

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成26年 5月17日現在

機関番号：17102  
研究種目：若手研究（S）  
研究期間：2009～2013  
課題番号：21678002  
研究課題名（和文） ナノ構造化糖鎖素子を介した機能糖鎖集密化バイオマテリアルの創出  
研究課題名（英文） Functional architectonics of glyco-biomaterials designed *via* cellulosic nano-assemblers  
研究代表者  
北岡 卓也（KITAOKA, Takuya）  
九州大学・大学院農学研究院・教授  
研究者番号：90304766  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）77,100,000円、（間接経費）23,130,000円

研究成果の概要（和文）：非水系酵素触媒反応による糖鎖合成技術と構造型糖鎖集積造膜技術を開発し、生理不活性な樹木糖鎖のセロオリゴ糖をナノ構造化素子として機能利用することで、種々の生理活性オリゴ糖鎖をナノレベルで密度制御した新規バイオインターフェースの創出に成功した。ハイブリッド糖鎖自己組織化膜上で細胞培養を行ったところ、細胞形態や生理応答、自然免疫のシグナル伝達等に顕著な影響が見られ、分子ではなく界面ナノ構造が直接誘導する生体反応の存在を実証した。再生医工学分野で注目の糖鎖系バイオマテリアルの学理と新技術を学術領域とする「グライコナノアーキテクトニクス」の研究基盤を開拓した。

研究成果の概要（英文）：Nonaqueous biocatalysis and vectorial sugar-chain immobilization techniques that we successfully developed in this project allowed to functionally design various glyco-biointerfaces with controlled nanostructures of bioactive oligosaccharides *via* cellulosic nano-assemblers obtained from wood. Cellular morphology, physiological activation and immunological responses through glyco-receptor mediated signaling strongly depended on the combination and nanostructures of plural oligosaccharides, eventually revealing the possibility of the direct stimulation to cultured cells in contact with the biointerfaces. A pioneering research "Glyco-nanoarchitectonics" will open up a new phase for research and developments of new-concept glyco-biomaterials in medical and cell engineering fields.

研究分野：多糖材料化学

科研費の分科・細目：森林学・木質科学

キーワード：糖鎖・酵素反応・自己組織化膜・ナノ構造・細胞培養・バイオインターフェース

#### 1. 研究開始当初の背景

近年、ナノ工学とバイオ技術の融合による生体機能材料の研究開発が盛んに行われている。特に、細胞表面を覆う「糖鎖」を介した生理情報伝達系を生体外で機能模倣・材料利用する試みは、再生医用材料分野で大きな注目を集めている。糖鎖の生体機能は、クラスター効果をはじめとするナノスケールでの空間配置や密度が鍵を握っており、その高度制御に向けた技術革新が希求されている。しかし、現状ではアモルファス多糖ゲル膜や多孔質培養基材など、従来技術の応用研究がほとんどであり、糖鎖系医用材料のナノ構造制御と新機能創発の検討は不十分であった。ところで、植物・樹木の細胞壁をなすセルロースは、D-グルコースが  $\beta$ -1,4 結合のみで

連なった単純な構造の多糖類でありながら、規則的な分子内・分子鎖間相互作用により、高度に制御されたナノ配列構造を形成している。特に、天然セルロース特有の平行鎖結晶構造は、生体内で見られる糖鎖非還元末端基の集密化状態と構造類似性がある。そのため、セルロースの構造型を手掛かりに新規なバイオマテリアル開発に期待が持たれたが、そもそもセルロース自身に生理活性がなく、その強すぎる相互作用が障壁となり合成も配列制御も困難であったため、構造化素子としてのポテンシャルを活かせなかった。その結果、構造型多糖のナノ構造とバイオ機能の関係性に着目した研究は行われず、糖鎖系バイオマテリアル開発は一時停滞し、新コンセプトによる技術革新が強く希求されていた。

## 2. 研究の目的

本研究では、独自の「非水系酵素反応による糖鎖合成技術」と「構造的糖鎖ハイブリッド集積造膜技術」の融合・先進化により、生命現象に直結する糖鎖の構造と機能を模倣した糖鎖系バイオマテリアルの創出を目指した。近年の糖鎖生物学の発展で明らかになりつつあるオリゴ糖鎖アセンブリの生体機能について、その人為的構造構築と材料工学的応用に、樹木細胞壁を構成するセルロースなど、これまで未検討の構造的糖鎖分子を「ナノ構造化素子」として機能利用するコンセプトを提案した。細胞と直接相互作用する材料創発を通じて、糖鎖系バイオ材料の新研究領域「グライコナノアーキテクニクス」の研究基盤の構築を目指した。

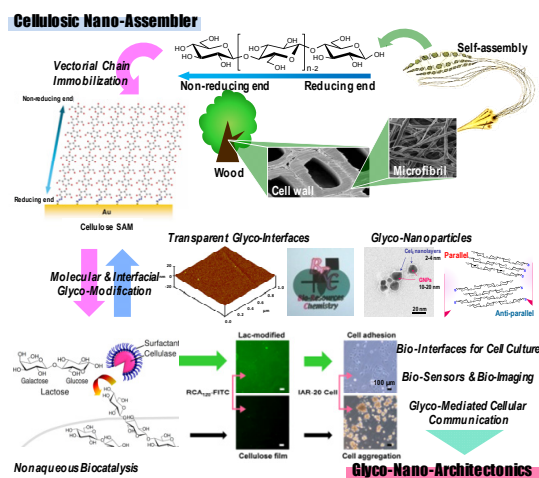


図1 非水系酵素反応による糖鎖合成技術と構造的糖鎖集積造膜技術によるバイオマテリアル開発の模式図

## 3. 研究の方法

(1) 無保護糖からの一段階多糖・配糖体合成  
ノニオン性界面活性剤を合成して、種々の多糖加水分解酵素を W/O エマルジョン凍結法により表面被覆し、非水系極性有機溶媒中での活性発現を試みた。精製酵素による詳細な機構解明を行うとともに、様々な酵素・基質・反応場・アクセプターの組み合わせを調べた。さらに、有機酸を系内に微量添加する新規な共触媒システムについても検討した。

(2) 構造的・機能性糖鎖のナノ複合界面構築  
オリゴ糖鎖の還元末端特異的 S 誘導体化と金基板への自己組織化による糖鎖集積技術の開発を行った。特に、セロヘキサオースとキトヘキサオースの強い分子間相互作用を利用して、界面の生理機能糖鎖の密度を精密制御し、生体応答反応の発現挙動との関係性を精査した。キトサン・ヒアルロン酸・ラクトオリゴ糖など種々の糖鎖で機能検討した。さらに、フラット・マイクロパターン・ナノ

粒子など様々な形状の界面に糖鎖を集積し、培養細胞に与える影響について検討した。

## (3) 細胞培養および各種バイオアッセイ

ヒト肝ガン細胞 HepG2、マウス線維芽細胞 NIH-3T3、マウス筋芽細胞 C2C12、Toll 様受容体を発現させたヒト胎児腎細胞 HEK293 等を用いて、糖鎖集積バイオインターフェース上で培養した。蛍光標識 ConA や WGA のレクチンアッセイなど種々のバイオアッセイを実施し、糖鎖界面構造とバイオ機能の相関を精査した。

## 4. 研究成果

### (1) プロトンアシスト非水系酵素触媒反応

無保護・未修飾の構成二糖から、一段階で多糖類や複合糖質を合成可能な非水系酵素触媒反応は、本研究の申請時点で世界が注目する独自技術であったが、その低収率 (~5%) が大きな課題であった。そこで、触媒機構が明らかな種々の精製セルラーゼを用いて界面活性剤被覆酵素を調製し、セロビオースからのセルロース合成機構をモデルに詳細に検討したところ、Exo 型酵素でオリゴ糖合成が促進され、Endo 型酵素により分子鎖伸長反応が起こる基本機構が推定された。さらに、本来の加水分解では系内から酵素の活性部位に供給されるプロトンが、非水系では不足することが反応効率の低下を招いていることが示唆された。そこで、非プロトン性有機溶媒中に、*p*-トルエンスルホン酸などの有機酸を共触媒としてわずかに添加したところ、飛躍的に収率が向上する現象を発見した (セルロース合成で約 30%、キチン合成で約 80%)。これは、非水系で酸触媒が基質糖の C1 位を一時的に活性化することによる協奏的触媒効果と推測される。ブレンステッド酸を非水系で酵素反応と組み合わせる発想は新規性があり、汎用性の高い技術開発に成功した。

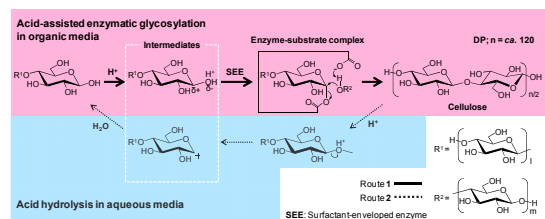


図2 プロトンアシスト非水系酵素触媒反応の推定反応機構

### (2) 非水系酵素反応による疎水性アルコールの一段階ラクトシル化

脂質は最も重要な生体分子であり、合成研究も盛んであるが、アグリコンの脂質が水に不溶なため酵素を用いた合成例は少ない。本研究では、ラクトースと疎水性アルコールの共通良溶媒である非プロトン性極性溶媒 1,3-dimethyl-2-imidazolizone を反応場とする

ことで、界面活性剤被覆酵素を用いた非水系酵素触媒反応により、1-Hexanol; 16.2% (既報 7%), 1-Octanol; 14.0% (<1.0%), 1-Dodecanol; 9.5% (trace), 1-Octadecanol; 8.4%の高収率を得た。本来、極性有機溶媒は酵素をすぐに失活させるため用いることができず、非極性溶媒には糖が、水系には脂質が溶けない。しかし、本系では酵素を界面活性剤で被覆することで、酵素の触媒毒の非プロトン性極性溶媒中での酵素反応を可能にし、有機合成では十数ステップが必要な反応を一段階で達成した。これは、無保護のドナー糖を水不溶性のアクセプターに酵素で直接導入・配糖体化する新技術であり、酵素・界面活性剤・反応場・基質・アクセプターの組み合わせの自由度の高さから有用性が高く、複合糖質の新たな合成手法として、その利用に期待が持たれる。

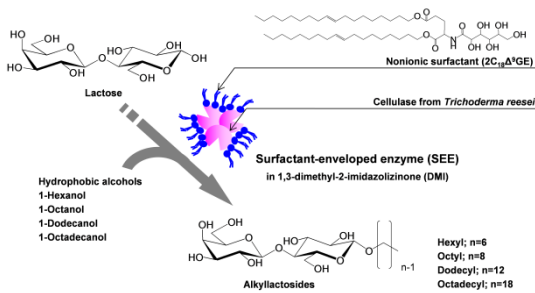


図3 非水系酵素反応による直接配糖体化

(3) ハイブリッド糖鎖集積界面の設計と培養細胞の生体応答制御

糖鎖系バイオインターフェース研究のほとんどは多糖ゲル開発であり、生体機能発現の鍵となる糖鎖非還元末端のナノ構造は全く考慮されていなかった。本研究では、糖鎖の還元末端基をチオセミカルバジドで位置特異的にS誘導体化し、金基板上で自己組織化させることで、機能部位の還元末端基が剥き出しの糖鎖膜の開発に成功した。メチルセルロース膜での温度応答の細胞接着挙動や、キトサン・ヒアルロン酸 (HA) 膜でのマウス線維芽細胞 NIH-3T3 の接着誘導と伸展成長等が確認され、培養基板として有用であった。

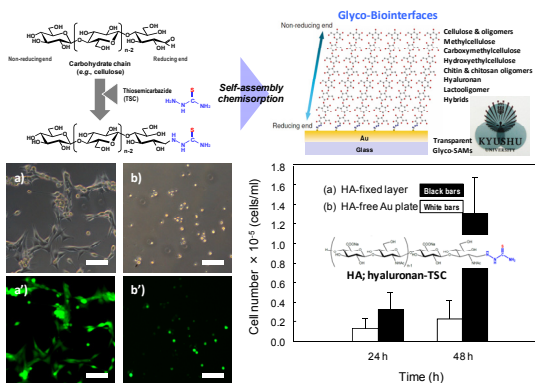


図4 糖鎖配列固定法とHA膜での細胞培養

さらに、樹木多糖類のセルロースと甲殻類の構造的な多糖で生理機能糖でもあるキチンが極めて強い分子間相互作用を示すことに着目し、構造が明確なセロヘキサオースとキトヘキサオースの還元末端選択的S誘導体化と金基板への自己組織化により、様々な糖鎖密度のハイブリッド界面を設計した。QCM分析とXPS分析結果から膜表面の詳細な糖鎖比率を算出することに初めて成功し、キトヘキサオース 61%/セロヘキサオース 39%の膜 (糖鎖密度  $0.425/0.277$  chains  $\text{nm}^{-2}$ ) において、ヒト肝ガン細胞 HepG2 のスフェロイド形成が観察された。さらに、解毒酵素のシトクロム P4501A1 の活性を測定したところ、市販のスフェロイド形成基板を上回る肝機能の発現が見られた。また、同様の現象が、ラクトオリゴ糖とセロビオースのハイブリッド膜でも観察され、レクチン認識特性も糖鎖密度に強い依存性があった。すなわち、糖鎖分子ではなく糖鎖ナノ界面構造が、接触する細胞の生理機能に直接働きかける現象を初めて確認した。

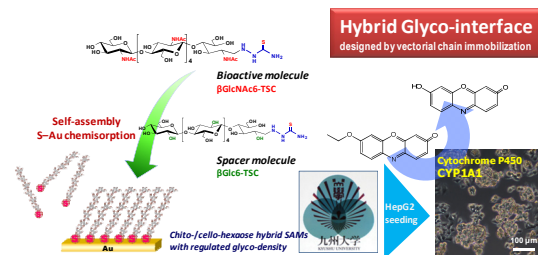


図5 ハイブリッド糖鎖膜上での肝機能発現

(4) 細胞が“直接認識”する糖鎖集積界面

これまで、生体分子と細胞膜タンパク質との生化学的な相互作用の研究は非常に多いが、固体-固体界面 (糖鎖集積膜-細胞膜界面) の直接の相互作用については報告例がない。そこで、この特異な界面反応と生体シグナル伝達系との関連性を検証するために、キトオリゴ糖を異物認識する TLR2 を膜に導入した HEK293 細胞を用いて詳細に検討した。その結果、糖鎖膜表面のキトオリゴ糖密度応答的に自然免疫系シグナル伝達が活性化し、細胞炎症挙動が大きく変化する現象を見出した。本系では、糖鎖密度  $0.12$  chains  $\text{nm}^{-2}$  の条件で最も強い応答を示した。また、この免疫応答は、糖鎖固定により単位糖鎖モル量あたりの応答性が 100 倍以上増幅しており、糖鎖クラスター効果の発現が示唆された。逆に、糖鎖密度を高くすると応答性は著しく低下した。すなわち、密度制御可能な糖鎖集積膜を細胞に“直接認識”させ、その生体反応をマテリアル側のナノ構造設計で制御するマテリアルセラピーの本質に迫る成果が得られた。糖鎖側の材料設計で細胞側を操作する糖鎖系バイオマテリアルに係る基盤成果を得た。

(5) マイクロパターン基板による細胞配列

細胞の形態と機能は密接な関係性があり、生体外での培養では、細胞増殖はするものの機能発現しない場合も多い。特に、筋芽細胞の増殖と筋肉組織への融合には、適切な組織誘導が必須である。そこで、筋芽細胞 C2C12 がキトオリゴ糖レセプターを有することに着目し、様々な幅の Au マイクロレールを設計・糖鎖固定を行い、細胞培養を試みた。その結果、糖鎖フリー基板では均一な細胞接着が見られたが、糖鎖固定基板ではマイクロパターン上に細胞が集合する様子が観察され、特に、細胞サイズの 10 倍程度の幅で顕著に一軸配向が起り、筋管細胞への分化誘導・集合が示唆された。糖鎖を介した組織融合の研究は少なく、今後の展開が期待される。

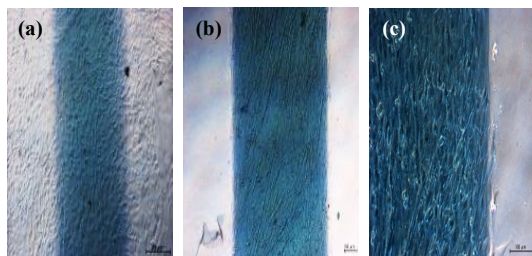


図 6 筋芽細胞の配列制御: (a)糖鎖なし, (b, c) 糖鎖固定マイクロレールパターン

(6) 逆ミセルを反応場とする糖鎖集積金ナノ粒子の合成

金属ナノ粒子の糖鎖修飾技術は、バイオセンサー開発への応用が期待される。そこで、本研究では新規合成法の開発に向け、糖鎖の良溶媒 *N*-methylmorpholine-*N*-oxide (NMMO) による金ナノ粒子合成と糖鎖のその場修飾を試みた。ダブル RI ラベル NMMO を用いることで、NMMO 自体は還元されるにもかかわらず、塩化金酸の配位子が酸化されることで金イオンを還元する複雑な機構を明らかにした。バルク系では、多分散の金ナノ粒子しか合成できなかったが、界面活性剤 AOT を用いてイソオクタン中で NMMO を水相とする逆ミセルを形成させることで、単分散 ( $8.5 \pm 0.7$  nm) の金ナノ粒子の合成と、糖鎖の高密度表面修飾 ( $\sim 0.68$  chains  $\text{nm}^{-2}$ ) を達成した。ConA および WGA によるレクチンアッセイにより、極めて速いレスポンスを確認した。

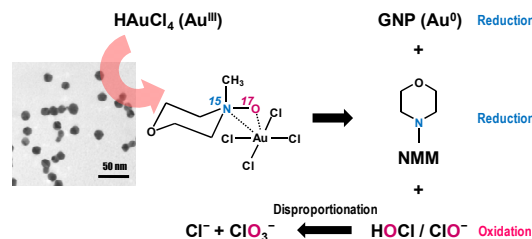


図 7 NMMO 系での単分散金ナノ粒子合成

(7) アゾベンゼン基の自己会合を利用した表面提示型糖鎖ハイドロゲルの新設計

本研究のバイオインターフェースは、糖鎖の還元末端基を金基板および金ナノ粒子表面に固定する技術が基本であるが、さらなる展開に向け、アゾベンゼン基の光・温度応答的な分子構造変化と自己会合を利用したハイドロゲルの調製を試みた。ラクトースやマルトースとの複合化により、ナノファイバー状の会合体が形成し、その表面は糖鎖の非還元末端基が提示されていた。また、ガラクトースを認識する肝細胞の良好な接着挙動も確認された。今後、本研究の基盤成果と融合させることで、細胞形成・分化・機能と糖鎖のナノ集合構造との相関利用を深化させる。

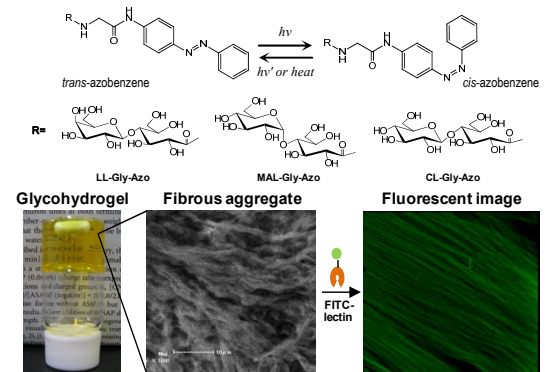


図 8 光応答性ゲル化による糖鎖の表面提示

(8) 研究成果のインパクトと展望

生物の細胞表面は多様多彩な糖鎖が規則的・動的に配列・集積したナノ構造を特徴としており、生理現象・生体反応は糖鎖を介した相互作用システムの表現形である。本研究では、非水系酵素反応による糖鎖・複合糖質の新規合成法と、糖鎖の還元末端基を化学修飾して配列・固定化する造膜法を開発することで、これまで全く検討されなかった糖鎖の非還元末端基のナノ界面構造が関与する細胞接着・生体反応・分化誘導に関する多くの新現象・新知見を見出した。特に、細胞と接するナノ界面 (バイオインターフェース) の糖鎖密度が細胞を直接刺激する発見は、これまで研究対象であった生体システムにおける糖鎖の分子機能ではなく、ナノ集積構造の機能の存在を実証するもので、再生医工学分野のバイオマテリアル開発に新たな設計指針を与えるものである。さらに、マイクロパターン基板やナノ粒子への糖鎖集積固定化など、種々の応用可能性を示すこともできた。これらの研究成果は、バイオマテリアル分野の我が国の強みをさらに推し進めるもので、国際的にも注目を集めている。以上、細胞に“認識させる”生理機能糖鎖ナノ集積構造の制御とバイオ機能の高発現を目指す本研究のフラッグコンセプト「グライコナノアーキテクトニクス」の研究基盤の構築に成功した。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 20 件)

1. Kitaoka T., Yoshiyama C., Uemura F., “Hybrid immobilization of galactosyl lactose and cellobiose on a gold substrate to modulate biological responses”, *Carbohydr. Polym.*, **92**, 374-379 (2013). (査読有)  
DOI: 10.1016/j.carbpol.2012.09.088
2. Egusa S., Goto M., Kitaoka T., “Facile and direct synthesis of long-chain chitin from chitobiose via proton-assisted nonaqueous biocatalysis”, *J. Mol. Catal. B: Enzym.*, **87**, 69-74 (2013). (査読有)  
DOI: 10.1016/j.molcatb.2012.10.005
3. Egusa S., Goto M., Kitaoka T., “One-step synthesis of cellulose from cellobiose via protic acid-assisted enzymatic dehydration in aprotic organic media”, *Biomacromolecules*, **13**, 2716-2722 (2012). (査読有)  
DOI: 10.1021/bm3006775
4. Ogawa Y., Yoshiyama C., Kitaoka T., “Helical assembly of azobenzene-conjugated carbohydrate hydrogelators with specific affinity for lectins”, *Langmuir*, **28**, 4404-4412 (2012). (査読有)  
DOI: 10.1021/la300098q
5. Yoshiike Y., Kitaoka T., “Tailoring hybrid glyco-nanolayers composed of chitohexaose and cellohexaose for cell culture applications”, *J. Mater. Chem.*, **21**, 11150-11158 (2011). (査読有)  
DOI: 10.1039/c1jm11448d
6. Kitaoka T., Yokota S., Opietnik M., Rosenau T., “Synthesis and bio-applications of carbohydrate-gold nanoconjugates with nanoparticle and nanolayer forms”, *Mater. Sci. Eng. C*, **31**, 1221-1229 (2011). (査読有)  
DOI: 10.1016/j.msec.2010.10.009
7. Egusa S., Kitaoka T., Igarashi K., Samejima M., Goto M., Wariishi H., “Preparation and enzymatic behavior of surfactant-enveloped enzymes for glycosynthesis in nonaqueous aprotic media”, *J. Mol. Catal. B: Enzym.*, **67**, 225-230 (2010). (査読有)  
DOI: 10.1016/j.molcatb.2010.08.010
8. Tanaka N., Yoshiike Y., Yoshiyama C., Kitaoka T., “Self-assembly immobilization of hyaluronan thiosemicarbazone on a gold surface for cell culture applications”, *Carbohydr. Polym.*, **82**, 100-105 (2010). (査読有)  
DOI: 10.1016/j.carbpol.2010.04.028
9. Yoshiike Y., Yokota S., Tanaka N., Kitaoka T., Wariishi H., “Preparation and cell culture behavior of self-assembled monolayers composed of chitohexaose and chitosan

hexamer”, *Carbohydr. Polym.*, **82**, 21-27 (2010). (査読有)

DOI: 10.1016/j.carbpol.2010.04.015

10. Okutani Y., Egusa S., Ogawa Y., Kitaoka T., Goto M., Wariishi H., “One-step lactosylation of hydrophobic alcohols by nonaqueous biocatalysis”, *ChemCatChem*, **2**, 950-952 (2010). (査読有)  
DOI: 10.1002/cctc.201000051

[学会発表] (計 65 件)

[国際学会での研究発表]

1. Uemura F., Kitaoka T., “TLR-mediated cell stimulation on glyco-decorated biointerfaces composed of chitohexaose and cellohexaose”, 3rd European Polysaccharide Network of Excellence International Polysaccharide Conference 2013, Nice, Oct. 23 (2013).
2. Poosala P., Kitaoka T., “Glyco-mediated alignment and regulation of myoblast cells cultured on GlcNAc-clustered micropatterns”, 3rd European Polysaccharide Network of Excellence International Polysaccharide Conference 2013, Nice, Oct. 23 (2013).
3. Kitaoka T. (Invited speaker), “Crystalline cellulose nanofibers as catalyst supports for heterogeneous catalysis”, 3rd International Cellulose Conference 2012, Sapporo, Oct. 11 (2012).
4. Poosala P., Kitaoka T., “Micropatterned biointerfaces of chito oligomers for cell alignment and cellular biofunction”, 3rd International Cellulose Conference 2012, Sapporo, Oct. 11 (2012).
5. Uemura F., Kitaoka T., “Self-assembly immobilization and biointerface design of chitohexaose/cellohexaose hybrid nanolayers”, 3rd International Cellulose Conference 2012, Sapporo, Oct. 11 (2012).
6. Kitaoka T. (Keynote lecturer), “Synthesis and bio-functional design of carbohydrate-gold nanoconjugates”, International Conference on Chemical and Biological Utilization of Biomass Resources 2010, Nanjing, Oct. 24 (2010).
7. Kitaoka T. (Invited Speaker), “Synthesis and bio-applications of carbohydrate-gold nanoparticle conjugates”, European Cooperation in Science and Technology Strategic Workshop, Vienna, April 15 (2010).
8. Yoshiike Y., Yokota S., Kitaoka T., Wariishi H., “Self-assembling immobilization and bio-functional design of chitin nanolayers on a gold surface”, 2009 Busan-Gyeongnam/Kyushu-Seibu Joint Symposium on High Polymers (14th) and Fibers (12th), Kagoshima, Oct. 26 (2009).

9. Egusa S., Yokota S., Esaki K., Ogawa Y., Kitaoka T., Wariishi H., Goto M., “Bioactive paper designed by surface modification with lactose via nonaqueous biocatalysis”, 7th International Paper and Coating Chemistry Symposium 2009, Hamilton, June 11 (2009).
10. Okutani Y., Egusa S., Ogawa Y., Kitaoka T., Wariishi H., Goto M., “Synthesis of oligolactose and alkylolactosides by nonaqueous biocatalysis”, 7th International Paper and Coating Chemistry Symposium 2009, Hamilton, June 10 (2009).

[国内学会での招待講演]

11. 北岡卓也 (受賞講演), “非水系酵素反応による糖鎖合成と糖鎖系バイオインターフェース材料の研究”, 平成 24 年度セルロース学会賞, 宇治, 2013 年 7 月 18 日.
12. 北岡卓也 (招待講演), “糖鎖でつくるバイオ界面 –木とカニで細胞培養–”, グリーンサイエンス講演会 2013 「グリーン・バイオポリマーのフロンティア」, 高知, 2013 年 6 月 7 日.
13. 北岡卓也 (招待講演), “構造的な多糖類の新機能開拓”, 第 27 回繊維学会西部支部講演会, 長崎, 2012 年 11 月 16 日.
14. 北岡卓也 (招待講演), “天然多糖類の新機能開拓 –ナノ・バイオ・環境・エネルギー・ものづくり–”, 独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 CREST 「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」 第 3 回公開シンポジウム, 東京, 2012 年 6 月 22 日.
15. 北岡卓也 (招待講演), “セルロースのナノバイオ材料研究”, 高分子学会エコマテリアル研究会, 東京, 2010 年 7 月 9 日.

[国内学会での研究発表]

16. 上村富美, 北岡卓也, “糖鎖集積膜による細胞表面タンパク質を介した細胞内シグナル伝達の活性化”, 第 64 回日本木材学会大会, 松山, 2014 年 3 月 14 日.
17. 上村富美, 北岡卓也, “生理活性オリゴ糖膜の表面密度制御による細胞免疫応答の活性化”, セルロース学会第 20 回年次大会, 宇治, 2013 年 7 月 19 日.
18. Poosala P., Kitaoka T., “Biomimetic alignment of myoblast cells on micro-patterned glyco-biointerfaces”, 繊維学会年次大会 2013, 東京, 2013 年 6 月 14 日.
19. 吉山千春, 北岡卓也, “生理活性オリゴ糖ハイブリッド膜を用いたヒト肝ガン細胞の生体応答”, セルロース学会第 19 回年次大会, 名古屋, 2012 年 7 月 13 日.
20. 上村富美, 北岡卓也, “糖鎖集積型ハイブリッドクラスター基板による細胞応答制御”, 第 49 回化学関連支部合同九州大会, 北九州, 2012 年 6 月 30 日. (受賞)

21. 上村富美, 北岡卓也, “糖鎖ハイブリッド集積界面のバイオインターフェース機能発現”, 第 62 回日本木材学会大会, 札幌, 2012 年 3 月 15 日. (受賞)
22. 江草静香, 北岡卓也, 後藤雅宏, “有機溶媒系での酵素的脱水縮合による高効率多糖合成”, 繊維学会秋季研究発表会 2011, さぬき, 2011 年 9 月 9 日.
23. 吉山千春, 北岡卓也, “機能糖鎖集積界面のバイオインターフェース機能”, 繊維学会年次大会 2011, 東京, 2011 年 6 月 9 日.
24. 奥谷友理, 江草静香, 北岡卓也, 割石博之, 後藤雅宏, “非水系酵素反応による疎水性アルコールの一段階ラクトシル化”, 第 60 回日本木材学会大会, 宮崎, 2010 年 3 月 18 日.
25. 吉池由佳, 横田慎吾, 北岡卓也, 割石博之, “キチン系糖鎖配向膜の調製とバイオインターフェース機能”, セルロース学会第 16 回年次大会, 札幌, 2009 年 7 月 2 日. (受賞)

[図書] (計 1 件)

1. 北岡卓也 (分担), 講談社, セルロースのおもしろ科学とびっくり活用 (セルロース学会編), 2012 年.  
酵素でセルロースを合成する, 122-123  
セルロース薄膜上で細胞培養, 126-127

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 糖ラクトン-アゾベンゼン化合物およびその利用  
発明者: 小川由紀子, 北岡卓也  
権利者: 国立大学法人九州大学  
種類: 特許  
番号: 特許願 2009-285641 号  
PCT 出願 PCT/JP2010/052117  
出願年月日: 2009 年 12 月 16 日  
国内外の別: 国内・国際

[その他]

科学新聞 (全国版), “第 7 回日本学術振興会賞に 25 氏 100 量体を越えるセルロース合成 北岡卓也 (九州大学) 「多糖分子と繊維素材の機能的アーキテクトニクス材料研究」”, 科学新聞社, 2011 年 2 月 18 日.  
ホームページ  
<http://bm.wood.agr.kyushu-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北岡 卓也 (KITAOKA, Takuya)  
九州大学・大学院農学研究院・教授  
研究者番号: 90304766