

# 実はこんな研究をしています

電気通信大学 知能機械工学科 准教授

長谷川晶一

お問い合わせは、[hasevr@gmail.com](mailto:hasevr@gmail.com) まで

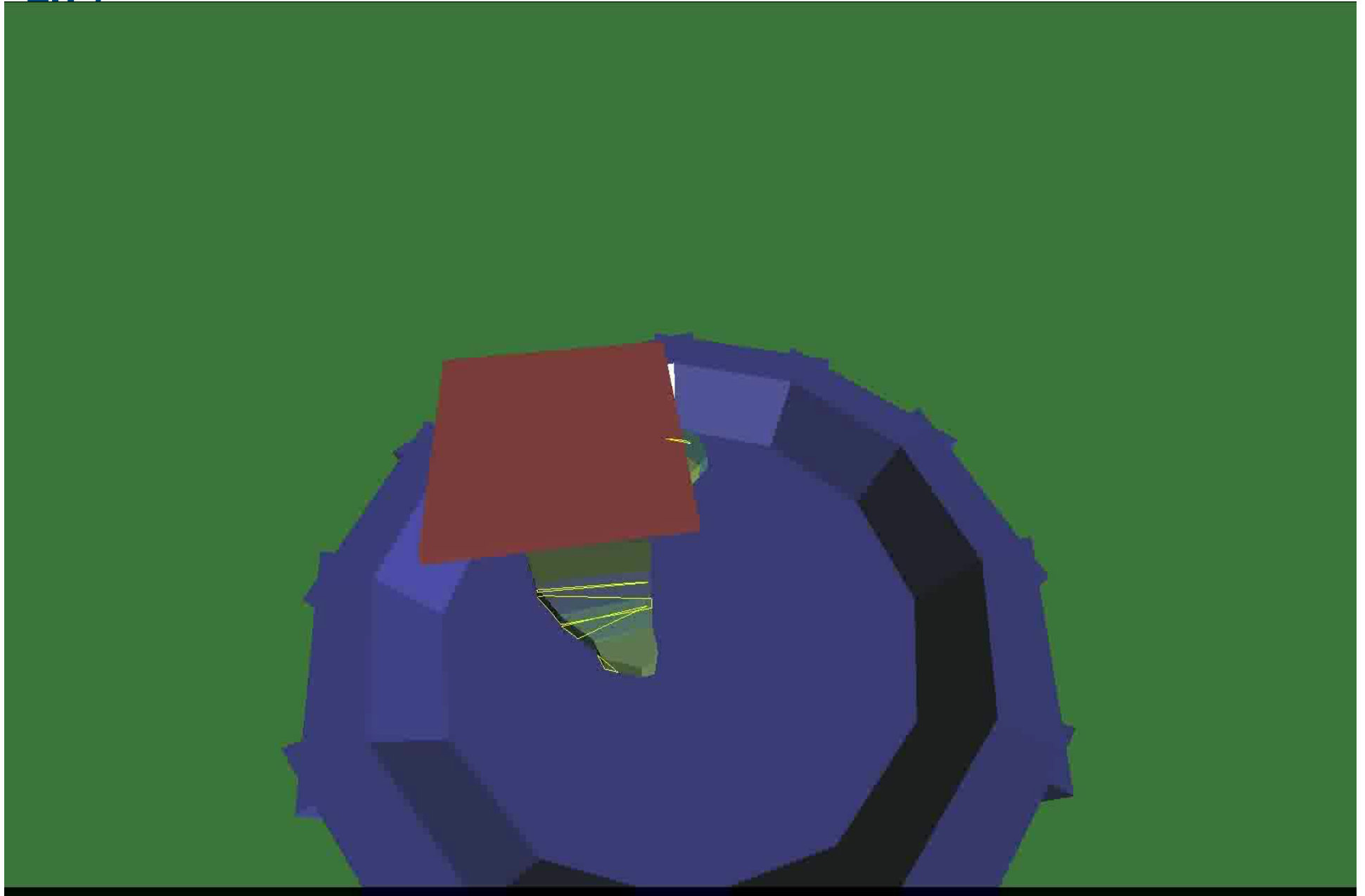
# 料理のシミュレーション

- リアルな料理の映像
  - 「レミーのおいしいレストラン」のリアルタイム版
- 肉の柔らかさの表現
  - Skin Mesh + バネダンパつき関節
- 加熱や焦げによる色の変化
  - 3次元テクスチャを応用

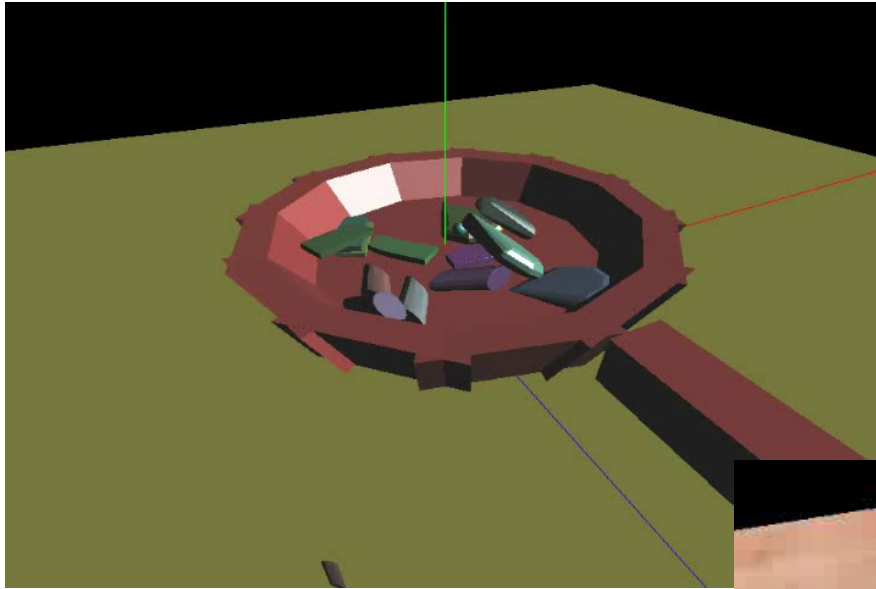
# 1.肉の柔らかさ(スキンメッシュ + 剛体+関節)



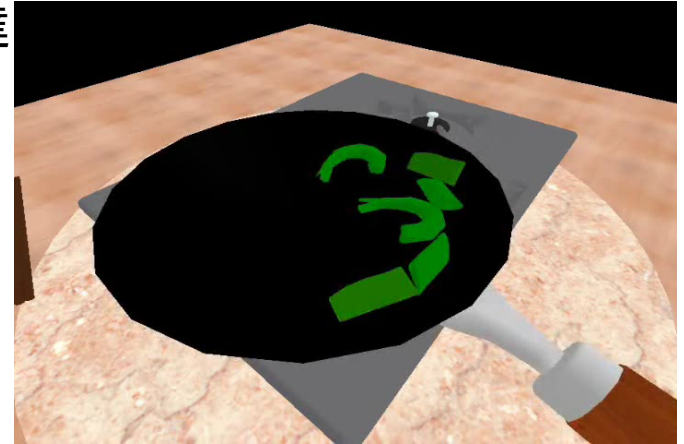
# 1.肉の柔らかさ(スキンメッシュ + 剛体+関節)



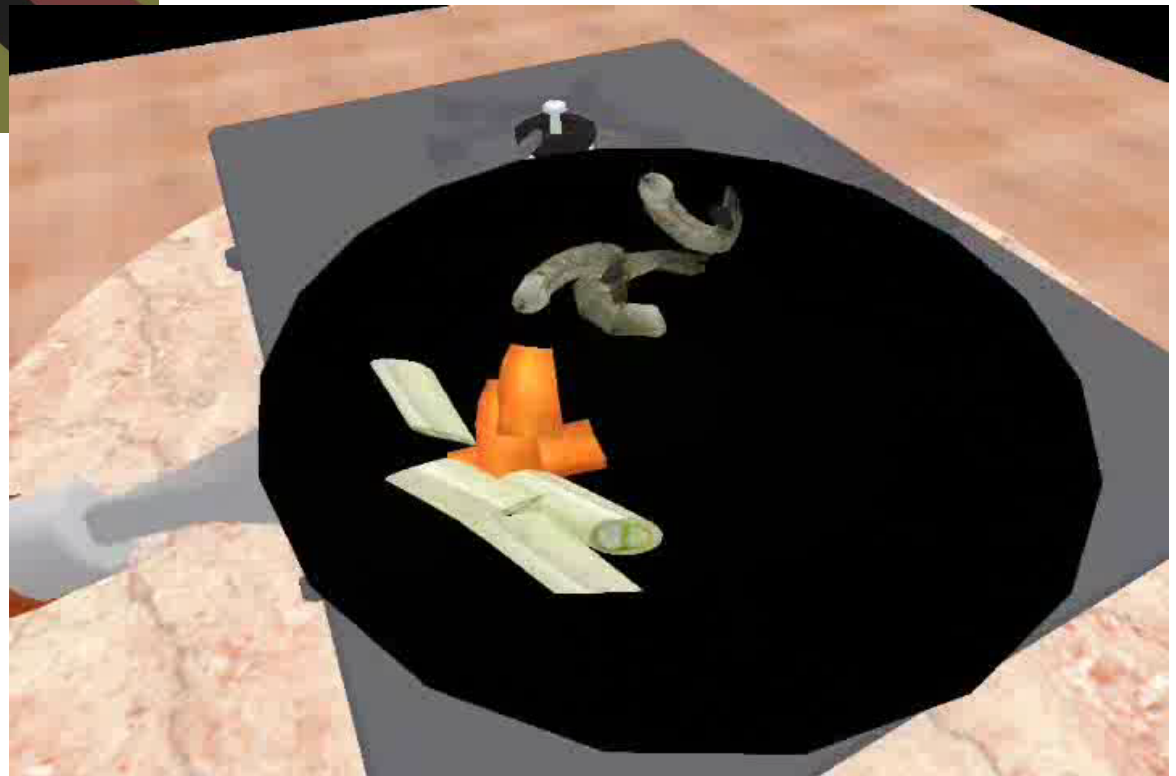
# 料理シミュレーション



熱伝達  
水分

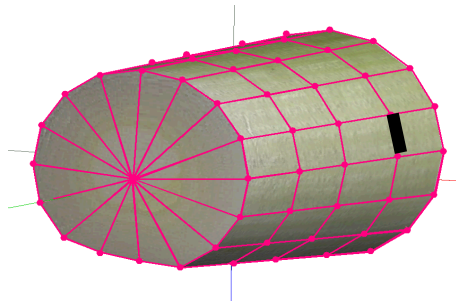


動力学



## 2. こげ具合の表示

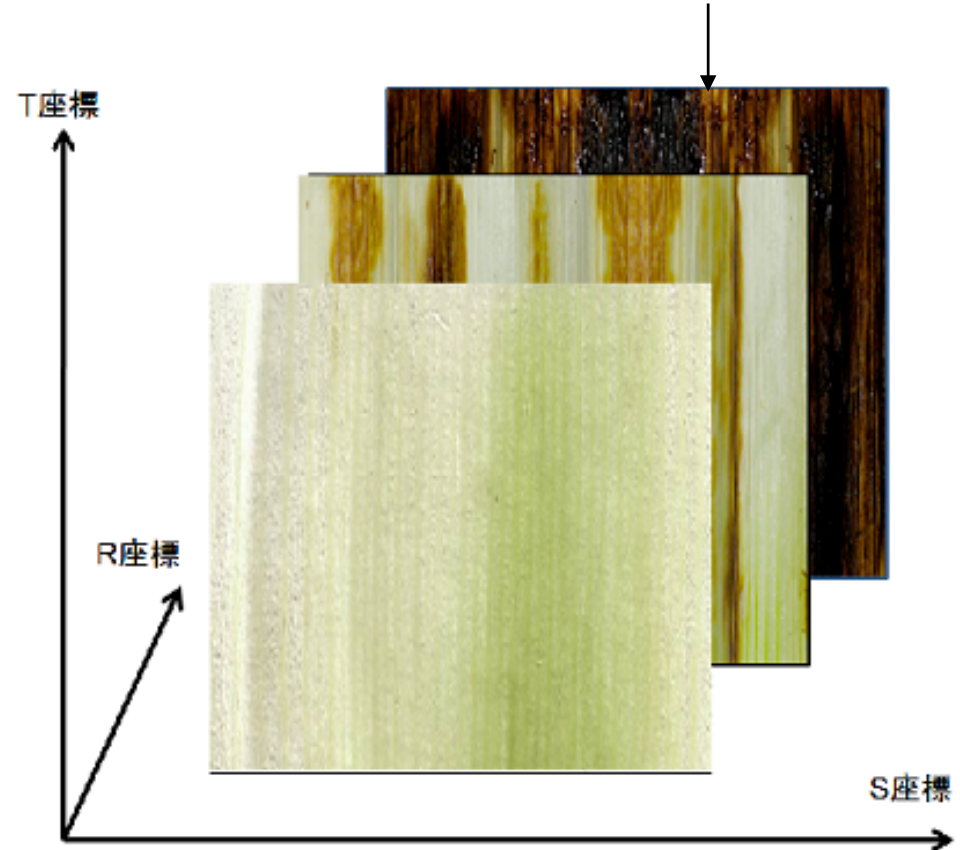
- 3次元テクスチャを利用



テクスチャのu,v +  
3次元目をこげ具合に割り当て



実際に焼いたねぎを撮影した画像

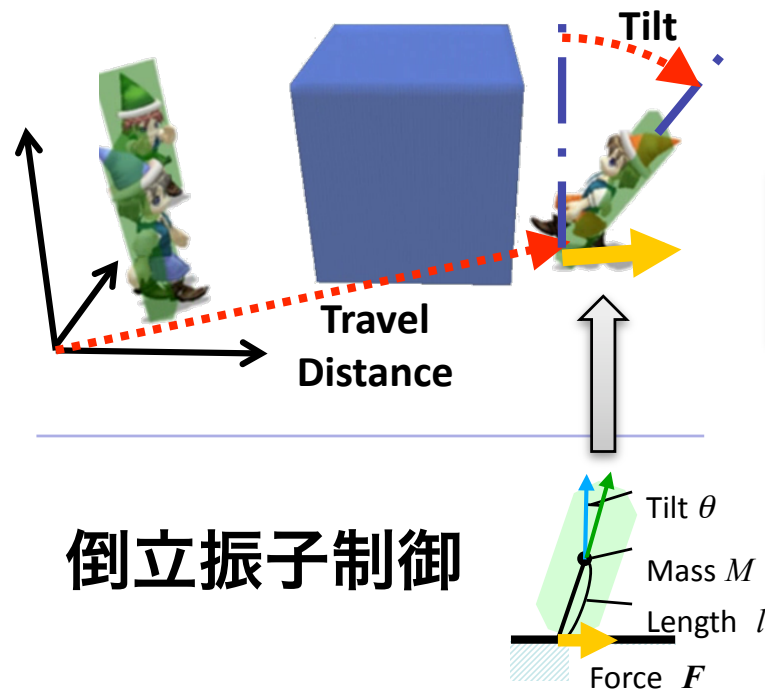


### 3. キャラクタモーション(1キャラクタ=剛体1個)

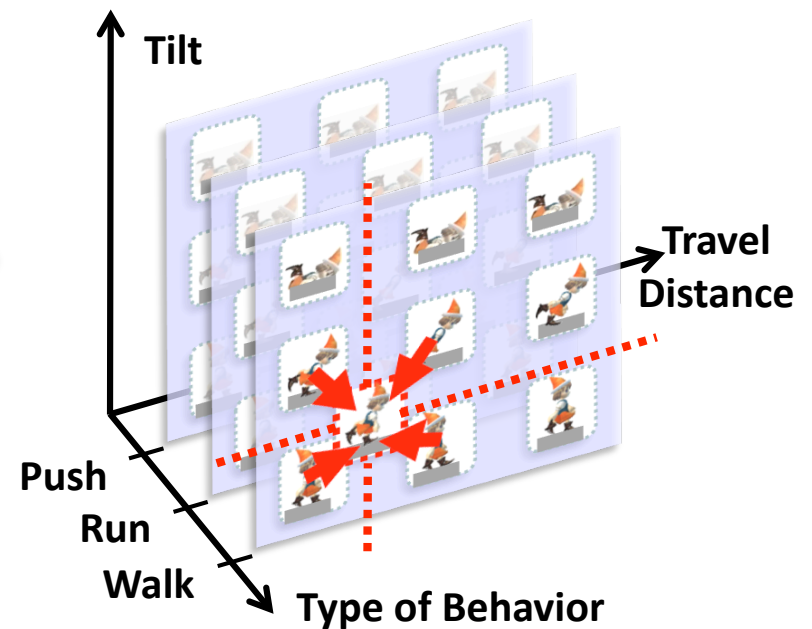


### 3. キャラクタモーション(1キャラクタ=剛体1個)

リアルタイム  
剛体運動シミュレーション

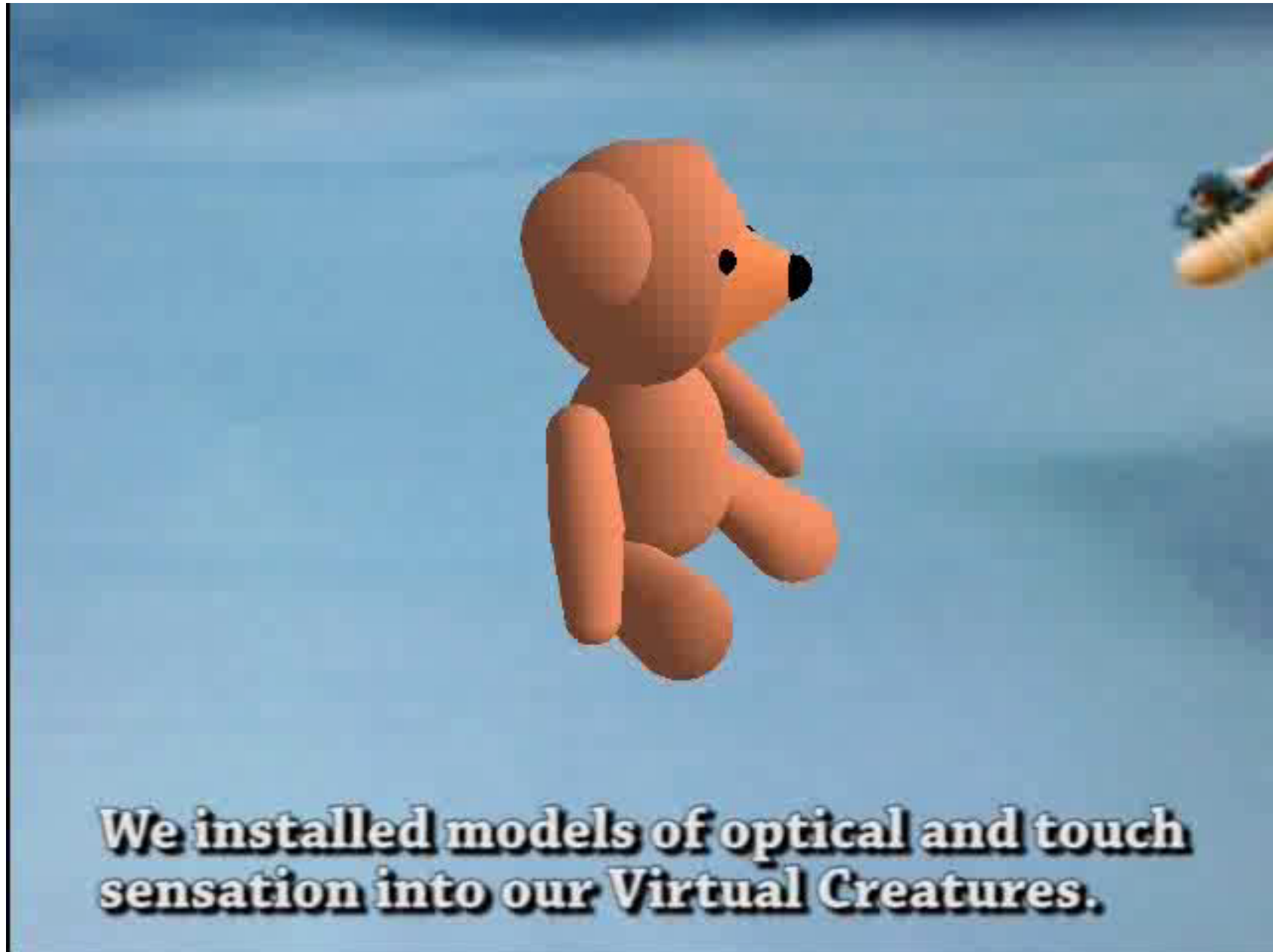


多次元キーフレーム  
アニメーション

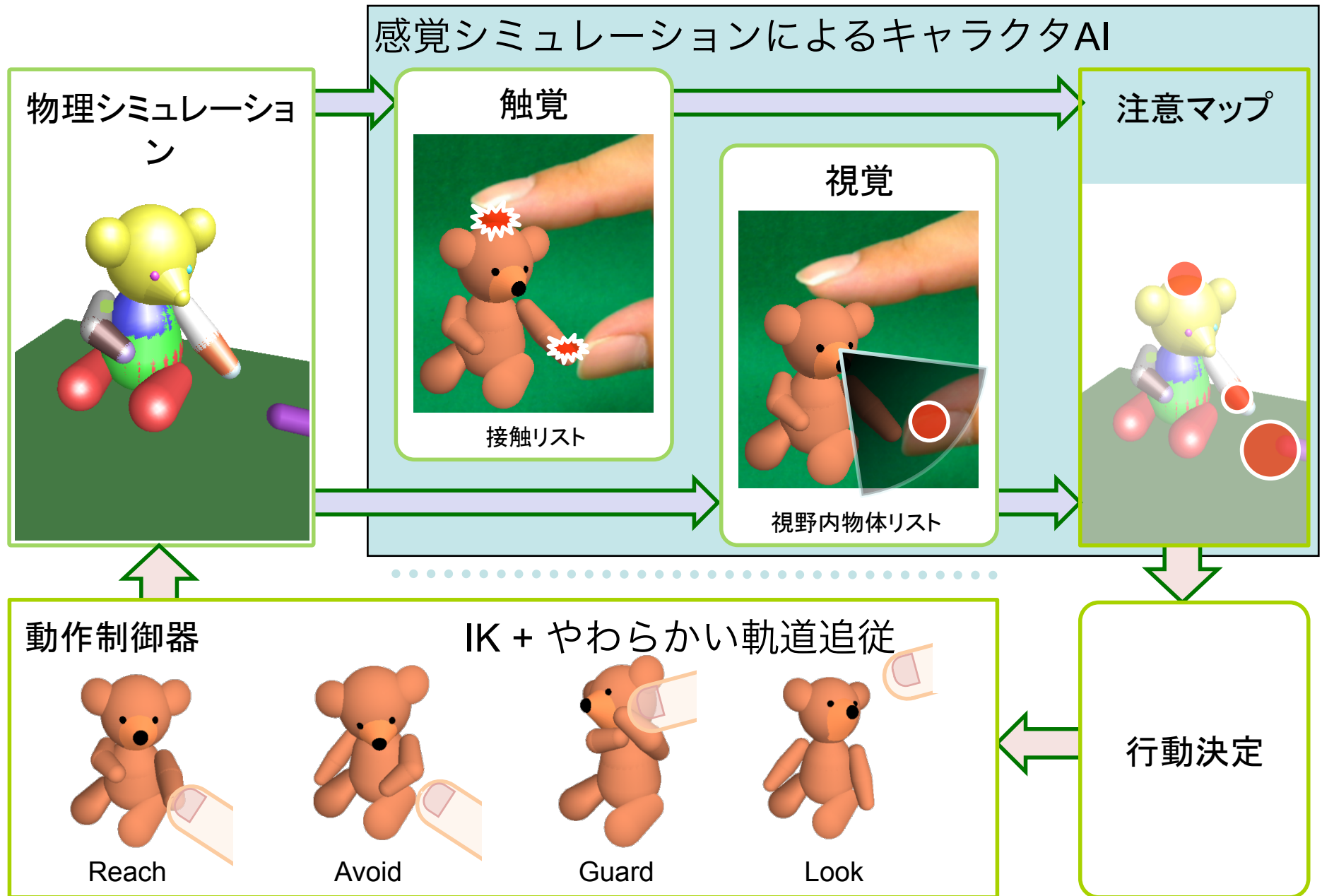




## 4. キャラクタモーション(1キャラ=剛体20個~)

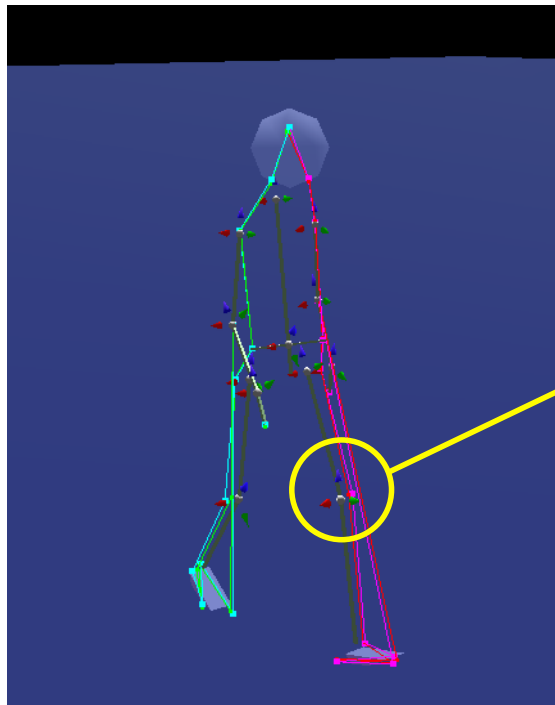


# 4. キャラクタモーション(1キャラ=剛体20個~)

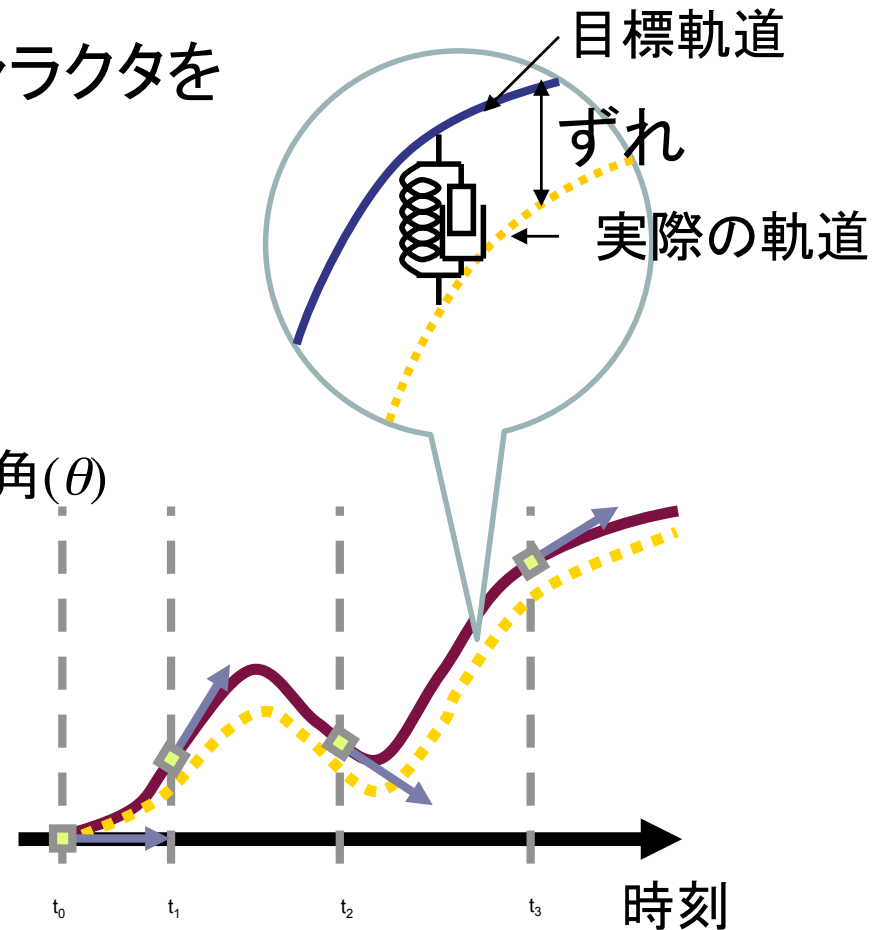


## 5. やわらかいキーフレームアニメーション

- 物理シミュレーションされたキャラクタを柔らかく軌道追従



関節角( $\theta$ )



- $\theta$ を代入 or 硬いバネ → 外力に反応しない
- 柔らかいバネ → 指定の軌道(キーフレーム)からずれる

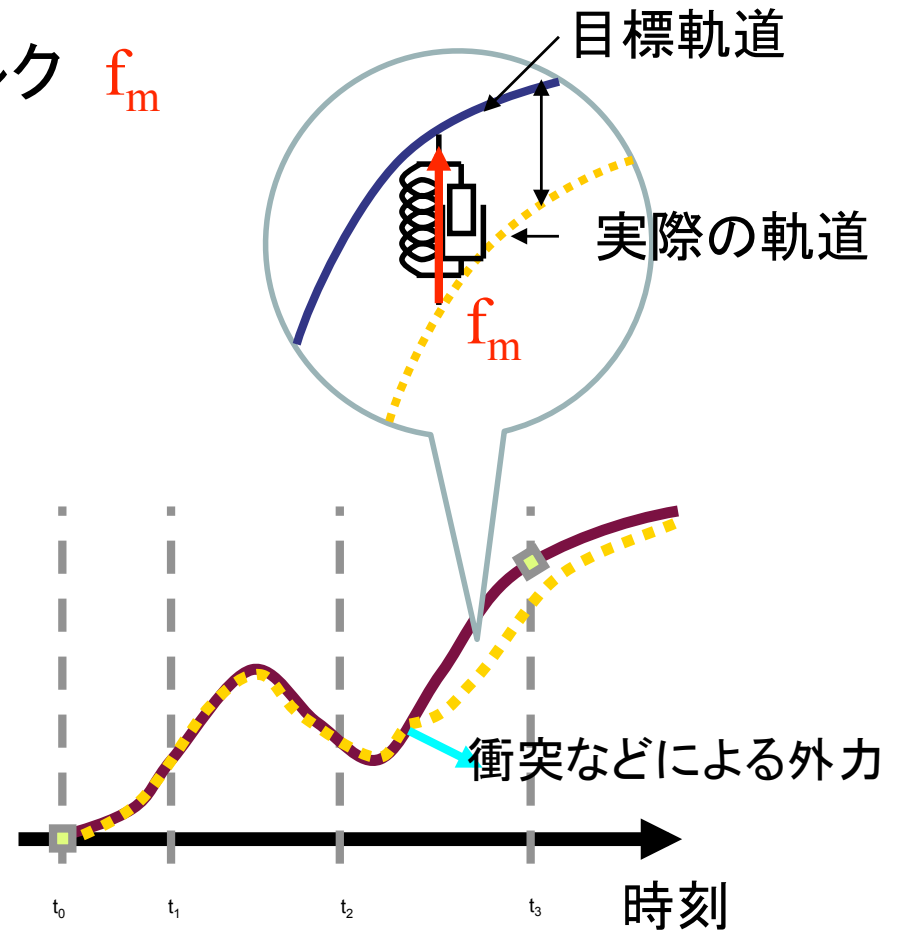
## 5. やわらかいキーフレームアニメーション

- 解決策=軌道追従に必要なトルク  $f_m$   
+ 柔らかいバネ

- トルク  $f_m$  だけで軌道追従

- ずれた時だけバネが働く

- 柔らかいバネ  
→ 外力の影響大  
柔らかい動き
- 硬いバネ  
→ 外力の影響小  
硬い動き



## 5. 硬いバネを使った場合(積木 固定)



## 5. 軌道追従 + 柔硬 のバネ (積木は可動)

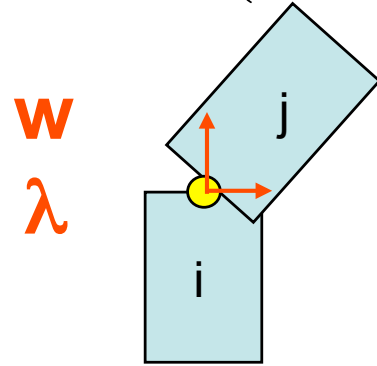


## 5. やわらかいキーフレームアニメーション

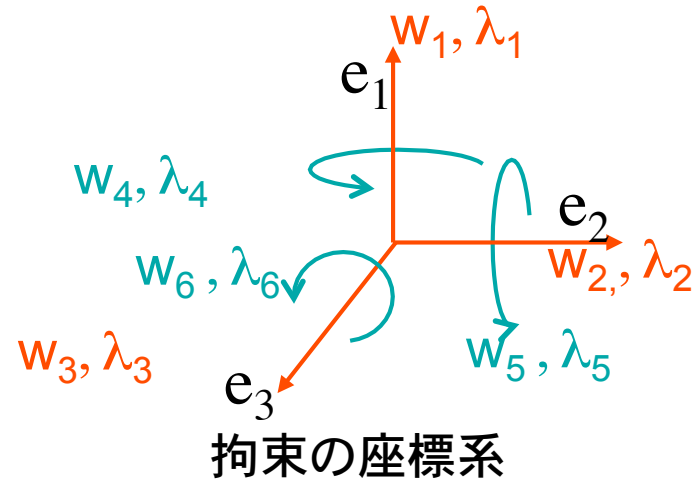
- まず、軌道追従に必要なトルク  $f_m$  を計算
  - 力  $f_m$  は、拘束条件を扱える物理シミュレータを使って効率よく計算できる
    1. 現在の状態を記録
    2.  $f_m$  を求めるためのシミュレーションを行う。
    3. シミュレーションの状態を戻す
  
- 最後にトルク  $f_m$  と 柔らかいバネ を加えて本番のシミュレーション

## 5. 拘束の例

### ■ 関節(蝶番の例、接触などは後で)



$w$  連結点での相対速度・角速度  
 $\lambda$  連結点に作用する拘束力・トルク

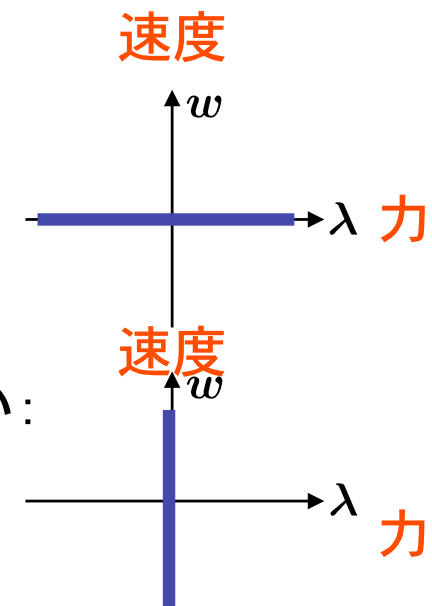


- 蝶番の軸 $e_3$ まわりの回転以外は相対運動をしない:

$$w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 = 0$$

- 蝶番の軸 $e_3$ まわりは自由に回転＝トルクは働かない:

$$\lambda_6 = 0$$





## 5. 拘束の組み込み

- 拘束を考えやすいように、運動方程式を変形

$$M\dot{\mathbf{u}} = \mathbf{f}_c + \mathbf{f}_e = \mathbf{J}^t \boldsymbol{\lambda} + \mathbf{f}_e$$

$$\mathbf{u}[t+1] = \mathbf{u}[t] + M^{-1} \Delta t \mathbf{J}^t \boldsymbol{\lambda} + M^{-1} \Delta t \mathbf{f}_e$$

$$\mathbf{u}[t+1] = \mathbf{u}[t] + M^{-1} \Delta t \mathbf{J}^t \boldsymbol{\lambda} + M^{-1} \Delta t \mathbf{f}_e$$

$$\mathbf{J}\mathbf{u}[t+1] = \mathbf{J}\mathbf{u}[t] + \mathbf{J}M^{-1} \Delta t \mathbf{J}^t \boldsymbol{\lambda} + \mathbf{J}M^{-1} \Delta t \mathbf{f}_e$$

$$\mathbf{w}[t+1] = \mathbf{w}[t] + \mathbf{J}M^{-1} \mathbf{J}^t \Delta t \boldsymbol{\lambda} + \mathbf{J}M^{-1} \Delta t \mathbf{f}_e$$

$$\mathbf{w}[t+1] = \mathbf{A}\boldsymbol{\lambda} + \mathbf{b}$$

- 拘束条件と連立させる(蝶番の例)

拘束:  $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 = 0$   
 $\lambda_6 = 0$

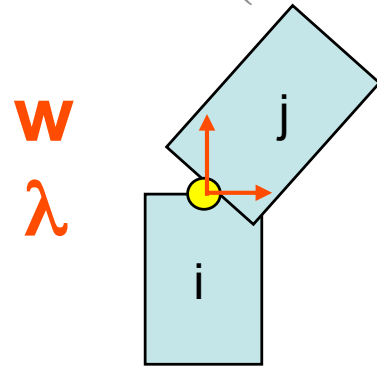
を運動方程式に代入すると、

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ w_6[t+1] \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \lambda_5 \\ 0 \end{bmatrix} + \mathbf{b}$$

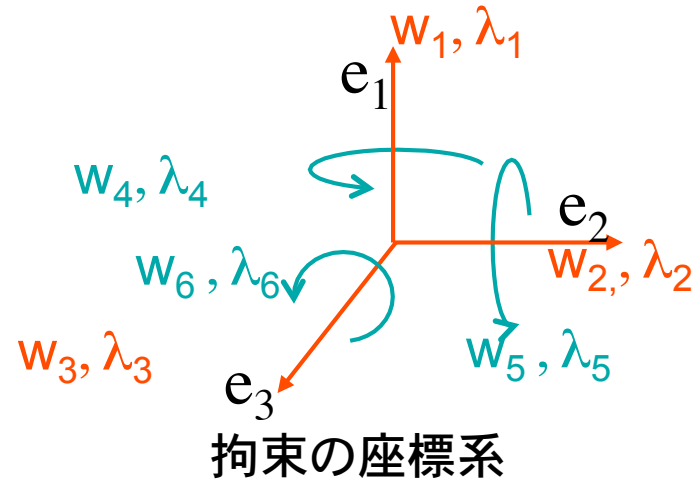
を解く

## 5. 拘束の例

- 関節(蝶番の例、接触などは後で)



$w$  連結点での相対速度・角速度  
 $\lambda$  連結点に作用する拘束力・トルク



- 蝶番の軸 $e_3$ まわりの回転以外は相対運動をしない:

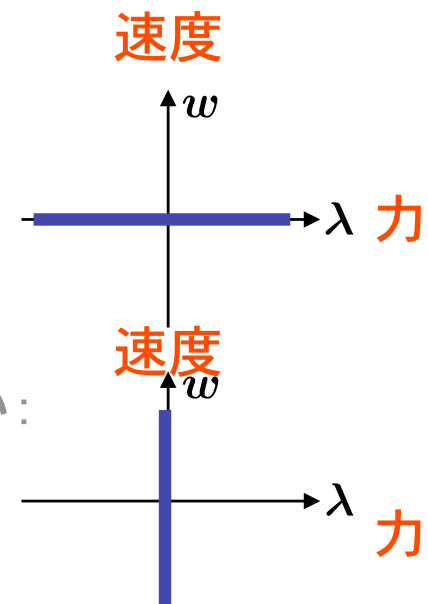
$$w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 = 0$$

- 蝶番の軸 $e_3$ まわりは自由に回転→トルクは働かない:

~~$$\lambda_6 = 0$$~~

軌道に追従

$$w_6 = \omega_0 \leftarrow \text{軌道から求めた角速度}$$



## 5. 拘束の組み込み

- 拘束を考えやすいように、運動方程式を変形

$$M\dot{\mathbf{u}} = \mathbf{f}_c + \mathbf{f}_e = \mathbf{J}^t \boldsymbol{\lambda} + \mathbf{f}_e$$

$$\mathbf{u}[t+1] = \mathbf{u}[t] + M^{-1} \Delta t \mathbf{J}^t \boldsymbol{\lambda} + M^{-1} \Delta t \mathbf{f}_e$$

$$\mathbf{u}[t+1] = \mathbf{u}[t] + M^{-1} \Delta t \mathbf{J}^t \boldsymbol{\lambda} + M^{-1} \Delta t \mathbf{f}_e$$

$$\mathbf{J}\mathbf{u}[t+1] = \mathbf{J}\mathbf{u}[t] + \mathbf{J}M^{-1} \Delta t \mathbf{J}^t \boldsymbol{\lambda} + \mathbf{J}M^{-1} \Delta t \mathbf{f}_e$$

$$\mathbf{w}[t+1] = \mathbf{w}[t] + \mathbf{J}M^{-1} \mathbf{J}^t \Delta t \boldsymbol{\lambda} + \mathbf{J}M^{-1} \Delta t \mathbf{f}_e$$

$$\mathbf{w}[t+1] = \mathbf{A}\boldsymbol{\lambda} + \mathbf{b}$$

- 拘束条件と連立させる(蝶番の例)

拘束:  $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 = 0$

$$w_6 = \omega_0$$

を運動方程式に代入すると、

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \omega_0 \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \lambda_5 \\ \lambda_6 \end{bmatrix} + \mathbf{b}$$

解く

物理シミュレータの詳細は  
EC2006PBM.ppt を参照ください

## 詳しくは

- 来週、再来週、東京で学会発表します
  - 他にも面白い研究が沢山あります
  - ぜひお越しください

- 日本バーチャルリアリティ学会大会



9月9日(水)～11日(金) @早稲田大学

<http://vrsj2009.org/>

- エンタテインメントコンピューティング2009



9月16日(水)～9月18日(金) @東京大学 本郷

<http://www.entcomp.org/ec2009/>