

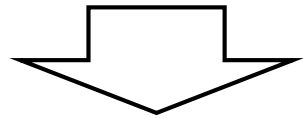
情報メディア実験A

物理エンジンを使った アプリケーション開発

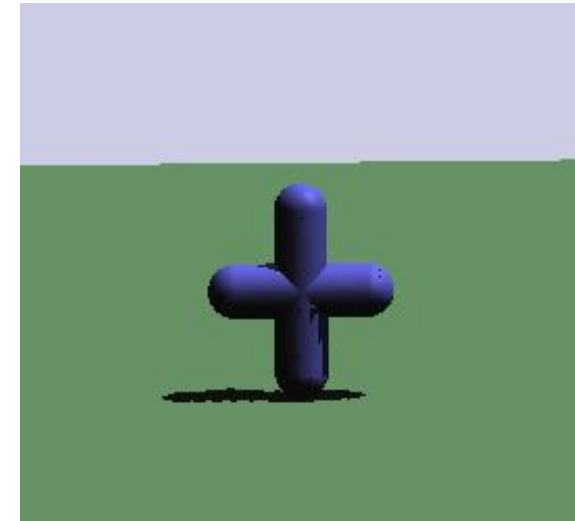
筑波大学情報学群
情報メディア創成学類
藤澤誠

複合形状

- 複数の単純な形状をつなげることで複雑な形状ができないのか？
 - btCompoundShape
複数の形状(プリミティブ)を組み合わせ、
新しい形状を作る



プリミティブ間の位置関係は固定
なので、**動きのあるオブジェクトは
作れない！**



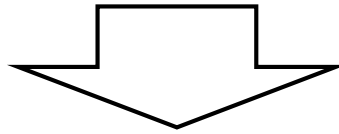
カプセル形状2つの組み合わせ
でできる形状

Constraint

- プリミティブ間で動きのある複合形状はできないのか？

例) ヒンジで壁とつながったドア, 関節でつながった腕, 車軸で車体とつながったタイヤ, etc.

⇒ 剛体間の動きに一定の制約をかければよい



拘束条件
(Constraint)

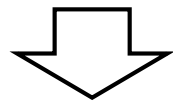
Constraint-based method

- 拘束条件に合った動きを求めるために, 拘束条件を数式化

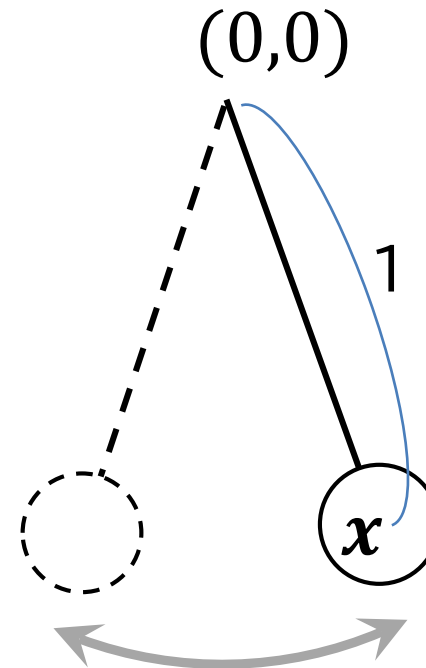
$$\text{拘束条件} : C(\boldsymbol{x}) = 0$$

- 例) 振り子(原点中心, 長さ1)

$$C(\boldsymbol{x}) = |\boldsymbol{x}| - 1 = 0$$



$$C(\boldsymbol{x}) = \boldsymbol{x} \cdot \boldsymbol{x} - 1 = 0$$



Constraint-based method

- 拘束条件を満たすためにかけるべき力 f_c

$$\underline{f_c} = \underline{J^T} \underline{\lambda}$$

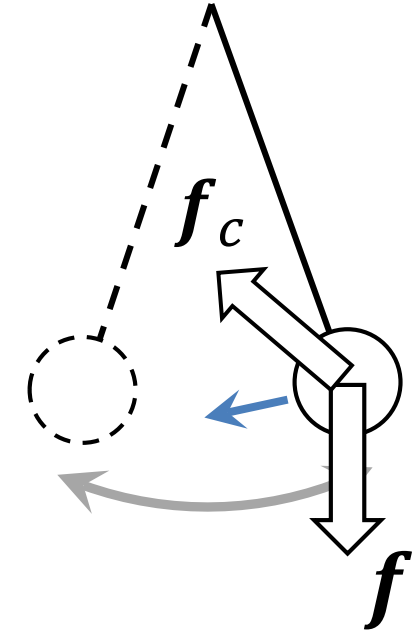
拘束条件 c の空間微分 方向に λ 倍 (スカラー倍)
(導出は実験Webページ参照)

- 単位時間あたりの仕事量 (力 f と速度 v をかけたもの) を考えて式変形

$$\underline{Jv} = 0$$

拘束方程式

(この式を満たす f_c を求めて使うのが Constraint-based method)



J は横ベクトル, f や v は縦ベクトルということに注意しよう

Soft Constraint

- 拘束方程式を満たす力 f_c は必ず求まるのか？

答え) 多くのオブジェクトがつながっていると解が求まらないことがある
(or 計算時間がかかる)

- ペナルティ法と同じく多少のずれは許してしまってもどうか？
⇒ **Soft Constraint**

$$J\mathbf{v} + \underbrace{\frac{\beta}{\Delta t} C(\mathbf{x})}_{\text{ERP}} + \underbrace{\gamma\lambda}_{\text{CFM}} = 0$$

Soft Constraint

$$J\boldsymbol{v} + \underbrace{\frac{\beta}{\Delta t} C(\boldsymbol{x})}_{\text{ERP}} + \underbrace{\gamma\lambda}_{\text{CFM}} = 0$$

- CFM(Constraint Force Mixing)
柔らかい拘束を実現するための項
拘束を満たすための力の大きさ λ に係数をかけることで
ずれを許容する
- ERP(Error Reduction Parameter)
CFMでできたずれを修正する項

Constraintの設定方法

- bulletでのConstraint設定
 - btRigidBodyのようにbtDynamicWorldにbt*Constraintを追加すればよい

```
btHingeConstraint *c = new btHingeConstraint(body1,body2,...);  
g_dynamicsworld->addConstraint(c, true);
```

- CleanBullet関数での破棄も忘れずに

```
for(int i = g_dynamicsworld->getNumConstraints()-1; i>=0 ;i--){  
    btTypedConstraint* constraint = g_dynamicsworld->getConstraint(i);  
    g_dynamicsworld->removeConstraint(constraint);  
    delete constraint;  
}
```

world中のConstraint数を取得

Constraintをワールドから削除

Constraintオブジェクトを取得

Constraintの設定方法

- bulletでのConstraint設定
 - Soft Constraintの設定方法

```
btHingeConstraint *c = new btHingeConstraint(body1,body2,...);  
c->setParam(BT_CONSTRAINT_ERP, 0.5);  
c->setParam(BT_CONSTRAINT_CFM, 0.5);
```

*基本的にはbullet側で適切な値が設定されるのでSoft Constraintを使いたくないなどの特殊なケース以外はいらない

Bulletで扱えるConstraintの種類

■ Point2Point Constraint

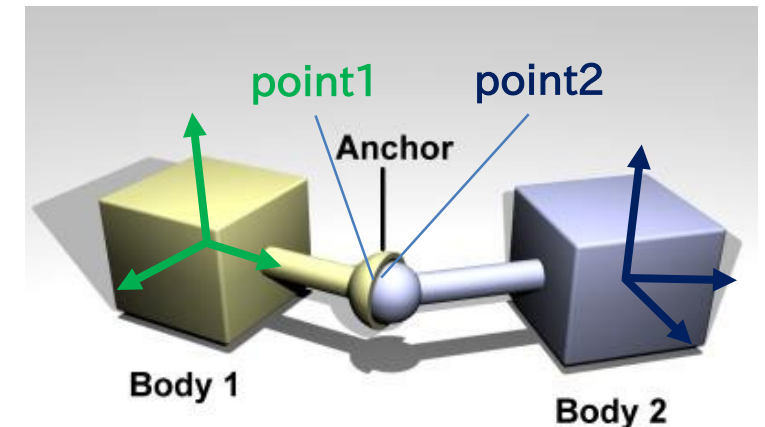
2つの物体を1点でつなぐ制約(位置固定で回転は自由)

```
btPoint2PointConstraint *c = new btPoint2PointConstraint(body1,body2,point1,point2);  
g_dynamicsworld->addConstraint(c, true);
```

point1とpoint2は同じ位置を示しているが、それぞれのbtRigidBodyから見た
相対座標値(ローカル座標)なので値は異なることに注意!

1つの物体を空間上に固定する場合

```
btPoint2PointConstraint *c  
= new btPoint2PointConstraint(body1,point1);
```



<https://www.ode-wiki.org/wiki/index.php?title=Manual>

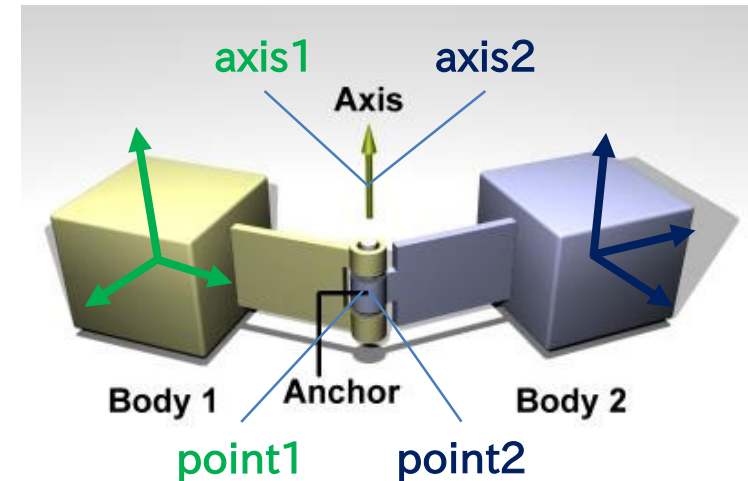
Bulletで扱えるConstraintの種類

■ Hinge Constraint

1軸の回転のみを許す制約(ドアの蝶番,車のタイヤなど)

```
btHingeConstraint *c = new btHingeConstraint(body1,body2,  
                                              point1,point2,  
                                              axis1,axis2);  
g_dynamicsworld->addConstraint(c, true);
```

- point1,point2,axis1,axis2はそれぞれのbtRigidBodyのローカル座標系での位置と方向. 特に方向は初期配置で決まるので注意
- enableAngularMotorメンバ関数で一定速度の回転を加えることも可能



<https://www.ode-wiki.org/wiki/index.php?title=Manual>

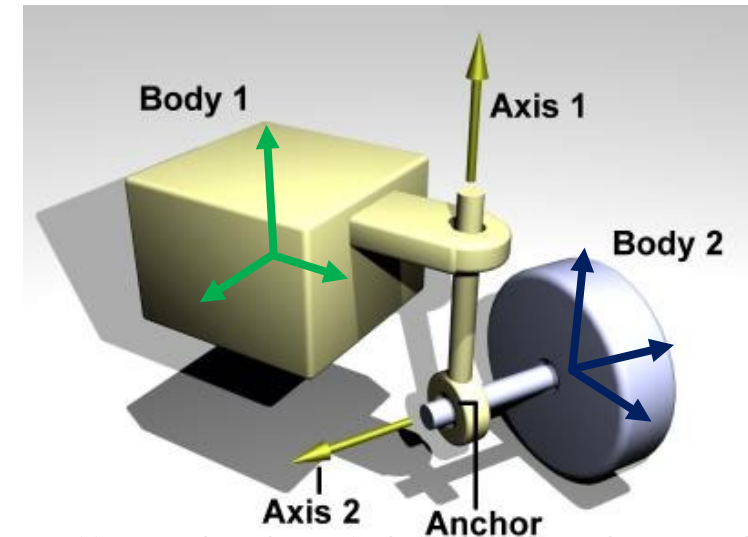
Bulletで扱えるConstraintの種類

■ Hinge2 Constraint

直交した2軸の回転が可能な制約(車の前輪など)

```
btHinge2Constraint *c = new btHinge2Constraint(body1,body2,  
                                                anchor,  
                                                axis1,axis2);  
g_dynamicsworld->addConstraint(c, true);
```

- anchor,axis1,axis2はHingeと違ってグローバル座標(ワールド座標)であることに注意!
- axis1とaxis2は直交するように設定



<https://www.ode-wiki.org/wiki/index.php?title=Manual>

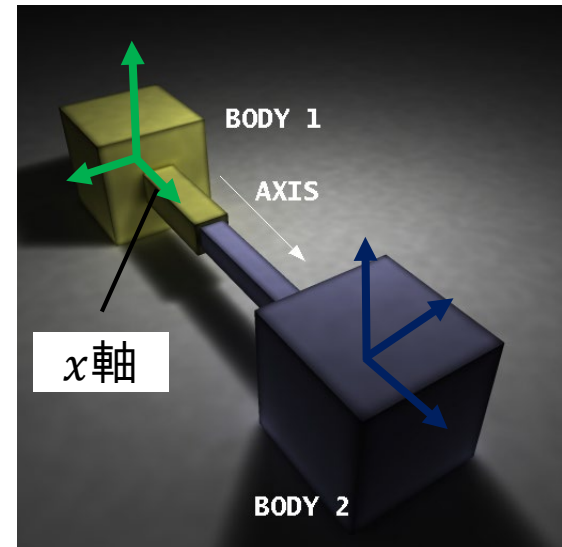
Bulletで扱えるConstraintの種類

■ Slider Constraint

設定した1方向しか動けない制約(カーテンレールなど)

```
btSliderConstraint *c = new btSliderConstraint(body1,body2,
                                                frame1,frame2,
                                                ref1);
g_dynamicsworld->addConstraint(c, true);
```

- frame1とframe2はそれぞれbody1,body2の何も力がかかっていない状態での相対位置/姿勢(btTransform)
- スライダーの移動方向はref1で指定したオブジェクトのx軸方向
(ref1がtrueでbody1,falseでbody2が基準になる)



<https://www.ode-wiki.org/wiki/index.php?title=Manual>

Bulletで扱えるConstraintの種類

■ Cone Twist Constraint

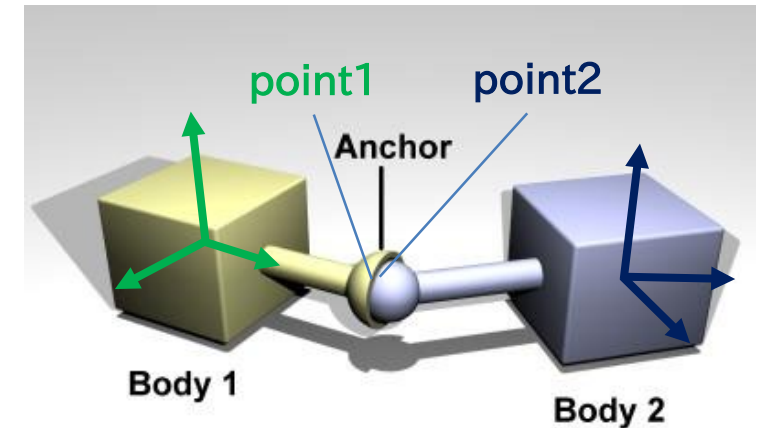
2つの物体を1点でつなぐ制約(位置固定で回転範囲設定)

```
btConeTwistConstraint *c = new btConeTwistConstraint(body1, body2,  
                                                       frame1, frame2);  
g_dynamicsworld->addConstraint(c, true);
```

- Point2Pointと基本的には同じだけど, 回転角に制限を掛けられるので, キャラクターの間接などに用いられる(ragdollジョイント)
- frame1とframe2はそれぞれbody1, body2の相対位置/姿勢 (btTransform)

回転範囲の設定

```
C->setLimit(ang_z, ang_y, ang_x);
```



Bulletで扱えるConstraintの種類

■ Generic 6 DOF Constraint

x,y,z軸方向の平行移動と回転に対する制約を自由に設定

```
btGeneric6DofConstraint *c = new btGeneric6DofConstraint(body1,body2,
                                                         frame1,frame2
                                                         ref1);

g_dynamicsworld->addConstraint(c, true);
```

- 引数はSlider Constraintと同じなのでそちらを参照
- ここまで説明したConstraintはすべてこれで再現可能

平行移動制約の設定

```
C->setLinearLowerLimit(btVector3(x1,y1,z1));
C->setLinearUpperLimit(btVector3(x2,y2,z2));
```

回転制約の設定

```
C->setAngularLowerLimit(btVector3(ang_x1,ang_y1,ang_z1));
C->setAngularUpperLimit(btVector3(ang_x2,ang_y2,ang_z2));
```

Bulletで扱えるConstraintの種類

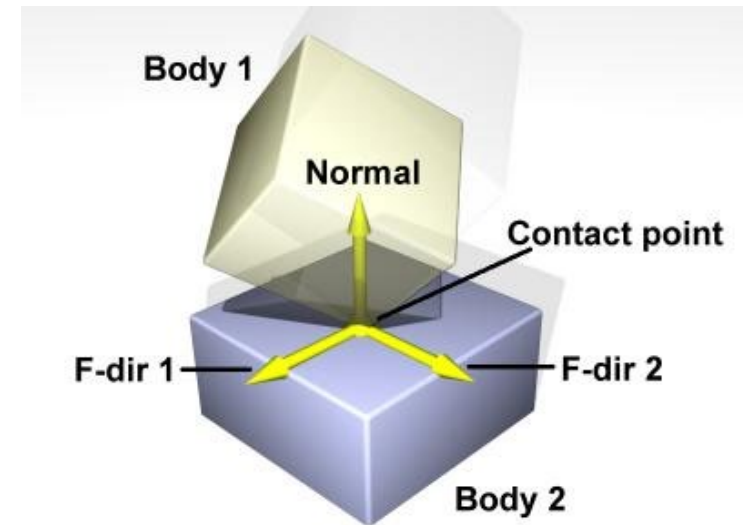
■ Contact Constraint

通常の衝突を処理するための制約

```
btContactConstraint *c = new btContactConstraint(manifold,body1,body2);
```

bullet側が自動的に生成してくれるので、わざわざ指定する必要なし
(bulletがConstraintを使って衝突応答を処理しているということだけ理解していればOK*)

*反発とか摩擦を含むcontact constraintについては、
GDC2009での解説スライド
https://ubm-twvideo01.s3.amazonaws.com/o1/vault/gdc09/slides/04-GDC09_Catto_Erin_Solver.pdf
などを見ると分かりやすい(p36～)



<https://www.ode-wiki.org/wiki/index.php?title=Manual>

BulletでのConstraint

ここからは各自の環境で
実際に作業

実験ページの「4. 剛体間リンク」の
練習問題を実際にやってみよう
(余裕のある人はoption課題もやってみよう!)

