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

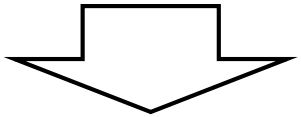
実験スケジュール

- 毎週 水3,4限＆金5,6限
- テーマ内スケジュール
  1. ガイダンス＆事前知識(C++)説明：4/16
  2. 物理シミュレーションとは?：4/21, 23, 28
  3. 物理エンジンとは？ ：4/30, 5/7, 12
  4. 剛体間の衝突判定,衝突応答：5/14, 21, 26, 28
  5. 剛体間リンク：6/2, 4, 9, 11
  6. 3Dモデル読み込みと弾性体：6/16, 18, 23, 25
  7. アプリケーション開発：6/30, 7/2, 7, 9, 14, 16, 21
  8. 成果発表会：7/28

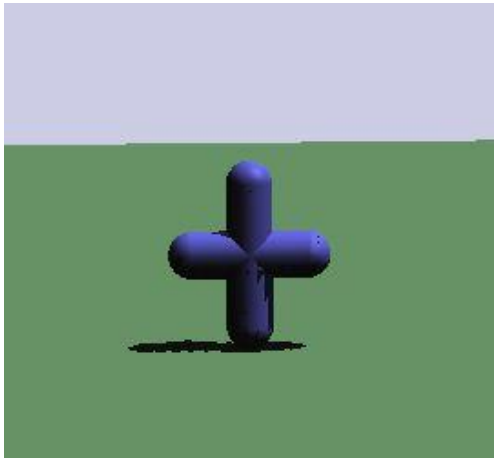
赤太字は説明回，7/22は発表準備＆レポート作成回
5/7(金)は水曜授業日，5/19(水)は春A期末試験日

複合形状

- 複数の剛体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)を組み合わせて，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！



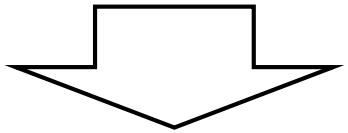
カプセル形状2つの組み合わせでできる形状

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

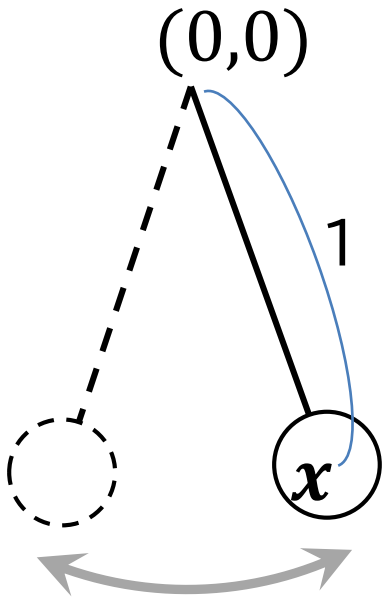
- 拘束条件に合った動きを求めるために，拘束条件を**数式化**

$$\text{拘束条件}：C(\boldsymbol{x}) = 0$$

- 例) 振り子(原点中心,長さ1)

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

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



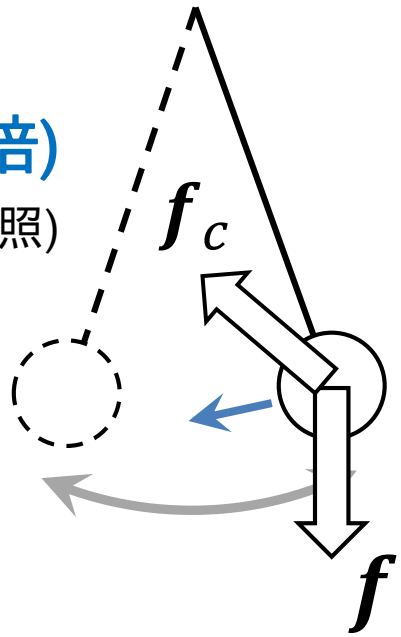
Constraint-based method

- 拘束条件を満たすためにかけるべき力$\boldsymbol{f}_c$

$$\boldsymbol{f}_c = \boldsymbol{J}^T \lambda$$

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$\boldsymbol{f}$と速度$\boldsymbol{v}$をかけたもの)を考えて式変形

$$\boldsymbol{J}\boldsymbol{v} = 0$$

拘束方程式

(この式を満たす$\boldsymbol{f}_c$を求めて使うのがConstraint-based method)

$\boldsymbol{J}$は横ベクトル,$\boldsymbol{f}$や$\boldsymbol{v}$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$\boldsymbol{f}_c$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はどうか？

  ⇒ **Soft Constraint**

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

Soft Constraint

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

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

  - CleanBullet関数での破棄も忘れずに

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

world中のConstraint数を取得

Constraintオブジェクトを取得

Constraintをワールドから削除

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必要ない

Bulletで扱えるConstraintの種類

- Point2Point Constraint

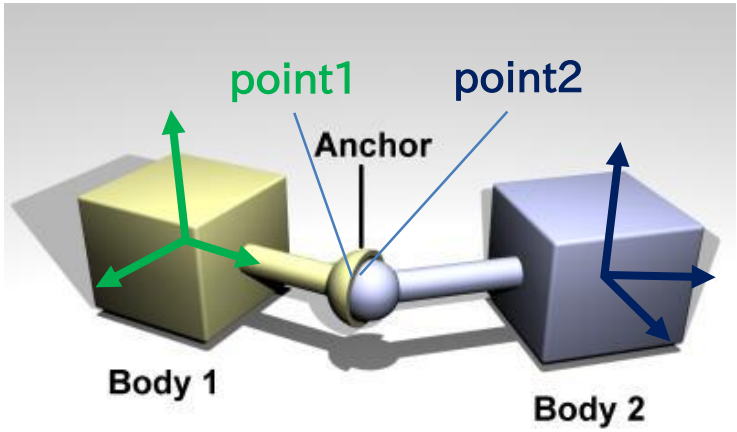
2つの物体を1点でつなぐ制約(位置固定で回転は自由)

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



Bulletで扱えるConstraintの種類

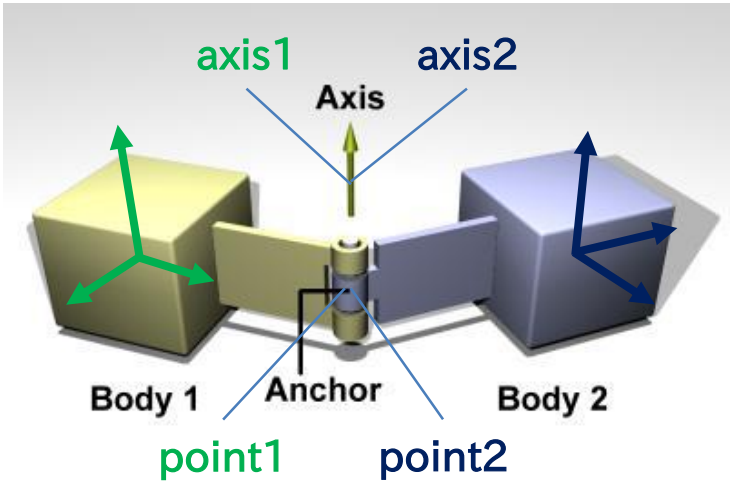
- Hinge Constraint

  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_pDynamicsWorld->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



Bulletで扱えるConstraintの種類

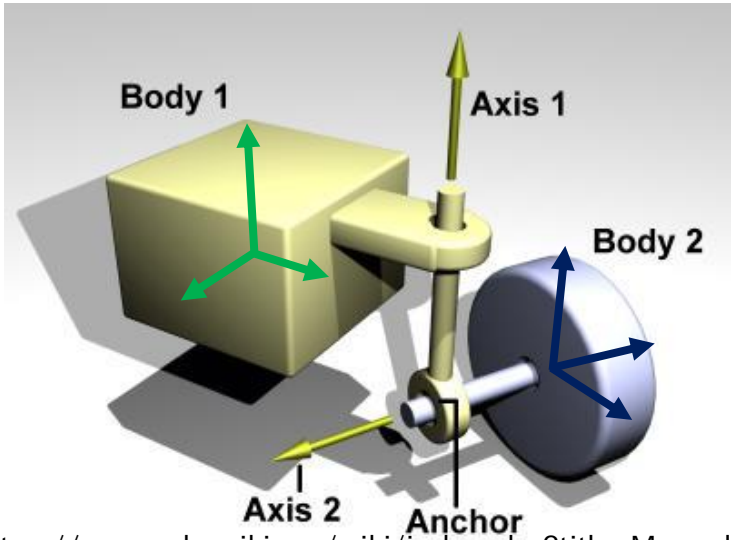
- Hinge2 Constraint

  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_pDynamicsWorld->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

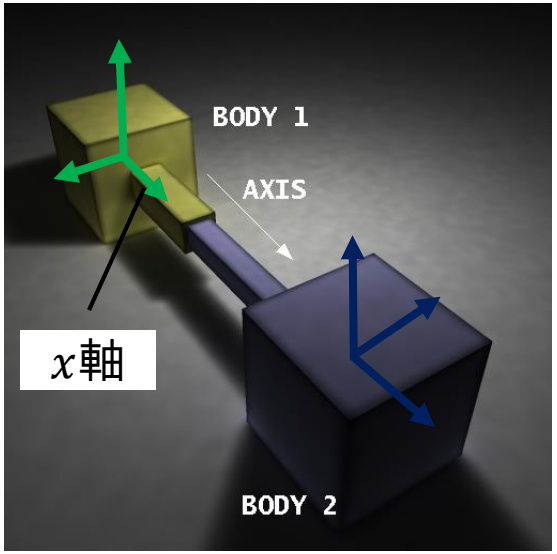
Bulletで扱えるConstraintの種類

- 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_pDynamicsWorld->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)



Bulletで扱えるConstraintの種類

- Cone Twist Constraint

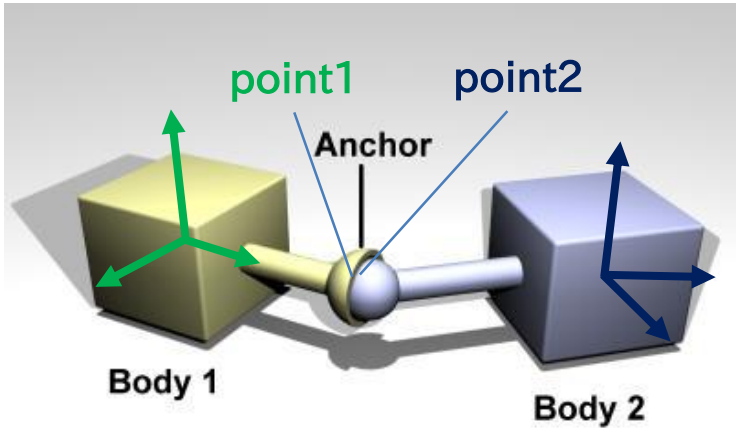
  2つの物体を1点でつなぐ制約(位置固定で回転範囲設定)

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



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

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_pDynamicsWorld->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));
```

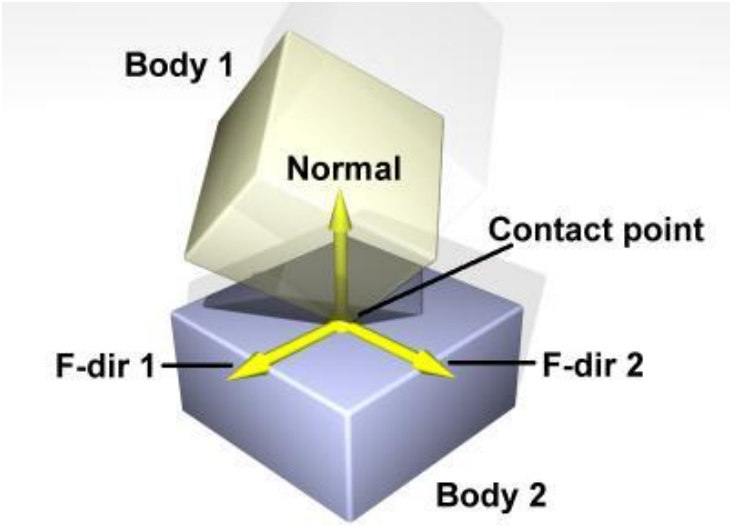
Bulletで扱えるConstraintの種類

- 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)



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!)