

令和 2 年 6 月 3 0 日現在

機関番号：2 5 4 0 6

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017 ~ 2019

課題番号：1 7 K 0 7 8 8 0

研究課題名 (和文) 励起電子・エネルギー移動によるリグニン高分子構造中の局在化縮合共役系の解析

研究課題名 (英文) Investigation on condensed and conjugated structures localized in macromolecular chains of lignin derivatives using photo-excited energy and electron transfers

研究代表者

青柳 充 (Aoyagi, Mitsuru)

県立広島大学・生命環境学部・准教授

研究者番号：1 0 5 5 5 6 9

交付決定額 (研究期間全体) : (直接経費) 3,800,000 円

研究成果の概要 (和文) : 針葉樹, 広葉樹由来の天然リグニン誘導体(12種)を構造解析, 物性評価をしたうえで分子鎖中に局在化し独立した共役系の励起緩和過程をTHF溶液中での光化学挙動としてUV-Vis, 蛍光分光 (蛍光, 励起, 同調, 消光) により解析しエネルギーレベルの差を検出した。消光解析の結果, 一重項間でのエネルギー移動, 分子内移動, 遠隔機構の可能性を見出した。酸化チタン電極を用いた光励起電子移動を1 nm単位の単波長光照射により解析し, スペクトルとは異なる470 nmでの最大の光電流を検出し, 共役の拡張と強度・波長に関連があることを見出した。また, わずかに異なる共役系をジアゾ化により拡張させ検出できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

材料利用でも不可欠なリグニン高分子の内部構造, その関係性の一部の解明に貢献した。天然リグニン誘導体高分子は一般に濃色であるが, 紫外可視分光の結果, 400 nm以上の波長領域の吸収が小さく外観との間に差がみられる。リグニンの主鎖はアリールエーテル結合であり, 一般に共役系は独立し鎖中に局在している。極端に大きな共役系は形成しにくいことから, 相互作用やエネルギー・電子移動による発光の影響であると考えられるが, 類似構造であり, 高分子鎖中にあるため観測が困難であったが, 簡便な方法でその構造のパターンの把握が可能であることが示唆された。

研究成果の概要 (英文) : Native lignin derivatives were directly synthesized from both softwood and hardwood. In order to investigate photo-excitation and relaxation processes of located conjugation system in lignin macromolecules, measurements of photochemical behaviors of these lignin materials in THF were carried out using UV-Vis and fluorescence (emission, excitation, synchronized spectra and quenching behaviors). Different energy levels of HOMO-LUMO, energy transfers from singlet states to singlet states, intramolecular transfers, remote transfers of excited energy of conjugations were found. Excited electron transfers from lignin derivatives to TiO₂ electrodes were also detected around 470 nm under irradiation of monochromatic light. Slight differences of energy levels of located conjugations were controlled using diazo groups on aromatic rings in lignin macromolecules.

研究分野：高分子化学, 物理化学, 植物資源化学

キーワード：リグニン 光化学 光励起 光緩和 エネルギー移動 電子移動 高分子 縮合

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

植物細胞壁中に 30%程度存在する天然リグニンは化学反応性に富んだ芳香族三次元ネットワーク高分子として知られており、化学変化させずに単離することが極めて困難な物質である。そのため、単離過程によって構造が変化し、高分子構造中でランダムな縮合形成や共役系の拡張が認められる。これまで数多くのこれらの化学構造に対する直接観測が試みられてきたが、高分子構造中であることから困難が多かった。リグニンの高分子構造に注目するとモノマー単位であるフェニルプロパン単位は直鎖、側鎖構造ともに、多くの場合アリールエーテル構造で結合しており、それぞれの共役系(主に1つの芳香環)が高分子鎖中に独立して存在していると考えられる。縮合や共役系の拡張はこれらの局在化した共役系でそれぞれ生じることから、構造変化に伴う光励起/緩和過程の変化を検出し、メカニズムを明らかにする研究を2015年より実施してきた。光励起移動では多孔質ナノ酸化チタン電極を用いた光化学電池を構成し、天然リグニン誘導体であるアルカリリグニン(AL)、ジオキサンリグニン(DL)、リグニンスルホン酸(LS)、硫酸リグニン(SL)、リグノフェノール(LP)を調製し、化学構造を決定したうえで光増感剤として用いた。溶媒可溶であったAL、DL、LPを用いた150-W Xeランプ光照射下、光電流値はAL > DL > LPの順となり、縮合・共役拡張の程度との相関がみられた。またこれらのリグニン誘導体のテトラヒドロフラン溶液を用いたUV-Visと蛍光分析を行ったところ、UV-Visではいずれの試料もブロードな吸収を示し、構造の差異の検討が困難であったがアルゴン下での蛍光分析の結果、重なりはあるものの複数のショルダーピークが分離・観測され、これらが縮合・共役拡張の程度により異なった。またアセトン等を用いた消光解析の結果一重項間の励起エネルギー移動が示唆された。このように光励起電子移動、エネルギー移動の解析がリグニン高分子中に局在化した共役系の状態を解析することに活用可能であった。他方、光励起電子移動の波長依存性や構造依存性、共役系の構造の制御によるエネルギー状態の変化、光励起エネルギー移動の安定エネルギーレベルの解明を含めたメカニズムは未解明であった。

2. 研究の目的

本研究では天然リグニン誘導体高分子中に存在する局在化した豊富な共役・縮合構造の特徴を光励起/緩和過程、具体的には光励起電子移動ならびに光励起エネルギー移動を観測し、化学構造の特徴と関連付けることを試みた。光励起エネルギー移動では一重項間でのエネルギー移動が生じている可能性が高いことから、収率が高く構造が把握しやすいLPと調製温度を変えた2種類のAL(140℃、170℃)を用いて、より低エネルギーのアクセプター準位をもつベンゾフェノンやエオシンYのような色素分子の適用を試み、リグニン高分子に対する分子の吸着挙動を考慮に入れたうえで、その消光挙動を速度論的に解析した。これらに加え、最も天然リグニンの構造に近く、縮合構造や共役の拡張が少ないモデル物質として針葉樹、広葉樹由来の磨砕リグニン(MWL)を調製し同様の解析を行い比較した。光励起電子移動の評価ではTHFに可溶な針葉樹、広葉樹由来のAL、DL、LPを光増感剤として用いたナノ多孔質酸化チタン電極を用いた光電変換デバイスの光電流値を1nmの幅で分解した単色光照射下で観測し、光電流の波長依存性とその性質に対する構造の影響、とりわけ局在化した共役構造の共役拡張の検出することである。また酸化チタンより伝導帯、価電子帯ともにエネルギーレベルの低い酸化鉄(Fe₂O₃)や酸化ニオブ(V)のような金属酸化物半導体を用いた電極を用いた光電流値の変化を評価した。さらに芳香族アミンを用いてLPをジアゾ化し局在化した共役系の拡張の設計と検出を試みた。

3. 研究の方法

針葉樹としてヒノキ(*Chamaecyparis obtusa*)、広葉樹としてポプラ(*Populus nigra* var. *Italica*)の80 mesh pass 脱脂木粉を用いて、4種類のリグニン試料(AL、DL、LP、MWL)を調製した。ALは縮合・共役の状態を変えて調製した(反応温度による制御:140℃、170℃)。得られたリグニン試料は溶解度試験、UV-Vis、FT-IR、¹H-NMR、SEC(サイズ排除クロマトグラフィー)、TMA(熱機械分析、針入れ法)、TG-DTA(熱重量分析、示差熱量計)を用いて一次構造の解析と物性評価によるガラス転移や分子の運動性の評価を行った。

光エネルギー移動現象の解析はAr置換した精留済THF溶液を1cm x 1cmの石英4面セルに入れ、UV-Vis測定を行い吸収並びにショルダーピークに相当する波長を検出した。これらの波長の光を励起光として蛍光分光光度計を用いた蛍光スペクトル測定、濃度消光の確認、蛍光ピークに対する励起スペクトルの測定と吸収スペクトルとの比較による分子内エネルギー移動や内部変換の評価を行った。また、HOMO-LUMOエネルギーギャップを評価するためにStokesシフトを固定した同調スペクトル測定を行った。さらにアセトン、アセトフェノン、ベンゾフェノン、エオシンY色素をエネルギーの異なるアクセプターとして用いた消光解析をStern-Volmerの式に従い行った。高分子中のカルボニル基の影響を評価するため水素化ホウ素化ナトリウムによる還元を行い、その蛍光挙動を評価した。MWLは収率が0.5%と低いことから光エネルギー移動のみに適用した。

光励起電子移動現象の解析はナノ多孔質酸化チタン電極にリグニン試料のTHF溶液から吸着させ、対極に白金板を用い、0.5 M LiI、0.05 M I₂アセトニトリル電解質を用いた光電変換素子をポテンシオスタットに接続し波長可変光源NIJ-IIを用いて300 - 600 nmの範囲で1 nmずつ制御された単色光を照射し光電流密度を測定した。半導体の伝導帯のエネルギーを低下させるために酸化ニオブ、酸化鉄(II)を用いた電極を調製し同様に評価し酸化チタン系と比較した。

リグニン誘導体の高分子鎖中の局在化した共役系の拡張をアニリン、ナフチルアミン等の芳香族アミンによるジアゾ化を行い、UV-Vis, FT-IR, TNA, TGA, 元素分析による解析を行った。

4. 研究成果

AL, DL は LP よりカルボニル基が多く、二重結合も豊富であった。AL の調製温度が上がるにつれ共役カルボニル構造が増加した。THF 溶液の UV-Vis スペクトルでは溶媒効果によりブロードな形状を示しており、共通して 290 nm 付近にリグニンの局在化した共役系に由来する極大吸収が見られた (図 1)。LP と比較して DL, AL, AL の高温試料の順で 300-450 nm 付近の吸収が増大した。極大吸収の 10% 程度であるが、AL170 では 500 nm 付近まで吸収が見られた。他方、より長波長領域に吸収が見られないことから高分子鎖中の共役系が拡張しておらず局在していることを示唆した。モデル化合物との比較から共役カルボニルの等の共役構造の存在が示唆された。UV-Vis の極大吸収と長波長側のショルダーピークの波長を励起光とした蛍光スペクトルは重複したものであったが、300-500 nm の間で複数の極大ピークが観測された (図 1)。AL・DL ではより大きな Stokes シフトを示した。吸収スペクトルよりピークの区別が明確であり様々な状態にある共役系の検出に適していることが示された。また、ショルダーではあるがピークが分離していることからランダムな共役系が形成されるのではなく、天然リグニン中の共役系を基本としてある程度規則的に共役系の拡張された構造が存在することが示された。検出された蛍光スペクトルに対する励起スペクトルは UV-Vis とは異なるピークを示し、リグニン試料によって異なった (図 2)。この結果から内部変換とともに分子内/間の励起エネルギー移動が示唆された (図 2)。樹種・共役の拡張の程度によって異なったことから分子内の状態を反映していると考えられる。

。蛍光同調スペクトルを Stokes シフト差 20 nm から 120 nm に変化させ測定した結果、ピークの現出パターンが樹種・リグニン種で異なり、励起スペクトルで観測された内部変換やエネルギー移動のパターンが複数存在し、ランダムではないことを示唆した。これらのピークを重ね合わせることで蛍光スペクトルとほぼ一致することから、蛍光発光に参与する高分子中での光励起エネルギーの移動を検出できていることを示している。

消光解析の結果、S-V プロットは直線を示し、すべてのリグニン試料で一重項間のエネルギー移動が生じていることが示された (図 3)。アクセプターとして用いたケトン類のエネルギー準位によって傾きが異なり、移動速度にアクセプターの構造が影響していることが示された。リグニン構造の光励起では三重項を経ずにエネルギーが移動することから光化学過程を経た変性はフェニルプロパン単位の関与が小さいことが示唆された。MWL, AL, LP の比較から、縮合・共役拡張に伴って傾きが変化し励起種の寿命に差がみられ縮合・共役構造の検出と定量の可能性が示された。還元試料の蛍光強度の低下から構造内の共役カルボニル等に対する分子内エネルギー移動が示唆された。リグニン

高分子は剛直なアリアルエーテル構造主骨格を有するため構造ユニット間距離が大きくなることから衝突機構だけではなく、フェルスター機構のような遠隔エネルギー移動経路の存在も同時に示唆された。平面構造を持つ色素分子 EosinY に対して量子収率 0.1 でエネルギー移動が生じ、二次蛍光と等発光点が観察された (図 3)。等吸収点がないことから吸着箇所での励起状態のみで軌道相互作用が生じることが示唆された。AL よりも LP がより二次蛍光が大きかったことから励起状態における高い平面性が示唆され、立体構造の情報ととらえることができる。

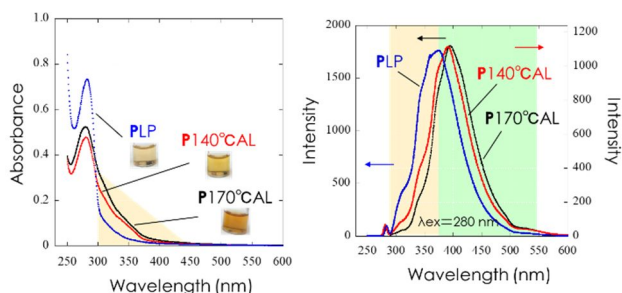


図1. 広葉樹ボラ由来のリグノフェノール、アルカリリグニン (140°C)、アルカリリグニン (170°C) のTHF溶液のUV-Visスペクトルと極大吸収波長を励起波長とした蛍光スペクトル

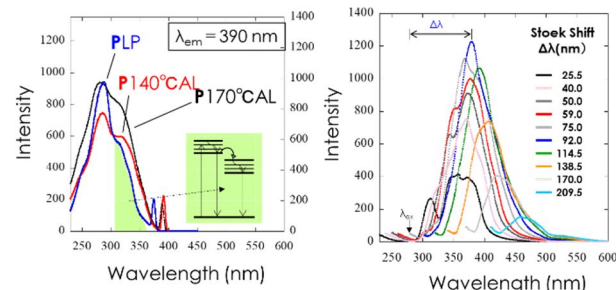


図2. 広葉樹ボラ由来のリグノフェノール、アルカリリグニン (140°C)、アルカリリグニン (170°C) THF溶液の励起スペクトルと蛍光同調スペクトル (Stokesシフト25-210 nm)

消光解析の結果、S-V プロットは直線を示し、すべてのリグニン試料で一重項間のエネルギー移動が生じていることが示された (図 3)。アクセプターとして用いたケトン類のエネルギー準位によって傾きが異なり、移動速度にアクセプターの構造が影響していることが示された。リグニン構造の光励起では三重項を経ずにエネルギーが移動することから光化学過程を経た変性はフェニルプロパン単位の関与が小さいことが示唆された。MWL, AL, LP の比較から、縮合・共役拡張に伴って傾きが変化し励起種の寿命に差がみられ縮合・共役構造の検出と定量の可能性が示された。還元試料の蛍光強度の低下から構造内の共役カルボニル等に対する分子内エネルギー移動が示唆された。リグニン

高分子は剛直なアリアルエーテル構造主骨格を有するため構造ユニット間距離が大きくなることから衝突機構だけではなく、フェルスター機構のような遠隔エネルギー移動経路の存在も同時に示唆された。平面構造を持つ色素分子 EosinY に対して量子収率 0.1 でエネルギー移動が生じ、二次蛍光と等発光点が観察された (図 3)。等吸収点がないことから吸着箇所での励起状態のみで軌道相互作用が生じることが示唆された。AL よりも LP がより二次蛍光が大きかったことから励起状態における高い平面性が示唆され、立体構造の情報ととらえることができる。

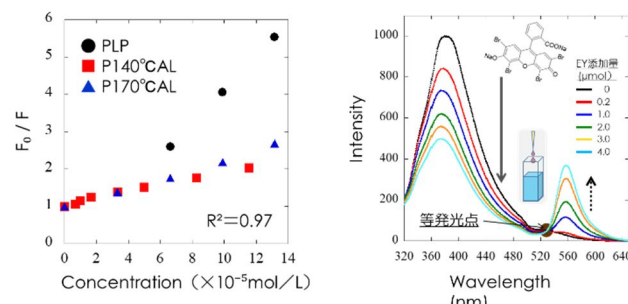


図3. 広葉樹ボラ由来のリグノフェノール、アルカリリグニン (140°C)、アルカリリグニン (170°C) THF溶液のアセトフェンに対するS-VプロットとエオシンYに対する消光挙動 (蛍光スペクトル)

その LP に対し、平面性が高いジアゾ結合を形成し共役の拡張制御を試みた結果、導入したアミンの構造によって π - π^* 遷移の吸収エネルギーが制御された (図 4)。この吸収波長の変化からジアゾ化された構造が推定できた。また、平面性の向上に伴い熱的安定性が向上し分子の剛直化が示唆された。

単色光を照射した際の光電流値は縮合の程度を反映していた (AL > DL > LP) (図 5)。波長と光強度の関係は光吸収、蛍光発光スペクトルとは異なる傾向を示し、いずれのリグニン試料とも 470 nm 光の照射時に光電流値が最大となった。この波長はリグニン試料、酸化チタンともに吸収がない領域であった。フェノール性ヒドロキシ基と酸化チタンが形成する錯体様の吸着体の吸収に由来する光電流であり、リグニン種によらず共通の電子移動現象を示した。それに加え照射波長 300-470 nm の領域では光電流値はリグニン種によって異なった。フェノール性ヒドロキシ基が関与しない芳香族構造に由来し、直接的な結合がなくても電子移動することが示唆された。これはアセチル化のようにヒドロキシ基を保護した系において光電流が観察されるときメカニズムと同様に π^* 電子が酸化チタンの伝導帯に電子移動することによって由来すると考えられる。また、470-600 nm の領域では光電流値は減衰したことからフェノール骨格はランダムに大きな共役系を形成していないことが示唆された。また、酸化ニオブ、酸化鉄電極に対してはリグニンの吸着量が少なく、また、照射波長によっては電極自体の光励起による光電流の寄与が大きくなることから得られたリグニンの寄与に関する情報は限定的であった。以上の結果から、光緩和過程 (励起スペクトル解析、同調スペクトル解析、消光解析) によりリグニン分子鎖中の局在化した共役系の光化学プロセスの解明と検出の可能性が指摘された。また励起中心となる C9 ユニットの共役系の解析が可能であり、構造の識別、エネルギー状態の制御がジアゾ化等により可能であることが示唆された。

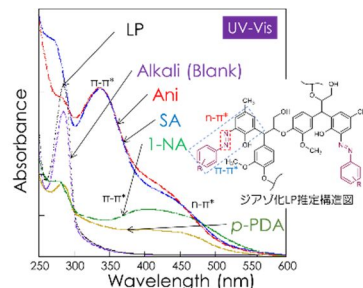


図4. ジアゾ化リグノフェノールのUV-Visスペクトル (THF)
Anil: アニリン, SA: スルファニル酸, NA: ナフチルアミン,
PDA: ジアミノベンゼン, Blank: アルカリ処理のむ

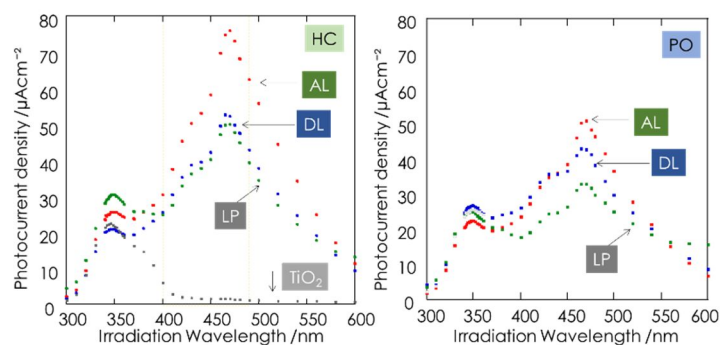


図5. 単色光照射による光電流。HC: ヒノキ, PO: ポプラ, AL: アルカリリグニン, DL: ジオキサンリグニン, LP: リグノフェノール

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Mitsuru Aoyagi, Kento Maesono	4. 巻 43
2. 論文標題 reparation and Characterization of Carboxymethylated Hydrophillic Macromolecular Composites Directly Derived from Weeds	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Trans. Mater. Res. Soc. J	6. 最初と最後の頁 31-34
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 青柳充，	4. 巻 3
2. 論文標題 光励起電子・エネルギー移動を活用した天然リグニン誘導体の光励起・緩和プロセスの解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 563-566
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mitsuru Aoyagi, Sara Inoue, Takuya Matsumoto, Yoshiharu Mitoma, Toshihito Ohtake	4. 巻 -
2. 論文標題 Influences of condensation and conjugations in lignin derivatives on photo-chemical behaviors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Trans. Mater. Res. Soc. J.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計26件（うち招待講演 0件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 井上咲良，吉野智之，青柳充	
2. 発表標題 天然リグニン誘導体の光励起緩和過程に対する縮合構造の影響	
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会（名古屋）	
4. 発表年 2018年	

1．発表者名 山本雅貴，大竹才人，青柳充
2．発表標題 天然リグニン誘導体の単色光照射下における光励起電子移動に対する縮合構造の影響
3．学会等名 第67回高分子学会年次大会（名古屋）
4．発表年 2018年

1．発表者名 渡邊信弘，三苫好治，松本拓也，青柳充
2．発表標題 リグノセルロース複合体中のリグニンに対する選択的化学修飾による機能化
3．学会等名 第67回高分子学会年次大会（名古屋）
4．発表年 2018年

1．発表者名 渡邊信弘，三苫好治，青柳充
2．発表標題 リグノセルロース複合体中のリグニンに対する選択的化学修飾
3．学会等名 第68回ネットワークポリマー講演討論会（金沢）
4．発表年 2018年

1．発表者名 山本雅貴，大竹才人，青柳充
2．発表標題 天然リグニン誘導体の単色光照射下における光励起電子移動に対する縮合構造の影響
3．学会等名 第68回ネットワークポリマー講演討論会（金沢）
4．発表年 2018年

1．発表者名 井上咲良，吉野智之，青柳充
2．発表標題 天然リグニン誘導体の光励起エネルギー移動による縮合構造解析
3．学会等名 第68回ネットワークポリマー講演討論会（金沢）
4．発表年 2018年

1．発表者名 Nobuhiro Watanabe, Yoshiharu Mitoma, Mitsuru Aoyagi
2．発表標題 Selective Chemical Modifications of Lignins Derivatives on Several Lignocellulosic Composites
3．学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference（広島）（国際学会）
4．発表年 2018年

1．発表者名 渡邊信弘，三苫好治，青柳充
2．発表標題 リグノセルロース複合体中のリグニンに対する選択的化学修飾
3．学会等名 日本MRS 第28回年次大会（北九州）
4．発表年 2018年

1．発表者名 山本雅貴，大竹才人，青柳充
2．発表標題 単色光照射下におけるリグニン誘導体から酸化チタンへの光励起電子移動
3．学会等名 日本MRS 第28回年次大会（北九州）
4．発表年 2018年

1．発表者名 井上咲良・青柳充
2．発表標題 天然リグニン誘導体の光励起緩和過程に対する縮合構造の影響
3．学会等名 第66回高分子学会年次大会（幕張）
4．発表年 2017年

1．発表者名 渡邊信弘・青柳充
2．発表標題 パルプ残留リグニンの化学修飾
3．学会等名 第66回高分子学会年次大会（幕張）
4．発表年 2017年

1．発表者名 山本雅貴・青柳充
2．発表標題 光励起電子移動に対する様々なリグニン誘導体の縮合構造の影響
3．学会等名 第66回高分子学会年次大会（幕張）
4．発表年 2017年

1．発表者名 Sara INOUE, Mitsuru AOYAGI
2．発表標題 Influence of Condensed Structures in Native Lignin Derivatives on Photo-relaxation Processes
3．学会等名 IUMRS-ICA2017(KYOTO)（国際学会）
4．発表年 2017年

1．発表者名 Masaki YAMAMOTO, Mitsuru AOYAGI
2．発表標題 Contribution of Condensed Structures in Native Lignin Derivatives on Photo-excited Electron Transfers
3．学会等名 IUMRS-ICA2017(KYOTO) (国際学会)
4．発表年 2017年

1．発表者名 Nobuhiro WATANABE, Mitsuru AOYAGI
2．発表標題 Selective Chemical Modification of Residual Lignin on Alkaline Pulp
3．学会等名 IUMRS-ICA2017(KYOTO) (国際学会)
4．発表年 2017年

1．発表者名 渡邊信弘・三苫好治・松本拓也・青柳充
2．発表標題 リグノセルロース複合体中のリグニンに対する選択的化学修飾
3．学会等名 第66回高分子討論会 (松山)
4．発表年 2017年

1．発表者名 青柳 充, 井上 咲良, 山本 雅貴
2．発表標題 天然リグニン誘導体の光励起 - 緩和過程の評価
3．学会等名 第66回高分子討論会 (松山)
4．発表年 2017年

1．発表者名 井上咲良・青柳充
2．発表標題 天然リグニン誘導体の光励起緩和過程に対する縮合構造の影響
3．学会等名 第67回ネットワークポリマー講演討論会（東大阪）
4．発表年 2017年

1．発表者名 渡邊信弘・青柳充
2．発表標題 パルプ残留リグニンの化学修飾
3．学会等名 第67回ネットワークポリマー講演討論会（東大阪）
4．発表年 2017年

1．発表者名 山本雅貴・青柳充
2．発表標題 天然リグニン誘導体の光励起電子移動に対する縮合構造の影響
3．学会等名 第67回ネットワークポリマー講演討論会（東大阪）
4．発表年 2017年

1．発表者名 山本雅貴・大竹才人・青柳充
2．発表標題 天然リグニン誘導体の光励起電子移動に対する縮合構造の影響
3．学会等名 第98回日本化学会春季年会（船橋）
4．発表年 2018年

1．発表者名 井上咲良・吉野智之・青柳充
2．発表標題 天然リグニン誘導体の光励起エネルギー移動の解析
3．学会等名 第98回日本化学会春季年会（船橋）
4．発表年 2018年

1．発表者名 WATANABE, Nobuhiro; MITOMA, Yoshiharu; AOYAGI, Mitsuru
2．発表標題 Selective Chemical Modifications of lignins on lignocellulosic composites
3．学会等名 第98回日本化学会春季年会（船橋）
4．発表年 2018年

1．発表者名 青柳充, 井上 咲良, 山本 雅貴, 渡邊 信弘
2．発表標題 光励起電子移動とエネルギー移動を用いた天然リグニン誘導体高分子の構造評価
3．学会等名 第68回高分子学会年次大会（大阪）
4．発表年 2019年

1．発表者名 25Mitsuru Aoyagi, Yuka Morishige, Sara Inoue, Nobuhiro Watanabe and Masaki Yamamoto
2．発表標題 Investigation for structural features of several native lignin derivatives using processes of photo-excitation and photo-relaxation
3．学会等名 第28回日本MRS年次大会（横浜）
4．発表年 2019年

1. 発表者名 盛重結花, 青柳充,
2. 発表標題 天然リグニン誘導体の光励起エネルギー移動と化学構造の関係
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会(大阪)[中止]
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

県立広島大学 生命環境学部 青柳研究室 HP http://www.pu-hiroshima.ac.jp/~aoyagi/ 県立広島大学 青柳研究室HP http://www.pu-hiroshima.ac.jp/~aoyagi/ 受賞 (1) IUMRS-ICA2017 Award of Encouragement for Research受賞“Contribution of Condensed Structures in Native Lignin Derivatives on Photo-excited Electron Transfers”(指導学生: 山本雅貴)(2017年10月15日) (2) 第41回合成樹脂工業協会賞「学術賞」受賞(2017年10月25日) (3) ACS-OMEGA Best Poster Award受賞“Contribution of Condensed Structures in Native Lignin Derivatives on Photo-excited Electron Transfers”(指導学生: 山本雅貴)(2017年11月15日) (4) 第28回日本MRS年次大会奨励賞受賞“光励起電子移動とエネルギー移動を用いた天然リグニン誘導体高分子の構造評価”(指導学生: 山本雅貴)(2019年1月15日)

6. 研究組織			
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考