

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25288003

研究課題名(和文)水の磁氣的相互作用による構造形成と物性変化

研究課題名(英文)Structural formation and changes of properties of materials due to magnetic interactions of water

研究代表者

尾関 寿美男(OZEKI, Sumio)

信州大学・理学部・教授

研究者番号：60152493

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：酸素を溶存した純水は磁気処理によって影響されたMFA水を生成した。磁気処理に伴って水由来のラマンバンドが増大し、新しい化学種の生成が確認された。この変化には酸素が必要であることが分かった。MFA水の差ラマンスペクトルはクラスレートハイドレート構造あるいは過冷却水のスペクトルに酷似しており、酸素クラスレートハイドレート様構造の存在が示唆された。磁気処理に伴う粘度や接触角の減少に誘導時間やメモリー効果が認められ、これらはクラスレートハイドレート系の現象と合致した。MFA水は物質生成に影響を与え、新規な構造や性質をもつ物質をもたらすことが示され、磁気処理程度で異なる性質をもつグリーンな溶媒である。

研究成果の概要(英文)：We present evidences supporting structural entity of magnetic field-affecting water (MFA water) prepared by magnetic treatment (MT) of pure water dissolving O<sub>2</sub>. We tried to examine in-situ Raman spectra of MFA water developing during MT and confirm the formation of the specific species. The difference Raman spectra of MFA water were very similar to those of clathrate hydrate or supercooled water, suggesting that the species may be O<sub>2</sub> clathrate-like hydrate. Also, the induction period as well as memory effects were observed in the decrease of both viscosity and contact angle and the increase in Raman intensity of MFA water. Moreover, an MFA water structure was propagated to normal water by mixing. MFA water also may affect the formation of various materials, silica gels, CaCO<sub>3</sub>, and a porous coordination polymer, especially at the initial formation stage. Thus, MFA water is one of green solvents having various properties which depends on the degree of magnetic treatment.

研究分野：物理化学

キーワード：磁場効果 水 磁気処理水 シリカ 集積型有機金属錯体 クラスレートハイドレート パルスマグネット

1. 研究開始当初の背景

(1) 最近、磁場を利用した新しい科学としての「磁気科学」が国内外で展開されている。弱磁性物質の構造を磁場制御することは熱力学的には不可能とされているが、共同的プロセスが関与し、ドメインが磁場応答する場合には驚くほど大きな磁場効果を引き起こしうる。この共同的な磁場応答は、反磁性分子間の電子移動によって生じたボゾンによるとして最近注目されている。研究代表者は磁場下でのコロイド・界面化学の開拓的研究に取り組み、弱磁性系の磁気現象をサイエンスにまで高めるために、質の高い実験成果を挙げてきた。これまでに、分子吸着および水素のトンネル反応の界面磁場制御、磁場による液液分離系の濃度ゆらぎ制御、ミセルやベシクルの磁場融合・分裂、脂質二分子膜の膜電位の磁場変化と自己組織化膜でのトンネル電子移動制御、体積相転移ゲルの磁場誘起相転移、集積型錯体の磁場誘起結晶(組成)変化などを見出した。この過程で、磁場下のヒドロゲル中の水の疎水化や水和熱変化、疎水表面への水蒸気の吸着促進など、磁場効果における水の特異性、磁場印加・除去時のオーバーシュート現象など、磁場変動時に磁場効果が顕著であるなどを経験した。

(2) 水の磁気処理(静磁場中に水を流す処理)による防錆やスケール付着防止効果が世界的に利用されている。研究代表者はその効果の基礎化学的検討を厳密に行い、接触角によって初めて定量的に酸素を含む水で一定の磁気処理効果を認めた。真空蒸留した純水をセル中に閉じ込め、磁束を周期的に印加して磁気処理しても未処理の純水となんら変わらなかった。一方、真空蒸留後に酸素を溶存させて同様に磁気処理(MT)した後、接触角、分解電圧、金属腐食、CaCO<sub>3</sub>結晶構造を調べたところ、明らかに未処理の純水(NMT)とは異なることがわかった。この速報は、NatureのRESEARCH HIGHLIGHTSで紹介され、J. Phys. Chem. BのMost-Accessed ArticlesのNo.1(2006.1-3)となった。また磁気処理後、水由来のすべての赤外吸収が増大し、1080と2900cm<sup>-1</sup>付近に新ピークが出現することを見出し、磁気処理水に実体があることを示した。新ピークは<sup>18</sup>O<sub>2</sub>によって同位体シフトすることから、酸素クラスレート水ドレーン様構造ではないかと推定した。これらの特徴は磁気処理終了後30分程度維持されたメモリー効果とともに、効果発現の誘導時間(〜30分)の存在である。しかし、水の動的構造からはメモリー効果の解釈は難しい。最近、クラスレート水ドレーンでメモリー効果や誘導効果が報告されるようになった。もし、磁場によって酸素水ドレーン様構造が

生成するならば、過冷却水のように熱力学的準安定として長寿命で存在しうる。

2. 研究の目的

水の磁気的相互作用によって生成する水の未知の実体の構造を決定し、物性・機能との因果関係を解明する。そのため、

- ① 酸素水ドレーン類似構造や過冷却水類似構造の確証を得るとともに、氷構造を決定する。
- ② 磁束変化が高圧・低温に代わって大気圧・室温で水ドレーン構造を誘起する機構を解明する。
- ③ 水の活量などの熱力学検討を加え、準安定状態(メモリー効果、誘導時間)を理解する。
- ④ 酸素の溶存量や溶存状態と磁気的相互作用との関係を解明する。
- ⑤ 水および酸素水ドレーンの構造と種々の物性や機能との因果関係を明らかにする。

以上の基礎的検証に加えて、

- ⑥ 物質の構造や性質に現れる磁気処理効果を間接的に実証する。

磁気処理効果は、広い物質系で種々の現象や構造変化としてあらわれる有用な方法であり、磁気処理された水(溶媒)は磁気的相互作用の程度によって異なる性質を持ち、多様性があり、かつ新しいグリーンな試薬とみなせることを示す。

最近、一次相転移や集団運動のダイナミックスなどの水についての発見や水ドレーンの誘導時間やメモリー効果が相次いで報告されている。磁気的相互作用がトリガーとなって水ドレーン様構造が常温常圧で生成されれば、水あるいは水/酸素系の新規磁気相互作用は新しい化学を提示する。数十年にわたる科学的謎を解明すると同時に、化学における磁場の利用および社会における磁場の活用に道を拓く。

3. 研究の方法

水の磁気処理効果が取り沙汰されて半世紀が経過したが、いまだに磁気処理水の存在すら明確に認知されないのは、磁気処理操作をした水を“磁気処理された水”として使用し、未処理の水との差が報告されているからである。つまり、簡便で定量的な磁気処理程度の尺度を見積もる方法がないためである。そこで、我々は磁気処理水の接触角の低下量を磁気処理程度の尺度として採用し、接触角の低下(通常2〜10°前後)が見られた磁気処理水をMFA水(Magnetic field affecting water)として、磁気処理効果の検証実験に供した。純水は磁気処理後、直ちに298 Kで接触角を白金板上で測定し(10 min以内)、その後各

種の磁気処理効果実験を速やかに実施した。

磁気処理効果の実験は、磁場中In-situ測定を原則として、厳密に条件設定した上で構造論的・熱力学的に同時測定できるように独自に装置・セル製作し、因果関係が明確な定量的データを収集する。最も重要な物質である水や酸素の磁氣的相互作用についての新しい物理にも繋がる基礎研究を実施した。

磁氣的相互作用による酸素ハイドレート様構造形成の確証を得ること、水素結合の促進によって溶存物質の核化・成長に影響すること、磁氣的相互作用効果に誘導時間とメモリー効果があること、磁氣的相互作用が酸化作用を誘導することに主眼を置いて、以下の方針で臨んだ。

- 純水を用いて、不純物制御、実験条件を厳密にして実験し、再現性を確保する。統計的検定には依拠しない。
- 構造的実体（構造・物性）の解明に主眼を置くと同時に、溶液論で確立された実験手法を主に採用して熱力学的・構造論的に検討する。
- その場測定 (in-situ) を基本とする。磁場外での測定はメモリー研究と位置付ける。そのため、in-situ装置や磁場挿入型セルを開発して対応する。

まずは、基礎的に明確に効果を検出するために、磁気処理には、通常使われる1 T以下（永久磁石や電磁石）の低磁場ではなく、超伝導磁石（3~10 T）の高磁場を用い、また、磁場中に置かれたパイプやチューブに水を流す流通法ではなく、不純物の混入を防ぐために振動法（超純水を蓋付きバイアルに満たして、磁場中を往復運動させる）を用いた。最終的に、社会的にインパクトが大きい市販の磁気処理デバイスを模した永久磁石/流通法システムでの磁気処理効果を検証した。

#### 4. 研究成果

(1) 水の活量の指標として水蒸気圧を磁気処理しながら測定した。温度制御を0.5 K以内にしたりしたところ、0.1 Torr以下の蒸気圧上昇を観測したが、この変化量は温度制御の精度に敏感に依存する兆候が得られた。そこで、0.1 K以内に制御するように装置を改善し、水の蒸気圧を磁気処理しながらin-situで測定した。磁気処理によって水の蒸気圧が上昇したが、その変化量は桁小さく0.01 Torr程度であった。システム全体の更なる温度制御の精密化は困難であるので、現時点では、磁気処理によって水の蒸気圧は0.01 Torr以内で上昇し、水の活量が高くなる可能性を指摘する

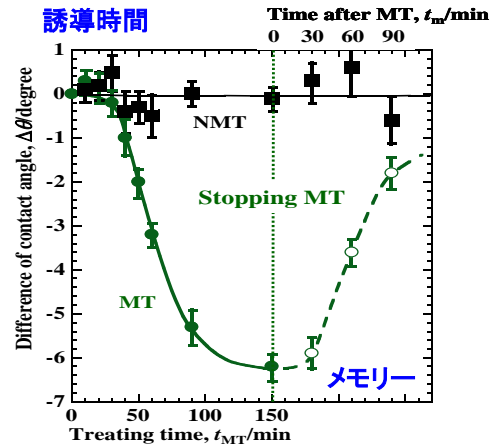


図1 接触角の磁気処理による減少量の磁気処理時間依存性 (MT: 磁気処理)

に留めた。酸素バブリングによる酸素の溶存量や溶存状態の効果による蒸気圧変化の増大を試みたが、成功しなかった。一方で、この実験の過程で、これまで得られてきている磁気処理水の一般的現象—接触角および粘度の低下やラマン散乱における増加、これらにおけるメモリー効果（図1）や溶存酸素の必要性などはほぼ再現でき、酸素クラスレートハイドレートの存在が示唆された。溶存酸素濃度は現状でもほぼ飽和しているの、バブリングによっても多少の過飽和が期待されるのみであるので、磁気処理効果の増加は認められなかったと思われる。そこで、高圧、低温条件による溶存酸素濃度の増大とクラスレートハイドレート生成の促進効果を追及することにした((4)参照)。

(2) in-situラマンプローブを四角柱型石英セルに取り付け、超伝導マグネットボア（298 ± 0.1 K）内の2~6 T（3~10 T）の領域で振動させながらラマンスペクトルを測定した。典型的には、磁場印加前0.5h、磁場印加後0.5h、振動運動2.5h、停止後1h、消磁後0.5hの一連の操作で測定した。磁場印加効果（静磁場効果）はほとんど検出できず、振動運動（磁気処理）によって水のラマンバンドの強度が増大した。磁気処理の効果には0.3h程度の誘導時間と0.5h程度のメモリー効果がみられ、これらは接触角の結果（図1）に対応した。

磁気処理水のラマンバンドがクラスレートハイドレート由来の水（5員環）や過冷却水のそれに類似していることを見出した。ハイドレートについては、2000年頃から結晶化における分オーダーの誘導時間や再結晶における数十分のメモリー効果の報告が相次いでいる。もし、磁場によって酸素ハイドレート様構造が生成するならば、過冷却水のように熱力学的準安定として長寿命で存在し

うる。普通水が70%の磁気処理水の添加によって初めて磁気処理効果を発現する事実は、誘導時間やメモリー効果の存在を強く支持する。

(3) 誘導時間やメモリー効果の存在は、何かしらの構造形成や崩壊を示唆するので、X線回折 (XRD) を測定し、動径分布関数解析を行った。純水を入れたXRDセルを磁気処理し、同時に磁気処理した水の接触角が低下したのを確認してXRD測定を0.5h以内に行った。構造変化は検出できなかった。また、 $^{17}\text{O}$ -NMRを測定して検討した。水への静磁場効果はほぼ認められないので、超純水をNMR管に封入し、超伝導マグネットボア内 (298 K) の6 Tの磁場中を振動させた後測定したが、NMRスペクトルに有意差は認められなかった。

(4)  $\text{O}_2$  クラスレートハイドレートは 100 atm 以上の高圧で生成する。しかし、水の磁気処理においては、磁束変化がハイドレート様構造を 1 atm でも生成させるとの仮説が得られた。純水への磁気処理効果が実証されたラマン散乱測定 (2) に基いて、この仮説を高圧ラマン散乱セルシステムを設計・製作して検証することを試みた。150 atm までの酸素圧力範囲で、磁気処理によるラマンバンド強度の増大は圧力増加と共に増大した。また、現状では、高圧領域でラマン強度が顕著に増大する兆候は得られておらず、大気圧でのハイドレート様構造の生成を示唆した。

クラスレート生成助剤がクラスレート様ハイドレート生成を促進するかを検討するために、テトラヒドロフランを共存させて磁気処理した。現在のところ、磁気処理効果が得られていないが、助剤による磁気処理条件の緩和は重要であるので実験を継続している。

(5) ⑥に関連して、シリカゲル生成、炭酸カルシウム、多孔性配位高分子錯体への磁場効果およびMFA水の効果を検討した。

i) ケイ酸ナトリウムをイオン交換してシリカゲルを調製する際に、水和プロセスが重要と思われるので、磁気処理水中でイオン交換してシリカヒドロゲルを調製した。磁気処理水を用いて珪酸ナトリウム水溶液をイオン交換して得た活性珪酸からシリカゲルを生成した。初期のゾルの粘度とSi-29NMRスペクトルの時間変化を詳細に調べ、縮合反応および凝集反応の速度論への磁気処理水効果を検討した。初期のゾルの粘度を比較すると、磁気処理によって粘度が顕著に増加した (図2)。

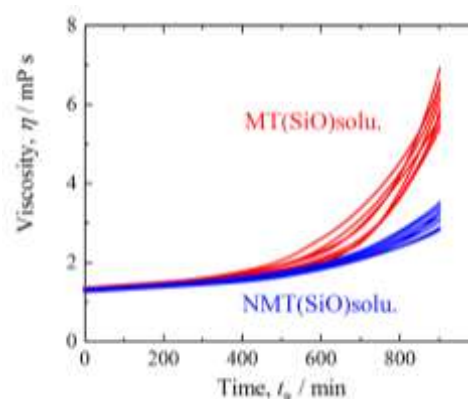


図2 磁気処理水からのシリカゲルの生成  
左：粘度 右：シリカゲルの窒素吸着等温線  
MT(SiO)solu.: 磁気処理水  
NMT(SiO)solu.: 参照水

温度を  $5^{\circ}\text{C}$ ~ $40^{\circ}\text{C}$  で変化させ、縮合反応および凝集反応の速度論への磁気処理水効果を活性化エネルギーによって検討した。磁気処理系では活性化過程が 308K を境に変化することを見出した。この過程には水和が重要な役割を果たしていることを DSC 測定によって確かめた。また、活性ケイ酸を磁場中に静置して、同様に検討した結果、静磁場はシリカゲル成長を速めたが、磁気処理効果のように凝集を速めることはなかった。無機アモルファス系であるシリカゲルへの磁気処理効果はこれまで報告がないと思われる。また、生成したシリカゲルに均一メソ孔が生じるなどの細孔構造への磁気処理効果も得られた (図2)。これは今後磁気処理効果の好例となりうる。

ii) ケイ酸の重合過程へ磁場印加したとき (静磁場効果) のシリカゲル生成過程の解明を目的として、 $^{29}\text{Si}$  NMR へのケモメトリクスを適用して定量的に検討した。磁場中でのシリケート水溶液からのシリカゲル形成を  $^{29}\text{Si}$  NMR、粘度、窒素吸着により測定した。 $^{29}\text{Si}$  NMR の多変量解析によるスペクトル分解を行い3つの純成分のスペクトルと濃度プロフィールに分解した。これらの成分はそれぞれオリゴマー、ポリマー、マイクロゲルに帰属した。6 Tの磁場はポリマーの形成とマイクロゲルへの重合反応を促進した。一方で、オリゴマーとマイクロゲルの構造は大きくは影響されなかった。また、磁場は粒子成長とシラノール基間の相互作用を抑制し、0 T に比べて粘度を減少させる傾向が見られた。このような磁場効果は磁気配向やポリマー、マイクロゲルの水和によると推定した。

(iii) 炭酸カルシウム生成への磁気処理水効果はよく知られているが、我々の検討では  $\text{Ca}^{2+}$  水溶液への磁気処理効果であり、今回、再度実験し、これを確かめた。磁気処理水効

果は不安定相であるバテライト相の安定化効果であり、結果として安定相であるカルサイトへの転換を抑制する効果として現れると考えられる。また、いくつかの  $\text{Ca}^{2+}$  化合物生成への磁気処理効果を検討し、アパタイトなどいくつかの化合物でも磁気処理効果の感触を得た。

これまで強磁場効果を追求してきたが、磁気処理効果は永久磁石を用いて行われるのが通例であるので、ネオジム磁石をチューブを挟むように配列して、0.5 T 以下で実験した。純水をチューブ内に流して 3 h 循環させたところ、接触角が  $3^\circ$  程度減少し、磁気処理効果を示した。磁極の配置、配列などには大きくは依存しないことがわかった。また、純水を食塩水に変えると、接触角変化が小さくなった。通常塩の存在は不可欠と信じられているが、われわれの感触では、塩は必要ではなく、酸素が不可欠である。

(iv) 亜鉛イオンの配位子としてトリアゾール (Taz) とシュウ酸 (Oxac) を用いて新しい多孔性配位高分子  $[\text{Zn}_2(\text{Taz})(\text{Oxac})_2] \cdot (\text{H}_2\text{O})_{2.5}$  を合成したのち、適度な前処理によって残した細孔中の吸着水と二酸化炭素の吸着による相互作用で形成される化学種を、真空脱気のみで除去することによって 5 倍の細孔容量をもつ新しい細孔形成に成功した。また、この PCP は磁場中合成によって、モルフォロジーを大きく変化させる (図 3 右) だけでなく、二酸化炭素吸着能を高めるとともに、細孔の疎水化、細孔直径の均一化をもたらすなど、磁場による細孔制御 (図 3 左) にも展開した。これらはいずれも水が重要な役割を果たしており、特に磁場との相互作用が物質の構造や性質に影響する際立った例である。

以上より、磁場は水と相互作用して水の構造や性質に影響を与えることがわかった。特に、水の磁気処理は酸素クラスレートハイドレート様構造形成を伴う MFA 水を与え、物質生成に影響を与えることを示した。

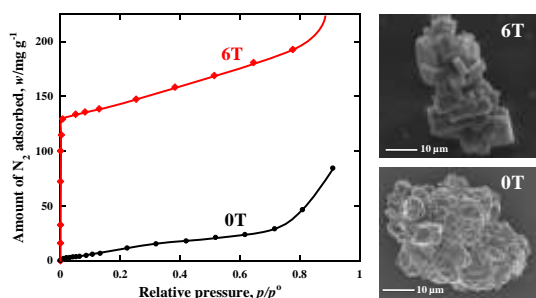


図 3 磁気処理水からの多孔性配位高分子  $[\text{Zn}_2(\text{Taz})(\text{Oxac})_2] \cdot (\text{H}_2\text{O})_{2.5}$  の生成  
左：窒素吸着等温線 右：モルフォロジー

## 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 7 件)

- ① Moondra Zubir, Atom Hamasaki, Taku Iiyama, Akira Ohta, Hiroshi Ohki, Sumio Ozeki\*, “Micropore Formation of  $[\text{Zn}_2(\text{Oxac})(\text{Taz})_2] \cdot (\text{H}_2\text{O})_{2.5}$  via  $\text{CO}_2$  adsorption”, *Langmuir*, **2017**, 33, 680-684. 査読有  
DOI:10.1021/acs.langmuir.6b03456
- ② Shigeo Sasahara, Keiichiro Kaida, Sumio Ozeki\*, “Magnetic field effects on silica gel evolution from aqueous silicate solutions”, *Chemistry Letters*, **2016**, 45 (8), 895-897. 査読有  
doi:10.1246/cl.160499
- ③ Shigeo Sasahara, Sumio Ozeki\*, “Effects of  $\text{Al}^{3+}$  ions on formation of silica framework and surface active sites for  $\text{SO}_4^{2-}$  ions”, *Langmuir*, **2016**, 32 (28), 7079-7085. 査読有  
DOI: 10.1021/acs.langmuir.6b01940
- ④ Keiichiro Kaida, Shigeo Sasahara, Atom Hamasaki, and Sumio Ozeki\*, Effects of Magnetic Treatment Water on Silica Gel Formation, *Chem. Lett.* **2016**, 45(10), 1192-1194. 査読有  
doi:10.1246/cl.160593
- ⑤ Moondra Zubir, Atom Hamasaki, Taku Iiyama, Akira Ohta, Hiroshi Ohki, Sumio Ozeki\*, “Magnetic Field Control of Micropore Formation in  $[\text{Zn}_2(\text{Oxac})(\text{Taz})_2] \cdot (\text{H}_2\text{O})_x$ ”, *Chemistry Letters*, **2016**, 45, 362-364. 査読有  
Doi:10.1246/cl.151150
- ⑥ Atom Hamasaki\*, Sumio Ozeki, Construction of a Pulsed-Magnetic System for On-site Use: Application to Liposomes for Biological Membrane Modeling, *IEEE. Trans. Mag.*, **2016**, 52, 6401704-6401707. 査読有  
DOI:10.1109/TMAG.2016.2546939
- ⑦ Hiromitsu Ito, Taku Iiyama\*, Sumio Ozeki, Kinetics of Cluster-Mediated Filling of Water Molecules into Carbon Micropores, *J. Phys. Chem. C*, **2015**, 119, 4118-4125. 査読有  
DOI:10.1021/jp5118085

[学会発表] (計 38 件)

- ① 高嶋泰正, 浜崎亜富, 内村仁, 尾関寿美男, 「Magnetic field effects on the growth process of SWCNTs and examination of its mechanism」, 第 52 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン

総合シンポジウム, 2017.3.1-3, 東京大学  
②大塚隼人, 浜崎亜富, 尾関寿美男, 「TMPA TFSI イオン液体の磁場誘起相の電位発生と磁化変化による検討」, 日本化学会第 97 春季年会, 2017. 3.16-19, 日吉・慶応義塾大  
③藤尾一輝, 浜崎亜富, 高嶋泰正, 尾関寿美男, 「強磁場中で炭素化したピッチ系炭素物質の磁気配向とその最適環境の探索」, 第 43 回炭素材料学会年会, 2016.12.7-9, 西千葉・千葉大  
④高嶋泰正, 浜崎亜富, 内村仁, 尾関寿美男, 「アルコールの加熱分解を経て生成する炭素物質構造への磁場効果とその機構の検討」, 第 11 回日本磁気科学会年会, 2016.11.15-17, 物質・材料研究機構・つくば (研究奨励賞受賞)  
⑤鈴木駿一郎, 浜崎亜富, 尾関寿美男, 「炭酸カルシウム生成への磁気処理水効果」, 第 11 回日本磁気科学会年会, 2016.11.15-17, 物質・材料研究機構  
⑥江津拓也, 浜崎亜富, 尾関寿美男, 「金属塩および添加物と共存するオレイルアミン脂質二分子膜の膜電位への磁場効果」, 第 11 回日本磁気科学会年会, 2016.11.15-17, 物質・材料研究機構・つくば  
⑦Sumio Ozeki, “Magnetic-field-affecting Water and Its Properties”, International Workshop on Recent Progress of Magneto-Science, November 15<sup>th</sup>-17<sup>th</sup>, 2016, NIMS, Tsukuba, Japan. (Invited)  
⑧浜崎亜富, 藤尾一輝, 高嶋泰正, 尾関寿美男, 「磁場中で炭素化したピッチ系炭素物質の構造特性とその発現環境の検討」, 第 67 回コロイドおよび界面化学討論会, 2016.9.22-24, 旭川・北海道教育大  
⑨高嶋泰正, 浜崎亜富, 内村仁, 尾関寿美男, 「液相分解法で生成する炭素物質の構造と磁場の影響」, 第 67 回コロイドおよび界面化学討論会, 2016.9.22-24, 旭川・北海道教育大  
⑩大塚隼人, 浜崎亜富, 尾関寿美男, 「磁場と温度変化に誘起されるイオン液体 (TMPA TFSI) の相変化: 電位および磁化率の変化による検出」, 第 67 回コロイドおよび界面化学討論会, 2016.9.22-24, 旭川・北海道教育大  
⑪鈴木駿一郎, 浜崎亜富, 尾関寿美男, 「炭酸カルシウムの結晶成長と構造転換への磁気処理水の効果」, 第 67 回コロイドおよび界面化学討論会, 2016.9.22-24, 旭川・北海道教育大  
⑫藤尾一輝, 浜崎亜富, 尾関寿美男, 「磁場中で炭素化したアントラセンピッチの偏向特性」, 第 67 回コロイドおよび界面化学討論会, 2016.9.22-24, 旭川・北海道教育大  
⑬H. Otsuka, A. Hamasaki and S. Ozeki “Magnetic field effects on phase transformation

of an ionic liquid, N,N,N-trimethylpropylammonium tetrasulfonylimide”, 7th International Workshop on Materials Analysis and Processing in Magnetic Fields, 15th-18th June, Providence, RI, USA

⑭ A. Hamasaki, K. Fujio and S. Ozeki, “Magnetic orientation of carbon materials prepared from anthracene pitch”, 7th International Workshop on Materials Analysis and Processing in Magnetic Fields, 15th-18th June, 2016, Providence, RI, USA

⑮ Atom Hamasaki, Jin Uchimura, Sumio Ozeki, Ayumi SAKAGUCHI, Yasumasa TAKASHIMA, “Structural change of single-walled carbon nanotubes prepared in magnetic fields”, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015, December 15th-20th, Honolulu, Hawaii, USA

⑯ K Kaida, Shigeo Sasahara, Atom Hamasaki, Sumio Ozeki, “Effects of magnetic treatment water on silica gel formation”, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015, December 15th-20th, Honolulu, Hawaii, USA

⑰ Hayato Otsuka, Atom Hamasaki, Sumio Ozeki, “Freezing potential of ionic liquids and magnetic field effects on it”, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015, December 15th-20th, Honolulu, Hawaii, USA

⑱ Yasumasa TAKASHIMA, Atom Hamasaki, Jin Uchimura, Ayumi SAKAGUCHI, Sumio Ozeki, “Magnetic field effects on CVD growth process of single-walled carbon nanotubes”, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015, December 15th-20th, Honolulu, Hawaii, USA

⑲ Shigeo Sasahara, K Kaida, Sumio Ozeki, “Magnetic fields effect on silica aggregation process”, International Conference on Magneto-Science 2015, October 2 27th-31st, Matsumoto, Nagano, Japan

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

尾関 寿美男 (OZEKI, Sumio)  
信州大学・学術研究院理学系・教授  
研究者番号: 60152493

### (3) 連携研究者

浜崎 亜富 (HAMASAKI, Atom)  
信州大学・学術研究院理学系・助教  
研究者番号: 60510120