

機関番号：17201

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20300161

研究課題名（和文） 完全深屈曲可能な人工膝関節の実用化に関する研究

研究課題名（英文） Study on a Practical Use of a Knee Prosthesis which is capable of attaining Complete Flexion

研究代表者

廣川 俊二（HIROKAWA SHUNJI）

佐賀大学・医学部・寄附講座教授

研究者番号：80150374

研究成果の概要（和文）：

申請者らは、正座動作のような完全深屈曲（膝屈曲角  $180^\circ$ ）が可能な人工膝関節を開発している。次の課題は当該人工関節の実用化であるが、このためには、厚生労働省（薬事法）の認可が必要である。そこで本研究では、当該人工関節の安全性を初め、運動機能、強度、耐久性に関し、認可申請に必要な十分なデータを揃えるため、深屈曲動作解析、切断肢実験、ロボット膝実験、三次元力学モデル解析、有限要素解析、光弾性実験を行い、結果を集約した。

研究成果の概要（英文）：

The objective of this study was to assess the kinematics and durability of our new knee prosthesis which was developed to attain a complete flexion such as Japanese style *SEIZA*. In order to get license from the MHLW of the Japanese Government for putting it in a patient, we had to demonstrate that it has enough performance to do so from kinematic and kinetic viewpoints. Thus, we carried out various kinds of analyses and experiments, i.e., 3D model analysis, cadaveric study, kinematic measurement, FEM analysis and photoelastic study, thereby summing up their results.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
20年度	8,100,000	2,430,000	10,530,000
21年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
22年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	12,800,000	3,840,000	16,640,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学・生体材料学

キーワード：人工膝関節，完全深屈曲，バイオメカニクス，有限要素解析，動態計測，  
光弾性応力測定，起立動作解析，関節シミュレータ

### 1. 研究開始当初の背景

次世代人工膝関節に必要な条件は、耐久性向上に加えて、歩行動作以外の多様な運動に対応するため膝屈曲の可動範囲を拡大することである。現用人工関節の最大膝屈曲角度は約  $90^\circ$  までであり、歩行動作以外の下肢運動機能が十分には保証されていなかった。屈曲角  $90^\circ$  以上の膝屈曲が不可能な場合、正座はもとより、靴下履き、入浴、階段昇降、園芸等、様々な日常生活動作に支障を来す。また、膝屈曲角を  $90^\circ$  以下に制限した場合、下肢筋力、筋収縮量、靭帯強度などが低下し、

ひいては下肢全体の運動機能の低下をもたらす。

このような状況にも関わらず、これまでに膝屈曲角  $130^\circ$  以上の深屈曲動作の実現を目指した人工膝関節の開発例は少なく、上尾らの *Bisurface knee*（関節外科，Vol.22, No.3, 2003）があるに過ぎない。この人工膝関節は本来の大腿・脛骨接触面に加えて、屈曲時における回転中心接触面となるボール・ソケット部を追加工したものである。ただし、この人工関節装着者が実現し得た最大膝屈曲角は約  $120^\circ$  に止まり、装着後の膝の可動性、抗

脱臼性、インプラントの強度、耐久性に関する十分な評価は行なわれていなかった。

上記 Bisurface knee を参考に申請者らは、研究協力者の(株)日本メディカルマテリアル社(Japan Medical Material: JMM)と共同で、ボール・ソケット部の延長上に更に球面軸受け構造のポスト・カム部を設け、機構的に屈曲角 180°の完全深屈曲が可能な人工膝関節を開発し、CFK (Complete Flexion Knee)と名付けた(図 1)。本 CFK は、膝屈曲角 90°以下で荷重を支持する本来の大腿・脛骨関節面(図 2(a))、主として屈曲角 90~130°の高屈曲時に接触力を分担するボール・ソケット面(図 2(b))、および屈曲角 130°以上の深屈曲時の荷重支持を目的としたポスト・カム面(図 2(c))の 3 組の接触面を有する。本 CFK の開発に際しては、さらに、ボール部のオフセットによりインピンジを回避し、ポスト・カム部の球面軸受け構造により深屈曲時にも内外旋が可能でかつ脱臼しにくいこと、などの点に主眼を置いている。

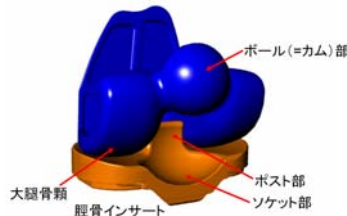


図 1 CFK の構造

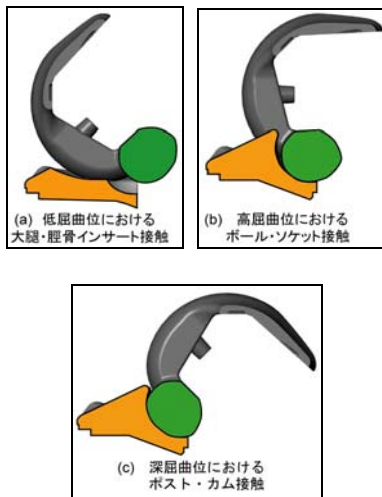


図 2 膝屈曲に伴う 3 界面での接触

申請者らは、この CFK を切断肢に装着し、屈曲角 180°の完全深屈曲位までの動作確認を行っており、研究の次ステップとして、CFK の実用化に対する検討を開始した。

## 2. 研究の目的

既に述べたように、申請者らは正座動作の

ような完全深屈曲が可能な人工膝関節を開発しており、次の課題は当該人工関節の実用化である。このためには、厚生労働省(薬事法)の認可が必要である。そこで本研究では、当該人工関節の安全性を初め、運動機能、強度、耐久性に関し、認可申請に必要な十分なデータを揃えることを具体的な目的とした。

切断肢を対象とした予備実験やコンピューター・シミュレーションを通じ、厚労省への認可申請までに検討すべき事項を以下のように整理した。

### I. 生体組織に対する検討

- 1) 血管、神経、靭帯軟組織等を傷付けずにインプラント挿入が可能かどうか。
- 2) インプラント挿入によって、靭帯への過張力を生じないかどうか。
- 3) 靭帯張力によりインプラントの屈曲制限が生じないかどうか。
- 4) 置換時の骨切除により大腿・脛骨部の強度低下が生じないかどうか。
- 5) インプラントとの接合界面での骨部の強度。

### II. 人工関節インプラントに対する検討。

- 6) 脛骨側ポリエチレンインサート(とくにポスト部)の耐摩擦・摩耗特性。
- 7) インサート(とくにポスト、ソケット後縁部)の曲げ強度と面圧強度。
- 8) 内外側大腿・脛骨接触面⇔ボール・ソケット部⇔ポスト・カム部の連続的かつ滑らかな接触状態の移行が行われるかどうか。
- 9) 深屈曲時における内外旋、内外反動作の可能性。
- 10) 深屈曲時における大腿・脛骨コンポーネント間の抗脱臼性。

## 3. 研究の方法

CFK の安全性、機能、強度、耐久性などに関する実験・解析を実施するため図 3 に示す研究体制を構築した。

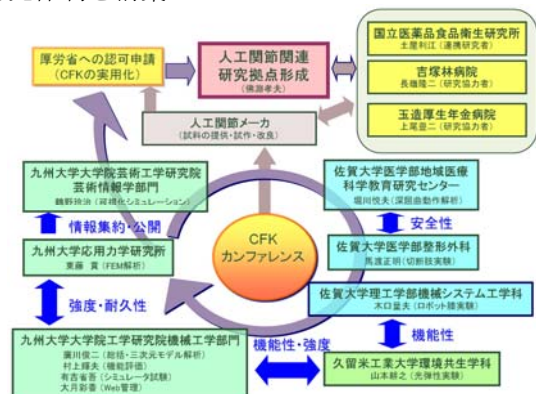


図 3 研究の体制

図 3 に示した研究体制の下、以下 7 項目の実験・解析を実施した。

- (1) 深屈曲動作解析
- (2) 切断肢実験

- (3) ロボット膝実験
- (4) 力学モデル解析
- (5) 有限要素解析
- (6) 光弾性実験
- (7) シミュレータ試験

**(1) 深屈曲動作解析:** しゃがみ込み、ひざまづき、正座など膝の高・深屈曲動作時の下肢関節角度と床反力データを収集し、これらのデータを下肢の筋骨格モデルの入力値に用いて膝関節力および下肢筋力を算出した。また、当該動作時の下肢筋電データを採取し、上記の筋力計算値の検定に用いた。

単純化した二次元の矢状面モデルを用い、椅子、蹲踞、正座からの立ち上がり動作を解析した。次いで、片脚立ちから、あるいは手を付いて立ち上がるなど、より実際の運動状態を解析した。

ここで得られたデータは、後述する(3)～(7)の各実験・解析における入力データとして用いた。

**(2) 切断肢実験:** 切断肢を対象に置換術を試行し、以下の諸点についてチェックした。

- ・血管、神経、靭帯等を傷付けずにインプラント挿入が可能か。
- ・インプラントが血管、神経等を圧迫・狭窄しないか。
- ・インプラント挿入によって靭帯への過張力を生じないか。
- ・靭帯張力などによって、CFKの自由な屈伸動作が拘束・制限されないか。
- ・深屈曲時に強制的な内外反・内外旋トルクを加えた場合、大腿・脛骨両コンポーネント間で脱臼が生じないかどうか。

次に、CFKを装着した切断肢を対象に受動的屈伸動作実験を実施した。大腿骨側を水平に固定し、ワイヤーを介して下肢主要筋端に一定荷重(錘)をかけた状態で、脛骨側を手動操作して屈曲角 $0\sim 180^\circ$ の範囲で膝を屈伸させ、動作中の膝部を外側方向よりX線で撮影した。その後、パターンマッチング法を適用して上記の受動的屈伸動作時のCFKの三次元位置・姿勢を推定した。

さらに、上記の三次元位置・姿勢推定値を基に、CFKの三次元CADモデル画像を作成し、内外側大腿・脛骨接触面、ボール・ソケット部、ポスト・カム部の3種の接触面間での接触が連続的かつ滑らかに行われるかどうかを確認した。

**(3) ロボット膝実験:** 上記(2)の切断肢実験では計測困難な力学情報を得るため、関節面相当部にCFKインプラントを固定し、大腿・脛骨軸をパイプ、靭帯類をバネ要素、筋肉類をワイヤー牽引装置で代用したロボット膝装置を設計・製作した。この装置を用い、膝屈曲に伴うインプラントの運動形態、関節面間の接触力(応力)、滑りや転がりなどの接触形態、靭帯バネ張力などを測定した。

ヒトが自身の下肢筋力で屈曲できる膝の最

大屈曲角は約 $130^\circ$ までであり、 $130^\circ$ 以上の深屈曲位は重力などの外力によって生成される。そこで、本ロボット膝装置でも筋力生成用ワイヤーの牽引で $130^\circ$ まで膝を屈曲させた後、脛骨側を手動操作して $180^\circ$ まで屈曲させ、この間に、上記3種の接触面間での接触が連続的かつ滑らかに行われるかどうかを確認した。

**(4) 力学モデル解析:** 既に関済済みの下肢の三次元力学モデル(図4(a))をベースに、深屈曲状態に特有の力学環境(大腿四頭筋の巻き付き、膝蓋骨の大腿骨顆間窩への嵌入、大腿・下腿筋の接触など)を組み込んだ専用の力学モデルを新作し、関節姿勢、関節接触力を求めた。モデル作成に際しては、大腿・脛骨関節曲面をパラメトリック高次多項式で表し、関節面は完全剛体で点接触を仮定した。靭帯類は非線形バネで表した。(図4(b))の大腿・下腿筋の接触モデルにおけるP、 $b_p$ は文献を参照して決定した(Zelle et al., *Clinical Biomechanics*, 22, pp.821-826, 2007.)。

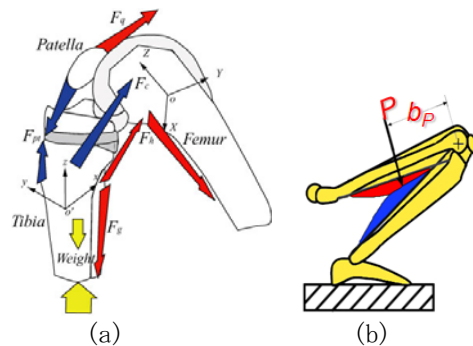


図4 深屈曲状態の三次元膝関節モデル

**(5) 有限要素解析(FEM):** 現用PS型の中で高屈曲が可能のように改良された人工膝関節NRG (Non Restricted Geometry, Stryker Co., USA), Bisurface, およびCFKの3種を実験対象とし、上記(1)で求めた膝関節角度、関節力境界条件とし、脛骨インサートの接触応力を求め、3種の人工関節での結果を比較した。CADデータモデルにプリポストプロセッサFEMAPを用いて4節点4面体要素で要素分割を行った。脛骨インサート(超高分子量ポリエチレン)は弾塑性体、大腿・脛骨コンポーネントは完全剛体とみなし、動的FEM汎用コードであるLS-DYNAを用いて応力解析を行った。

**(6) 光弾性実験:** 上記(5)と同様の人工膝関節、膝関節角度、荷重条件の下で、光弾性法を適用し、脛骨インサートの接触応力を求めた。実験方法は、まず対象人工膝関節のエポキシ樹脂製レプリカを作製し、荷重装置に取り付けられた脛骨トレイに装着した。次に大腿骨

側の治具を調整し、膝屈曲角を設定した後、脛骨インサートにかかる関節力を錘を用いて再現した。この応力負荷状態のまま、装置全体を制御炉内に格納し、2時間保持した後に、室温まで徐冷し、応力凍結試料を作成した。その後、凍結試料を矢状面方向に13片にスライスし、各スライスを対象に光弾性装置下で干渉縞を撮影して応力状態を解析した。

#### 4. 研究成果

(1) **深屈曲動作解析**：片脚立ち、平地歩行、膝屈曲前傾姿勢(knee bend)での膝関節力の計算結果は、Bergmannらがセンサー埋め込み型人工関節を患者に装着して求めた in vivo データ (<http://www.orthoload.com/main.php?act=home>)と非常に良く一致した。また、種々の下肢運動での膝関節力の最大値は文献データとほぼ等しくなった。筋力の計算結果も筋電の計測結果と良く符合した。ひざまずきからの立ち上がり時に膝関節に働く力の最大値は  $F_{net\_max} = 5.10 \pm 0.39$  [BW: Body Weight 体重比]であり、両手を使った場合、関節力の最大値は  $F_{max\_with\_arm} = 3.20 \pm 0.94$  [BW]まで減少した。

(2) **切断肢実験**：試料入手の都合上、2体の切断肢を対象に、CFKの(とくに深屈曲位における)動態と関節面接触状態の観察を行った。その結果、膝屈曲に伴う接触形態の滑らかな移行、抗脱臼性、靭帯の異常張力の回避などについては確認できたが、膝伸展時にボールが膝下動脈・神経を圧迫するという問題が生じた。そこで、従来の1stモデルに対し、ボールのサイズを縮小した2ndモデルを試作し、両モデルを対象に、3. 研究の方法(3)～(6)で述べた実験・解析を行った。

(3) **ロボット膝実験**：CFK 1st, 2ndモデルとも、NRGやBisurfaceに比べ、広範囲の可動域を示した(屈曲角178°, 内外旋12°, 内外反7°)。またP Sタイプの人工関節の特徴である後方回転移動(ロールバック)が確実に行われていることを確認した。

(4) **三次元力学モデル解析**：膝屈曲角100°近傍までは関節姿位・動態、関節接触点軌跡、関節接触力、靭帯張力のすべてに関してほぼ妥当な結果を示したが、100°以降で解が発散した。深屈曲位で安定解が得られないため大腿・下腿筋の接触モデルの効果を確認することができず、今後課題を残した。

(5) **有限要素解析(FEM)**：膝の高・深屈曲状態を対象に、各人工膝関節の脛骨インサートの接触応力を求めた。その結果、膝屈曲角度130°近傍で、CFK 1st, 2ndともNRGやBisurfaceよりやや高い応力値を示したが、130°以降はCFK

のみが屈曲可能であるため他機種との比較はできなかった。ただし、1st, 2ndモデルとも超高分子量ポリエチレンの引張り降伏応力(20MPa)を超える応力がかかるため、ボール・ソケット部の再設計が必要であることが分かった。

(6) **光弾性実験**：光弾性法を適用し、上記(5)のFEM解析結果の検証実験やNRG, Bisurfaceとの比較実験を行った結果、CFK 2ndモデルが高屈曲位で高い応力値を示すことが分かった。本実験結果から得られた重要な結論は、深屈曲時に、ボール・ソケット部の単独接触だけでなく、同時に大腿・脛骨部の顆面接触が行われることで、脛骨インサートの接触応力を軽減できることであり、この結論を基に、1st, 2ndモデルの折衷案である3rdモデルの設計方針を得ることができた。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計28件)

1. 廣川俊二, 体内の人工関節の動態計測, トライボロジスト, 査読無, Vol.56, 2011, (掲載決定)
2. T.Ueo, (他5名中5番目) S.Hirokawa, Deep Flexion Oriented Bi-Surface Type Knee Joint and its Tibial Rotation observed in Oriental Style Sitting that Attribute its High Performance of Flexion, Journal of Arthroplasty, 査読有, Vol.26, 2011, pp.476-482.
3. 廣川俊二, 福永道彦, 尹涛, 河野谷仁, ひざまずきからの立ち上がり動作を対象とした下肢の力学モデル解析, 日本機械学会論文集, 査読有, Vol.76, 2010, pp.286-293.
4. 長谷川満彰, 廣川俊二, 馬渡正明, 佛淵孝夫, 光弾性法を用いた高・深屈曲対応型人工膝関節インサートの応力解析, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 査読有, Vol.31, 2010, pp.237-241.
5. 河野谷仁, 福永道彦, 廣川俊二, 長嶺隆二, 馬渡正明, 佛淵孝夫, 膝運動シミュレータを用いた高・深屈曲対応型人工膝関節の動態解析, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 査読有, Vol.31, 2010, pp.243-247.
6. A.Lawi, J.Takiguchi, M.Hasegawa, S.Hirokawa, M.Mawatari, T.Hotokebuchi, Photoelastic Measurement of Polymer Insert Stress in the Knee Prostheses Designed for High/Deep Flexion, Applied Bionics and Biomechanics, 査読有, Vol.7, 2010, pp.177-186.
7. 廣川俊二, 人工膝関節の光弾性応力解析—正座が可能な人工膝関節の開発とその強度評価に関する研究—, 光アライアンス, 査読無, Vol.21, 2010, pp.38-46.
8. M.Fukunaga, S.Hirokawa, The Model Analysis

- of Lower Limb at Ascending from Deep Knee Flexion, Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University, 査読有, Vol.69, 2009, pp.139-148.
9. 西村貴郎, M.A.ホサイン, 有吉省吾, 廣川俊二, 長嶺 隆二: フルオロ画像を用いたTKA後の膝の可動域の評価, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 査読有, Vol.30, 2009, pp.347-350.
  10. 木原雄一, 廣川俊二, 上尾豊二: 正座位における Bisurface 型人工膝関節の位置・姿勢推定, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 査読有, Vol.30, 2009, pp.351-355.
  11. 勝原忠典, 福永道彦, 大月彩香, 廣川俊二, 佛淵孝夫, 力学モデルによる深屈曲対応型人工膝関節の接触解析, 日本機械学会論文集, 査読有, Vol.75, 2009, pp.2286-2294.
  12. M.Fukunaga, T.Katsuhara, S.Hirokawa, M.Mawatari, T.Hotokebuchi, A 2D Model Analysis of Artificial Knee Joint during Deep Squatting, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 査読有, Vol.4, 2009, pp.298-305.
  13. 廣川俊二, アンサルラー・ラウイ, 関屋圭輔, 瀧口純一郎, 高・深屈曲対応型人工膝関節インサートの光弾性応力解析, 日本機械学会論文集, 査読有, Vol.75, 2009, pp.252-261.
  14. S.Hirokawa, M.A.Hossain, N.Ikebe, S.Ariyoshi, A 3D Kinematic Measurement of Knee Prosthesis Using X-ray Projection Images Improvements of estimation algorithm and clinical assessment for fluoroscopic images), Medical and Biological Engineering and Computing, 査読有, Vol.46, 2008, pp.1253-1262.
  15. 福永道彦, 勝原忠典, 廣川俊二, しゃがみこみ動作を対象とした人工膝関節の三次元モデル解析, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 査読有, Vol.29, 2008, pp.427-431.
  16. 池辺儀裕, M.A.ホサイン, 木原雄一, 有吉省吾, 廣川俊二, 佛淵孝夫, 完全深屈曲対応型人工膝関節 CFK の動態計測, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 査読有, Vol.29, 2008, pp.273-277.
  17. 勝原忠典, 廣川俊二, 佛淵孝夫, 完全深屈曲対応型人工膝関節 CFK の接触解析, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 査読有, Vol.29, 2008, pp.279-283.
  18. A.Lawi, K.Sekiya, J.Takiguchi, S.Hirokawa, Photoelastic Study of Contact Stress on the Tibial Insert of Artificial Knee Joint, Memoire of Faculty of Engineering, Kyushu University, 査読有, Vol.68, 2008, pp.141-150.
  19. M.A.Hossain, M.Fukunaga and S.Hirokawa, A Kinematic Assessment of Knee Prosthesis from Fluoroscopy Images, Memoire of Faculty of Engineering, Kyushu University, 査読有, Vol.68, 2008, pp.19-30.
  20. M.Fukunaga, T.Katsuhara and S.Hirokawa, A 3D Model Analysis of Artificial Knee Joint during Passive Flexion, Memoire of Faculty of Engineering, Kyushu University, 査読有, Vol.68, 2008, pp.11-18.
  21. 勝原忠典, 坂口淳平, 廣川俊二, 三次元力学モデルを用いた人工膝関節の接触解析—PS タイプ人工膝関節の平地歩行および階段上りにおける解析—日本機械学会論文集, 査読有, Vol.74, 2008, pp.121-127.
- [学会発表] (計 59 件)
1. 廣川俊二, アジアにおける人工関節の開発・研究拠点形成に向けた取り組み, 先端医療福祉システム研究プロジェクト・シンポジウム, (2011, 3, 7, グランデはがくれ, 佐賀)
  2. S.Hirokawa et al., Calculation of the Forces Acting on the Knee Joint during Ascent from Kneeling, The 23rd Annual Symposium of the International Society for Technology in Arthroscopy (2010,10,6-9, Dubai, UAE).
  3. 廣川俊二, アジア・アラブ人のための人工股・膝関節の実用化とその適用評価, 「人工関節のバイオメカニクスとバイオマテリアル」研究集会 (2010, 9, 18, 株風雲堂, 福岡)
  4. S.Hirokawa et al., Calculation of the Forces Acting on the Knee Joint during Ascents from Kneeling, The 56th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society (2010,3,6-9, New Orleans, USA).
  5. Nagamine R, Todo M, Hirokawa S, Nishimura Y, Chen W, Kondo K, Sugioka Y: 3D FEM Analysis Based on Fluoroscopic Images in Knees with Posterior Stabilized Total Knee System, The 56th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society (2010,3,6-9, New Orleans, USA).
  6. 廣川俊二, 完全深屈曲可能な人工膝関節の実用化を目指して, 日本機械学会生体システム技術研究会第 21 回講演会(2010, 1, 19, 九州大学, 福岡)
  7. A.Lawi, K.Sekiya, J.Takiguchi and S.Hirokawa, Polymer Insert Stress in Knee Prosthesis Design at High Flexion: A Photoelastic Study, The 55th Conference of Orthopaedic Research Society (2009,2, 22-25, Las Vegas, USA).
  8. Y.Nishimura, Y.Kihara, M.A.Hossain, S.Hirokawa, R.Nagamine: Assessment of Stability and Flexibility about Knee with Prosthesis after TKA from Fluoroscopic Images, The 55th Conference of Orthopaedic

- Research Society (2009,2, 22-25, Las Vegas, USA).
9. M.Fukunaga, J.Kawanoya, S.Hirokawa, A 2D Model Analysis of Artificial Knee Joint during Squatting, The World Tribology Congress 2009 (2009, 9,6-11, Kyoto International Conference Center, Kyoto).
  10. J. Kawanoya, M. Fukunaga, S. Hirokawa, T. Hotokebuchi, A 2D Model Analysis of a New Type of Knee Prosthesis at High/Deep Flexion of Ball-Socket Design, The 22nd Annual Symposium of the International Society for Technology in Arthroscopy (2009, 10, 22-24, Hawaii, USA).
  11. Y.Nishimura, (他 5 名中 4 番目) S.Hirokawa, Assessment of Stability and Flexibility about Knee Prosthesis after TKA from Fluoroscopic Images, The 22nd Annual Symposium of the International Society for Technology in Arthroscopy (2009, 10, 22-24, Hawaii, USA).
  12. M.Manabe, (他 6 名中 4 番目) S.Hirokawa, Assessment of Kinematics of Knee Prosthesis after TKA about Active Flexion/Extension, The 22nd Annual Symposium of the International Society for Technology in Arthroscopy (2009, 10, 22-24, Hawaii, USA).
  13. M.Fukunaga, T.Katsuhara, S.Hirokawa, A 3D-Model Analysis of Artificial Knee Joint during Squatting, The 6th European Symposium on Biomedical Engineering (2008, 6, 19-21, Chania, Greece).
  14. S.Hirokawa T.Katsuhara and M.Fukunaga, Contact-analysis of Complete Flexion Knee using 3D Model of Total Knee Arthroplasty, The 6th European Symposium on Biomedical Engineering (2008, 6, 19-21, Chania, Greece).
  15. Y.Kihara, S.Hirokawa, T.Ueo, Kinematic Estimation of Bi-Surface Knee Prosthesis at Sedentary State, The 21st Annual Symposium of the International Society for Technology in Arthroscopy (2008, 10, 2-4, Seoul, Korea).
  16. T.Katsuhara, M.Fukunaga, S.Hirokawa, Contact Analysis of Complete Flexion Knee using 2D and 3D Mathematical Model, The 21st Annual Symposium of the International Society for Technology in Arthroscopy (2008, 10, 2-4, Seoul, Korea).
  17. S.Hirokawa, et al., Photoelastic Study of Contact Stress on the Tibial Insert of Knee Prosthesis at Deep Flexion, The 21st Annual Symposium of the International Society for Technology in Arthroscopy (2008, 10, 2-4, Seoul, Korea).
  18. Y.Kimura, S.Hirokawa, Model Analysis of Lower Limb at Ascending from Deep Knee Flexion, The 21st Annual Symposium of the International Society for Technology in

Arthroscopy (2008, 10, 2-4, Seoul, Korea).

[その他]

ホームページ等

<http://www.seikei.med.saga-u.ac.jp/deepflexion/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

廣川 俊二 (HIROKAWA SHUNJI)  
佐賀大学・医学部・寄附講座教授  
研究者番号：80150374

### (2) 研究分担者

村上 輝夫 (MURAKAMI TERUO)  
九州大学大学院・工学研究院・教授  
研究者番号：90091347

有吉 省吾 (ARIYOSHI SHOGO)  
九州大学大学院・工学研究院・准教授  
研究者番号：40038493

大月 彩香 (OTSUKI AYAKA)  
九州大学大学院・工学研究院・准教授  
研究者番号：60127991

鶴野 玲二 (TSURUNO REIJI)  
九州大学大学院・芸術工学研究院・准教授  
研究者番号：10197775

東藤 貢 (TODO MITSUGU)  
九州大学・応用力学研究所・准教授  
研究者番号：80274538

佛淵 孝夫 (HOTOKEBUCHI TAKAO)  
佐賀大学・学長  
研究者番号：40190219

堀川 悦夫 (HORIKAWA ETSUO)  
佐賀大学・医学部・教授  
研究者番号：10155004

馬渡 正明 (MAWATARI MASA AKI)  
佐賀大学・医学部・教授  
研究者番号：80202357

木口 量夫 (KIGUCHI KAZUO)  
佐賀大学・工学系研究科・教授  
研究者番号：90269548

萩原 世也 (HAGIHARA SEIYA)  
佐賀大学・工学系研究科・教授  
研究者番号：80198647

山本 耕之 (YAMAMOTO KOUJI)  
久留米工業大学・工学部・准教授  
研究者番号：40158275

### (3) 連携研究者

土屋 利江 (TSUCHIYA TOSHIE)  
国立医薬品食品衛生研究所・療品部・部長  
研究者番号：14100034