



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Studies on Electrochemical Hydrogen / Oxygen Evolution Mechanisms through In-situ Spectroscopic Analysis of Bubble Dynamics
Author(s)	芦澤, 大輝
Description	この博士論文の全文は利用可能日以降に公開されます。
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第16858号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16858
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99703
Type	doctoral thesis
File Information	ASHIZAWA_Daiki_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理学） 氏名 芦澤 大輝

	主査	教授	上野 貢生
	副査	教授	幅崎 浩樹
審査担当者	副査	特任教授	坂口 和靖
	副査	講師	福島 知宏
	副査	教授	村越 敬

学 位 論 文 題 名

Studies on Electrochemical Hydrogen / Oxygen Evolution Mechanisms through In-situ Spectroscopic Analysis of Bubble Dynamics
(高精度気泡発生分光計測による電気化学水素及び酸素発生機構の研究)

電気化学反応はエネルギー変換および物質生産を支える基盤科学であり、特に水電解反応に代表される多電子移動反応の高効率化は、持続可能社会の実現に向けた重要課題である。これらの反応は電極-電解質界面における電子移動、分子吸着、物質輸送、さらには生成気泡の形成・脱離といった複数の物理化学過程が強く結合した非平衡系として進行する。しかしながら従来の研究では、触媒材料の組成や平均的な電流応答に基づく評価が主であり、界面におけるミクロな電子移動素過程とマクロスケールの流体・気泡挙動を統合的に理解することは困難であった。

本博士論文においては、水電解に伴う気泡発生計測にもとづき、電極構造の精密制御とその場観測技術を組み合わせることで、電子移動反応と生成物ダイナミクスを同時に解析し、従来分離して議論されてきた反応速度論と界面物質輸送現象を統合的に評価する新しい枠組みを提示することを目的に原理検証を行った。

第1章では、電気化学反応における電子移動理論、物質輸送、ならびに気泡形成現象に関するこれまでの研究を歴史的背景を踏まえて体系的に整理し、電極反応を支配する階層的要因について概観するとともに、本研究の学術的背景と目的を明確にした。また近年注目される真空場-物質相互作用や電気化学二重層制御の概念を俯瞰し、従来手法では到達困難であった反応制御の可能性について論じている。

第2章では、光照射下での水素発生電極反応系における電子移動過程を分光学的手法により解析し、反応条件および界面状態の変化に伴う電子移動効率の変調を明らかにした。これにより、酸化反応と還元反応を包括的に捉える新しい評価指標を提示し、界面電気化学反応機構の分子論的理解を進展させた。

第3章では、電極表面に生成する気泡挙動に着目し、高速動画観測および画像解析を用いた定量評価手法を開発した。気泡の成長速度、生成頻度および滞在時間を解析することで、局所反応活性を電流値として換算する方法を確立し、従来の電気化学測定では得られなかった局所界面情報の抽出を可能とした。この成果は電極反応評価手法そのものに新たな指針を与えるものである。

第4章では、電極構造および電解質条件の違いが反応活性と気泡形成挙動に与える影響を系統的に検討した。その結果、界面張力、濃度勾配、対流効果など複数要因の競合によって反応速度が決定されることを示し、非線形的に進行する電極反応の理解に重要な知見を与えた。特に、気泡生成と濃度過電圧の関係を定量的に議論し、気泡生成と微視的な分子反応機構を明らかとし、気泡による分子論的理解を進展させた。

第5章では、共振器的構造を導入した新規電極反応場を構築し、電気化学二重層から拡散層における分子状態の変調に伴う反応活性変化を実験的に検証した。これにより、電解液に囚われることなく反応性を制御し得る新たな電気化学反応系の設計概念を提示し、物質とエネルギー変換反応における新たな方向性を示した。

第6章ではこれまでの章を総括して、本博士論文の特色と今後の展望を述べた。

以上、本博士論文は気泡観測による解析に基づき電子移動から物質輸送などを統合的に理解する研究基盤を確立した点に大きな学術的意義を有する。本論文は電気化学、界面化学、エネルギー変換化学

の発展に寄与するのみならず、反応場設計に基づく新しい界面化学反応制御概念を提示するものであり、今後の関連分野の進展に重要な指針を与える成果である。これらの成果は、物理化学分野における新領域を拓くものである。

よって申請者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。