

機関番号：12701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20760130

研究課題名(和文) 固体高分子形燃料電池内で使用できるマイクロセンサ開発と熱物質輸送特性の解明

研究課題名(英文) Development of micro sensor available in PEFC working cell and clarification of heat mas transport

研究代表者

荒木 拓人 (ARAKI TAKUTO)

横浜国立大学・工学研究院・准教授

研究者番号：90378258

研究成果の概要(和文)：

固体高分子形燃料電池の劣化要因の一つとして膜電極接合体中の局所において極端な発熱や乾燥が起きている可能性が指摘されている。そこで、半導体微細加工技術によって独自に作成した厚さ数マイクロメートルと極めて薄いセンサーを用いたセル内の局所温度測定を試みた。その結果、主にカソード触媒層近傍の温度が高いことを示した。

また、温度場が物質輸送に与える影響などは整理されておらず、その影響を確認することが必要である。この影響を実験のみから明らかにすることは極めて困難であるため、数値解析を併用しより詳細な温度場と物質輸送の相互作用などを明らかにすることも試み、物質輸送や熱抵抗、液水の挙動がセル性能、特に非定常発電応答に及ぼす影響などを整理した。

研究成果の概要(英文)：

The local temperature rise and dry-out inside MEA could lead a PEFC to severe degradation. Then, the ultra thin thermo sensor, which thickness was several micro meter, was fabricated by semiconductor manufacturing equipments, and the local MEA temperatures were measured. By the sensor, temperature near the cathode catalyst layer was measured higher than the other parts.

The influence of the temperature field on the mass transport has not been understood well, however, revealing it by only experimental methods is very difficult. Then, we have used the numerical simulation at the same time. The effect of mass transport, thermal resistances and liquid water behavior on the PEFC performance was discussed in this study.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学 (伝熱工学, エネルギー変換工学, 燃料電池)

科研費の分科・細目：機械工学, 熱工学

キーワード：固体高分子燃料電池，熱物質輸送特性，局所温度測定，マイクロマシニング

1. 研究開始当初の背景

固体高分子形燃料電池は効率の高さや排気のクリーンさ、出力密度の高さ、起動性の良さなどから、自動車や家庭用の次世代の動力源としての普及が期待されており、現在は実用化に向けて実証試験の段階にある。ただ、本格的な普及のためにはいまだ長期耐久性に不安があり、その劣化要因の一つとして膜電極接合体中の局所において極端な発熱や乾燥が起きている可能性が指摘されている。しかしながら主に発熱していると予想される触媒層の厚みは $10\mu\text{m}$ 程度、固体高分子膜も $20\sim 50\mu\text{m}$ 程度と、一般的なシース熱電対の外径の $100\mu\text{m}$ 程度と比較しても極めて薄い。そのため、触媒層近傍の正確な温度を測定することは極めて難しく、膜に平行なガス流れ方向の温度分布を測定した例はあっても、触媒層のホットスポットや厚み方向の温度分布などを測定した例はほとんど無かった。

2. 研究の目的

本研究では提案者らが培ってきたマイクロ加工技術を応用して、マイクロセンサを作成することで燃料電池の発電状態での触媒層近傍などの局所の温度を測定し、耐久性に悪影響を及ぼすホットスポットの発生条件を整理することを一つの目的とした。

また、温度場が物質輸送に与える影響などは整理されておらず、その影響を確認することが必要であるが、実験のみから明らかにすることは極めて困難である。そこで、物質輸送係数や局所の発熱量などのパラメータを整理し、それらのパラメータを考慮に入れた数値解析シミュレータを作成し、それら物性値が発電特性に及ぼす影響などを検討することも目的とした。

3. 研究の方法

半導体加工技術をもちいてマイクロメートルオーダーの極めて微小な温度センサや湿度センサを製作した。温度センサに関しては Au-Ni 等を熱蒸着し、パリレンで絶縁した熱電対方式を、湿度センサはポリイミド等の静電容量を計測する方式を検討した。

拡散係数などの物質輸送特性や熱伝導率などの熱輸送特性を整理し、それらのパラメータを考慮に入れた数値解析シミュレータを作成し、それら物性値が発電特性に及ぼす影響などを確認した。

4. 研究成果

微細加工 (MEMS) 技術によって独自に作成した厚さ数マイクロメートルと極めて薄いセンサを用いたセル内の局所温度測定を試みた。その結果、主にカソード触媒層近傍の温度が高いことを示した。

また、数値解析を併用しより詳細な温度場と物質輸送の相互作用などを明らかにすることも試み、物質輸送や熱抵抗、液水の挙動がセル性能、特に非定常発電応答に及ぼす影響などを整理することができた。

さらに、数値解析を行う上で必要ではあるものの報告の少ない固体高分子燃料電池各部材の熱伝導率や各界面の熱抵抗、および GDL の拡散抵抗を実測した。それぞれこれまでの報告よりも高い精度での測定法の確立に成功した。拡散抵抗については特にセパレータのリブ部や、チャンネルにおけるガス流速が物質伝達率などの界面抵抗に及ぼす影響を測定し、それぞれを考慮する重要性を明らかにした。熱物性については含水により GDL の熱抵抗が減少すること、特に界面の接触抵抗が含水によって極めて小さくなることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

1. “Effects of supplied gas humidity change on PEFC transient power generation”, So Manabe, Yuki Uemura, and Takuto Araki, Heat Transfer- Asian Research, in Printing, paper No. B-10-17. 査読有.
2. 「供給ガス相対湿度変化が PEFC 発電応答特性へ及ぼす影響」 眞鍋壮, 上村有輝, 荒木拓人, 機械学会論文集 B 編, 76(771), 1942-1949, 2010-11-25. 査読有.
3. “Steam electrolysis performance of intermediate-temperature solid oxide electrolysis cell and efficiency of hydrogen production system at $300\text{ Nm}^3\text{h}^{-1}$ ”, Zhenwei Wang, Masashi Mori and Takuto Araki, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 34, No. 10, pp. 4451-4458(2010) 査読有.
4. “Simulation Study for the Series Connected Bundles of Micro Tubular SOFCs”, Yoshihiro Funahashi, Toru Shimamori, Toshio Suzuki, Yoshinobu Fujishiro, Masanobu Awano and Takuto Araki, Journal of Fuel Cell

Science and Technology, Vol. 7, No. 5, (2010) 査読有.

5. "Treatment of low concentration hydrogen by electrochemical pump or proton exchange membrane fuel cell", Kazuo Onda, Takuto Araki, Keiji Ichihara, Mitsuyuki Nagahama, Journal of Power Sources, Volume 188, Issue 1, pp. 1-7(2009) 査読有.

[学会発表] (計 25 件)

1. 「両極アグロメレートモデルを用いた PEFC 非定常解析」
阿江朋暁, 官林亮, 荒木拓人,
第 51 回電池討論会, 1F12, 2010 年 11 月 11 日, 愛知県産業労働センター(名古屋市中村区) .
2. 「GDL 内水分の相変化および毛管輸送モデリングによるセル性能評価」
洗川拓也, 佐藤暁, 荒木拓人
第 51 回電池討論会, 2E17, 2010 年 11 月 10 日, 愛知県産業労働センター(名古屋市中村区) .
3. 「GDL 内液水分分布および周囲境界条件が酸素拡散特性へ与える影響」
太田公一, 金子春樹, 荒木拓人, 宇高義郎, 大徳忠史
第 51 回電池討論会, 2E19, 2010 年 11 月 10 日, 愛知県産業労働センター(名古屋市中村区) .
4. Modeling of Mass Transport and Overpotential Distributions inside PEMFC Catalyst Layer, Takuto Araki, Tomoaki Ae, Ryo Kambayashi, 21st International Symposium on Transport Phenomena, IS05-02, 4th Nov. 2010, Kaohsiung, Taiwan.
5. Measurements of Heat and Mass Transport Properties through PEMFC GDL, Takuto Araki, Kohichi Ota, Haruki Kaneko, Nobuyoshi Tachibana, 21st International Symposium on Transport Phenomena, IS05-04, 4th Nov. 2010, Kaohsiung, Taiwan.
6. Simultaneous Measurement of Gas Diffusivity and Imaging of Liquid Water by X-Ray Computed Tomography In Micro Porous Media, Tadafumi DAITOKU, Takuto ARAKI, Shunsuke KONDO, Koichi OTA, Yasuyuki Omori, Haruki KANEKO, Kentaro UESUGI, Yoshio UTAKA, 21st International Symposium on Transport Phenomena, IS05-01, 4th Nov. 2010, Kaohsiung, Taiwan.
7. Measurement and Modelling of Heat and Mass transport characteristics inside PEMFC systems T. Araki, So Manabe, Yuki Uemura, Kenji Ohora, 7th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, June 2009, Krakow, Poland.
8. 「周囲境界条件が PEFC ガス拡散層の物質輸送特性へ与える影響」
太田 公一, 金子 春樹, 荒木拓人,
第 47 回日本伝熱シンポジウム, A124, 2010 年 5 月 26 日, 札幌コンベンションセンター.
9. 「二次元アグロメレート触媒層モデルを用いた PEFC 非定常解析」
阿江 朋暁, 上村 有輝, 官林亮, 荒木 拓人
第 47 回日本伝熱シンポジウム, A132, 2010 年 5 月 26 日, 札幌コンベンションセンター.
10. 「微細多孔体内の X 線ラジオグラフィーによる液水挙動可視化と酸素拡散特性の同時計測」
*大徳 忠史, 荒木 拓人, 近藤俊介, 大森康由, 太田 公一, 金子 春樹, 上杉 健太郎, 宇高 義郎
第 47 回日本伝熱シンポジウム, E131, 2010 年 5 月 26 日, 札幌コンベンションセンター.
11. 「含水時の炭素繊維質多孔体の熱伝導率測定と PEFC 内局所温度測定」
遠藤 亮将, 荒木 拓人, 大洞健治, 橘 伸佳
第 47 回日本伝熱シンポジウム, E132, 2010 年 5 月 26 日, 札幌コンベンションセンター.
12. 「セラミックリアクタ SOFC システムのサイクル効率計算および熱起動解析」
荒木拓人, 恩田和夫, 淡野正信, 藤代芳伸, 鈴木俊男, 水谷安伸, 岡田文男, 森昌史, 王臻偉, 菊地哲郎, 稲垣祐一郎
第 18 回 SOFC 研究発表会, 216B, 2009 年 12 月 17 日, 科学技術館サイエンスホール(東京都千代田区).

13. 「リブの影響を考慮した非定常カソード触媒層モデル」
上村有輝, 阿江朋暁, 眞鍋 壮, 荒木拓人
第 50 回電池討論会 講演要旨集, 3E21,
2009 年 12 月 1 日, 京都国際会館.
14. 「ScSZ 電解質セルによる中温水蒸気電解システムの電気分解効率」
王 臻偉, 森 昌史, 荒木拓人
第 50 回電池討論会 講演要旨集, 2G10,
2009 年 12 月 1 日, 京都国際会館.
15. 「GDL の含水状態が PEFC 内熱物質輸送特性に与える影響」
大洞健治, 上村有輝, 橘 伸佳, 荒木拓人
第 50 回電池討論会 講演要旨集, 1F12,
2009 年 12 月 1 日, 京都国際会館.
16. 「カソード触媒層内の酸素拡散が PEFC 発電特性に及ぼす影響」
阿江 朋暁, 上村 有輝, 荒木 拓人
日本機械学会 2009 年度年次大会, 2009 年 9 月 12 日, 岩手大学.
17. 「ガス拡散層内の液水滞留を考慮した PEFC 非定常応答解析」
洗川 拓也, 荒木 拓人, 眞鍋 壮
日本機械学会 2009 年度年次大会, 2009 年 9 月 12 日, 岩手大学.
18. 「ガス拡散層の熱物質輸送特性」
大洞 健治, 荒木 拓人, 太田 公一, 遠藤 亮将
日本機械学会 2009 年度年次大会, 2009 年 9 月 12 日, 岩手大学.
19. 「膜電極接合体界面の輸送抵抗が PEFC 非定常発電特性に及ぼす影響」
眞鍋 壮, 上村 有輝, 大洞 健治, 荒木 拓人, 恩田 和夫
第 46 回日本伝熱シンポジウム, pp. 583-584, 2009 年 6 月 4 日, 京都国際会館.
20. 「GDL 中の液水滞留を考慮した PEFC 非定常発電応答解析」
荒木拓人, 眞鍋壮, 上村有輝, 洗川拓也, 田川恒介,
第 16 回燃料電池シンポジウム講演予稿集, pp.220-223, 2009 年 5 月 13 日, タワーホール船堀 (東京都) .
21. 「PEFC 内部の非定常水分輸送特性と温度分布」
眞鍋 壮・田川恒助・山浦利雄・大洞健治・上村有輝・荒木拓人
平成 21 年電気学会全国大会, 2009 年 3 月 18 日, 北海道大学.
22. “Effect of Water Transport on PEMFC Transient Power Generating Characteristics”, Takuro Araki, So Manabe and Yuki Uemura,
2008 Fuel Cell Seminar, GHT35c-7, 28ht Nov. 2008, Phoenix, US (poster)
23. 「供給ガス湿度変化時の PEFC 発電応答解析」
上村有輝, 眞鍋壮, 長濱光幸, 荒木拓人, 恩田和夫,
日本機械学会 2008 年度年次大会, 2008 年 8 月 5 日, 横浜国立大学
24. 「固体高分子形燃料電池内の熱物質輸送特性」
眞鍋壮, 上村有輝, 長濱光幸, 荒木 拓人, 恩田 和夫
第 45 回日本伝熱シンポジウム, D1504, 2008 年 5 月 22 日, 筑波国際会議場.
25. 「水分輸送特性が PEFC 非定常発電応答に与える影響」
荒木拓人, 眞鍋壮, 上村有輝, 恩田和夫
第 15 回燃料電池シンポジウム講演予稿集, pp.161-164, 2008 年 5 月 14 日, タワーホール船堀 (東京都)
6. 研究組織
(1) 研究代表者
荒木 拓人 (ARAKI TAKUTO)
横浜国立大学・工学研究院・准教授
研究者番号: 90378258
- (2) 研究分担者
無し
研究者番号:
- (3) 連携研究者
無し
研究者番号: