

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25252032

研究課題名(和文)クライオ顕微二次イオン質量分析が拓く木質科学の新展開

研究課題名(英文)Development of wood science by cryo-TOF-SIMS

研究代表者

福島 和彦 (Fukushima, Kazuhiko)

名古屋大学・生命農学研究科・教授

研究者番号：80222256

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,300,000円

研究成果の概要(和文)：飛行時間型二次イオン質量分析(TOF-SIMS)を主軸として、相乗効果の期待される定量化学分析手法、微小試料採取法、そして多変量解析法を組み込んだ多角的分析法を発展させ、凍結水和試料を含む様々な分析対象へと適用した。低分子水溶性成分や無機金属といった化合物の植物体内における位置、水系反応系における特定成分の挙動を顕微可視化した。生体組織をはじめとする様々な機能発現系の解析手法として多くの成果を得た。

研究成果の概要(英文)：Versatile analytical method was developed based on the synergistic utilization of time-of-flight secondary ion mass spectrometry (TOF-SIMS) and quantitative chemical analysis, laser microdissection to collect microscopic samples, and/or multivariate analysis. The developed method was applied to various samples including frozen-hydrated biomaterials. Low-molecular and water-soluble compounds and inorganic metal ions are effectively visualized by the developed method using (cryo-)TOF-SIMS. Obtained remarkable results should provide new insights beyond the field of wood sciences.

研究分野：木質科学

キーワード：リグニン 飛行時間型二次イオン質量分析 急速凍結 定量分析 定性分析 多変量解析

### 1. 研究開始当初の背景

近年、生体組織あるいは複合材料についての研究では、それらが有する様々な成分の構造と、機能・物性を如何に結びつけるかが課題となってきた。しかしながら混在する微量成分が系内のどこに・どれだけ存在し、どのように機能・物性発現に貢献しているのかを評価するのは難しい。これは、その系が機能発現できる状態を維持したまま分析するためには、状態凍結技術、微量成分を検出できる感度、多種成分の同時解析、および膨大なデータ処理など、解決しなければならないハードルが多数存在するためである。

飛行時間型二次イオン質量分析 (TOF-SIMS) は数 nm の深さ分解能を持つ優れた表面分析手法であり、様々な成分の顕微レベルでの可視化を実現する。しかしながらその感度は対象成分の周囲環境や表面立体形状などの影響を受けやすく、概して定量は困難である。さらに高真空下での分析となるため、凍結水和試料を用いた分析報告はほとんどなかった。

これまでに代表者は、生体組織内の成分分布について、放射性同位体トレーサー法、顕微分光法、そして TOF-SIMS を用いて様々な成果を発表してきた。特に、高い検出感度で多種成分の同時マッピングが可能な TOF-SIMS について、独自設計による低温凍結技術との融合を実現し、世界初の完全密閉型分析システムを開発した。当該システムでは TOF-SIMS・走査電子顕微鏡 (SEM) ならびにミクロトーム・グローブボックスがすべて低温環境で連結されており、凍結試料の表面切削、cryo-TOF-SIMS 分析、cryo-SEM 観察を連続的に行うことが可能である。当該 cryo-TOF-SIMS/SEM システムを用いることで、生体組織あるいは含水反応系を凍結したまま分析することが可能である。

ここで生体成分あるいは水溶性成分の分布データに加えて量的評価、状態の評価が可能となれば、生体組織をはじめとした様々な機能発現系の解析手法として多分野に大きく貢献できると考えた。

### 2. 研究の目的

以上の背景を踏まえて本研究では、TOF-SIMS と他分析手法との組み合わせによって、得られる情報の種類を増やし、凍結水和試料を対象とした定量・定性・状態解析技術として確立することで、木質科学をはじめとした様々な分野に新たな展開をもたらすことを目的とした。

### 3. 研究の方法

TOF-SIMS 分析との相乗効果が期待される定量分析手法、微小試料採取法、そして多変量解析法を組み込んだ多角的分析法を用いて、植物内における様々な生体成分の分布を明らかにし、木質の形成機構ならびに水系反応機構の解明に取り組む。

### 4. 研究成果

#### (1) 木質の形成

##### リグニン前駆体分布と木化段階の相関

リグニンはモノリグノールと呼ばれる前駆体が重合することで形成される。植物中においてモノリグノールに至る代謝経路は複雑である。さらにモノリグノールにグルコースの結合したモノリグノールグルコシドがリグニンに至る前駆体であるか否かは議論的であった。植物界において最も普遍的に存在するリグニングアイアシル核の前駆体であるコニフェリルアルコールにおいては、その配糖体であるコニフェリンが多くの植物から検出されているにも関わらず、その役割について意見が分かれていた。しかしながらコニフェリンは水溶性低分子化合物であり、植物体内における分布を顕微レベルで可視化することは難しい。

これまでに、同位体で標識したコニフェリンを植物に投与すると、通常の木化段階に矛盾することなく標識元素がリグニン中へと取り込まれることがわかっている。そこで凍結した植物内のケミカルマッピングが可能で当該分析システムを用いることで、植物内におけるコニフェリンの分布について、顕微レベル可視化を行った (図 1)。試料としてイチョウを用いた。結果より、コニフェリンは形成層帯から分化中木部にかけて貯蔵されており、最も活発なリグニン沈着 (バルク木化) の開始されるタイミングにおいて、見た目の貯蔵量が急減することを見出した。同位体標識コニフェリンの投与実験より、木化中の細胞にコニフェリンが与えられればリグニンへと取り込まれることが明らかとなっていること、さらに天然のコニフェリンが木化中細胞において検出されたことから、コニフェリンがリグニンの前駆体として働いていることが明らかとなった。

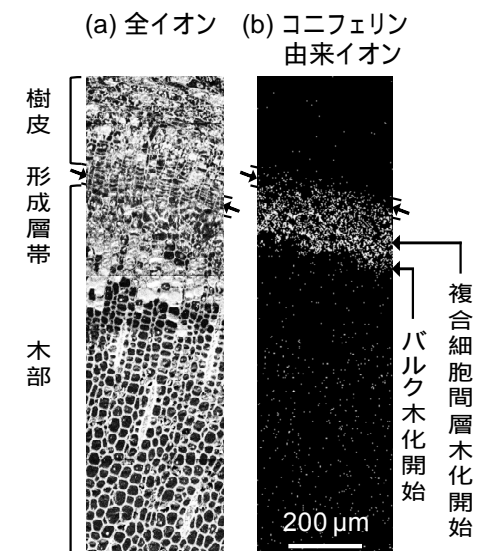


図 1 凍結イチョウ樹幹内のコニフェリンの分布。コニフェリンは形成層帯から分化中木部にかけて仮道管内に貯蔵され、バルク木化開始時に急減する。

### 放射組織の木化

植物内において放射方向の物質輸送をつかさどる放射組織は、細胞死の様式およびタイミングが他組織とは異なっている。その細胞壁には紫外線吸収性の化合物が沈着することがわかっているが、この化合物に関する結論は出ていなかった。

そこでアカマツに対してTOF-SIMSによる顕微化学分析を行ったところ、放射組織細胞壁において、時間の経過と共にリグニン由来のフラグメントイオンが増大することを確認した。さらに、レーザーマイクロダイセクション法による微小組織の収集ならびに定量化学分析を用いることで、TOF-SIMSの問題点としてあげられる定量性の担保を検討した。結果より、リグニン由来の構造が有意な差をもって増大傾向にあること(図2)が明らかとなった。類似組織を対象とした相对比较において、TOF-SIMSが有力な半定量顕微化学分析手法と成り得ることが示された。

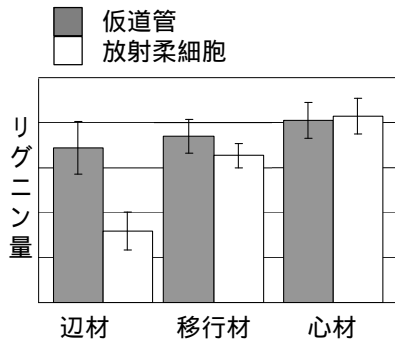


図2 アカマツ仮道管および放射柔細胞のTOF-SIMS分析によるリグニン量の評価

### (2) 水溶性成分の特異な分布可視化 アルカロイド

特異な化学特性を有する微量成分としてアルカロイドがある。その役割解明には植物内における具体的な分布・貯蔵の可視化が重要である。本研究課題ではコブシ中に含まれる四級アンモニウムアルカロイドのサリシホリンを対象として、その分布を可視化した。サリシホリンはTOF-SIMS分析における感度が非常に高く、低濃度であるにもかかわらず明瞭な分布図(図3)が得られた。これはサリシホリンのカチオン性構造に由来する結果である。さらにサリシホリンは、放射組織および道管内においても検出され、植物体内を縦横に輸送されている可能性が示唆された。今後、植物体内におけるアルカロイドの挙動に関する議論の進展が望まれる。



図3 凍結コブシ樹幹内のサリシホリンの分布。樹皮に多いが木部では放射組織にあり、一部の道管からも検出された。

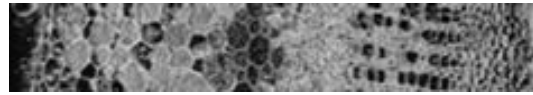
### 無機金属

植物体内には様々な無機金属が存在しており、イオンあるいは非イオンとして重要な働きを担っている。しかしながら特にイオン性を有し、低濃度に存在する無機金属種を顕微可視化することは難しい。

無機金属種は本質的に有機物よりもイオン化しやすく、TOF-SIMS分析において高感度に検出しやすい。本研究課題では植物内における無機金属種の動態可視化を目的として実験を行った。

酸性土壌条件下で植物への毒性が問題となるアルミニウムについて、土壌pHの変化が植物内の無機金属分布に与える影響を調査した(図4)。試料としてアルミニウムへの耐性を有するアジサイを用いた。結果より、アルミニウム以外の無機金属における分布にも変化が生じている可能性が示唆された。

#### (a) 全イオン



#### (b) Alイオン



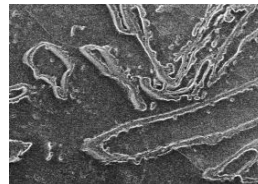
図4 凍結アジサイ茎中におけるアルミニウムの分布。

### (3) 水系反応機構の解明

木質バイオマスの化学的利用法のひとつとしてパルプ化工程がある。パルプ化は長い歴史を有するプロセスであり、様々な化学物質を利用しているものの、それらの詳細な挙動については不明な点も多い。本研究課題ではカチオン性およびアニオン性の添加剤について、パルプ化工程内における挙動を明らかにすることを目的として実験を行った。

結果より、カチオン性とアニオン性の添加剤では、繊維に対する挙動が全く異なることが明らかになった。図5にはアニオン性の例を示す。アニオン性添加剤は細胞壁内に侵入し、溶媒交換を促進する役割があることが示唆された。

#### (a) Cryo-SEM



#### (b) アニオン性添加剤



図5 凍結パルプ懸濁液中におけるアニオン性添加剤の分布。

## 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 24 件)

1. P. Zheng, S. Yagami, D. Aoki, M. Yoshida, Y. Sano, Y. Matsushita, K. Fukushima(査読有), Chemical composition and its alteration of gums in vessels of *Phellodendron amurense*, *Holzforschung*, **71**, 969–976 (2017) DOI: 10.1515/hf-2017-0057
2. 高部圭司, 福島和彦(査読無), 特集: バイオリファイナリーにおけるリグニン利用の課題と展望 リグニンの分布と構造解析, 日本エネルギー学会機関誌 えねるみくす, **96**, 344–350 (2017) [http://www.jie.or.jp/journal/journal\\_top.htm](http://www.jie.or.jp/journal/journal_top.htm)
3. W. Okumura, D. Aoki, Y. Matsushita, M. Yoshida, and K. Fukushima(査読有), Distribution of salicifoline in freeze-fixed stem of *Magnolia kobus* as observed by cryo-TOF-SIMS, *Sci. Rep.*, **7**, Article number: 5939 (2017) DOI: 10.1038/s41598-017-06444-0
4. P. Zheng, T. Ito, D. Aoki, S. Sato, M. Yoshida, Y. Sano, Y. Matsushita, K. Fukushima, K. Yoshida(査読有), Determination of inorganic element distribution in freeze-fixed stem of Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>-treated *Hydrangea macrophylla* by cryo-TOF-SIMS and ICP-AES, *Holzforschung*, **71**, 471–480 (2017) DOI:10.1515/hf-2016-0149
5. K. Tokugawa, D. Aoki, R. Asai, Y. Matsushita, M. Ishiguro, Y. Noda, K. Fukushima(査読有), Behavioural analysis of a nonionic detergent in the kraft pulp washing process using cryo-time-of-flight secondary ion mass spectrometry and cryo-scanning electron microscopy, *J. Wood. Sci.*, **63**, 281–287 (2017) DOI:10.1007/s10086-017-1618-3
6. D. Aoki, R. Asai, R. Tomioka, Y. Matsushita, H. Asakura, M. Tabuchi, K. Fukushima(査読有), Translocation of <sup>133</sup>Cs administered to *Cryptomeria japonica* wood, *Sci. Total Environ.*, **584–585**, 88–95 (2017) DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.01.159
7. B. Mangindaan, Y. Matsushita, D. Aoki, S. Yagami, F. Kawamura, K. Fukushima(査読有), Analysis of distribution of wood extractives in *Gmelina arborea* by gas chromatography and time-of-flight secondary ion mass spectrometry, *Holzforschung*, **71**, 299–305 (2017) DOI:10.1515/hf-2016-0129
8. 辻 亮平, 福島和彦, 藤原大介(査読無), 発泡酒製造の副産物に含まれている宝の山 免疫賦活作用のあるリグニン・多糖結合体の発見, *化学と生物*, **54**, 237–239 (2016) [https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu/54/4/54\\_237/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu/54/4/54_237/_article/-char/ja/)
9. Y. Matsushita, A. Nakamura, D. Aoki, S. Yagami, K. Fukushima(査読有), Bio-based polymer from ferulic acid by electropolymerization, *BioResources*, **11**, 9789–9802 (2016) DOI: 10.15376/biores.11.4.9789-9802
10. T. Jyske, K. Kuroda, J.-P. Suuronen, A. Pranovich, S. Roig-Juan, D. Aoki, K. Fukushima(査読有), In planta localization of stilbenes within *Picea abies* phloem, *Plant Physiol.*, **172**, 913–928 (2016) DOI: 10.1104/pp.16.00990
11. D. Aoki, Y. Hanaya, T. Akita, Y. Matsushita, M. Yoshida, K. Kuroda, S. Yagami, R. Takama, K. Fukushima(査読有), Distribution of coniferin in freeze-fixed stem of *Ginkgo biloba* L. by cryo-TOF-SIMS/SEM, *Sci. Rep.*, **6**, 31525; doi: 10.1038/srep31525 (2016). DOI: 10.1038/srep31525
12. P. Zheng, D. Aoki, Y. Matsushita, S. Yagami, Y. Sano, M. Yoshida, K. Fukushima(査読有), Lignification of ray parenchyma cells (RPCs) in the xylem of *Phellodendron amurense* Rupr.: quantitative and structural investigation by TOF-SIMS and thioacidolysis of laser microdissection cuts of RPCs, *Holzforschung*, **70**, 641–652 (2016) DOI: 10.1515/hf-2015-0120
13. 青木弾, 松下泰幸, 福島和彦(査読有), 細胞壁構成成分のケミカルマッピング, *紙パ技協誌*, **70**, 308–315 (2016) DOI: 10.2524/jtappij.1506
14. 青木弾, 福島和彦(査読有), イメージング質量分析による植物細胞壁木化過程の研究, *植物の生長調節*, **50**, 57–63 (2015) [http://www.jscrip.jp/book/50\\_01.html](http://www.jscrip.jp/book/50_01.html)
15. 齋藤香織, 福島和彦(査読無), 最新表面分析による木材成分の可視化 - 法隆寺ヒノキ古材の物質分布を探る -, *森林技術*, No. **877**, 23–27 (2015) [http://www.jafta.or.jp/contents/shinringijutsu/17\\_month4\\_detail.html](http://www.jafta.or.jp/contents/shinringijutsu/17_month4_detail.html)
16. R. Tsuji, H. Koizumi, D. Aoki, Y. Watanabe, Y. Sugihara, Y. Matsushita, K. Fukushima and D. Fujiwara(査読有), LREL, a cellulase-treated lignin-carbohydrate derived from plants, activates myeloid dendritic cells via TLR4, *J. Biol. Chem.*, **290**, 4410–4421 (2015) DOI: 10.1074/jbc.M114.593673
17. 青木弾, 松下泰幸, 福島和彦(査読無), TOF-SIMS による植物生体分子のイメージング, *BIO INDUSTRY*, **31**, 29–34 (2014) [http://www.cmcbooks.co.jp/products/detail.php?product\\_id=4705](http://www.cmcbooks.co.jp/products/detail.php?product_id=4705)
18. P. Zheng, D. Aoki, Y. Matsushita, S. Yagami, K. Fukushima(査読有), Lignification of ray parenchyma cells in the xylem of *Pinus densiflora*. Part II: Microchemical analysis by laser microdissection and thioacidolysis, *Holzforschung*, **68**, 907–913 (2014) DOI:

10.1515/hf-2013-0232

19. P. Zheng, D. Aoki, M. Yoshida, Y. Matsushita, T. Imai, K. Fukushima (査読有), Lignification of ray parenchyma cells in the xylem of *Pinus densiflora*. Part I: Microscopic investigation by POM, UV microscopy, and TOF-SIMS, *Holzforschung*, **68**, 897–905 (2014) DOI: 10.1515/hf-2013-0232
20. K. Saito, Y. Watanabe, Y. Matsushita, T. Imai, T. Koike, Y. Sano, R. Funada, K. Fukazawa, K. Fukushima (査読有), Aluminum localization in the cell walls of the mature xylem of maple tree detected by elemental imaging using time-of-flight secondary ion mass spectrometry (TOF-SIMS), *Holzforschung*, **68**, 85–92 (2014). DOI: 10.1515/hf-2012-0215
21. T. Masumi, Y. Matsushita, D. Aoki, R. Takama, K. Saito, K. Kuroda, K. Fukushima (査読有), Adsorption behavior of poly(dimethyl-diallylammonium chloride) on pulp fiber studied by cryo time-of-flight secondary ion mass spectrometry and cryo-scanning electron microscopy, *Appl. Surf. Sci.*, **289**, 155–159 (2014). DOI: 10.1016/j.apsusc.2013.10.125
22. D. Aoki, K. Fukushima (査読無), Cryo-TOF-SIMS/SEM による凍結試料中の有機/無機成分のトポケミカル分析, *Cellulose Commun.*, **20**, 188–192 (2013). <http://ci.nii.ac.jp/naid/40019903760>
23. K. Saito, T. Mitsutani, Y. Matsushita, T. Imai, K. Fukushima (査読有), TOF-SIMS を用いたヒノキ古材の心材と辺材における無機成分の検出, *Mokuzai Gakkaishi*, **59**, 353–360 (2013). DOI: 10.2488/jwrs.59.353
24. D. Aoki, K. Kuroda, Y. Hanaya, K. Saito, R. Takama, Y. Matsushita, K. Fukushima (査読有), Cryo-TOF-SIMS/SEM システムの開発と植物生体分子のトポケミカル分析への適用, *Mokuzai Gakkaishi*, **59**, 367–374 (2013). DOI: 10.2488/jwrs.59.367

〔学会発表〕(計 23 件)

1. Bill Mangindaan, 松下泰幸, 青木弾, 吉田正人, 八神祐絵, 福島和彦, 銀コーティング法によるトリグリセリドの TOF-SIMS 分析, 第 68 回日本木材学会大会, 2018 年 3 月 14–16 日, 京都
2. 福島和彦, TOF-SIMS による生体試料中のケミカルマッピング ~ 生体高分子から水溶性化合物まで ~, 日本化粧品技術者会 (SCCJ) 大阪支部 第 206 回講演会, 2017 年 9 月 5 日, 大阪
3. D. Aoki, Y. Matsushita, K. Fukushima, On the role of monolignol glucoside in the lignification of tree xylem, 2017 Annual Meeting of The Korean Society of Wood Science and Technology, 15th April, Chonbuk National University, New silkroad center,

South Korea

4. D. Aoki, Y. Matsushita, Katsushi Kuroda, K. Fukushima, CELL: Division of Cellulose and Renewable Materials 462 – New development of wood chemistry promoted by TOF-SIMS, 253rd American Chemical Society NATIONAL MEETING & EXPOSITION -Advanced Materials, Technologies, Systems & Processes-, APRIL 2–6, 2017, San Francisco, CA
5. D. Aoki, Y. Matsushita, K. Fukushima, AGFD: Division of Agricultural and Food Chemistry 161 – Cryo-TOF-SIMS visualization of water-soluble chemicals in plant, 253rd American Chemical Society NATIONAL MEETING & EXPOSITION -Advanced Materials, Technologies, Systems & Processes-, APRIL 2–6, 2017, San Francisco, CA
6. B. Mangindaan, Y. Matsushita, D. Aoki, S. Yagami, F. Kawamura, K. Fukushima, Chemical mapping of wood extractives distribution in *Gmelina arborea* using time-of-flight secondary ion mass spectrometry, 第 67 回日本木材学会大会, 2017 年 3 月 17–19 日, 福岡
7. 奥村若葉, 青木弾, 松下泰幸, 吉田正人, 佐野雄三, 福島和彦, Cryo-TOF-SIMS を用いたライラック樹幹中におけるシリンジンの分布と細胞壁リグニン形成との相関, 第 67 回日本木材学会大会, 2017 年 3 月 17–19 日, 福岡
8. P. Zheng, D. Aoki, T. Miki, Y. Enomoto-Rogers, K. Fukushima, S. Tanaka, M. Seki, Visualization of resin distribution in impregnated wood under different relative humidity by TOF-SIMS, 第 67 回日本木材学会大会, 2017 年 3 月 17–19 日, 福岡
9. W. Okumura, D. Aoki, Y. Matsushita, M. Yoshida, K. Fukushima, Distribution of Salicyfoline in freeze-fixed stem of *Magnolia kobus* by cryo-TOF-SIMS, Biological Mass Spectrometry Symposium 2016, 2016 年 10 月 14–15 日, Tokyo
10. 青木弾, 木材における顕微レベルでの化学成分分析, 第 46 回木材の化学加工研究会シンポジウム, 2016 年 9 月 29–30 日, 山形
11. D. Aoki, Y. Matsushita, K. Kuroda, and K. Fukushima, Analyses of freeze-fixed plant samples by cryo-TOF-SIMS, SISS-18, 2016 年 7 月 21–22 日, 武蔵野
12. T. Akita, D. Aoki, Y. Matsushita, M. Yoshida, S. Yagami, and K. Fukushima, Cellular distribution of olivil 4,4'-di-O-β-D-glucopyranoside in *Ginkgo biloba* by the cryo-TOF-SIMS/SEM system, SISS-18, 2016 年 7 月 21–22 日, 武蔵野
13. D. Aoki, Y. Hanaya, T. Akita, Y. Matsushita, M. Yoshida, K. Kuroda, S. Yagami, R.

- Takama, K. Fukushima, Chemical mapping of coniferin and mono/di-saccharides in freeze-fixed Ginkgo biloba by cryo time-of-flight secondary ion mass spectrometry, International Conference on Polyphenols 2016, 2016年7月11–15日, Vienna
14. 奥村若葉, 青木弾, 松下泰幸, 吉田正人, 福島和彦, Cryo-TOF-SIMSを用いたコブシの生体成分分析, 第66回日本木材学会大会, 2016年3月27–29日, 名古屋
  15. 徳川勝洋, 浅井龍太郎, 青木弾, 松下泰幸, 八神祐絵, 石黒正雄, 野田泰史, 福島和彦, パルプ洗浄工程における洗浄剤の挙動解明, 第66回日本木材学会大会, 2016年3月27–29日, 名古屋
  16. P. Zheng, D. Aoki, Y. Matsushita, M. Yoshida, Y. Sano, K. Fukushima, Variation of gum composition from sapwood to heartwood in the xylem of Phellodendron amurense, 第66回日本木材学会大会, 2016年3月27–29日, 名古屋
  17. 中村明彦, 松下泰幸, 青木弾, 福島和彦, 電解重合によるバイオベースポリマーの創製, 第66回日本木材学会大会, 2016年3月27–29日, 名古屋
  18. 青木弾, 木質バイオマスのイメージング質量分析, 日本木工機械展 ウッド エコテック 2015, 2015年11月11–14日, 名古屋
  19. 福島和彦, 二次イオン質量分析による生体成分のケミカルマッピング, 第12回持続的生存圏創成のためのエネルギー循環シンポジウム –マイクロ波高度利用と先端分析化学– 第5回先進素材開発解析システム (ADAM) シンポジウム –マイクロ波高度利用生存圏フラッグシップ共同研究–, 2015年11月2日, 京都
  20. D. Aoki, Y. Hanaya, Y. Matsushita, M. Yoshida, K. Kuroda, R. Takama, and K. Fukushima, Chemical Mapping of Plant Biomolecules by cryo Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry, 10th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices'15 (ALC'15), 27p-A-4, 2015年10月25–30日, 松江
  21. K. Fukushima, Y. Hanaya, D. Aoki, Y. Matsushita, K. Kuroda, Chemical mapping of lignin precursors in the xylem of freeze-fixed Ginkgo biloba by the cryo-TOF-SIMS/SEM system, 18th International Symposium on Wood, Fibre and Pulping Chemistry (ISWFPC2015), 2015年9月9–11日, Vienna
  22. D. Aoki, K. Tokugawa, R. Asai, Y. Matsushita, M. Ishiguro, Y. Noda, K. Fukushima, Behavioral analyses of a detergent in kraft-pulp washing process by cryo-TOF-SIMS/SEM, 18th International Symposium on Wood, Fibre and Pulping

Chemistry (ISWFPC2015), 2015年9月9–11日, Vienna

23. D. Aoki, Y. Hanaya, Y. Matsushita, M. Yoshida, K. Kuroda, R. Takama, and K. Fukushima, Chemical mapping of organic/inorganic chemicals in frozen-hydrated biological samples, SISS-17, 2015年6月25–26日, 武蔵野

学会発表：以上の他に18件

〔図書〕(計4件)

1. D. Aoki, K. Fukushima, Topochemical analysis of cell wall components by TOF-SIMS, In: “Xylem: Methods and Protocols” Eds M. de Lucas and J. P. Etchells, Springer, 249–256 (2017)
2. D. Aoki, K. Saito, Y. Matsushita, K. Fukushima, Chapter 17. Distribution of Cell Wall Components by TOF-SIMS, In: “Secondary Xylem Biology” Edited by Yoon Soo Kim, Ryo Funada, and Adya P. Singh, Academic Press, 363–377 (2016)
3. 青木弾, 福島和彦, 4.4 TOF-SIMS法, In: “植物細胞壁実験法” 石井忠、石水毅、梅澤俊明、加藤陽治、岸本崇生、小西照子、松永俊朗 編著, 弘前大学出版会 (2016), pp. 184–191, ISBN 978-4-907192-21-1
4. 福島和彦, 梅澤俊明, 7.3.2 安定同位体標識化合物の合成と代謝物の解析, In: “植物細胞壁実験法” 石井忠、石水毅、梅澤俊明、加藤陽治、岸本崇生、小西照子、松永俊朗 編著, 弘前大学出版会 (2016), pp. 356–364, ISBN 978-4-907192-21-1

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)  
取得状況 (計 0 件)

〔その他〕ホームページ等  
名古屋大学 森林化学研究室  
<http://forestchem.sakura.ne.jp/>

## 6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
福島 和彦 (FUKUSHIMA, Kazuhiko)  
名古屋大学大学院生命農学研究科・教授  
研究者番号：80222256
- (2) 研究分担者  
松下 泰幸 (MATSUSHITA, Yasuyuki)  
名古屋大学大学院生命農学研究科・准教授  
研究者番号：60335015

研究分担者  
青木 弾 (AOKI, Dan)  
名古屋大学大学院生命農学研究科・講師  
研究者番号：80595702