

仮想環境における粘弾性の変化が人の 反力知覚に及ぼす影響

小松 佑輔[†], 大西 仁^{††}, 石橋 豊[†]

[†]名古屋工業大学 大学院 工学研究科

^{††}放送大学 教養学部

電子情報通信学会 コミュニケーションクオリティ研究会

2016年7月26日 関西学院大学



概要

- 背景
- 目的
- 作業内容
- 評価方法
- 評価結果
- 結論と今後の予定

背景

触覚インタフェース装置を用いると、作業効率の向上が期待

QoS(Quality of Service)
保証のないネットワークを
介して作業

ネットワーク遅延
やその揺らぎ、
パケット欠落

ユーザ体感品質
(**QoE: Quality
of Experience**)
の劣化

QoS制御

高効率なQoS制御を行うには、弾性係数と粘性係数が力の計算に用いられることから弾性と粘性の知覚特性を明らかにすることが必要

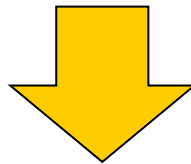
弾性：ばねを押したときやゴムを伸ばしたときに知覚
粘性：水中や油の中で移動させたときに知覚

従来研究

*1 大西 他, 信学技報, HIP2007-101, Nov. 2007.

*2 鈴木 他, 信学技報, CQ2014-95, Jan. 2015.

- 仮想ばねを押す作業*1に対して, 弾性係数の変化が人の弾性知覚に与える影響を心理物理学的に調査
- 粘性のみがある空間で仮想物体を押す*2作業に対して, 粘性係数の変化が人の粘性知覚に与える影響を心理物理学的に調査



変化前の弾性係数/粘性係数が大きいほど, 知覚される弾性/粘性は大きく知覚され, 変化前の弾性係数/粘性係数が小さいほど, 知覚される弾性/粘性は小さく知覚



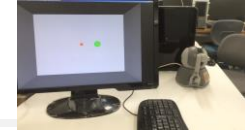
目的

弾性と粘性を別々に調査していて、粘弾性のある仮想空間での作業は未調査

本研究

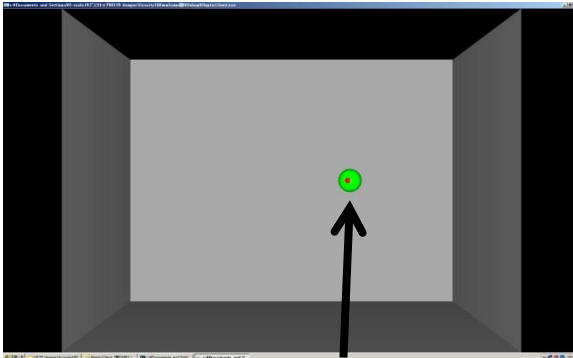
仮想空間内での作業に対して、粘弾性の変化として以下の場合を扱い、知覚に及ぼす影響を恒常法により調査

- 一定の粘性があるときに弾性が変化する場合(Case 1)
- 一定の弾性があるときに粘性が変化する場合(Case 2)
- 弾性と粘性が同時に変化する場合(Case 3)



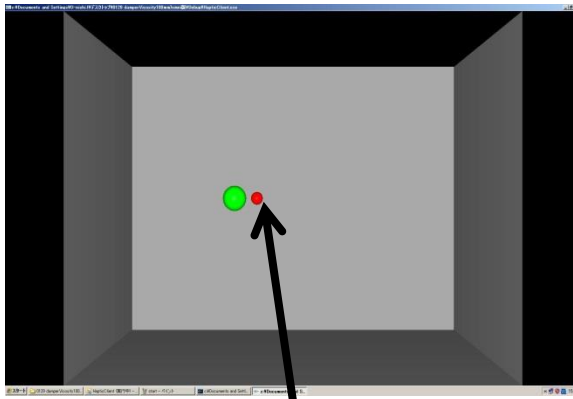
作業内容

作業開始時



目標物体

作業終了直前時

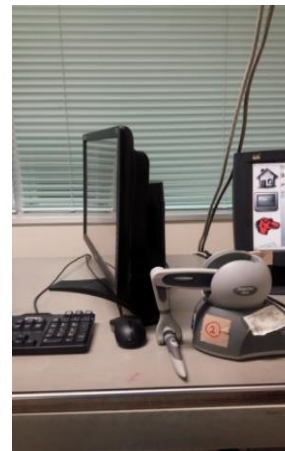


カーソル

一定の速度で移動する緑色の目標物体を追従しながら赤色のカーソルを水平方向に移動

実験条件

作業距離	100[mm]
作業時間	500[ms]



触覚インタフェース装置
(Geomagic Touch)

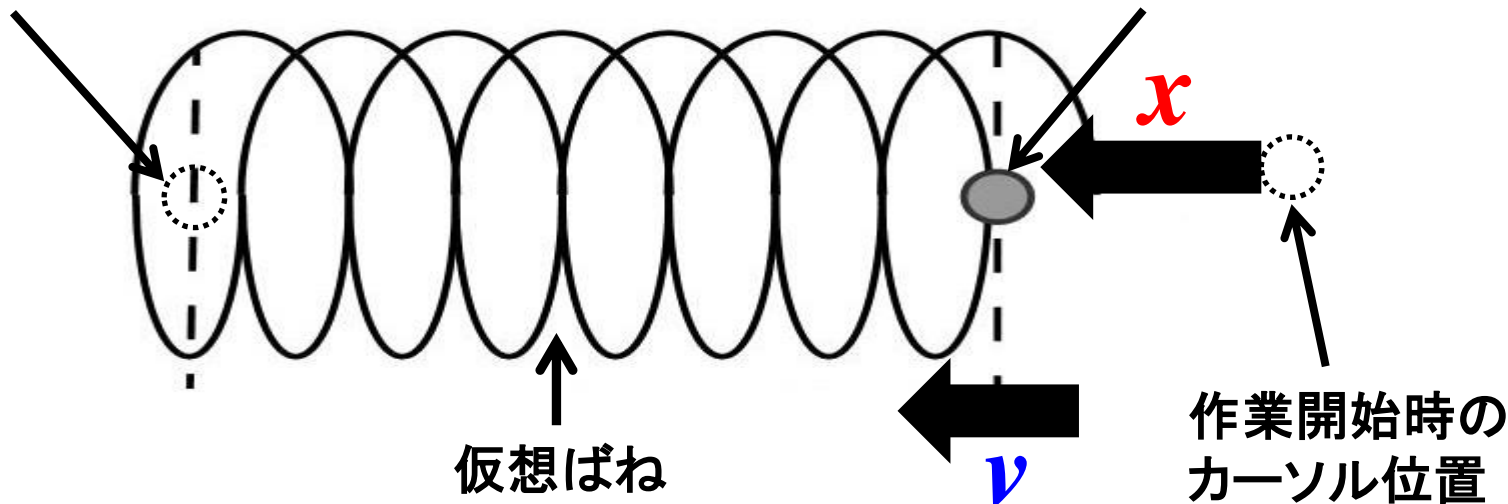
反力の計算方法

弾性と粘性がある仮想空間内での反力 F の計算式

$$F = -(K_s \mathbf{x} + K_d \mathbf{v})$$

作業終了時のカーソル位置

作業途中のカーソル位置



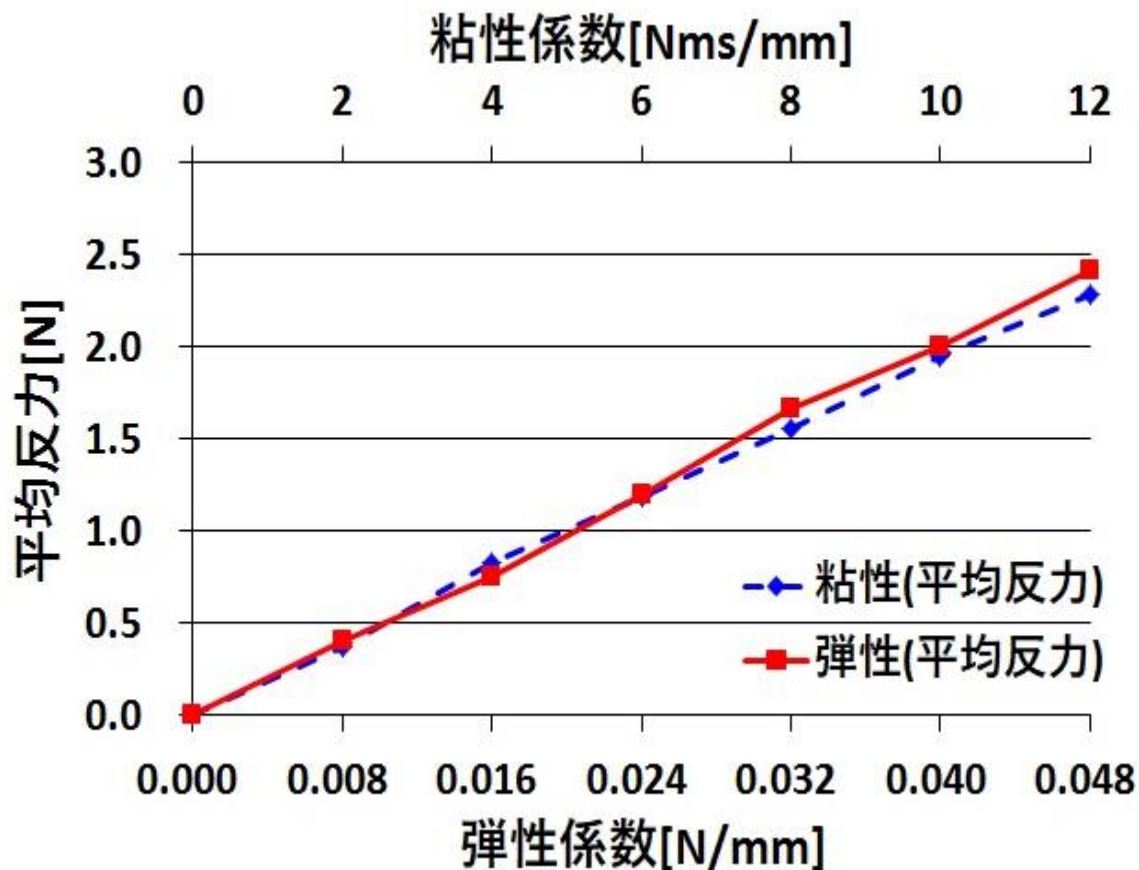
K_s : 弾性係数

K_d : 粘性係数

\mathbf{x} : 作業開始時のカーソル位置から
作業途中のカーソル位置までのベクトル

\mathbf{v} : カーソルの速度

各Caseにおける平均反力



各Caseにおける粘性による反力と弾性による反力の大きさをそろえるため、弾性と粘性の係数を対応付け

評価方法 (1/5)

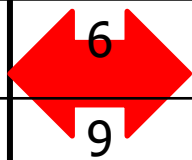
Case 1: 一定の粘性があるときに弾性を変化

恒常法

刺激量をランダムに変化させて、被験者の反応を多数回測定して反応の分布を調べる手法

弾性係数が1回変化する刺激と、変化しない刺激をペアにして連続して提示して比較

弾性係数		粘性係数 [Nms/mm]	変化しない刺激	
変化前の弾性係数 [N/mm]	変化後の弾性係数 [N/mm]	0	弾性係数 [N/mm]	
0	0.016	比較	0.004	
0.008			0.008	
0.016			0.012	
0.024			0.016	
0.032			0.020	
			0.024	
			0.028	9



カーソルが40mm移動したら直ちに变化

評価方法 (2/5)

Case 2: 一定の**弾性**がある
ときに**粘性**を変化

粘性係数が1回変化する刺激と、変化しない刺激をペアにして連続して提示して比較

粘性係数		弾性係数 [N/mm]	変化しない刺激	
変化前の粘性係数 [Nms/mm]	変化後の粘性係数 [Nms/mm]		粘性係数 [Nms/mm]	
0	4	0	1	10
2		比較	2	
4		0.024	3	
6		0.036	4	
8			5	
			6	
		7		

カーソルが40mm移動したら直ちに变化

評価方法 (4/5) Case 3: 弾性と粘性が同時に 変化(弾性の変化の大きさを変更)

(a)

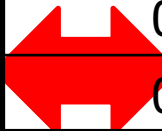
(b)

(c)

粘性係数が1回変化する刺激と弾性係数の変化の大きさを提示して比較		変化する粘性係数と変化する弾性係数を提示して比較	
変化前の弾性係数 [N/mm]	変化する粘性係数 [Nms/mm]	変化する弾性係数 [N/mm]	変化する粘性係数 [Nms/mm]
0	0.004	0	0
0.008	0.008	0.012	0.008
0.012	0.012	0.024	0.016
0.016	0.016	0.036	0.024
6	0.024	0.048	0.032
8	0.032		0.040

弾性係数を変えずに粘性係数を変化させた刺激を繰り返して連続し	
変化する弾性係数 [N/mm]	変化する粘性係数 [Nms/mm]
0	0
1	0.012
2	0.024
3	0.036
4	0.048
5	
6	
7	
12	

比較



カーソルが40mm移動したら直ちに变化



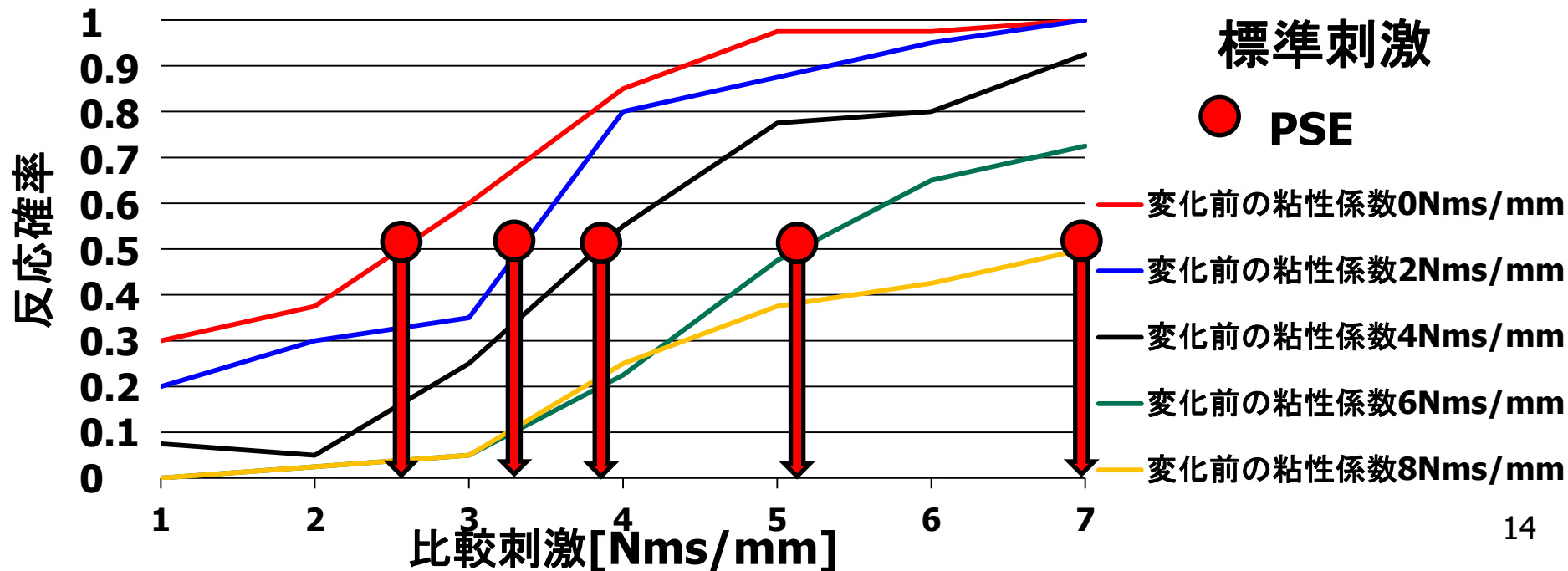
評価方法(5/5)

- 1ペア当たり20回の比較 (合計700ペアの比較)
- 提示されるペアの順序はランダム
- 先に行った作業に対して後に行った作業の反力が「より大きい」、「より小さい」の2件法で回答
- 比較判断の対象は、作業終了直前の反力の大きさであることを教示
- 被験者は3名
- 各被験者に対する一日当たりの実験時間は90分程度
- 各被験者は実験前に20回程度の練習

評価尺度

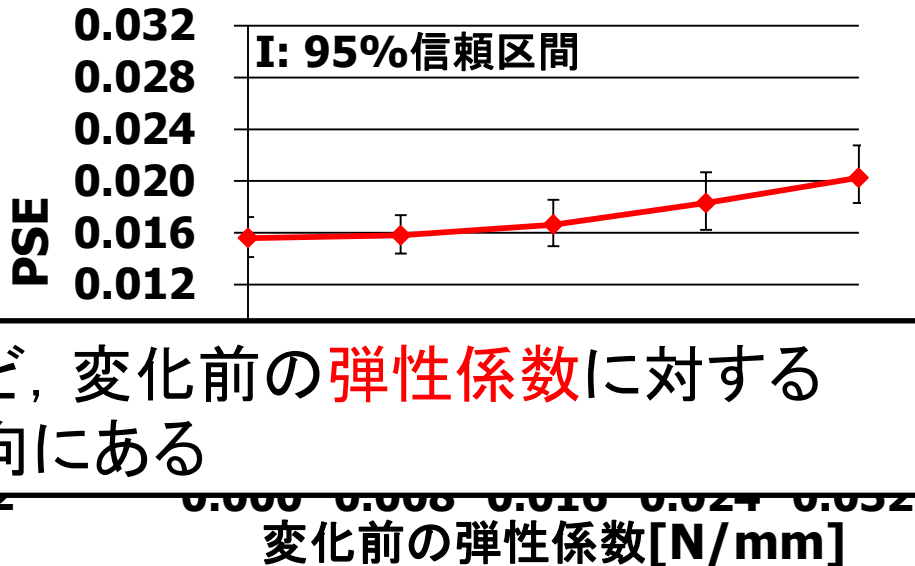
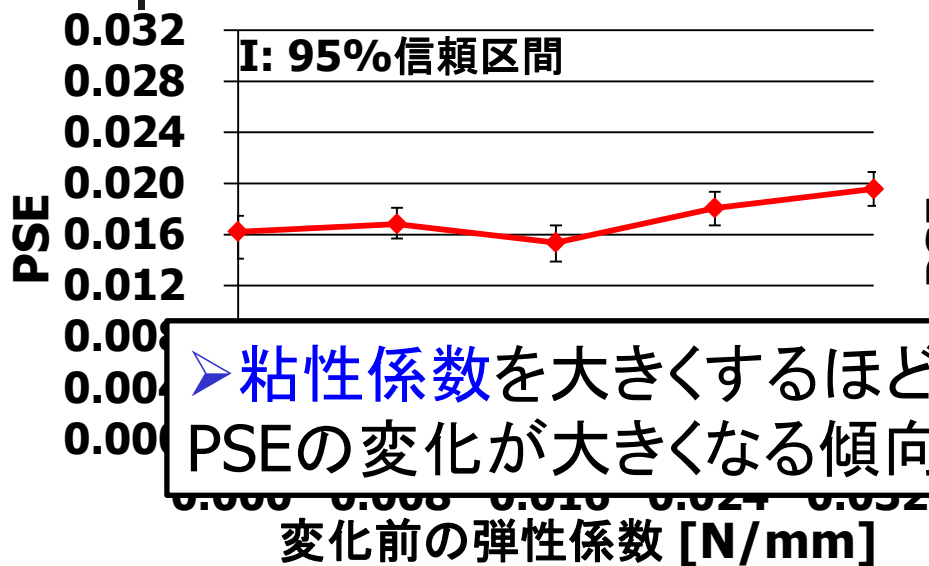
- 標準刺激に対して比較刺激が「より大きい」と反応する確率が0.5となる刺激量を被験者が感じる主観的な刺激量(主観的等価点PSE {Point of Subjective Equality})とする

実験結果(反応確率)の例

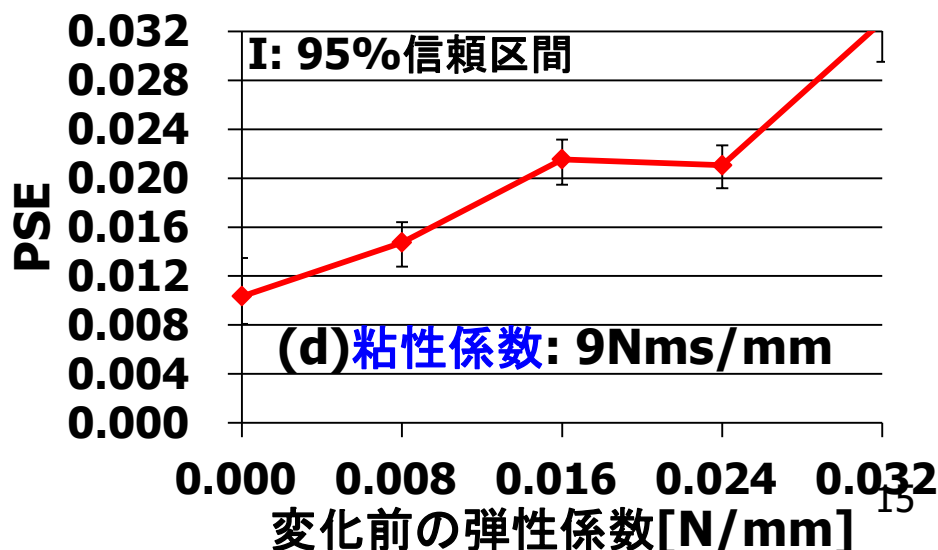
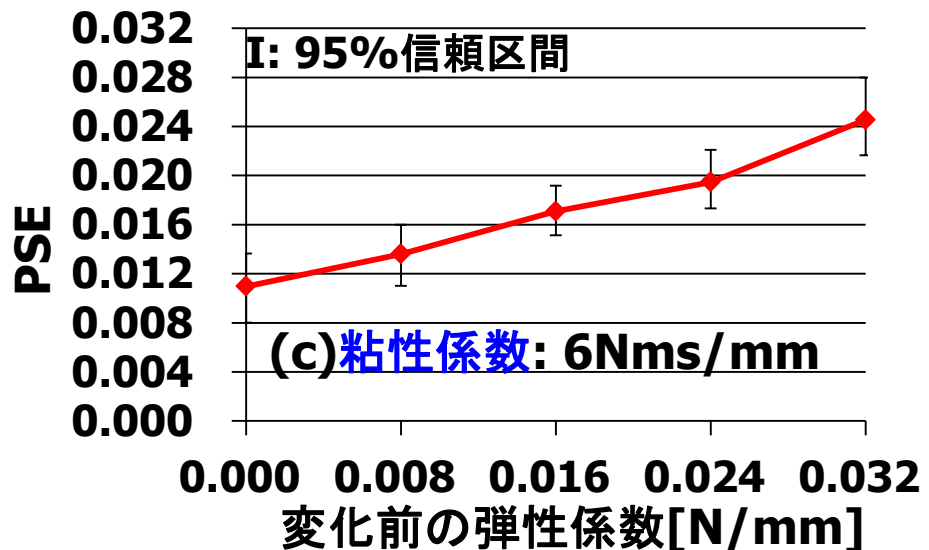


評価結果(1/4)

Case 1: 一定の粘性があるときに弾性を変化

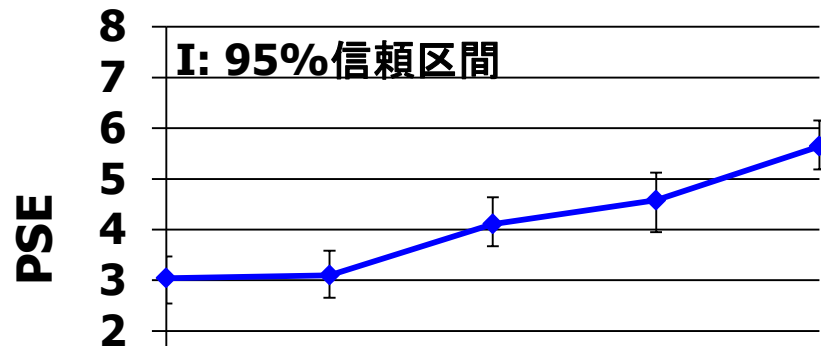
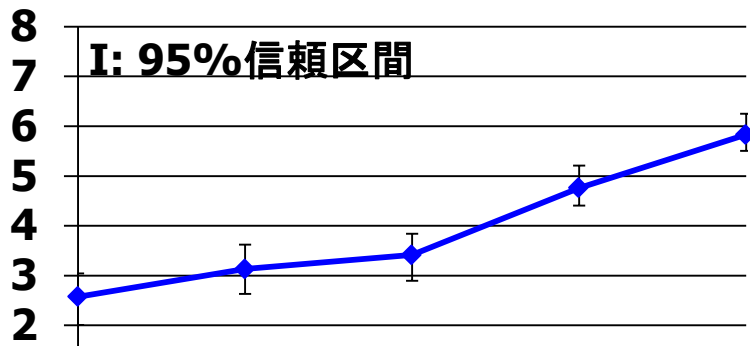


➤ 粘性係数を大きくするほど、変化前の弾性係数に対するPSEの変化が大きくなる傾向にある

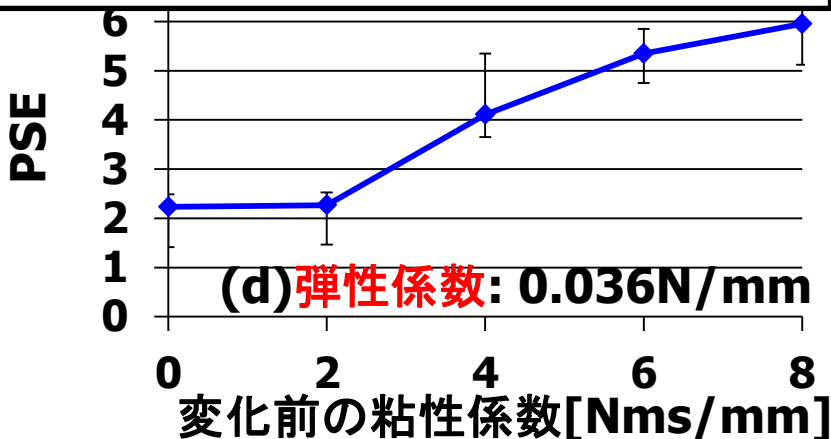
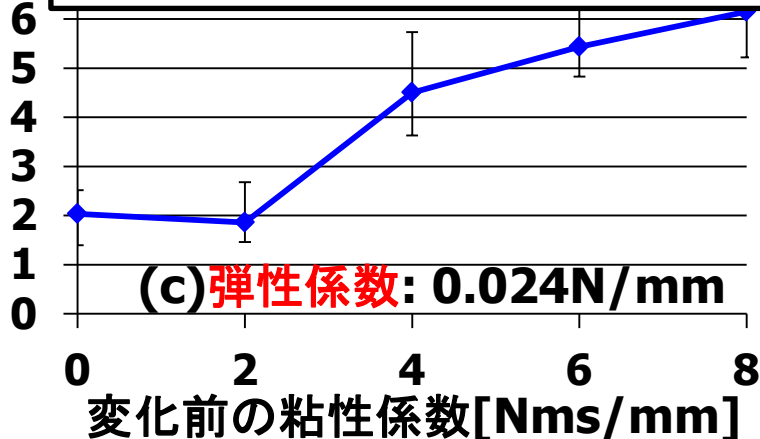


評価結果(2/4)

Case 2: 一定の**弾性**があるときに**粘性**を変化

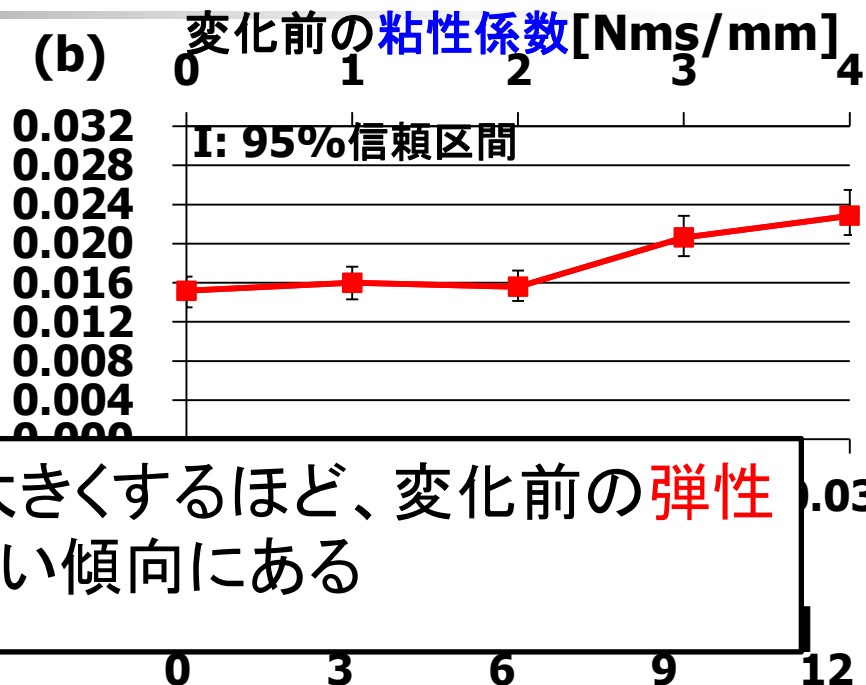
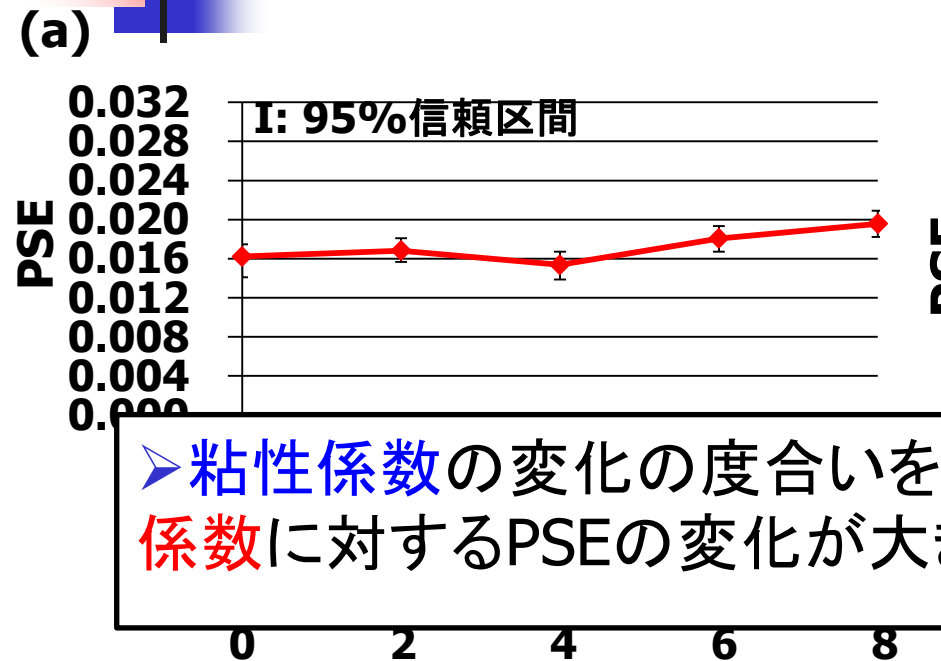


- 変化前の**粘性係数**に対するPSEの変化は、**弾性**の大きさにほとんど依存しない
- **弾性**の大きさが反力知覚に及ぼす影響は**粘性**と比べて小さい

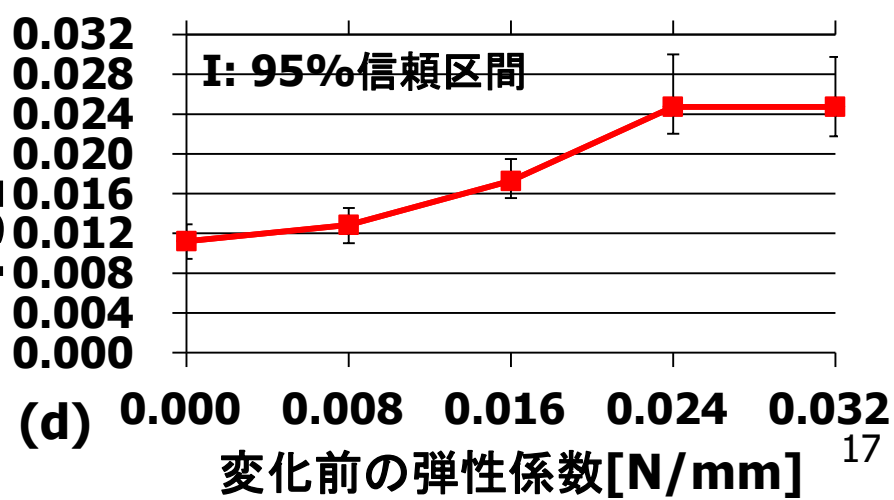
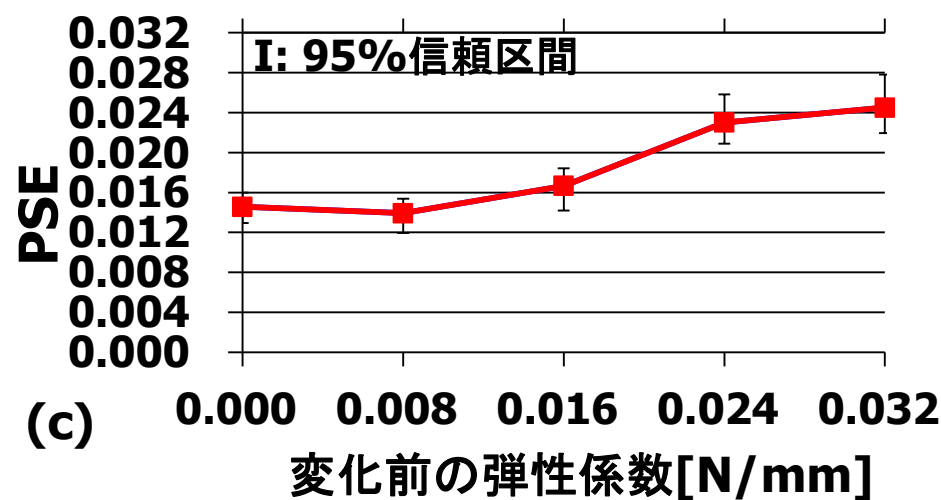


評価結果(3/4)

Case 3: 弾性と粘性が同時に
変化(粘性の変化の大きさを変更)

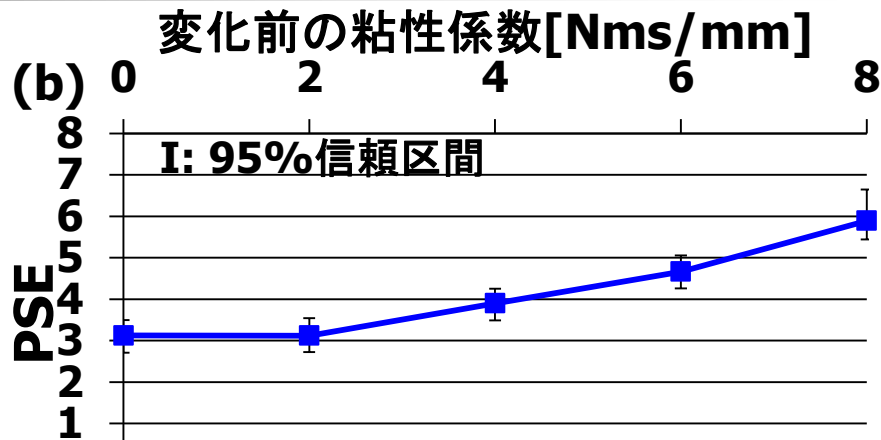
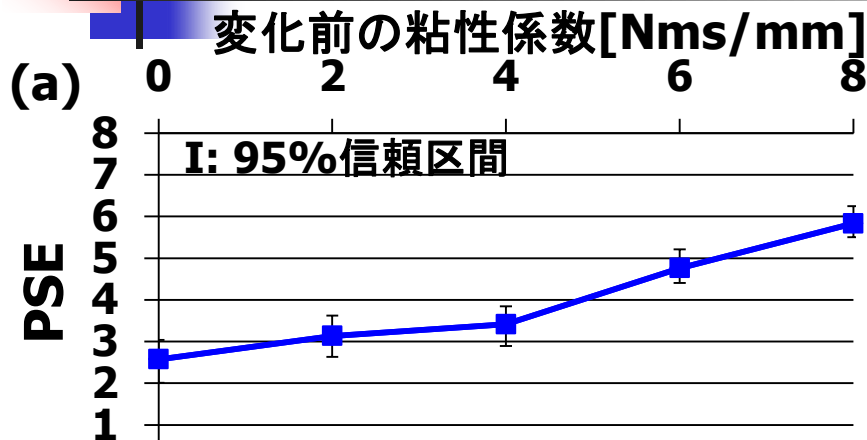


➤ 粘性係数の変化の度合いを大きくするほど、変化前の弾性係数に対するPSEの変化が大きい傾向にある

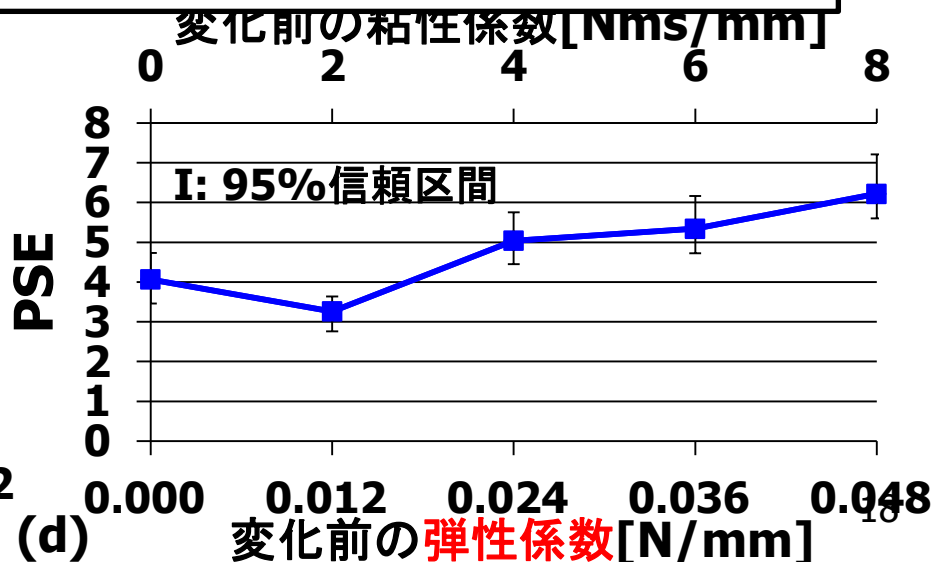
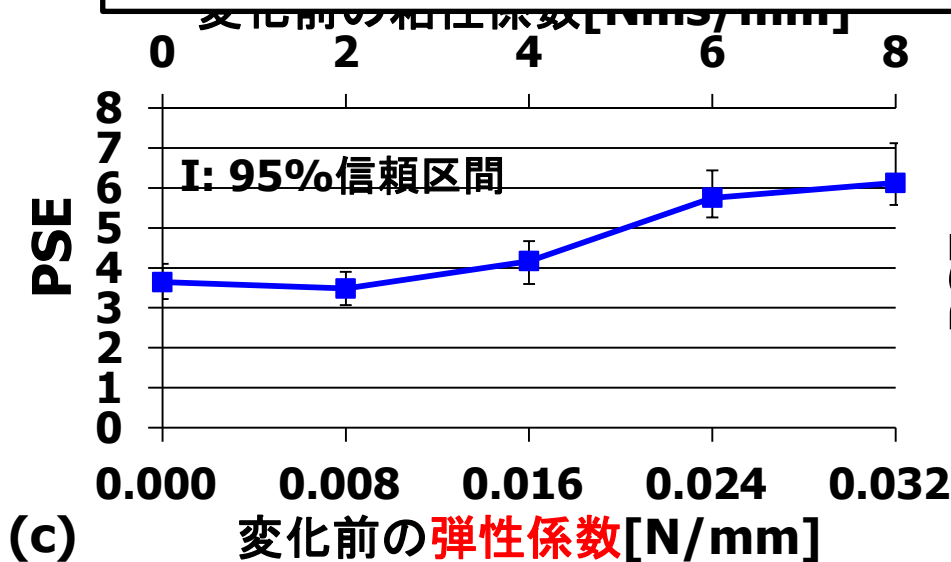


評価結果(4/4)

Case 3: 弾性と粘性が同時に変化(弾性の変化の大きさを変更)

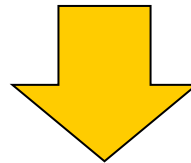


弾性係数の変化の度合いを大きくしても、変化前の粘性係数に対するPSEの変化に大きな違いはみられない



結論(1/2)

- ・一定の粘性があるときに弾性が変化する場合(Case 1)
 - ・一定の弾性があるときに粘性が変化する場合(Case 2)
 - ・弾性と粘性が同時に変化する場合(Case 3)
- の知覚に与える影響の違いを恒常法により調査して比較



- ・変化する弾性に一定の粘性および作業途中で変化する粘性を加える場合

➤ 加える粘性が大きいほど、主観的等価点PSEの変化が大きくなる傾向にある

結論(2/2)

・変化する粘性に一定の弾性および作業途中で変化する弾性を加える場合

➤ 加える弾性を大きくしても、主観的等価点PSEの変化に大きな違いはみられない

つまり...

粘性は弾性に比べて人の反力知覚に大きな影響を与える



今後の課題

- ▶ 弾性係数及び粘性係数が増化するまでのカーソル移動距離を変更した場合も調査を行う
- ▶ 仮想環境だけでなく、実環境においても同様の調査を行う