

水道水に電気を流して 機能水を作る

— 理想の殺菌・洗浄水製造プロセス
に関する特許の紹介 —

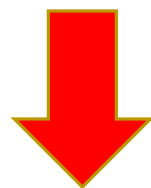
工学院大学先進工学部

環境化学科 化学応用学専攻

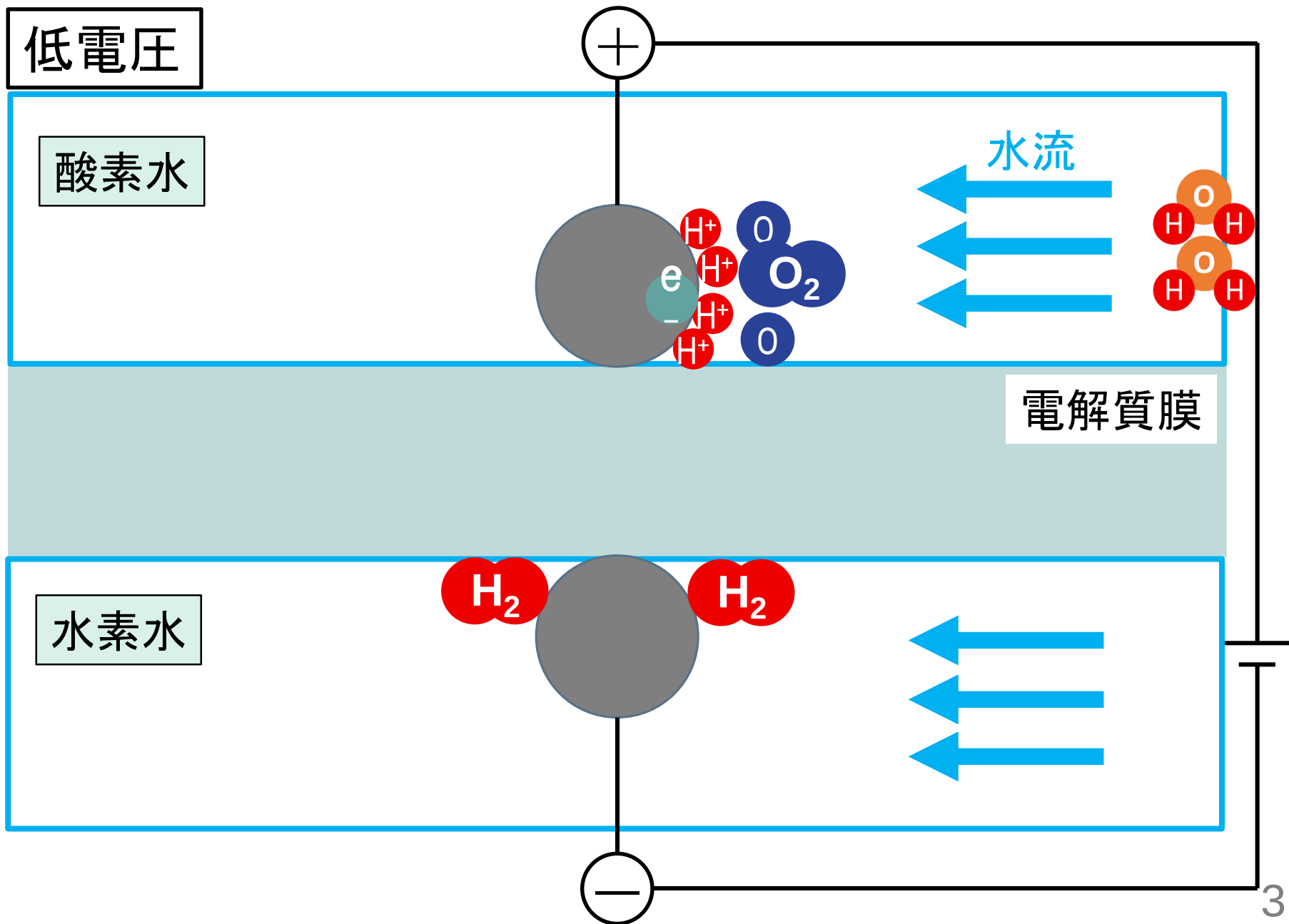
教授 岡田文雄

岡田研のチャレンジ

水道水と家庭用電源だけを使って環境に負荷をかけない殺菌・洗浄水を作る
(後処理や中和操作が不要)

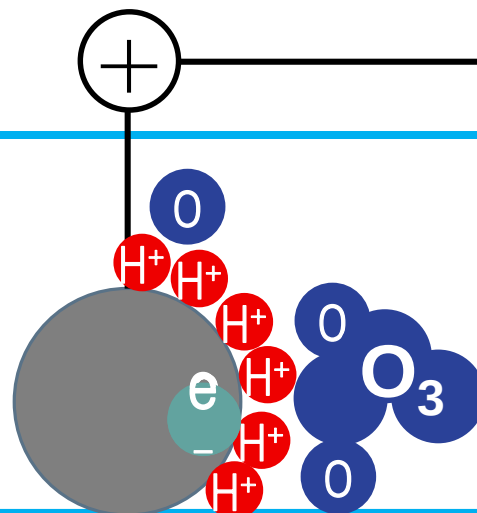


- 小型、コンパクトで安価な装置
- 水と電気だけで機能水を生成
- 殺菌洗浄用の薬品代はゼロ円
- 長寿命、メンテナンスフリー
- 手荒れ、悪臭なし



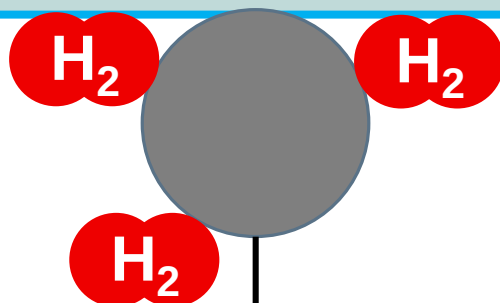
高電圧

オゾン水

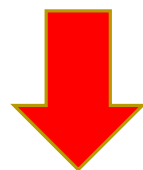
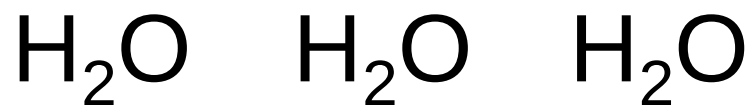


電解質膜

水素水



水電解で作れる安定な物質



電気分解

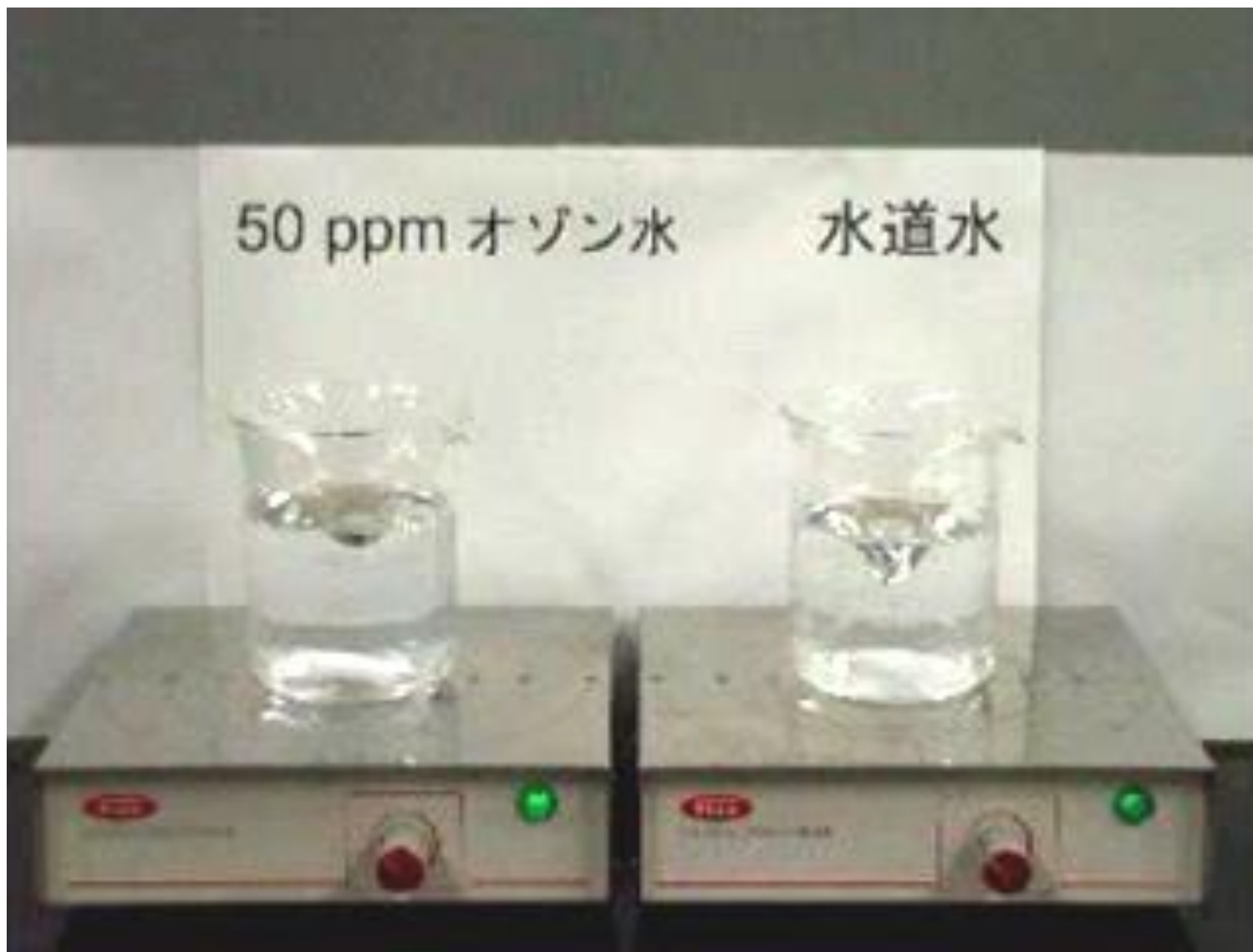


触媒上で再結合



オゾン水によるメチレンブルーの分解

0.05 wt %のメチレンブルー10 mL (5 mg)を瞬時に分解



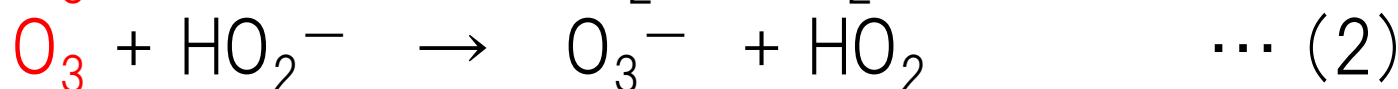
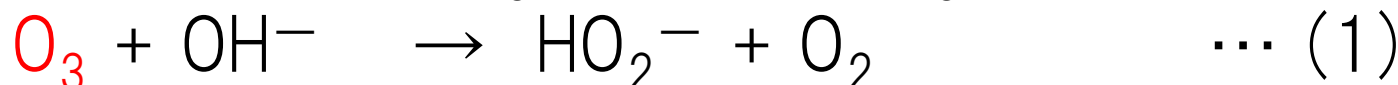
1. 促進酸化水 ($O_3 + H_2O_2$ 水)

水電解による過酸化水素の生成

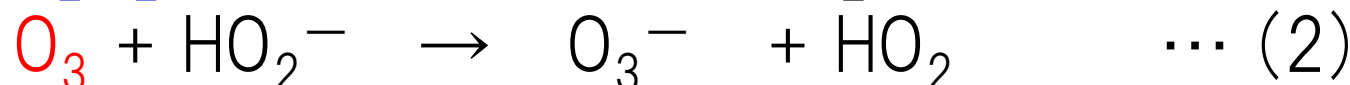
アノード: $2H_2O \rightarrow H_2O_2 + 2H^+ + 2e^-$ ($E_0 = 1.78$ V)

カソード: $O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O_2$ ($E_0 = -0.70$ V)

- 通常の水中での O_3 分解反応 (O_3 の二次反応)



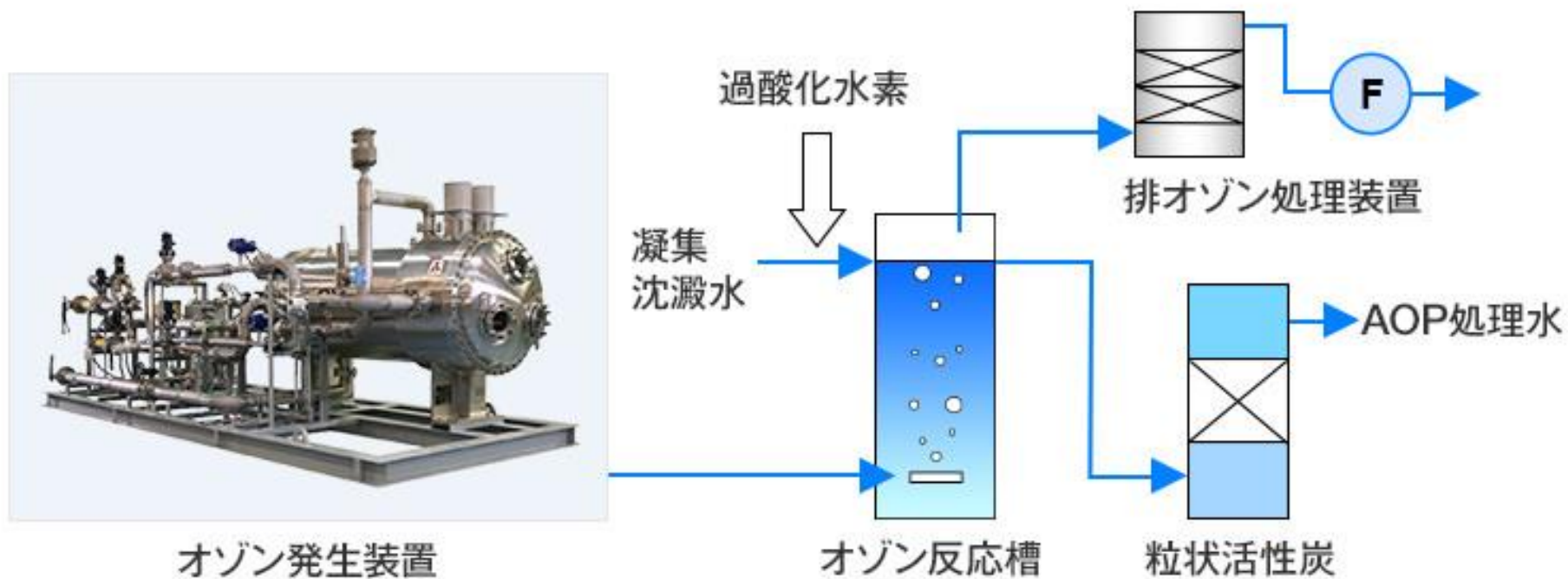
- 促進酸化反応 (O_3 の一次反応)



(一つの O_3 から一つの $\cdot OH$ が生成) $\Rightarrow$ 促進酸化プロセス

Advanced Oxidation Process

既往の促進酸化プロセス



三菱電機: <https://www.mitsubishielectric.co.jp/society/ozonizer/aop/index.html>

- 大型、複雑、高価な装置(家庭では使えない)
- 排オゾンガスの処理装置が不可欠

家庭用促進酸化水製造装置の開発

1. 軽量、コンパクト、低価格、水道管等への接続が簡単
 - 気液ミキサー内臓型の小型水電解装置を開発
2. 有害なオゾンガスを出さない
 - オゾンを全て水に溶解する気液ミキサーを開発
3. 節水型（陽極水と陰極水を混合して提供）
 - 溶存水素と $\cdot OH$ ラジカルとの反応解析
 - 過酸化水素の導入効果をシミュレーションで把握
4. 電極へのミネラル分の電析を防止
 - ミネラルの生成を抑制する運転方法の研究
5. 長寿命（1,000 時間程度の連続運転が可能）
 - Nafion 膜の劣化防止方法を検討

これらの課題を全て解決し、特許出願

ミキサー内蔵型促進酸化水製造装置

(特願 2019-031029)



- 小型(内径 5 cm, 長さ 10 cm)
- 気相オゾンフリー
- 0.5 mg/L のオゾンと 0.2 mg/L の過酸化水素を含有
- 促進酸化水を 4 L/min で生成
- 電極面積は 8.6 cm²

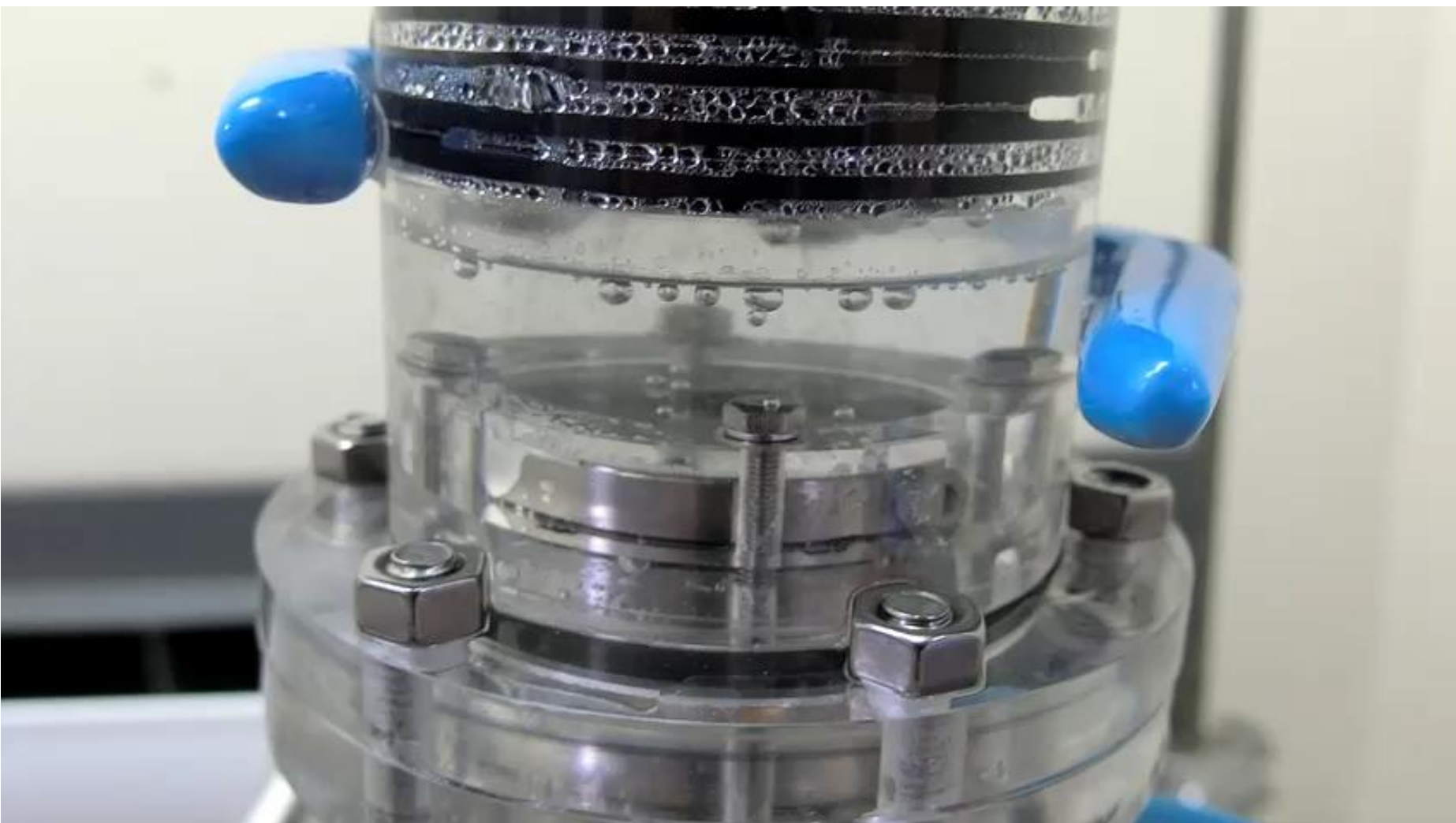


家庭で利用できる小型
殺菌洗浄装置が完成

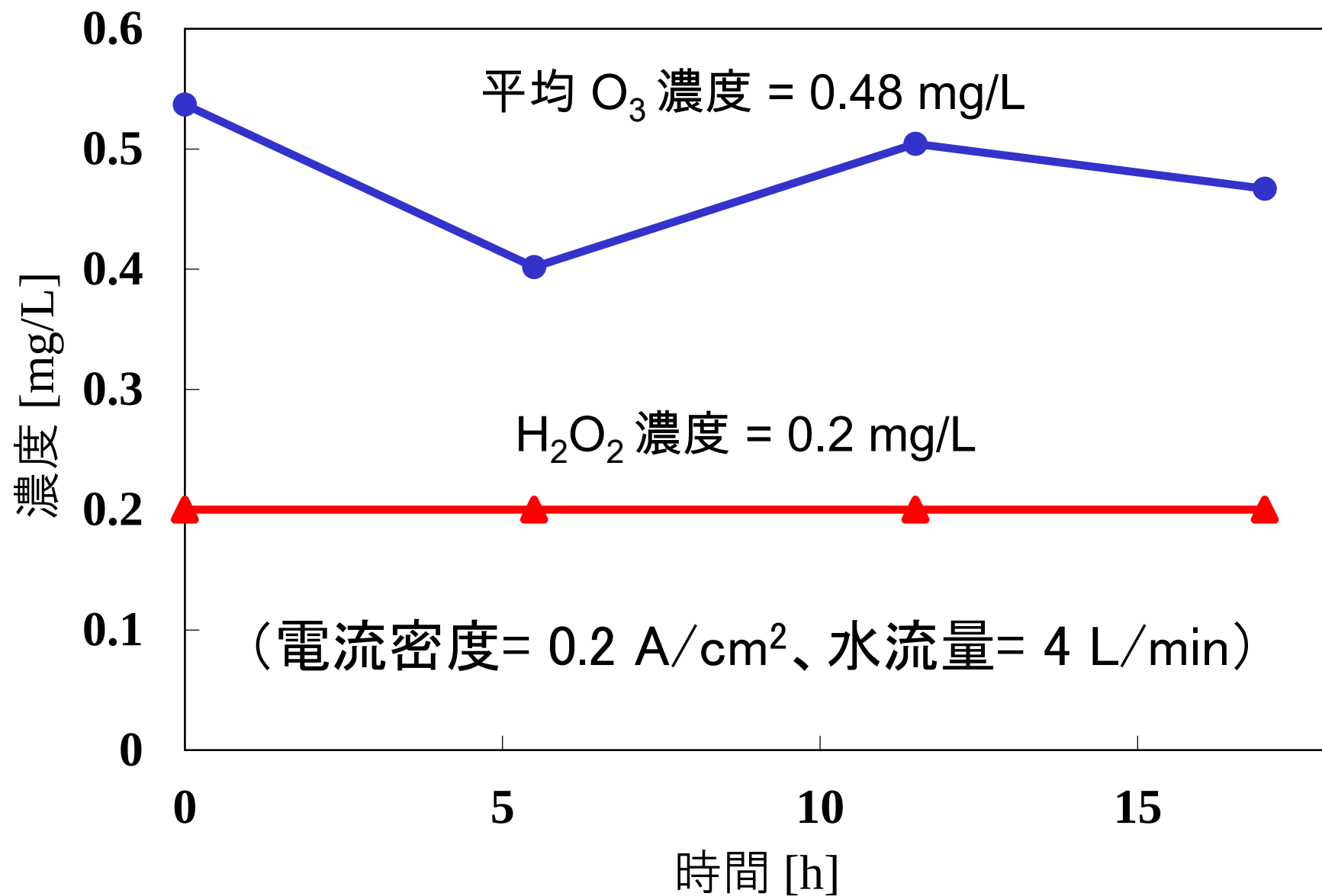
円形セル部での水電解



内臓ミキサーによるガス吸収

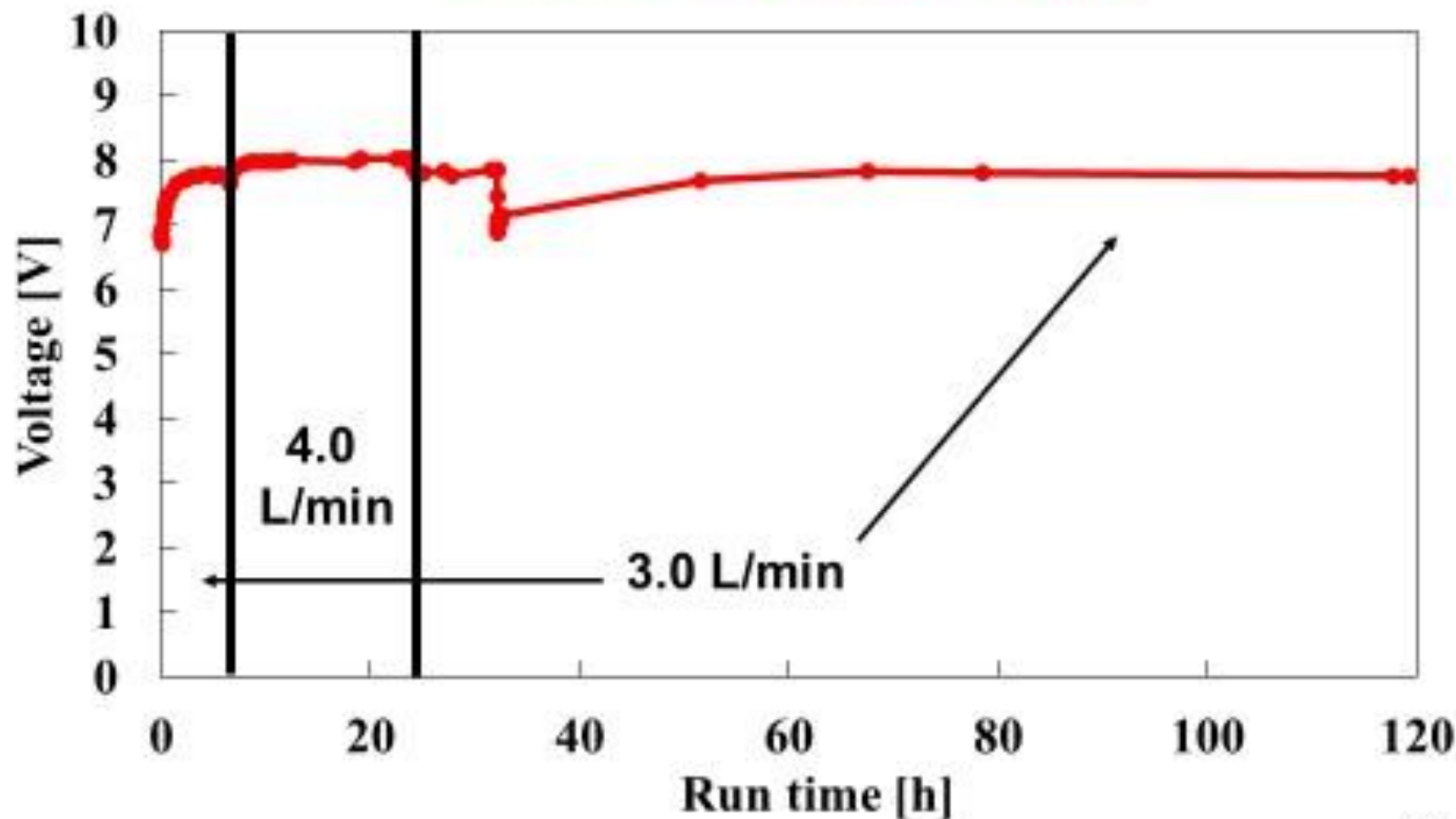


溶存オゾンと過酸化水素の濃度



0.2 A/cm² で5日間連続運転(電圧の経時変化)

8 V の電圧で120時間の長期運転が可能、劣化なし





家庭に一台
促進酸化水
製造装置



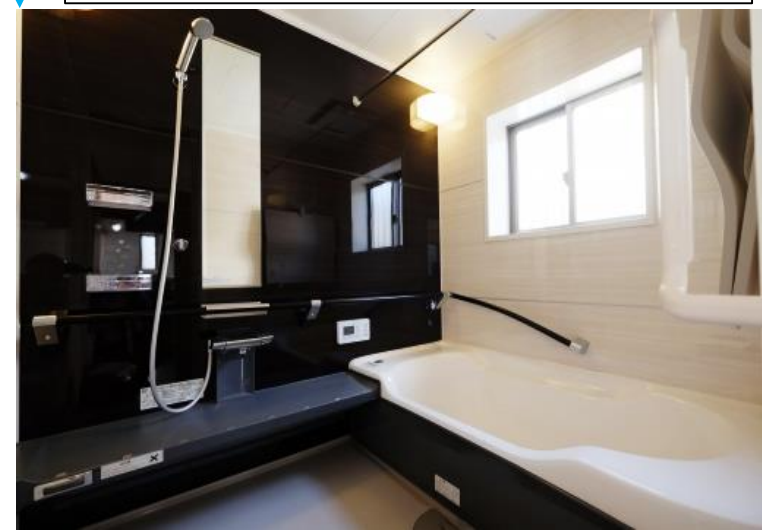
台所：食器やまな板
の殺菌、食品洗浄

洗濯機：脱臭、脱色



流し台：手洗い、うがい
歯磨き

お風呂場：油汚れ掃除
洗髪、カビ防止



2. 高濃度オゾン水

リサイクル水電解法の開発
(特開2018-076575)

〈研究目的〉

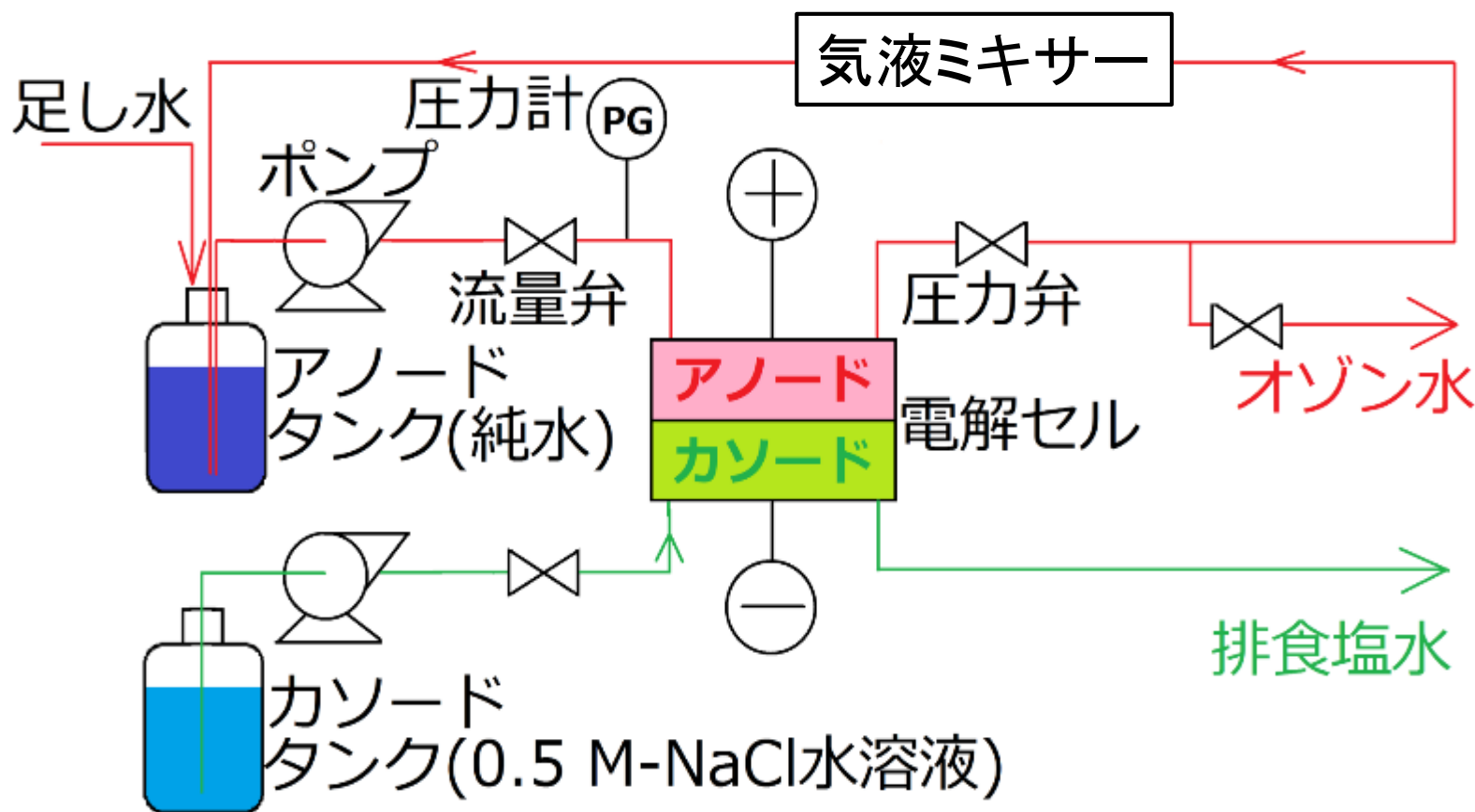
フォトレジスト剥離へ適用するため

- ・ 超高濃度オゾン水(150 mg L^{-1})の生成
- ・ 酸、アルカリ性エッチング溶液を代替

〈検討項目〉

- リサイクル水電解法の開発
- リサイクル水電解シミュレーターの作成
→ 実験条件の変化による濃度推定

リサイクル水電解装置のフロー



タンク内の水を繰り返し電解してオゾン水の濃度を徐々に高める

超高濃度オゾン水の生成に成功

リサイクル水電解法により超高濃度オゾン水の生成に成功

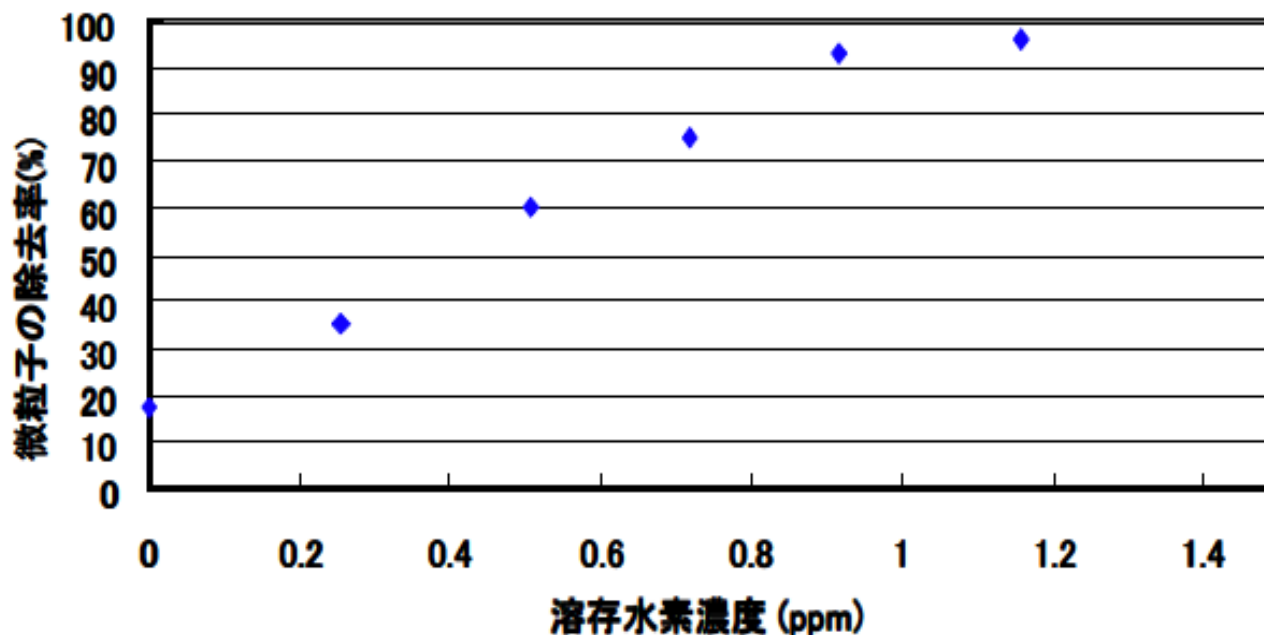
- ・ バッチ式 160 mg/L
- ・ 連続式 (0.1 L/min) 112 mg/L

- PFA製アノード水タンク中の超高濃度オゾン水 (159 mg/L)
- オゾン水及び気相のオゾンがオゾンブルーを呈している
- 大流量化と Cl^- 等の不純物のコンタミ防止が今後の課題



3. 高濃度水素水

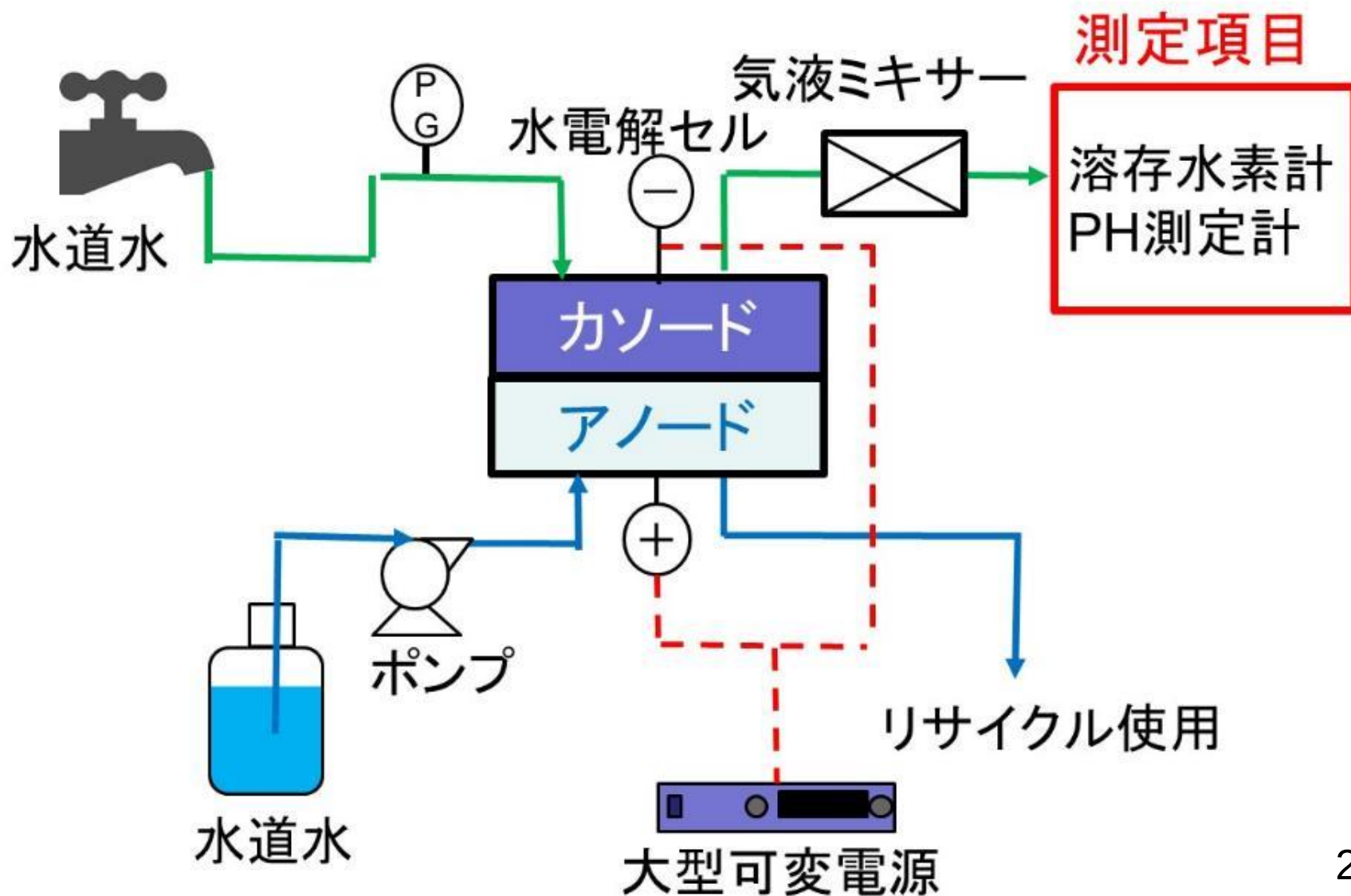
- ・ 水素水と超音波を併用し、アルミナ粒子を洗浄・除去
- ・ 1 mg/L 以上の水素濃度で洗浄効果が大



60秒間の、メガソニック併用スピン洗浄
アルミナ微粒子で故意汚染したウェハを使用
初期微粒子数(>0.20 μm) : 2万~3万個 /ウェハ

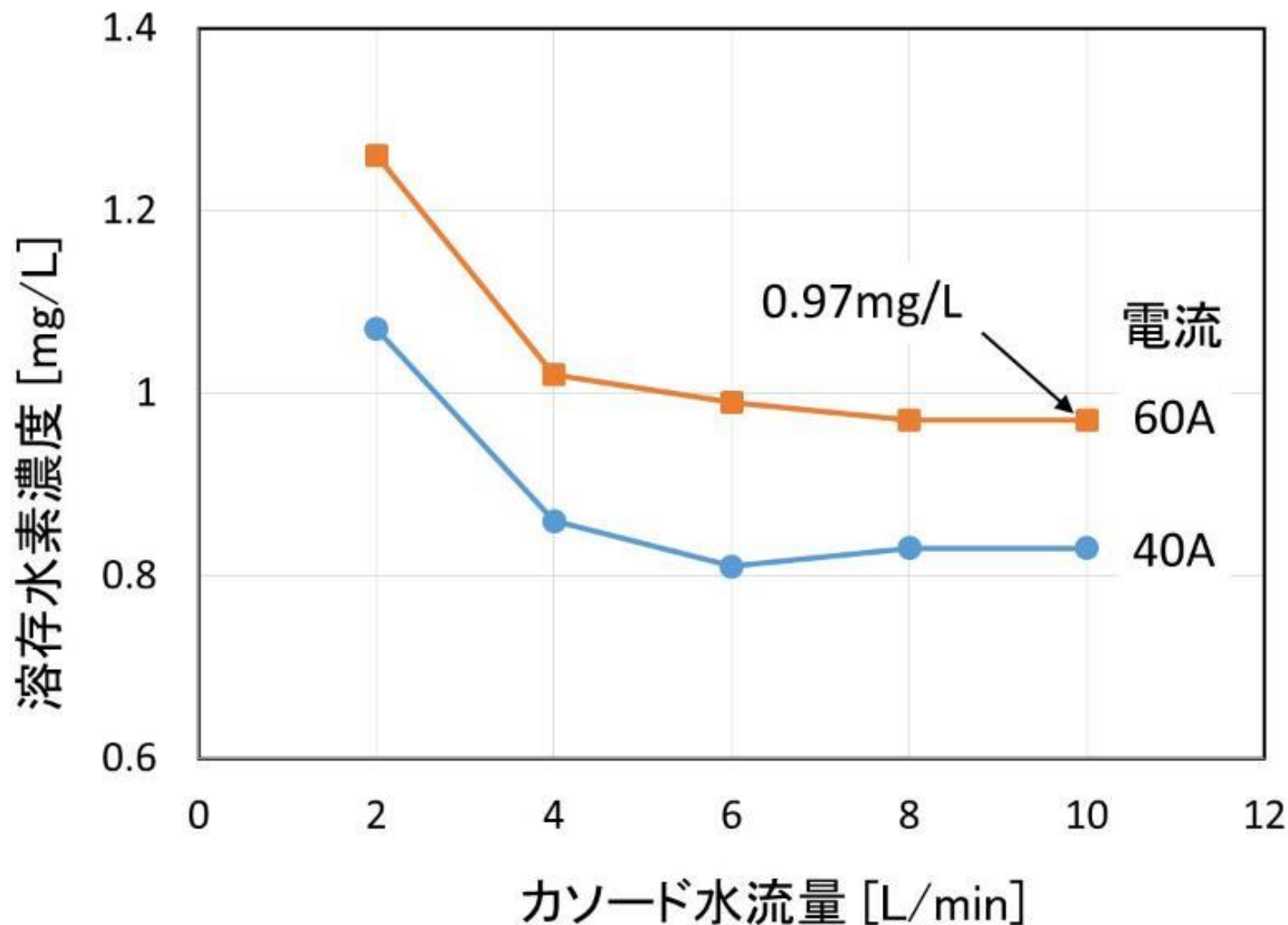
塚本和巳, “水素ガス溶解水の半導体洗浄への応用とディスク基板洗浄への適用可能性”, IDEMA Japan News No.43 p.8-10

ワンスルー運転による水素水の生成 (特願2016-220970)



ワンスルー運転による水素水生成結果

小型の装置で 1 mg/L の水素水を 10 L/min で生成



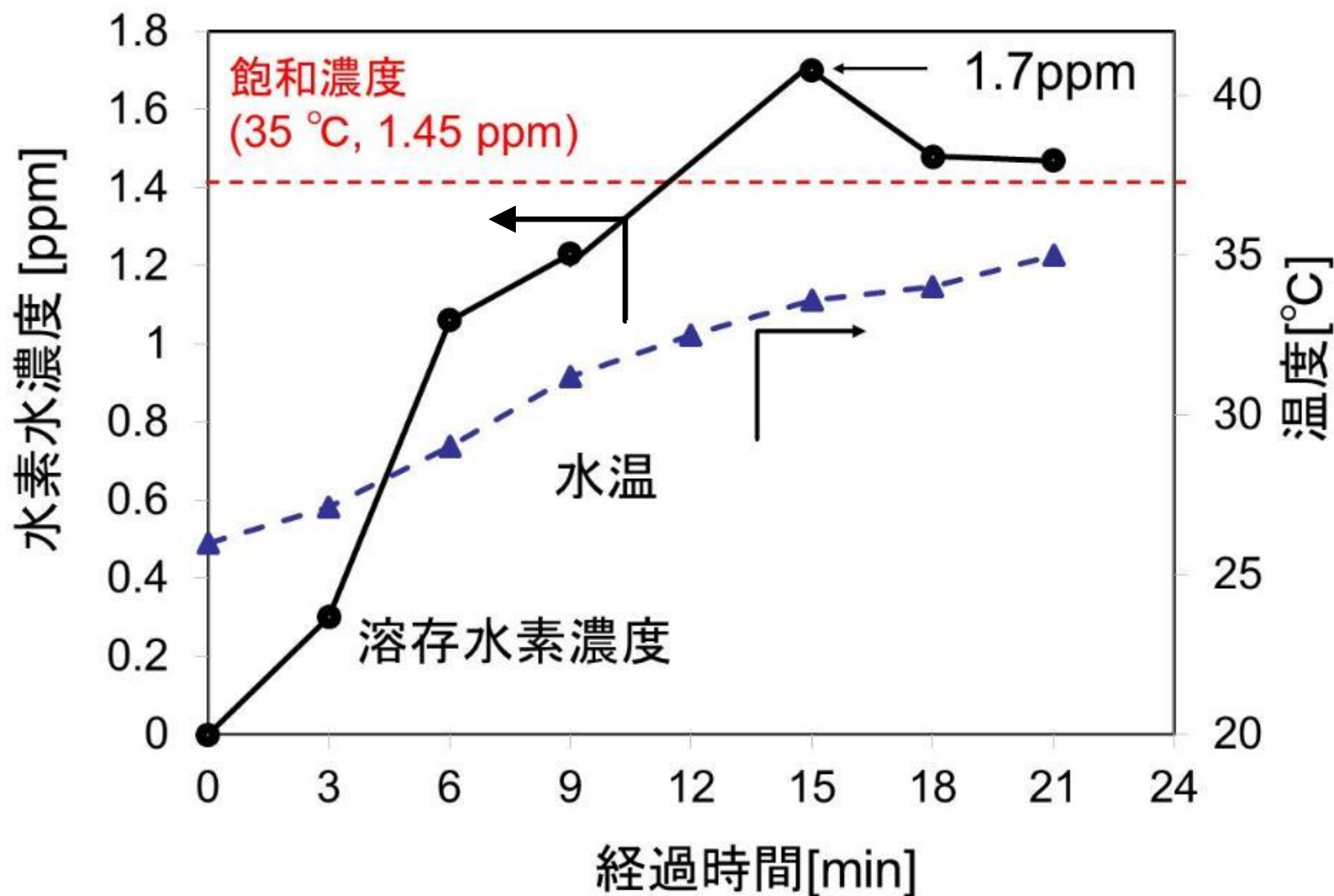
リサイクル水電解法による過飽和水素水の生成 (特開2018-076575)

実験装置：電極面積 = $5 \times 10 \text{ cm}^2$ のセルを使用

- カソードタンク水量：3 L
- カソード水循環量：10 L/min
- アノード水循環量：1.4 L/min
- 抽出水流量：0.6 L/min
- 電流：60 A

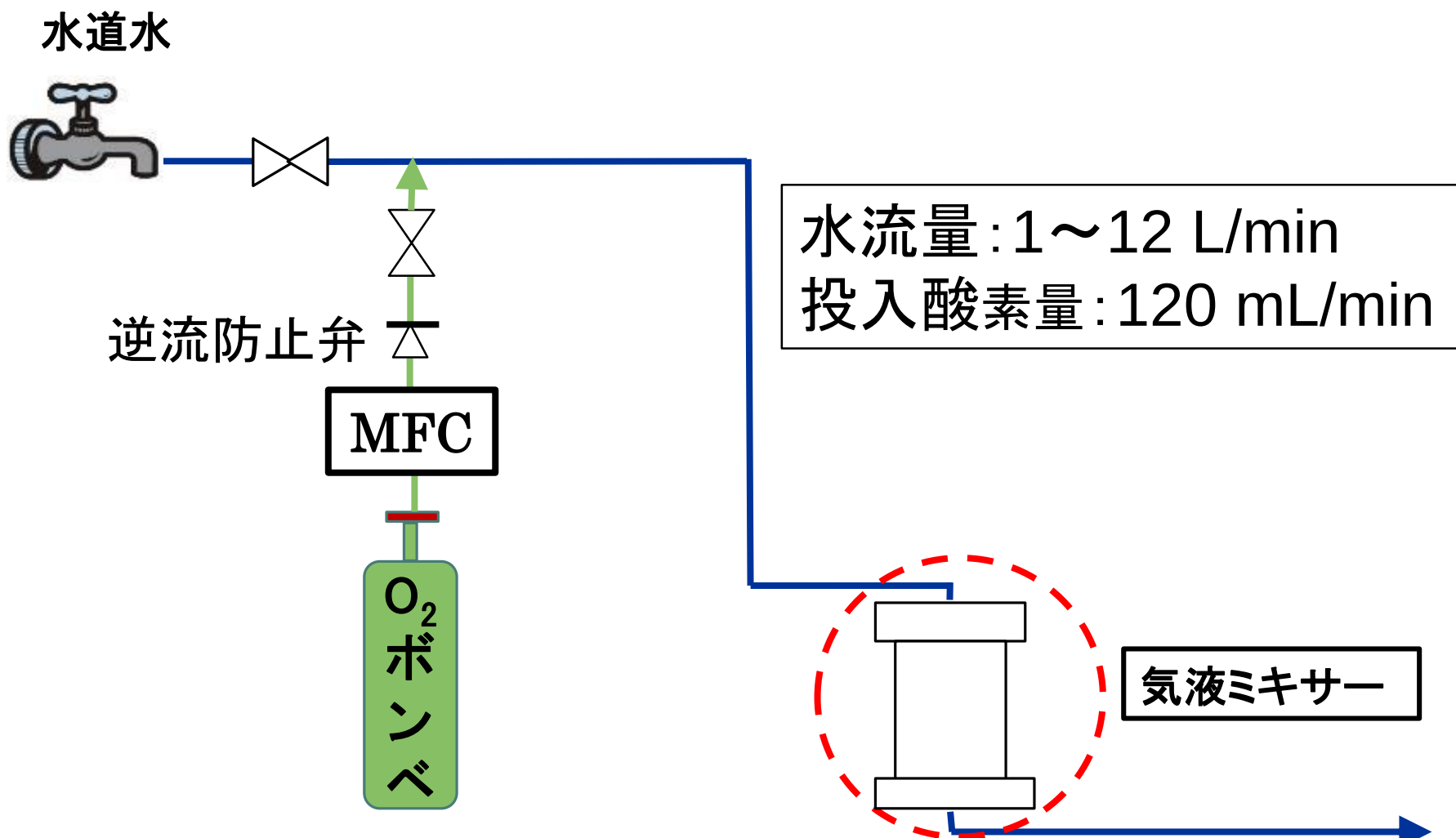
結果： (1) バッチ式運転では 2.4 mg/L
(2) 0.6 L/min の連続抽出では 1.7 mg/L
の過飽和水素水の生成を実証

連続抜き出し時の水素水濃度の経時変化



4. 酸素水

新型気液ミキサーで酸素ガスを水道水に溶解



新型気液ミキサー (特開2019-042628)

〈使用材料〉

- PFAボトル(容積 180 mL)
- テフロン製のOリング
- Tiメッシュ(57枚内臓)

〈特徴〉

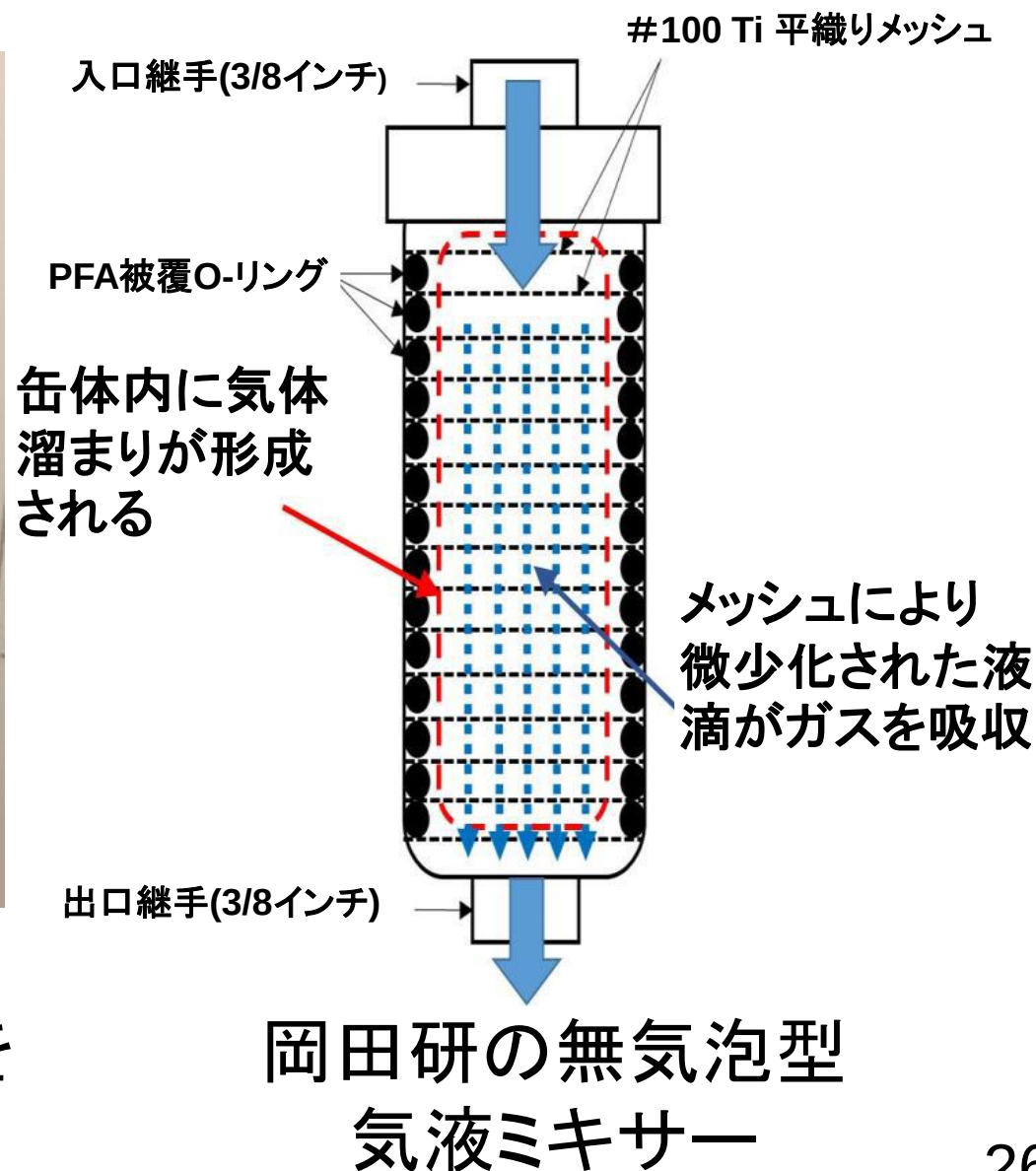
- 内径が 44mm ϕ と小型
- 圧損が少ない
- OリングとTiメッシュの枚数調整が可能



無気泡酸素溶解とは

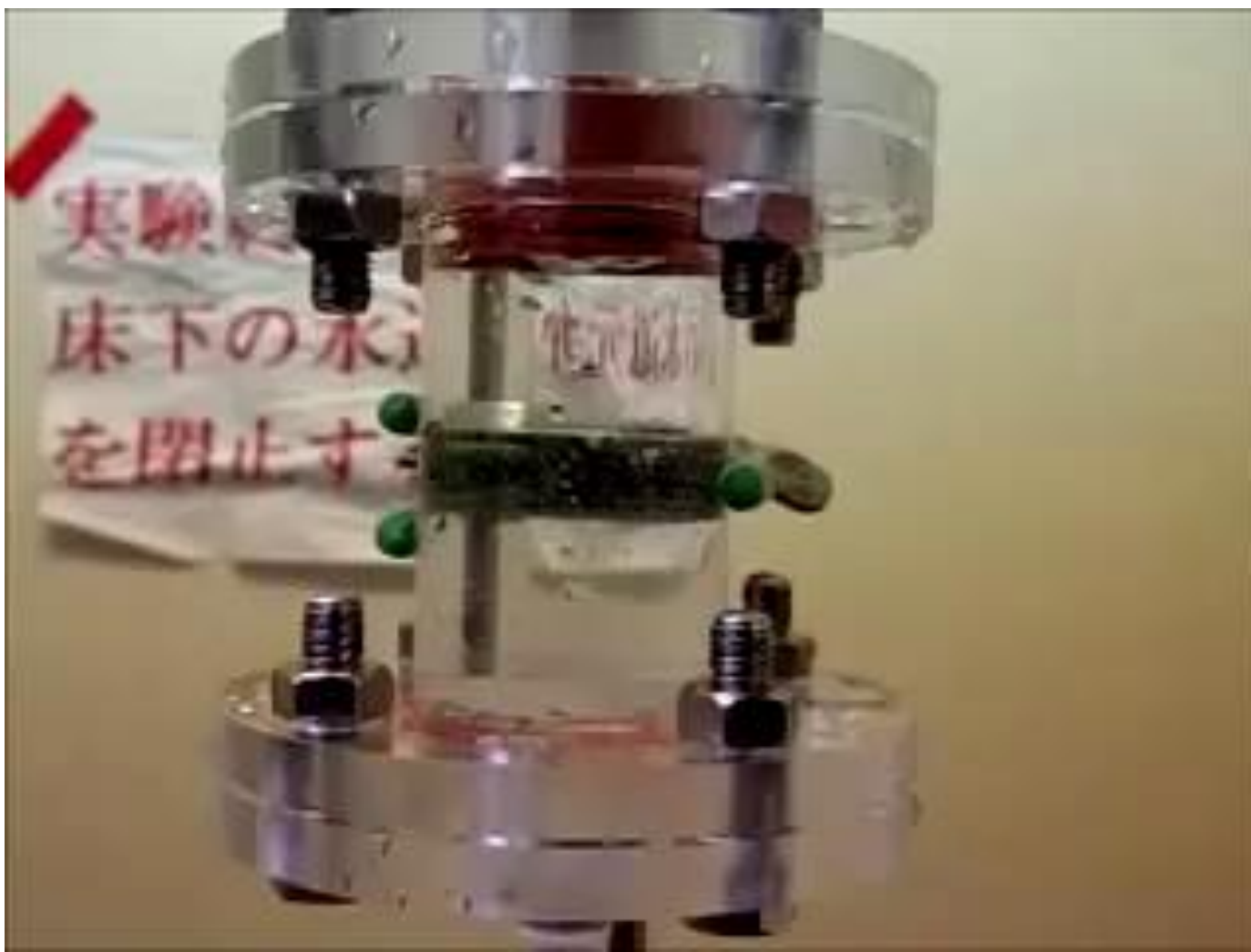


既存の気液ミキサー
(ノリタケ社製): 気泡を
細かくして乱流攪拌



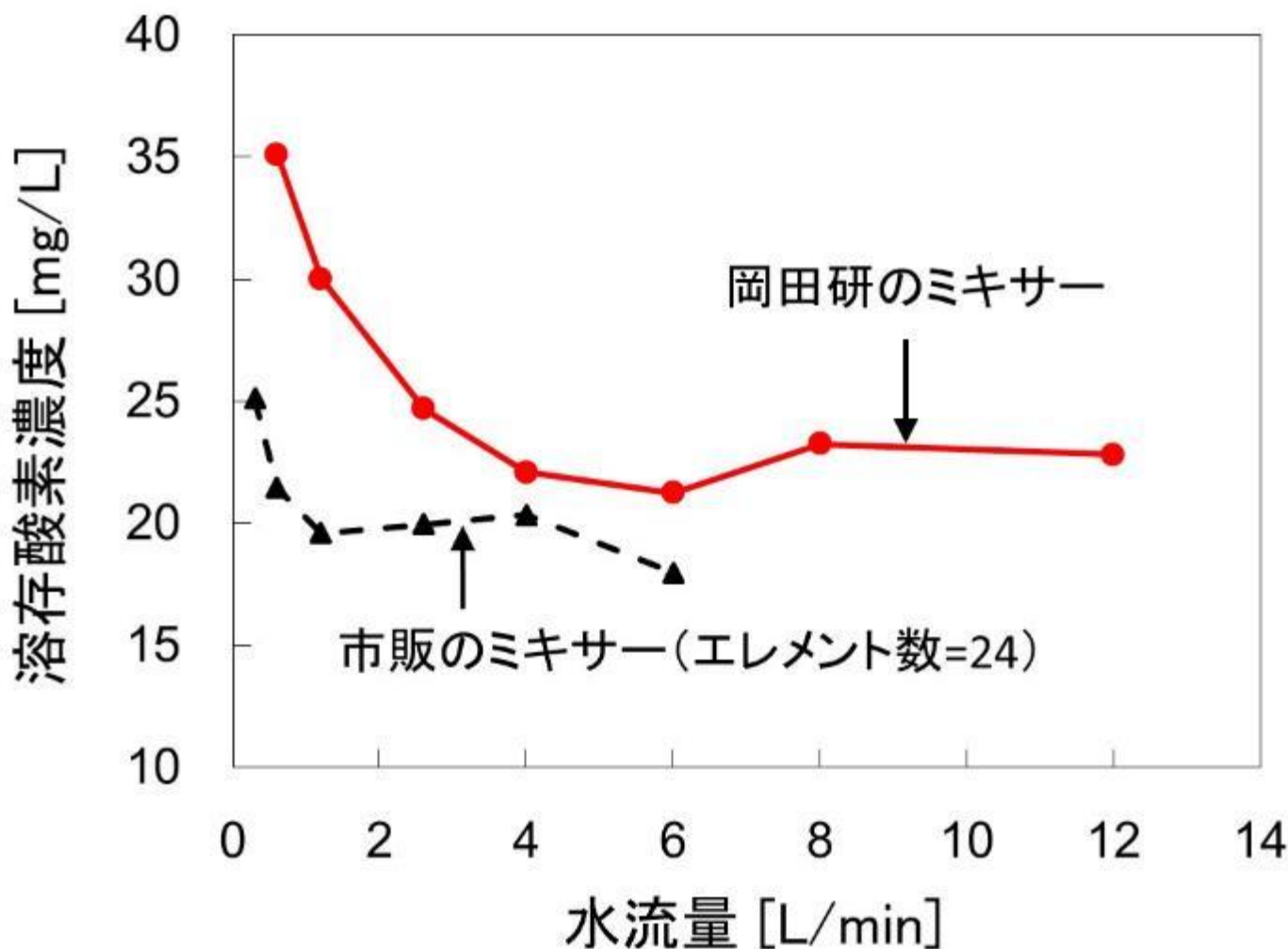
ミキサー内の流体の様子

- 2枚 x 5段のTiメッシュを透明ミキサー上部に設置
- 水流量 = 8 L/min でも流体の動圧を抑制



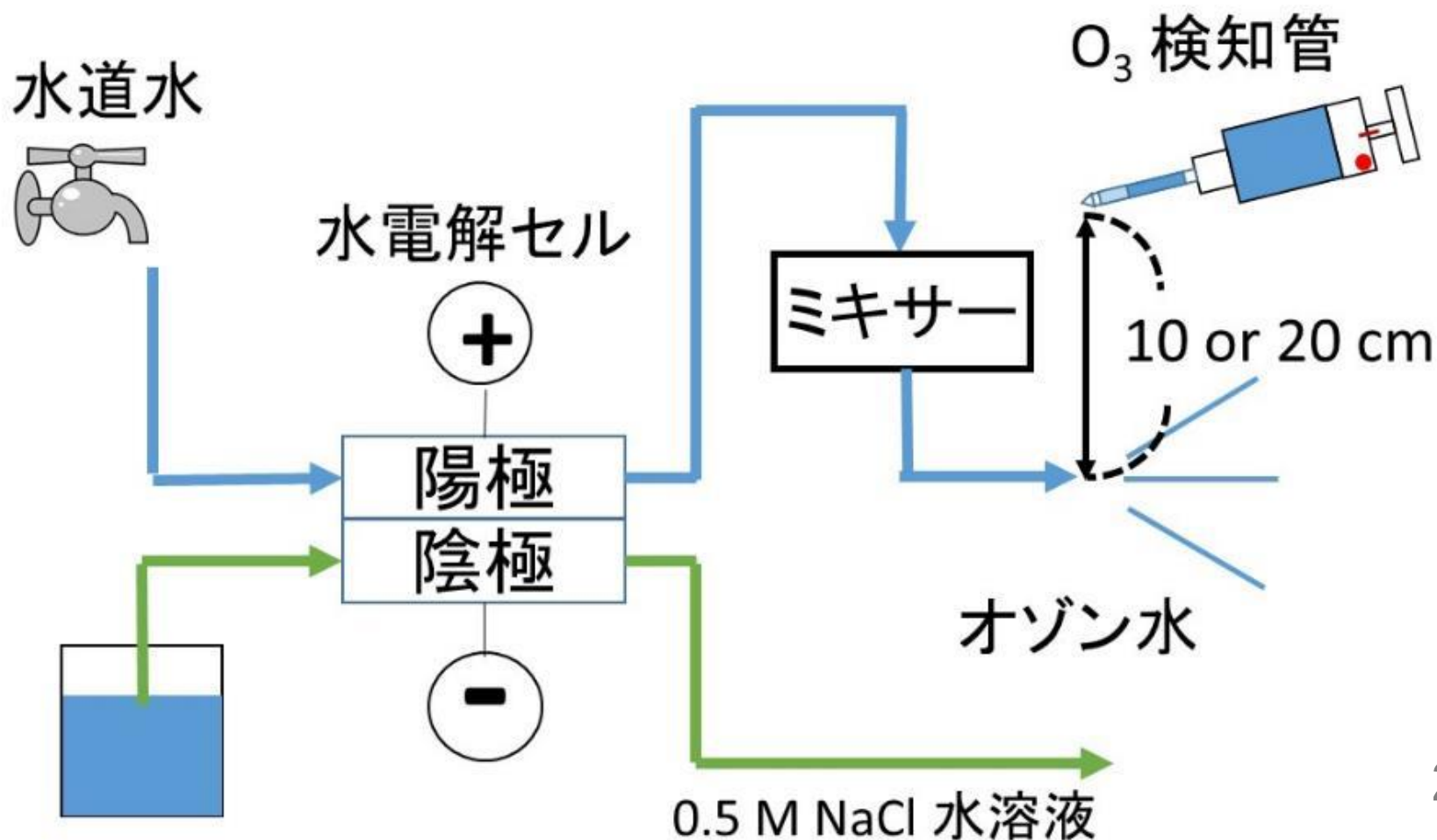
実験結果

- 岡田研の気液ミキサーは O_2 を良く溶かす
- 圧力損失が少なく、12 L/min の水道水を流せる

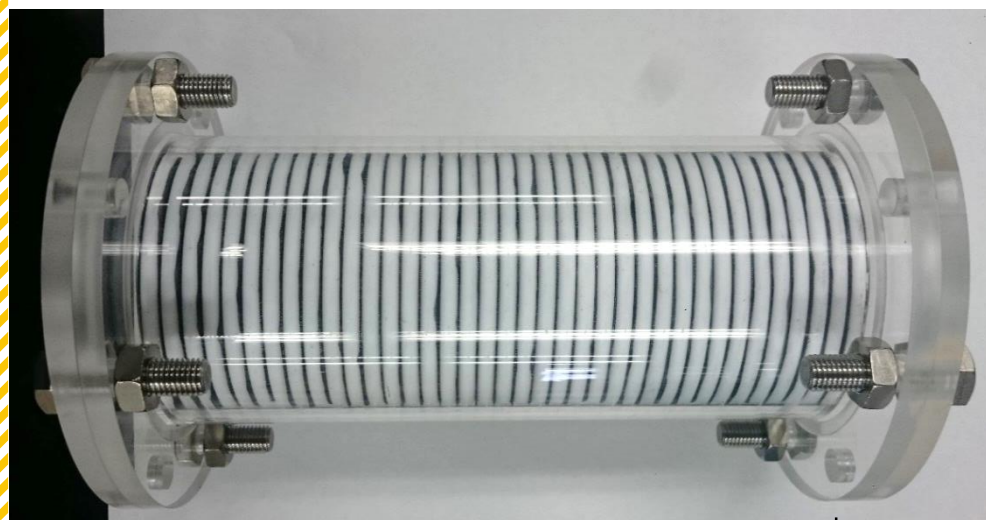


気液ミキサーで気相オゾンフリーを実現

オゾンを全て水に溶かし、流し台水面の 10～20 cm 上空のオゾン濃度を 0.1 ppmv 以下に抑制することに成功



80 mm Φ の大型気液ミキサー（試作品）



80 mm

240 mm

<使用材料>

- アクリル製容器
- テフロン製のOリング (33個)
- マイクロエキスパンドメタル (32枚)
- Ti メッシュ (64枚)

<特徴>

120 mL/min の O_2 を 10 L/min の水に完全溶解



メッシュ構成

まとめ

- 岡田研では、小型の装置で水道水を直接電解して機能水を生成
- 新規な気液ミキサーを開発することにより、気相オゾンフリーの安全なオゾン水製造装置を実現
- 高濃度水素水や酸素富化水の製造も可能
- 水道水を用いても、ミネラル分を陰極上に電析させない方法を確立
- 長寿命、高効率
- 促進酸化水中での $\cdot OH$ ラジカルや H_2O_2 の挙動を知るため、AOPシミュレーターを開発
- 更に高性能な装置の開発を行い、様々な用途での応用を可能としたい。

技術のアピールポイントと現在位置

- 小型水電解プロセスの研究開発では、**世界のトップ**
「High space-time yield」を実現
- 低濃度機能水の生成技術
 - 小型装置で高効率に**4種類の機能水を生成**
 - **水道水と家庭用電源のみ**を使用
 - **気相オゾンフリー**（気液ミキサーを使用）
- 高濃度オゾン水、水素水の生成技術
 - 小型装置で**超高濃度化が可能であることを実証**
 - **不純物の低減と生成量の増加が課題**
- 気液混合技術
 - **無動力、低圧力損失**で気液混合を可能とした
 - **オゾンのような腐食性の高いガスも処理可能**

将来展望と実現可能性(実用化のレベルと時期)

- 小型水電解装置(流量 = 20 L/min 程度)
 - 今年度中にプロトタイプ機を作製
 - 次年度は、企業に量産化と低価格化を検討依頼
 - 数万台/年は売れる(数十億円/年)?
 - 触媒電極の開発、改良は継続テーマ
 - 汚染された井戸水の飲用化を研究中
- 大流量オゾン水製造装置(流量 > 50 L/min)
 - 放電式オゾナイザーと気液ミキサーとの組合わせ
 - 実用化には、1~2年かかる
 - 米国などで 数十万台/年 (数千億円/年)の市場
- 気液混合技術
 - 装置の大型化、低価格化を研究中、1~2年必要

日本の企業への期待

- 非塩素系の殺菌洗浄装置の製造、販売、利用をする企業には本技術のライセンサーになっていただきたい。
- 来年度中に、放電式オゾナイザーと大型気液ミキサーを組合わせて、**オゾン水の大流量製造**を実現したい。
高濃度のオゾンガスを生成できるオゾナイザーの製造メーカーとの共同研究を希望
- 数年後には、上記システムと紫外光を組合わせて、**促進酸化水の大流量生成**を実現したい。**高輝度 Deep UV LED** の製造メーカーとの共同研究を希望
- 日本が世界に誇る三つの先端技術(放電式オゾナイザー、Deep UV LED、気液ミキサー)を組合せて、世界最高の機能水製造システムを創出したい。

本技術に関する知的財産権

1. 発明の名称：水電解装置
出願番号：特願 2019-031029（未公開特許）
出願人：工学院大学
発明者：岡田 文雄
2. 発明の名称：水電解装置、機能水の製造方法
出願番号：特開2018-076575
出願人：工学院大学
発明者：岡田 文雄
3. 発明の名称：気液混合装置
出願番号：特開2019-042628
出願人：工学院大学
発明者：岡田 文雄

産学連携の経歴

- 2005-2006年 (株)半導体理工学研究センターと共同研究
- 2006-2007年 石川金属機工(株)と共同研究
- 2009-2011年 石川金属機工(株)と共同研究
- 2013-2014年 石川金属機工(株)と共同研究
- 2017-2018年 JST産学地域バリュープログラムに採択
- 2019年-現在 企業三社と共同研究を実施中
企業一社へ技術指導中
- 2019-2020年 JST A-STEP (試験研究タイプ) に採択

お問い合わせ先

工学院大学

研究戦略部 研究推進課 産学連携担当

e-mail: sangaku@sc.kogakuin.ac.jp

T E L : 03-3340-3440 (新宿)、042-628-4940 (八王子)

F A X : 03-3342-5304 (新宿)、042-626-6726 (八王子)