

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23年度 (2011年度) 基盤研究 (A) (一般) 研究計画調書

平成 22 年 11 月 10 日
3 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	トライボロジー						
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	軟組織のトライボロジー						
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23年度	16,780	3,250	4,800	2,950	3,480	2,300
	平成24年度	15,480	0	5,000	3,500	4,680	2,300
	平成25年度	13,480	0	4,000	3,500	4,680	1,300
	平成26年度	0	0	0	0	0	0
	平成27年度	0	0	0	0	0	0
	総計	45,740	3,250	13,800	9,950	12,840	5,900
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、冒頭にその概要を簡潔にまとめて記述した上で、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 59 頁参照)を参考にしてください。)

- ① 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進展させる場合にはその内容等)
- ② 研究期間内に何をどこまで明らかにしようとするのか
- ③ 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

研究目的(概要) ※ 当該研究計画の目的について、簡潔にまとめて記述してください。

本提案の目的は、軟組織が他物体と接触しながら相対的に運動するときに接触界面に生じる現象を解明し、軟組織のトライボロジーを確立することである。軟組織の変形をモデリングするためには、軟組織と他物体との接触界面における物理現象をモデリングし、それを軟組織の変形モデリングに反映させる必要がある。まず、接触界面における軟組織の変形と軟組織に作用する分布力を計測し、軟組織のトライボロジーをマクロ的に定式化する。次に、マイクロテクスチャー上での軟組織の挙動を調べることにより、軟組織のマイクロトライボロジーを定式化する。粒子法を用いた軟組織の変形モデリングを核としてこれらの成果を統合し、マクロとマイクロの双方の視点から軟組織のトライボロジーを確立することが、本研究の目的である。

① 研究の学術的背景

本提案の目的は、軟組織が他物体と接触しながら相対的に運動するときに接触界面に生じる現象を解明し、軟組織のトライボロジーを確立することである。研究代表者の平井と研究分担者の田中、森川らは、軟組織の内部変形の計測と力学的なモデリングに関する研究を進めてきた[1,7,14,20]。生体組織は複数の材料から構成されている非一様な軟組織であり、複雑な変形特性を示す。また、個体差が大きいので、対象とする実際の軟組織からモデルやモデルパラメータを同定する必要がある。研究代表者らは、MRI や CT を用いて柔軟物の内部変形を計測し、その力学モデルを構築することを試みた[5,12,19,27]。

軟組織のモデリングに関する研究を進めているうちに、軟組織単体の力学的なモデリングでは不十分であり、軟組織と軟組織あるいは軟組織と硬い物体との力学的な相互作用を研究する必要があるとの考えに至った。軟組織と他物体との界面において、接触力や凝着力がどのように作用するか、摩擦がどのように分布するか、物質がどのように移動するかによって、軟組織や他物体の形状変形は大きく異なる。したがって、軟組織の変形をモデリングするためには、軟組織と他物体との接触界面における物理現象をモデリングし、それを軟組織の変形モデリングに反映させる必要がある。しかしながら、軟組織と軟組織あるいは軟組織と硬い物体との間の力学的な相互作用、すなわち摩擦や凝着に関しては、学術的な解明がほとんど成されていない。

摩擦や潤滑を対象とする学問分野としてトライボロジーがあげられる。トライボロジーの主たる対象は、硬い材料どうしの界面であり、たとえばベアリングやピストン、骨格の関節部などをその対象としている。しかしながら、大変形を伴う軟組織との摩擦や凝着に関しては、あまり研究が成されていない。研究代表者らのこれまでの研究では、半球状の弾性指と剛体の平面との転がり運動を定式化したのみである[24,26,35]。

研究代表者らは、内部イメージングに基づく軟組織のマクロな変形計測とモデリングに関する研究に加えて、研究分担者の三谷とマイクロ振動輸送におけるマイクロダイナミクスに関する研究を進め、マイクロパーツに作用する摩擦力や凝着力を定式化してきた[16,23]。これらマクロな変形計測とマイクロダイナミクスに関する研究を基礎として、軟組織と軟組織あるいは軟組織と硬い物体との力学的な相互作用を、実験的かつ理論的に解明することができるとの着想に至った。そこで本研究課題では、マクロとマイクロの双方の視点から軟組織のトライボロジーを確立する。



軟組織どうしの相互作用

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）

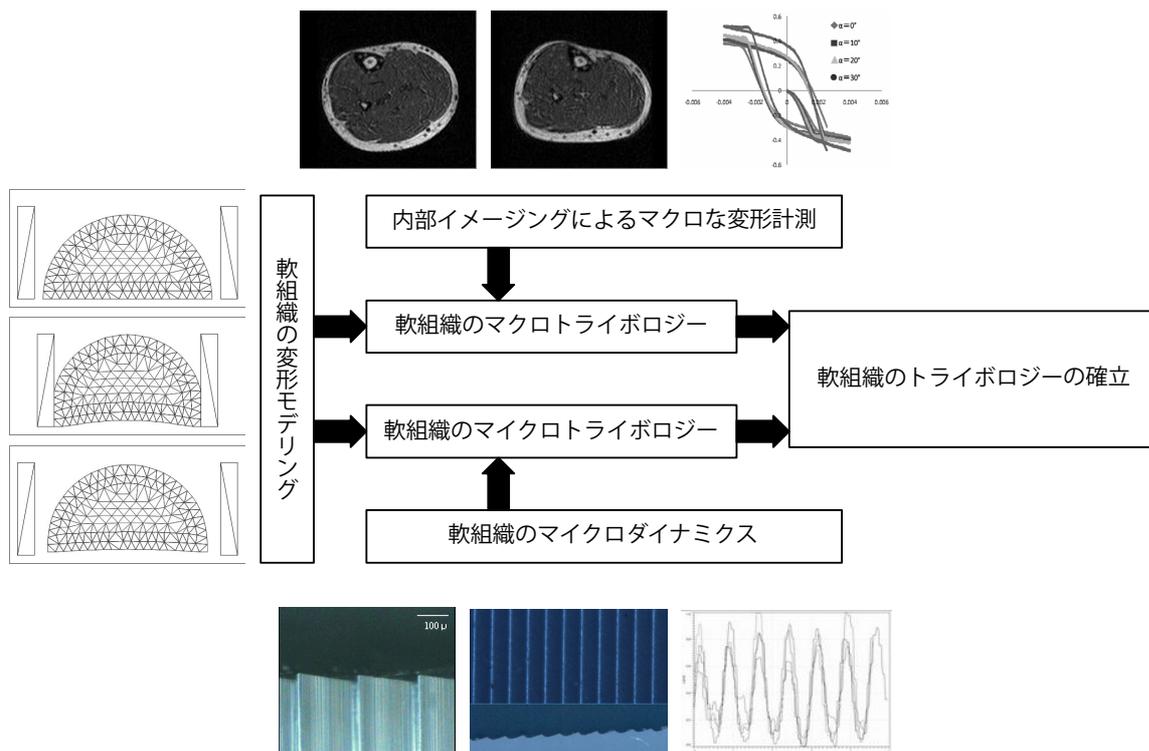
② 研究期間内に何をどこまで明らかにしようとするのか

本研究は、A) 軟組織の接触に伴う変形と分布力の計測、B) 軟組織のマクロトライボロジー、C) 粒子法を用いた軟組織変形のモデリング、D) 軟組織のマクロトライボロジー、E) 軟組織のトライボロジーの解明という課題から成る。接触界面における軟組織の変形と軟組織に作用する分布力の計測手法を確立し、計測結果から軟組織のトライボロジーをマクロ的に定式化する。接触界面の変化に対応するために、粒子法を用いた軟組織の変形モデリングを可能にするとともに、マイクロテクスチャー上での軟組織の挙動を調べることにより、軟組織のマクロトライボロジーを定式化する。これらの成果を基に、マクロとマイクロの双方の視点から軟組織のトライボロジーを確立する。

③ 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

本研究の学術的な特色は、マクロとマイクロの双方の視点から軟組織のトライボロジーを確立する点にある。従来、トライボロジーの主たる対象は、ベアリングやピストン、骨格の関節部など硬い材料同士の接触であり、微小変形の範囲内で変形が定式化されてきた。しかしながら、大変形を伴う軟組織との摩擦や凝着、潤滑に関しては、学術的な解明があまり成されていない。本研究の独創的な特色は、軟組織の変形や接触界面における力の分布の計測を基にしたマクロトライボロジーと、マイクロ加工により創生した表面上における軟組織の挙動を基にしたマイクロトライボロジーとを、軟組織の変形モデルにより統合する点にある。変形モデルを核として、様々な変形特性に対する摩擦や凝着、潤滑というトライボロジー特性を、統一的に定式化することを試みる。

本研究の意義は、柔らかく変形しやすい材料との接触を伴う操作の基盤を与えることにある。手術シミュレーションにおいては、軟組織と周囲の組織あるいは術具との力学的な相互作用をモデリングする必要がある。食品工学においては、食材と人の口腔部との接触とそれに伴う食材の変形を解析する必要がある。人は触覚を得るとき、対象の表面上で指の腹を滑らせたり複数の指でつまんだりねじったりする。したがってハプティクス分野で人の触覚を解析するときには、対象物との接触に伴う指の変形を解析する必要がある。以上のように、柔らかく変形しやすい物体との接触とそれに伴う変形は、様々な分野で重要な役割を果たす。軟組織のトライボロジーは、これらの分野で基盤となる。



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、冒頭にその概要を簡潔にまとめて記述した上で、平成23年度の計画と平成24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、研究分担者とともに行う研究計画である場合は、研究代表者、研究分担者の具体的な役割（図表を用いる等）、学術的観点からの研究組織の必要性・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。

研究計画・方法（概要）※ 研究目的を達成するための研究計画・方法について、簡潔にまとめて記述してください。

本提案では、A) 軟組織の接触に伴う変形と分布力の計測、B) 軟組織のマクロトライボロジー、C) 粒子法を用いた軟組織変形のモデリング、D) 軟組織のマクロトライボロジー、E) 軟組織のトライボロジーの解明という課題を進める。項目 A では MRI 等の内部イメージング技術と分布圧の計測技術を用いて、接触界面における軟組織の変形を計測する、項目 B では、インピーダンスモデルによる軟組織の摩擦特性のモデリングと凝着力のモデリングを進め、軟組織のマクロトライボロジーを定式化する。項目 C では、粒子法を基礎としてレオロジー変形を定式化する。項目 D では、マイクロテクスチャー上での軟組織の運動計測を通して、軟組織のマクロトライボロジーを定式化する。項目 E では、粒子法による変形モデリングを核として、マクロトライボロジーとマイクロトライボロジーを統合し、軟組織のトライボロジーを確立する。

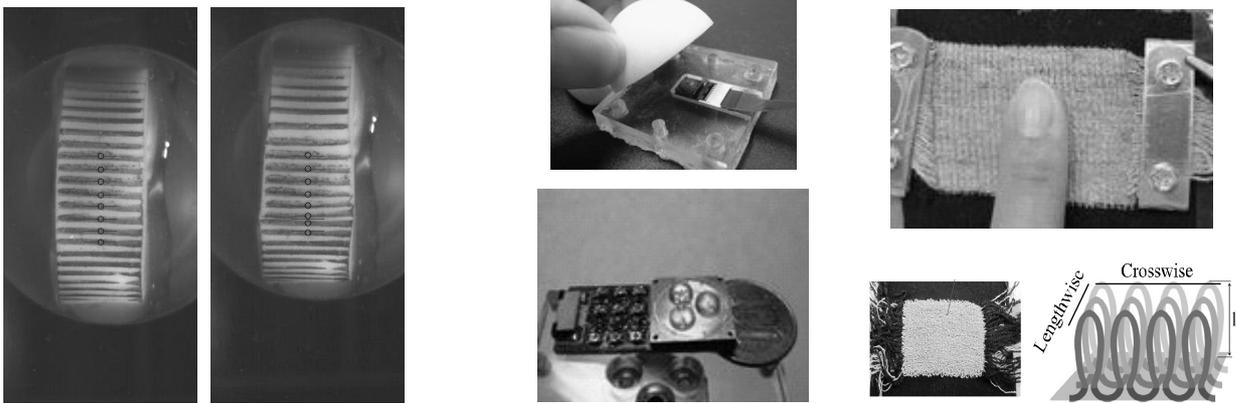
平成23年度の計画

A. 軟組織の接触に伴う変形と分布力の計測

軟組織と硬い物体の表面、あるいは軟組織と軟組織が接触し、軟組織が他物体上で滑り運動を行っているときの軟組織の変形や接触界面における力の分布を計測する。

まず、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、接触に伴う軟組織の静的な変形を計測するとともに、軟組織の三次元画像をセグメンテーションし、表皮や真皮、血管、骨格等の部位に分割、各部位の変形場を求める。研究分担者の森川はMRイメージングに関する研究を進め[8,15,22]、MR画像を用いた軟組織の内部変形の計測に関する研究を研究代表者らと既に進めている[5,14,19,20,28]。これまでの成果を基礎として、ロバストな変形場の計算法を確立する。静的な変形形状の撮影結果と力あるいは分布力の計測結果から、各部位の変形特性を同定する。

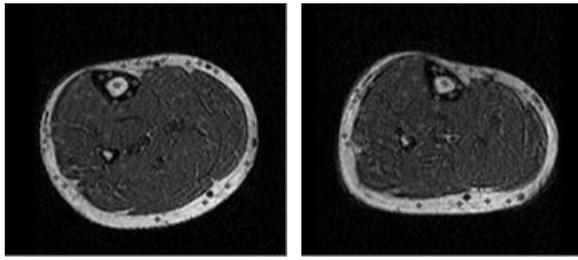
力や分布力の計測においては、購入予定の力覚センサを分布的に配置して、軟組織に作用している力あるいは分布力を計測する。さらに、軟組織内部に埋め込むことが可能なマイクロフォースセンサ、曲面に沿って張ることが可能な導電性繊維センサを試みる。前者では、内部の複数点で三分力をセンシングする。後者では、接触界面に作用する力を直接的に計測する。



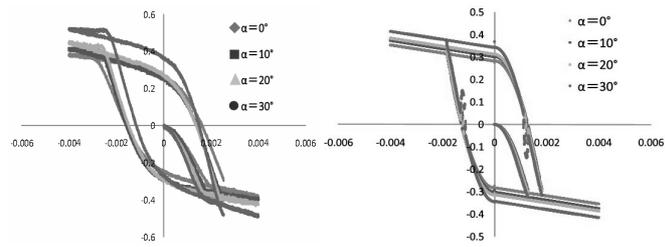
高速カメラによる接触面変形の計測 マイクロフォースセンサ [2, 25] 導電性繊維センサ [4]

森川, 平井 接触に伴う軟組織の静的な変形の計測
 田中, 張 (研究協力者 立命館大学 PD) 三次元画像のセグメンテーションと変形場の計算
 平井, Ho (研究協力者 立命館大学博士後期課程) 滑り運動における動的な変形の計測

研究計画・方法（つづき）



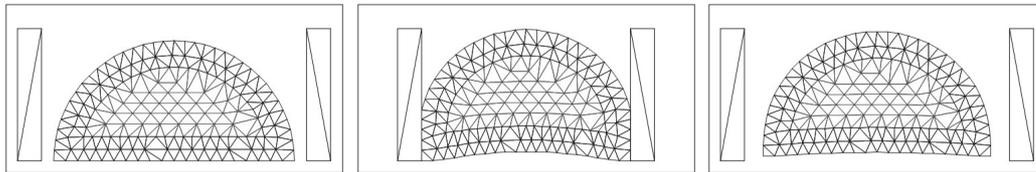
SURF+SAC による変形場の計算 [5]



軟組織の変形を考慮した摩擦モデル[3]

B. 軟組織のマクロトライボロジー

研究項目 A で得られた計測結果を表現するために、軟組織のトライボロジーをマクロ的に定式化する。軟組織単体の変形を有限要素法でモデリングする[1,7]。セグメント化された各部位ごとに変形特性パラメータを割り当て、多層レオロジー物体としてモデリングする。摩擦特性をインピーダンスモデルで表すとともに、摩擦特性と軟組織の局所的な変形とを統合し、軟組織の摩擦モデルを構築する。構築したモデルの妥当性は、実験的に検証する。



多層レオロジー物体の変形シミュレーション [1]

井上, Ho (研究協力者 立命館大学博士後期課程) 軟組織の摩擦のインピーダンスモデル
 平井, 王 (研究協力者 立命館大学 PD) 多層レオロジーモデルによる局所的な変形の表現

C. 粒子法を用いた軟組織変形のモデリング

軟組織のトライボロジーで、軟組織と他物体との接触領域が変化しない場合には、軟組織の変形を有限要素法で容易に表すことができる。しかしながら、接触領域が変化する場合、特に接触領域が分離、合併し接触領域のトポロジーが変化する場合、有限要素法で組織の変形を表すと、節点の接続を表す行列を大幅に書き換え、さらに変化直前の力学量を直後の力学量に配分する必要がある。これは計算効率や計算結果の妥当性の面で問題が多い。そこで、有限要素法で必要とするメッシュが不要な手法である、粒子法を用いて軟組織の変形特性をモデリングする。

粒子法である SPH 法(Smoothed Particle Hydrodynamics Method)や MPS 法(Moving Particle Semi-implicit Method)を基礎として、レオロジー変形を定式化する。さらに、軟組織の変形実験により得られる変形形状や接触力の計測結果から、粒子法のモデルパラメータを同定する手法を確立し、リアリティベースモデリングの基礎とする。これにより、粒子法によるモデリングを実験的に評価する。

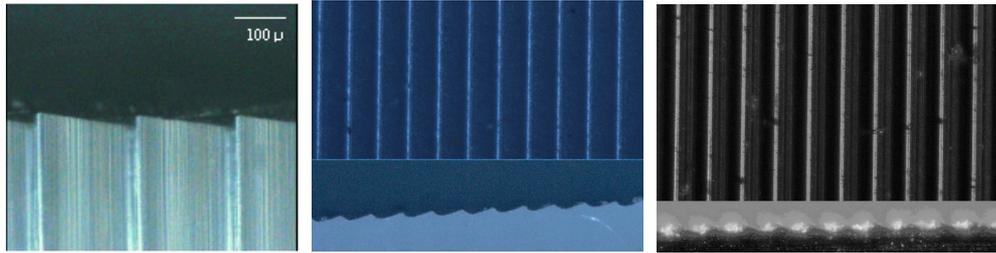
田中, 平井, 王 (研究協力者 立命館大学 PD)
 粒子法によるレオロジー変形の定式化と軟組織の変形シミュレーション

D. 軟組織のマикроトライボロジー

マイクロトライボロジーでは、物体表面のテクスチャーが摩擦や潤滑に与える影響を定式化する。ここでは、マイクロ加工により創生した表面、すなわちマイクロテクスチャー上において軟組織のトライボロジー的な挙動を調べる。まず、マイクロテクスチャー上で、軟組織に滑り運動や転がり運動を生じさせ、軟組織がどのように変形しながら運動するかを、新規購入予定の動き解析マイクロスコープで時系列的に計測する。計測結果から、軟組織がマイクロテクスチャーの凹凸部にどのように接触しているかを推定する。

三谷, 平井 軟組織の運動の計測とマイクロトライボロジーの定式化

研究計画・方法（つづき）

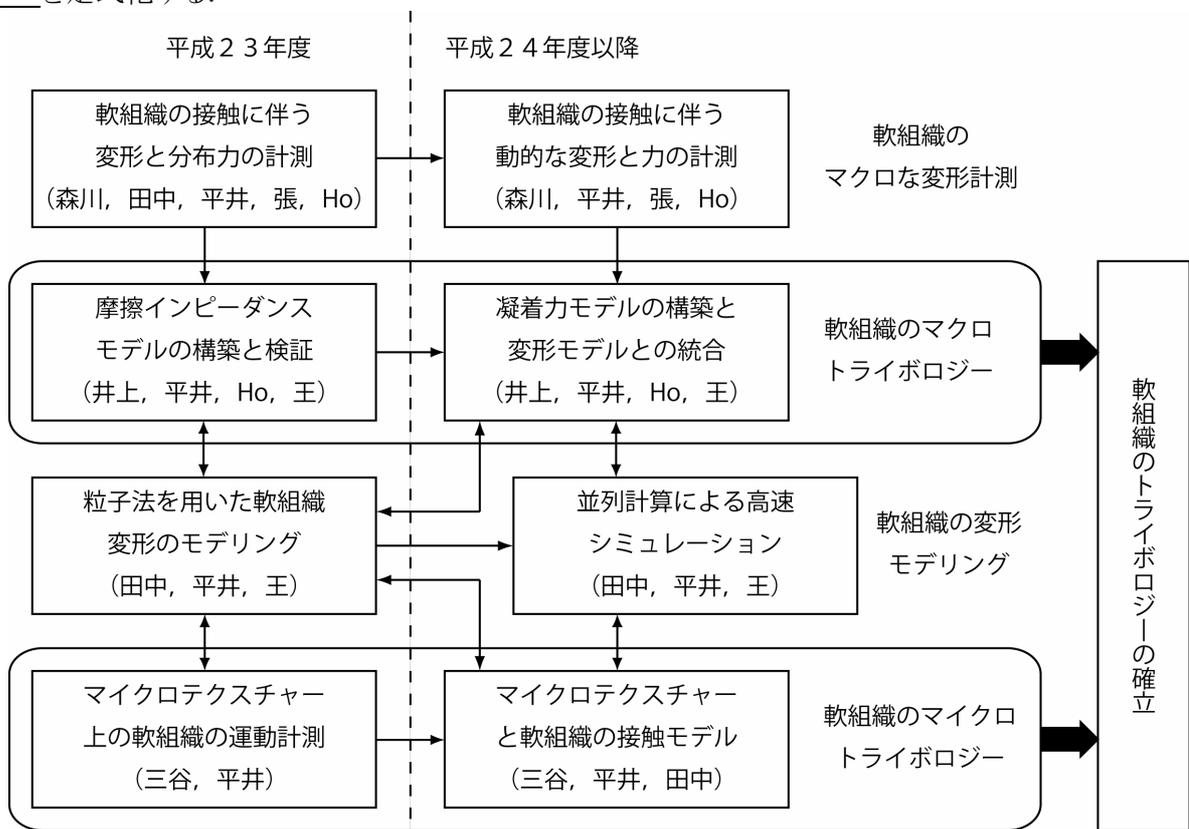


マイクロ加工により得られた非対称マイクロテクスチャー [10, 16, 17, 23]

平成24年度以降の計画

A) 軟組織の接触に伴う変形と分布力の計測においては、平成23年度の成果を評価するとともに、動的な変形と力の計測を追求する。滑り運動を行っているときの動的な変形は、高速カメラによる表面変形の計測、あるいは超音波画像による断面の計測を通して得る。動的な変形を三次元的に得ることは困難であるので、指定した面における動的な変形を計測し、計測結果をモデルと比較することにより、動的な変形特性を推定する。B) 軟組織のマクロトライボロジーにおいては、凝着力のモデリングを進める。軟組織においては、接触界面において垂直抗力のみならず凝着力が作用する。そこで、軟組織に他物体が押し込まれるとき、他物体が離れるときの変形や分布力の計測結果から、凝着力のモデルを構築し、変形モデルと統合する。C) 粒子法を用いた軟組織変形のモデリングにおいては、GPUを用いたシミュレーションの高速化を試みる。D) 軟組織のマイクロトライボロジーにおいては、軟組織と表面上のテクスチャーとの接触モデルを構成し、それを基に軟組織のマクロトライボロジーを定式化する。

以上の成果を基に、E) 軟組織のトライボロジーの解明を進める。接触界面における垂直抗力・凝着力モデル、摩擦インピーダンスモデルを組み込み、粒子モデルを核として軟組織の接触により生じるトライボロジーを定式化する。



今回の研究計画を実施するに当たっての準備状況及び研究成果を社会・国民に発信する方法

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。

- ① 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
- ② 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。）
- ③ 本研究の研究成果を社会・国民に発信する方法等

① **現在の研究環境の状況** 軟組織の変形の計測には、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を用いる。高速カメラによる表面変形の計測は、立命館大学あるいは岡山県立大学の設備で行う。マイクロフォースセンサと導電性繊維センサは、立命館大学で試作している。マイクロテクスチャーの加工と計測は、札幌市立大学と立命館大学、ならびにフェムト秒レーザ加工、マイクロエッチングを担う企業で行う体制ができています。

② **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は、MR画像を用いた軟組織の内部変形の計測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。研究分担者の田中と研究代表者は、軟組織の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。研究分担者の三谷は、研究代表者とマイクロ振動輸送におけるマイクロダイナミクス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。

③ **本研究の研究成果を社会・国民に発信する方法等** 論文として成果を発信することに加え、軟組織のモデリングや軟組織のトライボロジー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16頁参照））

本欄には、研究代表者として行っている平成23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に応募する理由（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、基盤A・B（一般）-10の「これまでを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23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。
 また、必要に応じて、連携研究者の研究業績についても記入することができます。記入する場合には、二重線を引いて区別（二重線は移動可）し、研究者毎に、現在から順に発表年次を過去にさかのぼり記入してください（発表年毎に線を引く必要はありません。）。

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、 <u>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○番号と記入）しても可。なお、研究代表者には二重下線、研究分担者には一重下線、連携研究者には点線の下線を付してください。</u> ）
2010以降	平井 慎一	[1] Modeling and Estimation of Rheological Properties of Food Products for Manufacturing Simulations, Zhongkui Wang and <u>Shinichi Hirai</u> , Journal of Food Engineering, Vol.102, 査読有, 2011, 掲載決定, [2] Design of a Small-Scale Tactile Sensor with Three Sensing Points for Using in Robotic Fingertips, Van Ho, Viet Dzung Dao, Susumu Sugiyama, and <u>Shinichi Hirai</u> , Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 4855-4860, 査読有, Anchorage, May 3-8, 2010 [3] Two-Dimensional Dynamic Modeling of a Sliding Motion of a Soft Fingertip Focusing on Stick-To-Slip Transition, Van Ho and <u>Shinichi Hirai</u> , Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 4315-4321, 査読有, Anchorage, May 3-8, 2010 [4] 感圧導電性編物を用いた滑りセンサの開発, 加藤大介, ホ アン ヴァン, 岡田志麻, 牧川方昭, <u>平井慎一</u> , 生体医工学シンポジウム 2010, 査読無, 札幌, Sept. 10-11, 2010 [5] The Feature Points Matching of Non-rigid Tissues Based on SURF, Spatial Association Correspondence and Clustering, Xubing Zhang, <u>Shinichi Hirai</u> , and Penglin Zhang, 6th Joint Workshop on Machine Perception and Robotics (MPR2010), 査読無, Fukuoka, Oct. 8-9, 2010
	田中 弘美	[6] A 3D Active Touch Interaction Based on the Meso-structure Analyzing, Kazuyoshi Nomura, Wataru Wakita, and <u>Hiroimi T. Tanaka</u> , 3rd ACM SIGGRAPH ASIA, 査読有, Seoul, Korea, Dec., 2010, 発表決定 [7] 連続体力学に基づくオンラインリメッシュ型変形シミュレーションとGPUによる高速化, 佐々木康行, 田川和義, <u>田中弘美</u> , 日本バーチャルリアリティ学会第15回大会, 査読無, 2010
	森川 茂廣	[8] Clinical Application of MR-Compatible Manipulator for Microwave Ablation of Liver Tumors in an Open MR System, <u>Morikawa S.</u> , Naka S., Murakami K., Murayama H., Kurumi Y., Tani T., Tokuda J., Hata N., Haque H., Inubushi T., Asian Conference on Computer Aided Surgery, 査読有, Busan, Korea, Nov. 26-27, 2010, 発表決定 [9] マイクロ波とMRIの出会い, <u>森川茂廣</u> , 来見良誠, 仲成幸, 塩見尚礼, 村山浩之, 村上耕一郎, Hasnine A. Haque, 犬伏俊郎, 谷徹, 第29回 Microwave Surgery 研究会, 特別講演, 査読無, 2010
	三谷 篤史	[10] Feeding Submillimeter Microparts Using An Asymmetric Fabricated Surface With Symmetric Vibrations: Effects of Feeder Surface Materials on Feeding, <u>Atsushi Mitani</u> , <u>Shinichi Hirai</u> , Proc. IITA ICMA, 査読有, Melbourne, Australia, Jan., 2011, 発表決定
	井上 貴浩	[11] Modelless and Grasping-Forceless Control by Robotic Fingers Capable of Mechanically Coupled Movement, <u>Takahiro Inoue</u> , <u>Shinichi Hirai</u> , Daisuke Takizawa, IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 2010), 査読有, Taipei, Oct. 18-22, 2010
研究機関名	立命館大学	
	研究代表者氏名	平井 慎一

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
2009	平井 慎一	[12] Physical Parameter Identification of Uniform Rheological Deformation Based on FE Simulation, Zhongkui Wang, Kazuki Namima, and <u>Shinichi Hirai</u> , 生体医工学, Vol.47, No.1, pp.1-6, 査読有, 2009 [13] 摘み滑り動作を利用した布地の展開動作, 柴田瑞穂, 太田剛士, <u>平井慎一</u> , 日本ロボット学会誌, Vol. 27, No. 9, 1029-1036, 査読有, 2009
	田中 弘美	[14] ボリュームデータの局所特徴に基づく並列三次元領域抽出, 木村彰徳, 山添悠, 田中覚, <u>田中弘美</u> , 画像電子学会, Vol. 38, No. 4, pp. 471-480, 査読有, July, 2009
	森川 茂廣	[15] Interactive MR Image Scan Guidance with a Capability of Motion Compensation using Endoscout Sensor, Haque H., <u>Morikawa S.</u> , Naka S., Murakami K., Proc Int. Soc. Mag. Reson. Med. 17, 査読有, 2009
	三谷 篤史	[16] のこぎり歯形状を有する表面によるマイクロパーツの輸送（計測データに基づく接触モデルの定式化と凝着力の解析）, <u>三谷篤史</u> , <u>平井慎一</u> , 日本機械学会論文誌C編, Vol. 75, No. 752, pp. 942-949, 査読有, 2009 [17] Submillimeter Micropart Feeding Along an Asymmetric Femtosecond-Laser-Microfabricated Surface, <u>Atsushi Mitani</u> and <u>Shinichi Hirai</u> , Int. J. of Automation Technology, Vol. 3, No. 2, 151-156, 査読有, 2009
	井上 貴浩	[18] 柔軟指による把持物体の姿勢制御, <u>井上貴浩</u> , <u>平井慎一</u> , 日本機械学会論文集C編, Vol. 75, No. 757, pp. 2537-2546, 査読有, Sept., 2009
2008	平井 慎一	[19] A Feature Matching-based Approach to Deformation Fields Measurement from MR Images of Non-rigid Object, Penglin Zhang, <u>Shinichi Hirai</u> , and Kazumi Endo, Int. J. of Innovative Computing, Information and Control, Vol. 4, No. 7, 1607-1615, 査読有, July, 2008
	田中 弘美	[20] Modeling of Needle Insertion for Percutaneous Minimally Invasive Therapy, Satoshi Yamaguchi, <u>Shigehiro Morikawa</u> , Yoshiaki Shirai, <u>Hiromi T. Tanaka</u> , International Journal of CARS2008, Vol. 3, Suppl. 1, pp. S295, 査読有, Barcelona, Spain, June, 2008
	森川 茂廣	[21] MRI-Compatible Manipulator for Ablation Therapy for Liver Tumors Using Synergistic Virtual Remote Center of Motion Control, Hata N., Tokuda J., Hurwitz S., <u>Morikawa S.</u> , J. Magn Reson Imaging 27, 1130-1138, 査読有, 2008 [22] Adaptive 4D MR Imaging for MRI-guided Therapy Using Navigator-Based Respiratory Signal, Tokuda J., <u>Morikawa S.</u> , Haque H., Tsukamoto T., Matsumiya K., Liao H., Masamune K., Dohi T., Magn Reson Med 59, 1051-1061, 査読有, 2008
	三谷 篤史	[23] Analysis of Contact between Feeder Surface and Microparts Based on Measurements for Microparts Feeder Using an Asymmetric Surface, <u>Atsushi Mitani</u> and <u>Shinichi Hirai</u> , 2008 IEEE Conf. on Automation Science and Eng., 720-725, Washington D. C., 査読有, Aug. 23-26, 2008
	井上 貴浩	[24] Experimental Investigation of Mechanics in Soft-fingered Grasping and Manipulation, <u>Takahiro Inoue</u> and <u>Shinichi Hirai</u> , Experimental Robotics X, O. Khatib, V. Kumar, and D. Rus eds., Springer Tracts in Advanced Robotics 39, pp.13-22, 査読有, 2008

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	
2007	平井 慎一	[25] マイクロフォース・モーメントセンサ埋め込み型柔軟指先の製作と圧縮実験による評価, <u>井上貴浩</u> , <u>藤井郁夫</u> , <u>平井慎一</u> , Qiang Wang, Dzung Viet Dao, 杉山進, 日本機械学会論文誌 C 編, Vol. 73, No. 736, pp. 3228-3233, 査読有, 2007 [26] 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, Vol. 25, No. 6, pp. 951-959, 査読有, 2007	
	田中 弘美	[27] A Real-Time Dynamic Adaptive Deformable Mesh Model for Soft Tissue based on Bisection Refinement and Binary Simplification, Yoshinori Tsujino, H. Q. H. Viet, Hironori Yamashita, Yasufumi Takama, <u>Hiromi T. Tanaka</u> , Int. J. of Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS07), Vol. 2, Sup. 1, pp. 165-167, 査読有, June, 2007	
	森川 茂廣	[28] 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., 25:261-276, 査読有, 2007	
	三谷 篤史	[29] Feeding of Submillimeter-sized Microparts along a Saw-tooth Surface using only Horizontal Vibration: Effects of saw-tooth pitch, vibration frequency and humidity, <u>Atsushi Mitani</u> , Toshiatsu Yoshimura, and <u>Shinichi Hirai</u> , Int. J. of Automation Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 27-34, 査読有, Sept., 2007	
	井上 貴浩	[30] 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, Vol. 25, No. 2, pp. 221-230, 査読有, 2007	
2006	平井 慎一	[31] ソフトインターフェースを介した動的な物体操作における連続離散時間系を基にした安定性解析, 柴田瑞穂, <u>平井慎一</u> , 日本ロボット学会誌, Vol. 24, No. 3, pp. 349-355, 査読有, April, 2006	
	田中 弘美	[32] ボ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, Vol. 48, No. SIG9 (CVIM18), pp. 67-78, 査読有, June, 2007	
	森川 茂廣	[33] 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, <u>森川茂廣</u> , 医用画像情報学会雑誌, 23(4), 112-115, 査読有, 2006	
	三谷 篤史	[34] Microparts Feeding by a Saw-Tooth Surface, <u>Atsushi Mitani</u> , Naoto Sugano, and <u>Shinichi Hirai</u> , IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 11, No. 6, pp. 671-681, 査読有, Dec., 2006	
	井上 貴浩	[35] Elastic Model of Deformable Fingertip for Soft-fingered Manipulation, <u>Takahiro Inoue</u> and <u>Shinichi Hirai</u> , IEEE Transactions on Robotics, Vol. 22, No. 6, pp. 1273-1279, 査読有, Dec., 2006	
連携研究者氏名 (所属研究機関・部局・職)		発表論文名・著書名 等 (研究代表者及び研究分担者の研究業績として上欄に記載したものは記載しないでください。)	
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。

- ① 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。（平成21年度又は平成22年度の科学研究費補助金の研究進捗評価結果がある場合には、基盤A・B（一般）－11「研究計画と研究進捗評価を受けた研究課題の関連性」欄に記述してください。）
- ② 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。

科学研究費補助金 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)の基盤技術を確認することである。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。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。

科学研究費補助金 基盤研究(A) 平成20年度－平成22年度

人の巧みさに関する軟組織の力学の解明

平井慎一（研究代表者） 35,500（千円）

本研究の目的は、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。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析している。

科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 平成21年度－平成22年度

パラレルイメージング技術を応用した高感度生体炭素-13MR代謝画像法の開発

森川茂廣（研究代表者） 3,000（千円）

1Hパラレルイメージング用のマルチコイルに13C用のコイルを組み合わせて加工することにより、13C代謝画像計測を可能とし、さらにパラレルイメージングのデータ処理を応用して高感度生体炭素-13MR代謝画像を目指している。

科学研究費補助金 若手研究(B) 平成20年度－平成21年度

フェムト秒レーザ加工表面を用いた対称振動輸送における微小物体のダイナミクスの解明

三谷篤史（研究代表者） 2,800（千円）

フェムト秒レーザの斜め照射により得られた非対称微細加工表面について、輸送性能を評価した。その結果、数十から数百マイクロオーダーの微小物体を操作する場合には、フィーダの駆動周波数が小さければフィーダ表面の接触特性が支配的になる一方で、駆動周波数を上昇させることにより慣性力が支配的となることが判明した。

科学研究費補助金 若手研究B 平成22年度～平成23年度

遅れの多いヒトの運動制御メカニズムを規範とする視触覚統合制御手法の提案

井上貴浩（研究代表者） 2,600（千円）

本研究では皮膚で覆われた手指による物体の操りにおいて、ヒトの指先の物理的柔軟性が微細で巧みな手指の動きに寄与しているという観点から、柔軟物のモデリング手法を用いて指先の数理モデルを構築し、その力学特性に適したより簡潔な操り制御手法を提案している。

財団法人メカトロニクス技術高度化財団研究助成 平成20年度～平成21年度

フェムト秒レーザ加工を用いた微細加工表面による微小物体操作に関する研究

三谷篤史（研究代表者） 1,800（千円）

フェムト秒レーザの斜め照射による微細加工表面について、接触の非対称性を実験により明らかにした。フィーダテーブルの周波数によって、微小物体の挙動がフィーダテーブルの振動周波数に依存することを実験により示した。性状の異なる微細加工表面を用いることにより、同一のフィーダ駆動条件において微小物体の挙動が異なることを明らかにした。

研究計画と研究進捗評価を受けた研究課題の関連性

- ・本欄には、本応募の研究代表者が、平成21年度又は平成22年度に、「特別推進研究」、「基盤研究（S）」、「若手研究（S）」又は「学術創成研究費」の研究代表者として、研究進捗評価を受けた場合に記述してください。
- ・本欄には、研究計画と研究進捗評価を受けた研究課題の関連性（どのような関係にあるのか、研究進捗評価を受けた研究を具体的にどのように発展させるのか等）について記述してください。

研究機関名

立命館大学

研究代表者氏名

平井 慎一

人権の保護及び法令等の遵守への対応（公募要領3頁参照）

本欄には、研究計画を遂行するにあたって、相手方の同意・協力を必要とする研究、個人情報の取り扱いの配慮を必要とする研究、生命倫理・安全対策に対する取組を必要とする研究など法令等に基づく手続きが必要な研究が含まれている場合に、どのような対策と措置を講じるのか記述してください。

例えば、個人情報を伴うアンケート調査・インタビュー調査、提供を受けた試料の使用、ヒト遺伝子解析研究、組換えDNA実験、動物実験など、研究機関内外の倫理委員会等における承認手続きが必要となる調査・研究・実験などが対象となります。

なお、該当しない場合には、その旨記述してください。

MRI 装置による軟組織の変形の計測においては、研究協力者の指導の下に計測を実施する。人の組織を計測する場合には、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。

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。

本研究課題は、研究代表者と4名の研究分担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。

購入予定の静電容量型3軸力覚センサ（ニッタ株式会社・PD3-32）は、複数個組み合わせて軟組織に作用している力あるいは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。軟組織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成分を計測でき軟組織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。さらに、内部や接触界面における力を直接計測するために、軟組織内部に埋め込むことが可能なマイクロフォースセンサ、曲面に沿って張ることが可能な導電性繊維センサを試みる。そのための材料費を、23年度と24年度に計上している。

購入予定の動き解析マイクロスコープは、三谷（研究分担者）がマイクロテクスチャー上の軟組織の運動と変形を計測するために用いる。立命館大学と岡山県立大学が所有している高速カメラでは、軟組織の表面変形を計測することが可能であるが、軟組織とマイクロテクスチャーの接触界面における軟組織の挙動を計測することは困難である。そこで、動き解析マイクロスコープを用いて、接触界面における軟組織の運動と変形を計測する。

三谷（研究分担者）が担当する軟組織のマイクロトライボロジーでは、様々な材料や形状を持つマイクロテクスチャーを試作する必要がある。フェムト秒レーザ加工やマイクロエッチングによるマイクロテクスチャーの試作費を、23年度と24年度に計上している。

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
23	動き解析マイクロスコープ・株式会社キーエンス・VW-6000 (1台×3245千円) (札幌市立大学)	3,250	機械部品類 電子部品類 マイクロフォースセンサ材料費 導電性繊維センサ材料費 静電容量型3軸力覚センサ・ニッタ株式会社・PD3-32 (20台×65千円)	1,000 1,000 1,200 300 1,300
	計	3,250	計	4,800
24			機械部品類 電子部品類 マイクロフォースセンサ材料費 導電性繊維センサ材料費	2,000 2,000 800 200
	計	0	計	5,000
25			機械部品類 電子部品類	2,000 2,000
	計	0	計	4,000
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、「研究資金の不合理的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すので、本人が受け入れ自ら使用する研究費を正しく記載していただく必要があります。本応募課題の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。具体的な記載方法等については、研究計画調書作成・記入要領を確認してください。

- ① 「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。
- ② 「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。
- ③ 科学研究費補助金の「新学術領域研究（研究領域提案型）」又は「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。
- ④ 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23年度の研究経費（期間全体の額） <small>(千円)</small>	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 <small>(研究代表者(又は拠点リーダー等)のようにプログラム全体の研究費の受入研究者)の場合は、研究期間全体(又はプログラム全体)の受入額を記入すること)</small>
【本応募研究課題】 基盤研究(A)(一般) (H23~H25)	軟組織のトライボロジー（平井慎一）	代表	7,970 (21,870)	20	研究期間全体の直接経費の総額：45,740千円
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（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23年度の研究経費（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 (研究代表者(又は拠点リーダー等のようにプログラム全体の研究費の受入研究者)の場合は、研究期間全体(又はプログラム全体)の受入額を記入すること)
日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(A) 平成 21-23 年度	超臨場感遠隔協働のためのインタラクティブ柔軟物シミュレーションと視触化の研究（田中弘美）	分担	100 (300)	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、軟組織のトライボロジーに関する研究は含まれておらず、目的・手法ともに提案の基盤研究と異なる。
日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 平成 21-23 年度	バイオミメティックビジョンの研究（石井明）	分担	300 (1,000)	10	本研究では、生物の視覚が有する注視の機能を持つビジョンシステムに関する研究を進める。本研究では、軟組織のトライボロジーに関する研究は含まれておらず、目的・手法ともに提案の基盤研究と異なる。
独立行政法人情報通信研究機構「高度通信・放送研究開発委託研究」公募 革新的な三次元映像技術による超臨場感コミュニケーション技術の研究開発 平成 21-27 年度	「どこでも高度医療」実現のためのボリュームベース遠隔触覚協働環境構築の研究開発（田中弘美）	分担	500 (3,500)	10	本研究は、遠隔多地点における触覚提示の技術を遠隔医療において実用化する試みである。本研究では、軟組織のトライボロジーに関する研究は含まれておらず、目的・手法ともに提案の基盤研究と異なる。
文部科学省「デジタル・ミュージアム実現のための研究開発に向けた要素技術及びシステムに関する調査検討」 平成 21-23 年度	京都・アートエンタテイメントの時空散歩（田中弘美）	分担	500 (1,000)	20	本研究では、京都における祭礼や工芸を、デジタル技術を用いてアーカイブ化する。研究代表者は、和菓子の製作過程のモデリングに携わっている。和菓子単体のモデリングを進めているが、和菓子と他物体との接触に関しては、位置制約あるいは力制約に留まっており、軟組織のトライボロジーに関する研究は含まれていない。
（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 (%)	