

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02251

研究課題名（和文）樹木細胞壁の階層構造構築機構の直接生体イメージング解析

研究課題名（英文）Direct imaging analysis of hierarchy of cell wall in trees

研究代表者

船田 良（Funada, Ryo）

東京農工大学・（連合）農学研究科（研究院）・教授

研究者番号：20192734

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：再生可能な資源である木材など木質バイオマスの高度有効利用のためには、細胞壁階層構造の形成機構など樹木の二次木部細胞の分化機構を十分に解明することが不可欠である。本研究課題では、交雑ポプラやトチノキなど樹木の培養細胞から厚い二次壁を有し、有縁壁孔、らせん肥厚、せん孔など複雑な修飾構造を有する二次木部様細胞を直接誘導する新規モデル系の誘導条件を確立した。また、管状要素や形成層由来の二次木部細胞内の微小管やアクチンフィラメントなどの動的変化を可視化し、細胞骨格の配向や局在がセルロースマイクロフィブリルの配向や局在の制御を行い、複雑な細胞壁階層構造の形成機構と密接な関連性があることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

再生可能な資源・エネルギーである木材など木質バイオマスの高度有効利用は、循環型社会や脱炭素社会の構築のために重要である。樹木が生産する木質バイオマスの有効利用のためには、材質特性を決定する細胞壁階層構造の形成機構を十分に解明することが不可欠である。本研究課題により、培養細胞から二次木部様細胞を誘導するモデル系を駆使して得られた細胞壁階層構造の制御機構に関する知見は、木材の材質特性を制御する新しい技術を確立する上で重要である。さらに、得られた知見は、施業や育種学的手法による優良樹木の作出への理論的な裏付けを与え、CO2固定能力が高く、高機能性を有する樹木の植林事業の発展にも直結するといえる。

研究成果の概要（英文）：For the highly utilization of wood biomass such as wood, we need to understand the precise mechanism of differentiation of secondary xylem cells in trees such as the process of formation of hierarchy structure of cell wall. We established new in vitro model system that induced directly secondary xylem-like tracheary elements from calli derived from seeds, leaves and shoots of trees such as hybrid poplar and Aesculus turbinata. Tracheary elements formed highly developed structure of secondary walls, such as broad regions of thick cell walls, bordered pits and perforations. Using this model system, we analyzed the cell wall structure of tracheary elements. In addition, we analyzed the orientation and localization of microtubules and actin filaments in tracheary elements and differentiating tracheids visualized by green fluorescent protein and immuno-staining. The microtubules and actin filaments play an important role in the determination of hierarchy structure in secondary wall.

研究分野：木材科学

キーワード：木質バイオマス 細胞壁 管状要素 微小管 培養細胞 セルロースマイクロフィブリル 植物ホルモン 生体イメージング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

再生可能な資源・エネルギーである木材など木質バイオマスの高度有効利用は、循環型社会や脱炭素社会の構築のために重要であり、パリ協定の遵守やバイオエコノミーの推進にも貢献する。木材は、樹木の形成層が生産する二次木部の集合体である。したがって、樹木が生産する木質バイオマスの高度有効利用のためには、生産量や材質特性を決定する細胞分裂活性や二次木部の分化制御機構、特に細胞壁階層構造の形成機構などを十分に解明することが不可欠である。しかしながら、二次木部細胞の分化制御機構に関する細胞生物学的知見は十分ではなく、木材の形成制御機構の全貌は明らかになっていないのが現状である。

### 2. 研究の目的

樹木の形成層由来の二次木部の形成制御機構に関する知見が十分ではない理由のひとつとして、細胞分裂や細胞分化に関する優れた *in vitro* 実験モデル系が確立されていない点あげられる。植物細胞の分裂や分化制御機構に関しては、モデル草本植物である *Zinnia* (ヒャクニチソウ) や *Arabidopsis* (シロイヌナズナ) などを用いて、一次木部の形成制御機構に関して精力的に研究が行われている。一方、二次木部細胞の分化制御機構に関しては、セルロースやリグニンなど細胞壁主成分の生合成過程に関与する遺伝子の解析などが、ゲノムデータベースが公表されているポプラをモデル樹木として多く行われているが、依然十分な知見は得られていないのが現状である。したがって、樹木の二次木部分化を解析する優れたモデル系を世界に先駆けて確立することは、木材の形成機構を明確にする上で重要である。

そこで本研究課題では、申請者らが発見した、樹木の培養細胞から仮道管や道管要素などに類似した形態や構造を有する二次木部細胞を高頻度で誘導するモデル系を確立する。これまで、ラジアータパイン (*Pinus radiata*) などの培養細胞から、二次壁をもつ管状要素が突発的に誘導されることが報告されている (例えば、Ohlsson *et al.* 2006) が、厚い細胞壁や有縁壁孔を形成するような二次木部様細胞は認められない。一方申請者らは、スギ (*Cryptomeria japonica*)、カヤ (*Torreya nucifera*)、交雑ポプラ (*Populus sieboldii* × *P. grandidentata*) などの樹木の培養細胞から、形態や構造が発達した木部様細胞が直接誘導されることを公表している (Yamagishi *et al.* 2012, 2013, 2017)。しかしながら、二次木部様細胞への誘導率は十分高いとはいえない。そこで、培養条件の検討を詳細に行うことにより、樹木の培養細胞から複雑な構造を有する二次木部様細胞へ直接誘導できる条件を研究期間内に確立する。

さらに本研究課題では、二次木部様細胞への分化中の培養細胞において、細胞壁のパターン形成に重要な役割を担っていると考えられている微小管やアクチンフィラメントなど細胞骨格の配向や局在の変化を GFP 融合タンパク質導入法や蛍光抗体染色法を用いた生体イメージング技術により動的に解析し、二次木部特有の細胞壁構造制御に関する新たなモデル図を提唱する予定である。複雑な形態や細胞壁構造を有する二次木部様細胞の形成過程を長時間、連続的にリアルタイムで可視化することは、知見が十分でない細胞壁階層構造の制御機構を明らかにする上で重要である。また、細胞小器官の動的変化の可視化などの生体イメージング技術の向上にも大きく貢献するといえる。

### 3. 研究の方法

交雑ポプラ、スギ、ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*)、トドマツ (*Abies sachalinensis*)、イチヨウ (*Ginkgo biloba*)、トチノキ (*Aesculus turbinata*) など有用樹木のシュート、葉柄、未成熟種子からカルスを誘導した。培地に 2,4-D や NAA などオーキシシンやサイトカイニンなどの植物ホルモンを添加して、照明付きインキュベータ内で明条件または暗条件でカルスを増殖させ、培地条件を検討した。さらに、ブラシノステロイド添加など、二次木部様細胞への直接誘導条件の確立を行った。カルスから管状要素への誘導の有無を明らかにするため、培地より定期的に細胞塊を取り出し、微分干渉顕微鏡や共焦点レーザー走査顕微鏡で細胞の形態や二次壁の有無を解析した。分化誘導開始後の管状要素の出現率を計算し、誘導条件を検討した。

培養細胞に GFP 融合タンパク質を発現させて、共焦点レーザー走査顕微鏡を用いて微小管付随タンパク質の動的な挙動をリアルタイムで連続的に解析し、微小管やアクチンフィラメントの配向や局在を明らかにした。また、分化中の木部細胞内の微小管やアクチンフィラメントの配向や局在を蛍光抗体染色法と共焦点レーザー走査顕微鏡法を組み合わせ可視化し、細胞壁構造との

関連性を検討した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 異なる樹木の培養細胞からの管状要素の誘導

交雑ポプラの葉柄よりカルスを誘導した。カルスの維持には、オーキシンである 2,4-D を 5  $\mu\text{M}$  の濃度で含む MS 培地を使用した。さらにカルスを、ブラシノライドを 1  $\mu\text{M}$  の濃度で含む MS 培地に移植したところ、二次壁を有する管状要素が誘導された。管状要素誘導培地に移してから 4 週間後の細胞から薄切片を作製した後、細胞壁層構造を光学顕微鏡および偏光顕微鏡で観察した。偏光顕微鏡による観察から、樹幹の道管要素と同様に 3 層の二次壁をもつ二次木部細胞様の管状要素が認められた。3 層タイプの管状要素は、他の管状要素と比較して二次壁が発達していた。さらに、隣接する管状要素と壁孔対を形成する管状要素も観察された。一方、一次木部の特徴であるらせん紋、網紋、階紋などの二次壁肥厚を有する管状要素の細胞壁は、1 層もしくは 2 層であった。ポプラ培養細胞の管状要素誘導系は、有縁壁孔等の二次壁修飾構造に加え壁層構成もインタクトな二次木部細胞同様の細胞壁構造を再現しており、細胞壁階層構造の形成機構を解明するモデルとして優れているといえる。

トドマツ成熟種子よりカルスを誘導した。カルスの維持には、MD 培地にオーキシンである 2,4-D を 5  $\mu\text{M}$  とサイトカイニンである BAP を 5  $\mu\text{M}$  添加した培地を使用し、4 週間おきに継代した。トドマツカルスを偏光顕微鏡で観察したところ、管状要素は存在しなかった。そこで、カルスをオーキシンである NAA を 5  $\mu\text{M}$  添加した管状要素誘導培地に移したところ、1 週間後に二次壁を有する管状要素が観察された。またブラシノライドを 5  $\mu\text{M}$  添加した暗条件においても、誘導から 1、2 週間後共に管状要素と思われる二次壁を有する細胞が観察できた。しかしながら、NAA を 5  $\mu\text{M}$  添加した暗条件に比べ、誘導された管状要素の数は少なかった。一方、NAA を 5  $\mu\text{M}$  添加した条件においては、壁孔を形成する二次木部様の管状要素も誘導できた。今後、管状要素を誘導する条件を再検討することにより、管状要素量を増加させることが可能といえる。

イチヨウの葉よりカルスを誘導した。カルスの維持には、基本培地 MS 培地に NAA を 10  $\mu\text{M}$  とサイトカイニンである KT を 0.2  $\mu\text{M}$  添加した培地を使用した。管状要素の誘導培地としては、カルス誘導培地と同一の組成で植物成長調整物質を除いた培地 (HF 培地) に、活性炭を 0.5、1、3 g/l、あるいはブラシノステロイドを 0.1、0.5、1  $\mu\text{M}$  添加した培地を使用した。培養条件は温度を 23  $^{\circ}\text{C}$  として、半数を暗条件で、半数を明条件 (16 時間明期と 8 時間暗期) とした。管状要素誘導培地に移して 10 日後に、光学顕微鏡を用いて、透過光下、偏光下、微分干渉下で観察した。誘導してから約 6 ヶ月経過したカルス中において、偏光下で複屈折を示す管状要素が観察された。しかしながら、誘導された量は少量で、またらせん状や網目状に二次壁が堆積した一次木部の特徴をもった管状要素のみが観察された。一方、管状要素分化誘導処理を施して 10 日後の結果、ブラシノライドを 0.5  $\mu\text{M}$  あるいは 1  $\mu\text{M}$  添加した培地にカルスを継代し、暗条件で培養した際に管状要素が得られた。特に、ブラシノライドを 1  $\mu\text{M}$  添加し暗条件で培養をしたカルスにおいて、倍量以上の管状要素が観察された。誘導された管状要素は、塊状に存在した。しかしながら、イチヨウのカルスからは一次木部の特徴をもつ管状要素しか観察されなかったことから、今後二次木部様の管状要素を誘導する条件の検討が必要である。

トチノキの葉柄部分からカルスを誘導し、活発に増殖する交雑ポプラのカルスとの共存培養を試みた結果、さらに増殖性の良いカルスが得られた。オーキシンである 2,4-D とブラシノステロイドを組み合わせるにより、培養細胞から広い二次壁を有し、壁孔様の構造とは明らかに異なり、細胞壁が部分的に堆積していないせん孔 (perforation) 様の構造が観察された。また、単一の管状要素内に複数のせん孔様の構造を有する細胞も観察された。さらに、らせん肥厚を有する管状要素も誘導された。トチノキの培養細胞は、らせん肥厚やせん孔など複雑な細胞壁構造を有する二次木部様細胞を直接誘導出来ることから、細胞壁階層構造の制御機構を解析する上で優れたモデル系であるといえる。また、樹木の培養細胞から管状要素を直接誘導し、形態や構造を制御する際の植物ホルモンの有効性が明らかになった。

##### (2) 管状要素における細胞骨格の解析

交雑ポプラのカルスに、GFP-MAP4 遺伝子 (微小管観察用) または GFP-ABD2 遺伝子 (アクチンフィラメント観察用) を保有するアグロバクテリウムを散布して共存培養を行った後、カナマイシンを含む培地で形質転換培養細胞を選抜した。選抜した細胞は、低濃度の抗生物質培地に移し替え、安定増殖させた。培養株を共焦点レーザー走査顕微鏡下で観察すると、二次壁が堆積する位置では、GFP-MAP4 遺伝子由来の蛍光シグナルが同じく局在して観察された。また、管状要素分

化中における微小管の挙動を共焦点レーザ走査顕微鏡によりリアルタイムで連続的に解析したところ、GFP-MAP4 遺伝子由来の蛍光シグナルの局在は連続的に変化した。微小管は、細胞の壁孔部分を取り囲むように円状に局在していることから、微小管の配向が、壁孔の形成位置を制御しているといえる。一方、GFP-ABD2 遺伝子由来の蛍光シグナルが原形質系に沿って観察された。また、細胞長軸に平行に配向しているアクチンフィラメントも認められた。細胞壁の階層構造の制御に微小管やアクチンフィラメントなどの細胞骨格の立体的な配向が密接に関与しているといえる。

### (3) 分化中二次木部細胞における細胞骨格の解析

モミ (*Abies firma*)、アカマツ (*Pinus densiflora*)、イチイ (*Taxus cuspidata*) の形成層細胞や分化中二次木部に含まれるアクチンフィラメントや表層微小管の配向や局在を蛍光抗体染色法と共焦点レーザ走査顕微鏡法を組み合わせ可視化した。形成層細胞に含まれるアクチンフィラメントは、細胞軸に沿って配向していた。形成層由来の分化中仮道管におけるアクチンフィラメントの配向も、一次壁形成中と二次壁形成中において細胞軸に沿って配向していた。一方、二次壁形成中において、表層微小管の配向は細胞軸に対して横方向から縦方向に連続的に変化したことから、アクチンフィラメントと表層微小管の配向には密接な関連性がないといえる。一方、アクチンフィラメントの集合体と束状の表層微小管が形成中の有縁壁孔と分野壁孔に局在した。また、ロープ状のアクチンフィラメントがらせん肥厚形成中の仮道管に認められた。したがって、アクチンフィラメントの配向は表層微小管の配向制御には役割を担っていないが、局在は表層微小管の局在の制御、さらにはセルロースミクロフィブリルの局在や配向など細胞壁修飾構造の形成機構に関与しているといえる。

本研究課題の目的は、樹木の培養細胞から二次木部様細胞を高頻度で直接誘導する新規モデル系を確立し、セルロースミクロフィブリルの局在や配向など細胞壁の階層構造を明らかにすることである。本研究の成果により、交雑ポプラやトチノキなどの樹木培養細胞から、細胞全体に堆積する厚い二次壁と有縁壁孔、らせん肥厚、せん孔など複雑な修飾構造を形成する管状要素を安定的に誘導することに成功した。また、植物ホルモン条件などの制御により管状要素への誘導率の向上や細胞形態や構造の制御を行うことが出来た。さらに、カルスから分化中の管状要素や形成層細胞由来のインタクトな二次木部細胞における表層微小管やアクチンフィラメントなど細胞骨格による細胞壁階層構造の制御機構に関する新知見も得られた。得られた知見は、国内や国際学会で多く発表し、論文や著書として広く公開した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Md Hasnat Rahman, Kayo Kudo, Shahanara Begum, Yusuke Yamagishi, Takahiro Muraishi, Satoshi Nakaba, Yuichiro Oribe, Chanhui Lee, Hyun-O Jin, Ryo Funada	4. 巻 39
2. 論文標題 Effects of auxin-transport-inhibitor and defoliation on wood formation in locally-heated <i>Abies homolepis</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IAWA Journal	6. 最初と最後の頁 353-371
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1163/22941932-20170211	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 Rahman, M.H., Nugroho, W.D., Nakaba, S., Kitin, P., Kudo, K., Yamagishi, Y., Begum, S., Marsoem, S.N., Funada, R.	4. 巻 106
2. 論文標題 Changes in cambial activity are related to precipitation patterns in four tropical hardwood species grown in Indonesia	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 American Journal of Botany	6. 最初と最後の頁 760-771
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/ajb2.1297	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 該当する
1. 著者名 Begum, S., Furusawa, O., Shibagaki, M., Nakaba, S., Yamagishi, Y., Yoshimoto, J., Rahman, M.H., Sano, Y., Funada, R.	4. 巻 40
2. 論文標題 Localization of actin filaments and cortical microtubules in wood-forming tissues of conifers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IAWA Journal	6. 最初と最後の頁 703-720
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1163/22941932-40190255	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 Rahman, Md H., Kudo, K., Yamagishi, Y., Nakamura, Y., Nakaba, S., Begum, S., Nugroho, W.D., Arakawa, I., Kitin, P., Funada, R.	4. 巻 10
2. 論文標題 Winter-spring temperature pattern is closely related to the onset of cambial reactivation in stems of the evergreen conifer <i>Chamaecyparis pisifera</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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） 10.1038/s41598-020-70356-9	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 該当する

1. 著者名 Hirano, S., Yamagishi, Y., Nakaba, S., Kajita, S., Funada, R., Horikawa, Y.	4. 巻 251
2. 論文標題 Artificially lignified cell wall catalyzed by peroxidase selectively localized on a network of microfibrils from cultured cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Planta	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) 10.1007/s00425-020-03396-0	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 該当する

〔学会発表〕 計42件(うち招待講演 1件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 伊藤 百花、秋山 佳貴、橋本 彩花、山岸 祐介、半 智史、船田 良
2. 発表標題 トドマツの培養細胞を用いた管状要素分化誘導に関する研究
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 秋山 佳貴、山岸 祐介、中田 了五、半 智史、船田 良
2. 発表標題 トドマツ成熟種子由来の不定胚形成細胞 (ESM) 経由の植物体再生系の確立
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 半 智史、松田 泰至、船田 良、黒田 克史
2. 発表標題 蛍光トレーサーを用いた木部放射組織における物質移動の可視化
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 生越 恵、飯塚 悦司、Peter KITIN、船田 良、半 智史
2. 発表標題 スギにおけるリチドームの形成過程と周皮の3次元的な形態
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮田 晴香、橋田 光、牧野 礼、山下 香菜、安部 久、小林 真、吉田 俊也、高橋 直樹、船田 良、半 智史
2. 発表標題 オニグルミ樹幹に含有するフェノール成分の放射方向での変動と構成成分の化学特性
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Md Hasnat RAHMAN、Satoshi NAKABA、Yusuke YAMAGISHI、Kayo KUDO、Widyanto dwi NUGROHO、Ryo FUNADA
2. 発表標題 Effects of heating and inclination on tension wood formation in ring-porous hardwood <i>Quercus serrata</i>
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三田野 竣太、中村 祐輔、Md Hasnat RAHMAN、半 智史、船田 良
2. 発表標題 スギの樹幹に対する局所的冷却処理が形成層分裂活動に与える影響
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Novena Puteri TIYASA、Satoshi NAKABA、Ryo FUNADA、Widyanto dwi NUGROHO
2. 発表標題 The effects of methyl jasmonate treatment on wood formation of <i>Gyrinops versteegii</i> seedlings
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉永 恵理子、Peter KITIN、半 智史、船田 良
2. 発表標題 オーキシンの移動制御を目的とした剥皮およびNPA塗布処理によるヒノキの木部および形成層細胞の変化
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松田 泰至、黒田 克史、船田 良、半 智史
2. 発表標題 蛍光トレーサーを用いたケヤキの放射組織を經由する物質移動の観察
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 太田 萌、船田 良、半 智史
2. 発表標題 ニセアカシアの心材形成過程における心材成分と細胞内容物の蛍光スペクトルイメージングによる同時観察
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 岩見 佳奈、乃万 了、伴 琢也、松下 泰幸、船田 良、半 智史
2. 発表標題 カキノキ辺材部の黒色化に伴う木部柔細胞の内容物の変化
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯塚 悦司、生越 恵、Peter KITIN、船田 良、半 智史
2. 発表標題 スギの傷害周皮形成過程における傷害からの方向の違いにより生じる解剖学的差異
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田 健汰、半 智史、船田 良
2. 発表標題 ブコウマメザクラの植物組織培養を用いた植物体の再生
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平木 李奈、秋山 佳貴、半 智史、船田 良
2. 発表標題 不定胚を経由したヤツガタケトウヒの植物体再生
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryo FUNADA、Yusuke YAMAGISHI、Shahanara BEGUM、Hasnat RAHMAN、Ugai WATANABE、Kayo KUDO、Widyanto Dwi NUGROHO、Satoshi NAKABA1
2. 発表標題 The roles of microtubules on cell wall formation of wood
3. 学会等名 2018 Joint Convention of SWST and JWRS (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Md Hasnat RAHMAN、Kayo KUDO、Yusuke YAMAGISHI、Widyanto Dwi NUGROHO、Shahanara BEGUM、Yuichiro ORIBE、Satoshi NAKABA、Ryo FUNADA
2. 発表標題 Climatic regulation of cambial activity on the stem of temperate and tropical trees
3. 学会等名 2018 Joint Convention of SWST and JWRS (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi NAKABA、Izumi ARAKAWA、Hikaru MORIMOTO、Yusuke YAMAGISHI、Ryogo NAKADA、Nobumasa BITO、Takanori IMAI、Ryo FUNADA
2. 発表標題 Cytological changes in ray parenchyma cells during artificially induced cell death in <i>Cryptomeria japonica</i>
3. 学会等名 2018 Joint Convention of SWST and JWRS (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三田野 竣太、中村 祐輔、Md Hasnat RAHMAN、半 智史、船田 良
2. 発表標題 ジャスモン酸メチル塗布処理がウラジロモミ苗木の木部形成に与える影響の季節変化
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 住田 愛、飯塚 悦司、荒川 泉、船田 良、半 智史
2. 発表標題 スギ放射組織の細胞間隙に関する解剖学的研究
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤井 拓郎、橋本 彩花、Md Hasnat RAHMAN、山岸 祐介、半 智史、船田 良
2. 発表標題 イチヨウの培養細胞からの管状要素分化誘導に関する研究
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋本 彩花、山岸 祐介、半 智史、船田 良
2. 発表標題 交雑ポプラ培養細胞の管状要素誘導系における細胞壁構造の観察
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深見 泰河、荒川 泉、中田 了五、半 智史、船田 良
2. 発表標題 ドロノキ放射柔細胞の細胞死過程における細胞内容物の変化
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤井 美帆、Widyanto Dwi NUGROHO、安部 久、半 智史、船田 良
2. 発表標題 ドリアン属におけるタイルセルの解剖学的特徴と形態学的特徴
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 椎名 令、船田 良、半 智史、梶田 真也、山本 雅信、岡田 健太、橋本 彩花、平木 李奈、藤井 拓郎
2. 発表標題 ムクロジのカルス誘導およびサポニン生産に関する研究
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩見 佳奈、乃万 了、伴 琢也、荒川 泉、松下 泰幸、船田 良、半 智史
2. 発表標題 カキノキ木部の黒色部位における着色物質の移動経路および木部繊維細胞壁への沈着
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野澤 陽子、平木 李奈、中田 了五、半 智史、船田 良
2. 発表標題 植物組織培養によるイラモミ成熟種子からの植物体再生
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森 惇哉、平木 李奈、橋本 彩花、岡田 健汰、安江 恒、半 智史、船田 良
2. 発表標題 オオヤマレンゲの未成熟種子を用いた組織培養による不定胚形成および植物体再生に関する研究
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Md Hasnat RAHMAN、Satoshi NAKABA、Yusuke YAMAGISHI、Kayo KUDO、Widyanto dwi NUGROHO、Yusuke NAKAMURA、Ryo FUNADA
2. 発表標題 Effects of inclination on tension wood formation in locally heated stem of <i>Quercus serrata</i>
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山岸 祐介、高田 直樹、渡辺 宇外、荒川 圭太、佐野 雄三、半 智史、船田 良
2. 発表標題 交雑ポプラ培養細胞への GFP-TUA6およびLifeact-mCherryの導入による細胞骨格の可視化
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 半 智史、太田 萌、飯塚 悦司、船田 良
2. 発表標題 自家蛍光を用いた蛍光スペクトルイメージングによる放射柔細胞の細胞内容物の可視化条件の検討
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯塚 悦司、Widyanto Dwi NUGROHO、船田 良、半 智史
2. 発表標題 インドネシアに生育する樹木4種における樹皮の組織構造
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 太田 萌、倉橋 慧、四方 俊幸、船田 良、半 智史
2. 発表標題 自家蛍光を用いたニセアカシアの心材成分沈着過程の解析
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯塚悦司、船田 良、半 智史
2. 発表標題 スギの傷害コルク形成層形成過程における師部柔細胞の形態変化
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 Md Hasnat Rahman、Satoshi Nakaba、Yusuke Yamagishi、Kayo Kudo、Widyanto Dwi Nugroho、Yusuke Nakamura、Shunta Mitano、Ryo FUNADA
2. 発表標題 Induction of cambial reactivation and tension wood formation on the locally heated stem of a ring-porous hardwood <i>Quercus serrata</i>
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 三田野竣太、山岸祐介、Md Hasnat Rahman、半 智史、船田 良
2. 発表標題 ジャスモン酸メチル塗布処理によって誘導されるトドマツの傷害樹脂道形成に局所的 加温処理が与える影響
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 野澤陽子、中田了五、半 智史、船田 良
2. 発表標題 トドマツ成熟種子からの不定胚形成細胞を経由した植物体再生
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 Novena Puteri Tiyasa、Satoshi Nakaba、Widyanto Dwi Nugroho、Ryo Funada
2. 発表標題 Effects of plant hormonal treatments on growth and anatomical features of an inclined climbing plant, Wisteria floribunda
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 森 惇哉、安江 恒、半 智史、船田 良
2. 発表標題 オオヤマレンゲの未成熟種子を用いた組織培養による植物体再生および順化に関する研究
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 住田 愛、飯塚悦司、荒川 泉、船田 良、半 智史
2. 発表標題 スギ内樹皮放射組織の細胞間隙における結晶と多糖類の分布
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 柳田彬宏、野澤陽子、森 惇哉、平木李奈、中田了五、半 智史、船田 良
2. 発表標題 エゾマツの成熟種子胚を用いた組織培養による植物体再生に関する研究
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 永田ひかる、藤井拓郎、山岸祐介、半 智史、船田 良
2. 発表標題 交雑ポプラ管状要素誘導における誘導率と細胞形態に与える植物成長調節物質の影響
3. 学会等名 第71回日本木材学会大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 船田 良、半 智史、矢崎健一	4. 発行年 2020年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 235
3. 書名 木本植物の生理生態	



1. 著者名 船田 良、半 智史	4. 発行年 2021年
2. 出版社 海青社	5. 総ページ数 255
3. 書名 木材の化学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京農工大学植物資源形成学 <a href="http://web.tuat.ac.jp/~keisei/">http://web.tuat.ac.jp/~keisei/</a>
--

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	梶田 真也 (Kajita Shinya) (40323753)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授  (12605)	
研究分担者	半 智史 (Nakaba Satoshi) (40627709)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授  (12605)	
研究分担者	渡邊 宇外 (Watanabe Ugai) (70337707)	千葉工業大学・先進工学部・教授  (32503)	

6. 研究組織（つづき）

	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	山岸 祐介  (Yamagishi Yusuke)  (80770247)	北海道大学・農学研究院・助教   (10101)	
研究 分 担 者	堀川 祥生  (Horikawa Yoshiki)  (90637711)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授   (12605)	

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			
インドネシア	ガジヤマダ大学			
バングラデシュ	バングラデシュ農科大学			
米国	ウイスコンシン大学			