

平成 22 年 5 月 18 日現在

研究種目：基盤研究 (B)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19360050  
 研究課題名 (和文) 寿命制御による骨再生スcaffold用生分解性樹脂複合材料の高機能化  
 研究課題名 (英文) Life time control of biodegradable composites for scaffolds  
 in bone tissue engineering  
 研究代表者  
 北條 正樹 (HOJO MASAKI)  
 京都大学・工学研究科・教授  
 研究者番号：70252492

研究成果の概要 (和文) : 本研究では、まず、骨再生用の3次元多孔構造スcaffoldの作製を目指して、このスcaffoldに最適なハイドロキシアパタイト/生分解性樹脂(PLLA)複合材料を開発した。HAp は粒子状のものと繊維状のものを比較し、かつ、粒子状のものに関しては HAp の界面制御の影響を検討した。これらのメゾ構造の制御は、HAp/PLLA 複合材料の変形・破壊特性に影響を及ぼすのみならず、特に界面制御は加水分解挙動にも大きな影響を及ぼすことが明らかになった。

研究成果の概要 (英文) : Hydroxyapatite (HAp)/poly-L-lactic acid (PLLA) composite material was developed for the development of biodegradable three-dimensional porous scaffolds for bone tissue engineering. Both particle and fiber type HAp was compared Interface control was also tried for HAp particle. These mesoscopic factors had great influence on the deformation and fracture behavior of HAp/PLLA composites. Moreover, hydrolysis of this composite material was strongly affected by the surface treatment of HAp particles.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
2008年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2009年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
年度			
年度			
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

研究分野：工学，機械工学

科研費の分科・細目：機械材料・材料力学

キーワード：材料設計・プロセス・物性・評価，複合材料，生分解性樹脂，組織再生工学，ハイドロキシアパタイト，ポリ乳酸，スcaffold，骨リモデリング

## 1. 研究開始当初の背景

生体組織再生工学は、生体の自己修復能力

を用いて、機能障害や機能不全に陥った構造、機能をマクロ・ミクロの両観点から完全に再

生を図るもので、機械工学、材料工学と細胞・遺伝子工学を融合することにより近年急速に進歩するとともに、今後のさらなる展開が期待される分野である。自己再生の概念は人工材料に応用できれば理想的なスマート材料・構造につながり、機械工学の立場からも夢の技術である。

力学的な機能になう骨に大きな欠損が生じた場合、従来の治療法は、自らの腸骨を入院によって摘出し移植する自家骨移植や高齢化社会に対応できない寿命十数年の人工臓器の適用で、大きな問題となっている。骨の組織再生工学では、1) 自己の間葉系幹細胞、2) 細胞の分化・増殖用の足場(スカフォールド)、3) 分化誘導因子を組み合わせることで欠損部に移植することにより、骨の再生を図り、最終的には構造と機能の両面からの完全な治癒と、これに合わせた速やかなスカフォールドの分解吸収を目指す。ここで工学の立場から要となるのが、細胞増殖の足場であるスカフォールドである。

正しい組織再生を可能とするため、スカフォールドの形態は3次元の空孔構造が基本となり、自由に3次元空孔構造を造形できる製造法が必須である。これまでのスカフォールド開発においては、医歯学及び材料・化学分野の検討は進んでいる。一方、骨の最も重要な機能は荷重の支持や臓器の保護などの力学的機能であるが、この観点からの研究は手についたばかりである。現在開発されているスカフォールドとして使用可能な3次元多孔構造材料は、生分解性高分子をスポンジ状にしたもの、ハイドロキシアパタイト HAp やリン酸三カルシウム TCP の粉末を焼成したもの等があり、形態的にはスカフォールドの必要とする条件を満たすものもあるが、いずれも力学的な強度・剛性条件を満たしていない。特に、初期の力学特性だけでなく、再生過程での骨の成長に合わせた分解吸収による特性の変化が重要となる。生分解性樹脂であるポリ乳酸 PLLA は、樹脂として3次元構造の自由な造形の可能性を有し力学特性も優れて有力候補であるが、分解に伴う分子量の低下により数ヶ月で力学特性が失われるのに対し、低分子量体が残存し、これが生体内で完全に分解吸収されるまでの期間が約2年と長いことが問題となっている。結局、これらの多数の条件を満たすことは単一材料では実現不可能で、材料の複合化によって高度な機能を付加することが必要と考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、骨再生用スカフォールドの開発を対象として、生分解性樹脂(PLLA)にハイドロキシアパタイト(HAp)を複合化しかつ3次元直接造形の可能な高性能・高機能複合材料を開発することを目的とする。特に、HAp

の寸法・形状やその表面処理を設計することにより、生分解特性を最適化(材料の寿命を制御)すること、を検討し、設計可能な微細多孔構造の直接造形につなげることを対象とする。

まず、粒子状 HAp (HAp-p) と短繊維状 HAp (HAp-f) を用いた HAp/PLLA 複合材料を作製し、強化材形状が HAp/PLLA 複合材料の変形・破壊特性に及ぼす影響について調べた。次に、HAp-p/PLLA 複合材料において、天然物由来の高分子を用いた表面修飾による界面制御を施し、界面制御が HAp-p/PLLA 複合材料の変形・破壊特性に及ぼす影響について調べた。また、界面制御 HAp-p/PLLA 複合材料を擬似生体内環境下に浸漬し、その変形・破壊特性の変化を調べ、加水分解による破壊メカニズムの変化について検討した。

## 3. 研究の方法

### (1) 材料および表面修飾方法

強化材として HAp-p (粒径: 0.1~10 μm) および HAp-f (直径: 0.1 μm 程度, アスペクト比 10~20) を用い、母材として PLLA (分子量約 20 万) を用いた。HAp のジクロロメタン懸濁液に PLLA を溶解・かく拌後、エタノール中に再沈殿させた。HAp の重量含有率は、0 wt% (PLLA 単体) および 20 wt% (体積含有率は 9.1 vol%) とした。得られた再沈殿物をろ過・乾燥後メルトプレスすることで、HAp/PLLA 複合材料フィルム(公称厚さ約 0.5 mm) を作製した。

HAp-p 表面修飾に用いた高分子は、ペクチン(シトラス由来) およびキトサン(蟹の殻由来) である。いずれかの高分子溶液内に HAp-p を混合・かく拌し、表面処理後、前節の方法で界面制御 HAp-p/PLLA を作製した。

### (2) 強度試験および加水分解

作製した HAp/PLLA 複合材料の変形・破壊特性の評価は、JIS K 7171 に準拠した三点曲げ試験によって実施した。試験片寸法は長さ 25 mm, 幅 2 mm とし、万能ねじ式引張試験機(島津製作所, Autograph, AG-50kNG, ロードセル容量 50N) を用い、支点間距離を 20 mm, 変位速度 1.3 mm/min で実施した。

擬似生体内環境下での HAp-p/PLLA 複合材料の変形・破壊特性の変化を調べるために、生体内環境を模擬したリン酸緩衝溶液

(Phosphate buffered saline: PBS) に 0~24 週間浸漬した後、前節と同じ三点曲げ試験をおこなった。用いた PBS は、浸漬期間中、37 °C・pH 7.4 に制御した。PBS への浸漬は、試験片内部での加水分解挙動ができる限り均一になるように、三点曲げ試験片の切出し後におこなった。

曲げ試験後、破面の破壊起点近傍を FE-SEM (日立製作所製, S-4500) により観察した。

これにより、界面制御および加水分解による HAp-p/PLLA 複合材料破壊メカニズムの変化について検討した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 未浸漬材の三点曲げ試験結果

粒子状の HAp-p および繊維状の HAp-f を用いた場合の結果につき、曲げ弾性率は、未修飾 HAp-f、未修飾 HAp-p、ペクチン修飾 HAp-p およびキトサン修飾 HAp-p を 20 wt%混練することで、PLLA 単体に比べてそれぞれ約 18%、10%、33%および 30%上昇した。また、曲げ強度は、未修飾 HAp-f、未修飾 HAp-p、ペクチン修飾 HAp-p およびキトサン修飾 HAp-p を 20 wt%混練した場合、PLLA 単体に比べてそれぞれ約 79%、55%、98%および 102%となった。すなわち、弾性率、強度とも粒子形状は繊維状が、また表面処理を施すことにより特性が向上することが明らかになった。弾性率に関しては HAp により向上したが、強度に関しては、低下または維持にとどまった。

##### (2) 浸漬後の三点曲げ試験結果

浸漬後の PLLA 単体および各 HAp-p/PLLA 複合材料の曲げ弾性率および曲げ強度を、図 1 および 2 にそれぞれ示す。曲げ弾性率は、全ての材料において、浸漬後 4 週間までに大きく低下し、その後ほぼ一定となった。PLLA 単体の 4 週間浸漬後の曲げ弾性率が浸漬前の 77%であったのに対し、未修飾、ペクチン修飾およびキトサン修飾 HAp-p/PLLA 複合材料においては、4 週間浸漬後の曲げ弾性率は、浸漬前に比べてそれぞれ 50%、69%および 72%であった。一方、曲げ強度は、全ての材料において、浸漬とともに徐々に低下した。PLLA 単体の 12 週間浸漬後の曲げ強度が浸漬前の 65%であったのに対し、未修飾、ペクチン修飾およびキトサン修飾 HAp-p/PLLA 複合材料においては、12 週間浸漬後の曲げ強度は浸漬前のそれぞれ 42%、75%および 64%であった。以上より、界面制御によって、加水分解による曲げ弾性率および曲げ強度の低下速度は抑制され、曲げ強度は PLLA 単体と同程度に回復することがわかる。

##### (3) HAp-p/PLLA 複合材料の破面観察

図 3 に、未修飾 HAp-p/PLLA の曲げ試験後の破壊起点近傍に存在する HAp-p 周囲の代表的な破面写真を示す。浸漬前においても未修飾 HAp-p の表面がほぼ露出しており、界面はく離が生じている。また、未修飾 HAp-p と周囲の PLLA の間に存在する空間が、浸漬時間の増加とともに増大していることがわかる。一方、ペクチン修飾およびキトサン修飾 HAp-p/PLLA の曲げ試験後の破壊起点近傍に存在する HAp-p 周囲の代表的な破面写真を図 4 および 5 に示す。未修飾 HAp-p/PLLA 複合材料の場合と比べて、HAp-p と PLLA の間の界面はく離が顕著に減少していることがわかる。

また、未修飾 HAp-p/PLLA 複合材料とは異なり、浸漬時間が増加しても、界面制御 HAp-p

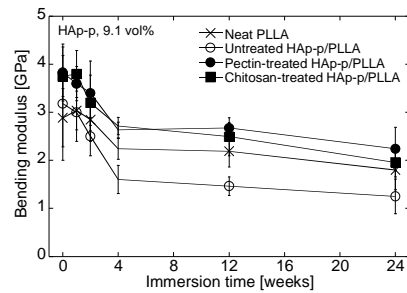
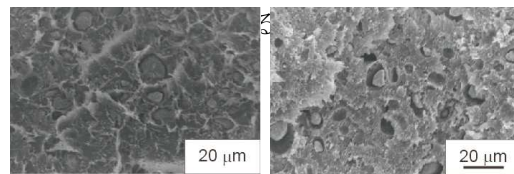
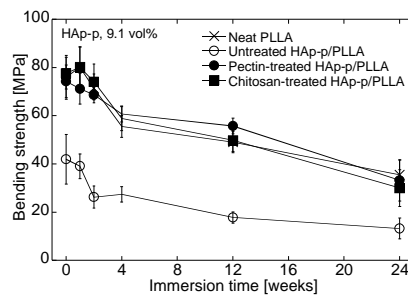
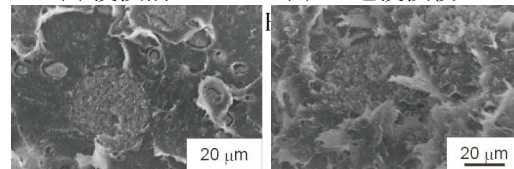


図 1. PBS 浸漬による曲げ弾性率の変化



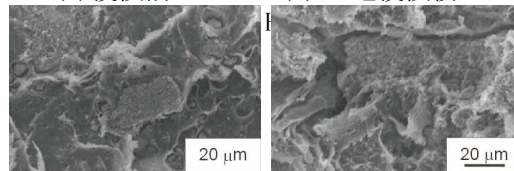
(a) 浸漬前

(b) 12 週浸漬後



(a) 浸漬前

(b) 12 週浸漬後



(a) 浸漬前

(b) 12 週浸漬後

図 5. キトサン処理 HAp-p/PLLA の破面

と PLLA の間に空隙はほとんど生じなかった。

##### (4) HAp-p/PLLA 複合材料の破壊メカニズム

まず、未修飾 HAp-p/PLLA 複合材料について、浸漬前においても顕著な界面はく離が生

じていたことから、未修飾 HAp-p と PLLA の界面接着性はきわめて低いことがわかる。また、未修飾 HAp-p と周囲の PLLA の間に存在する空間が、浸漬時間の増加とともに増大したことから、接着状態の悪い界面に拡散・集積した水分子により、界面近傍の PLLA が優先的に加水分解・劣化し、変形の進行にともなうディンプル状に変形・成長したことが示唆される。これにより、未修飾 HAp-p/PLLA 複合材料の曲げ弾性率および曲げ強度の浸漬にともなう低下速度が PLLA 単体と比べて高くなったと考えられる。

一方、界面制御 HAp-p/PLLA 複合材料については、未修飾の場合と比べて、HAp-p と PLLA の間の界面はく離が顕著に減少したことから、界面制御により界面接着状態が向上したことがわかる。そのため、界面制御 HAp-p/PLLA 複合材料の曲げ強度が未修飾 HAp-p/PLLA 複合材料の曲げ強度よりも高くなったと考えられる。また、浸漬時間が増加しても界面制御 HAp-p と PLLA の間に空隙はほぼ生じなかった。このことから、界面制御 HAp-p/PLLA 複合材料では、良好な界面接着状態のため界面への水分子の集積が生じにくく、界面近傍での優先的な PLLA の加水分解が生じなかったと考えられる。そのため、界面制御 HAp-p/PLLA 複合材料の加水分解による曲げ強度低下速度が、未修飾 HAp-p/PLLA 複合材料より高く、PLLA 単体と同程度となったと考えられる。

以上より、擬似生体内環境化での加水分解による変形・破壊特性変化のメカニズムとして、未修飾 HAp-p/PLLA 複合材料においては、界面への水分子の拡散・集積による界面近傍 PLLA の局所的・優先的な劣化が支配的であることがわかった。一方、界面制御 HAp-p/PLLA 複合材料においては、界面近傍での局所的・優先的な PLLA の劣化が生じにくく、材料内部全体での比較的均一な PLLA 劣化挙動が支配的となることが示唆された。以上のように、HAp-p の表面処理による界面制御は、変形・破壊特性を向上させるだけでなく、加水分解挙動に大きく影響を及ぼすことが明らかとなった。

#### (5) 加水分解にともなう HAp-p/PLLA 複合材料の曲げ弾性率変化挙動のモデル化

骨再生医療用材料として HAp/PLLA 複合材料を最適設計するためには、骨構造の再生の挙動を把握するだけでなく、HAp/PLLA 複合材料の変形・破壊特性の生体内における変化を正しく予測できなければならない。特に、周囲の健全骨と代替物—新生骨の複合体である患部の弾性率の相違は、ストレスシールド現象や周囲骨の損傷を引き起こす可能性があり、設計上もっとも重要なパラメータのひとつである。そこで、本研究で得られた弾性率の変化について、以下の Paul の粒

子分散複合則をもとに簡単なモデル化を試みた。

まず、PLLA 単体の弾性率低下挙動を、本実験結果にもとづき、 $E_m(t)$  と関数近似した。次に、浸漬前から界面が接着せず強化材として有効に働かない HAp-p が欠陥として作用するとし、その割合  $\alpha_i (= V_{\text{defect}}/V_p)$  を定義する。この場合、強化材として有効に作用する HAp-p の体積含有率  $V_{\text{efficient}}$  は、 $(1-\alpha_i)V_p$  とあらわすことができる。ここでは、ほぼ界面が接着していないと考えられる未処理 HAp-p/PLLA 複合材料に対しては  $\alpha_{\text{untreated}} = 0.95$  とした。また、HAp-p 表面の半分程度が修飾されていると考えられる界面制御 HAp-p/PLLA 複合材料においては、修飾効率が完全でないことを予想して  $\alpha_{\text{treated}} = 0.60$  とした。また、はく離している界面には水分子が拡散・集積し、HAp-p 周囲の PLLA の加水分解が局所的に加速されると考えられるため、はく離して欠陥化した HAp-p 周囲の空洞の体積拡大率  $\beta(t)$  を、破面写真から画像処理によって求めた。最終的に、欠陥体積率  $V_{\text{defect}}(t) = \alpha_i \beta(t) V_p$  から、PLLA の弾性率  $E_{m,\text{defect}}(t)$  を求めた。さらに、HAp-p/PLLA 複合材料を体積含有率  $V_{\text{defect}}(t)$  の欠陥（弾性率  $E_{\text{defect}} = 0$  とする）を有する PLLA と体積含有率  $V_{\text{efficient}}$  の強化材として有効な HAp-p からなる複合材料であるとみなし、HAp-p/PLLA 複合材料の弾性率  $E_c(t)$  を次式のように求めた。

$$E_c(t) = \frac{[E_{m,\text{defect}}(t) + (E_p - E_{m,\text{defect}}(t))V_{\text{efficient}}^{2/3}]E_{m,\text{defect}}(t)}{E_{m,\text{defect}}(t) + [E_p - E_{m,\text{defect}}(t)]V_{\text{efficient}}^{2/3}[1 - V_{\text{efficient}}]^{1/3}} \quad (1)$$

式(1)より得られる弾性率変化を図 6 に示した。界面微視構造変化が及ぼす影響を考慮した弾性率変化の予測式は、定性的に実験結果との整合性を示した。すなわち、生体内環境下に長期浸漬した際に生じる複合材料の弾性率の低下は、PLLA の加水分解にともなう母材の劣化と界面微視構造変化の二つの影響が支配的であることが確認された。

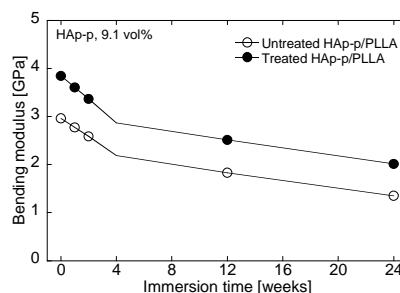


図 6. 加水分解による弾性率低下とモデルの比較

#### (6) 成果のまとめ

本研究では、HAp/PLLA 複合材料の変形・破壊特性に及ぼすメソ構造および加水分解の

影響について検討し、弾性率の変化について、数理モデル化を検討した。その結果、メゾ構造制御は変形・破壊特性を向上させるだけでなく、特に界面制御は加水分解挙動に大きく影響を及ぼすことが明らかとなった。また、界面微視構造変化が及ぼす影響を考慮した弾性率変化のモデル式は、定性的に実験結果との整合性を示した。

本研究では、上述した HAp/PLLA 複合材料の加水分解挙動の他に、以下のことを検討した。これらの詳細は紙面の関係で省略するが、発表論文を参照されたい。

① 3次元編構造・織構造および3次元直接造形法の検討を行った。ここでは主に母材樹脂である PLLA の成形を検討するとともに、HAp/PLLA 複合材料への適用の可能性を検討した。

② 骨のリモデリングの高度化の検討を行った。ここでは、骨の微視構造、すなわち、骨小腔-骨細管の形態観察に基づき、多孔質弾性論を用いて異方性の透水係数を求めた。この結果をリモデリングシミュレーションに反映させた。これにより、すでに開発しているスカフォールドの吸収と骨のリモデリングの同時シミュレーションの高度化が可能となった。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (総計 50 件)

1 Hojo, M., Nakashima, K., Kusaka, T., Tanaka, M., Adachi, T., Fukuoka T., Ishibashi, M., Mode I fatigue delamination of Zanchor-reinforced CF/epoxy laminates. International Journal of Fatigue, Vol.32, pp.37-45 (2010) 査読有

2 Hojo, M., Mizuno, M., Hobbiebrunken, T., Adachi, T., Tanaka, M., Ha, S.K., Effect of fiber array irregularities on microscopic interfacial normal stress states of transversely loaded UD-CFRP from viewpoint of failure initiation, Composites Science and Technology, Vol.69, No.11-12, pp.1726-1734 (2009) 査読有

3 Hinz, S., Omoori, T., Hojo, M., Schulte, K., Damage characterization of fibre metal laminates under interlaminar shear load, Composites: Part A, Vol. 40, Issues 6-7, pp.925-931 (2009) 査読有

4 Kameo, Y., Adachi, T., Hojo, M., Fluid pressure response in poroelastic materials subjected to cyclic loading, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Vol. 57, pp. 1815-1827 (2009) 査読有

5 Adachi, T., Okeyo, K.O., Shitagawa, Y., Hojo, M., Strain field in actin filament network in lamellipodia of migrating cells: Implication for

network reorganization, Journal of Biomechanics, Vol.42, pp. 297-302 (2009) 査読有

6 Tsubota, K., Suzuki, Y., Yamada, T., Hojo, M., Makinouchi, A., Adachi, T. Computer simulation of trabecular remodeling in human proximal femur using large-scale voxel FE models: Approach to understanding Wolff's law, Journal of Biomechanics, Vol. 42, Issue 8, pp.1088-1094 (2009) 査読有

7 Shimada, Y., Adachi, T., Inoue, Y., Hojo, M., Coarse-grained Modeling and Simulation of Actin Filament Behavior Based on Brownian Dynamics Method, Molecular and Cellular Biomechanics, Vol. 6, No. 3, pp. 161-174 (2009) 査読有

8 Okuda, S., Inoue, Y., Masubuchi, Y., Uneyama, T., Hojo, M., Wall boundary model for primitive chain network simulations, The Journal of Chemical Physics, Vol. 130, pp. 214907-1-7 (2009) 査読有

9 Hojo, M., Matsushita, Y., Tanaka, M. and Adachi, T., In-situ observation of interfacial crack propagation in GF/epoxy model composite using bifiber specimens in mode I and mode II loading, Composites Science and Technology, Vol.68, pp.2678-2689 (2008) 査読有

10 Hobbiebrunken, T., Hojo, M., Jin, K.K. and Ha, S.K., Influence of non-uniform fiber arrangement on microscopic stress and failure initiation in thermally and transversely loaded CF/epoxy laminated composites, Composites Science and Technology, Vol.68 No. pp.3107-3113 (2008) 査読有

11 Tanaka, M., Kawaguchi, T., Hojo, M., Ochiai, S. and Nakanishi, Y. In-situ observation of interfacial debonding process induced by matrix crack propagation in two-dimensional unidirectional model composites, Composite Interfaces, Vol. 15, No. 1, pp.75-94 (2008) 査読有

12 日下貴之, 渡辺圭子, 北條正樹, 福岡俊康, 石橋正康, Zanchor 強化 CFRP 積層材のモード I 層間き裂進展挙動の実験的評価, 日本複合材料学会誌, 第 34 巻, 第 3 号, pp.102-108 (2008) 査読有

13 渡辺圭子, 日下貴之, 北條正樹, 福岡俊康, 石橋正康, Zanchor 強化 CFRP 積層材のモード II 層間き裂進展挙動の実験的評価, 日本複合材料学会誌, 第 34 巻, 第 6 号, pp.226-232 (2008) 査読有

14 Kameo, Y., Adachi, T., Hojo, M., Transient response of fluid pressure in a poroelastic material under uniaxial cyclic loading, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Vol.56, No.5, pp.1794-1805 (2008) 査読有

15 Adachi, T., Sato, K., Higashi, N., Tomita, Y., Hojo, M., Simultaneous Observation of Calcium

Signaling Response and Membrane Deformation due to Localized Mechanical Stimulus in Single Osteoblast-like Cells, Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, Vol. 1, No. 1, pp.43-50 (2008) 査読有

16 日和千秋, 横田久美子, 中井善一, 田中信生, 井上俊之, 安達泰治, 北條正樹, 馬場俊介, 3次元編み構造からなる生分解性複合材料スカフォールドの力学的特性と生分解性特性の評価, 材料, 第57巻, 第9号, pp.868-874 (2008) 査読有

17 田中信生, 日和千秋, 井元俊之, 安達泰治, 北條正樹, 馬場俊輔, 編物複合材料の再生医療用スカフォールドへの適用 (I) -生分解性樹脂による編物複合材料の開発-, 材料システム, 第26巻, pp.79-88 (2008) 査読有

18 日和千秋, 沖添晃政, 中井善一, 田中信生, 安達泰治, 北條正樹, 馬場俊輔, 編物複合材料の再生医療用スカフォールドへの適用 (II) -マウス骨芽細胞様細胞による骨組織形成過程-, 材料システム, 第26巻, pp.89-95 (2008) 査読有

19 Hobbiebrunken, T., Fiedler, B., Hojo, M. and Tanaka, M., Experimental determination of the true epoxy resin strength using micro-scaled specimens, Composites Part A, Vol.38, pp.814-818 (2007) 査読有

20 Hirose, Y., Hojo, M., Fujiyoshi, A. and Matsubara, G., Suppression of interfacial crack for foam core sandwich panel with crack arrester, Advanced Composite Materials, vol. 16, No. 1., pp.11-30 (2007) 査読有

21 Sato, K., Adachi, T., Ueda, D., Hojo, M., and Tomita, Y., Measurement of local strain on cell membrane at initiation point of calcium signaling response to applied mechanical stimulus in osteoblastic cell, Journal of Biomechanics, Vol.40. Issue 6, pp.1246-55 (2007) 査読有

22 安達泰治, 鈴木優介, 坪田健一, 北條正樹, ヒト大腿骨近位部海綿骨の骨梁リモデリングシミュレーション, 日本骨形態計測学会雑誌, 第17巻, pp.15-20 (2007) 査読有

[学会発表] (総計 58 件, 国際会議のみ)

1 Mechanical Properties of Bone-Porous Scaffold Structure in Bone Regeneration Predicted by 3D Computational Simulation, Hojo, M., Adachi, T., Osako, Y., Tanaka, M., 2009.11.26, The 11th Japan International SAMPE Symposium and Exhibition, Tokyo

2 Mechanical properties of bone-porous scaffold structure in bone regeneration predicted by 3D computational simulation, Hojo, M., Adachi, T., 2009.10.5-6, Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology of Education Ministry (Zhejiang Sci-Tech University) and JCOM Joint Workshop on Composite Materials, Zhejiang, China

3 Tanaka, M., Tanaka, H., Hojo, M., Adachi, T., Sugihara, M., Kotera, M., Nishino, T., Change in Deformation/Fracture Behavior of Interface-Controlled HAp/PLLA Composites by hydrolysis 2009.7.27-31, Proceedings of 17th International Conference on Composite Materials, Edinburg.

4 Damage Initiation under Transverse Loading of UD-CFRP with Random Fiber Arrangement Hojo, M., Mizuno, M., Hobbiebrunken, T., Adachi, T., and Jin, K. K., 2009.6.8-12, The Fourth China-Europe Symposium on Processing and Properties of Reinforced Polymers p.17, Guilin, China

5 Transient and Steady-State Behaviors of Fluid Pressure in Poroelastic Materials under Cyclic Axial and Bending Loading, Kameo, Y., Adachi, T., Hojo, M., 2009.6.8-10, The Fourth Biot Conference on Poromechanics, pp.77-82, New York.

[その他]

ホームページ等

<http://ams.me.kyoto-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

北條 正樹 (HOJO MASAKI)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：70252492

### (2) 研究分担者

安達 泰治 (ADACHI TAIJI)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：40243323

### (3) 連携研究者

田中 基嗣 (TANAKA MOTOTSUGU)

金沢工業大学・工学部・講師

研究者番号：30346085

西野 孝 (NISHINO TAKASHI)

神戸大学・工学部・教授

研究者番号：40180624