

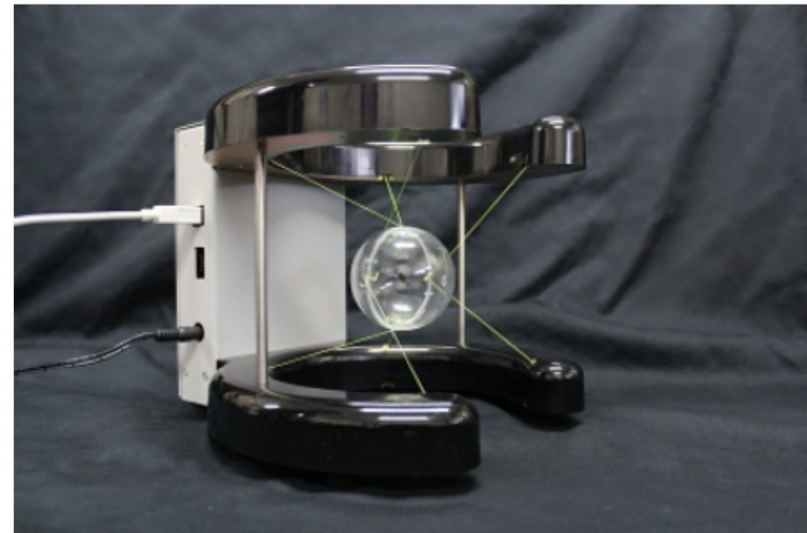
# バイオフィードバックに関する 高忠実力覚提示装置の カップリング手法の提案

東京工業大学  
精密工学研究所  
佐藤誠研究室

佐藤和樹 赤羽克仁 佐藤誠

# 研究背景

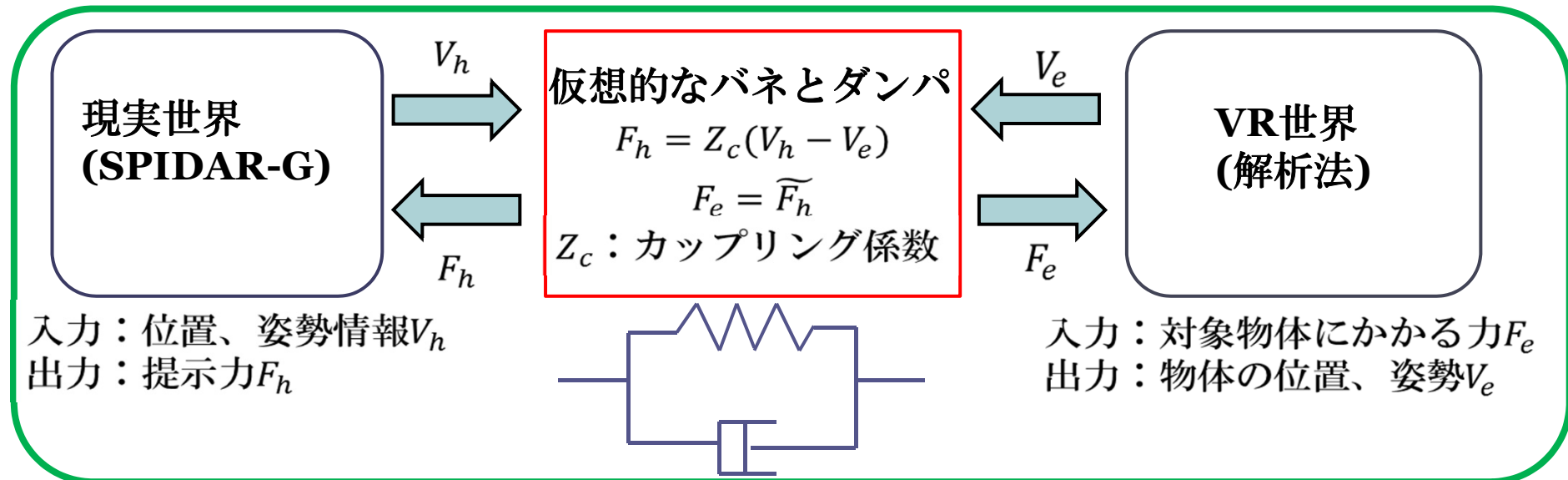
- SPIDAR-G
  - ▶ インピーダンス型の力覚提示装置
  - ▶ 8本の糸とモータを用いる
  - ▶ 球状のグリップを握って操作



SPIDAR-G

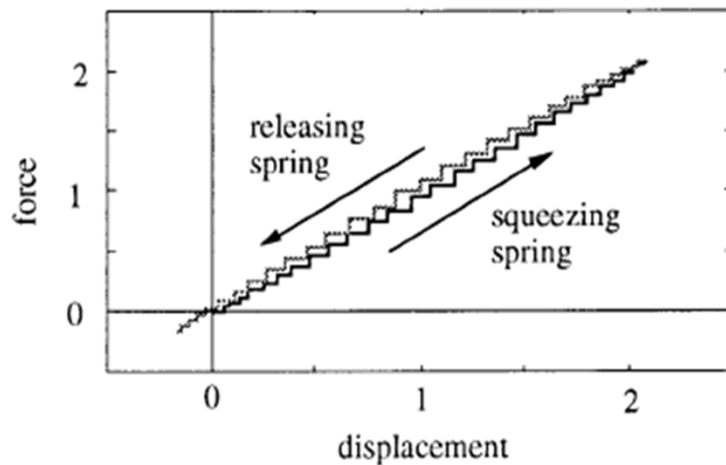
- 力覚提示システム

- バーチャルカップリング

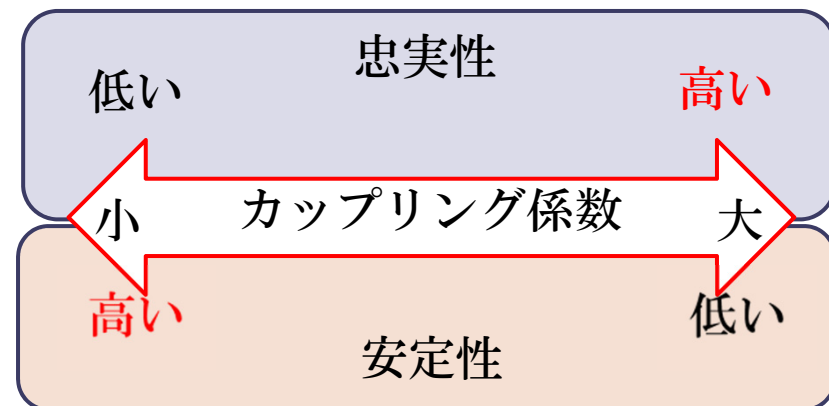


- バーチャルカップリングによってVR世界とSPIDARを接続
  - 力覚提示の忠実性はカップリング係数に依存

## ● バーチャルカップリングの課題



仮想バネによるエネルギー生成図

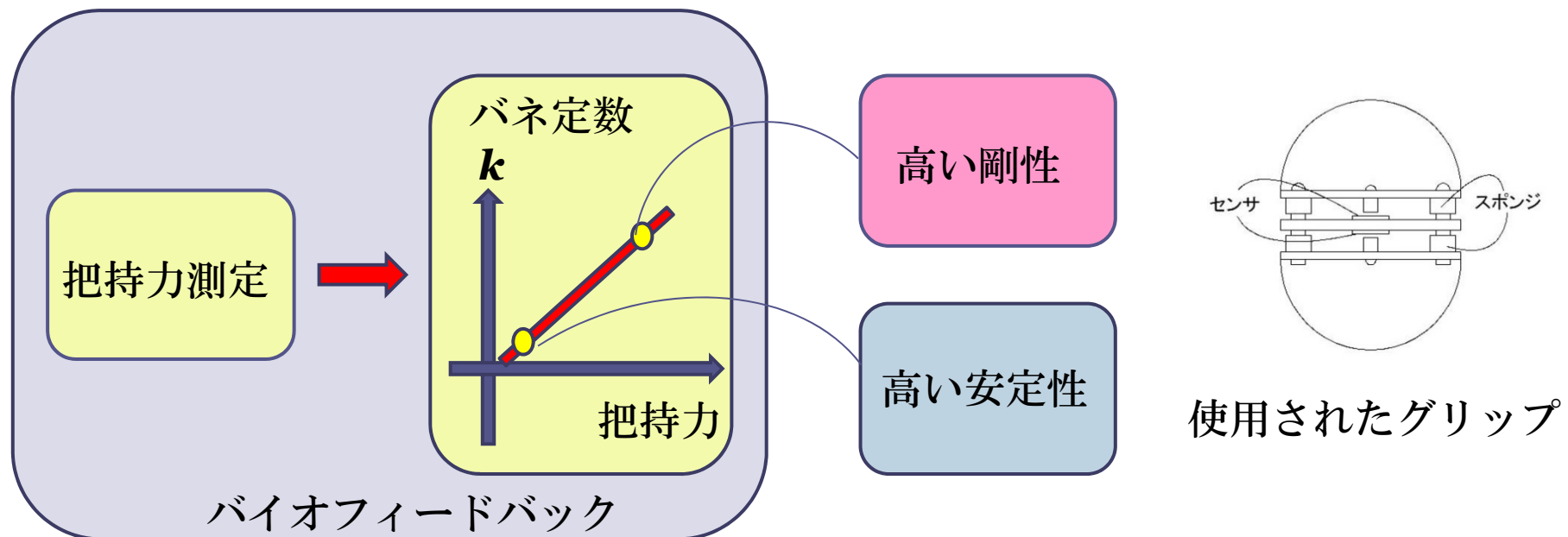


- ▶ 忠実性と安定性はトレードオフ
- ▶ 仮想バネから生じるエネルギーを抑制することによってカップリング係数を大きくできる可能性がある

# バイオフィードバック

(赤羽克仁, 浅田惇一, 佐藤誠: バイオフィードバックによる  
高忠実力覚提示装置に関する研究, TVRSJ Vol.17 No.4 pp.343-351(2012))

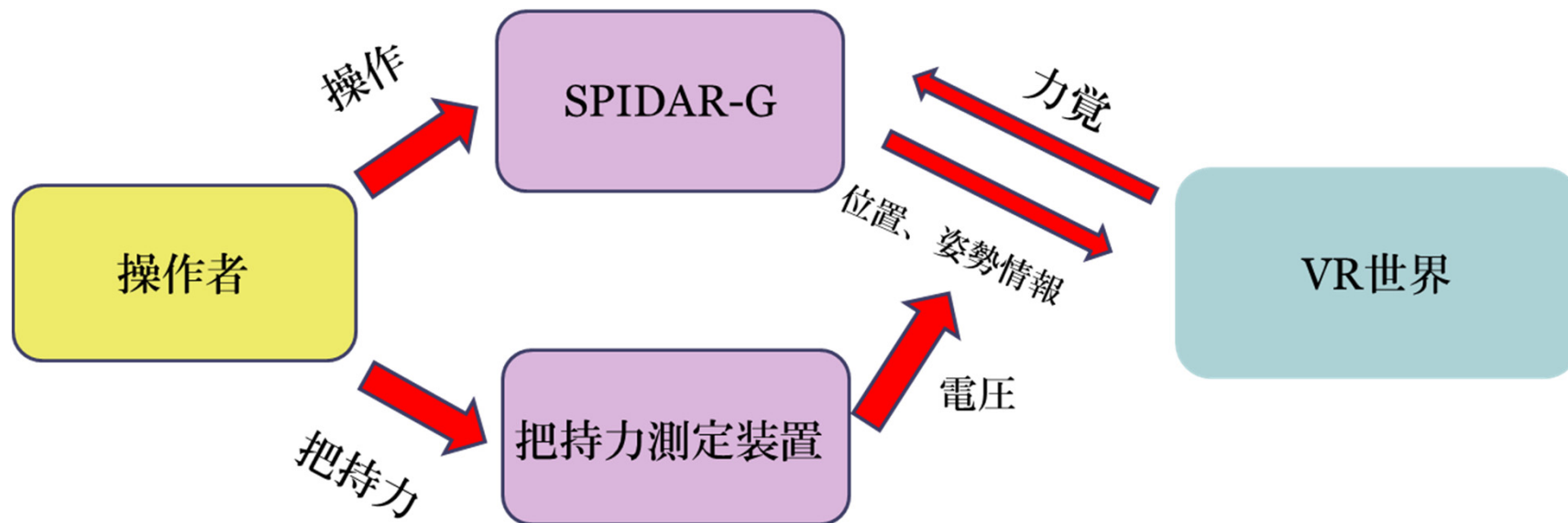
- ▶ 人間の把持力で仮想バネのエネルギーを抑制
- ▶ グリップ操作時の把持力を力覚提示に利用することを バイオフィードバックと定義
- ▶ 把持力に応じてバネ定数を動的に変化させた



## 研究目的

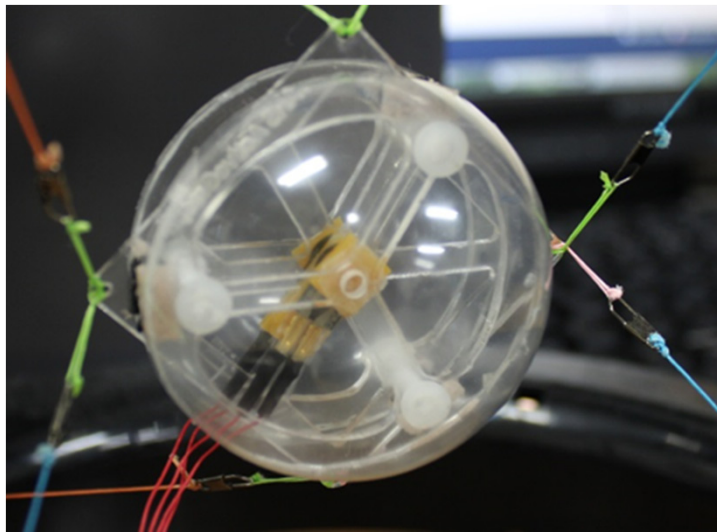
- 把持力によるバネ定数、ダンパ定数の制御  
→従来よりも安定した面の提示を可能に
- 把持力によるカップリング切り替え  
→操作の直感性の向上

# 提案システム

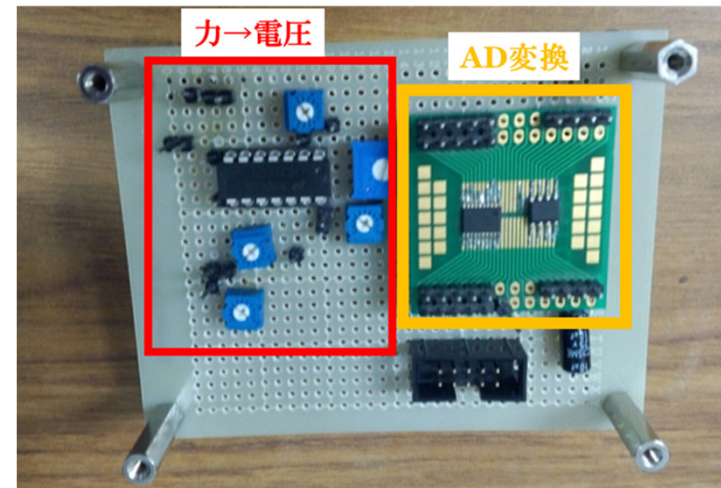


- 把持力測定装置によって人間の把持力を電圧に変換し、得られた電圧をカップリング制御に用いる

# 把持力測定装置



センサ内蔵グリップ



力を電圧に変える回路

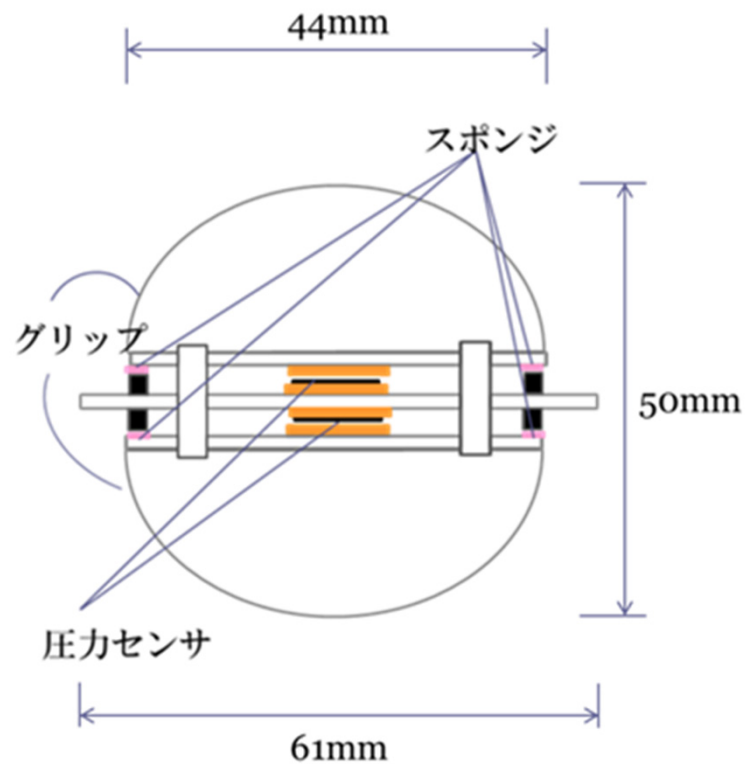


圧力センサ

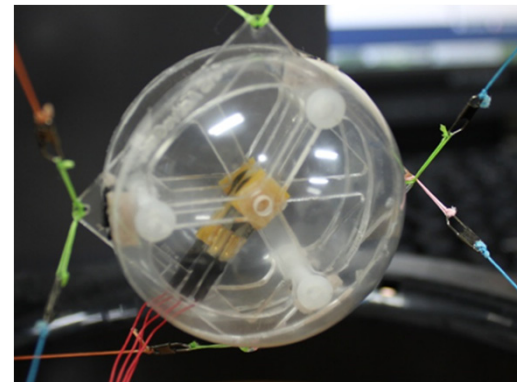
- グリップにかけられる把持力を回路を通して電圧として取り出す



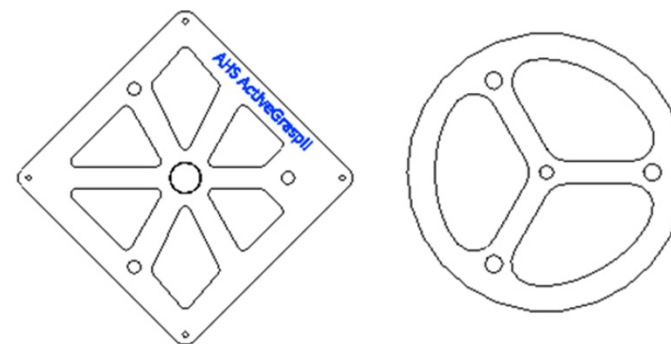
# グリップ構成



グリップ構成



作成グリップ

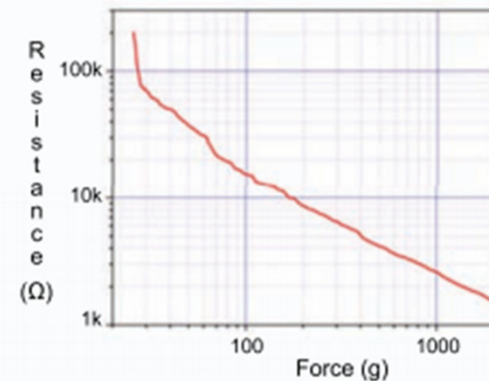


フレームデザイン

- 把持力のみを取り出すために2枚の圧力センサを取り付け
- 加圧部には飴ゴムを使用

# 圧力センサ

- FSR400SHORT(INTERLINK社)



- ▶ PTF(polymer thick film : 高分子圧膜フィルム)デバイスの一つで、与えられた力に応じて抵抗値が減少する。
- ▶ 長さが15.8ミリ程度でありグリップに仕込みやすい
- ▶ 感圧範囲は100g未満~10kg超
- ▶ 抵抗値は1MΩ~5kΩ

## 把持力と係数の対応付け

正規化した把持力 $F(0\sim 1)$ と係数を一次関数で対応付け

- バネ定数： $k = 3400 \times F + 2440$  [N/m]
- ダンパ定数： $b = 1.65 \times F + 5.00$  [Ns/m]

提案手法無の最大： $k=5570$ [N/m],  $b=6.50$ [Ns/m]



提案手法有の最大： $k=5840$ [N/m],  $b=6.65$ [Ns/m]

## 把持力によるカップリング

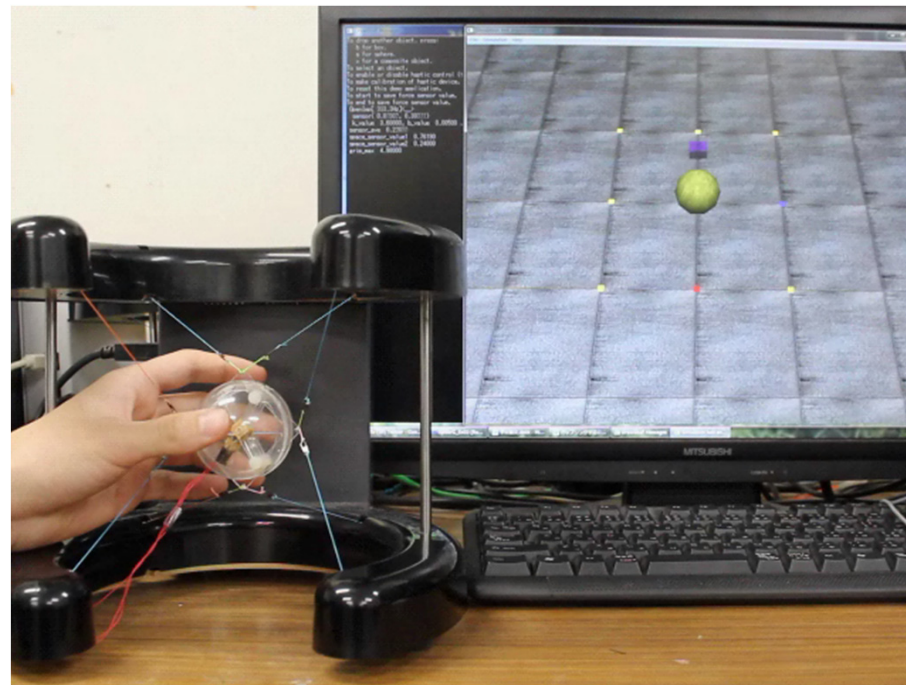
- カップリングを行う（物を掴む）ときの閾値  
→キャリブレーションによって設定した値 $C_{on}$
- カップリングを切る（物を離す）ときの閾値  
→ $C_{off}=0.02$ に固定
- $F(0\sim 1) > C_{on}$  のときカップリングon
- $F(0\sim 1) < C_{off}$  のときカップリングoff

## 評価実験

- 仮想壁衝突実験
  - 球体と仮想壁を用意し、球体を衝突させた
- 主観評価
  - 提案手法を用いて被験者実験を行った

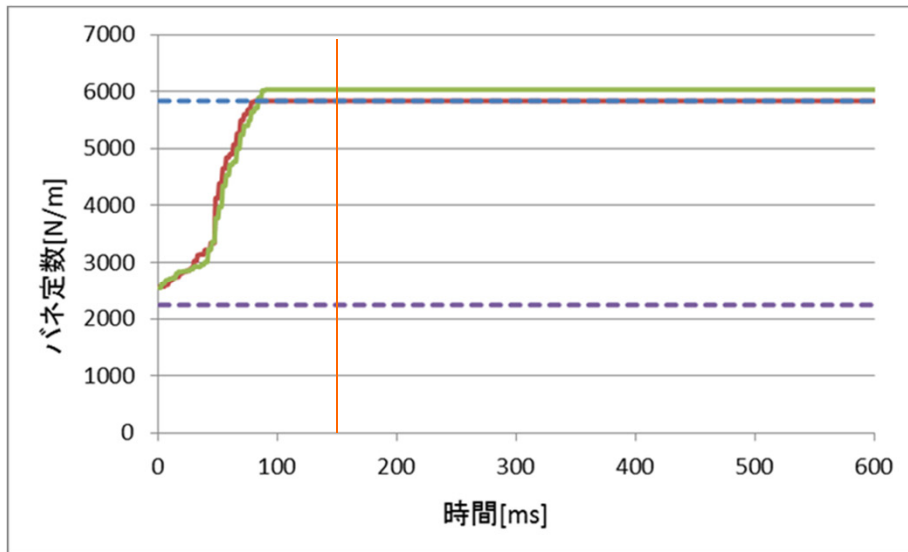
# 仮想壁衝突実験

球体と仮想壁を用意し、球体を衝突させた  
(計測1kHz, ODE333Hzで実行)

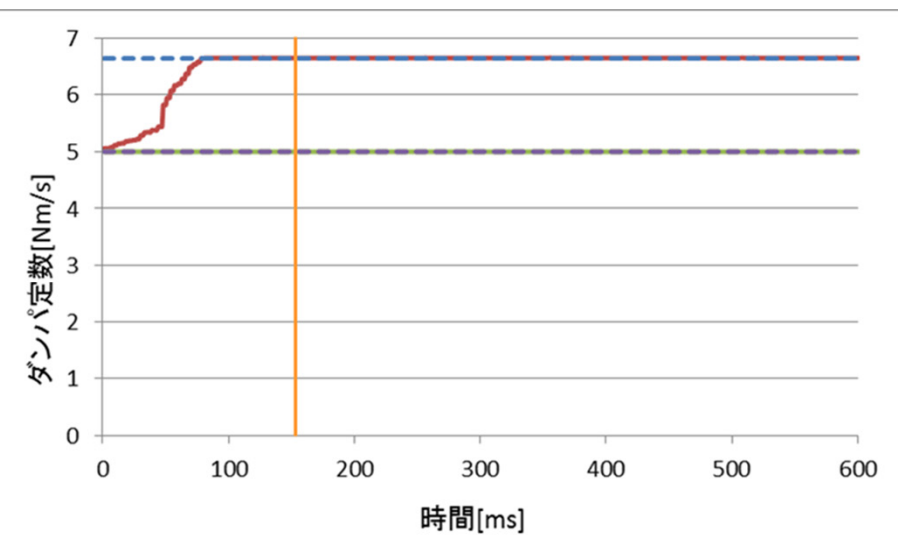


# 仮想壁衝突実験

- 提案手法
- バネ定数のみ変化
- 最小 (k=2440, b=5.0)
- 最大 (k=5840, b=6.65)



バネ定数の変化

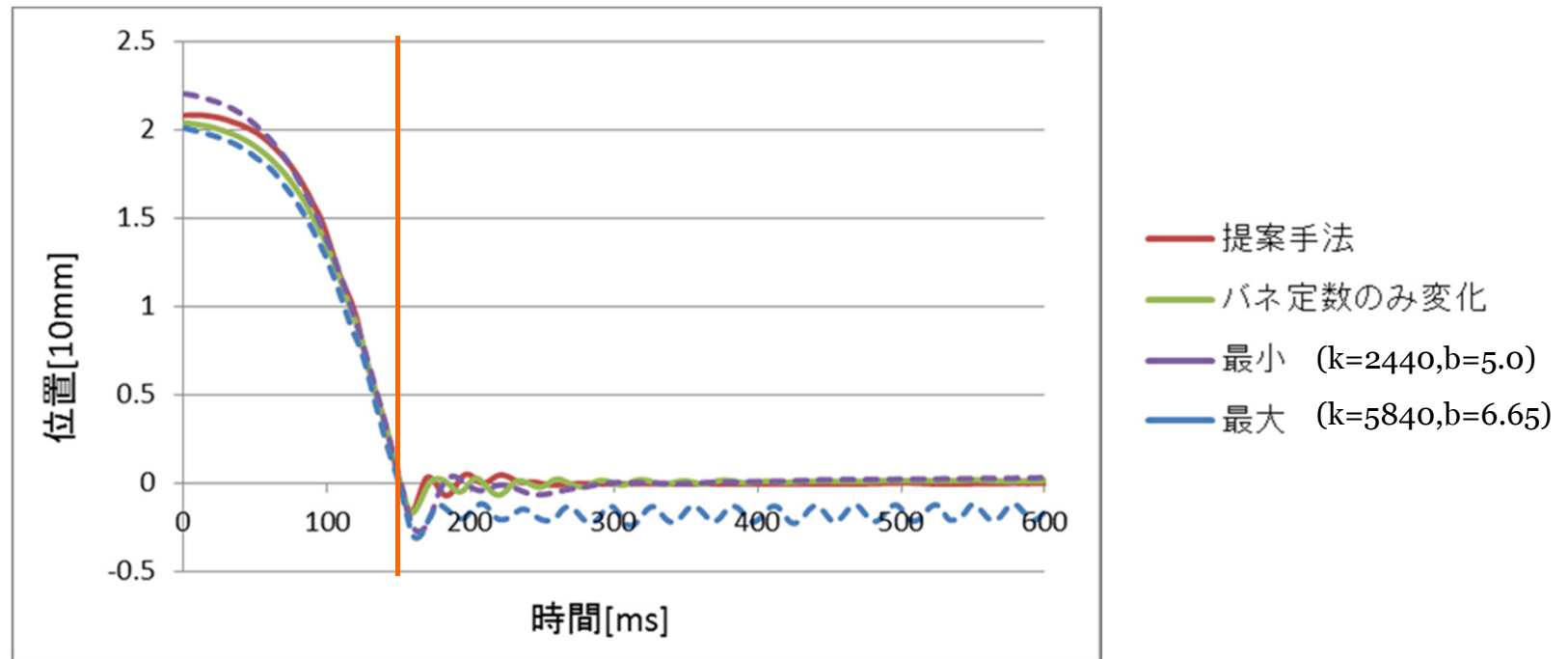


ダンパ定数の変化

	提案手法	従来手法	最小	最大
バネ定数[N/m]	2440→5840	2440→6040	2440	5840
ダンパ定数 [Ns/m]	5.00→6.65	5.00	5.00	6.65

# 仮想壁衝突実験

球体のy方向の座標を測定

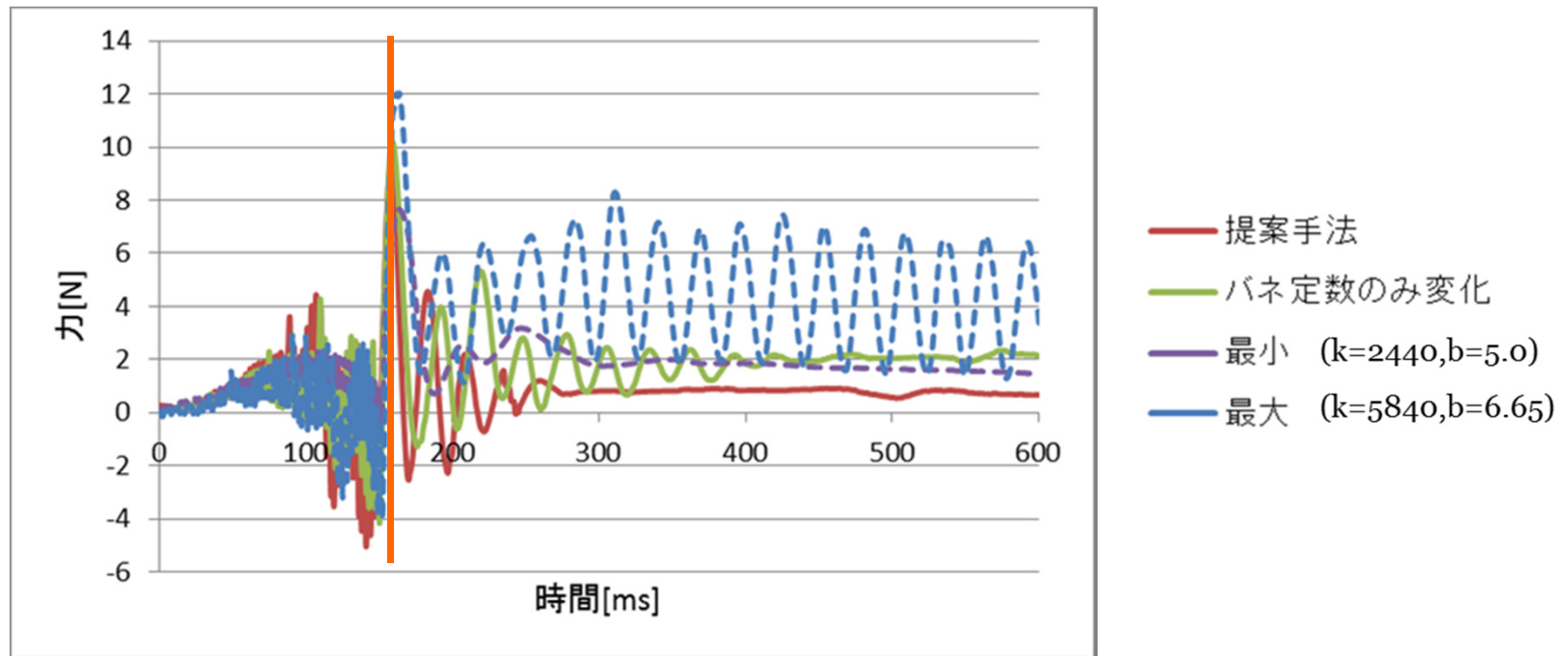


	提案手法	従来手法	最大	最小
侵入距離[mm]	1.7	1.7	3.1	2.8
収束時間[ms]	120	240	収束せず	160



# 仮想壁衝突実験

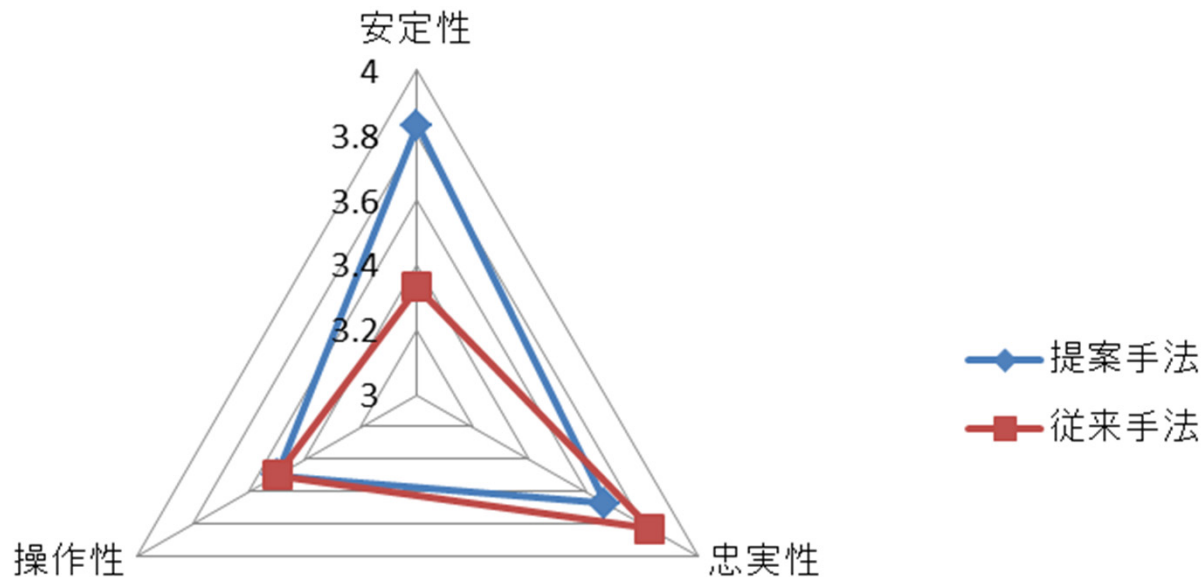
球体が受けるy軸方向の提示力を測定



	提案手法	従来手法	最大	最小
提示力[N]	9.1	10.0	(12.0)	7.6
収束時間[ms]	130	290	収束せず	220

## 主観評価(係数の制御について)

被験者6名で安定性、操作性、忠実性について5段階評価を行った



主観的な面でも従来手法に比べ提案手法は安定性を向上させることが可能になった

## 主観評価

(把持力によるカップリング切り替えについて)

- 被験者六名に対して実際に操作してもらい直感性、持ちやすさ、離しやすさについて4段階評価を行った  
→いずれの項目に対しても高い評価が得られ、マイナス評価がでたのは離しやすさのみ

	直感性	持ちやすさ	離しやすさ
平均点	3.50	3.83	3.50

## まとめ

- 把持力によるバネ定数、ダンパ定数の動的制御  
→従来よりも安定した面の提示を実現
- 把持力によるカップリング  
→操作における直感性の向上

## 今後の課題

- 操作する物体の大きさ、重さに応じて係数の対応付けを調整
- 装置の改良による感圧域の拡張

御静聴ありがとうございました