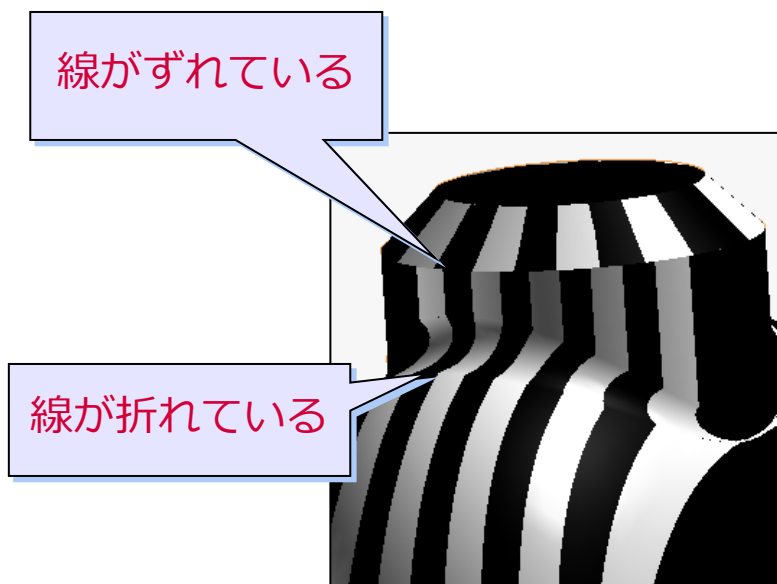
- 制御点の数が少ないと、形状表現に制限が発生します。

- 連続性を保ったままで編集するには？
 - 曲線の端部の連続性を保ったまま形状を変更するには？



- 端部における条件を拘束しながら編集する。

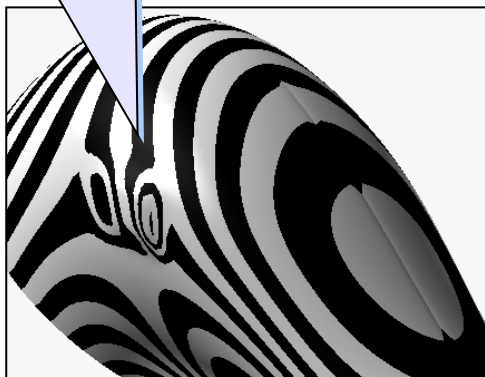
- ゼブラシェーディング（定性的に確認）
 - 線がずれている（線が G0 でない）→ 面は G0 連続
 - 線が G0 連続 → 面は G1 連続
 - 線が G1 連続 → 面は G2 連続



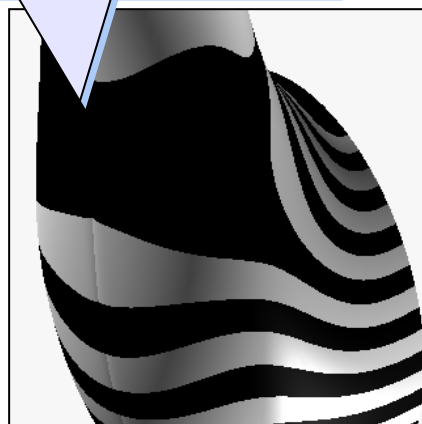
曲面の連続性の確認 2

- ゼブラの形状からわかること
 - ループしている → 「丘」や「盆地」
 - 幅が広い → より平面的（曲率が小さい）
 - X型 → サドル状

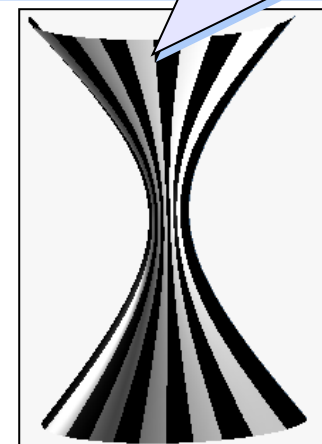
ループしている



幅が広い

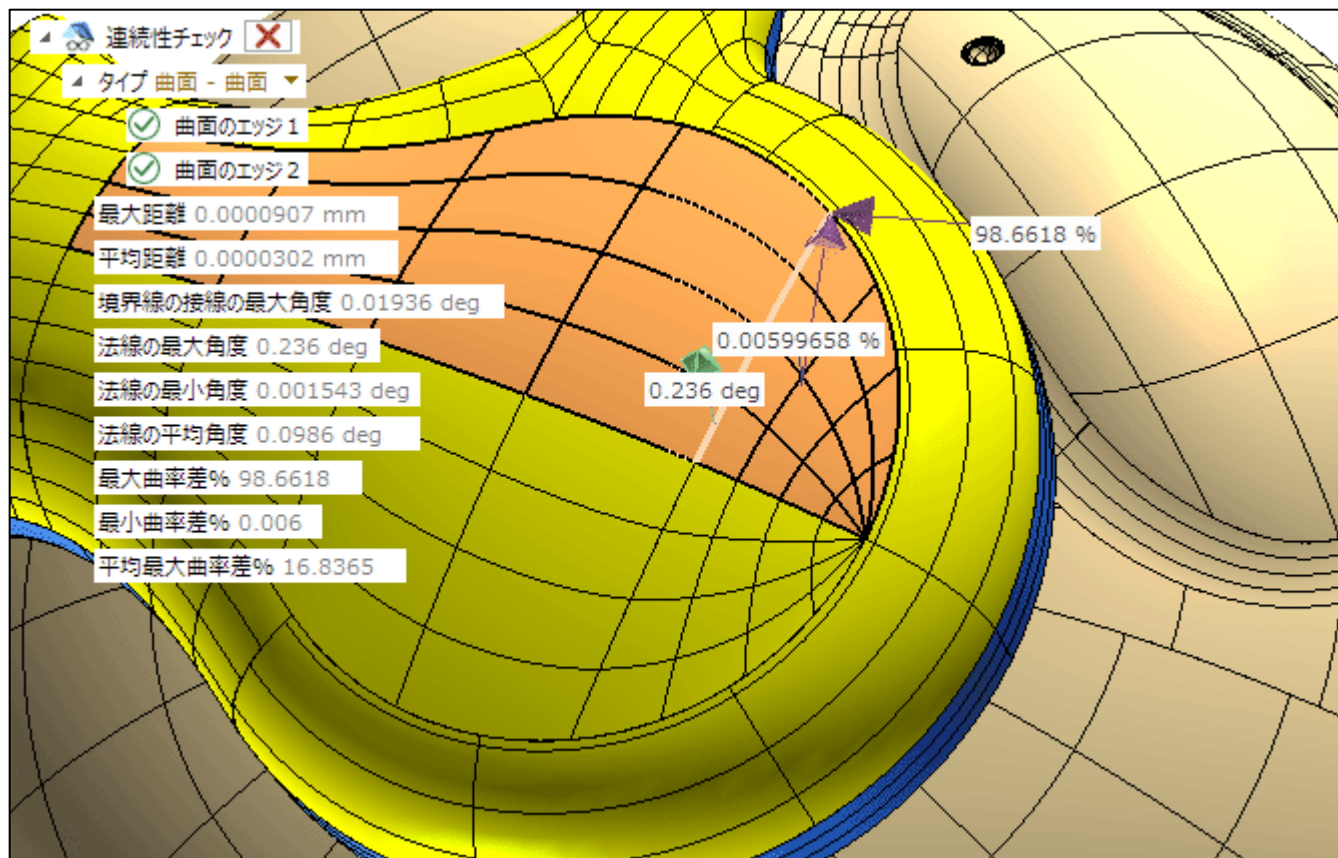


X型



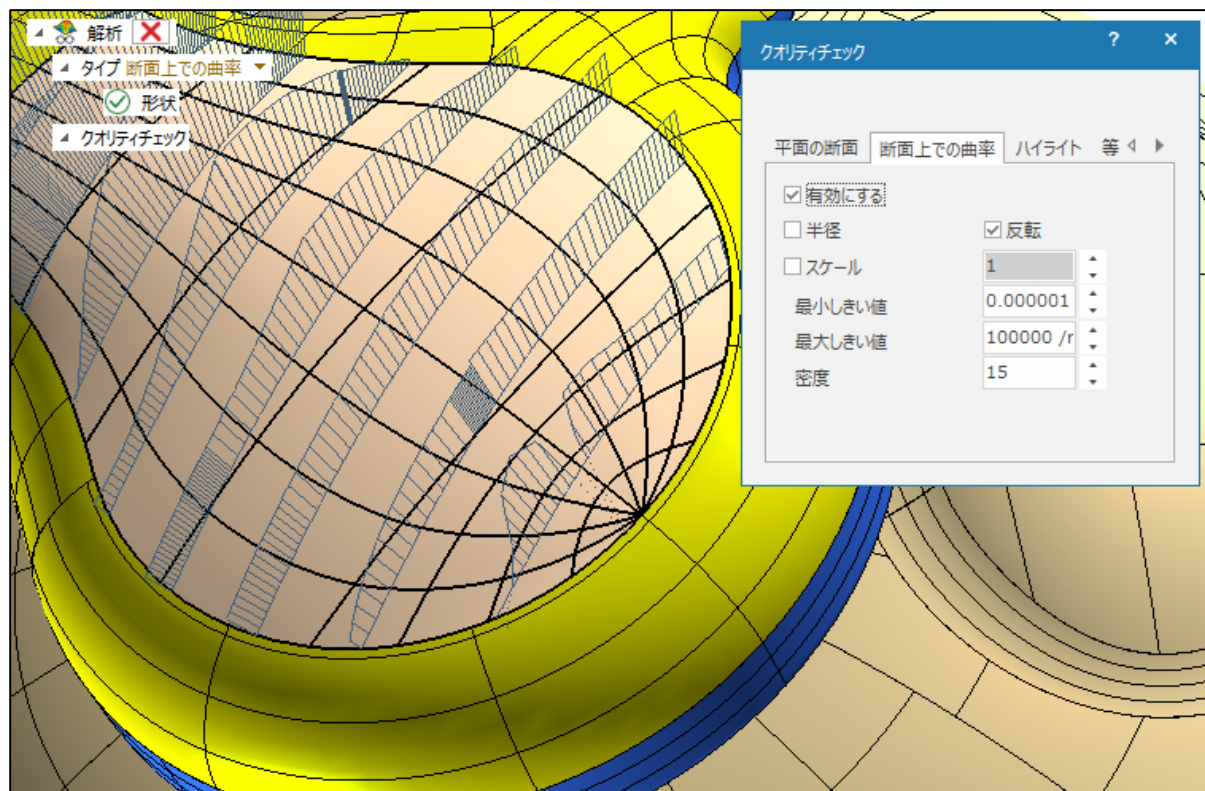
曲面の連続性の確認 3

- 連続性チェック（定量的に確認）



曲面の連続性の確認 4

- 平面の断面 & 断面上での曲率
 - 形状をある断面で切断した時の断面曲線の曲率を表示



- 「滑らか」と言っても、その度合いには色々あります。
- ThinkDesign では滑らかさの度合いを様々に制御することができます。
- 適切な知識で、適切な形状を作成することを心がけると良いでしょう。
 - 常に高い連続性が良いとは限りません。

