

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H00950

研究課題名(和文) 酵素による高分子構造制御 - セルロース合成酵素の構造-機能相関

研究課題名(英文) Control of polymer structure by enzyme: structure-function relationship of cellulose synthase

研究代表者

今井 友也 (Imai, Tomoya)

京都大学・生存圏研究所・教授

研究者番号：90509142

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,900,000円

研究成果の概要(和文)：セルロース合成酵素の持つ高分子構造制御機構の解明を行うべく、バクテリア由来のセルロース合成酵素(Bcs)を実験モデルとして構造・機能解析を行った。Bcsは複数のタンパク質(サブユニット)が集合して機能する複合体構造だが、その生化学的解析から、サブユニット間相互作用は静的なものではなく、状態に応じて変化する動的なものであることを実験的に示した。また関連サブユニットのX線結晶構造解析にも成功した。機能再構成については、精製Bcsタンパク質を使ったセルロース合成酵素活性の試験管内再構成に成功した。本系は、天然セルロース合成活性の再構成およびその機構解明のための実験基盤として今後活用する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

セルロースは複数の分子鎖が集合してできた結晶性繊維だが、複数ある結晶構造の中で、天然のセルロースは例外なく最も結晶弾性率の高い「セルロースI型」結晶であることが経験的に知られている。このことは、セルロース合成酵素は能動的にセルロースの集合構造を制御して、その物性を最も高めた構造を作っていると言える。しかも常温常圧水系溶媒の中である。本研究はこのセルロース合成酵素のもつ驚愕の高分子構造制御機構を構造的・機能的に解明するために、セルロース合成酵素タンパク質に正面から取り組んだ課題であり、本研究により多くの実験資源の整備など大きな進捗を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：Bacterial cellulose synthase (Bcs) is a multi-subunit enzyme. We aimed to solve the structure of this Bcs-complex as well as reconstitute the activity to synthesize the cellulose I microfibril.

Using biochemical analyses, we demonstrated that the interaction between BcsAB and BcsD subunit is dynamic rather than static depending on the state of Bcs: activated or resting. This is a new aspect of the Bcs-complex and an important feature reflecting the function of the Bcs-complex in vivo.

Also the X-ray structural analysis was successfully done for some of the Bcs subunits.

We also achieved the in vitro reconstitution of the enzymatic activity with the purified

Bcs-complex. Unfortunately, the synthesized cellulose was crystallized into cellulose II, an unnatural crystallographic structure of cellulose. Nonetheless, this is an important achievement for future studies to clarify the action of cellulose synthase to produce cellulose I, the strongest crystallographic structure of cellulose.

研究分野：材料生物学

キーワード：セルロース セルロース合成酵素 高分子構造制御 タンパク質構造-機能相関 生物素材構造-機能相関

1. 研究開始当初の背景

セルロースは地球上に最も豊富に存在する高分子とも言われ、綿や紙パルプなど、古くから人間により使用されてきた素材である。天然性であることから、合成プラスチック類とは異なり、生分解性に優れている、再生可能資源である点が評価され、注目を集めている材料として知られている。

セルロースの、軽いわりに優れた強度特性は、セルロース I 型と呼ばれる結晶構造と、幅数ナノメートルの微小な繊維形態にあると考えられている。セルロースには「結晶多形性」という性質があり、I 型以外にも複数の結晶構造が存在する（すなわちセルロース分子鎖の整列の仕方には複数のパターンがある）が、その中でセルロース I が最も高い結晶弾性率を示すことが実験的に示されている。熱力学的に最安定な結晶構造が II 型であることを考えると、生物はセルロースの生合成を能動的に制御して、セルロースの最高性能を引き出していることが伺える。

そのセルロースを合成する分子が「セルロース合成酵素」と呼ばれるタンパク質である。セルロース合成酵素は二つの機能をもつ。第一の機能はグルコースの連続糖転移によるセルロース分子の「重合」、第二の機能は重合したセルロース鎖を束ねて結晶性繊維（マイクロフィブリル）を合成する「結晶化」である。2013 年に細菌のセルロース合成酵素複合体の三次元立体構造が Virginia 大学のグループから報告されて以降、セルロース合成酵素の生化学的理解は格段に進んだ。特に長年受け入れられてきた脂質中間体説と double-addition 機構の却下に見られるように、重合機構の理解は大きく進んだ。

一方で結晶化機構の理解は進んでいない。その原因は、多くの酵素活性再構成例で、「セルロース I 型結晶」かつ「微小繊維」という天然セルロース特有の構造の合成に成功していないことにある。わずかにある報告例でもその酵素活性は極めて低いものでしかなく、セルロース合成酵素が複数の分子鎖をどのように制御して、セルロース I ミクロフィブリルという天然構造を作り上げるのか、そのメカニズムについて研究を行うための実験基盤がない状況であった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、セルロース合成酵素が、セルロース I 型結晶の微小繊維を合成するメカニズム解明を目指し、①天然構造のセルロースを作る酵素活性再構成系の構築と、②セルロース合成酵素のフル複合体の構造・機能解析を目的として、タンパク質科学的アプローチによる研究（タンパク質精製、酵素活性再構成、構造生物学的アプローチ）を目指した。

ポリプロピレンなどの汎用プラスチックを望みの形状・構造にするためには、熱・圧をかけたり溶媒を利用したりするところ、セルロース合成酵素は、常温常圧、しかも水系溶媒中で上述のように最高性能を引き出してセルロースを合成している（図1）。このことは、特筆すべき生物機能である。本研究ではセルロース合成酵素の機能を、高分子構造制御機構としてとらえその解明を目指したうえで、その制御する術へと技術開発の基盤を築き、新規セルロース材料創製への展開へもつなげる重要な課題である。

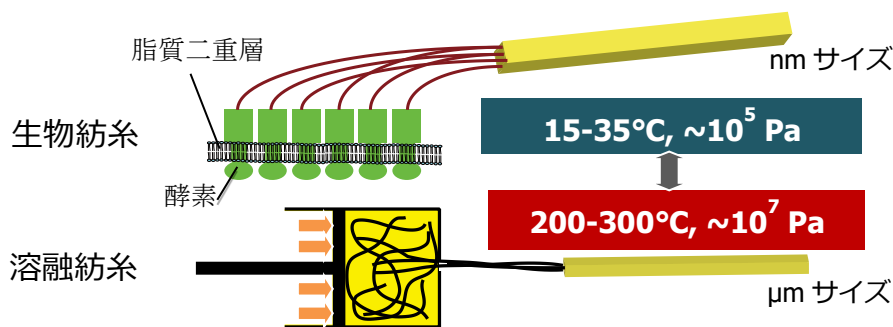


図1 酵素による繊維構造形成（生物紡糸・上段）と高分子繊維の工業生産で汎用される溶融紡糸（下段）の対比。セルロース合成酵素の結晶化機構が超絶な高分子制御であることは明らかである

3. 研究の方法

セルロース合成酵素は、膜タンパク質かつ複数のタンパク質からなる複合体であり、タンパク質研究の対象として難易度は高い。そこで実験材料とするセルロース生産性生物として、バクテリアを選定した。特に、高結晶性のセルロースを合成する酢酸菌（*Komagataeibacter sucrofermentans* および *Gluconacetobacter hansenii*）と *Enterobacter* sp. のセルロース合成酵素 Bcs (bacterial cellulose synthase) をモデルとして研究を進めた。

Bcs タンパク質の調製は、上記モデルバクテリアの *bcs* 遺伝子を大腸菌に導入し、異種発現系によるものと、上記モデルバクテリアの遺伝子欠損相補株を使った遺伝子組換え体を使い、緑色蛍光タンパク質や His タグなど、可視化および精製を目的としたタンパク質・ペプチドタグを融合して行った。

上述の実験系で得られた Bcs タンパク質は、タグを使い精製実験を行い、X 線結晶構造解析およびクライオ電子顕微鏡法によるタンパク質構造解析および、プルダウンアッセイによる生化学解析から、Bcs 複合体の構造の実態に迫った。またこれらの精製 Bcs タンパク質を使った酵素活性の試験管内再構成系の構築も試みた。

さらに、北海道大学のグループで単離した新規のセルロース高生産性細菌である *Enterobacter* sp. をモデルとした実験も行った。本菌の面白い点は、セルロース合成酵素遺伝子群の構成から、酢酸菌と同じ type-I 複合体 (BcsZHABCD) と、大腸菌などホスファチジルエタノールアミンで修飾された低結晶性のセルロースの合成に関与する type-II 複合体 (BcsGFERQABZC) の 2 タイプの複合体を持っている点である。そこで同一菌種の type-I と type-II 複合体の差異から結晶性セルロースを合成するメカニズムに関するヒントを得ることを目的として、type-II 複合体の構造解析も行った。

4. 研究成果

(1) Bcs 複合体の構造解析

① BcsABCD の構造解析

酢酸菌の type-I の BcsABCD 複合体を大腸菌発現系により共発現させ、BcsD の C 末に融合した His タグで精製を行い、他の 3 サブユニットの挙動を電気泳動により調査した。その結果、BcsABCD の 4 サブユニットが相互作用していることを確認した (図 2)。特に、BcsD タンパク質と BcsAB 複合体の相互作用には、セルロース分子鎖を介した間接的なものと、タンパク質-タンパク質相互作用による直接的なものの 2 モードあることが判明した (図 3)。これら二つの相互作用モードはそれぞれ、セルロース合成を行っている活性化状態と、合成していない静止状態に相当するという仮説を提案した (図 4)。Bcs の活性化/静止状態がサブユニット間相互作用の変化とリンクするという点は新しく、type-I の Bcs 複合体の機能を考える上で重要な知見である。

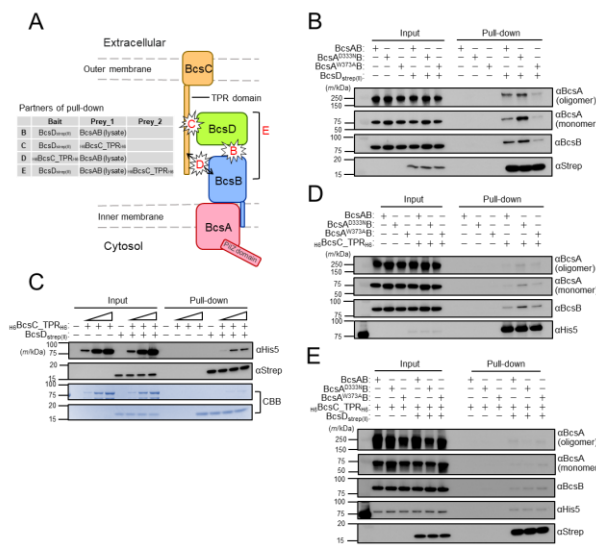


図 2 プルダウンアッセイ: BcsA, BcsB, BcsC, BcsD の 4 つのサブユニットは相互作用している

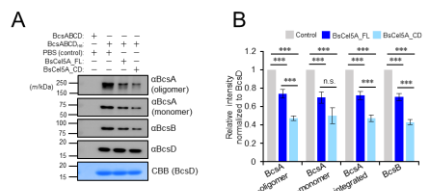


図 3 共精製実験: BcsD は BcsAB とセルロース依存的に相互作用している

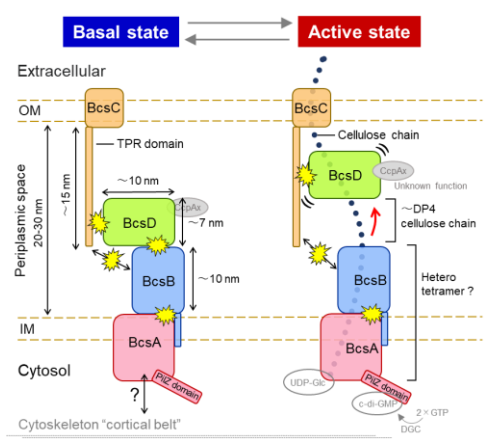


図 4 提案した BcsABCD 複合体のモデル。セルロース合成時と休止時の二状態を BcsD で制御している

続いて精製した BcsABCD 複合体をさらにサイズ排除クロマトグラフィーによる高度精製し、クライオ電子顕微鏡による構造解析に供した。しかし粒子の不均一性が高く、構造解析を進めるためには精製純度の改善が必要であることが判明し (図 5)、現在も条件最適化を進めている。

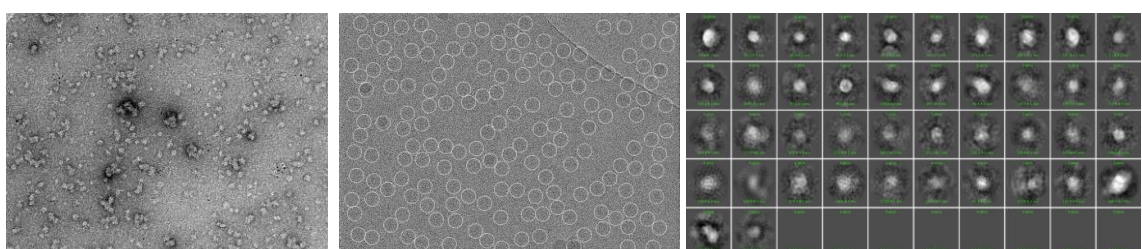


図 5 精製 BcsABCD タンパク質の負染色像とクライオ電子顕微鏡像及びその解析例

Kondo et al., 2022, *FEBS Letters*
doi:10.1002/1873-3468.14495

② BcsC の構造解析

BcsC は type-I、type-II 複合体のどちらにも存在するサブユニットであり、その C 末には外膜ポリン様の β バレルドメインがあることから、外膜にアンカーされ、ペリプラズマ側で BcsAB と共同で機能していると考えられている。酢酸菌の type-I 複合体および *Enterobacter* の type-II 複合体由来の BcsC の両者について研究を行ってきたが、そのうち、後者の BcsC の膜貫通ドメイン BcsC-C の可溶化発現・大量調製に成功し、精製した BcsC-C の初期結晶を得た (図 6)。今後、結晶化条件を最適化し、構造解析にチャレンジする。

また、サンプル調製の最後段階に、サイズ排除クロマトグラフィーの結果から、BcsC-C の多量体の形成が示唆され、マスマットメトリー法を用いた分子量測定を行った結果、4 量体が形成されていること見出した (図 7 左)。先行研究の BcsD の 8 量体形成の知見 [1] と合わせて、合成された BC 鎖 4 本は、4 量体の BcsC によって排出されるという機構が考えられる (図 7 右)。

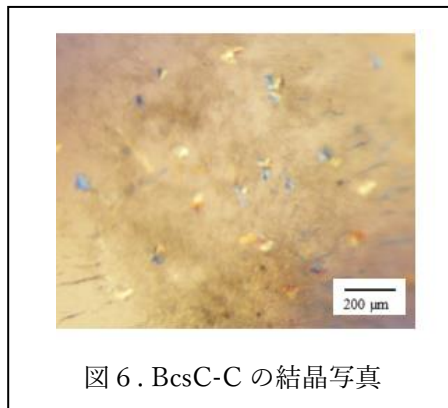


図 6. BcsC-C の結晶写真

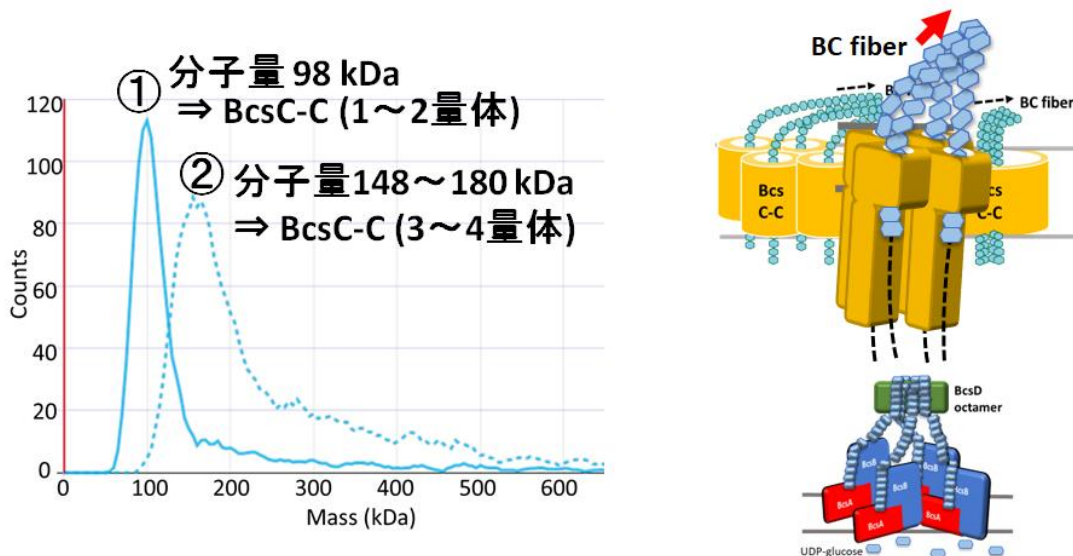


図 7. 精製された BcsC-C の分子量の分析 (左) と提案した BC 排出機構案 (右)

③ BcsQ と BcsR の構造解析

Enterobacter sp. の type-II 複合体に含まれる BcsQ と BcsR について X 線結晶構造解析を行い、BcsQ と BcsQR 複合体の構造解析に成功した (図 8) (データ未公開、論文投稿準備中)。本研究において、大腸菌発現系は重要な実験基盤であるが、大腸菌にも内在性の *bcs* 遺伝子群が存在しており、セルロース合成に関与しているとされている。従って、大腸菌を含む type-II の *bcs* 特有の遺伝子にコードされた BcsQ と BcsR タンパク質に関する情報は、大腸菌を材料として使った実験結果の解釈において重要な知見であると考えられる。

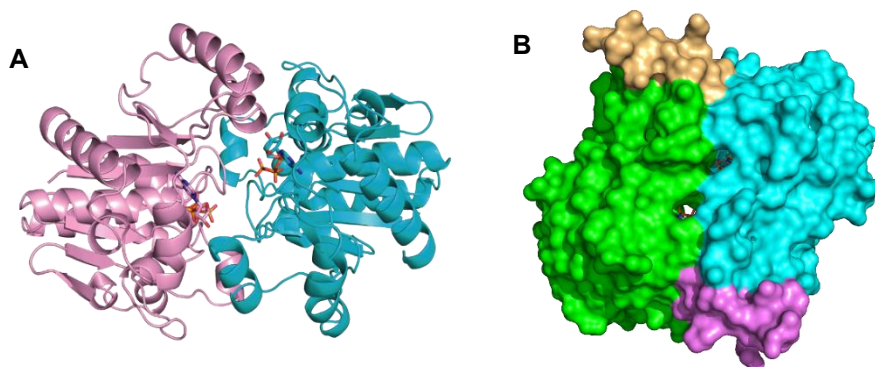


図 8. BcsQ (A) と BcsQR 複合体 (B) の構造解析

(2) Bcs 複合体の機能解析

機能解析についても、酢酸菌の BcsAB 複合体については大腸菌発現系、BcsABCD 複合体については、大腸菌発現系および酢酸菌の組換え体を用いて行った。その結果を次に示す。

① 精製 Bcs 複合体を使った試験管内合成： 大腸菌系

大腸菌発現系で得た BcsAB タンパク質の精製に成功し、その酵素活性の試験管内再構成に成功した(図9)。しかし合成されたセルロースは II 型結晶であり、天然構造の合成活性再構成には至らなかった。BcsABCD の系については、精製前の粗膜に酵素活性が存在することを確認することができたが、精製後の標品に活性は認められず、現象の理解と条件最適化のための実験が必要である。

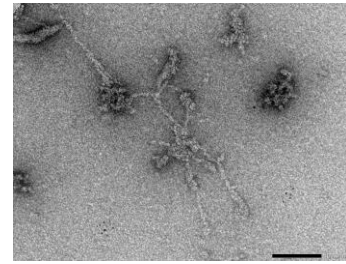


図9 精製 BcsAB タンパク質による試験管内合成セルロース

② 精製 Bcs 複合体を使った試験管内合成： 酢酸菌系

田島らがすでに作出した緑色蛍光タンパク質融合 BcsD を導入した酢酸菌形質転換体を使い、BcsABCD 複合体の精製を行った。本形質転換体は野生株と同様、BcsD が細胞長軸に沿って並んでいることを蛍光顕微鏡観察で確認しており、細胞内で正しく Bcs 複合体(いわゆるターミナルコンプレックス: TC)を形成していると考えられ、その点で大腸菌系より優れている。本株を使い、BcsABCD の精製に成功し、さらに試験管内でのセルロース合成活性の確認にも成功した(図10A)。原子間力顕微鏡(AFM)を用いて生成物の観察を行ったところ、粒子状物質に加え、幅 20nm 程度の繊維状物質が存在していることが確認された(図10B)。さらに生成物について広角 X 線散乱(WAXS)による解析を行ったところ、生成物の主成分はセルロース II であることが確認された(図10C)。

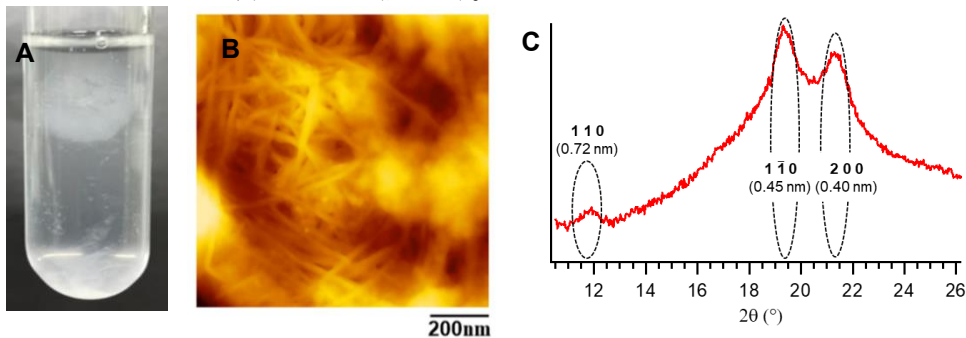


図10 アフィニティー精製画分を用いた試験管内セルロース合成試験の結果 A, 膜状生成物; B, AFM 観察像; WAXD プロファイル

なお①②とも、非天然構造のセルロースが合成されており、最終目標には至っていない。しかし酵素活性の試験管内再構成に、精製 Bcs タンパク質を使って成功した点は大きな進捗であり、今後の研究における重要な実験基盤として期待される。実際にこれらを使い研究進行中である。

③ ランダム変異導入による TC 形成責任分子の同定の試み

酢酸菌のセルロース合成酵素複合体の直線型 TC の形成に直接関与するタンパク質の同定を目的として、酢酸菌にランダム変異導入を施し、取得したセルロース生産能が劇的に低下した実験による研究を行った。その中から蛍光顕微鏡を使って TC が乱れる株を単離し、そのゲノム解析を行ったところ、数点の TC 形成遺伝子候補を見つけることができた。本課題内でその機能解明に目途をつけることはできなかったが、今後、研究を継続の計画である。

(3) 研究資源の構築

上記実験に使用する大腸菌発現系については、本科研費課題が始まってから 60 点以上の Bcs 関連の大腸菌発現プラスミド DNA を構築した。さらに、タンパク質発現宿主に使う大腸菌には type-II の Bcs 複合体が存在することから、異種発現した Bcs タンパク質と干渉し、負の影響が懸念される。そこで合計 6 点の大腸菌の *bcs* 遺伝子欠損株を作製した。そのうち $\Delta bcsA$ 株(図11)を(1)および(2)の研究で使用し、通常の野生型の大腸菌を使うよりもタンパク質の生産量が上がるといった効果が見られた。これらの研究資源については積極的に共有を進めていく。

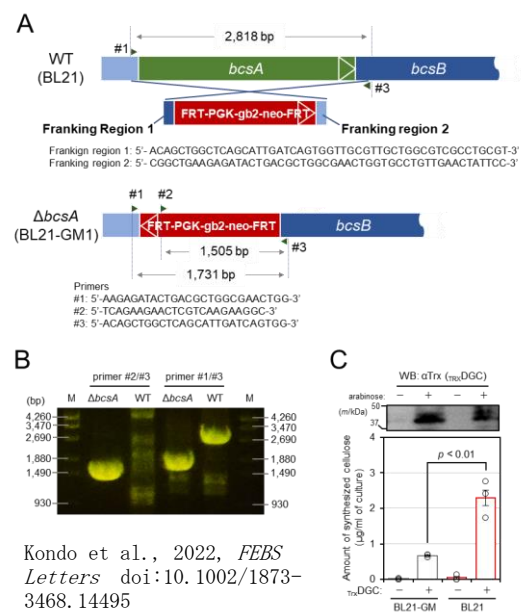


図11 Δbcs 遺伝子欠損大腸菌株の作出

A, 大腸菌ゲノム DNA の *bcsA* 領域の拡大図; B, コロニーダイレクト PCR による *bcsA* 遺伝子の欠損確認; C, 作出した $\Delta bcsA$ 株のセルロース合成能の確認 (Kondo et al., 2022)

Kondo et al., 2022, FEBS Letters doi:10.1002/1873-3468.14495

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Kondo Tatsuya, Nakamura Yui, Nojima Shingo, Yao Min, Imai Tomoya	4. 巻 596
2. 論文標題 The BcsD subunit of type I bacterial cellulose synthase interacts dynamically with the BcsAB catalytic core complex	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 FEBS Letters	6. 最初と最後の頁 3069 ~ 3086
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/1873-3468.14495	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Tajima Kenji, Imai Tomoya, Yui Toshifumi, Yao Min, Saxena Inder	4. 巻 29
2. 論文標題 Cellulose-synthesizing machinery in bacteria	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cellulose	6. 最初と最後の頁 2755 ~ 2777
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10570-021-04225-7	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 該当する
1. 著者名 Fujiwara Takaaki, Fujishima Ayumi, Nakamura Yui, Tajima Kenji, Yao Min	4. 巻 78
2. 論文標題 Structural snapshot of a glycoside hydrolase family 8 endo- α -1,4-glucanase capturing the state after cleavage of the scissile bond	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Crystallographica Section D Structural Biology	6. 最初と最後の頁 228 ~ 237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1107/S2059798321012882	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 今井 友也	4. 巻 24
2. 論文標題 セルロース合成酵素 常温常圧水系溶媒下で高分子を構造制御する分子	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Glycoforum	6. 最初と最後の頁 A4J
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32285/glycoforum.24A4J	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Uto Takuya, Ikeda Yuki, Sunagawa Naoki, Tajima Kenji, Yao Min, Yui Toshifumi	4. 巻 17
2. 論文標題 Molecular Dynamics Simulation of Cellulose Synthase Subunit D Octamer with Cellulose Chains from Acetic Acid Bacteria: Insight into Dynamic Behaviors and Thermodynamics on Substrate Recognition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Chemical Theory and Computation	6. 最初と最後の頁 488 ~ 496
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jctc.0c01027	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 Kondo Tatsuya, Nakamura Yui, Nojima Shingo, Yao Min, Imai Tomoya	4. 巻 -
2. 論文標題 Dynamic interaction of BcsD subunit in type I bacterial cellulose synthase	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 bioRxiv	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) 10.1101/2022.03.27.485962	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takuya Uto, Yuki Ikeda, Naoki Sunagawa, Kenji Tajima, Min Yao, and Toshifumi Yui	4. 巻 17
2. 論文標題 Molecular Dynamics Simulation of Cellulose Synthase Subunit D Octamer with Cellulose Chains from Acetic Acid Bacteria: Insight into Dynamic Behaviors and Thermodynamics on Substrate Recognition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Theory & Computation	6. 最初と最後の頁 488-496
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jctc.0c01027	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 田島健次、今井友也、姚 閔	4. 巻 58
2. 論文標題 酢酸菌におけるセルロースの合成セルロースナノファイバーを紡ぎ出す超精密ナノマシンの秘密に迫る	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 化学と生物	6. 最初と最後の頁 453-460
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 -

〔学会発表〕 計32件（うち招待講演 15件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 近藤 辰哉, 鹿島 騰真, 中村 結衣, 野島 慎吾, 姚閑, 今井 友也
2. 発表標題 酢酸菌由来セルロース合成酵素のタンパク質間相互作用 に関する研究
3. 学会等名 日本農芸化学科2023年度大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 近藤辰哉, 中村結衣, 野島慎吾, 姚閑, 今井友也
2. 発表標題 バクテリアセルロース合成酵素フル複合体BcsABCDの大腸菌内機能再構成
3. 学会等名 第95回日本生化学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoya Imai
2. 発表標題 Cellulose synthase is a molecular machine to bundle and crystallize polymer chains
3. 学会等名 The 5th International Cellulose Conference [ICC 2022+1] (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kenji Tajima
2. 発表標題 Production and applications of nanofibrillated bacterial cellulose
3. 学会等名 International Centre for Research on Innovative Bio-based Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田島健次
2. 発表標題 北海道発の新素材微生物産生セルロースナノファイバーNFBC (Fibnano(R)) の特長とその応用
3. 学会等名 ナノセルロース塾第五期 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenji Tajima
2. 発表標題 Production and Applications of Nanofibrillated Bacterial Cellulose (NFBC)
3. 学会等名 Association of Bio-based Material Industry (ABBI) Webinar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenji Tajima
2. 発表標題 Production and applications of nanofibrillated bacterial cellulose
3. 学会等名 5th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BACTERIAL CELLULOSE (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田島健次
2. 発表標題 北海道発の新素材 微生物産生セルロースナノファイバー(NFBC = ファイブナノ(R))の特長とその応用
3. 学会等名 第7回農水産業支援技術展沖縄 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今井友也
2. 発表標題 セルロースの合成生物学への挑戦
3. 学会等名 バイオナノマテリアルシンポジウム2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今井友也
2. 発表標題 構造多糖の生合成にみるグリーンな高分子構造制御 セルロースを例に
3. 学会等名 第35回日本キチン・キトサン学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今井友也、近藤辰哉
2. 発表標題 水中での高分子合成としてみるセルロース生合成
3. 学会等名 第70回高分子討論会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今井友也
2. 発表標題 セルロース合成酵素の天然活性再構成へむけて
3. 学会等名 日本生物工学会第73回大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤辰哉、中村結衣、野島慎吾、姚閔、今井友也
2. 発表標題 セルラーゼを用いた酢酸菌由来セルロース合成酵素複合体の構造局在解析
3. 学会等名 セルロース学会第28回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤辰哉、中村結衣、野島慎吾、姚閔、今井友也
2. 発表標題 セルラーゼを用いた酢酸菌由来セルロース合成酵素複合体の構造局在解析
3. 学会等名 日本応用糖質科学会2021年度大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤辰哉、中村結衣、野島慎吾、姚閔、今井友也
2. 発表標題 酢酸菌セルロース合成酵素複合体サブユニットBcsDの動的挙動解析
3. 学会等名 第72回日本木材学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡睦基、二之湯寛子、今井友也、磯野拓也、山本拓矢、佐藤 敏文、姚閔、田島健次
2. 発表標題 組換え大腸菌を用いた酢酸菌由来セルロース合成酵素複合体の精製
3. 学会等名 日本生物工学会北日本支部 2021年度第一回オンライン若手シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡睦基, 二之湯寛子, 今井友也, 磯野拓也, 山本拓矢, 佐藤 敏文, 姚閔, 田島健次
2. 発表標題 組換え大腸菌を用いたセルロース合成酵素複合体の調製と構造・機能解析
3. 学会等名 セルロース学会第28回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡睦基, 二之湯寛子, 今井友也, 磯野拓也, 山本拓矢, 佐藤 敏文, 姚閔, 田島健次
2. 発表標題 組換え大腸菌を用いた酢酸菌由来セルロース合成酵素複合体の調製および機能解析
3. 学会等名 日本生物工学会第73回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田島健次
2. 発表標題 酢酸菌ナノセルロース研究の最前線：合成の分子メカニズムと応用
3. 学会等名 日本生物工学会第73回大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原孝彰, 藤島あゆみ, 中村結衣, 田島健二, 姚閔
2. 発表標題 GH8 に属するエンドグルカナーゼBcsZ の構造機能解析
3. 学会等名 日本結晶学会令和3年度年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今井友也
2. 発表標題 セルロース合成酵素：常温常圧水系溶媒下における高分子構造制御
3. 学会等名 第14回多糖の未来フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今井友也
2. 発表標題 セルロース生合成からまなぶ水系溶媒中での高分子構造形成
3. 学会等名 第69回高分子討論会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 近藤辰哉，今井友也，中村結衣，野島慎吾，姚閔
2. 発表標題 GH5セルラーゼを用いたGluconacetobacter xylinus由来セルロース合成酵素複合体の構造局在解析
3. 学会等名 第71回日本木材学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村結衣，田島健次，今井友也，近藤辰哉，姚閔
2. 発表標題 バクテリアセルロース合成酵素複合体のサブユニット間の相互作用関係の解明
3. 学会等名 第6回北大・部局横断シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤亨, 大内香予子, 今井友也, 田島健次, 尾瀬農之, 姚閔
2. 発表標題 バクテリアセルロース合成酵素複合体構成成分BcsCの構造解析の試み
3. 学会等名 令和2年度日本結晶学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今井 友也, Paavo A. Penttila, 田島寛隆, 山本郷湖, 湯口宜明
2. 発表標題 セルロース合成酵素が作るセルロース分子の小角X線散乱によるその場観察
3. 学会等名 高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今井 友也, Paavo A. Penttila, 田島寛隆, 山本郷湖, 湯口宜明
2. 発表標題 試験管内系におけるセルロース合成酵素反応の時分割小角X線散乱測定
3. 学会等名 セルロース学会第26回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Tajima
2. 発表標題 In vitro cellulose synthesis using a recombinant cellulose synthase?
3. 学会等名 4th International Symposium on Bacterial NanoCellulose (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今井友也
2. 発表標題 バクテリアセルロース合成酵素の機能再構成[招待あり]
3. 学会等名 日本農芸化学会2020年度大会(福岡) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田島健次
2. 発表標題 酢酸菌セルロース合成酵素複合体の構造と機能[招待あり]
3. 学会等名 日本農芸化学会2020年度大会(福岡) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青島望乃、二之湯寛子、今井友也、磯野拓也、山本拓、矢佐藤敏文、姚閑、田島健次
2. 発表標題 酢酸菌由来セルロース合成酵素の抽出と精製
3. 学会等名 セルロース学会第26回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 二之湯寛子、青島望乃、今井友也、磯野拓也、山本拓、矢佐藤敏文、姚閑、田島健次
2. 発表標題 遺伝子組換え大腸菌における酢酸菌由来セルロース合成酵素複合体の再構築
3. 学会等名 セルロース学会第26回年次大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	田島 健次 (Tajima Kenji) (00271643)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	
研究分担者	姚 閔 (Yao Min) (40311518)	北海道大学・先端生命科学研究院・名誉教授 (10101)	
研究分担者	藤原 孝彰 (Fujiwara Takaaki) (70712751)	東北大学・多元物質科学研究所・助教 (11301)	
研究分担者	近藤 辰哉 (Kondo Tatsuya) (40965969)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・果樹茶業研究部門・研究員 (82111)	

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
---------	---------