

# インタラクティブシステム特論 | (7)

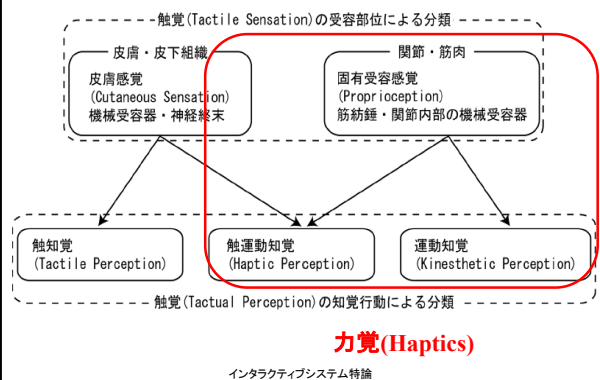
梶本裕之  
人間コミュニケーション学科  
kajimoto@hc.uec.ac.jp  
http://kaji-lab.jp

## 日程

- 6/10 講義: 力覚
- 6/17 講義: 運動感覚 + 視覚その他
- 6/24 発表
- 7/ 1 発表
- 7/ 8 発表
- 7/15 発表
- 7/22 **発表(残念!)**

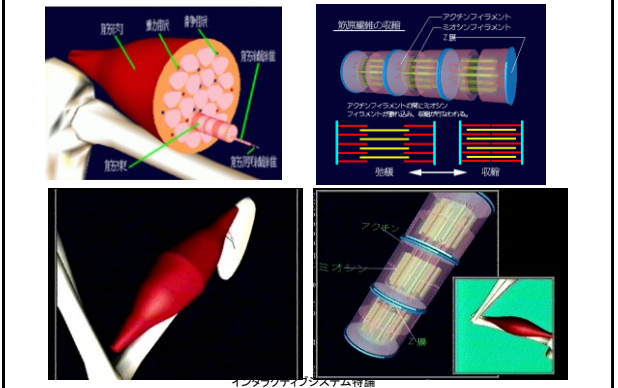
インタラクティブ技術特論

## 力覚・触覚・体性感覚・皮膚感覚...



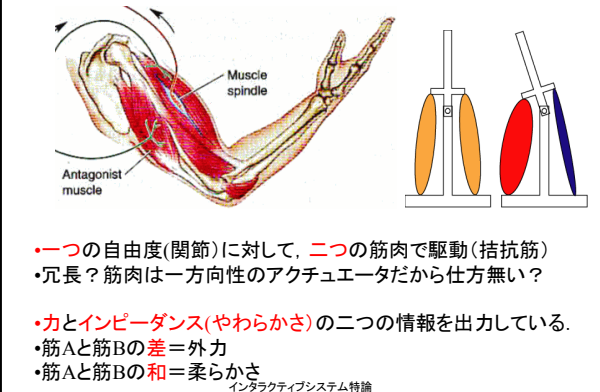
インタラクティブシステム特論

## 骨格筋について



インタラクティブシステム特論

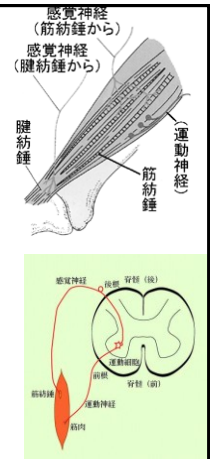
## 骨格筋について



インタラクティブシステム特論

## 力覚に関わる受容器

- 筋紡錘
  - 筋内部に分布。
  - 筋の長さ変化に応答
  - 伸長反射に関与
- Golgi腱器官
  - 筋両端の筋, 腱移行部に分布
  - 筋張力に応答
- 関節受容器
  - 関節の可動限界を示す受容器



インタラクティブシステム特論

## 提示情報

- **現実**の力覚情報の提示
- **バーチャル**な力覚情報の提示

インタラクティブシステム特論

## 現実の力覚情報の提示

- 空間的に遠く離れた場所の力を提示
  - テレイグジスタンス/テレオペレーション
- 現実の力を加工して提示
  - マイクロサージェリー

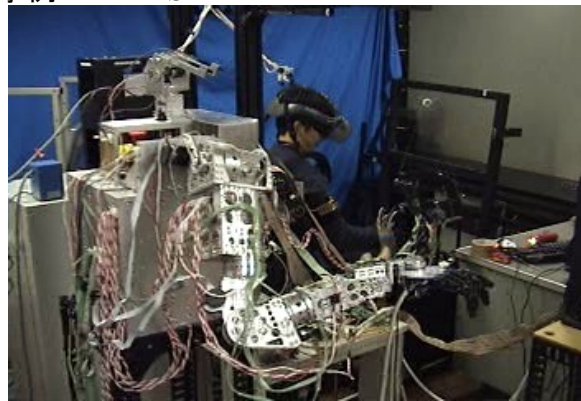
インタラクティブシステム特論

## 構成要素

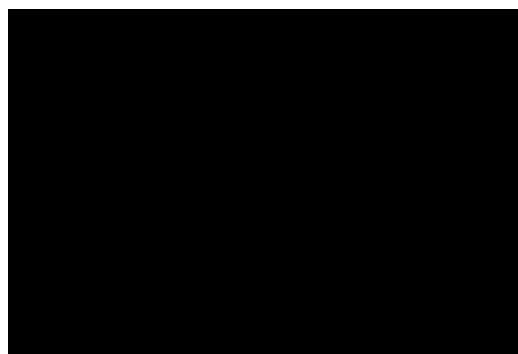
- **マスタ**
  - ユーザへの力覚提示
  - ユーザの操作指令入力
- **スレーブ**
  - ユーザへ返す力覚情報計測
  - ユーザからの指令の出力

インタラクティブシステム特論

## 事例1: TELESAR II



## 事例2: Robotic User Interface (RobotPHONE)

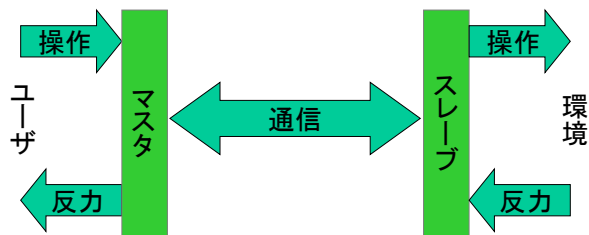


インタラクティブシステム特論

## 事例2: Robotic User Interface (RobotPHONE)

**RobotPHONE**  
**Second prototype**

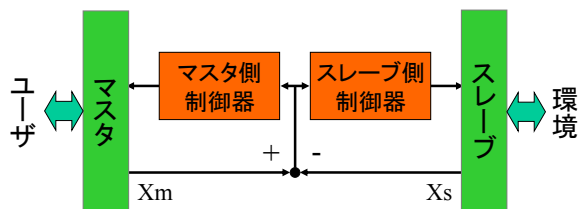
### 現実の力覚情報の提示



マスタ・スレーブ両方を考慮した制御が必要  
 一つの理想: **マスタ, スレーブシステムが無くなること**

インタラクティブシステム特論

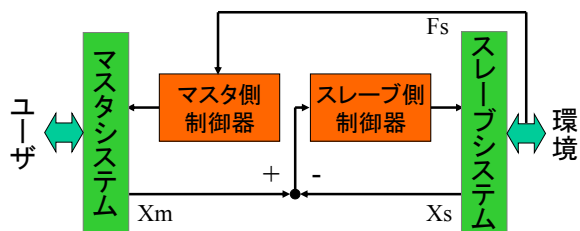
### (参考)バイラテラル制御1: 対称型



- 位置の差分をマスタ/スレーブ両方にフィードバック
- カセンサ不要
- 操作者は, マスタとスレーブ両方の重さを感じる

インタラクティブシステム特論

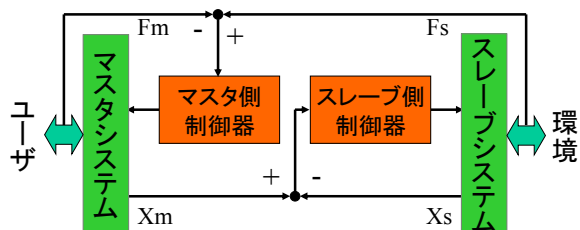
### (参考)バイラテラル制御2: 力逆送型



- スレーブは位置フィードバック
- マスタへはスレーブ側で計測された力をフィードバック
- 操作者は, マスタの重さ+スレーブに環境から加わる力を感じる

インタラクティブシステム特論

### (参考)バイラテラル制御3: 力帰還型



- スレーブ: 位置フィードバック
- マスタ: スレーブと環境の力とマスタの出力の誤差をフィードバック
- マスタ側ダイナミクスを制御で変化させることが可能. 見かけ上ダイナミクスを小さくすることはできるが, 小さすぎると不安定に
- 操作者は, スレーブ側の力+制御で軽くなったマスタの重さを感じる

インタラクティブシステム特論

### (参考)インピーダンス制御

- 結局, 問題はマスタ・スレーブの【重さ】
- ローカルな制御によって見かけ上軽く出来る  
 - インピーダンス制御
- その上で, 前述のバイラテラル制御を行う

インタラクティブシステム特論

### 提示情報(再)

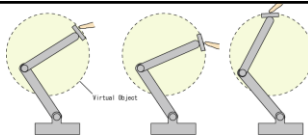
- **現実の力覚情報の提示**

#### バーチャルな力覚情報の提示

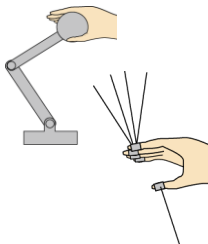
計算機内部に構築されたモデルに基づいて力情報を計算し, 力覚を通じて提示  
 - シミュレーション  
 - 3Dモデリング

インタラクティブシステム特論

## 力覚提示の方式



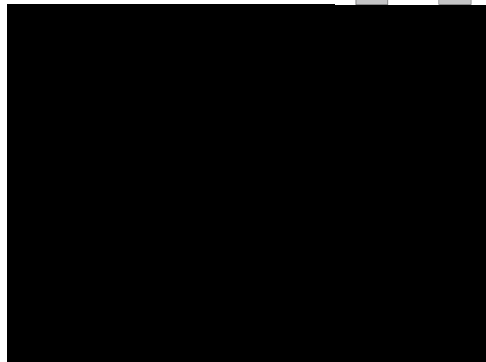
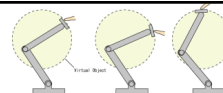
- 環境再現型 (遭遇型)
  - 環境全体を再現. 物体との”遭遇”を提示
- 姿勢再現型
  - 力覚提示装置を装着 (装着型)
  - 力覚提示装置を把持 (把持型)
    - 道具再現型



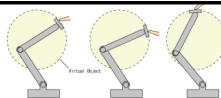
インタラクティブシステム特論

## 遭遇型(1)

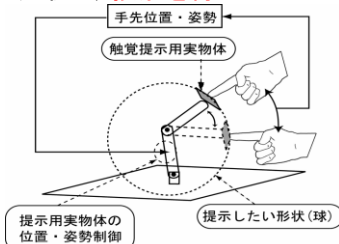
### Active Environment Display



## 遭遇型の提示方法

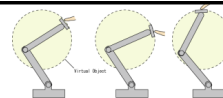


- 人は上肢計測装置を装着
- 提示側は物体形状を近似しながら人の上肢運動に追従し, **接触を待つ**.



## 遭遇型(2)

### 多指遭遇型デバイス



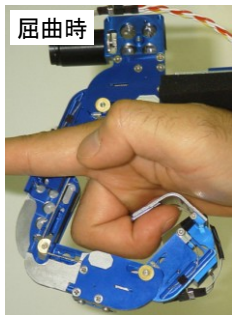
横小路等, 多指遭遇型試作器

インタラクティブシステム特論

## 遭遇型(3)TELESAR II マスターハンド

- 指の屈曲・伸展に非接触追従
- 接触感提示時のみ指先に接触

屈曲時



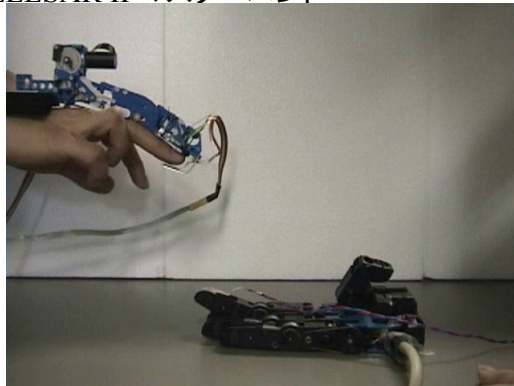
伸展時



接触感提示時のみ  
こが接触する

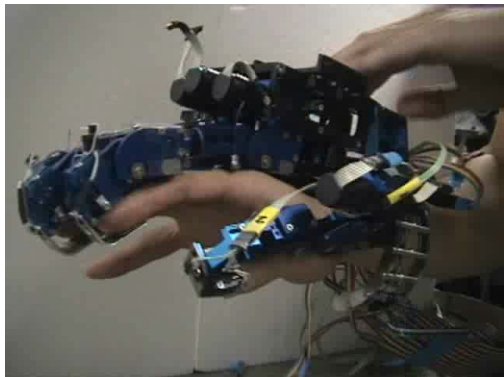
インタラク

## TELESAR II マスターハンド



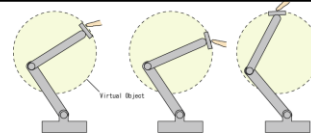
インタラクティブシステム特論

### TELESAR II マスターハンド(親指)



インタラクティブシステム特論

### 力覚提示の方式



- 環境再現型(遭遇型)
  - 環境全体を再現. 物体との”遭遇”を提示
- 姿勢再現型
  - 力覚提示装置を装着(装着型)
  - 力覚提示装置を把持(把持型)
    - 道具再現型

インタラクティブシステム特論

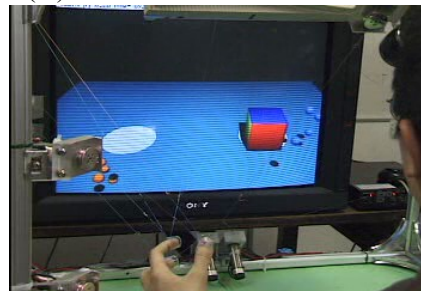
### 装着型(1)CyberGrasp/CyberForce



CyberForce  
把持感+重量感

インタラクティブシステム特論

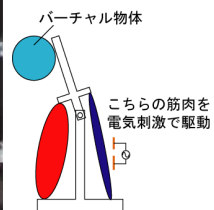
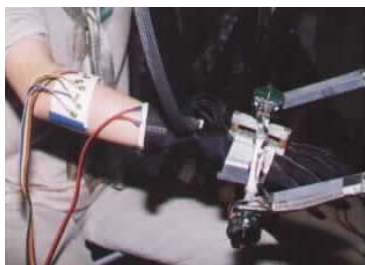
### 装着型(2)SPIDAR8



- 4指+4指
- 1指当たり3本の糸で力覚表現
- ワイヤ駆動: N本のワイヤでN-1自由度を実現

インタラクティブシステム特論

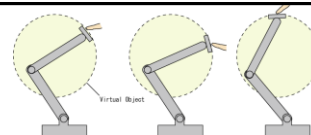
### 装着型(3) 変り種: 機能的電気刺激



- 筋肉を電気刺激によって駆動
- 拮抗筋を駆動することにより, 止める
- 場所をとらない

インタラクティブシステム特論

### 力覚提示の方式



- 環境再現型(遭遇型)
  - 環境全体を再現. 物体との”遭遇”を提示
- 姿勢再現型
  - 力覚提示装置を装着(装着型)
  - 力覚提示装置を把持(把持型)
    - 道具再現型

インタラクティブシステム特論



### 把持型(1)PHANToM

力覚提示デバイスの代名詞  
Sensable: Thomas Massie. MIT在学中に設立  
(注: 指に装着するタイプもあり)



PHANToM Omni

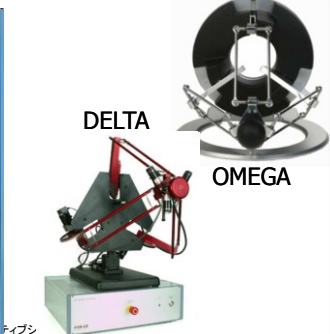
6DOF



インタラクティブシステム特論

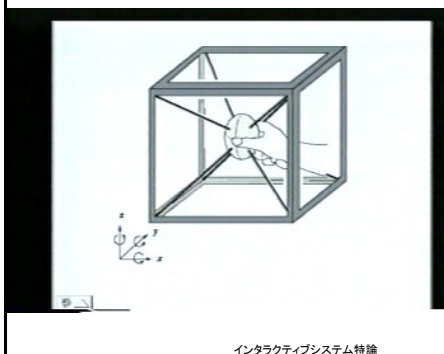
### 把持型(2)ForceMASTER / OMEGA

fcs社 ForceMASTER force dimension社



フィジック

### 把持型(3)SPIDAR-G



インタラクティブシステム特論

### 把持型(4) 変り種: 非接地型(wearable)ディスプレイ

非接地型力覚インターフェイス  
GyroCubeSeries



(独)産総研 中村則雄  
筑波大学 福井幸男

インタラクティブシステム特論

### 把持型(4)変り種: 非接地型(wearable)ディスプレイ



インタラクティブシステム特論

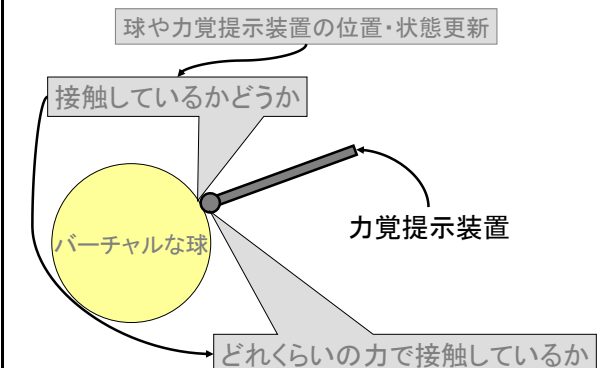
(補足) 装着型と把持型の小さくて大きな違い



- 装着型:
  - 指ごとにサポートする必要
  - 古典的VR.
- 把持型:
  - 「ペン」等の類推の利く道具に対して力提示(道具再現型).
  - 指への力提示は間接的
  - 現実的解

インタラクティブシステム特論

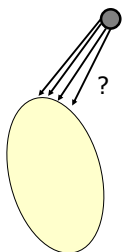
バーチャルな力覚情報の提示



衝突判定

衝突: 物体同士の最短距離が0である状態  
最近傍点の探索手法

- GJKアルゴリズム
- Lin-Cannyアルゴリズム
- ...



衝突判定用ツール

- V-Clip
  - <http://www.merl.com/projects/vclip/>
- H-Collide, etc.
  - <http://www.cs.unc.edu/~geom/collide/index.shtml>
- Free-SOLID
  - <http://www.win.tue.nl/~gino/solid/>

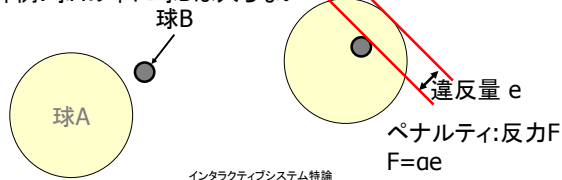
インタラクティブシステム特論

反力計算

- ペナルティー法

- 拘束条件に違反した分だけペナルティーを課す
- 計算手法がシンプル
- 一種の「バネ」としての表現

条件例: 球Aの中に球Bは入らない



インタラクティブシステム特論

(補足) バックドライバビリティ

- バックドライバビリティ(back-drivability)  
= 出力軸を直接動かせるかどうか

- 通常の歯車:  
バックドライバビリティ有.  
ただしギア比が大きいほど減少(1:50程度)
- ウォームギア:  
バックドライバビリティ無



インタラクティブシステム特論

(補足) バックドライバビリティに対する戦略



- 「軽い」装置:
  - ワイヤ駆動等. 低ギア比.
  - バックドライバビリティ有)



- 「重い」装置:
  - 産業用ロボットなど.
  - 高ギア比. ユーザは動かせない.
  - ハンドル先端のカセンサに应答.

インタラクティブシステム特論

## バックドライバビリティと力出力(1)

### インピーダンス型のシミュレート手法

- 手先の**位置を計測**.
- めり込み量に比例した**力を出力**.
- 利用者は、変位に比例した力を弾性(柔らかさ)と知覚
- 手先が壁にめり込むところから開始するから、力覚ディスプレイは操作者の力だけで動かせる必要＝バックドライバビリティ有



## バックドライバビリティと力出力(2)

### アドミッタンス型のシミュレート手法

- 操縦者の**力を計測**
- その力に基づき、壁が今後どのように変形し、その結果手先がどのような軌道を描くか計算
- その**軌道を出力**.
- 手先に**力センサ**が必須だが、力覚ディスプレイは軽い必要がなく、産業用ロボット等の固い装置を利用可能



## 実時間性

- 安定な提示の為には高速な計算周期が必要  
- 一般に数百Hz～1kHz程度

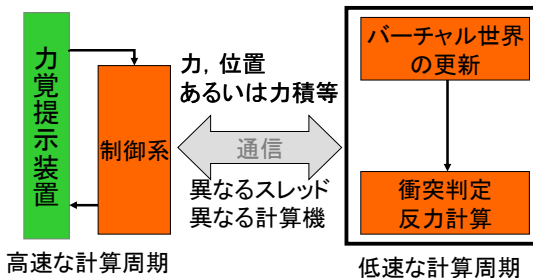
バーチャル世界の複雑さによってはこの周期が達成できないことも

モデル計算部と力覚提示制御部分を分離

インタラクティブシステム特論

## 実時間性

### モデル計算部分と力覚提示部分とを分離



インタラクティブシステム特論

## 論文発表について

- メールで連絡された都合は反映させつつもですが、もし不都合があれば当人同士で交代し、事前に梶本に知らせてください。
- 6/24 [01]横谷知昂 [14]齊藤直樹 [17]岡野裕[24]高間浩樹 [29]齋藤賢吾 [34]田宮裕史
- 7/ 1 [02]佐竹哲明 [10]大瀧篤 [19]牛田裕也 [23]崔暎巍 [30]市川卓 [35]山根寛 [11]Miao
- 7/ 8 [04]林恭平 [12]鈴木晴恵 [20]張豊永 [25]井桁正人 [31]吉田愛美 [36]奥村俊也
- 7/15 [05]松村 智彰 [09]神山高明 [21]程超 [27]成相悟史 [32]吉田翼 [37]伊勢谷沙織
- 7/22 [06]吉村理音 [16]小迫大 [22]井上智代[28]佐藤和哉 [33]村瀬悠 [38]市川嘉裕

## 発表方法

- 発表7分、質疑3分、交代2分で一日6人行います。
- 時間が有りませんので10:40時ちょうどに開始します。発表時間厳守でおねがいします。
- 発表時間が短いので、研究の要点を、何が面白いのか分かるように話すことに集中してください。数式等の説明は不要。特に関連するweb上のコンテンツ(ムービー等)を探してくることを強く推奨します
- 当日の発表者はなるべくデータをUSBメモリで持参し、授業開始前(10:30～)に梶本のノートに入れてください。
- 梶本のノートを使う場合、pptのバージョンは2007です。
- ppt作成の際はムービーのリンク切れに注意して下さい。
- 学部生は次のレポート課題を行い、授業最終回の次の週までにメールで提出してください。
- 課題:「新たなインタラクティブシステムを考案する」
- 提出内容はテキストあるいはwordファイルとする。