

機関番号	研究種目番号	審査区分番号	細目番号	分割番号	整理番号
34315	04	1	5007		0002

平成20年度(2008年度)基盤研究(A)(一般)研究計画調書

平成19年11月5日
1版

新規

研究種目	基盤研究(A)	審査区分	一般				
分野	工学						
分科	機械工学						
細目	知能機械学・機械システム						
細目表 キーワード	ソフトメカニクス						
細目表以外の キーワード	巧みさ						
研究代表者 氏名	(フリガナ)	ヒライ シンイチ					
	(漢字等)	平井 慎一					
所属研究機関	立命館大学						
部局	理工学部						
職	教授						
研究課題名	人の巧みさに関する軟組織の力学の解明						
研究経費 〔千円未満の 端数は切り 捨てる〕	年度	研究経費 (千円)	使用内訳(千円)				
			設備備品費	消耗品費	旅費	謝金等	その他
	平成20年度	17,313	4,313	2,500	3,900	5,100	1,500
	平成21年度	15,800	0	5,800	3,400	5,100	1,500
	平成22年度	13,700	0	2,500	3,900	5,300	2,000
	平成23年度	0	0	0	0	0	0
	平成24年度	0	0	0	0	0	0
	総計	46,813	4,313	10,800	11,200	15,500	5,000
分担金の配分	有						
開示希望の有無	審査結果の開示を希望する						
研究計画最終年度前年度応募	--						

研究組織（研究代表者、研究分担者及び連携研究者）

氏名（年齢）	所属研究機関 部署 局 職	現在の専門 学位 役割分担	平成20年度 研究経費 （千円）	エフ オー ト （ ％）
研究代表者 90212167 （45） ヒライ シンイチ 平井 慎一	（34315）立命館大学 （403）理工学部 （20）教授	ロボティクス 工学博士 研究統括ならびに手指の内部変形のモデリング	9,950	20
研究分担者 10268154 （56） タナカ ヒロミ 田中 弘美	（34315）立命館大学 （436）情報理工学部 （20）教授	情報学 工学博士 軟組織の三次元変形場の推定と変形特性モデリング	0	10
研究分担者 20213142 （59） イヌブシ トシロウ 犬伏 俊郎	（14202）滋賀医科大学 （999）MR医学総合研究センター （20）教授	生物物理・磁気共鳴 工学博士 把持と物体操作における手指の内部変形の計測	1,200	10
研究分担者 60220042 （57） モリカワ シゲヒロ 森川 茂廣	（14202）滋賀医科大学 （999）MR医学総合研究センター （27）准教授	生体NMR・画像ガイド手術 医学博士 把持と物体操作における手指の内部変形の計測	1,200	10
研究分担者 60453205 （34） イノウエ タカヒロ 井上 貴浩	（25301）岡山県立大学 （412）情報工学部 （28）助教	ロボティクス・ロボットハンド 工学（博士） 柔軟指操作の三次元力学モデリング	4,963	20
連携研究者 00356875 （48） キタ ヤスヨ 喜多 泰代	（82626）独立行政法人産業技術総合研究所 （999）情報技術研究部門 （25）主任研究員	コンピュータビジョン 工学博士 軟組織の三次元変形場の推定と変形特性モデリング	-	-
合計 6 名		研究経費合計	17,313	

研究目的

本欄には、研究の全体構想及びその中で本研究の具体的な目的について、冒頭にその要旨を記述した上で、適宜文献を引用しつつ記述し、特に次の点については、焦点を絞り、具体的かつ明確に記述してください。(記述に当たっては、「科学研究費補助金(基盤研究等)における審査及び評価に関する規程」(公募要領 56~92 頁参照)を参考にしてください。)
 研究の学術的背景(本研究に関連する国内・国外の研究動向及び位置づけ、応募者のこれまでの研究成果を踏まえ着想に至った経緯、これまでの研究成果を発展させる場合にはその内容等)
 研究期間内に何をどこまで明らかにしようとするのか
 当該分野における本研究の学術的な特色・独創的な点及び予想される結果と意義

研究の学術的背景

本提案の目的は、人の皮膚や軟骨などの軟組織が、人の運動の巧みさにどのように貢献しているかを力学的に解明することである。人は、意識することなく様々な物体を把持し、様々な道具を巧みに操ることができる。運動生理学やロボティクスの分野では、このような人の巧みさを解明する試みが成されてきた。運動生理学では、物体によって異なる把持形態の記述や手指の運動に関する脳神経系の活動部位の同定が進められている。人が物体を操作するときの神経内の信号伝達や脳の活動部位等、豊富な観察結果が得られているものの、対象物を含めてそれらがどのように結びつき、どのような力学で巧みな操作が可能になっているかは不明のままである。一方、ロボティクスの分野では、柔軟な組織が触覚に与える影響の力学的解析や柔軟指による物体把持の力学解析が成され、柔らかい組織が触覚のフィルターの役割を果たすことやポテンシャルエネルギーの形成を通して安定な把持と操作に寄与していることが明らかになりつつある。しかしながら実際に人の把持や操作で、力学的解析で得られたフィルターやポテンシャル場の形成が成されているかは明らかでない。

研究代表者の平井と分担者の井上らは、柔軟指による物体操作を力学的に解析し、物体の安定な把持と操作には、指先の弾性ポテンシャル場の形状がキーとなっていることを見出した[9,10,17,18,23]。柔らかい半球柔軟指先と背後の硬い板から成る指において、弾性ポテンシャルエネルギーは指先の凹み量のみならず指と物体との相対姿勢に依存することを発見し、このようなポテンシャル場を有する指による物体の安定な把持と操作がポテンシャル場の極小により力学的に説明できることを示した。以上の研究を通して、人の体の構成要素である軟組織が人の巧みな運動や操作に貢献しているのではないかと、さらに軟組織を含む系を力学的にモデリングすることにより、なぜ軟組織が人の巧みさに貢献するかを力学的に解明できるのではという着想に至った。また、研究分担者の森川と犬伏は、MR 医学総合研究センターにおいて MRI イメージング技術と MR ナビゲーション手術に関する研究に成果を挙げており[5,6,7,13,15,16,22]、研究代表者らと MRI 画像を用いて柔軟物体の内部変形を計測する技術に関する研究を既に進めている[2,22]。



そこで本提案では、内部イメージング技術に基づき人の皮膚や軟骨などの軟組織の変形を計測し、力学モデリングを通して人の巧みな操作における軟組織の力学を解明することを目的とする。

人の巧みさにおける軟組織の役割

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとするのか

本提案は、A) 人の把持と物体操作における手指の内部変形の計測、B) 軟組織の力学モデリングと変形特性の同定、C) 柔軟指操作の三次元力学モデリング、D) 人の把持や操作のダイナミックシミュレーション、E) 人の巧みな操作における力学的な源泉の解明という課題から成る。手指の内部変形を可能にする MRI の条件を明確にし、軟組織の変形特性に加えて柔軟指と物体との接触に代表される境界条件のモデリング手法を確立する。三次元空間内で人が実行する把持や操作の軟組織を考慮したダイナミックシミュレーションを可能にするとともに、ダイナミックシミュレーションを通してポテンシャルエネルギーの形成や指先における圧力分布を評価し、巧みさにおける軟組織の力学を明らかにし、軟組織のポテンシャルエネルギー等が人の巧みな操作における力学的な源泉であることを示すことを試みる。

研究機関名

立命館大学

研究代表者氏名

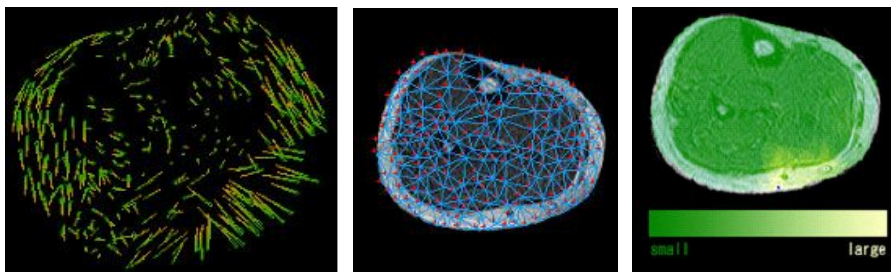
平井慎一

研究目的(つづき)

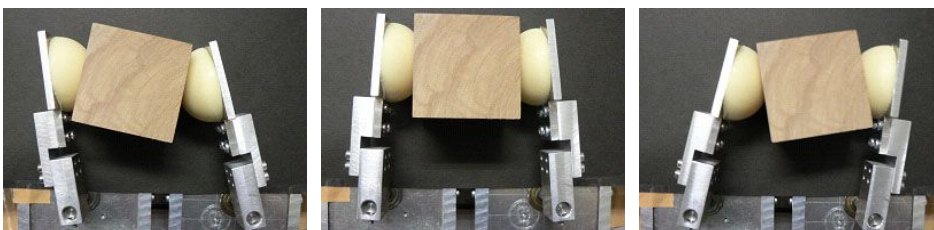
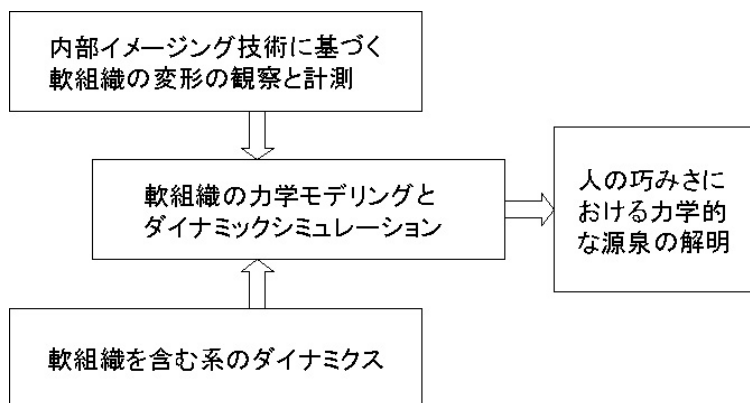
当該分野における本研究の学術的な特色・独創的な点及び予想される結果と意義

従来,人の巧みさに関する研究は,1)運動生理学,2)ロボティクスとの二つのアプローチがある.人の巧みさに関して運動生理学では,視覚や触覚などの感覚がどのように神経を通して脳に伝わり,脳のどの部位で手や指の運動に関わる指令が生成されるかが主要な研究課題であった.このアプローチでは,人と対象物体との力学的な相互作用が考慮されておらず,人の身体や組織が巧みさにどのように寄与しているかが不明のまま残されている.特に,人の指先や掌部の軟組織や関節における軟骨の役割に関しては研究の対象とされていない.一方,ロボティクスでは,軟組織を含む系を力学的に定式化し解析することにより,軟組織が巧みさにどのように寄与しているかを探る試みが始められている[1,8,12,26].しかしながら,半球の様な柔軟指先から成る単純な系に留まっており,実際に人の把持や物体操作が同様の原理に基づいているかは不明である.本提案では,人の把持や物体操作において人の指先や掌部,関節の軟骨部の変形をMRI等の内部イメージング技術に基づいて計測し,人の軟組織を力学的にモデリングするとともに,軟組織のダイナミックシミュレーションを通して人の巧みさの力学的な側面を明らかにすることに特徴がある.すなわち,内部イメージング技術に基づく観察や計測と軟組織を含む系のダイナミクスとを統合し,人の巧みさの力学的な側面を解明することを目的とする.

本研究の独創的な点は,人の巧みさにおける軟組織の重要性に着目し,内部イメージング技術に基づく軟組織の変形の計測と軟組織を含む系の力学的モデリングとを統合し,人の巧みさに力学的に迫る点にある.軟組織が人の巧みさに貢献している可能性は従来から指摘されているが,面接触になり摩擦が増える,あるいは衝撃力を減らすことができる等の定性的な議論に留まっていた.本提案では,軟組織の動的力学モデルを導入し,軟組織がどのように人の巧みさに関わっているかを定量的に明らかにする点, MRI等による三次元内部センシングを通してモデルの同定と検証を進める点に独創性がある.



内部イメージングを基にした変形場の計測と非一様変形パラメータの同定[2]



半球一様柔軟指による把持物体の姿勢制御[9,10]

研究計画・方法

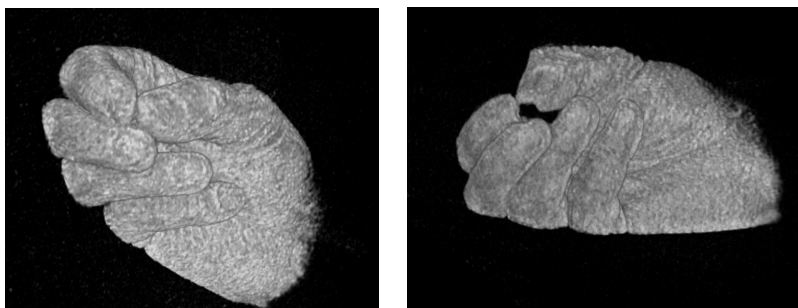
本欄には、研究目的を達成するための具体的な研究計画・方法について、冒頭にその要旨を記述した上で、平成20年度の計画と平成21年度以降の計画に分けて、適宜文献を引用しつつ、焦点を絞り、具体的かつ明確に記述してください。ここでは、研究が当初計画どおりに進まない時の対応など、多方面からの検討状況について述べるとともに、研究計画を遂行するための研究体制について、研究代表者及び研究分担者の具体的な役割(図表を用いる等)及び研究分担者とともに行う必要がある場合には、学術的観点から研究組織の必要性・妥当性及び研究目的との関連性についても述べてください。また、研究体制の全体像を明らかにするため、連携研究者及び研究協力者(海外共同研究者、科学研究費への応募資格を有しない企業の研究者、大学院生等(氏名、員数を記入することも可))の役割についても必要に応じて記述してください。

平成20年度の計画

A. 把持と物体操作における手指の内部変形の計測

MRI を用いて物体を把持しているとき、物体を操作しているとき的手指の内部変形を計測する。滋賀医科大学に設置されているオープンMRIあるいは7テスラ高磁場MRIを用いて、手指の内部を三次元的に撮像する。得られた複数の三次元画像から特徴点を抽出し、三次元画像間で特徴点の対応を求めることにより、変形場を求める。これまでに研究代表者を中心とする研究グループにより、人体組織の力学モデリングに関する研究が進められてきた。生体組織は一般に、一様ではない変形特性を示す。そこで、(a) 物体内の特徴点を抽出し三次元画像間で特徴点を追跡することで三次元変形場を求める手法[2]、(b) 三次元変形場から非一様な弾性パラメータを同定する手法[3]に関する研究を進めてきた。また、MRI環境下では磁性体を含む計測機器を使用することができないので、力やモーメントの計測が困難である。そこで、力やモーメントを計測することなく変形特性を推定する手法を提案した[13]。以上の手法を基盤として、手指の内部変形を計測し、その力学特性を同定することを目的とする。これまで対象としてきたバルクとしての生体組織と異なり、手指は関節により結合されたリンク構造を有する。また、機械工学で扱われてきた関節とは異なり、関節は軟骨を含む柔構造である。そこで、柔関節により結合されたリンク構造において、精度良く内部変形を推定する手法を探索する。柔関節のモデルには提案しているモデル[1][26]を用いる。MRIによるファントムの変形の計測を高精度CTによる計測と比較することにより、計測手法を検証する。

森川，犬伏	把持と物体操作における手指の内部変形の計測
田中，喜多，平井	軟組織の三次元変形場の推定
張 鵬林(研究協力者 武漢大学)	軟組織の三次元変形場の推定
徳本真一(研究協力者 和歌山工業技術センター)	軟組織の内部変形の計測



ボールペンを持つ操作における手指の変形計測

B. 軟組織の力学モデリングと変形特性の同定

皮膚や軟骨など人の軟組織を力学的にモデリングし、変形特性を同定する手法を確立する。従来から、バルクとしての柔軟な生体組織のモデリングに関する研究は盛んに進められており、パーティクルベースモデルや有限要素(FE)モデル、境界要素(BE)モデルなどの技術が確立している。しかしながら、軟組織はバルクとして単独で存在するのではなく、筋や骨格に接続されている。また、物体の把持や操作においては、物体との接触による機械的な制約が課せられる。すなわち、軟組織の変形は境界条件に大きく左右される。したがって、軟組織の力学モデリングにおいては、軟組織そのものの変形特性とともに境界条件をモデリングし同定する必要がある。

研究計画・方法（つづき）

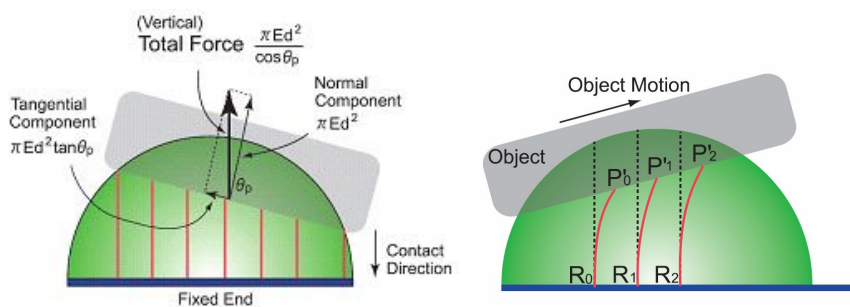
そこで、柔関節により結合された軟組織の変形場計測の結果から、軟組織の変形特性と境界条件を推定する手法を探求する。変形特性に関しては、非一様な弾性特性さらには非一様なレオロジー特性を推定する手法を確立する。指先と把持物体あるいは軟組織と骨格等、柔軟物体と剛体が接触している場合に関しては、まず法線方向の幾何学的制約と滑り方向のパフィアン制約を定式化する。次に、変形場の計測を通して、幾何学的制約とパフィアン制約が満たされているかどうかを調べ、満たされていない場合はどのような条件下で制約が破られるかを見出す。これにより、軟組織の滑り特性を明らかにする。制約の定式化は柔軟指操作に関する研究[8,9]を基礎とする。

井上, 平井 手指の内部変形のモデリング
 田中, 喜多 軟組織の変形特性モデリング
 王 忠奎 (研究協力者 立命館大学博士後期課程) 軟組織の変形特性モデリング

C. 柔軟指操作の三次元力学モデリング

従来の柔軟指操作の平面モデルを拡張し、柔軟指操作の三次元モデルを構成する。研究代表者らは、1) 一对の一自由度柔軟指により把持物体の姿勢を制御できること、2) 剛体指では姿勢を制御できないこと、3) 従来の柔軟指モデルでは以上の事実を説明できないことを見出し、これらの事実を説明するために柔軟指の平行分布モデルを提案し、実験的に検証した[10,17,18]。柔軟指は、柔らかい指先と背後の硬い板から構成されており、それぞれ人の指先と爪に対応すると考えられる。平行分布モデルは、半球状の柔らかい指先と爪を陽に入れたモデルであり、これまでの研究成果は、柔らかい指先と硬い爪から成る構造が、物体の把持と操作において重要な役割を果たすことを示唆している。

ただし、これまでの柔軟指操作の力学モデルは、鉛直内の平面に限定されており、三次元空間内での柔軟指操作の力学モデルは確立していない。上記Aに示すように、人の手指は三次元的な運動を伴い、指先は三次元的に変形する。そこで、三次元的な柔軟指把持ならびに操作の力学モデリングを進める。



柔軟指の二次元モデル



三次元柔軟指把持

柔軟指要素の三次元変形を考慮してポテンシャルエネルギーを定式化する。三次元空間内の柔軟指と物体との接触から非ホロノミックなパフィアン制約が得られると考えられる。剛体指における転がり制約の定式化を参考にして、柔軟指における接触を定式化する。ラグランジュの運動方程式を導き、三次元的な物体の把持と操作のダイナミックシミュレーションを行う。さらに実験装置を試作し、物体の運動を計測する。運動の計測には新規購入予定の高速 CMOS カメラを用いる。運動の計測値とダイナミックシミュレーションに結果を比較することにより、得られた柔軟指操作の三次元力学モデルを検証する。

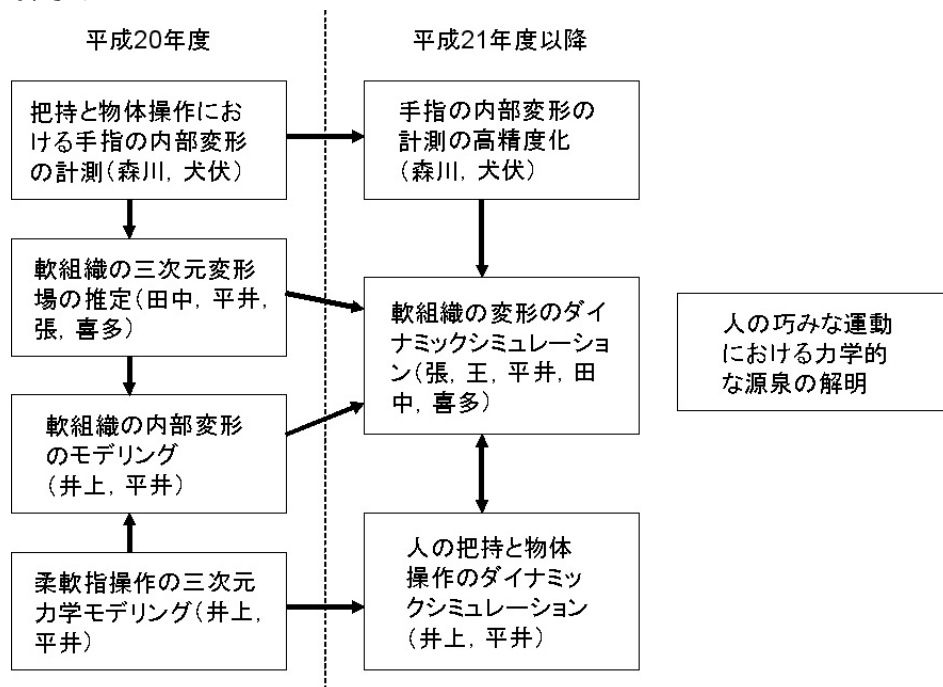
井上 柔軟指操作の三次元力学モデリングとダイナミックシミュレーション
 平井 柔軟指操作の三次元力学モデルの実験的検証

研究計画・方法（つづき）

平成21年度以降の計画

平成20年度に計画した研究項目A「把持と物体操作における手指の内部変形の計測」を評価する。評価の観点には、1) 手指の十分な三次元画像を得られたか、2) 三次元変形場の推定が可能であったか、3) 得られた三次元推定場の結果が妥当であるかの三点である。十分な三次元画像を得られなかった場合には、磁場の強度や撮影のモードを調整し、三次元画像の鮮明度を上げる。十分な三次元画像が得られたが、三次元変形場の推定に課題が残った場合には、特徴点の自動抽出アルゴリズムと対応点の計算アルゴリズムを見直し、手指の内部変形計測結果に特有の制約を考慮に入れる。研究項目B「軟組織の力学モデリングと変形特性の同定」に関しては、1) 非一様な弾性特性の同定精度、2) 非一様なレオロジー特性を同定できるか、同定できる場合はその精度、3) 変形場の計測により幾何学的制約とパフィアン制約が満たされているかを判定できるかの三点である。非一様なレオロジー特性を同定する手法を確立できない場合には、三次元画像を領域分割し区分的に特性を推定する手法を試みる。研究項目C「柔軟指操作の三次元力学モデリング」に関しては、1) ダイナミックシミュレーションが可能か、2) 三次元モデルの検証の結果の二点を評価する。ダイナミックシミュレーションが困難な場合は、指先弾性モデルと指先の制約の単純化を検討する。

平成20年度の成果を基礎として、D) 人の把持や物体操作のダイナミックシミュレーション、E) 人の巧みな操作における力学的な源泉の解明を遂行する。まず、人の把持や物体操作における手指の内部変形の計測結果(研究項目A)と力学シミュレーションの結果(研究項目C)を比較する。力学シミュレーションに必要な変形特性は、軟組織の力学モデリング(研究項目C)の成果を基礎とする。精度の比較のために、新規購入予定の静電容量型3軸力覚センサを複数個配置し分布力を計測する。十分な精度が得られた場合には、ダイナミックシミュレーションを通してポテンシャルエネルギーの形成や指先における圧力分布を評価し、巧みさにおける軟組織の力学を明らかにし、人の巧みな操作における力学的な源泉を解明する。モデルの精度が十分でない場合、あるいはさらに精度を上げるために、モデリングの手法を検討する。軟組織の力学モデリングにおいては、非一様さらには非線形の変形特性を表すために、数多くの力学パラメータが必要になる。一方、力学パラメータを同定するために必要な計測を増やすことは容易ではない。したがって、情報量の観点を導入し、有限の計測結果から精度の高い軟組織の力学モデルを構築する手法を探求する。



今回の研究計画を実施するに当たっての準備状況等

本欄には、次の点について、焦点を絞り、具体的かつ明確に記述してください。
 本研究を実施するために使用する研究施設・設備・研究資料等、現在の研究環境の状況
 研究分担者がいる場合には、その者との連絡調整の状況など、研究着手に向けての状況（連携研究者及び研究協力者がいる場
 合についても必要に応じて記述してください。）
 本研究の研究成果を社会・国民に発信する方法等

現在の研究環境の状況 人の軟組織の計測には、滋賀医科大学に既に設置されているオープンMRIあるいは7テスラ高磁場MRIを用いる予定である。柔軟指操作の力学モデリングの検証に用いるロボットハンドに関しては、一自由度三指ハンドを立命館大学で試作中である。ファントムの計測には、和歌山工業技術センターに設置されている高精度CTを用いる。

研究着手に向けての状況 研究代表者の平井と研究分担者の森川ならびに犬伏は、柔軟物の内部変形計測に関する研究を始めており、すぐに当該研究に着手できる状況にある。研究分担者の井上は研究代表者と柔軟指操作に関する研究を共同で進めている。研究分担者の田中、連携研究者の喜多、研究協力者の徳本は、研究代表者と柔軟物の内部変形モデリングに関する研究を進めており、すぐに当該研究に着手できる状況にある。研究協力者の張は2006、2007年度に立命館大学でPDとして三次元画像ベースの変形場推定に関する研究を進めた経験があり、続いて研究に参加して頂く。

研究成果を発信する方法等 論文として成果を発信することに加え、人の巧みさや柔軟指による把持や物体操作に関する書籍の出版を試みる。

研究計画最終年度前年度の応募を行う場合の記入事項（該当者は必ず記入してください（公募要領12～13頁参照））

本欄には、研究代表者として行っている平成20年度が最終年度に当たる継続研究課題の当初研究計画、その研究によって得られた新たな知見等の研究成果及び中間評価結果（特別推進研究及び基盤研究（S）が該当）を記述するとともに、当該研究の進展を踏まえ、今回再構築して本研究を応募する理由（研究の展開状況、経費の必要性等）を記述してください。（なお、本欄に記述する継続研究課題の研究成果等は、10頁の「これまでに受けた研究費とその成果等」欄には記述しないでください。）

研究種目名	審査区分	課題番号	研究課題名	研究期間
				平成 年度～ 平成20年度

当初研究計画及び研究成果等

応募する理由

研究業績

本欄には、研究代表者及び研究分担者が最近5カ年間に発表した論文、著書、産業財産権、招待講演のうち、本研究に関連する重要なものを選定し、現在から順に発表年次を過去にさかのぼり、発表年(暦年)毎に線を引いて区別(線は移動可)し、通し番号を付して記入してください。なお、学術誌へ投稿中の論文を記入する場合は、掲載が決定しているものに限ります。

発表年	研究代表者・分担者氏名	発表論文名・著書名等 (例えば発表論文の場合、論文名、著者名、掲載誌名、査読の有無、巻、最初と最後の頁、発表年(西暦)について記入してください。) (以上の各項目が記載されていれば、項目の順序を入れ替えても可。著者名が多数にわたる場合は、主な著者を数名記入し以下を省略(省略する場合、その員数と、掲載されている順番を 番目と記入)しても可。なお、研究代表者及び研究分担者には下線を付してください。)
2007以降	平井慎一	<p>[1] A Bond Graph Approach to the Analysis of Prosthesis for a Partially Impaired Hand, Anand Vaz and <u>Shinichi Hirai</u>, ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 査読有, Vol.129, January, pp.105- 113, 2007.</p> <p>[2] Local Deformation Measurement of Biological Tissues Based on Feature Tracking of 3D MR Volumetric Images, Penglin Zhang, <u>Shinichi Hirai</u>, Kazumi Endo, and <u>Shigerhiro Morikawa</u>, 2007 IEEE/ICME Int. Conf. on Complex Medical Engineering (CME2007), 査読有, May 23-25, 2007.</p> <p>[3] 柔軟物の内部変形計測による FE モデルの力学パラメータ同定, 遠藤和美, 村松潤治, <u>平井慎一</u>, 査読無, ロボティクス・メカトロニクス 2007 講演会予稿集 CD-ROM, 2007.</p>
	田中弘美	<p>[4] ポリュームデータの適応的四面体メッシュ表現並列アルゴリズム, 高間康文, 木村彰徳, <u>田中弘美</u>, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol.48, No.SIG9(CVIM18), pp.67-78, June, 2007.</p>
	犬伏俊郎	<p>[5] The MR tracking of transplanted ATDC5 cells using fluorinated poly-L-lysine-CF3, Maki J, Masuda C, <u>Morikawa S</u>, Morita M, <u>Inubushi T</u>, Matsusue Y, Taguchi H, Tooyama I., Biomaterials, 査読有, 28(3):434-40, Jan., 2007.</p> <p>[6] Fluorine-19 Fast Recovery Fast Spin Echo Imaging for Mapping of 5-Fluorouracil, <u>Morikawa S</u>, <u>Inubushi T</u>, Morita M, Murakami K, Masuda C, Maki J, Tooyama I, Magn Reson Med Sci (in press), 査読有, 2007.</p>
	森川茂廣	<p>[7] 3D Non-rigid Image Registration Assisted for MR-Guided Microwave Thermocoagulation of Liver Tumors, Rui Xu, Yen-Wei Chen, Songyuan Tang, <u>Shigehiro Morikawa</u>, Hasnine Akter Haque, Yoshimasa Kurumi, Medical Imaging Tech. (in press), 査読有, 2007.</p>
	井上貴浩	<p>[8] ロボットハンドによる把持・操り動作を実現する半球型ソフトフィンガの幾何学的・材料学的非線形性を考慮した弾性力モデル, <u>井上貴浩</u>, <u>平井慎一</u>, 日本ロボット学会誌, 査読有, Vol.25, No.2, pp.221-230, 2007.</p> <p>[9] 柔軟指による物体把持と操作における力学の実験的解明, <u>井上貴浩</u>, <u>平井慎一</u>, 日本ロボット学会誌, 査読有, Vol.25, No.6, pp.951-959, 2007.</p> <p>[10] ソフトフィンガ - 型最小自由度ハンドを用いた把持・操り動作における安定把持効果, <u>井上貴浩</u>, <u>平井慎一</u>, 計測自動制御学会論文集, 査読有, Vol.43, No.2, pp.135-144, 2007.</p> <p>[11] Dynamic Stable Manipulation via Soft-Fingered Hand, <u>Takahiro Inoue</u> and <u>Shinichi Hirai</u>, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 査読有, pp.586-591, April, 2007.</p>
	研究機関名	立命館大学

研究業績(つづき)		
発表年	研究代表者・分担者氏名	発表論文名・著書名 等
2006	平井慎一	[12] Elastic Model of Deformable Fingertip for Soft-fingered Manipulation, <u>Takahiro Inoue</u> and <u>Shinichi Hirai</u> , IEEE Transaction on Robotics, 査読有, Vol.22, No.6, pp.1273-1279, 2006. [13] MRI ボリュームデータにおける3次元ブロックマッチングを用いたFEモデルパラメータの同定, 遠藤和美, 張鵬林, 村松潤治, 平井慎一, 森川茂廣, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会, 査読無, pp.1036-1037, 2006.
	田中弘美	[14] An Adaptive 3D Surface Mesh Cutting Algorithm for Deformable Objects, Huynh Quang Huy Viet, Takahiro Kamada, Yasufumi Takama and <u>Hiroimi T. Tanaka</u> , 査読有, 情報処理学会「画像の認識・理解シンポジウム(MIRU'06)」論文集, pp.1359-1364, July, 2006.
	犬伏俊郎	[15] MR tracking of transplanted glial cells using poly-L-lysine-CF3, Masuda C, Maki Z, <u>Morikawa S</u> , Morita M, <u>Inubushi T</u> , Matsusue Y, Yamagata S, Taguchi H, Doi Y, Shirai N, Hirao K, Tooyama I, Neurosci Res., 査読有, 56(2):224-8, Oct., 2006.
	森川茂廣	[16] リアルタイム三次元画像によるナビゲーション医療開発, 谷徹, 来見良誠, 遠藤善裕, 仲成幸, 塩見尚礼, 森川茂廣, 査読有, 医用画像情報学会雑誌, 23(4): 112-115, 2006.
	井上貴浩	[17] 半球型ソフトフィンガを有する最小自由度2指回転関節ハンドによる準静的把持・操り動作, 井上貴浩, 平井慎一, 日本ロボット学会誌, 査読有, Vol.24, No.8, pp.945-953, 2006. [18] Study on Hemispherical Soft-Fingered Handling for Fine Manipulation by Minimum D.O.F. Robotic Hand, <u>Takahiro Inoue</u> and <u>Shinichi Hirai</u> , Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 査読有, pp.2454-2459, Orlando, May, 2006. (Finalist of Manipulation Best Paper Award)
2005	平井慎一	[19] FPGAによる仮想レオロジー物体のリアルタイム変形シミュレーション, 友國誠至, 平井慎一, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有, Vol.10, No.3, pp.443-452, 2005. [20] Dynamic Modeling of Linear Object Deformation based on Differential Geometry Coordinates, Hidefumi Wakamatsu, Kousaku Takahashi and <u>Shinichi Hirai</u> , Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 査読有, pp.1040-1045, Barcelona, April, 2005.
	田中弘美	[21] ボリュームデータの適応的四面体格子表現並列生成アルゴリズム, 高間康文, 木村彰徳, 田中弘美, 情報処理学会「画像の認識・理解シンポジウム(MIRU'05)」論文集, 査読有, pp.498-505, July, 2005.
	犬伏俊郎 森川茂廣	[22] Alternate biplanar MR navigation for microwave ablation of liver tumors, Sato K., <u>Morikawa S</u> , <u>Inubushi T</u> , Kurumi Y., Naka S., Haque H., Demura K., Tani T., Magn Reson Med Sci., 査読有, 4(2):89-94, 2005.
	井上貴浩	[23] Quasi-Static Manipulation with Hemispherical Soft Fingertip via Two Rotational Fingers, <u>Takahiro Inoue</u> and <u>Shinichi Hirai</u> , Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 査読有, pp.1947-1952, April, 2005. (Finalist of 2005 Manipulation Best Paper Award)

研究業績(つづき)				
発表年	研究代表者・分担者氏名	発表論文名・著書名 等		
2004	平井慎一	[24] Static Modeling of Linear Object Deformation Based on Differential Geometry, Hidefumi Wakamatsu and <u>Shinichi Hirai</u> , Int. J. Robotics Research, 査読有, Vol.23, No.3, pp.293-311, March, 2004. [25] A Comparative Study of Rheology MSD Models whose Structures are Lattice and Truss, Ryo Nogami, Hiroshi Noborio, Seiji Tomokuni, and <u>Shinichi Hirai</u> , Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, 査読有, pp.3809-3616, Sept., 2004. [26] A Simplified Model for a Biomechanical Joint with Soft Cartilage, Anand Vaz and <u>Shinichi Hirai</u> , Proc. 2004 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2004), 査読有, paper no.1063, Oct., 2004.		
	田中弘美	[27] Extracting Rheological Properties of Deformable Objects with Haptic Vision, Naoki Ueda, <u>Shinichi Hirai</u> , and <u>Hiromi T.Tanaka</u> , Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 査読有, pp.3902-3907, New Orleans, April, 2004.		
	犬伏俊郎	[28] Effective magnetic labeling of transplanted cells with HVJ-E for magnetic resonance imaging, Toyoda K., Tooyama I., Kato M., Sato H., <u>Morikawa S.</u> , Hisa Y., and <u>Inubushi T.</u> , 査読有, Neuro Report 15: 589-593, 2004.		
	森川茂廣	[29] Open MR を用いた手術ナビゲーション, 森川茂廣, 犬伏俊郎, 来見良誠, 椎野顯彦, 佐藤浩一郎, 出村公一, Hasnine A. Haque, 徳田淳一, 波多伸彦, 日本コンピュータ外科学会誌, 査読有, 6:79-82, 2004. [30] Motion tracking in MR-guided liver therapy by using navigator echoes and projection profile matching, Tokuda J., <u>Morikawa S.</u> , Dohi T., and Hata N., 査読有, Acad Radiol 11: 111-120, 2004.		
2003	平井慎一	[31] 実時間計算可能な仮想レオロジー物体の構築, 友國誠至, 杉山勇太, <u>平井慎一</u> , 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有, Vol.8, No.3, pp.247-254, 2003. [32] Constructing Rheologically Deformable Virtual Objects, Masafumi Kimura, Yuuta Sugiyama, Seiji Tomokuni, and <u>Shinichi Hirai</u> , Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 査読有, pp.3737-3743, Taipei, September, 2003. [33] Modeling Contact Interaction of a Hand Prosthesis with Soft Tissue at the Interface, Anand Vaz and <u>Shinichi Hirai</u> , Proc. IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, 査読有, pp.4508-4513, Washington D.C., October, 2003		
	田中弘美	[34] ハプティックビジョンに基づく能動的レオロジー物体モデリングのための粘弾性パラメータ抽出, 植田直樹, 櫛浜斎延, <u>平井慎一</u> , 田中弘美, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有, Vol.8, No.3, pp.237-246, 2003. [35] Vision-based Haptic Exploration, <u>Hiromi T. Tanaka</u> , Kiyotaka Kushihama and <u>Shinichi Hirai</u> , IEEE International Conference on Robotics and Automation, 査読有, Sep. 2003.		
	犬伏俊郎 森川茂廣	[36] Software tools for interventional MR guided navigation for thermal ablation procedure, Haque H., <u>Morikawa S.</u> , <u>Inubushi T.</u> , Sato K., Kurumi Y., and Nagasawa K., 査読有, Med Imaging Tech 21: 214-219, 2003.		
研究機関名	立命館大学		研究代表者氏名	平井慎一

これまでに受けた研究費とその成果等

本欄には、研究代表者及び研究分担者がこれまでに受けた研究費(科学研究費補助金、所属研究機関より措置された研究費、府省・地方公共団体・研究助成法人・民間企業等からの研究費等。なお、現在受けている研究費も含む。)による研究成果等のうち、本研究の立案に生かされているものを選定し、科学研究費補助金とそれ以外の研究費に分けて、次の点に留意し記述してください。

それぞれの研究費毎に、研究種目名(科学研究費補助金以外の研究費については資金制度名)、期間(年度)、研究課題名、研究代表者又は研究分担者の別、研究経費(直接経費)を記入の上、研究成果及び中間・事後評価(当該研究費の配分機関が行うものに限る。)結果を簡潔に記述してください。

科学研究費補助金とそれ以外の研究費は線を引いて区別して記述してください。

補助金科学研究費 基盤研究(A) 平成17年度 - 平成19年度
内部センシングに基づく柔軟物のリアリティベースモデリングに関する研究
平井慎一(研究代表者) 36,800(千円)

本研究の目的は、柔軟物内部の直接センシングを通して柔軟物のモデリングを行い、リアリティベースモデリング(Reality-Based Modeling)の基盤技術を確立することである。近年、手術シミュレーションにおける臓器のモデリング、デジタルヒューマンに代表される人体の筋骨格モデリング、食品工学における食品素材の力学的モデリング等において、複雑な力学的特性を有する柔軟物のモデリングが必要とされている。そこで本研究では、三次元イメージング技術により柔軟物の内部挙動を計測し、計測結果をベースにするモデリング技法を研究する。MR撮像装置やCTスキャナを用いて柔軟物の内部変形を計測するとともに、三次元マッチングによる内部変形の推定を実現した。以上の成果により指の巧みさを解明できる段階に到達した。

補助金科学研究費 基盤研究(S) 平成16年度 - 平成20年度
MR画像による生体内標識幹細胞の無侵襲追跡技術と再生医療への応用

犬伏俊郎(研究代表者) 86,100(千円)
再生医療に用いられる移植ES細胞を、MR法を用いて体外から追跡する、MR細胞トラッキング技術の開発を手掛けている。培養ES細胞にMR標識であるナノ磁性粒子を導入し、移植細胞をMRで断層画像として表示するとともに、その細胞による代謝産物、さらには生体組織の生理・生化学的情報を多角的に抽出し、画像化することにより、移植細胞の生死の判定や機能ならびに活性を解析できる技術を開発する。これにより、現在では有効なバイオ・イメージングの手法がない再生医療治療に新たなMR細胞追跡技法を導入し、その推進に寄与することを目指している。

補助金科学研究費 基盤研究(A) 平成17年度 - 平成19年度
ハプティックコミュニケーションのための適応的ポリウム表現生成と揭示の研究
田中弘美(研究代表者)、平井慎一(研究分担者) 36,600(千円)

本研究の目的は、柔軟物体の触覚を提示するために、実時間で変形を計算することが可能な適応的なポリウムモデリング技術を確立することである。柔軟物体の内部構造の複雑さに応じた適応的ポリウムモデリング、オンラインリメッシュ法による変形・切断シミュレーションおよび触覚レンダリングを実現し、実時間での変形計算と触覚の提示を可能とした。

岡山県立大学内独創的研究助成費 平成19年度
鞍関節機構を有する拇指対向型ロボットハンドの開発と産業応用
井上貴浩(代表者) 2,000(千円)

柔軟指を配した拇指対向構造を持つハンド機構において、一方を固定し他方を可動にした単純な1自由度機構を構成する。このとき、両指で摘んだ物体の姿勢制御が本構造で可能であることをはじめ示した。ヒト指による摘み取り動作を検証すると、拇指を単に支えとして利用し示指で細かな摘み取り動作を実現していることが分かる。これらの現象をはじめ理論的に解明し、シミュレートできた点が成果である。

戦略的情報通信研究開発推進制度/SCOPE(総務省) 特定領域重点型研究開発
(次世代ヒューマンインターフェイス・コンテンツ技術) 平成17年度 - 平成19年度
実世界における「触感」を提供するポリウムベース臨場感通信に関する研究開発

田中弘美(研究代表者)、平井慎一(研究分担者) 42,824(千円)
本研究の目的は、ネットワークで接続された多地点で、触覚を共有するための基礎技術を確立することである。触覚の提示のためには1000Hz程度の高いサンプリングレートが必要であるが、ネットワークを通してこのレートで変形形状を通信することは困難である。そこで、個々の地点で同一の柔軟物体モデルを持ち、個々の操作者の動作のみを通信する。個々の地点で変形を計算しながら力覚を提示することにより、多地点における高速な触覚提示を実現した。滋賀医大と立命館大(約2km)、大阪大学と立命館大(約50km)間で遠隔穿刺シミュレーション実験を行い、1000Hz以上の触覚提示を実現している。

人権の保護及び法令等の遵守への対応 (公募要領 7 頁参照)

本欄には、本研究に関連する法令等を遵守しなければならない研究 (社会的コンセンサスが必要とされている研究、個人情報取り扱いに配慮する必要がある研究及び生命倫理・安全対策に対する取組が必要とされている研究等) を含む場合に、どのような対策と措置を講じるのか記述してください。なお、該当しない場合には、その旨記述してください。

MRI 装置による手指の変形の計測においては、被検者に対して一般の MR 検査と同様の注意事項 (ペースメーカーや体内金属、金属を含有する化粧品の有無など) とそれに起因して起こりうる障害について書面で十分に説明し、確認を得る。さらに、研究の目的を明らかにし、個人情報に対する配慮を説明した上で、書面によるインフォームドコンセントを得る。

高精度 CT はファントムの内部変形の計測にのみ用いる。和歌山工業技術センターの規定に従い、研究協力者の指導の下に計測を実施する。

研究経費の妥当性・必要性

本欄には、「研究計画・方法」欄で述べた研究規模、研究体制等を踏まえ、次頁以降に記入する研究経費の妥当性・必要性・積算根拠について記述してください。また、研究計画のいずれかの年度において、各費目 (設備備品費、旅費、謝金等) が全体の研究経費の 90% を超える場合及びその他の費目で、特に大きな割合を占める経費がある場合には、当該経費の必要性 (内訳等) を記述してください。

本研究は、研究代表者と 4 名の研究分担者、1 名の研究連携者により遂行される。研究遂行に必要な国内旅費・国外旅費を確保し、また研究支援者を 1 名雇用するための謝金を確保してある。

高速 CMOS カメラ (丸紅ソリューション ITL-HSC-AD-6K1G) は、画像の高速取得と画像処理が可能なシステムである。立命館大学で使用の実績があり、柔軟指操作における指先変形の計測とモデリングや、柔軟指操作におけるビジュアルフィードバック制御に力を発揮している。井上 (研究分担者) は 2007 年 4 月より岡山県立大学に所属しているが、当該の機関には本システムがないため、柔軟指操作のモデリングのためにこの高速 CMOS カメラを購入する。静電容量型 3 軸力覚センサ (ニッタ株式会社・PD3-32) は、複数個組み合わせることで柔軟物体の分布力を計測するために用いる。従来から分布力の計測には、フィルム状のタクトイルセンサを用いてきたが、ヒステリシスや経時変化による絶対誤差が大きく、力学的な特性の同定には課題が残っていた。柔軟物体の変形における分布力の計測においては、法線方向 1 軸と接線方向 2 軸で十分であり、これらの 3 成分を計測でき柔軟物体の変形における力のレンジに適切な当該の静電容量型 3 軸力覚センサを用いて分布力を計測する。

本研究の目的は生体の軟組織のモデリングであるが、計測・モデリング手法の検証のために、生体組織に類似の変形特性を持ち、人工的に製作されたファントムを用いる。このファントムの製作費を消耗品費に計上した。また、計測・モデリング手法の検証のために、生体組織には適用できないがファントムに関しては MRI より鮮明な画像が得られる CT を用いる。研究協力者の一名が所属する和歌山工業技術センターが所有している CT を使用するためのレンタル料をその他の項目に計上している。

研究機関名

立命館大学

研究代表者氏名

平井慎一

基盤A・B(一般) - 1.2
(金額単位：千円)

設備備品費の明細			消耗品費の明細	
[記入に当たっては、基盤研究(A・B)(一般)研究計画調書作成・記入要領を参照してください。]			[記入に当たっては、基盤研究(A・B)(一般)研究計画調書作成・記入要領を参照してください。]	
年度	品名・仕様 (数量×単価)(設置機関)	金額	品名	金額
20	高速 CMOS カメラ・丸紅ソリューション ITL-HSC-AD-6K1G (1×4,313)(岡山県立大学)	4,313	機械部品類 電子部品類 ファントム試作費	1,000 1,000 500
	計	4,313	計	2,500
21			機械部品類 電子部品類 ファントム試作費 静電容量型 3 軸力覚センサ・ニッタ株式会社・PD3-32 (20×65)	2,000 2,000 500 1,300
	計	0	計	5,800
22			機械部品類 電子部品類 ファントム試作費	1,000 1,000 500
	計	0	計	2,500

旅費等の明細 (記入に当たっては、基盤研究(A・B)(一般)研究計画調書作成・記入要領を参照してください。)								
年度	国内旅費		外国旅費		謝金等		その他	
	事項	金額	事項	金額	事項	金額	事項	金額
20	成果発表	500	成果発表	2000	研究補助	100	会議費	100
	調査・研究旅費	200	調査・研究旅費	400	専門的知識の提供	100	印刷費	200
	研究打合わせ旅費	200	研究打合わせ旅費	600	資料提供・閲覧	100	研究成果投稿料	200
					外国語論文の校閲	300	レンタル費用(CT使用料)	1000
					研究支援者雇用費	4500		
	計	900	計	3000	計	5100	計	1500
21	成果発表	500	成果発表	2000	研究補助	100	会議費	100
	調査・研究旅費	200	調査・研究旅費	200	専門的知識の提供	100	印刷費	200
	研究打合わせ旅費	200	研究打合わせ旅費	300	資料提供・閲覧	100	研究成果投稿料	200
					外国語論文の校閲	300	レンタル費用(CT使用料)	1000
					研究支援者雇用費	4500		
	計	900	計	2500	計	5100	計	1500
22	成果発表	500	成果発表	2500	研究補助	100	会議費	100
	調査・研究旅費	200	調査・研究旅費	200	専門的知識の提供	100	印刷費	400
	研究打合わせ旅費	200	研究打合わせ旅費	300	資料提供・閲覧	100	研究成果投稿料	500
					外国語論文の校閲	500	レンタル費用(CT使用料)	1000
					研究支援者雇用費	4500		
	計	900	計	3000	計	5300	計	2000
研究機関名		立命館大学			研究代表者氏名		平井慎一	

研究費の応募・受入等の状況・エフォート

本欄は、第2段審査(合議審査)において、「研究資金の不合理な重複や過度の集中にならず、研究課題が十分に遂行し得るかどうか」を判断する際に参照するところであり、研究代表者の応募時点における、(1)応募中の研究費、(2)受入予定の研究費、(3)その他の活動、について、次の点に留意し記入してください。なお、複数の研究費を記入する場合は、線を引いて区別して記入してください。

「エフォート」欄には、年間の全仕事時間を100%とした場合、そのうち当該研究の実施等に必要となる時間の配分率(%)を記入してください。

「応募中の研究費」欄の先頭には、本応募研究課題を記入してください。

科学研究費補助金の「特定領域研究」にあつては、「計画研究」、「公募研究」の別を記入してください。

所属研究機関内で競争的に配分される研究費についても記入してください。

(1) 応募中の研究費

資金制度・研究費名・研究期間(配分機関等名)	研究課題名(研究代表者氏名)	役割(代表・分担の別)	平成20年度研究経費(期間全体の額)(千円)	エフォート(%)	研究内容の相違点及び他の研究費に加えて本応募研究課題に応募する理由
【本応募研究課題】 基盤研究(A)(一般) (H20~H22)	人の巧みさに関する 軟組織の力学の解明 (平井慎一)	代表	17,313 (46,813)	20	
萌芽研究 (H20~H21)	ボディの変形による 跳躍の力学 (平井慎一)	代表	2,840 (4,980)	10	萌芽研究の目的は、線状物体モデリングの技術を基礎として、ボディの変形を用いた跳躍における力学を解明し、瞬発的な力を発生させる原理を明らかにすることであり、目的・手法ともに提案の基盤研究とは大きく異なる。
基盤研究(A)(一般) (H20~H22)	多関節構造体の科学 と運動創成 (川村貞夫)	分担	0 (0)	10	本研究の目的は、ロボットや人間に共通する多関節構造体の力学と制御に関する科学の解明である。主たる対象は軟組織ではなく剛体系であり、目的・手法ともに提案の基盤研究とは異なる。
基盤研究(A)(一般) (H20~H22)	超臨場感遠隔協働の ための非一様柔軟物 の適応的モデリング と視触覚呈示の研究 (田中弘美)	分担	0 (0)	10	本研究では、遠隔多地点における触覚提示のための柔軟物モデリングに関する研究を進める。本研究では、人の巧みさに関する力学は含まれておらず、目的・手法ともに提案の基盤研究と大きく異なる。
基盤研究(B)(一般) (H20~H22)	MR 画像ガイド下治療 のための力覚フィー ドバックを有するロ ボット穿刺技術の研究 (森川茂廣)	分担	800 (20,000)	10	本研究では、画像ガイド手術におけるロボット穿刺に関する研究を進める。本研究では、人の巧みさに関する力学は含まれておらず、目的・手法ともに提案の基盤研究と大きく異なる。
基盤研究(B)(一般) (H20~H22)	機械システムによる 線状物体の結び/ほ どき操作の計画と実 行(若松栄史)	分担	500 (17,400)	10	本研究の目的は、線状物体の結びと解きである。研究の対象は線状物体であり、軟組織を対象とする提案の基盤研究と大きく異なる。

研究費の応募・受入等の状況・エフォート(つづき)					
(2) 受入予定の研究費					
資金制度・研究費名・研究期間(配分機関等名)	研究課題名(研究代表者氏名)	役割(代表・分担の別)	平成20年度研究経費(期間全体の額)(千円)	エフォート(%)	研究内容の相違点及び他の研究費に加えて本応募研究課題に応募する理由
(3) その他の活動 上記の応募中及び受入予定の研究費による研究活動以外の職務として行う研究活動や教育活動等のエフォートを記入してください。				30	
合 計 (上記(1)、(2)、(3)のエフォートの合計)				100 (%)	
研究機関名	立命館大学		研究代表者氏名	平井慎一	