

令和 6 年 9 月 12 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01974

研究課題名（和文）ファインバブルによるグリーンものづくり：原理原則の解明から合成プロセス開発まで

研究課題名（英文）Green Manufacturing with Fine Bubbles: From Principle Elucidation to Synthetic Process Development

研究代表者

間瀬 暢之（Mase, Nobuyuki）

静岡大学・グリーン科学技術研究所・教授

研究者番号：40313936

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）：ファインバブル（FB）の生成法はトップダウン法とボトムアップ法の2つに分かれ、その化学を理解し活用するには原理を解明する必要がある。それにはFBの物性や反応性を評価し、消えるFB界面を特殊反応場として活用することが鍵となる。さらに、気体を使った反応を次世代の製造に応用するためには、界面化学とプロセス化学の発展が重要である。具体的には、FBの生成法ごとの物性と反応性の評価、FBを利用した反応開発、FBの製造プロセスの確立が目指される。2021年にはFBの物性と反応性の評価に取り組み、2022～2023年にはFB界面での特殊反応とファインバブルグリーン製造プロセスを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、Fine Bubble (FB) 技術の学術的独自性と創造性を探求し、その社会的応用にも焦点を当てている。FBは従来の気泡とは異なる特性を持ち、これまでの研究では流体力学や環境工学などの分野で応用されてきた。しかしながら、FBの有機合成化学への応用は未だ乏しく、その理論と応用の探求が喫緊の課題である。本研究はFBの発生法による物性と反応性の解明を目指し、新たなFB発生装置や評価法、反応開発を創造した。本研究の推進により、日本発のFB技術を世界共通技術へと昇華させ、グリーンものづくりの基盤を築くことが期待されている。

研究成果の概要（英文）：Fine bubble (FB) generation methods can be divided into top-down and bottom-up methods, and understanding and utilizing their chemistry requires clarification of their principles. The key to this is to evaluate the physical properties and reactivity of FBs and to utilize the disappearing FB interface as a specific reaction field. Furthermore, the development of interfacial chemistry and process chemistry is important for applying gas-based reactions to the next generation of manufacturing. Specifically, the goal is to evaluate each FB formation method's physical properties and reactivity, develop reactions using FB, and establish FB production processes. In 2021, we worked to evaluate FB's physical properties and reactivity; in 2022-2023, we developed special reactions at the FB interface and fin-bubble green production processes.

研究分野：有機化学

キーワード：グリーンものづくり グリーンケミストリー ファインバブル マイクロバブル ウルトラファインバブル 多相系反応 新奇特殊反応場 FB手法の集積化

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

一般的に、溶液中の化学反応では、基質の濃度と反応温度が高いほど反応速度が向上することが知られている。しかし、気体を含む反応では、気体の溶解性が低いため、基質としての気体濃度を高めることが困難である。これまでの主な対策としては、過剰な気体を使用したり、高圧の反応容器で気体を加圧溶解させたりする方法が一世紀以上にわたり採用されてきた。この長年の課題に対して、我々は新たなアプローチとして、目に見えないコロイド領域の気泡であるファインバブル (FB) を用いて解決する方法を提案した。このアプローチでは、「無理に溶解させるのではなく、自然に溶解させる」というコンセプトを採用することで、溶存気体分子だけでなく、マイクロからナノサイズまでの分散気体を化学反応に利用可能にした<sup>1), 2)</sup>。

FB の生成方法には、トップダウン法とボトムアップ法の 2 種類がある。気泡を剪断して分割し、収縮させることでナノサイズのウルトラファインバブル (UFB) を生成する方法と、加圧溶解した気体を減圧して UFB を生成する方法が存在するが、これらのプロセスが同一のものかどうかは未だ明らかではない。さらに、マイクロサイズのマイクロバブル (MB) や UFB が存在する過飽和過程 (溶解 vs 溶解) が同じであるかどうか、理解していく必要がある。また、消失する FB の界面を新たな特殊反応場として活用できるか、また、容易に導入・除去できる気体を含む反応を次世代のものづくりにどう活用できるかを探ることで、界面化学とプロセス化学の深化が期待される。

## 2. 研究の目的

「ファインバブル (FB) 技術を利用した次世代型グリーン製造化学プロセスの確立」を全体構想としており、この研究課題はその中核を成すものである。これまでの挑戦的な萌芽研究および基盤研究 B を通じて特定された課題を、学術的に解明し、実用化に向けた基盤技術の深化を図るための学術から実用化への段階である。本研究の目的は、化学分野、特に合成化学におけるファインバブル (FB) の応用に焦点を当てることである。FB の化学反応における利活用はまだ歴史が浅く、反応を促進する効果は報告されているが、その作用機序の体系的な理解には至っていない。この研究では、代表的な 6 つの FB 生成法によって生じた FB の物理的および化学的性質を系統的に評価する。FB 化学の基本原則を明らかにすることに加えて、消失する FB を特殊な反応場として活用した新しい反応の開発や、FB を用いた製造プロセスの確立を目指すした。

## 3. 研究の方法

濾過蒸留水を加圧溶解式 FB 装置で循環させることで FB 分散水を生成し、装置の印加圧力制御により FB 条件の異なる種々の分散液を作成した。特徴量について、FB 濃度とサイズ、溶存気体濃度の定常値を定量化した。反応性評価では 2,2-thiodiethanol の光酸化と、*cis*-2-butene-1,4-diol の接触水素化をモデル反応とした (Fig. 1)。反応は FB 定常化後に開始し、反応中も FB 生成を継続することで FB 条件の定常状態を維持した。

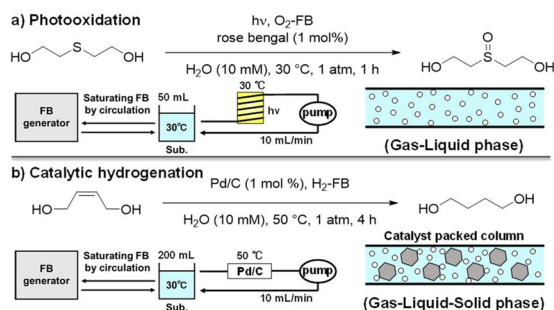


Figure 1. Overview of FB reactivity evaluation

#### 4. 研究成果

##### (1) 評価結果と規格化による比較

$\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$  のそれぞれについて、一般的な給気法である Bubbling ( $\text{B}_{\text{H}_2}$ ,  $\text{B}_{\text{O}_2}$ ) のほか、生成時の印加圧が異なる 2 種の FB 条件 ( $\text{L}_{\text{O}_2}$ ,  $\text{L}_{\text{H}_2}$ ,  $\text{H}_{\text{O}_2}$ ,  $\text{H}_{\text{H}_2}$ ) における FB 特徴量および同条件における反応性を評価した。さらに、物性評価と反応性評価で得られた各特徴量について、溶存気体濃度が最も低い  $\text{B}_{\text{H}_2}$ ,  $\text{B}_{\text{O}_2}$  を基準として規格化した。一般的な気相 - 液相反応では、溶存気体濃度と反応性は相関関係にあり、予備実験として実施した *cis*-2-butene-1,4-diol の水素化反応でも、 $\text{H}_2$  分圧と収率の比例関係を確認できた。このことから、規格化後の同一条件内の溶存気体濃度は収率と同値になるはずであり、収率の理論値とみなせる。 $\text{O}_2$ -FB による光酸化の結果、溶存酸素濃度と収率の規格値間に良い一致が見られた。一方、 $\text{H}_2$ -FB による接触水素化では溶存水素濃度から予想される理論収率よりも高い収率が得られた (Fig. 2)。

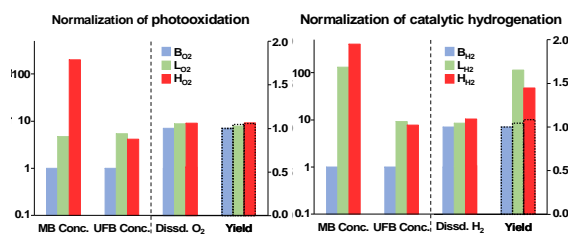


Figure 2. Comparison of normalized values. The dashed box shows the theoretical yield expected from the dissolved gas concentration.

光酸化における各条件間について、MB 濃度は最大 186 倍、UFB 濃度は最大 3.5 倍の差が生じたが、これらは収率には影響しなかった。そこで、Young-Laplace の式に基づき、FB が含有する酸素量を概算したところ、溶存酸素濃度の 0.01~1.73% 程度であることがわかった (Table 1, entries 1-3)。したがって、 $\text{O}_2$ -FB がすべて反応で消費されたとしても収率の増加量は 1% 未満となるため、理論値との一致は妥当と考えられる。接触水素化の場合も同様に FB としての水素量を概算した結果、溶存水素濃度の 0.01~0.73% であった (Table 1, entries 4-6)。この場合の収率増加量も 1% 未満と推測されたが、実際は  $\text{L}_{\text{H}_2}$  において理論収率より 1.6 倍の高い収率が得られた。このときの  $\text{H}_2$ -FB による反応性向上効果は、FB が含有する水素量から推算される効果の 397 倍であり、気-液-固三相系反応である接触水素化において FB の特異な効果が生じることが示唆された。

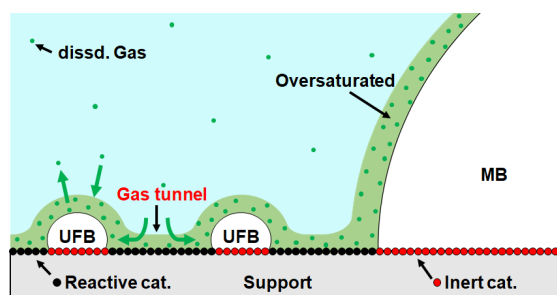
**Table 1.** Dissolved and FB-containing gas concentration

entry	condition	dissd. gas (mg/L)	est. gas as FBs (mg/L)	ratio (%)
1	B <sub>O2</sub>	35.4	0.005	0.01
2	L <sub>O2</sub>	37.3	0.016	0.04
3	H <sub>O2</sub>	37.4	0.651	1.73
4	B <sub>H2</sub>	1.57	<0.001	<0.01
5	L <sub>H2</sub>	1.64	0.002	0.15
6	H <sub>H2</sub>	1.71	0.012	0.73

## ( 2 ) FB の反応メカニズム

光酸化と接触水素化で FB の寄与が異なるのは、反応場の違いが要因と推察される。光酸化は気-液二相系反応であることから、光が照射された液相全体が反応場となり、液相に含まれるすべての気体分子が反応に関与する。これに対し、気-液-固三相系反応である接触水素化の反応場は固体触媒表面に限定され、表面付近の気体分子のみが反応に関与する。一般的に、FB には表面張力に由来した自発的な収縮力である自己加圧効果が生じており、加圧された内部気体が液相に溶け出すことで FB 周辺に過飽和領域が形成される。FB が疎水性固体表面に付着した場合、FB 周辺の過飽和領域は表面に沿って展開される<sup>3)</sup>。また、固体表面上の隣接する FB 間の過飽和領域は互いに接続され、ガストンネルと呼ばれる過飽和領域が形成されることが報告されている ( Fig. 3 )<sup>4)</sup>。このガストンネル効果により、固体触媒表面では溶存気体やバルク中 FB の量から想定されるよりも高濃度の溶存気体領域が形成される。その結果、反応場の水素量が局所的に増大し、反応速度が向上した可能性がある。

ここで、H<sub>H2</sub> と L<sub>H2</sub> の結果を比較すると、UFB 濃度は同等であるが、MB 濃度は H<sub>H2</sub> の方が高い。FB の存在により両条件とも収率が向上しているが、L<sub>H2</sub> の方が高くなっている。FB の中でも比較的大きな気泡である MB が触媒表面に付着した場合、気泡が触媒表面を覆う面積が大きくなり、反応に有効な触媒活性点が減少する可能性がある。この反応活性点減少とガストンネル効果の競合により、MB 濃度の高い H<sub>H2</sub> では収率向上効果が抑制されたと考えられる。したがって、接触水素化の反応性を向上させるためには、FB の中でも比較的小さな気泡である UFB を高濃度化させることでガストンネル効果を促進し、MB を低濃度化させることで触媒活性点を最大化することが重要と考えられる。

**Figure 3.** Gas tunnel effect caused by FB

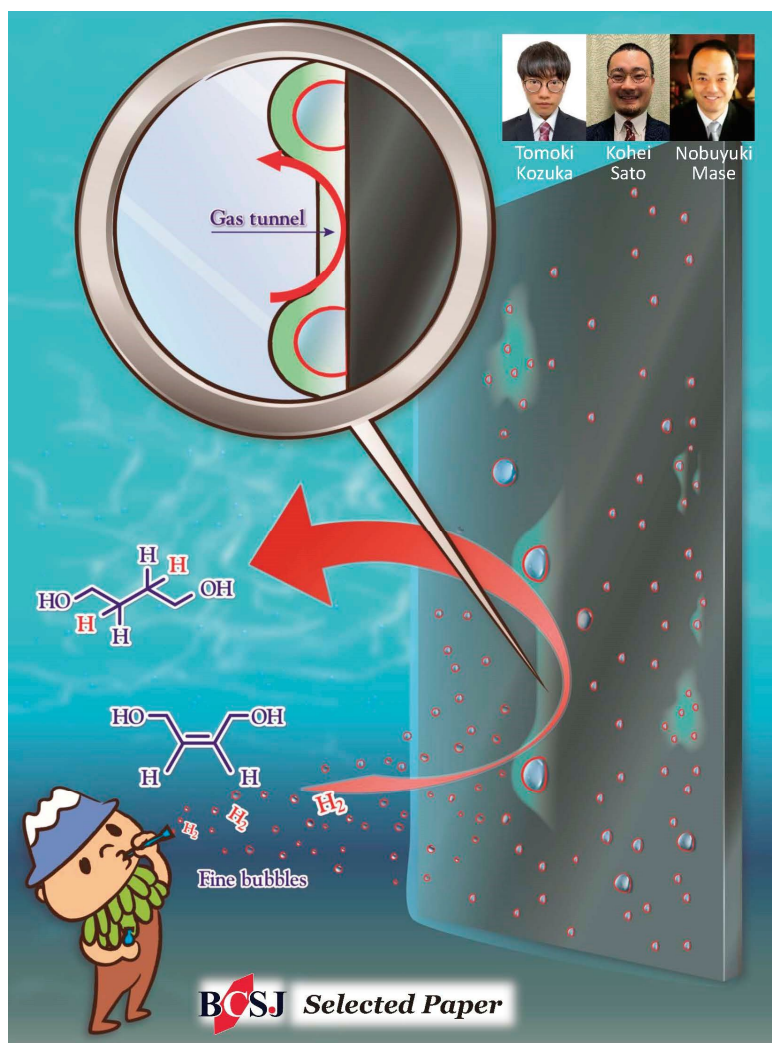
## 総括

これまで未解明であったFB 特徴量と反応性との関係について調査すべく、異なる複数のFB 条件におけるFB 特徴量を定量化し、気-液二相系反応と気-液-固三相系反応に対する反応性をそれぞれ評価したFB のガストンネル効果が気-液-固三相系反応の反応性を特異に向上させることを明らかにした。

## 参考文献

1 ) Mase, N. *et al. Chem. Commun* (2011), *Synlett* (2013, 2017, 2020), 2 ) Fujita, H. *et al. J. Jpn. Pet. Inst.*, 2021, 63, 10., 3 ) Zhang, R. *et al. J. Colloid Interface Sci.*, 2022, 609, 637., 4 ) Li, D. *et al. Langmuir*, 2019, 35, 15029.

備考 ) 本研究成果は "Enhancing Multiphase Reactions by Boosting Local Gas Concentration with Ultrafine Bubbles" Kozuka, T.; Iio, T.; Suzuki, S.; Kakiuchi, K.; Tadano, G.; Sato, K.; Narumi, T.; Mase, N., *Bull. Chem. Soc. Jpn.* 2023, 96 (8), 752-758 (<https://doi.org/10.1246/bcsj.20230110>) として発表し、Selected Paper に選出されるとともにインサイドカバーを飾った。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kozuka Tomoki, Iio Takuya, Suzuki Soma, Kakiuchi Kenta, Tadano Genta, Sato Kohei, Narumi Tetsuo, Mase Nobuyuki	4. 巻 96
2. 論文標題 Enhancing Multiphase Reactions by Boosting Local Gas Concentration with Ultrafine Bubbles	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 752 ~ 758
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20230110	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 -
1. 著者名 Manna Arun Kumar, Doi Mizuki, Matsuo Keiya, Sakurai Hiroto, Subrahmanyam Ch., Sato Kohei, Narumi Tetsuo, Mase Nobuyuki	4. 巻 22
2. 論文標題 Fine bubble technology for the green synthesis of fairy chemicals	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Organic & Biomolecular Chemistry	6. 最初と最後の頁 3396-3404
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d4ob00237g	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 Kakiuchi Kenta, Kozuka Tomoki, Mase Nobuyuki, Miyasaka Takehiro, Harii Norikazu, Takeoka Shinji	4. 巻 39
2. 論文標題 Do Ultrafine Bubbles Work as Oxygen Carriers?	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 1354 ~ 1363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.2c01209	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 Sato Kohei, Ueda Jun, Kon Takuya, Nakamura Yushi, Fujimoto Junko, Narumi Tetsuo, Takeda Kazuhiro, Mase Nobuyuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Microwave flow chemistry: Single-mode system for kg-scale organic synthesis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)	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) 10.23919/APMC55665.2022.9999928	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 Morrison Gary, Bannon Ruairi, Wharry Scott, Moody Thomas S., Mase Nobuyuki, Hattori Masayuki, Manyar Haresh, Smyth Megan	4. 巻 90
2. 論文標題 Continuous flow photooxidation of alkyl benzenes using fine bubbles for mass transfer enhancement	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tetrahedron Letters	6. 最初と最後の頁 153613 ~ 153613
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tetlet.2021.153613	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 Kawahara Akira, Mizushima Yuki, Matsui Makoto, Kozuka Tomoki, Mase Nobuyuki	4. 巻 12
2. 論文標題 Electrodeless hydrogen production from seawater using femtosecond laser pulses	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 9304 ~ 9309
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2RA01337A	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 -

〔学会発表〕 計44件 (うち招待講演 18件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 間瀬暢之
2. 発表標題 ファインバブルとフロー合成を活用したグリーンものづくりへの挑戦
3. 学会等名 ATAC Day 2024 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 間瀬暢之
2. 発表標題 地方大学で四半世紀：グリーンものづくりを目指して
3. 学会等名 第6回SPERC計算化学講演会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 間瀬暢之
2. 発表標題 地方大学で 挑戦 失敗 反省、いつか成功 : 研究も人生も一緒
3. 学会等名 CIRIC講演会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 間瀬暢之
2. 発表標題 挑戦 失敗 反省、いつか成功 : 研究も人生も一緒
3. 学会等名 日本プロセス化学会2023サマーシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 間瀬暢之
2. 発表標題 グリーンフロー化学 : プロセスレシピケミストの育成を目指して
3. 学会等名 フローマイクロ合成研究会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 間瀬暢之
2. 発表標題 グリーンフロー化学 : 社会実装をラボで目指して
3. 学会等名 FlowSTサマーワークショップ (招待講演)
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 間瀬暢之
2. 発表標題 地方大学で研究して、もうすぐ四半世紀：グリーンものづくりを目指して
3. 学会等名 有機合成化学協会関西支部セミナー（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nobuyuki Mase
2. 発表標題 Green organic synthesis using fine bubbles, microwave, and flow technology
3. 学会等名 2nd CNU-SU Symposium（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 富崎 真衣、櫻井 大斗、間瀬 暢之、栄長 泰明
2. 発表標題 ダイヤモンド電極によるCO <sub>2</sub> の電解還元におけるファインバブルの影響
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 盛田鵬人・櫻井大斗・佐藤浩平・鳴海哲夫・間瀬暢之
2. 発表標題 グリーンものづくり：ファインバブル有機化学：微細孔方式による高粘性液体の常圧気相 液相反応の開発
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Arun Kumar MANNA・佐藤浩平・鳴海哲夫・間瀬暢之
2. 発表標題 グリーンものづくり：ファインバブル法によるフェアリー化合物の合成
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 神名 航、原淵 祐、林 裕樹、高野 秀明、小塚 智貴、櫻井 大斗、間瀬 暢之、前田 理、美多 剛
2. 発表標題 量子化学計算に基づくアミンと二酸化炭素からのアルケンの触媒的アミノカルボキシル化：気液フローシステムへの展開
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 櫻井大斗・盛田鵬人・佐藤浩平・鳴海哲夫・間瀬暢之
2. 発表標題 ファインバブル有機化学：テルペン類多相系反応の効率化
3. 学会等名 第67回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 間瀬暢之・櫻井大斗・盛田鵬人・佐藤浩平・鳴海哲夫
2. 発表標題 ファインバブル有機化学：油脂類多相系反応の効率化
3. 学会等名 第61回日本油化学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 間瀬暢之
2. 発表標題 ファインバブル有機化学：革新的多相系反応によるグリーンものづくり
3. 学会等名 第12回ファインバブル技術講習会「化学工学分野におけるファインバブル研究の進展」（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 間瀬暢之
2. 発表標題 ファインバブル有機化学：グリーンものづくり技術へと導くには？
3. 学会等名 第23回気泡・液滴・微粒子分散工学サロン（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 間瀬暢之
2. 発表標題 ファインバブル有機化学：10年間でできるようになったこと
3. 学会等名 第18回ファインバブル国際シンポジウム -ファインバブルの未来-（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 間瀬暢之
2. 発表標題 ファインバブル有機化学
3. 学会等名 京都大学 微細気泡研究会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nobuyuki Mase
2. 発表標題 Green organic synthesis using fine bubbles, microwave, and flow technology
3. 学会等名 ICONN 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上田 潤・佐藤浩平・武田和宏・鳴海哲夫・間瀬暢之
2. 発表標題 グリーンフロー化学：社会実装を志向したマイクロ波フロー合成
3. 学会等名 第11回JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小塚智貴・櫻井大斗・濱添光一・佐藤浩平・鳴海哲夫・間瀬暢之
2. 発表標題 ファインバブル有機化学：環境調和型条件下での高効率気相 液相反応の実現
3. 学会等名 第11回JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小塚智貴・櫻井大斗・濱添光一・佐藤浩平・鳴海哲夫・間瀬暢之
2. 発表標題 ファインバブル有機化学：社会実装を志向した気相 - 液相反応様式の創出
3. 学会等名 日本プロセス化学会2022サマーシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小田島 博道・小塚 智貴・櫻井 大斗・間瀬 暢之
2. 発表標題 生理食塩水への水素 - ウルトラファインバブル高濃度分散の検証
3. 学会等名 第 11 回日本分子状水素医学生物学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Arun Kumar Manna, Kohei Sato, Tetsuo Narumi and Nobuyuki Mase
2. 発表標題 The synthesis method of fairy compounds using modern fine-bubble technology
3. 学会等名 ISFAR-SU 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小塚智貴・佐藤浩平・鳴海哲夫・間瀬暢之
2. 発表標題 ファインバブル有機化学：気相 - 液相 - 固相反応を促進する超微細気泡のガストンネル効果
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 櫻井大斗・角居雄太・花田祥吾・佐藤浩平・鳴海哲夫・間瀬暢之
2. 発表標題 ファインバブル有機化学：微細気泡を用いた還元剤フリーオゾン酸化手法の開発
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Arun Kumar MANNA・佐藤浩平・鳴海哲夫・武田和宏・間瀬暢之
2. 発表標題 グリーンものづくり：工業化を指向したフェアリー化合物の短段階合成
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Arun Kumar MANNA
2. 発表標題 A total synthesis method of fairy compounds using modern fine-bubble technology
3. 学会等名 ICONN 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小塚智貴・佐藤浩平・鳴海哲夫・間瀬暢之
2. 発表標題 ファインバブル有機化学：多相系反応に対する微細気泡の効果
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮下直己・Arun Kumar MANNA・佐藤浩平・鳴海哲夫・間瀬暢之
2. 発表標題 グリーンものづくり：擬定常法によるフロー反応条件変数最適化手法の開発
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 櫻井大斗・佐藤浩平・鳴海哲夫・間瀬暢之
2. 発表標題 ファインバブル有機化学：微細孔方式による気相・液相反応の開発
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 濱添光一・佐藤浩平・鳴海哲夫・間瀬暢之
2. 発表標題 ファインバブル有機化学：噴霧式FB発生手法による気相・液相反応性評価
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 間瀬暢之
2. 発表標題 ファインバブルの有機合成への応用 ～グリーンものづくりに向けて～
3. 学会等名 最近の化学工学講習会70「進化するファインバブル技術と応用展開」（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 間瀬暢之
2. 発表標題 有機化学を基盤としたグリーンものづくり ～多くの命を救える化学技術を目指して～
3. 学会等名 第18回アカデミックナイト（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nobuyuki Mase, Keiya Matsuo, Junko Fujimoto, Kohei Sato, Tetsuo Narumi
2. 発表標題 Synthesis of fairy chemicals using fine bubbles and flow technology
3. 学会等名 the Pacifichem 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nobuyuki Mase
2. 発表標題 Green organic synthesis using microwave, fine bubbles and flow technology
3. 学会等名 the Pacifichem 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 垣内 健太・小塚 智貴・間瀬 暢之・宮坂 武寛・針井 則一・武岡 真司
2. 発表標題 酸素運搬体としてのファインバブル分散液の物性評価
3. 学会等名 第43回日本バイオマテリアル学会大会/第8回アジアバイオマテリアル学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮下直己・佐藤浩平・鳴海哲夫・間瀬暢之
2. 発表標題 グリーンものづくり：擬定常フロー反応条件最適化手法の開発
3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会支部連合秋季大会 (静岡)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 小塚智貴・佐藤浩平・鳴海哲夫・間瀬暢之
2. 発表標題 ファインバブル有機合成：化学反応性に対する微細気泡の効果
3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会支部連合秋季大会（静岡）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小塚智貴・垣内健太・佐藤浩平・鳴海哲夫・間瀬暢之
2. 発表標題 ファインバブル有機化学：多相系反応の効率化
3. 学会等名 日本油化学会第60回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 間瀬暢之
2. 発表標題 フロー合成技術によるプロセスの連続化と反応条件の最適化事例及び課題 ～マイクロ波・ファインバブル・機械学習最適化技術の融合～
3. 学会等名 サイエンス&テクノロジーセミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 間瀬暢之
2. 発表標題 静岡大学からのお便り：10年間研究してちょっと分かったこと ～グリーンものづくり～
3. 学会等名 第5回SPring-8先端放射光技術による化学イノベーション研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 間瀬暢之
2. 発表標題 ファインバブルの基本特性と有機合成への適用研究事例・今後の展望
3. 学会等名 情報機構セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤祐介・水上友人・濱添光一・藤本准子・間瀬暢之
2. 発表標題 ハニカム触媒を用いた多相系フロー合成
3. 学会等名 日本プロセス化学会2021サマーシンポジウム
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 間瀬暢之・武田和宏・佐藤浩平	4. 発行年 2021年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 250
3. 書名 フローマイクロ合成の最新動向 第IV編:プロセス強化,実用化への展開について、第20章 プロセスインフォマティクス:プロセス強化のためのAI活用	

1. 著者名 間瀬暢之	4. 発行年 2021年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 266
3. 書名 マイクロバブル・ナノバブルの技術と市場 2021 第6章 グリーンものづくり:ファインバブル有機合成手法の開発	

〔産業財産権〕

〔その他〕

MASE Laboratory@Shizuoka University  
<https://wpp.shizuoka.ac.jp/mase/>

mase.nobuyuki  
<https://linktr.ee/mase.nobuyuki>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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			
英国	Almac Group	Queen ' s University Belfast	Arran Chemical Company	
インド	NIPER	IITH		