

1/1000のコストで自己泳動触媒を 製造する自励振動マイクロポンプ

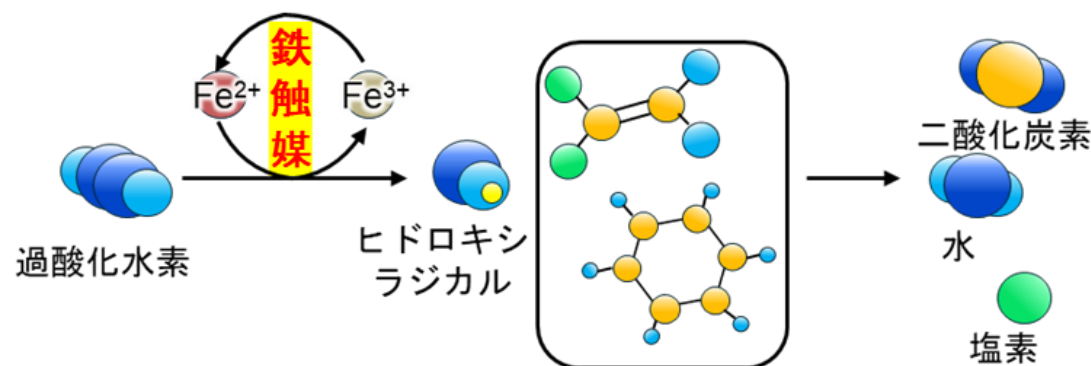
広島大学 大学院統合生命科学研究科 数理生命科学プログラム
助教 松尾 宗征

2025年9月19日

従来技術とその問題点

目的 生物処理、凝集処理でも除去できなかった汚水の原因物質除去を目的として、**鉄を触媒としたフェントン反応**が用いられている。（農薬廃水、製薬廃水、染料廃水）

技術 鉄触媒でラジカル発生させ有機物分解



フェントン触媒とその市場規模

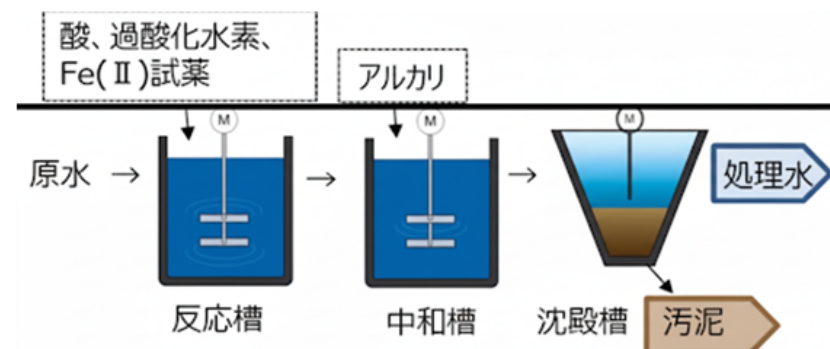
不均一系触媒: **Fe**を含んだマイクロ粒子

930億円 2024年 (推定) 1422億円 2032年

<https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/advanced-oxidation-technologies-market-101427>
<https://www.cognitivemarketresearch.com/aop-system-market-report>
https://www.cognitivemarketresearch.com/fenton-reactor-market-report?utm_source=chatgpt.com



フェントン反応槽とその市場規模



885億円 2024年 (推定) 1353億円 2032年
https://www.cognitivemarketresearch.com/fenton-reactor-market-report?utm_source=chatgpt.com

1つの工場の年間廃液攪拌電気代 推定 **7 億円**
 Scientific Reports 9:9689 (2019); Water Science & Technology 77(3):wst2017596

不均一フェントン処理の課題

- A) Fe含有マイクロ粒子の**製造コスト**
- B) 重量当たりの**Fe含有量の低さ**
- C) **攪拌の電気代**が7 億円と高額

発明の背景

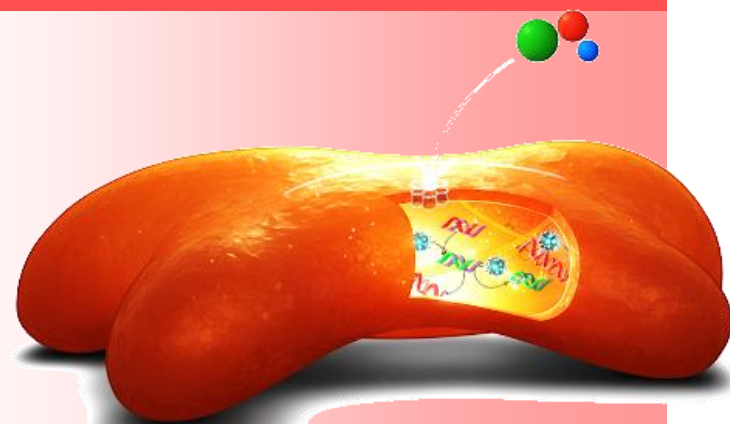
従来の機械装置
(システム工学)



- ①センサー
④回帰性
②マイコン
③アクチュエータ

マイクロ
リットル化

原子・分子機械装置
(システム分子工学)



従来の機械装置4特性の
原子・分子での実現が困難

発明の概要

- 浸透圧で駆動する自動マイクロポンプを発明
- マイクロポンプの製造・組み立ては自動
- マイクロポンプで非球形金属含有マイクロビーズを1000分の1のコストで自動製造
- 自動マイクロポンプで、自己泳動触媒の製造を実現
- マイクロロボットや人工生命の知育教材に転用可能

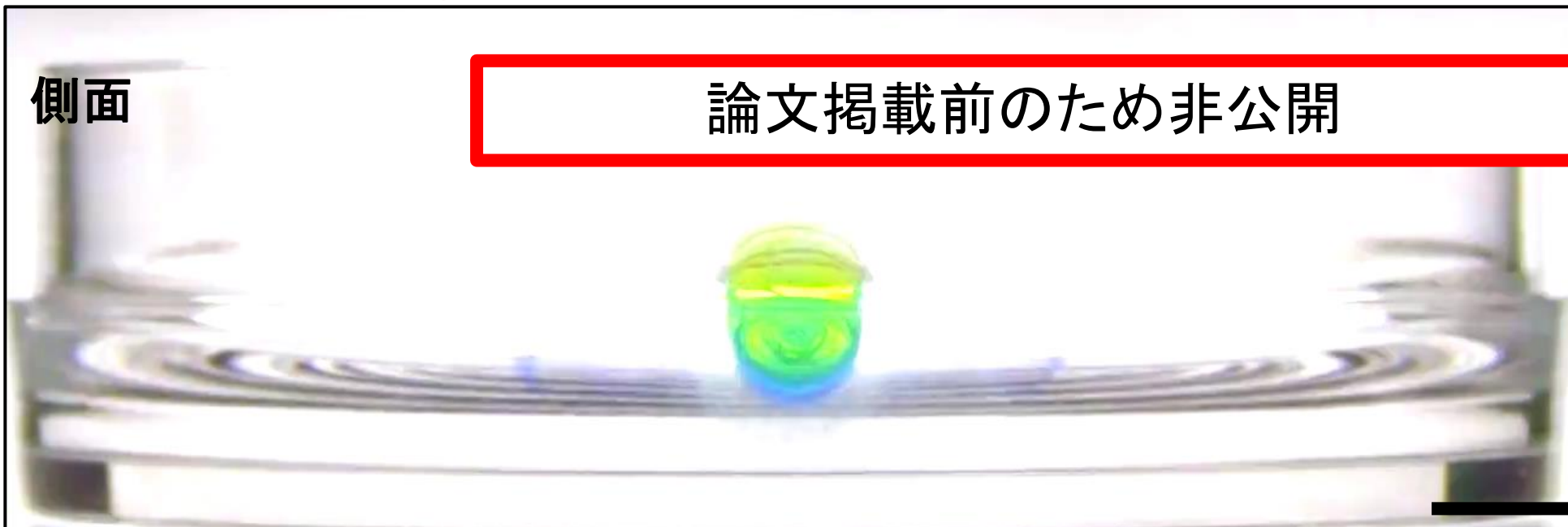
技術内容①： 基本原理

論文掲載前のため非公開

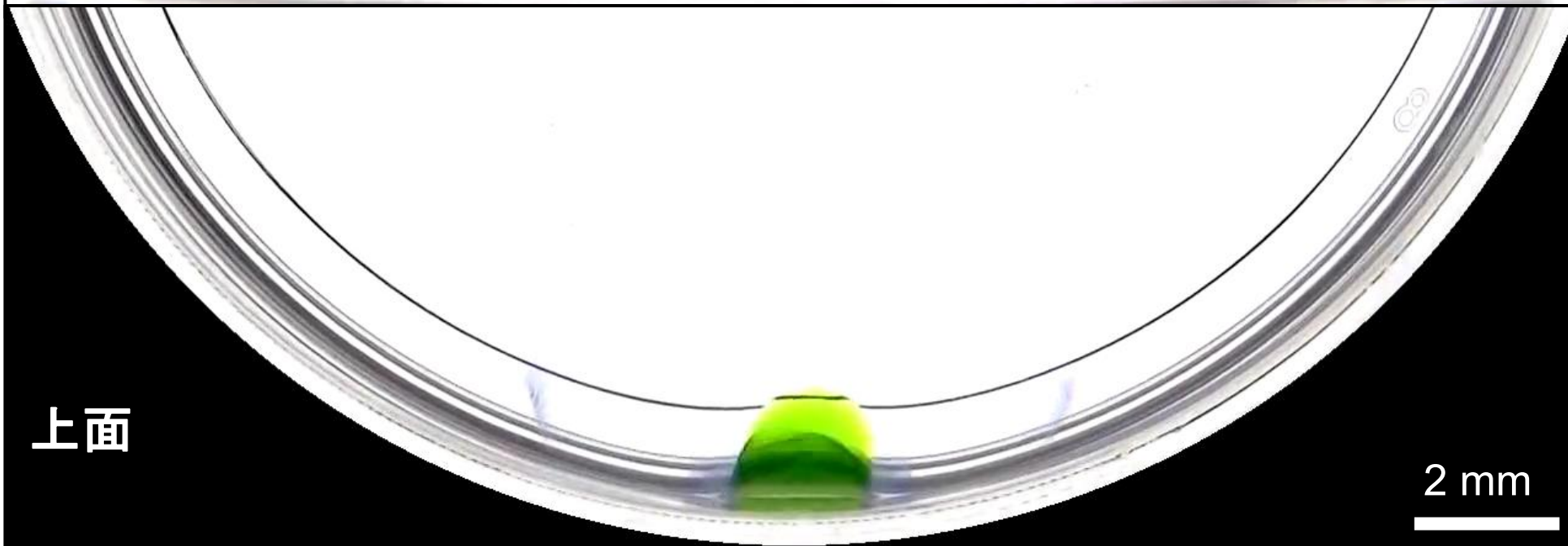
技術内容②: 異形マイクロビーズ製造

側面

論文掲載前のため非公開



上面



2 mm

技術内容③： 含有金属の多様性

論文掲載前のため非公開

PumpingでFe(鉄)含有微小構造体を製造 → フェントン触媒製造に活用

技術内容④： 数理モデル

論文掲載前のため非公開

技術内容⑤： 必要条件

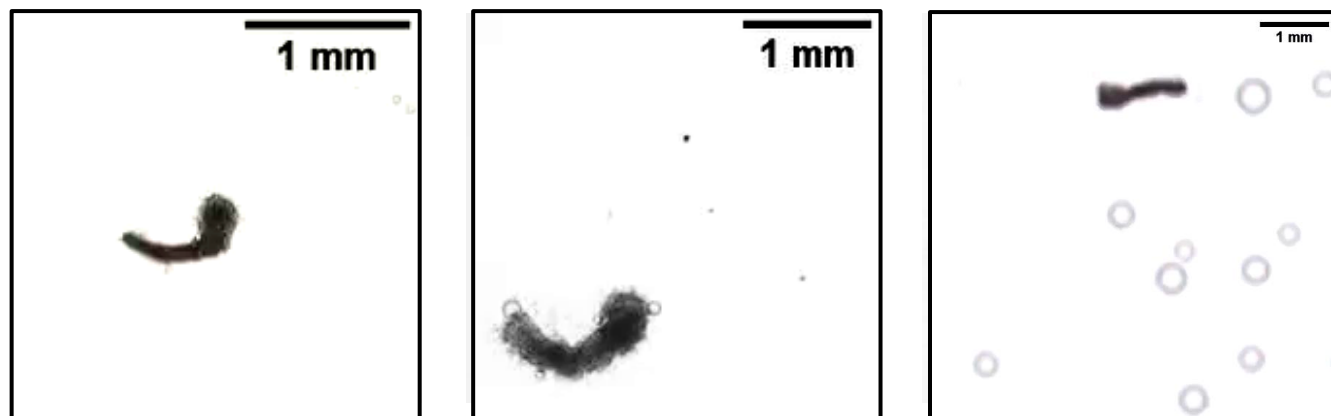
論文掲載前のため非公開

技術内容⑥： 異形ビーズ連続製造



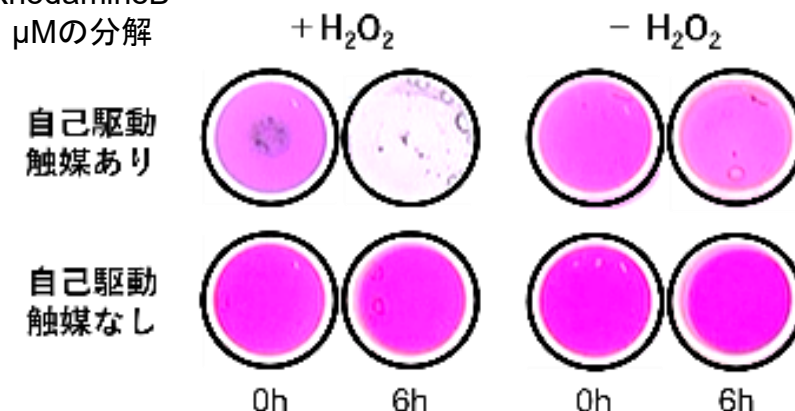
技術内容⑦： 自己泳動フェントン触媒

Feを含んだ微小構造体の自己駆動の様子



Feを含んだ微小構造体の触媒能

RhodamineB
1 μ Mの分解



本発明の自動ポンプが攪拌能力をともなった自己駆動フェントン触媒を製造

論文掲載前のため非公開

本発明の優位性： 異形ビーズ製造

	本発明	競合技術①	競合技術②
外部装置の 要不要	不要 (自己組織化と自励振動)	マイクロ流体デバイスと 外部電源が別途必要	マイクロポンプ(送液装置) が別途必要
価格	1000円程度	50～200万円	5～100万円
エネルギー 密度	約 $4 \times 10^{-5} \text{ J/cm}^3$ (既存技術に比肩)	約 $10^{-5} \sim 1 \text{ J/cm}^3$	
その他	<ul style="list-style-type: none"> 原子・分子機械装置 部品製造、組み立て不要 ポンプ能/成形能を併せもつ 	他の駆動原理(ペリスタル ティック式、圧電式、電気浸 透式など)をもつ製品も多数。	製造装置を自前で用意す る場合は、別途～1.3億円

本発明の優位性： フェントン触媒

触媒の種類	本発明	均一系	不均一系(発明の背景)
サイズ(長径)	<u>数 mm</u>	イオンサイズ	数 mm
製造コストと プロセス	<u>自宅でもでき安価</u> 簡便な設備で製造可能	材料費のみで安価 塩をダイレクトに反応槽に添加	製造装置や設備が別途必要 で高額(参考資料に詳説)
鉄化合物含有量	<u>100%</u> 水酸化鉄の塊	100%	10%以下
攪拌の 年間電気代	<u>0 円～</u> 自己駆動するため攪拌不要/削減	7 億円	7 億円
リサイクル	<u>再利用可</u> ろ過や磁石で分取可能	再利用不可	再利用可
鉄スラッジ	<u>ごく微量</u> 固体回収で鉄の溶出が少ない	大量	ごく微量
1キロ あたりの価格	<u>22 円</u> (材料費のみで算出)	40 円 (材料費のみで算出)	220 円 (担体込重量1キロの価格)

本発明で製造するオタマジャクシ型フェントン触媒は、不均一系フェントン触媒の
既設の処理システムをそのまま流用しつつ、処理効率を向上できる。

均一系フェントン触媒のデメリットを改善し、既存の利点にも比肩しているため、
不均一系のみならず均一系フェントン触媒をも代替できる。

想定される用途

- 水浄化（フェントン処理）の高効率触媒の製造
- 他の金属種を自己泳動触媒の製造
- 高出力マイクロアクチュエータ
- 知育教育資材

実用化に向けた課題

- 既製品との触媒能比較
- 実際の使用環境を想定した触媒反応条件の最適化
- 既製品との耐久性・安定性の比較
- 実際の使用環境を想定した触媒の回収方・再生法の策定

社会実装への道筋①

スケール	技術的課題	発明者の実施計画	企業との共同計画
ラボ 研究開発	触媒性能評価	<ul style="list-style-type: none"> 小型反応槽での触媒性能評価プロトコルの確立 モデル廃水を用いた汚れの分解能評価 	<ul style="list-style-type: none"> 秘密保持契約の締結(2社) 触媒能ベンチマークの策定 既存触媒性能の情報共有 モデル廃水の提供
	触媒条件の一次最適化	<ul style="list-style-type: none"> pH、過酸化水素濃度、触媒量、触媒形状、触媒サイズの一次最適化 触媒の組成の最適化 	<ul style="list-style-type: none"> 実際の廃水の提供 廃水の組成情報の共有 既存の触媒の組成情報の共有
	触媒の耐久性・安定性試験	<ul style="list-style-type: none"> 連続廃水流入条件での触媒のベンチマークに基づく耐久性・安定性評価 触媒成分の溶出の分析評価 	<ul style="list-style-type: none"> 既存の触媒の耐久性・安定性の情報共有 化学分析設備の提供
	触媒回収・再生方法の検証	<ul style="list-style-type: none"> セディメンテーション、磁力、触媒の走化性による回収を検証 耐久・安定性試験の結果に基づく再生方法の検討・開発 	<ul style="list-style-type: none"> 既存の触媒の回収・再生方法情報共有 再生技術・設備の提供
	事業化検証	<ul style="list-style-type: none"> 触媒製造および使用の標準作業手順書の策定 発明品の製造および運用コストの算出 発明品と既存品の触媒能、耐久・安定性、再生能の比較検証 攪拌効率向上評価(電気代削減額、設備投資削減額の試算) 共同開発契約の締結(1社)、PCT出願 	

社会実装への道筋②

ステージ	技術的課題	発明者の実施計画	企業との共同計画
パイロット 製品開発	パイロット製品の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 中型または大型反応槽でのベンチ、ベンチは先述同様の手順 ・ 長期運用試験も実施 ・ スケールアップ時の触媒能、耐久・安定性、エネルギー消費量、コスト、攪拌効率を評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 中型反応槽の提供 ・ パイロット試験での運用および試験計画の策定
	量産化体制の構築	<ul style="list-style-type: none"> ・ ベンチ試験で策定した標準作業手順書に基づいて、少量生産ラインでの製造試験 ・ 原料供給、反応制御、分離、洗浄、乾燥、運搬、販売における課題の洗い出しと解決 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 触媒製造ノウハウの提供 ・ 製造インフラの提供 ・ 製造プロセスと品質管理体制の構築 ・ 特許ライセンス契約
市場	法規制対応と許認可取得	<ul style="list-style-type: none"> ・ 各国の関連法案や環境基準を調査し、課題を洗い出し ・ 安全性を証明するデータの作成 	
	販売戦略と販売体制の構築	<ul style="list-style-type: none"> ・ パイロット試験で得られた発明品のメリットの洗い出し ・ パートナー企業の販売チャンネル、顧客基盤、マーケティングノウハウを活用し、製品プロモーション、技術サポート、メンテナンス体制を策定し実行 ・ 製品を上市 	

SDGsへの貢献

- SDGs 6.3 : 水質改善、排水の無害化処理の割合増加
- SDGs 6.a: 水と衛生分野における国際協力と途上国支援の拡大
- SDGs 6.4: 水利用効率の向上と淡水供給不足への対応

企業への期待

- フェントン触媒およびフェントン処理の情報
（組成、安定性、反応速度定数、回収法、再生法、攪拌技術など）の共有とベンチマーク策定
- 事業化検証および評価用プラントの提供
- 共同開発契約の締結と特許ライセンス契約

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 自己組織化膜構造、自己組織化膜構造の製造方法、射出体の製造方法、射出体の制御方法、自己泳動体、自己泳動型金属触媒及び自己泳動型金属触媒 の製造方法
- 出願番号 : 特願PCT/JP2025/030144
- 出願人 : 広島大学
- 発明者 : 松尾 宗征、久保寺 裕進、藤井 雅史

産学連携の経歴

- 2019年-現在 株式会社 資生堂 と共同研究実施
- 2023年-現在 ダイキン工業 株式会社 と共同研究実施
- 2023年-現在 文部科学省 卓越研究員事業
- 2024年-現在 株式会社 旭化成 と共同研究実施
- 2024年-現在 JST 戦略的創造研究推進事業(ACT-X)

お問い合わせ先

広島大学

オープンイノベーション本部

産学連携部 産学連携部門

T E L 070-1597-4541

e-mail techrd@hiroshima-u.ac.jp

企業への貢献、PRポイント

自己駆動材料が
自己駆動材料を製造する
新時代の開幕！