T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	熱化学発電と強制対流冷却を統合したレドックスフロー熱電変換の研究
Title(English)	
著者(和文)	池田寛
Author(English)	Yutaka Ikeda
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11736号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:村上 陽一,井上 剛良,花村 克悟,平井 秀一郎,伏信 一慶
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11736号, Conferred date:2022/3/26, 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

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 系 機械 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 （ 工学 ） Doctor of
学生氏名： Student's Name	池田 寛	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	村上 陽一
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文は「熱化学発電と強制対流冷却を統合したレドックスフロー熱電変換の研究」と題し全 5 章より構成されている．

第 1 章「緒言」では，様々な場面における発生熱を強制対流冷却によって除去することの必要性を述べ，冷却により高温の被冷却物体が有する熱エネルギーの仕事への可換分が散逸されているという現状の課題を指摘している．この課題に対し，被冷却面を強制対流冷却する際の被冷却面-主流間の温度差を利用して熱化学発電を行う熱エネルギーハーベスティング法を提案し，その適用先を例示している．

第 2 章「熱流動シミュレーションによる流路形状の検討」では，レドックスフロー熱電変換に用いるセルの形状を提案し，熱流動シミュレーションによりセル内部の熱流動を明らかにするとともに最適な流路形状を探索している．その結果，被冷却面であるカソードの温度が 170 ℃の場合，この面と平行に対向配置されたアノード電極板との間に冷却の作動流体を兼ねる電解液（入口温度：25 ℃）を流動させたとき，0.8 mm の電極間距離においても 100 K 以上の温度差を定常的に保持することが可能であることを明らかにしている．さらに，伝熱及び酸化還元反応に寄与する面積を増大させることを目的として，作動流体の流れと直交または平行にカソード表面にフィンを配置した場合について，熱流動シミュレーションを行っている．その結果，平行配置の場合には流動抵抗の低いフィン谷部に流れが集中し，間隙が小さいフィン先端面近傍で流れが停滞することにより電極間温度差の低下及び対流伝熱の熱抵抗の増大を招くこと，一方，直交配置ではフィン谷部で流体が停滞的に循環するなど流れの様子は異なるが，やはり同様の問題を生じること，そしてこのような系では浮力の影響は無視できることを明らかにしたうえで，流路形状の設計指針を示している．

第 3 章「高イオン伝導溶媒を用いたフロー熱電変換システムの構築とその性能解明」では，電解液の溶液抵抗を低減する狙いから，イオン液体を溶媒とした作動流体を用いて，被冷却面であるカソードの温度を最大 170 ℃とした発電実験を行い，本コンセプトを実証している．すなわち，定常状態における電流-電圧曲線と除熱量の計測から，発電性能及び除熱性能の電極形状等への依存性を明らかにし，シミュレーション結果と傾向が一致すると述べている．また，溶液内の物質移動に関する理論モデルから物質移動抵抗を求める方法を提案し，これと電極間の交流インピーダンス計測の結果とからテストセルにおける溶液抵抗，電荷移動抵抗，物質移動抵抗を定量的に明らかにしている．この結果，全ての実験において溶液抵抗は十分小さく物質移動抵抗が最大であり，後者が発電性能の主たる制限要因であること等を明らかにしている．また，ある一定以下の流量域では，発電量をセルに作動流体を通過させるのに必要な流体力学仕事で除して定義したゲインが 1 を上回ることを見出し，流体の駆動仕事を要する本技術において自律的な冷却と発電との両立が可能であることを示している．一方，異なる電極形状の間でのゲインがほぼ同じ値となったことから，ゲインや発電量の向上には物質移動抵抗の低減が必須であると述べている．

第 4 章「低粘度高沸点溶媒を用いることによるシステム性能の向上」では，物質移動抵抗を低減しうる溶媒として，工業的に大量生産され毒劇物に非該当の高沸点溶媒であるγ-ブチロラクトン(GBL) を選定し，セルの性能向上を試みている．GBL は非電気伝導性の溶媒であるが，用いた酸化還元対を極めて高濃度に溶解すること（溶解度：0.47 mol/L，室温）と，これにより溶液抵抗がイオン液体を溶媒とした場合と同程度の小さな値となっていることを見出している．濃度の増大は電荷キャリア密度の増大に資する一方，電解液粘度の増大も招くことから，発電量の濃度依存性を実験的に求めることにより，最適濃度が 0.21 mol/L であることを明らかにしている．この最適濃度と電極間間隔 0.8 mm，カソード温度 170 ℃とした条件で 200 mV の起電力と 10 W/m^2 の発電密度を達成している．その結果，試行した流量範囲で 10～1000 のゲイン，400～1200 W/m^2·K の熱伝達率を達成し，GBL の使用が本レドックスフロー熱電変換システムの性能向上に有効であることを示している．

第 5 章「結言」では，各章において得られた結論を総括している．

以上を要するに，本論文は熱化学発電と強制対流冷却とを統合した熱エネルギーハーベスティング法を提案し，そのシステムを示すとともに，諸性能の支配要因の解明，及び性能向上の指針提示を行っていることから，工学上及び工業上貢献するところが大きい．よって，本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認められる．

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、東工大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 Tokyo Tech 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	機械 系 機械 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 (工学) Doctor of
学生氏名： Student's Name	池田 寛	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	村上 陽一
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

This thesis titled "Study of Redox-Flow Thermoelectric Conversion Integrating Thermoelectrochemical Power Generation and Forced Convection Cooling" consists of five chapters.

In Chapter 1, the necessity of forced convection cooling is discussed. Then, it is pointed out that loss of the free energy of thermal energy possessed by a heat releasing object during such cooling is still unaddressed. To address this issue, a thermal energy harvesting technology is proposed that conducts thermogalvanic power generation using a temperature difference between the heat releasing plane and working fluid, along with some possible applications.

In Chapter 2, the geometry of the flow cell is proposed and the optimal geometry is explored using thermo-fluidic simulations. It is found that a steady-state temperature difference of 100 K is attained over a 0.8 mm gap between the anode and cathode when the latter is 170 °C. Also, characteristics of the fin-type cathodes are elucidated. Finally, the design guideline for channel geometry is presented.

In Chapter 3, the proposed concept is investigated using an ionic liquid as a solvent. The dependence of the power generation and cooling performances on the geometry is presented. Using the developed model for the mass transfer in the electrolyte and the results of AC impedance measurements, the magnitudes of solution, charge transfer, and mass transfer resistances are quantified, from which the limiting factor is found to be the mass transfer resistance. Furthermore, below a certain flow rate, a "gain" defined by the generated power divided by the hydrodynamic pumping work required to force the liquid through the cell is found to exceed unity, demonstrating the feasibility of this technology.

In Chapter 4, γ-butyrolactone (GBL) is selected as the solvent to decrease the mass-transfer resistance. Although GBL is non-conducting, the high solubility of the redox couple unexpectedly resulted in as low solution resistance as that attained with the ionic liquid. With the optimum concentration of 0.21 mol/L, electrode gap of 0.8 mm, and cathode temperature of 170 °C, the power generation density of 10 W/m^2 is achieved. For the conditions tested, the gain ranging 10 to 1000 and the heat transfer coefficient above 1000 $W/m^2 \cdot K$ are achieved, demonstrating the effectiveness of using GBL to improve the performance.

In Chapter 5, the results and findings acquired in the above Chapters are summarized.

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、東工大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 Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).