

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	バイポーラ電気化学に基づく流動電位駆動電解系の開発
Title(English)	Development of Streaming Potential-Driven Electrolysis Systems Based on Bipolar Electrochemistry
著者(和文)	岩井優
Author(English)	Suguru Iwai
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第351号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:稲木 信介,荒井 創,富田 育義,平山 雅章,和田 裕之
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第351号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	応用化学 エネルギー	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	岩井 優		審査員主査： Chief Examiner	稲木 信介

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「Development of Streaming Potential-Driven Electrolysis Systems Based on Bipolar Electrochemistry (バイポーラ電気化学に基づく流動電位駆動電解系の開発)」と題し、英語で書かれ、全 5 章から構成されている。

第 1 章「General Introduction」では、本論文の礎となるバイポーラ電気化学や流動電位現象の概要ならびにその応用例に加え、有機電気化学分野の代表的な電解反応の例として、電解重合反応や電気化学発光(ECL)ならびにフロー有機電解合成を具体的に紹介した。その後、現在のバイポーラ電気化学に関する問題点を挙げ、本研究の意義と目的について述べた。

第 2 章「Power Supply-Free Electropolymerization with Cotton-Filled Channel」では、流動電位の発生条件の検討ならびに流動電位駆動バイポーラ電極での芳香族モノマーの電解重合を試みた。流動電位発生条件の検討では、流動電位発生理論式である Smoluchowski の式に着目し、圧力損失の発生ならびに流路表面積の拡張のため流路に脱脂綿を充填させたところ、9.6 MPa の圧力損失が生じ 2.2 V の流動電位の観測に成功した。さらに、電解液組成を変更したところ、 Li^+ を有する支持電解質やニトロメタンを用いた場合に流動電位の極性が逆転することが判明した。流動電位発生条件の検討結果を基に、流動電位駆動のバイポーラ電極系による電解重合として、ピロロールあるいは 3,4-エチレンジオキシチオフェン(EDOT)を含む電解液を流動電位セルに送液したところ、陽極となる上流の電極に目的の高分子膜の析出が確認された。高分子膜が析出した電極を作用極としたサイクリックボルタメトリー(CV)測定では、これら導電性高分子に特徴的なドーブ・脱ドーブの酸化還元挙動が観測された。また、走査型電子顕微鏡観察より、従来の電解重合と類似した表面状態を有することが明らかになった。さらに、流動電位の極性逆転現象を利用することで、陽極と陰極の配置反転が可能であることが示された。

第 3 章「Improvement of Streaming Potential Generation System」では、流動電位発生効率の更なる向上を目指し、共連続構造を有する多孔質材料である樹脂モノリスの使用を検討した。フェノール樹脂モノリスを充填物として使用したところ、脱脂綿充填流路と比較して低い圧力損失(3.9 MPa)で大きな流動電位(6.4 V)が発生することが判明した。また、モノリスの孔径は流動電位ならびに圧力損失に大きな影響を与えることが明らかになった。一方で、充填物をエポキシ樹脂モノリスに変更したところ、流動電位の極性の反転が観測された。この増大した流動電位を用いて電解重合を検討したところ、第 2 章において達成されたピロロールおよび EDOT に加えて、チオフェンと Ru 錯体モノマーの電解重合にも本系が適用可能であることが示された。また、CV 測定より高分子膜の析出量を概算したところ、析出量は同条件で脱脂綿フィルターを用いた場合よりも 2.3 倍に増大した。また、析出量が増大したことにより高分子膜の詳細な分析が可能になり、X 線光電子分光法分析ならびに赤外分光分析によって析出した高分子膜が所望の高分子であることが支持された。さらに、本系の汎用性向上を目指し、陽極と陰極が分離している分離型流動電位セルの開発を試みた。その結果、二つの異なる電解液が下流で合流するセル構成において従来の流動電位セルと同等の流動電位が発生することを見出した。また、コンピュータによるシミュレーションと実験の両面からこのセル構成の有効性が示された。

第 4 章「Electrochemiluminescence Using Streaming Potential for Amine Detection」では、環境に有害なアミンの検知を目的として、流動電位による凝集誘起発光材料を用いた共反応物型電気化学発光(ECL)を検討した。共反応物のアミンや溶液組成などの種々の最適化の結果、デジタルカメラで撮影できる程度の強い発光の観測に成功した。また、本系は支持電解質を含まない水道水にも適用可能であることが判明した。さらに、アミン濃度が非常に低い条件(0.025 mmol/L)でも発光を検知することが可能であり、シリンジを用いた手動での送液でも検出に足る発光を観測することができた。以上より、流動電位駆動による外部電源フリーの ECL 法の開発に成功し、環境水からのアミン検出システムとしての実用可能性が示された。

第 5 章「General Conclusion」では、本論文の総括として各章を通じた考察を行うとともに、今後の展望について述べた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東京科学大学リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	応用化学 エネルギー	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	岩井 優		審査員主査： Chief Examiner	稲木 信介	

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The objective of this thesis is the establishment of a novel bipolar electrode (BPE) system driven by streaming potential. To this end, the author tackled two pieces of research: (i) the investigation of streaming potential generation and (ii) the application of the streaming potential-driven BPE system to electropolymerization and electrochemiluminescence.

In Chapter 1, the author provided an overview of bipolar electrochemistry and streaming potential, including their practical applications.

In Chapter 2, the author archived the streaming potential generation by employing the cotton wool-filled channel. The measurements with various electrolytes revealed the dependence of the streaming potential on the electrolyte composition. Notably, the streaming potential polarity was altered by the presence of Li^+ cations and nitromethane solvent. Based on these results, streaming potential-driven electropolymerizations of pyrrole and 3,4-ethylenedioxythiophene (EDOT) were carried out to obtain polymer film deposition on the electrode. Moreover, the polarity reversal of the streaming potential enabled the inversion of the anode and cathode by changing the reaction solution.

In Chapter 3, the improvement of the streaming potential generation was achieved by the porous monolith-filled channel. This elevated streaming potential allowed to extend the range of monomers, enabling the application to thiophene and the ruthenium complex monomer, in addition to pyrrole and EDOT. The increased deposition amount enabled the detailed identification of the deposited materials. Additionally, a divided flow cell was developed, where the anode and cathode were spatially separated. The utility of the divided flow cell was proved through both computational and experimental aspects.

In Chapter 4, the author demonstrated the streaming potential-driven electrochemiluminescence using an organic emitter fixed on an electrode for amine detection. After the optimization of the conditions, a strong emission was observed and successfully captured with a commercial digital camera. Moreover, this system could work even in the diluted amine solution (0.025 mmol/L) or manual pumping, proving the broad practicality of this method.

In Chapter 5, the author described the conclusion of this thesis and the future perspective of this system.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東京科学大学リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Research Repository Website (T2R2).