

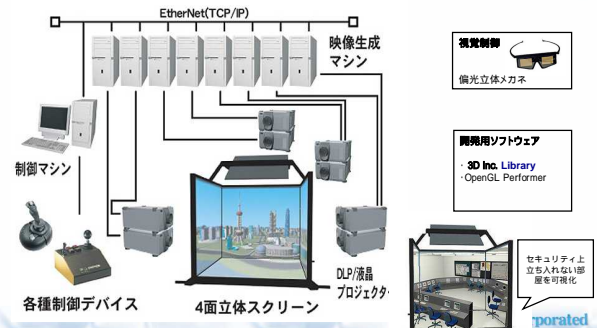
触れるCAVEを実現する、
リアルタイム干渉深度計算エンジン

SmartCollision

株式会社スリーディー
営業本部 岩田憲治



Visionary Space® 上海都市計画局展示館/つくば産総研等



力覚デバイス PHANTOM

デバイス PHANTOM Omni + 開発ツールキット OpenHaptics Toolkit



SmartCollision



SmartCollisionとは？

何はともあれムービーを見ていただきましょう

- ▶ **ポリゴンベース**のCollision detection Library
 - Voxelベース(BoeingのVPS等)と比較して高精度
- ▶ **非凸オブジェクト間**の干渉深度を計算できる
 - 従来は凸オブジェクト間の干渉深度のみ(UNCのDEEP等)
 - **干渉フリー**の仮想オブジェクトの操作が可能
 - 動的な仮想環境下での**Collision reaction**を提供
 - オブジェクト間の**反力(接触力)**の計算が可能

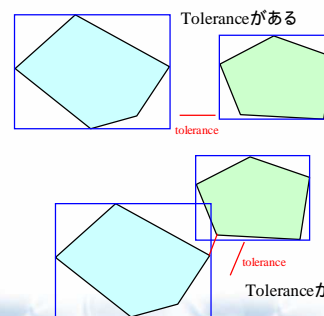


Collision Detectionの種類

- ▶ (1) 許容距離の検証(Tolerance verification)
- ▶ (2) 干渉の判定(Intersection detection)
- ▶ (3) 距離の計算(Distance computation)
- ▶ (4) **干渉深度の計算(Penetration depth computation)**



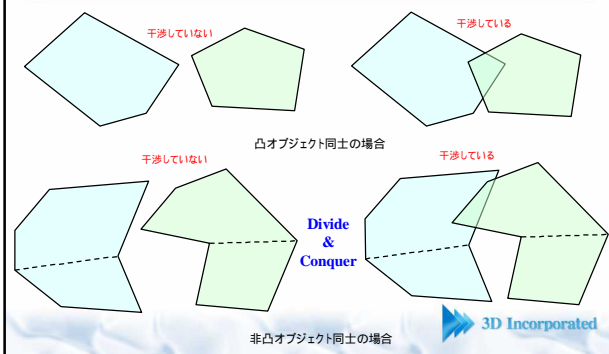
(1) 許容距離の検証(Tolerance verification)



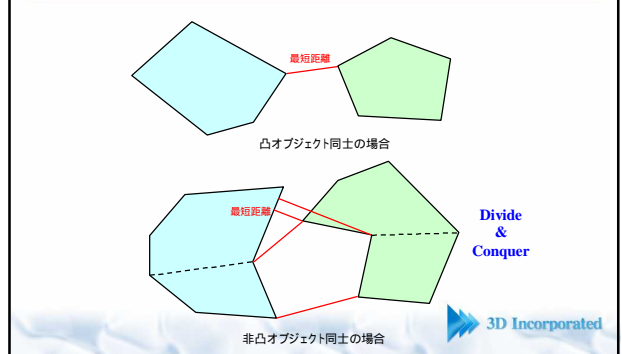
- オブジェクト間の距離が許容距離(tolerance)以上あるかどうかの判定
- Toleranceが0のときは、intersection detectionと同じ
- Divide&Conquerが適用できる。



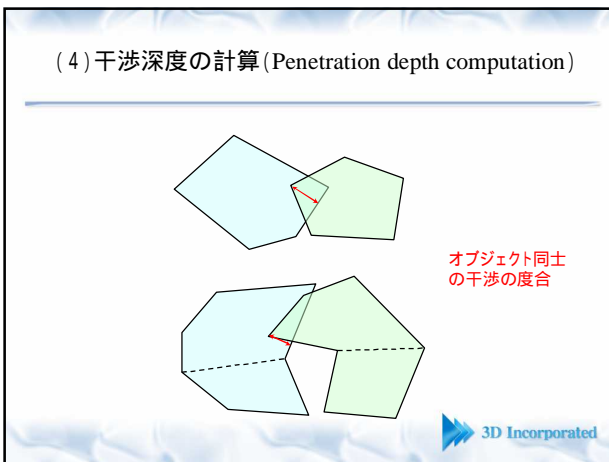
(2) 干渉の判定 (Intersection detection)



(3) 距離の計算 (Distance computation)



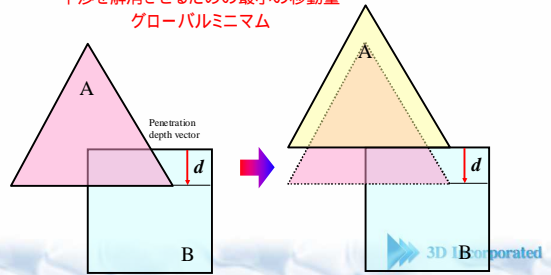
(4) 干渉深度の計算 (Penetration depth computation)



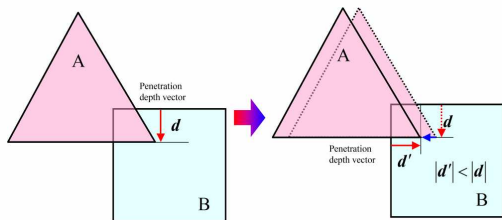
一般的な「干渉深度」の定義

$$\min\{\|d\| \mid \text{interior}(A+d) \cap B = \emptyset\}$$

干渉を解消させるための最小の移動量
グローバルミニマム

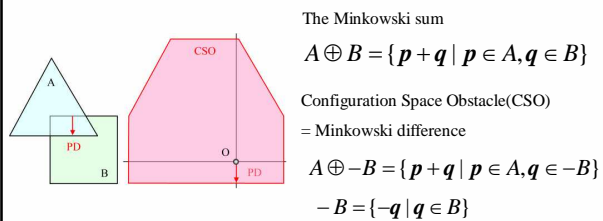


グローバルミニマムの干渉深度の問題点



- ▶ 干渉深度ベクトルの向きが不連続に変化する
- ▶ 動的な仮想環境下でのCollision reactionとしては不適切

CSOを用いた、もうひとつの「干渉深度」の定義



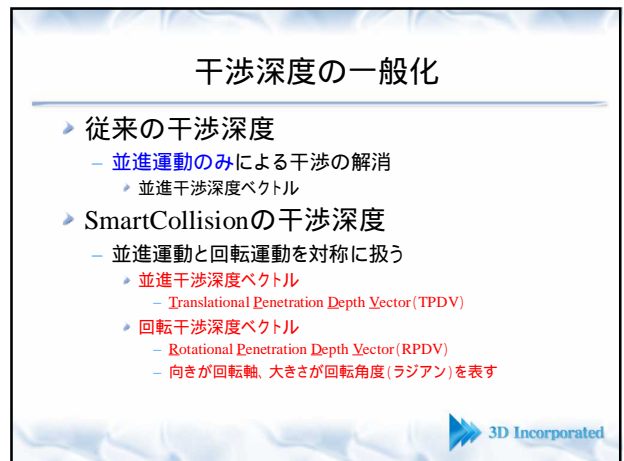
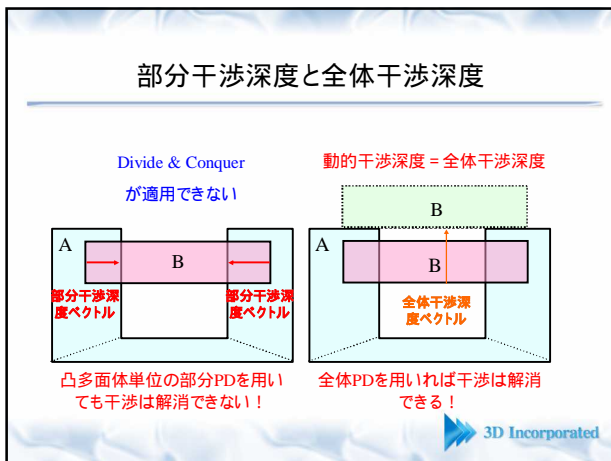
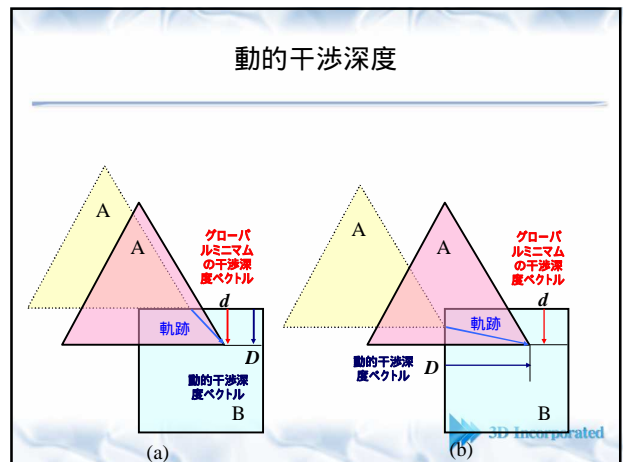
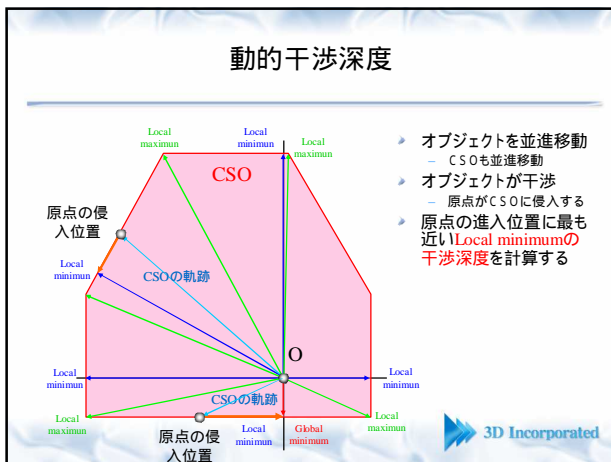
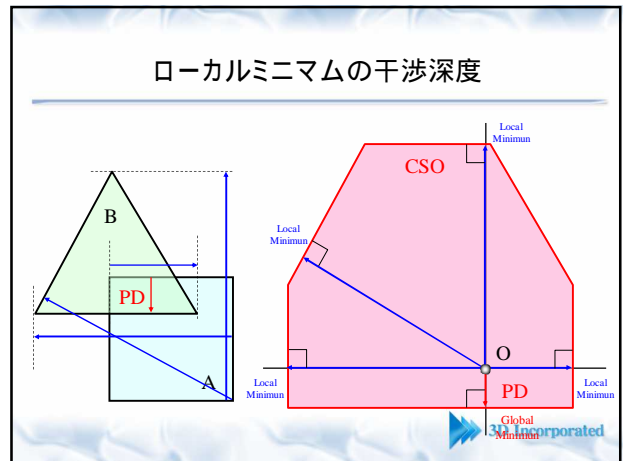
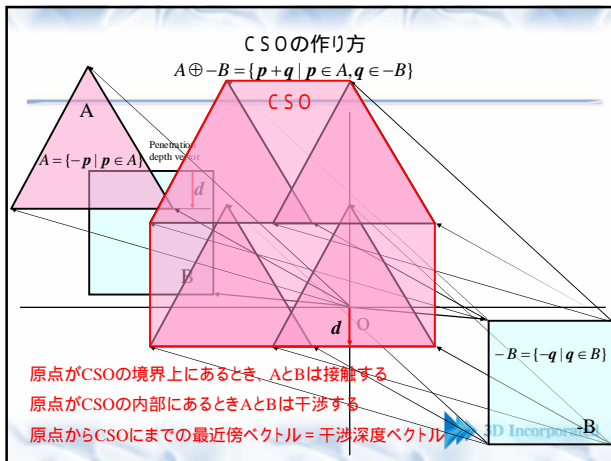
The Minkowski sum

$$A \oplus B = \{p+q \mid p \in A, q \in B\}$$

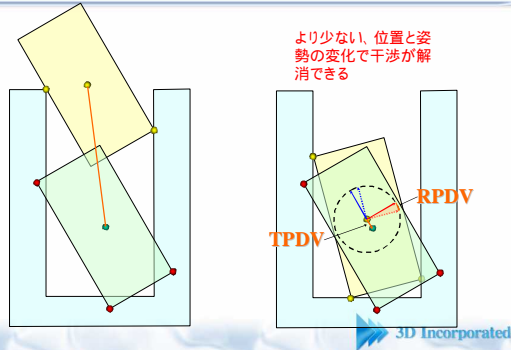
Configuration Space Obstacle(CSO)
= Minkowski difference

$$A \ominus B = \{p+q \mid p \in A, q \in -B\}$$

$$-B = \{-q \mid q \in B\}$$



並進干渉深度ベクトル(TPDV)と
回転干渉深度ベクトル(RPDV)の
連携による干渉の解消



TPDVとRPDVの任意性の解消法

干渉オブジェクトがもつポテンシャルエネルギー

$$P(D_T, D_R) = \frac{1}{2} k_F |D_T|^2 + \frac{1}{2} k_r |D_R|^2$$

$P(D, D_R)$ が極小となるように D_T と D_R を決定
力とトルクがカップリング効果

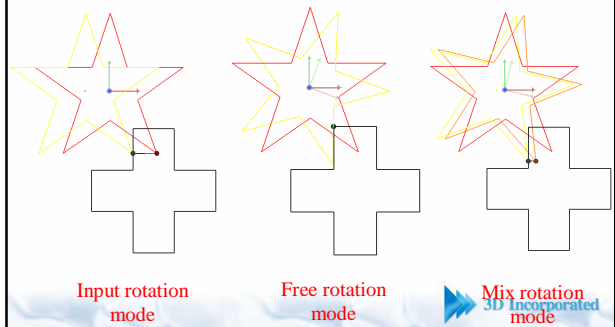


SmartCollisionにおける
TPDVとRPDVの4つの計算モード

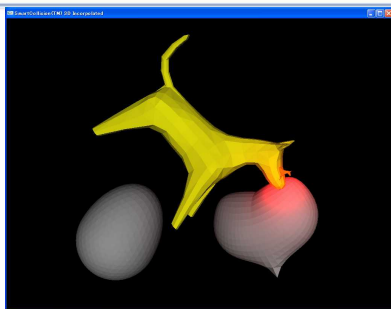
- ▶ (1) Non rotation mode
 - 接触オブジェクトは、干渉を始めた時の姿勢を保つ
- ▶ (2) Input rotation mode
 - RPDVの極小化を優先する
- ▶ (3) Free rotation mode
 - TPDVの極小化を優先する
- ▶ (4) Mix rotation mode
 - Potentialを極小化する



Rotation mode



サンプルプログラム



キーボードのコマンド

```
Usage: SmartCollisionTest [glut options] file ...
' ': Connect the controlled object by its origin.
'c': Connect the controlled object by haptic
position.
'f': Toggle force and torque feedback.
'r': Change rotation mode.
'q': Quit.
'h': Print this message.
Touch object: Toggle controlled/static object.
```

