

令和 2 年 6 月 26 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：17H01879

研究課題名(和文) 極低濃度オゾン曝露における不飽和脂質とヒトリポ蛋白の酸化及び抑制に関する研究

研究課題名(英文) Study on the Oxidation and Inhibition of Unsaturated Lipids and

研究代表者

叶 深 (Ye, Shen)

東北大学・理学研究科・教授

研究者番号：40250419

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究により、清浄大気環境における極低濃度のオゾンは肺サーファクタントに含まれる不飽和脂質分子を酸化する危険性が示され、その生成物となる脂質酸化物について、表面圧・面積等温線、高速液体クロマトグラフィー質量分析(LC-MS)とヘテロダイン検出和周波発生分光法(HD-SFG)などを用いて分子レベルで同定した。極低濃度のオゾンの曝露により、不飽和脂質分子はC=C結合が素早く酸化開裂され、アルデヒドやカルボン酸終端の脂質誘導体の生成を見出した。この酸化反応の反応機構と速度論を決定した。水相にビタミンC等の添加によりオゾンによる不飽和脂質分子の酸化がある程度抑制できることも確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでに環境汚染物としてppmオーダーの高濃度オゾンによる健康被害が広く研究されてきたが、環境における極低濃度のオゾンの影響に関する検討は非常に限られている。本研究を通じて極低濃度のオゾンでも、肺胞の機能性に欠かせない肺サーファクタントの成分である不飽和脂質分子が酸化されるリスクが示された。極低濃度のオゾンによる健康被害およびその抑制についても注目する必要がある。

研究成果の概要(英文)：In the present study, we demonstrated the risk that the unsaturated lipids in the lung surfactants could be oxidized by the low-level ozone in the ambient environment. The oxidation products of the unsaturated lipid monolayers have been quantitatively characterized by surface isotherm, liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS), and heterodyne-detected sum frequency generation (HD-SFG) spectroscopy. It was found that the unsaturated lipid molecules of the lung surfactants were quickly oxidized from its C=C moiety to form the aldehyde and acid terminated lipid derivatives with a trace amount of secondary ozonide. Detailed reaction mechanisms and kinetics have been discussed based on the experimental results. Furthermore, oxidation inhibition effects by adding ascorbic acid or 3,5-dihydroxy-4-methoxybenzyl alcohol in the subphase have been partially confirmed.

研究分野：界面物理化学

キーワード：極低濃度オゾン 肺サーファクタント 不飽和脂質 酸化 反応機構 酸化抑制 LC-MS ヘテロダイン検出和周波発生分光法

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、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

強力な酸化剤として、活性酸素の他にオゾンが知られている。高空の成層圏にあるオゾン層は太陽光に含まれる紫外線を吸収し地球上の生命体を守ることは周知されているが、地球表面においても僅かであるがオゾンが存在している(約 20~50 ppb 程度)。また、産業活動や自動車から排出される窒素酸化物や揮発性有機化合物は光化学反応によりオゾンを発生することで環境中のオゾン濃度を増加させることもある。近年、オゾンは慢性閉塞性肺疾患や喘息などの慢性肺疾患の予後を悪化させる可能性も報道された。これまでに環境汚染物として ppm オーダーの高濃度オゾンによる健康被害が広く研究されてきたが、環境における極低濃度のオゾンの影響に関する検討は非常に限られている。

一方、肺が酸素を取り込み、二酸化炭素を排出する呼吸活動は、肺胞表面を介して行くとされている。オゾンなどの汚染物質が呼吸とともに体内に取り込まれると、肺胞の膜表面と直接に作用し、その構造と機能性への影響することが懸念される。肺胞表面には肺サーファクタントで覆われている。その大半は飽和リン脂質のジパルミトイルホスファチジルコリン(DPPC, 16:0 PC)、そして約二割強を 1-パルミトイル-2-オレオイル-グリセロール-3-ホスファチジルコリン(POPC, 16:0-18:1 PC)や 1-パルミトイル-2-オレオイルホスファチジルグリセロール(POPG, 16:0-18:1 PG)等の不飽和脂質分子が占めており、肺胞の機能性発現に欠かせない存在となっている。しかしながら、化学的に不安定でオゾンなどの活性酸素により酸化されやすく、様々な健康障害が報告されている。

そこで、本研究は、極低濃度オゾンによる肺サーファクタントの成分である不飽和脂質分子の酸化反応および機能性発現への影響について分子レベルでの解明を目指し、様々な鎖長・末端官能基・不飽和度をもつ脂質分子の分子膜の構造変化や反応中間体や生成物について、和周波発生(SFG)非線形振動分光法と液体クロマトグラフィー質量分析法(LC-MS)を使用して網羅的に調べ、極低濃度オゾンによる脂質の酸化反応機構の解明を目的とする。更に、生体内にはビタミン C やビタミン E 等の抗酸化物質による肺サーファクタントを模倣した混合脂質単分子膜を用い、オゾン酸化への抑制効果法の開発も試みる。

2. 研究の目的

本研究では、環境レベルの極低濃度のオゾン曝露による肺サーファクタントの不飽和脂質分子(POPC や POPG など)の酸化及び機能性発現への影響について、振動分光法や質量分析法等の種々の先進的計測技術をもって分子レベルで調べ、その抑制方法の樹立も目指したい。

3. 研究の方法

面積一定または圧力一定の条件下で、POPC や POPG 等の単分子膜を用いて水表面に脂質膜を作製し、極低濃度のオゾンに曝露した。この際、脂質分子の表面密度、オゾン濃度、

曝露時間，抗酸化物質添加の有無等を変化させ，脂質分子膜の安定性について表面等温線により評価した．曝露後の脂質は回収し，高速液体クロマトグラフィー - オービトラップ型高分解能質量分析(Orbitrap LC-MS)を用いて，酸化脂質の分子種の同定と半定量を行った．また，抗酸化物質はアスコルビン酸，3,5-dihydroxy-4-methoxybenzyl alcohol (DHMBA)， α -トコフェロール等を用いた．さらに，極低濃度オゾンの曝露と同時に，脂質単分子膜の構造変化や生成物・中間体の生成について，界面選択的な分光法であるヘテロダイン検出和周波発生分光法(HD-SFG)を用いてその場で追跡・評価した．

4．研究成果

(1)極低濃度のオゾン曝露による反応生成物の定量評価．いずれの飽和脂質についても，極低濃度のオゾンに曝露すると，表面積または表面圧の変化が観測された．その際に POPC 単分子膜（図1の上）は POPG 単分子膜と逆の変化を示しており，末端官能基の依存性を示した．様々な曝露時間の後で回収された脂質について，LC-MS 分析を行った．例えば，POPC 単分子膜について，POPC の他に，1-palmitoyl-2-(9-oxononanoyl)-sn-glycero-3-phosphocholine (POnPC)，1-palmitoyl-2-azelaoyl-sn-glycero-3-phosphocholine (PAzPC)，secondary ozonide (SOZ)の新しい生成物が検出された（窒素または酸素雰囲気への曝露にはこれらの生成物が観測されなかった）．図1の下に示すように，POPC は曝露一時間以内にほぼなくなった．POPC の C=C 不飽和結合が酸化開裂し，アルデヒド基が生じた POnPC が主生成物として増加している一方，カルボニル基をもつ PAzPC が時間と共に増加していることが確認された．このように低濃度オゾンにより，不飽和脂質分子の酸化分解の詳細な時間変化について世界で初めて観測した．これらの実験結果を表面等温線の挙動（図1の上）と比較・検討した．極低濃度のオゾンによる不飽和脂質分子の酸化機構について提案した．本研究により，大気中の日常レベルのオゾンが肺脂質を酸化する危険性が示され，そのバイオマーカー候補となる脂質酸化物を同定した．

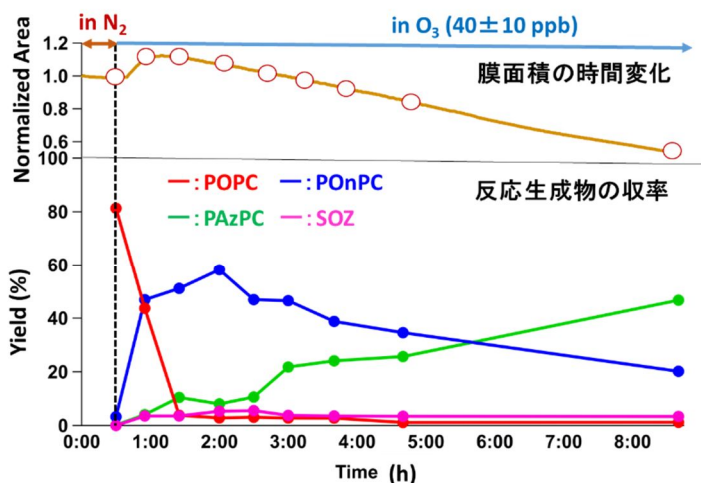


図1. 低濃度オゾン環境下でのPOPC単分子膜面積の時間変化と反応生成物の収率の時間変化

(2)酸化防止の抑制効果：POPG 単分子膜について，アスコルビン酸及び DHMBA を添加した場合には，POPG の残存量が増加したが， α -トコフェロールを添加した場合には，POPG の残存量は変化しなかった．また，どの抗酸化物質を添加した場合でも，SOZ の生成量も減少した．PAzPG はアスコルビン酸及び DHMBA の添加によって増加したが，POnPG はアスコルビン酸及び大量の DHMBA を添加した場合が減少した（図 2）．抗酸化物質であるアスコルビン酸及び DHMBA には POPG の酸化を防止する効果があり，特にアスコルビン酸の方がより強力な抗酸化効果を示すことが示唆された．水溶性のアスコルビン酸は主に水相に，両親媒性の DHMBA は膜と水の界面に，脂溶性の α -トコフェロールは脂質膜にそれぞれ局在すると推測される．この局在の違いにより，抗酸化物質の効果に寄与するものと推察される．

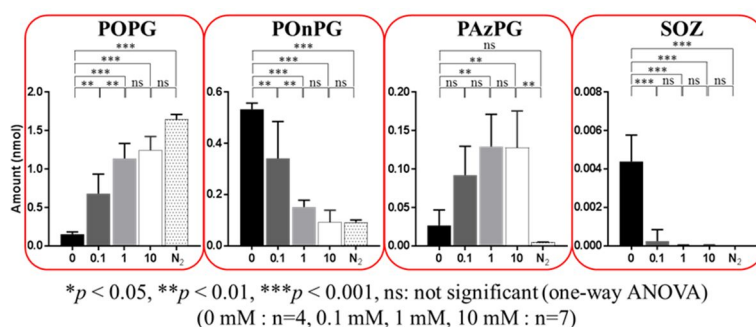


図2. アスコルビン酸を水相添加によりPOPGのオゾン曝露に及ぼした影響

(3)HD-SFG 分光法により不飽和脂質単分子膜の酸化分解の追跡：さらに，我々は界面分子構造に極めて敏感であるヘテロダイン検出和周波発生分光法(HD-SFG)を用いて，POPC や POPG などの不飽和リン脂質単分子膜を極低濃度オゾンに曝露したときの酸化反応のその場追跡を行った．界面から発生する和周波光に外部信号を干渉させて検出するヘテロダイン検出は，振動共鳴を直接反映する $\text{Im}\chi^{(2)}$ スペクトルを高感度に測定することができる．図 3 に極低濃度のオゾン曝露条件下において測定された時間分解 $\text{Im}\chi^{(2)}$ スペクトルを示す． $\text{CH}_{3,ss}$ ピークに対する $\text{CH}_{2,ss}$ ピークの相対強度の増大，フェルミ共鳴由来のピーク ($\text{CH}_{3,FR}$ ・ $\text{CH}_{2,FR}$) のピークシフト，炭化水素鎖の不飽和結合由来の $\text{CH}_{\text{vinylene}}$ ピークの消失が観測された．これらの時間変化は C=C 二重結合が酸化され単分子膜の配向が乱れていることを示している．

時間分解 $\text{Im}\chi^{(2)}$ スペクトルの特長として，反応物と生成物の $\text{Im}\chi^{(2)}$ スペクトルの線形結合で表されることが挙げられる．これまでの高濃度のオゾン酸化反応において，反応生成物として炭化水素鎖の不飽和結合がアルデヒドに酸化された POnPC とカルボン酸に酸化された PAzPC が Criegee 機構に基づいて提案されている．そこで POPC、POnPC、PAzPC の定常 $\text{Im}\chi^{(2)}$ スペクトルを用いてスペクトル分解を行った．時間分解 $\text{Im}\chi^{(2)}$ スペクトルに含まれる各成分の寄与を図 4 に示す．POPC はオゾン曝露によって速やかに減少している

ことが分かる．一次反応と仮定すると約 22 分という時定数が得られ，非常に効率よく酸化反応が進行していることを示している．さらに，POPC の減少に相関して POnPC が生成し，PAzPC は 30 分以降の遅い時間に少量だけ生成していることが確認された．以上のことから，POPC 単分子膜は極低濃度オゾン曝露によって，炭化水素鎖の不飽和結合が選択的に効率よく酸化され，反応初期においてはアルデヒドに変異した POnPC が生成するというオゾン酸化反応機構が明らかとなった．

以上の測定結果は，LC-MS によって得られた結果（図 1）とほぼ一致しており，低濃度オゾンの曝露により不飽和脂質単分子膜のダイナミックな構造変化について界面振動分光法により鮮明に追跡・解析できた．いま，様々な不飽和脂質分子の単分子膜や混合単分子膜のその場評価を継続しているほか，抗酸化物質やコレステロールの添加効果についても評価し続けている．

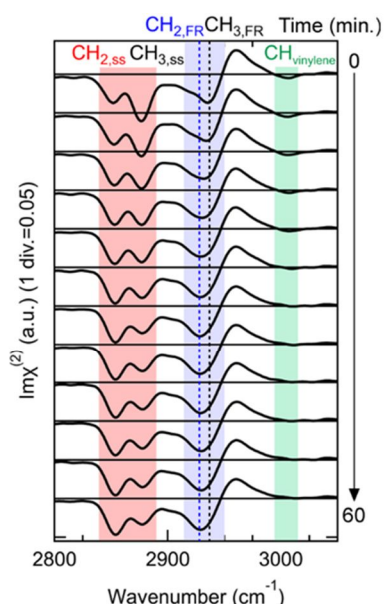


図3：極低濃度オゾン曝露条件下におけるPOPC単分子膜の時間分解非線形感受率虚部スペクトル

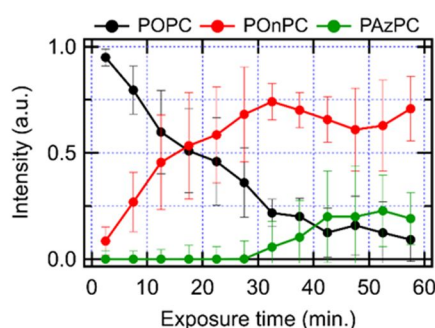


図4：時間分解スペクトルに含まれる各成分の寄与の時間変化

本研究により，清浄大気環境における極低濃度のオゾンは肺サーファクタントである不飽和脂質を酸化する危険性が示され，その酸化生成物について，表面圧-面積等温線，高速液体クロマトグラフィー質量分析(LC-MS)とヘテロダイン検出和周波発生分光法(HD-SFG)などを用いて分子レベルで同定した．極低濃度のオゾンの曝露により，肺サーファクタントに含まれる不飽和脂質分子は C = C 結合が素早く酸化開裂され，アルデヒドやカルボン酸末端の脂質誘導体の生成を見出した．この酸化反応の反応機構と速度論を決定した．水相にビタミン C や DHBMA 等の添加によりオゾンによる不飽和脂質分子の酸化がある程度抑制できることも確認された．今後，さらに脂質二分子膜の検討や酸化脂質による健康影響の解明も目指したい．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Inoue Ken-ichi, Takada Chunji, Wang Lin, Morita Akihiro, Ye Shen	4. 巻 124
2. 論文標題 In Situ Monitoring of the Unsaturated Phospholipid Monolayer Oxidation in Ambient Air by HD-SFG Spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B	6. 最初と最後の頁 5246-5250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c03408	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 Jing Lei, Zhen Wei, Mian-le Xu, Jie Wei, Yan-xia Chen, Shen Ye	4. 巻 32
2. 論文標題 Effect of sulfate adlayer on formic acid oxidation on Pd (111) electrode	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chinese Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 649-656
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1674-0068/cjcp1904079	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 Xiang-Bin Han, Koki Kannari, Shen Ye	4. 巻 17
2. 論文標題 In Situ Surface-enhanced Raman Spectroscopy (SERS) in Li-O2 Battery Research	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Current Opinion in Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 174-183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.coelec.2019.07.004	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 Lin Wang, Satoshi Nihonyanagi, Ken-ichi Inoue, Kei Nishikawa, Akihiro Morita, Shen Ye, Tahei Tahara	4. 巻 123
2. 論文標題 Effect of Frequency-Dependent Fresnel Factor on the Vibrational Sum Frequency Generation Spectra for Liquid/Solid Interfaces	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 15665-15673
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b04043	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 Yaoyao Zhao, Zhen Chen, Yue Wu, Takayuki Tsukui, Xiaoxiao Ma, Xinrong Zhang, Hitoshi Chiba and Shu-Ping Hui	4. 巻 91
2. 論文標題 Separating and Profiling Phosphatidylcholines and Triglycerides from Single Cellular Lipid Droplet by In-Tip Solvent Microextraction Mass Spectrometry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Analytical Chemistry. 2019, 91, 4466 - 4471	6. 最初と最後の頁 4466-4471
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.analchem.8b05122	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 Gowda SGB, Gao ZJ, Chen Z, Abe T, Hori S, Fukiya S, Ishizuka S, Yokota A, Chiba H, Hui SP	4. 巻 -
2. 論文標題 Untargeted lipidomic analysis of plasma from high fat diet-induced obese rats using HPLC-linear trap quadrupole -Orbitrap MS.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 XXX-XXX
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.19P442	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 Liu Can, Sato Kazuki, Han Xiang-Bin, Ye Shen	4. 巻 14
2. 論文標題 Reaction mechanisms of the oxygen reduction and evolution reactions in aprotic solvents for Li ₂ O ₂ batteries	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Current Opinion in Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 151 ~ 156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.coelec.2019.02.003	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 Peng Qiling, Chen Jiafeng, Ji Hengxing, Morita Akihiro, Ye Shen	4. 巻 140
2. 論文標題 Origin of the Overpotential for the Oxygen Evolution Reaction on a Well-Defined Graphene Electrode Probed by in Situ Sum Frequency Generation Vibrational Spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 15568 ~ 15571
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b08285	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 Ge Aimin, Qiao Lin, Seo Ji-Hun, Yui Nobuhiko, Ye Shen	4. 巻 34
2. 論文標題 Surface-Restructuring Differences between Polyrotaxanes and Random Copolymers in Aqueous Environment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 12463 ~ 12470
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.8b02676	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 WANG Lin, XIN Liang, ISHIYAMA Tatsuya, PENG Qiling, YE Shen, MORITA Akihiro	4. 巻 34
2. 論文標題 Microscopic Investigation of Ethylene Carbonate Interface: A Molecular Dynamics and Vibrational Spectroscopic Study	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Acta Physico-Chimica Sinica	6. 最初と最後の頁 1124-1135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3866/PKU.WHXB201801291	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 Peng Qiling, Liu Huijin, Ye Shen	4. 巻 800
2. 論文標題 Adsorption of organic carbonate solvents on a carbon surface probed by sum frequency generation (SFG) vibrational spectroscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Electroanal. Chem.	6. 最初と最後の頁 134 ~ 143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jelechem.2016.09.006	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 Wei Jie, Zheng Yong-Li, Li Zi-Yue, Xu Mian-Le, Chen Yan-Xia, Ye Shen	4. 巻 246
2. 論文標題 Electrochemistry of Oxygen at Ir Single Crystalline Electrodes in Acid	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 329 ~ 337
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2017.05.103	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 Saito Kengo, Peng Qiling, Qiao Lin, Wang Lin, Joutsuka Tatsuya, Ishiyama Tatsuya, Ye Shen, Morita Akihiro	4. 巻 19
2. 論文標題 Theoretical and experimental examination of SFG polarization analysis at acetonitrile-water solution surfaces	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Chem. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 8941 ~ 8961
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C6CP08856B	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30件 (うち招待講演 13件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 高田 俊智, 喬 琳, 井上 賢一, 陳 震, 惠 淑萍, 叶 深
2. 発表標題 極低濃度オゾンに曝露される不飽和脂質単分子膜の構造安定性
3. 学会等名 東北大学理学・生命科学研究科合同シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高田 俊智, 喬 琳, 井上 賢一, 陳 震, 惠 淑萍, 叶 深
2. 発表標題 Evaluation of the oxidation mechanism of the unsaturated phospholipids monolayer in low level ozone
3. 学会等名 The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shen Ye
2. 発表標題 In situ vibrational SFG observation on the graphene/electrolyte interface
3. 学会等名 Frontier of Surface Analysis by Advanced Vibrational Spectroscopy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高田 俊智 喬 琳 陳 震 井上 賢一 惠 淑萍 叶 深
2. 発表標題 地表大気中オゾン環境下での不飽和脂質単分子膜の酸化と安定性の評価
3. 学会等名 第59回分子科学若手の会夏の学校
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 張先駿、Sankar Jana、叶深、柴田穰
2. 発表標題 Effective visualization of the excitation spectra of <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> in vivo by the developed microscope
3. 学会等名 第59回分子科学若手の会夏の学校
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shen YE
2. 発表標題 Development of mediators for cathode reaction of Li-O ₂ battery
3. 学会等名 電気化学エネルギー貯蔵に関するワークショップ（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 張先駿、Sankar Jana、叶深、柴田穰
2. 発表標題 Effective visualization of the excitation spectra of <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> in vivo by the developed microscope
3. 学会等名 Tohoku University's Chemistry Summer School 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上 賢一, 叶 深
2. 発表標題 ヘテロダイン検出振動和周波発生分光法を用いた極低濃度オゾン条件下における不飽和脂質単分子膜の酸化ダイナミクスの研究
3. 学会等名 第13回分子科学討論会2019名古屋
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高田 俊智, 喬 琳, 井上 賢一, 陳 震, 惠 淑萍, 叶 深
2. 発表標題 極低濃度オゾン環境下における不飽和脂質分子単分子膜の酸化機構の考察
3. 学会等名 第13回分子科学討論会2019名古屋
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 叶 深
2. 発表標題 材料表面の構造評価と制御による機能性発現
3. 学会等名 化学系学協会東北大会/物理化学コロキウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shuichi Ogawa, Susumu Hashimoto, Yoshiya Haga, Xian-Bin Han, Shen Ye, Yuji Takakuwa Yuji Takakuwa
2. 発表標題 Photoemission-assisted plasma enhanced CVD Synthesis of nitrogen-doped graphite for Pt alternative catalyst
3. 学会等名 TACT 2019 International Thin Films Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shen Ye
2. 発表標題 Structure and Stability of Unsaturated Lipid Monolayers on the Water Surface Exposed to Ambient Environment.
3. 学会等名 沖縄コロナイド2019 プレワークショップ(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Xianjun Zhang , Sankar Jana , Shen Ye , Yutaka Shibata
2. 発表標題 Evaluation of the Movement of Photosynthetic Antenna Complexes in Algal Cells by Excitation Spectral Measurements on Microscope
3. 学会等名 International Conference on Artificial Photosynthesis-2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林誉宗, 谷口凜, 柴田穰, 篠田稔行, 鞆達也, 叶深
2. 発表標題 単一分子分光によるクロロフィル -fを含む光化学系 I の蛍光不均一性
3. 学会等名 第61回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Lin Qiao, Chiba Hitoshi, Shen Ye, Shu-Ping Hui
2. 発表標題 The Oxidation of Lipid Monolayers of Lung Surfactant in Low-level Ozone
3. 学会等名 第61回 日本脂質生化学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 喬 琳, 陳 震, 高田 俊智, 千葉 仁志, 叶 深, 惠 淑萍
2. 発表標題 質量分析を用いる肺サーファクタントリン脂質膜に対する環境濃度オゾンの影響に関する研究
3. 学会等名 第44回日本医用マススペクトル学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 喬 琳, 陳 震, 高田 俊智, 千葉 仁志, 叶 深, 惠 淑萍
2. 発表標題 オゾンによる肺サーファクタントリン脂質膜の構造と安定性への影響
3. 学会等名 第29回日本臨床化学会北海道支部例会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 叶 深
2. 発表標題 In Situ Study for Oxygen Reduction and Evolution Reactions (ORR/OER) in DMSO-Based Electrolyte Solutions
3. 学会等名 69th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 叶 深
2. 発表標題 非線形振動分光法により固液界面における分子構造の解析
3. 学会等名 日本分析化学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 叶 深
2. 発表標題 Electrode/Electrolyte Interface Studied by in situ SFG Spectroscopy
3. 学会等名 8th SFG symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 叶 深
2. 発表標題 電極溶液界面構造の微視的構造評価に基づく反応機構解明と機能性創出
3. 学会等名 第49回セミコンファレンス、第31回東北若手の会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shen Ye
2. 発表標題 In Situ Study for Oxygen Reduction and Evolution Reactions in Nonaqueous Solutions
3. 学会等名 2017 International Workshop on Electrified Interfaces for Energy Conversions(EIC2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 叶 深
2. 発表標題 非線形振動分光計測による固体表面の構造評価と機能性発現との相関研究
3. 学会等名 テクスチャリング表面のトライボロジー研究会・第23回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shen Ye
2. 発表標題 In Situ Study for Oxygen Reduction and Evolution Reactions (ORR/OER) in Nonaqueous Solutions
3. 学会等名 The Sixteenth International Symposium on Electroanalytical Chemistry (16th ISEAC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shen Ye
2. 発表標題 In Situ Spectroscopic Study for Oxygen Reduction and Evolution Reactions on Electrode Surfaces in Nonaqueous Solutions
3. 学会等名 The Asian Spectroscopy Conference (ASC2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 叶 深
2. 発表標題 非水電解質溶液中における酸素の電気化学的還元と発生反応に関する基礎研究
3. 学会等名 第9回岩澤コンファレンス「サステイナブル社会のための最先端触媒化学・表面科学 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shen Ye
2. 発表標題 Structure and Stability of the Lipid Monolayer on the Water Surface
3. 学会等名 IIRC5会議 “ Forefront of Molecular Dynamics at Surfaces and Interfaces: from a single molecule to catalytic reaction ” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shu-Ping Hui
2. 発表標題 Analyses of lipid hydroperoxides in HDL and LDL of human using Orbitrap mass spectrometer.
3. 学会等名 65th ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 惠 淑萍
2. 発表標題 ヒト血中酸化トリグリセリドに関する研究.
3. 学会等名 中性脂肪学会 第1回 学術集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 叶深
2. 発表標題 非線形振動分光計測による 固体表面の構造評価と機能性発現との相関研究
3. 学会等名 テクスチャリング表面のトライボロジー研究会・第23回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東北大学大学院理学研究科化学専攻 有機物理化学研究室
<http://web.tohoku.ac.jp/orgphys/index.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	惠 淑萍 (Hui Shu-Ping) (90337030)	北海道大学・保健科学研究所・教授 (10101)	