

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04527

研究課題名(和文) 樹木の細胞壁高次構造形成機構のリアルタイムイメージング解析

研究課題名(英文) Real-time imaging analysis of highly ordered structure 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) 12,200,000円

研究成果の概要(和文)：再生可能な資源である木質バイオマスの有効利用のためには、細胞壁高次構造の形成機構など樹木の二次木部細胞の分化過程を十分に解明することが不可欠である。そこで本研究課題では、樹木の培養細胞から厚い二次壁と有縁壁孔など複雑な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、管状要素に沈着するリグニンの分布や沈着過程を組織化学的手法や蛍光プローブ法を用いて解析し、リグニンの沈着機構を明らかにした。さらに、微小管の局在の動的変化を共焦点レーザー走査顕微鏡法などで可視化し、微小管の配向や局在が管状要素における複雑な細胞壁高次構造の形成を制御していることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：For the highly utilization of wood biomass, we need to understand the mechanism of differentiation of secondary xylem in trees such as the process of formation of highly ordered structure of cell wall. We developed new in vitro model system that induced directly secondary xylem-like tracheary elements from cultured cells of trees such as hybrid poplar and some conifers. Tracheary elements formed highly developed structure of secondary walls, such as broad regions of thick cell walls, bordered pits and helical thickenings. Using this model system, we analyzed the pattern of lignification in cell walls and cell corners by histochemical techniques. In addition, we analyzed the localization of microtubules using stable expression of genes for microtubule-associated proteins with green fluorescent protein. The microtubules play an important role in the determination of localization of secondary wall.

研究分野：木質科学

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 リグニン 植物ホルモン 生体イメージング

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質バイオマスの高度有効利用は、循環型社会の構築のために重要である。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、木材など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二次木部の分化制御機構、特に細胞壁高次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や分子生物学的知見は十分ではなく、木材の形成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

一次木部細胞の分化制御機構に関しては、モデル植物である *Zinnia* (ヒヤクニチソウ) や *Arabidopsis* (シロイヌナズナ) などを用いて、多くの研究が行われており、優れた成果が得られている。それに対し、樹木の二次木部細胞の分化制御機構に関しては、依然十分な知見は得られていない。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、細胞壁形成機構に関する優れた実験モデル系が確立されていない点があげられる。そのため、樹木がどのような環境制御下で二次木部細胞を形成するかについては情報が十分ではないのが現状である。

そこで本研究課題では、申請者らが発見した、仮道管や道管要素などに形態が類似した二次木部様細胞を樹木の培養細胞から直接誘導する新規モデル系を用いて、細胞壁構造を明らかにする。特に、セルロースマイクロフィブリルの局在・配向やリグニンの分布の制御機構など細胞壁高次構造の形成機構を、リアルタイムイメージング技術を駆使して明らかにし、木材の形成機構の新しい知見を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

交雑ポプラやスギ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、オーキシンやサイトカイニンなどの植物ホルモンを添加して、カルスを増殖させた。増殖させたカルスの培地条件を網羅的に検討し、二次木部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。

誘導された管状要素を、フロログルシン塩酸反応やモイレ反応などにより染色し、細胞壁に沈着したリグニンの分布や化学構造を解析した。また、固定した管状要素を樹脂包埋し、薄片を作成後、紫外線顕微鏡で観察して、リグニンの局在を解析した。さらに、蛍光プローブを結合させたモノリグノール

を管状要素に与え、リグニンの沈着過程を可視化した。蛍光標識したモノリグノールは、京都大学生存圏研究所の梅澤俊明・教授と飛松裕基・准教授から供与して戴いた dimethylaminocoumarin (DMAC) または nitrobenzofuran (NBD) が結合したコニフェリルアルコール (CA) 誘導体である DMAC-CA と NBD-CA dimethylaminocoumarin (DMAC) を用いた。

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、微小管の配向や局在を明らかにした。

4. 研究成果

交雑ポプラのカルスに脱オーキシン処理などを行い、管状要素の誘導を行った。各種顕微鏡を用いて細胞の形態や構造を調べたところ、厚い二次壁の局所的な堆積が認められた。また、有縁壁孔など複雑な高次構造を有し、仮道管や道管要素などに形態が類似した二次木部様細胞の細胞を培養細胞から直接誘導することに成功した (図1)。

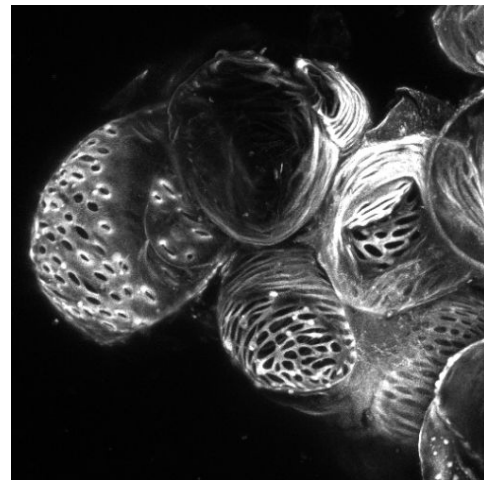


図1 交雑ポプラ培養細胞から直接分化した管状要素。厚い二次壁や有縁壁孔など複雑な細胞壁高次構造を形成する。

ポプラ培養細胞の誘導条件を詳細に検討したところ、管状要素への誘導率の向上には植物ホルモンであるオーキシンとブラシノステロイド両者の相互作用が重要であった。また、部分的な乾燥処理が厚い二次壁と有縁壁孔など複雑な構造を有する二次木部様細胞への誘導率を向上させること、など二次木部様細胞への直接誘導系の最適条件に関する新知見を得た。

交雑ポプラ培養細胞からの管状要素の誘導におけるオーキシンの重要性をさらに明らかにするため、1-ナフチルフタラミン酸 (NPA) やトリヨード安息香酸 (TIBA) などオーキシ

ン輸送阻害剤の処理を行ったところ、管状要素の誘導率が阻害剤を含まない培地のカルスに比べ有意に低くなった。また、オーキシン輸送阻害剤を高濃度で添加した培地上で誘導された管状要素の大きさは、阻害剤を含まない培地で誘導された管状要素と比較して有意に低い値を示した。一定以上の大きさをもつ管状要素が、オーキシン輸送阻害剤を添加した培地で培養したカルスからは誘導されなかったためと考えられる。したがって、オーキシンの極性輸送は交雑ポプラカルスから管状要素分化への誘導と細胞の拡大に重要であることが明らかになった。

in vitro 管状要素誘導系における管状要素のリグニン沈着分布の解析を組織化学的手法で行った。管状要素誘導前には、リグニンの沈着は観察されなかったが、誘導培地に移してから、時間が経過するにつれて、木化した細胞やセルコーナーが増加した。管状要素においては、リグニンの沈着は、二次壁の内腔側から開始した。また、リグニンの沈着は、各細胞単独で進行した(図2)。

管状要素に隣接する細胞にリグニンが多い傾向は観察されなかったが、管状要素誘導系においても、セルコーナーにリグニンが沈着した。また、管状要素の木化がセルコーナーのリグニン沈着より先に起こる傾向が認められた。管状要素の木化は、周囲の細胞やセルコーナーの木化に関わらず進行した。リグニンの沈着過程が細胞壁とセルコーナーでは異なることから、リグニンの沈着は、空間的な制限があることや他の細胞が関わっている可能性が考えられる。

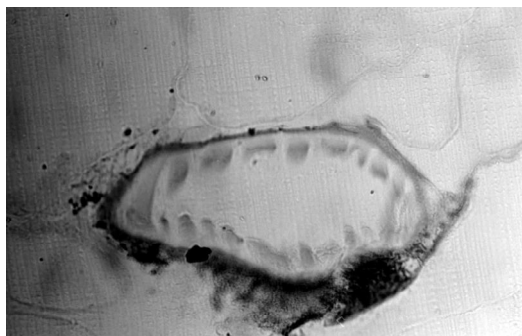


図2 交雑ポプラ培養細胞から直接分化した管状要素と管状要素以外の細胞の紫外線顕微鏡写真。管状要素に分化した細胞の厚い二次壁にリグニン由来の紫外線の強い吸収が認められる。

蛍光プローブを結合させたモノリグノール(DMAC-CAおよびNBD-CA)を与えたポプラ培養細胞由来の管状要素において、強い蛍光が観察された。管状要素においても、リグニン重合に関わる酵素が存在し、培地中のモノリグノールを利用してリグニンの生合成が行われ、二次壁中に沈着したといえる。さらに、管状要素の周囲のセルコーナーにも蛍光

が観察され、セルコーナーの木化にも外生的に処理したモノリグノールが利用されたといえる。蛍光標識したモノリグノールが実際に交雑ポプラ培養細胞の細胞壁に取り込まれたため、蛍光プローブを利用した本実験系は、二次木部様細胞の木化過程を in vitro で解析できる新しいモデル系として有効であるといえる。

GFP 融合タンパク質を発現させた交雑ポプラ培養細胞を用いて、管状要素分化中における微小管の挙動を共焦点レーザー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、微小管由来の蛍光シグナルの局在は連続的に変化した。二次壁が堆積する位置では、微小管由来の蛍光シグナルが同じく局在して観察された。微小管の配向や局在とセルロースマイクロフィブリルの配向や局在が一致したことから、細胞骨格である微小管の配向や局在が、細胞壁の複雑な高次構造の形成を制御しているといえる。

本研究の目的は、樹木の培養細胞から直接二次木部様細胞を誘導する新規モデル系を確立し、セルロースマイクロフィブリルの局在・配向やリグニンの分布など細胞壁の高次構造を明らかにすることである。本研究の成果により、交雑ポプラやスギなど針葉樹の培養細胞から、厚い二次壁と有縁壁孔など複雑な高次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、植物ホルモン条件や生育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・構造の制御を行うことが出来た。さらに、管状要素におけるリグニンの沈着過程や微小管による細胞壁高次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

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 12件)

1) Nugroho, W.D., Nakaba, S., Yamagishi, Y., Begum, S., Rahman, M.H., Kudo, K., Marsoem, S.N., Funada, R.: Stem gravitropism and tension wood formation in *Acacia mangium* seedlings inclined at various angles. *Annals of Botany* (2018, in press; DOI 10.1093/aob/mcy056). (査読有り)

2) Arakawa, I., Funada, R., Nakaba, S.: Changes in the morphology and functions of vacuoles during the death of ray parenchyma cells in *Cryptomeria japonica*, *Journal of Wood Science*, 64, 177-185 (2018). (査読有り)

3) Kudo, K., Utsumi Y., Kuroda, K., Yamagishi, Y., Nabeshima E., Nakaba, S., Yasue, K., Takata, K., Funada, R.:

Formation of new networks of earlywood vessels in seedlings of the deciduous ring-porous hardwood *Quercus serrata* in springtime, **Trees**, 32, 725-734 (2018). (査読有り)

4) Begum, S., Kudo, K., Rahman, Md H., Nakaba, S., Yamagishi, Y., Nabeshima, E., Nugroho, D.W., Oribe, Y., Kitin, P., Jin H.O., Funada, R.: Climate change and the regulation of wood formation in trees by temperature, **Trees**, 32, 3-15 (2018). (査読有り)

5) Oribe, Y., Funada, R.: Locally heated dormant cambium can re-initiate cell production independently of new shoot growth in a deciduous conifer, *Larix kaempferi*, **Dendrochronologia**, 46, 14-23 (2017). (査読有り)

6) Yamagishi, Y., Yoshimoto, J., Ide, S., Nakaba, S., Watanabe, U., Funada, R.: Partial desiccation enhances induction of secondary xylem-like tracheary elements from calli of hybrid poplar (*Populus sieboldii* x *P. grandidentata*), **Trees**, 31, 1083-1089 (2017). (査読有り)

7) Nakaba, S., Morimoto, H., Arakawa, I., Yamagishi, Y., Nakada, R. Funada, R.: Responses of ray parenchyma cells to wounding differ between earlywood and latewood in the sapwood of *Cryptomeria japonica*, **Trees**, 31, 27-39 (2017). (査読有り)

8) Rahman, Md.H., Begum, S., Nakaba, S., Yamagishi, Y., Kudo, K., Nabeshima, E., Nugroho, W.D., Oribe, Y., Funada, R.: Relationship between the earlywood-to-latewood transition and changes in levels of stored starch around the cambium in locally heated stems of the evergreen conifer *Chamaecyparis pisifer*, **Trees**, 30, 1619-1631 (2016). (査読有り)

9) Nakaba, S., Arakawa, I., Morimoto, H., Nakada, R., Bitto, N., Imai, T., Funada, R.: Agatharesinol biosynthesis-related changes of ray parenchyma in sapwood sticks of *Cryptomeria japonica* during cell death, **Planta**, 243, 1225-1236 (2016). (査読有り)

10) Nakaba, S., Hirai, A., Kudo, K., Yamagishi, Y., Yamane, K., Kuroda, K., Nugroho, W.D., Kitin, P., Funada, R.: Cavitation of intercellular spaces is critical to establishment of hydraulic properties of compression wood of *Chamaecyparis obtusa* seedlings, **Annals of Botany**, 117, 457-463 (2016). (査読有り)

11) Begum, S, Kudo, K., Matsuoka, Y., Nakaba, S., Yamagishi, Y., Nabeshima, E., Rahman, Md.H., Nugroho, W.D., Oribe, Y., Jin, H.O., Funada, R.: Localized cooling

of stems induces latewood formation and cambial dormancy during seasons of active cambium in conifers, **Annals of Botany**, 117, 465-477 (2016). (査読有り)

12) Kudo, K., Yasue, K., Hosoo, Y., Funada, R.: Relationship between formation of earlywood vessels and leaf phenology in two ring-porous hardwoods, *Quercus serrata* and *Robinia pseudoacacia*, in early spring, **Journal of Wood Science**, 61, 455-464 (2015). (査読有り)

〔学会発表〕(計 36件)

1) 山岸祐介、鎌田 裕、荒川圭太、佐野雄三、工藤佳世、半 智史、船田 良: トチノキ培養細胞を用いたせん孔をもつ管状要素の分化誘導、第68回日本木材学会大会、京都府立大学(京都) 2018年3月14日。

2) MD Hasnat Rahman, Widyanto Dwi Nugroho, Satoshi Nakaba, Yusuke Yamagishi, Shahanara Begum, Sri Nugroho Marsoem, Ryo Funada: Wood formation in tropical trees: understanding the changes in cambial activity in relation to the rainfall pattern in hardwood trees grown in Yogyakarta, Java Island, Indonesia, 第68回日本木材学会大会、京都府立大学(京都) 2018年3月14日。

3) 半 智史、船田 良: 心材形成過程の解析への自家蛍光を用いたスペクトルイメージングの応用、第68回日本木材学会大会、京都府立大学(京都) 2018年3月14日。

4) 工藤佳世、織部雄一郎、Rahman Md Hasnat、山岸祐介、半 智史、船田 良、高田克彦: 休眠期コナラ苗木樹幹に対する局所的加温とオーキシンの塗布の複合処理が木部形成に与える影響、第68回日本木材学会大会、京都府立大学(京都) 2018年3月14日。

5) 北見夏海斗、Widyanto Dwi Nugroho、半 智史、船田 良: チークの引張あて材における組織学的特徴の解析、第68回日本木材学会大会、京都府立大学(京都) 2018年3月14日。

6) 藤井美帆、Widyanto Dwi Nugroho、安部 久、半 智史、船田 良: ドリアン属のタイルセルの解剖学的特徴とその分化過程、第68回日本木材学会大会、京都府立大学(京都) 2018年3月14日。

7) 吉田裕子、山岸祐介、飛松裕基、梅澤俊明、半 智史、船田 良: 蛍光プローブによるポプラ培養細胞の管状要素誘導系におけるリグニン沈着の可視化、第68回日本木材学会大会、京都府立大学(京都) 2018年3月14日。

8) 葭葉 司、平野 優、小林 元、安江 恒、半 智史、船田 良: 枝打ちがヒノキの早晚材付近の仮道管形態に与える影響、第68回日本木材学会大会、京都府立大学(京都) 2018年3月14日。

9) 吉永恵理子、Peter Kitin、半 智史、船田 良: オーキシンの移動の制御を目的とした剥皮およびNPA塗布処理による形成層細胞

の変化、第68回日本木材学会大会、京都府立大学(京都) 2018年3月14日.

10) 秋山佳貴、塚田健太郎、山岸祐介、中田了五、半智史、船田良: トドマツ不定胚形成細胞(ESM)からの不定胚形成および植物体再生に関する研究、第68回日本木材学会大会、京都府立大学(京都) 2018年3月14日.

11) 塚田健太郎、岡田健汰、半智史、船田良、山岸祐介、田端雅進: ウルシの種子を用いた組織培養による植物体再生に関する研究、第68回日本木材学会大会、京都府立大学(京都) 2018年3月14日.

12) 平木李奈、秋山佳貴、塚田健太郎、吉田裕子、Nuoendagula, 梶田真也、半智史、船田良: ゲッケイジュのカルス培養およびオイゲノールの分析に関する研究、第68回日本木材学会大会、京都府立大学(京都) 2018年3月14日.

13) 岡田健汰、塚田健太郎、吉田裕子、Md Hasnat Rahman、田端雅進、船田良、半智史: ウルシの種子からのカルス誘導と有用物質の解析、第68回日本木材学会大会、京都府立大学(京都) 2018年3月14日.

14) 船田良、山岸祐介、半智史: 樹木木部細胞壁の形成機構、平成29年度セルロース学会北海道・東北支部セミナー、北海道大学(札幌) 2018年2月20日.

15) Izumi Arakawa, Koh Yasue, Ryo Funada, Satoshi Nakaba: Initiation of starch accumulation in ray parenchyma cells in *Larix kaempferi*, The 9th Pacific Regional Wood Anatomy Conference, Bali (Indonesia), 2017年9月26日

16) Kayo Kudo, Yuichiro Oribe, Shahanara Begum, Yusuke Yamagishi, Eri Nabeshima, Md Hasnat Rahman, Satoshi Nakaba, Katsuhiko Takata, Ryo Funada: The pattern of location of the first earlywood vessels in the current year's xylem in a ring-porous hardwood, *Quercus serrata*, The 9th Pacific Regional Wood Anatomy Conference, Bali (Indonesia), 2017年9月26日

17) Yusuke Yamagishi, Yutaka Kamada, Kayo Kudo, Satoshi Nakaba, Yuzou Sano, Ryo Funada: Tracheary elements in calli of Japanese horse chestnut (*Aesculus turbinata*) form perforation plates like structures, The 9th Pacific Regional Wood Anatomy Conference, Bali (Indonesia), 2017年9月26日

18) Ryo Funada, Md Hasnat Rahman, Shahanara Begum, Kayo Kudo, Yusuke Yamagishi, Eri Nabeshima, Widyanto Dwi Nugroho, Sri Nugroho Marsoem, Yuichiro Oribe, Satoshi Nakaba: Regulation of cambial activity in trees: the role of temperature and precipitation, The 9th Pacific Regional Wood Anatomy Conference, Bali (Indonesia), 2017年9月26日

19) Megumi Ohse, Ryo Funada, Satoshi Nakaba: Sequential analysis of rhytidome formation in *Cryptomeria japonica*, *Quercus serrata* and *Cercidiphyllum japonicum*, The 9th Pacific Regional Wood Anatomy Conference, Bali (Indonesia), 2017年9月26日

20) 荒川 泉、安江 恒、船田 良、半智史: カラマツ放射柔細胞の分化過程とデンプン貯蔵機能発現の関連性、第67回日本木材学会大会、九州大学(福岡) 2017年3月17日.

21) 山岸祐介、鎌田 裕、工藤佳世、半智史、船田良、荒川圭太、佐野雄三: 交雑ポプラ培養細胞を用いた in vitro 管状要素誘導に合成オーキシン NAA および 2,4-D が及ぼす影響、第67回日本木材学会大会、九州大学(福岡) 2017年3月17日.

22) 村石貴彦、工藤佳世、山岸祐介、Widyanto Dwi Nugroho, 船田良、半智史: ジベレリンおよびブラシノステロイド処理によるヤチダモおよびヤマザクラの引張あて材様組織の誘導に関する研究、第67回日本木材学会大会、九州大学(福岡) 2017年3月17日.

23) 中村祐輔、Md Hasnat Rahman、半智史、Shahanara Begum、船田良: サワラ樹幹に対する局所的な冷却処理やヒノキ苗木に対する水分制限処理が形成層細胞の分裂活動や木部分化過程に対して与える影響、第67回日本木材学会大会、九州大学(福岡) 2017年3月17日.

24) 秋山佳貴、塚田健太郎、吉田裕子、山岸祐介、中田了五、半智史、船田良: トドマツ成熟種子由来の不定胚形成細胞を経由した植物体再生に関する研究、第67回日本木材学会大会、九州大学(福岡) 2017年3月17日.

25) 塚田健太郎、井上涼平、山岸祐介、沈 昱東、平野 優、安江 恒、田端雅進、半智史、船田良: ウルシとオオヤマレンゲの種子を用いた組織培養による PEMs 誘導に関する報告、第67回日本木材学会大会、九州大学(福岡) 2017年3月17日.

26) 吉田裕子、山岸祐介、半智史、船田良: 交雑ポプラ培養細胞の管状要素誘導系におけるリグニン沈着過程の解析、第67回日本木材学会大会、九州大学(福岡) 2017年3月17日.

27) Md Hasnat Rahman, Shahanara Begum, Kayo Kudo, Takahiro Muraishi, Yusuke Yamagishi, Satoshi Nakaba, Ryo Funada: Effects of the application of exogenous auxin and defoliation on cambial reactivation and xylem differentiation in locally heated stems of *Abies homolepis* seedlings, 第67回日本木材学会大会、九州大学(福岡) 2017年3月17日.

28) 山岸祐介、吉田裕子、渡辺宇外、半智史、船田良、荒川圭太、佐野雄三: 交雑ポ

プラカルスにおける二次木部様管状要素の分化、第34回日本植物細胞分子生物学会大会、信州大学(上田)、2016年9月19日。

29) Ryo Funada, Shahanara Begum, Kayo Kudo, Md Hasnat Rahman, Yusuke Yamagishi, Eri Nabeshima, Widyanto Dwi Nugroho, Yuichiro Oribe, Satoshi Nakaba: Regulation of wood formation in trees: the role of temperature in cambial activity, International Academy of Wood Science Meeting, Paris (France), 2016年6月3日
30) Md Hasnat Rahman, Kayo Kudo, Yusuke Yamagishi, Shahanara Begum, Michito Hosaka, Satoshi Nakaba, Ryo Funada: The effects of defoliation and auxin transport inhibitor, N-(1-Naphthyl)phthalamic acid (NPA) on cambial reactivation and formation of earlywood tracheids in locally heated stems of *Abies homolepis* seedlings, The Annual Meeting of Korean Society of Wood Science & Technology, Seoul (Korea), 2016年4月15日

31) 山岸祐介、吉田裕子、工藤佳世、半智史、船田良、荒川圭太、佐野雄三: 交雑ポプラ培養細胞を用いた in vitro 管状要素誘導へのオーキシン輸送阻害剤処理の影響、第66回日本木材学会大会、名古屋大学(名古屋)、2016年3月27日。

32) Md Hasnat Rahman, Kayo Kudo, Yusuke Yamagishi, Shahanara Begum, Michito Hosaka, Satoshi Nakaba, Ryo Funada: The effects of defoliation and auxin transport inhibitor, N-(1-Naphthyl)phthalamic acid (NPA) on cambial reactivation and formation of earlywood tracheids in locally heated stems of *Abies homolepis* seedlings、第66回日本木材学会大会、名古屋大学(名古屋)、2016年3月27日。

33) 村石貴彦、工藤佳世、山岸祐介、Widyanto Dwi Nugroho、船田良、半智史: プラシノステロイド生合成阻害剤がヤマザクラの引張あて材形成に与える影響、第66回日本木材学会大会、名古屋大学(名古屋)、2016年3月27日。

34) 吉田裕子、井出寿々加、吉本靖東、山岸祐介、渡辺陽子、佐野雄三、梶田真也、半智史、船田良: ポプラ培養細胞の管状要素分化誘導系を用いたリグニン沈着過程に関する研究、第66回日本木材学会大会、名古屋大学(名古屋)、2016年3月27日。

35) 栢野旭代、山岸祐介、小口あずさ、岡加奈子、朴仁善、戸丸信弘、半智史、船田良: コブシおよびシデコブシの種子由来の不定胚形成細胞を経由した植物体再生における受粉およびオーキシン濃度の影響、第66回日本木材学会大会、名古屋大学(名古屋)、2016年3月27日。

36) 塚田健太郎、栢野旭代、保坂路人、小口あずさ、井上涼平、山岸祐介、Yudong Shen、安江恒、田端雅進、半智史、船田良:

ウルシとオオヤマレンゲの種子を用いた組織培養による植物体再生、第66回日本木材学会大会、名古屋大学(名古屋)、2016年3月27日。

〔図書〕(計 2件)

1) Funada, R., Yamagishi, Y., Begum, S., Kudo, K., Nabeshima, E., Nugroho, W.D., Oribe, Y., Nakaba, S.: Xylogenesis in trees: from cambial cell division to cell death. In: Kim, Y.S., Funada, R., Singh, A. (eds.) Secondary Xylem Biology, Academic Press, p.25-43 (2016).

2) 船田良: あて材の科学 -樹木の重力応答と成長政略-、海青社、大津 p.267-275 (2016)。

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.tuat.ac.jp/~keisei/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

船田良 (Funada Ryo)
東京農工大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号: 20192734

(2) 研究分担者

梶田真也 (Kajita Shinya)
東京農工大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号: 40323753

半智史 (Nakaba Satoshi)
東京農工大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号: 40627709

渡辺宇外 (Watanabe Ugai)
千葉工業大学・先進工学部・准教授
研究者番号: 70337707