

平成18年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究状況報告書

◆ 記入に当たっては、「平成18年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究状況報告書記入要領」を参照してください。

ローマ字	ZAKO MASARU					
① 研究代表者氏名	座古 勝		② 所属研究機関・部局・職	大阪大学・大学院工学研究科・教授		
③ 研究課題名	和文	CT画像併用人工関節設計システム開発および複合材料製ステムの製作				
	英文	Design system for an artificial arthrosis with CT scanning and development of a femoral stem made of fabric composites				
④ 研究経費	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	総合計
18年度以降は内約額 金額単位：千円	21,000	20,200	19,400	10,900	10,900	82,400
⑤ 研究組織（研究代表者及び研究分担者） *平成18年3月31日現在						
氏名	所属研究機関・部局・職	現在の専門	役割分担（研究実施計画に対する分担事項）			
座古 勝	大阪大学・大学院工学研究科・教授	複合材料工学	・研究手法の立案，総括 ・ミクロマクロ連成解析手法構築			
吉川 秀樹	大阪大学・大学院医学系研究科・教授	器官制御外科学	・CT画像処理，動物実験			
菅野 伸彦	大阪大学・大学院医学系研究科・講師	器官制御外科学	・CT画像処理，動物実験			
倉敷 哲生	大阪大学・大学院工学研究科・助教授	信頼性工学	・プログラム構築，解析実施			
⑥ 当初の研究目的（交付申請書に記載した研究目的を簡潔に記入してください。）						
<p>高齢化の進行に伴い骨粗鬆症患者数が国内のみならず世界的に増加しており、医学的・社会的問題となっている。我が国でも年間5万件以上の手術が施されており、近い将来、医療費30兆円のうち治療費も年間1兆3千億円に達すると試算されている。交通事故や骨粗鬆症に起因する股関節破壊による歩行活動障害を回復するための人工股関節（ステム）の高信頼性・高機能化は急務の課題である。しかし、従来の金属製ステムでは、(1)長期使用に伴うステムの摩耗、(2)骨との固着、が問題点として挙げられる。特に、(2)に関して、現行のチタン製ステムでは個人の骨格形状にジャストフィットするような外形加工を施すことが困難であり、患者の骨症状に応じたステム製作が困難である。また、骨との安定性確保のため長期間の療養が必要であり、術後の活動への障害となっている。人工ステム装着後にゆるみが発生すると、骨が著しく破壊され大きな骨欠損を生じるため、定期的な手術・ステム交換を余儀なくされていることが多い。</p> <p>上記の背景を鑑み、本研究では、</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) CT検査からの画像処理を併用したミクロマクロ連成解析技術の開発による骨部の力学的物性評価のための高速演算の実現 (2) 形状設計及び個人の骨格に適応可能なジャストフィット性を有する複合材料製ステムの実現 (3) 長期使用・耐久性評価のための評価試験 <p>の3点を研究目的とし、人工股関節の設計と動物実験を行う。</p>						

⑦これまでの研究経過（研究の進捗状況について、必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入してください。）

交通事故や骨粗鬆症に起因する股関節破壊による歩行活動障害を回復するための人工股関節の高信頼性・高機能化は急務の課題である。特に、従来の人工股関節では個人の骨格形状に適合するような外形加工の実施が困難である現状にある。そこで、患者の骨形状に応じた人工関節設計システムの開発を目指し、これまでの2年間において以下に示す項目を重点的に研究を推進した。

【平成16年度】

(1) CT画像を用いた骨部のFEM解析モデルの作成

骨部断面のCTを用いて連続撮影を行い三次元画像処理を施し、画像データを基に三次元有限要素モデルの半自動作成を行うプログラムの基礎開発を行った。骨の物性値等の計算ならびに人工股関節（ステム）の形状変更に伴う力学的特性の影響等の調査への展開を可能とした。

(2) ミクロ-マクロ連成解析の定式化およびプログラム開発

有限要素モデルを多段階に重ね合わせ、スケール間の連成問題として巨視的な変形状態と微視的な力学的挙動の把握を行う手法の定式化ならびにそのプログラム開発を実施した。静荷重下の力学応答に加えて、温度変化によるステム-骨系の変形等も考慮する必要性から、熱伝導・熱応力問題として従来の有限要素解析との比較・精度検証を行い、本手法の有効性を示した。今後、骨部内の不明瞭な組織境界の影響を考慮した物性値評価手法への定式化へ展開を図る必要がある。

(3) ステム用複合材料の損傷進展解析の実施

ステム用複合材料の損傷異方性を考慮し、損傷進展解析プログラムの構築もを行い、損傷進展機構の解明に着手した。

(4) 剛性・耐久性実証試験のための試験装置の設計

生体環境下での人工関節の使用を鑑み、人工関節の力学的特性評価試験方法として市販の油圧式疲労試験機の試験治具を改良し、生体環境模擬槽を用いた試験機の設計を行った。次年度以降に、試験機の製作ならびに人工関節部・骨部の変形・損傷進展挙動の解明を行う。

(5) CFRPの生体安定性評価

CFRPの骨への生体安定性を調査するため、CFRPをウサギの関節部に挿入し、その後の変化を調査した。その結果、全ての試験体で金属ステム（チタン製）よりもCFRPの方が骨成長が良好であり、手術後1ヶ月の埋め込み後の接合強度は金属ステムよりも高い結果を得た。

【平成17年度】

(1) CT画像を用いた人工股関節ステムの形状設計並びに骨・ステムのFEM解析モデルの作成

前年度に構築した基礎プログラムを基に、患者の大腿部CT画像から大腿骨の3次元形状を取得し、その形状を基に形状適合性に優れたステム形状の設計を行うプログラムの開発を行った。また、大腿骨・ステムの3次元形状から有限要素モデルを作成し、力学的挙動解析の実施を可能とした。

(2) ミクロ-マクロ連成損傷解析プログラム開発

有限要素モデルを多段階に重ね合わせ、スケール間の連成問題として巨視的な変形状態と微視的な力学的挙動の把握を行う手法の定式化ならびにそのプログラム開発を前年度に引き続き実施した。特に、ステムに使用される織物複合材料を対象に、織構造のメソスケールと繊維径のミクロスケールの双方向の損傷を考慮した損傷進展解析プログラム開発を行った。

(3) 光造形モデルを用いた負荷試験の実施および牛骨による骨物性値同定

人工関節模擬試験片の内部損傷等を明確にするべく、CT装置を併用した力学的試験装置の設計を行った。また、CT画像より得た3次元形状を基に光造形樹脂モデルを作成し、骨特性評価の予備試験として圧縮試験を実施した。さらに、牛骨より作成した試験片を用い、力学的特性値の測定を行った。今後は牛骨の物性値とCT画像の濃淡の関連について調査を行う予定である。

(4) CFRPの骨成長に及ぼす影響調査

平成16年度に続き、本研究で生体安定性があると考えられるポリイミド樹脂を用いたCFRPの円柱状の供試体を製作し、動物の関節部の骨に挿入し生体異常反応の発生の有無を調査した。また、挿入後、数ヶ月経過したウサギの関節を切断し、CFRPに接している部分の骨成長を調査した。また、CFRPと骨成長による接合強度をせん断引き抜き試験により調査した。なお、評価の対象として同形状のチタン製の試験片を作成し、同様の試験を実施した。これらの結果より、CFRPの方が金属よりも骨成長が良く、引き抜き強度も高いことが判明した。

⑧特記事項 (これまでの研究において得られた、独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、学問的・学術的なインパクト等特記すべき事項があれば記入してください。)

これまでの研究において得られた結果や新たな知見について、以下に記述する。

(1) CT画像を用いた人工股関節ステムの設計システム構築

個人に適したステム形状を設計するために、必要な患者の大腿骨形状をCT画像により取得し、骨-ステム系の数値解析用モデル構築として、図1に示す基盤技術を開発した。具体的には、各CT断面画像から大腿部軟組織と大腿骨との境界、皮質骨と海綿骨との境界を抽出し、高さ方向につなぎ合わせることで大腿骨の3次元形状を得るプログラムを構築し、取得した大腿骨の3次元形状を基にステム形状の設計を可能とした。特に、ステムとして髓腔と一致する形状を考えれば、初期のステム形状では手術におけるステムの挿入時に大腿骨と干渉して挿入できない。そこで、挿入プロセスを考慮したステムの引き抜きシミュレーションを新たに構築し、干渉部を取り除く処理を行った。最終的に、ステム形状の大腿骨形状に対する適合度を、ステム表面から大腿骨までの距離分布ならびに整形外科分野での評価指標であるFit and Fillの概念に結びつけて評価可能とした。

(2) 基本設計モデルでの形状・材料設計

さらに、図1に示す骨-ステム系の実モデルでは、形状が複雑なこともあり人工関節の形状および材料設計等の基本設計フェーズでの利用には適さない。そこで、図2に示す基本設計モデルを構築し、形状・材質変更による荷重伝達の相違を調査した。その結果、ステムの内部構造を目的に応じて形状・材料設計することにより、従来の金属系システムで問題とされている荷重伝達箇所を変更させることが可能である新たな知見を得た。今後は骨-ステム系の実モデルにおいて適用・展開を図る。

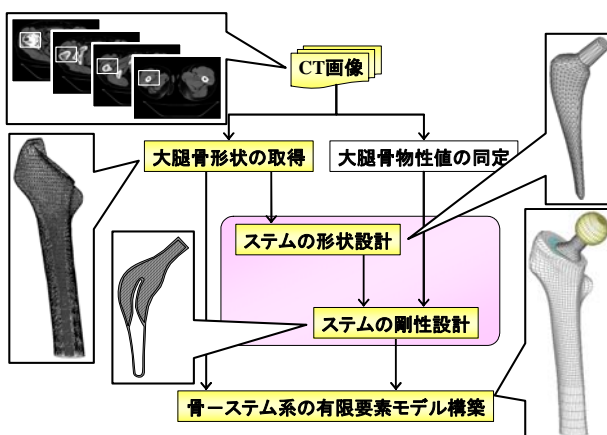


図1 CT画像を用いたFEMモデル構築

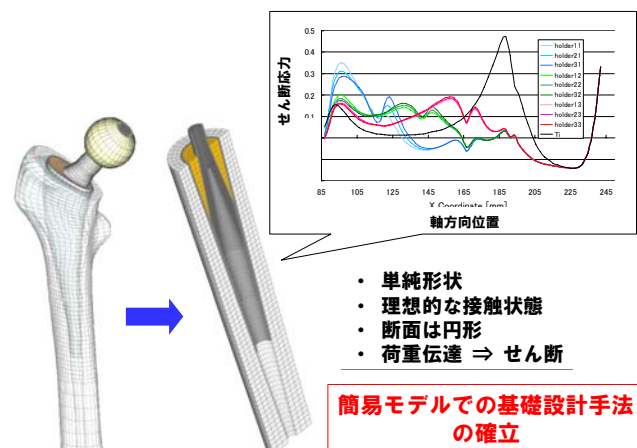


図2 基本設計モデルでの荷重伝達の調査

(3) ミクロ-マクロ連成解析手法の開発

損傷異方性を考慮したマルチスケール損傷進展解析の定式化を行い、プログラム開発を行った。検証として、ステムでの使用を考えている織物複合材料を対象に静的引張解析ならびに実験を実施した。その結果、剛性に関して実験および解析結果は良い一致を示し、さらに、解析においては、図3に示す織構造のメソスケールと繊維（フィラメント）径のミクロスケールの双方向の損傷を考慮した損傷進展状態が評価可能とした。こうした知見は、本マルチスケール解析がステムに使用される織物複合材料の材料設計に有効であることを示唆している。

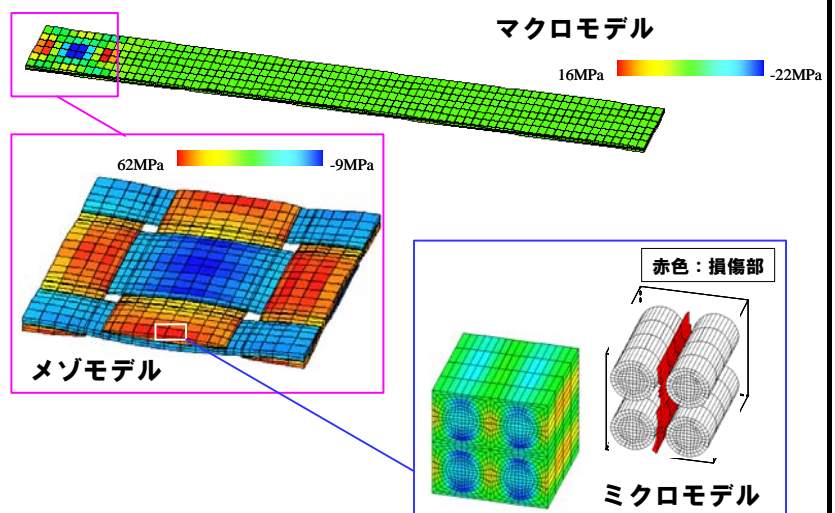


図3 マルチスケール損傷進展解析

⑨研究成果の発表状況 (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会等における発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

研究代表者(座古勝)をゴシック太文字(下線)で示し、研究分担者を明朝体(下線)で示す。

- [1]座古勝, 倉敷哲生, 久保太, 松岡俊樹, マルチスケール解析におけるM3法の提案(第2報 熱伝導問題に対する定式化), 日本機械学会論文集A編, 掲載可通知有り, (2006).
- [2]座古勝, 倉敷哲生, 中井啓晶, 井村真, 織物複合材料の強度評価のためのマルチスケール解析, 日本材料学会, 第35回FRPシンポジウム論文集, pp84-89, (2006).
- [3]座古勝, 倉敷哲生, 中井啓晶, 廣澤覚, 織物複合材料の設計支援システム構築に関する研究, 日本材料学会, 第35回FRPシンポジウム論文集, pp146-150, (2006).
- [4]座古勝, 倉敷哲生, 中井啓晶, 伴野学積層ずれを有する開織織物複合材料の損傷進展挙動に関する研究, 日本材料学会, 第35回FRPシンポジウム論文集, pp310-312, (2006).
- [5]座古勝, 倉敷哲生, 吉川秀樹, 菅野伸彦, 川村 武, CT画像を用いた人工股関節の設計システムに関する研究, 日本機械学会 2005年度年次大会講演論文集, Vol.4, pp.313-314, (2005).
- [6]座古勝, 倉敷哲生, 井村 真, M-cube法による織物複合材料の損傷進展解析手法に関する研究, 日本機械学会 2005年度年次大会講演論文集, Vol.1, pp.387-388, (2005).
- [7]座古勝, 倉敷哲生, 廣澤覚, S.V. Lomov, I.Verpoest, 三次元織構造の有限要素モデリングと織物複合材料の力学的特性評価システムの構築, 日本機械学会, 2005年度年次大会 講演論文集, Vol.1.1, pp.391-392, (2005).
- [8]M.Zako, T.Kurashiki, and F.Kubo, A multi-scale analysis for structural design of fibrous composites – M3 method –, Proceedings of 15th International Conference on Composite Materials, (2005).
- [9]M.Zako, T.Kurashiki, S.Hirosawa, M.Imura, S.V.Lomov, and I. Verpoest, A numerical simulation of woven fabric composites by FEM based on damage mechanics, Proceedings of 15th International Conference on Composite Materials, (2005).
- [10]S.V.Lomov, I.Verpoest, E.Bernal, F.Boust, V.Carvelli, J.F.Delerue, P.D.Luca, L.Dufort, S.Hirosawa, G.Huysmans, S.Kondratiev, B.Laine, T.Mikolanda, H.Nakai, C.Poggi, D.Roose, F.Tumer, B.Brocke, B.Verleye, M.Zako, Virtual textile composites software WiseTex integration with micro-mechanical, permeability and structural analysis, Proceedings of 15th International Conference on Composite Materials, (2005).
- [11]座古勝, 倉敷哲生, 吉川秀樹, 菅野伸彦, 川村 武, 繊維強化プラスチックの人工股関節システムへの適用, 日本繊維機械学会 第58回年次大会研究発表論文集, pp.144-145, (2005).
- [12]座古勝, 倉敷哲生, 井村 真, 損傷力学に基づく繊維強化プラスチックの力学的挙動シミュレーション, 日本繊維機械学会 第58回年次大会研究発表論文集, pp.128-129, (2005).
- [13]座古勝, 倉敷哲生, 廣澤覚, S.V. Lomov, I.Verpoest, 織物複合材料を用いた構造物の設計システム, 日本繊維機械学会 第58回年次大会研究発表論文集, pp.126-127, (2005).
- [14]S.V.Lomov, X. Ding, S.Hirosawa, S.V.Kondratiev, J.Molimard, H.Nakai, A.Vautrin, I.Verpoest, M.Zako, FE simulations of textile composites on unit cell level: validation with full-field strain measurements, Proc. SAMPE EUROPE 26th International Conference, (2005).
- [15]座古勝, 倉敷哲生, 吉川秀樹, 菅野伸彦, 川村 武, 繊維強化複合材料の人工股関節への適用, 日本結晶成長学会誌, Vol.31, No.2, pp.83-88, (2004).
- [16]座古勝, 繊維強化プラスチックの現状と動向, 繊維機械学会誌, Vol.57, No.8, pp.295-300, (2004).
- [17]辻上哲也, 堀川武, 廣澤覚, 座古勝, インクルージョン要素法による織物複合材料のための力学的挙動解析手法の提案, 日本機械学会論文集A編, Vol.71, No.702, pp.197-211, (2005).

⑨研究成果の発表状況(続き) (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会等における発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

- [18]座古勝, 倉敷哲生, 廣澤覚, S.V. Lomov, I.Verpoest, 種々織物複合材料の力学特性評価システムの開発, 日本材料学会, 第34回 FRPシンポジウム 講演論文集, pp.105-107, (2005).
- [19]座古勝, 倉敷哲生, 井村真, 残留応力の解放を考慮した複合材料の損傷進展解析手法に関する研究, 理論応用力学講演会, pp165-167, (2005).
- [20]座古勝, 倉敷哲生, 久保 太, 重合メッシュ法によるマルチスケール熱伝導解析, 日本機械学会 2004年度年次大会講演論文, Vol.1, pp.329-330, (2004).
- [21]倉敷哲生, 座古勝, 井村 真, 廣澤 覚, 開織織物複合材料の力学的特性に関する研究, 日本機械学会 2004年度年次大会講演論文集, Vol.1, pp.345-346, (2004).
- [22]座古勝, 倉敷哲生, 林禎彦, 井村真, 開織織物複合材料の損傷進展解析に関する研究, 日本機械学会 M&M2004 材料力学カンファレンス講演論文集, pp335-336, (2004).
- [23]座古勝, 倉敷哲生, 廣澤覚, 辻上哲也, 織物複合材料の力学特性評価システム構築に関する研究, 日本機械学会 M&M2004 材料力学カンファレンス講演論文集, pp.333-334, (2004).
- [24]座古勝, 倉敷哲生, 辻上哲也, 廣澤覚, 種々織物複合材料の有限要素モデル化ならびに力学的特性評価に関する研究, 日本繊維機械学会 第57回年次大会研究発表論文集, pp.174-175, (2004).
- [25]座古勝, 倉敷哲生, 井村真, CFRP積層板のトランスバースき裂密度に及ぼす積層構成の影響 日本繊維機械学会 第57回年次大会研究発表論文集, pp116-117, (2004).
- [26]T.Kurashiki, S.Hirosawa, M.Zako, S.V.Lomov, I.Verpoest, On a Numerical Simulation of the Mechanical Behavior for Laminated Woven Fabric Composites under Tensile Loading, Proceedings of Joint Conference of The 11th US-Japan and 7th International Conference on Textile Composite, p p.13(1)-13(4), (2004).
- [27]T.Kurashiki, M.Zako, S.V.Lomov, I.Verpoest, Y.Hayashi, Study on Damage Development of Woven Fabric Composites with Spread Tow, Proceedings of The Fourth Asian-Australasian Conference of Composite Materials, pp.1070-1075, (2004).
- [28]T.Kurashiki, M.Zako, S.Hirosawa, S.V.Lomov, I.Verpoest, Estimation of a mechanical characterization for woven fabric composites by fem based on damage mechanics, Proc.11th European Conference on Composite Materialsmechanics, (2004).
- [29]Hirao, M., Sugamoto, K., Tamai, N., Oka, K., Yoshikawa, H., Mori, Y., Sasaki, T., Macro-structural effect of metal surfaces treated using computer-assisted yttrium-aluminum-garnet laser scanning on bone-implant fixation, J Biomed Mater Res, Vol.73A, pp.213-222, (2005).
- [30]Murase, T., Moritomo, H., Goto, A., Sugamoto, K., Yoshikawa, H., Does three-dimensional computer simulation improve results of scaphoid nonunion surgery?, Clinical Orthopaedics and Related Research, Vol.434, pp.143-150, (2005).
- [31]Oka, K., Murase, T., Moritomo, H., Goto, A., Sugamoto, K., Yoshikawa, H., Patterns of bone defect in scaphoid nonunion: A 3-dimensional and quantitative analysis., J Hand Surg [Am], Vol.30, pp.359-365, (2005).
- [32]Oka, K., Moritomo, H., Murase, T., Goto, A., Sugamoto, K., Yoshikawa, H., Patterns of carpal deformity in scaphoid nonunion: A 3-dimensional and quantitative analysis., J Hand Surg [Am], Vol.30, pp.1136-1144, (2005).

⑨研究成果の発表状況（続き）（この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文（掲載が確定しているものを含む。）の全著者名、論文名、学協会誌名、巻（号）、最初と最後のページ、発表年（西暦）、及び国際会議、学会等における発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。）

[33]Watanabe, T., Tomita, T., Fujii, M., Hashimoto, J., Sugamoto, K., Yoshikawa, H., Comparison between mobile-bearing and fixed-bearing knees in bilateral total knee replacements, International Orthopaedics, Vol.29, pp.179-181, (2005).

[34]Yamazaki, T., Watanabe, T., Nakajima, Y., Sugamoto, K., Tomita, T., Maeda, D., Sahara, W., Yoshikawa, H., Tamura, S., Visualization of femorotibial contact in total knee arthroplasty using X-ray fluoroscopy, Europ J Radiol, Vol.53, pp.84-89, (2005).

[35]Otake Y, Suzuki N, Hattori A, Hayashibe M, Miki H, Yamamura M, Sugano N, Yonenobu K, Ochi T, Soft-tissue balance evaluation system for total hip arthroplasty by intraoperative contact pressure measurement at the hip joint, Stud Health Technol Inform, Vol.119, pp.416-421, (2005).

[36]Otake Y, Suzuki N, Hattori A, Miki H, Yamamura M, Nakamura N, Sugano N, Yonenobu K, Ochi T, Estimation of dislocation after total hip arthroplasty by 4-dimensional, Stud Health Technol Inform, Vol.111, pp.372-377, (2005).

[37]Otake Y, Suzuki N, Hattori A, Hagio K, Sugano N, Yonenobu K, Ochi T, Four-dimensional model of the lower extremity after total hip arthroplasty, J Biomech., Vol.38, No.12, pp.2397-2405, (2005).

[38]高尾正樹,菅野伸彦,西井孝,三木秀宣,小山毅,吉川秀樹,中村宣雄, 3D-CTを用いたセメントレスカップのプレスフィット固定に必要な骨被服度の解析, 日本人工関節学会誌, Vol.35, pp.265-266, (2005).

[39]花之内健仁,菅野伸彦,西井孝,三木秀宣,吉川秀樹,中村宣雄,山村在慶,柿本明博, 両股関節正面X線写真は人工関節ステム術前テンプレティングに用いることができるか? -合成X線像を用いた回旋評価-, 日本人工関節学会誌, Vol.35, pp.327-328, (2005).

[40]高尾正樹, 菅野伸彦, 西井孝, 三木秀宣, 小山毅, 吉川秀樹, 大腿骨頭壊死症に対するバイポーラ型人工骨頭置換術の長期成績, 別冊整形外科, Vol.48, pp.78-181, (2005).