

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03787

研究課題名(和文)糸状菌の界面での生物機能を支える界面活性タンパク質の分子機構の解明

研究課題名(英文)Molecular mechanism of fungal bio-surfactant protein hydrophobin involving in biological functions of filamentous fungi at interfaces

研究代表者

阿部 敬悦(Abe, Keietsu)

東北大学・農学研究科・教授

研究者番号：50312624

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：糸状菌は固体高分子を分解して地球規模の物質循環に寄与する。固体に生育する糸状菌は、界面活性蛋白質Hydrophobin(HP)を分泌する。HPは糸状菌細胞表層を被覆し、糸状菌と固体又は空気界面を形成して標的接着に機能する。またHPは固体表面に結合した後に固体分解酵素をリクルートして固体分解を促進する。HPは界面で多様な生物機能を示すが、HPの固体表面への結合・自己組織化過程は不明である。本研究では生化学と界面化学の手法を融合させ、様々な化学構造の固体表面を作製して、表面へのHPの結合・自己組織化過程、自己組織化HPと酵素の相互作用過程を可視化・定量化して、それらの分子機構を解析した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では従来の微生物学および生化学的手法に加え、新たに界面化学的手法を導入して、様々な化学構造を有する固体表面を作製してHydrophobin(HP)と固体表面との相互作用とその後のHP自己組織化構造形成過程を可視化・定量化(動力学的)した。また固体高分子分解酵素のHP自己組織化構造への吸着過程の可視化にも成功した。これら研究は、申請者らが独自に開拓した研究領域の知見に基づき発展させたものであり独創的である。本成果は、糸状菌の感染や高分子分解の分子機構の理解に貢献するのみならず、感染防除やバイオマス分解、HPの免疫ステルス素材としての利用を目指す生物模倣技術への発展も期待される。

研究成果の概要(英文)：Hydrophobins are secreted amphipathic proteins ubiquitous among filamentous fungi. Hydrophobin RoIA produced by *Aspergillus oryzae* attaches to solid surfaces, recruits esterase CutL1, and promotes hydrolysis of polyesters. Using a quartz crystal microbalance (QCM), we analyzed the kinetic properties of RoIA adsorption to the surfaces of QCM electrodes chemically modified. We observed the assembled RoIA structures on the surfaces by atomic force microscopy (AFM). The RoIA-surface interaction was affected by the zeta potential of RoIA. Adsorption of RoIA to surfaces depended on its hydrophobic interaction with the surfaces. The kinetics of RoIA adsorption and the structures formed depended on the amount of RoIA, surface properties, and the pH of the buffer. Using the Langmuir-Blodgett method, we also analyzed the process by which RoIA forms a self-assembled structure at the air-water interface and observed the structures on the hydrophobic or hydrophilic SiO₂ substrates via AFM.

研究分野：応用微生物学

キーワード：糸状菌 界面活性タンパク質 自己組織化

1. 研究開始当初の背景

(1)糸状菌と界面活性タンパク質 Hydrophobin (HP)

真核多細胞微生物である糸状菌(カビ)は天然に100万種以上存在し、細菌や酵母よりも乾燥耐性に優れ、陸圏において著量の固体高分子分解を行うことで地球規模の物質循環に寄与する。糸状菌の動植物への感染も固体高分子分解現象の例である。糸状菌が固体高分子を分解する際には固体表面に生育するため、その細胞表層は固体表面と空気に接する。固体表面に生育する糸状菌細胞の最外層には必ず界面活性タンパク質 Hydrophobin(HP)が存在し、HPは固体表面または空気と糸状菌細胞間で界面を形成する。HPは分子量2万以下の両親媒性タンパク質群の総称で、糸状菌の菌糸細胞先端から分泌された後に多糖から成る細胞壁上で棒状(ロッド)に自己組織化して細胞を被覆する[引用1]。これ迄に我々は、①HPを含む界面活性タンパク質群が、固体高分子表面に吸着して足場として高分子分解酵素を固体上に濃縮して分解促進する新機構を発見して、精製タンパク質を用いて生化学的研究を行ってきた[引用2]。また②糸状菌の細胞表層にある細胞壁多糖の生合成制御の分子生物学的・生化学的研究を行ってきた[引用3]。以下でこれ迄の知見を整理して、本研究で目指す”HPが細胞壁表層や固体高分子表面に吸着して示す多様な生物学的機能の分子機構の解明”に至った経緯を述べる。

(2)Hydrophobin(HP)の生物学的機能

従来の国内外のHP研究は、HPを遺伝学的に病原因子として特定する病理学研究や[引用1,4,5]、精製HPを用いた生化学研究でも表面吸着を定性的に解析するレベルに留まっており、HPの表面吸着や自己組織化を定量的に解析するに至っていない[引用1,2,4,5]。我々は、固体表面に吸着したHP(足場タンパク質として)と高分子分解酵素との強い静電相互作用による固体高分子表面での分解促進機構を発見し、精製タンパク質を用いて分解促進の分子機構を定量的に解析してきた[引用2]。本機構は感染やバイオマス分解においても重要である[引用6]。

(3)糸状菌細胞表層構造と動植物感染

糸状菌が動植物に感染する時、即ち固体表面に生育する時の糸状菌の細胞表層構造は、細胞膜の外側に多糖から成る細胞壁があり、さらに細胞壁の外側をHPが被覆している。近年、糸状菌の感染において、最外層を形成するHP[引用5]とHPが被覆する多糖 α -1,3-glucan(AG)が、さらに下層の β -1,3-glucan(BG)を被覆することで動物においては免疫細胞がBGを認識し免疫・炎症応答を惹起することを回避する因子(免疫ステルス因子)であることが明らかにされた[引用7]。植物感染でもHPが感染因子であることが遺伝学的に示されていたが[引用4]、申請者を含むグループがAGも植物感染時にBG層を被覆するステルス因子であることを明らかにした[引用8]。

(4)HPの糸状菌細胞表層多糖および分解標的固体高分子表面への結合と未解明の課題

以上、HPとAGは糸状菌-宿主間認識を回避する機能を有しており、感染成立に極めて重要な表層成分であるが、菌糸先端から分泌されたHPが細胞壁多糖のAG上に被覆結合・自己組織化する分子機構は全く不明である。また、界面活性を有するHPが様々な固体高分子に結合することは知られているが[引用1]、標的高分子の表面化学構造とHPの結合・自己組織化との関係は不明である。さらにHPが足場タンパク質として高分子分解酵素をリクルートしてHP下層の固体高分子の分解を促進するが、固体表面のHP自己組織化膜への酵素の侵入機構も不明である。

2. 研究の目的

動植物感染を含め、糸状菌は固体高分子を分解して地球規模の物質循環に寄与する。固体に生育する糸状菌は、界面活性タンパク質 Hydrophobin (HP) を分泌する。HPは細胞壁多糖に結合・自己組織化して細胞表層を被覆し、糸状菌と固体又は空気界面を形成して標的接着に機能する。HP-多糖複合体は感染宿主からの認識回避で感染成立にも機能する。またHPは固体表面に結合した後に分解酵素をリクルートして固体分解を促進する。HPは固体表面に結合して界面で多様な生物機能を示すが、HPの固体表面への結合・自己組織化過程は不明である。本研究では生化学と界面化学の手法を融合させ、様々な化学構造の固体表面を作製して、表面へのHPの結合・自己組織化過程、自己組織化HPと酵素の相互作用過程を可視化・定量化して、その分子機構モデルを構築する。

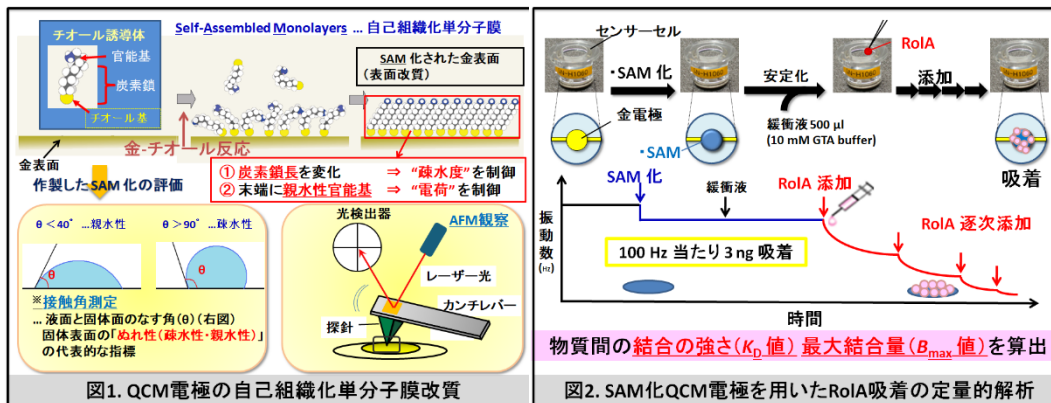
3. 研究の方法

本申請研究では以下の3課題を設定し、様々な固体表面へのHPの結合と自己組織化過程、HP自己組織化構造と酵素の相互作用の分子機構を、精製HP・酵素を用いて、生化学的・界面化学的手法で解析した。

【課題1】化学構造の異なる表面へのHPの吸着・自己組織化の生化学的解明

疎水性、親水性(陰性荷電、陽性荷電、極性—糖を含む)官能基を持つ人工表面を作製し、表面へのHP吸着・自己組織化の動力学的パラメーターを分子間相互作用解析により決定した。HPのモデル分子として既に精製法を確立した麹菌(*Aspergillus oryzae*)のRolAを用いた[引用2]。RolAの各種表面への吸着過程の動力学的パラメーター(K_D 値等)の決定には、水晶発振子マイクロバランス(QCM)装置を使用した。我々はQCM金電極表面に固定化したRolAに対するエステルの分解酵素CutL1のイオンの相互作用の定量解析にQCM装置を用いた実績がある[引用2]。本課題では、疎水性・親水性(アミノ基、カルボキシ基)官能基を末端に有する自己組織化単分子膜(Self

Assembled Monolayer: SAM)形成試薬で QCM 電極表面に SAM 化薄膜を形成させた[図 1]。SAM 化の均一性を純水液滴の接触角測定と AFM 観察により確認した[図 1]。次いで、それら SAM 化 QCM 電極表面への RoIA の吸着を、pH4,7,10 の条件で動力学的に解析した[図 2]。



【課題 2】HP が各種表面で形成する自己組織化構造の界面化学的解明

(1) QCM 電極 SAM 化表面での RoIA の吸着・自己組織化の可視化

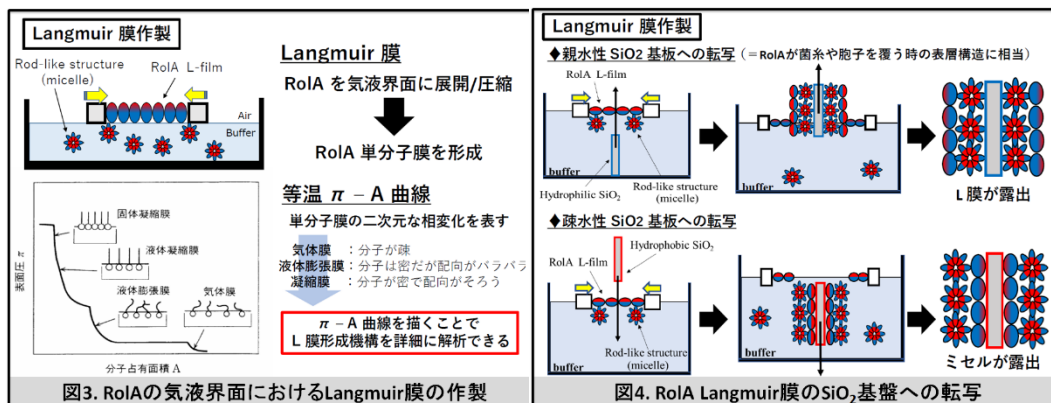
課題 1 で作製した QCM 電極 SAM 化表面に吸着する HP の自己組織化過程を原子間力顕微鏡 (AFM)用いて可視化した[図 1,2]。課題 1 では pH、RoIA 吸着量を変化させて SAM 化電極への RoIA 吸着を定量的に解析したが、課題 2 では RoIA 吸着量の異なる電極表面を AFM で観察し、RoIA の自己組織化過程を可視化した[図 1,2]。SAM 化表面への RoIA 吸着前後で、純水液滴の接触角測定を行って RoIA による表面改質も調べた。

(2) 平滑 SiO₂ 基板を用いた RoIA 自己組織化膜の可視化

界面活性分子である RoIA では、溶液中の RoIA 分子の一部は気液界面に配向すると考えられる。そこで気液界面に配向した RoIA 分子を水平方向に圧縮しながら緩い液体膜状態から緻密な凝固単分子膜(Langmuir 膜; L 膜)が形成されたところを段階的に固体基板に写し取り[図 3,4]、基板表面を AFM で観察した。L 膜を転写する固体表面には凹凸が極めて小さく高平滑な SiO₂ 基板(±2nm 以内)を使用した。また、L 膜は片側が疎水的、もう片側が親水的であるため、L 膜の任意の面を基板側に向けた状態で転写できるように、SiO₂ 基板を親水性または疎水性に改質した。SiO₂ 基板の疎水性改質にはシランカップリング剤として *n*-octyltrichlorosilane を使用した。

【課題 3】HP 自己組織化膜への高分子分解酵素リクルート分子機構の可視化

麹菌菌糸先端より分泌された RoIA は、ポリエステル等の高分子に吸着被覆して HP 自己組織化膜を形成すると考えられている[引用 2]。エステル分解酵素 CutL1 は RoIA 親水性 N-末端と強いイオンの相互作用($K_D=6-8nM$)を示し、その後 RoIA 自己組織化層の下層にあるポリエステル層に侵入してポリエステル分解をされると考えられている[引用 2]。課題 1, 2 の実施により、RoIA の自己組織化薄膜の形成を制御できるようになったことから、課題 2 -(2)で作製した RoIA の L 膜[図 3, 4]に対して CutL1 を作用させて RoIA 自己組織化膜(親水面および疎水面)への CutL1 の吸着を AFM で可視化した。



4. 研究成果

(1) 化学構造の異なる表面への HP の吸着・自己組織化の生化学的解明

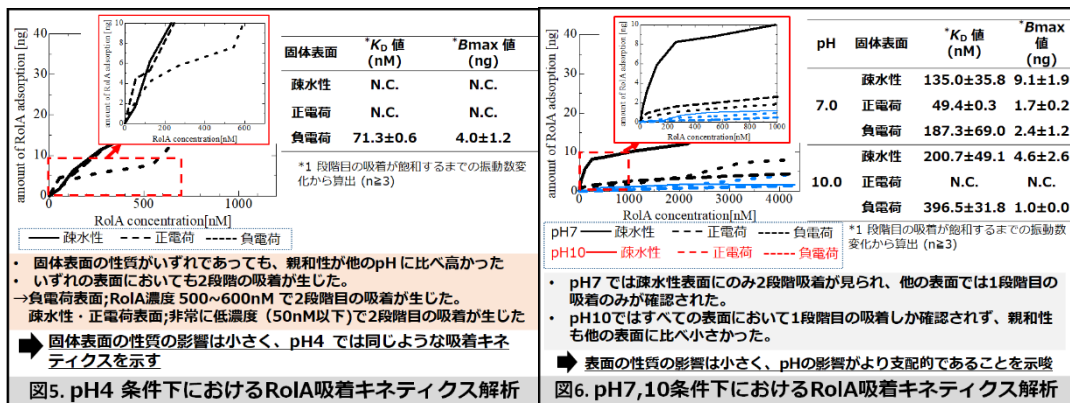
① QCM 電極表面の SAM 化

UV-オゾン洗浄を行った後乾燥させた金電極の水液滴の接触角 θ は、 $85.5 \pm 3.4^\circ$ であった。各表面の接触角は以下ようになった。1-undecanethiol (1-UD) SAM 化表面の接触角は、 $100.1 \pm 2.0^\circ$ (疎水表面)、10-carboxy-1-decanethiol (10-CD) SAM 化表面の接触角は $42.5 \pm 4.7^\circ$ (負電荷表面)、11-amino-1-undecanethiol (11-AUD) SAM 化表面の接触角は、 $34.9 \pm 0.3^\circ$ であった(正電荷表面)。一般的に、 θ が 40° 以下の場合を親水性、 10° 以下だと超親水性とされ、一方で、 θ が 90° 以上の

場合を 撥水性 (疎水性)、110°から 150°だと高撥水性、150°以上だと超撥水性とされることから、SAM 化によって、炭素鎖長 11 のチオール試薬により金電極の表面は疎水性または親水性に改質された。SAM 化された電極表面を AFM で観察した結果、いずれにおいても改質前の金表面と同様に位相が同様であった。この結果から、QCM 電極表面がナノメートルオーダーで均一に SAM 化されていると判断した。

② SAM 化 QCM 電極表面への RoIA 吸着の動力学解析

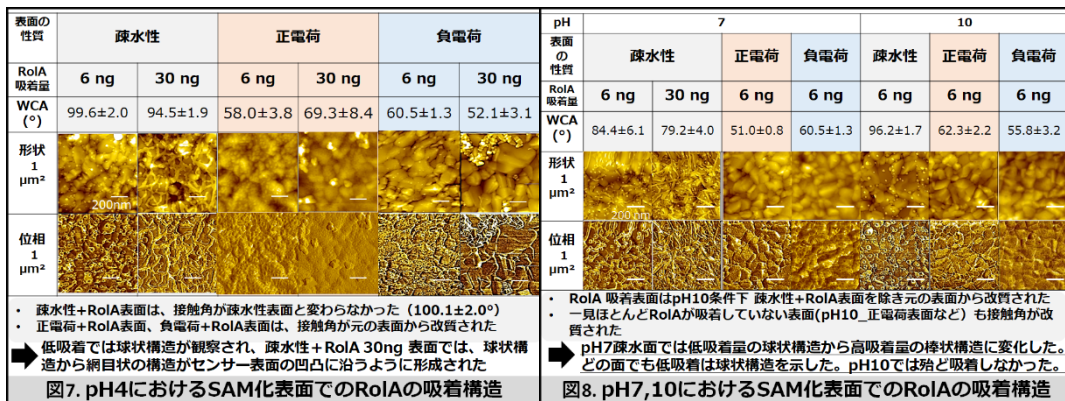
①で作製した SAM 化 QCM 電極を用いて、異なる pH 条件での RoIA の各 SAM 化表面への吸着親和性解析を行った。1-UD では吸着初期のみの吸着速度・量は pH7>pH4 であった。しかし、全ての表面 (疎水性、正・負の荷電性表面) において吸着全体での吸着速度・量は、pH4>pH7>pH10 の順に大きかった [図 5,6]。当初、筆者は、固体表面が本来持つ性質 (疎水度、官能基等) が RoIA の吸着全体での速度・量に大きく影響を与えると予測していたが、QCM による親和性解析の結果からは、RoIA が約 0.3 ng~1.0 ng 吸着した表面では、SAM 化表面の化学的性質よりも、SAM 化表面に吸着した RoIA 分子の有する化学的性質がその後の RoIA の吸着速度・吸着量に影響する可能性が示唆された。これまでの研究から、RoIA と固体表面間の相互作用には静電的相互作用と疎水的相互作用の両方が働いていると推測される。



(2) HP が各種表面で形成する自己組織化構造の界面化学的解明

① QCM 電極 SAM 化表面での RoIA の吸着・自己組織化の可視化

AFM による疎水性、正・負の荷電性表面に吸着した RoIA の形態観察の結果、全ての表面上に RoIA は吸着した。RoIA は全ての表面において自己組織化構造と思われる棒状構造を形成したが、疎水性表面で RoIA が最も低濃度の条件で自己組織化構造が形成されていた。これは、疎水性表面に吸着する際に最も自己組織化構造が形成しやすいことを示唆している [図 7,8]。また、緩衝液 pH4.0, 7.0, 10.0 の 3 つの条件で比較すると、pH4.0>pH7.0>pH10.0 の順で自己組織化構造が形成されやすいことが示唆された [図 7,8]。また、負電荷表面、正電荷表面上では、球状構造を形成した後、疎水性表面とは異なり短い棒状構造が形成された。



以上より、次のような RoIA 自己組織化モデルが考えられる。モデルは大きく疎水性表面と荷電性表面に分けられ、さらに pH によって形成される構造が異なる。疎水性表面では (I) RoIA が疎水性表面に吸着し球状構造を形成、RoIA がさらに吸着し、pH4 では網目状構造、pH7 では棒状構造が形成される。(II) 荷電性表面では、RoIA が荷電性表面に吸着し球状構造を形成、RoIA がさらに吸着し、pH4 条件下では短い棒状構造が形成される (投稿論文 revise 中)。

② 平滑 SiO₂ 基板を用いた RoIA 自己組織化膜の可視化

UV オゾン洗浄を行った SiO₂ 基板を親水性基板、*n*-octyltrichlorosilane で疎水化改質を行った SiO₂ 基板を疎水性基板とした。WCA 測定の結果、親水性 SiO₂ 基板は <5°、疎水性 SiO₂ 基板は 94.7±0.3°となり、正しく表面改質が行われた。AFM を用いた表面観察でも均一に表面が改質されたことを確認した [図 9,10; 発表論文 2]。

図 3, 4 に示された方法に従って、様々な溶液側 pH 条件下、気液界面で圧縮形成される RoLA の Langmuir 膜 (L 膜) を親水性および疎水性基板に転写し、RoLA の自己組織化構造形成過程を解析した。圧縮過程の各相転移点における RoLA L 膜の観察を行うことで、より詳細な RoLA 膜の自己組織化構造形成過程を解析した。解析の結果、RoLA は 2 度の相転移の後、自己組織化構造を形成することが明らかになった。観察された膜構造はいずれも基板の濡れ性を逆転させた[図 9,10 (pH5 条件)]。このことから、RoLA 分子が界面に密に集まり、かつ配向性が揃うことで、RoLA の自己組織化機構が働き、自己組織化構造が形成されると考えられた[発表論文 2]。

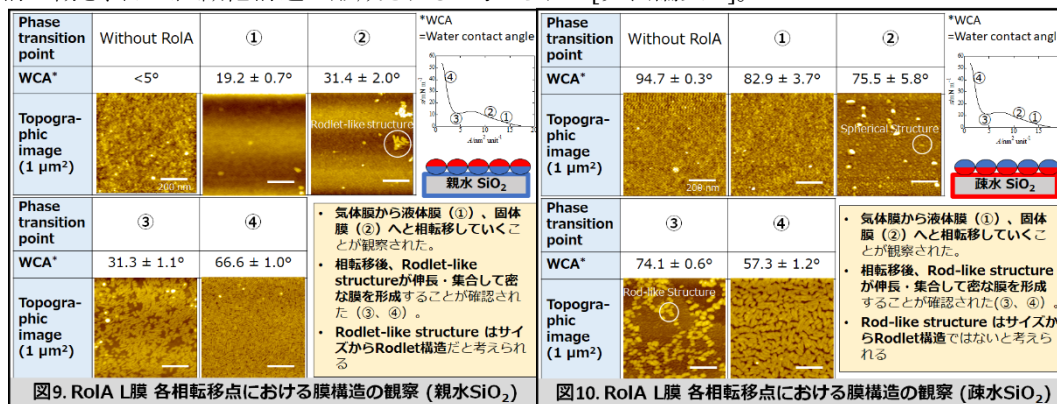


図9. RoLA L膜 各相転移点における膜構造の観察 (親水SiO₂)

図10. RoLA L膜 各相転移点における膜構造の観察 (疎水SiO₂)

RoLA L 膜の AFM の観察結果から、RoLA の自己組織化過程は次のようなモデルが考えられる [図 11]。気液界面に形成された RoLA L 膜 (rodlet) の下の液中には、RoLA のミセル様構造と考えられる RoLA rod-like structure の膜が形成されており、親水性 SiO₂ 基板に転写する際は RoLA L 膜が表面に露出するように転写され [図 11 上]、疎水性 SiO₂ 基板に転写する際は RoLA rod-like structure の膜が表面に露出するように転写されていると考えられる [図 11 下]。このように RoLA は L 膜を形成する際、異なる構造を持つ膜が重なる複層膜構造を形成していると考えられる。L 膜形成に関する pH の影響は、pH3-6 の範囲では RoLA は自己組織化構造を形成するが、pH7 以上になると自己組織化構造を形成せず、pH7 では固体膜、pH10 では液体膜までしか形成できなかった。L 膜法を用いることで気液界面において、RoLA が気体膜から液体膜を経て、凝集固体膜 (rodlet または rod-like 構造) を形成する過程を可視化してきた[発表論文 2]。また 150 mM の NaCl を緩衝液に混合することでイオンの相互作用を阻害した状態で RoLA L 膜の作製を行ったが、L 膜形成過程と形成された自己組織化構造は塩を添加しない場合とほとんど同じであり、rodlet 形成にはイオンの相互作用は寄与しないことが考えられた。

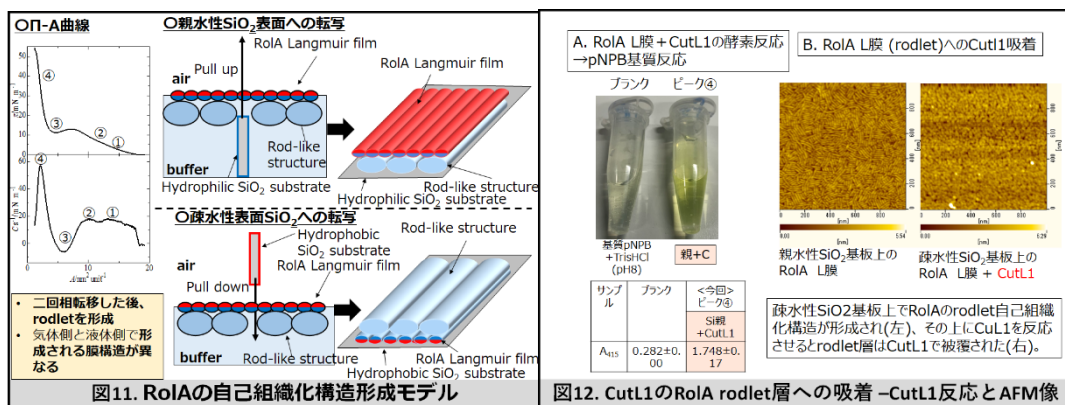


図11. RoLAの自己組織化構造形成モデル

図12. CutL1のRoLA rodlet層への吸着 -CutL1反応とAFM像

(3) HP 自己組織化膜への高分子分解酵素リクルート分子機構の可視化
 (2) で作製した SiO₂ 基板上に転写した L 膜に対してポリエステラーゼ CutL1 を作用させ、AFM で表面を観察した。図 12 には親水基板上に転写された RoLA の rodlet 構造を示したが [AFM 画像左]、そこに CutL1 を添加すると rodlet 構造の上に積層した新たな構造が出現し [AFM 画像右]、CutL1 積層の可視化に初めて成功した。現在、疎水性 SiO₂ 基板上の RoLA L 膜への CutL1 吸着の観察も行っており、RoLA L 膜への CutL1 の吸着過程をさらに詳しく解析する予定である。

<引用文献>

- ① Wösten H.A.B., *Annu Rev Microbiol* **55**: 625-646 (2001)
- ② Takahashi T. et al., *Mol. Microbiol.* **96**:14-27 (2015)
- ③ Yoshimi A. et al., *Biosci. Biotech. Biochem.* **80**:1700-1711 (2016)
- ④ Talbott N., *Plant Cell* **8**: 985-999 (1996)
- ⑤ Aimanianda V., *Nature* **60**:1117-1121 (2009)
- ⑥ Brown N., *Biotechnol Biofuels* **9**:145, doi: 10.1186/s13068-016-0558-2 (2016)
- ⑦ Rappleye C., *PNAS* **104**:1366-1370 (2007)
- ⑧ Fujikawa T., *Mol. Microbiol.* **73**, 553-570 (2009)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 Terauchi Y., Kim Y-K., Tanaka T., Nanatani K., Takahashi T., and K. Abe*	4. 巻 81
2. 論文標題 Asp30 of <i>Aspergillus oryzae</i> cutinase CutL1 is involved in the ionic interaction with fungal hydrophobin RoIA.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Biosci. Biotech. Biochem.	6. 最初と最後の頁 1363-1368
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/09168451.2017.1321952	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 Terauchi Y., Tanaka T., Mitsuishi M., Yabu H., Yoshimi A., Nantani K., and K. Abe*	4. 巻 84
2. 論文標題 Analysis of the self-assembly process of <i>Aspergillus oryzae</i> hydrophobin RoIA by Langmuir-Blodgett method.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biosci. Biotech. Biochem.	6. 最初と最後の頁 678-685
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/09168451.2019.1706443	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 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 1件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 阿部敬悦
2. 発表標題 生分解性プラスチックの分解に関するエステラーゼと界面活性足場タンパク質の協同による分解促進機構
3. 学会等名 2017年度日本生物工学会北日本支部シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺内裕貴、金允卿、田中拓未、七谷圭、吉見啓、高橋徹、阿部敬悦
2. 発表標題 麹菌界面活性タンパク質hydrophobin RoIA と cutinase CutL1 間の相互作用に関与する CutL1 側新奇相互作用部位D30
3. 学会等名 2017年度日本生物工学会北日本支部シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 erauchi Y., Yoon-Kyung K., Tanaka T., Nanatani K., Yoshimi A., Takahashi T., K. Abe
2. 発表標題 Asp30 and Asp73 of <i>Aspergillus oryzae</i> cutinase CutL1 are involved in the ionic interaction with fungal hydrophobin RoIA.
3. 学会等名 14th European Conference on Fungal Genetics
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大沢千晶、田中拓未、七谷圭、吉見啓、阿部敬悦
2. 発表標題 麹菌由来界面活性タンパク質 hydrophobin RoIA の液中における単量体・多量体の性質と挙動
3. 学会等名 日本農芸化学会 2018 年度大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺内裕貴、永山恵美、田中拓未、田邊弘毅、高橋徹、藪浩、有田稔彦、樋口剛志、阿部敬悦
2. 発表標題 麹菌界面活性タンパク質 RoIA の固体表面への吸着過程解析
3. 学会等名 第70回日本生物工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤一、田中拓未、寺内裕貴、高橋徹、七谷圭、吉見啓、阿部敬悦
2. 発表標題 麹菌hydrophobin RoIA - cutinase CutL1間の相互作用におけるRoIA N末端側領域の寄与
3. 学会等名 第18回糸状菌分子生物学コンファレンス
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西沢知華、大沢千晶、田中拓未、七谷圭、阿部敬悦
2. 発表標題 麹菌由来界面活性タンパク質 hydrophobin RoIA の液中における性質と挙動
3. 学会等名 第18回糸状菌分子生物学コンファレンス
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤一、田中拓未、寺内裕貴、高橋徹、七谷圭、吉見啓、阿部敬悦
2. 発表標題 麹菌hydrophobin RoIA - cutinase CutL1間の相互作用におけるRoIA N末端側領域の寄与の解析
3. 学会等名 2018年度日本生物工学会北日本支部秋田シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤一、田中拓未、寺内裕貴、七谷圭、吉見啓、阿部敬悦
2. 発表標題 麹菌hydrophobin RoIA-cutinase CutL1間の相互作用における親和性はN末端側配列に依存する
3. 学会等名 日本農芸化学会 2019 年度大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金允卿、寺内裕貴、田中拓未、吉見啓、阿部敬悦
2. 発表標題 麹菌由来hydrophobin RoIA- Cutinase CutL1間の相互作用におけるCutL1側の新たな相互作用部位の探索
3. 学会等名 第71回(2019年)日本生物工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺内裕貴, 田中拓未, 三ツ石方也, 藪浩, 吉見啓, 阿部 敬悦
2. 発表標題 麹菌界面活性蛋白質ハイドロフォビン RoIA の自己組織化機構の解析
3. 学会等名 第71回(2019年)日本生物工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺内裕貴, 田中拓未, 三ツ石方也, 藪浩, 吉見啓, 阿部 敬悦
2. 発表標題 麹菌界面活性蛋白質ハイドロフォビン RoIA の自己組織化膜の可視化・解析
3. 学会等名 第19回糸状菌分子生物学コンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺内裕貴, 齋藤有美, 田中拓未, 三ツ石方也, 藪浩, 吉見、七谷圭、阿部敬悦
2. 発表標題 麹菌界面活性蛋白質ハイドロフォビン RoIA の自己組織化構造形成過程の可視化・解析
3. 学会等名 日本農芸化学会2020年度大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 田中拓未, 中島春紫, 阿部敬悦*	4. 発行年 2018年
2. 出版社 CMC出版	5. 総ページ数 420
3. 書名 バイオテクノロジーシリーズ「酵母菌・麹菌・乳酸菌の産業応用展開」	

〔産業財産権〕

〔その他〕

東北大学農学研究科応用微生物学研究室HP
<http://www.agri.tohoku.ac.jp/microbio/index-j.html>
応用微生物学分野研究室
<http://www.agri.tohoku.ac.jp/microbio/index-j.html>

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
研究分担者	藪 浩 (Yabu Hroshi) (40396255)	東北大学・材料科学高等研究所・准教授 (11301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------