

機関番号：17102

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20360365

研究課題名 (和文) 高活性および高耐久性を有するシリカ被覆白金電極触媒の開発

研究課題名 (英文) Development of highly active and durable Pt catalysts covered with silica

研究代表者

竹中 壮 (TAKENAKA SAKAE)

九州大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：10302936

研究成果の概要 (和文)：

固体高分子形燃料電池の本格的普及に向け、Pt カソード触媒の耐久性向上が望まれる。カソード触媒は酸性、高い正電位、酸素雰囲気などの厳しい条件にさらされるため、Pt 粒子の凝集、Pt の溶解-再析出による粒子径成長により失活する。そこで Pt 触媒の耐久性向上を目的に、Pt 触媒をナノスケールのシリカで被覆したところ、Pt の電極活性を損なうことなく、耐久性を著しく改善することに成功した。またシリカでの被覆法を応用することで、高活性および高耐久性を有する Pt - Co 合金触媒を開発することに成功した。

研究成果の概要 (英文)：

Pt catalysts at cathode in polymer electrolyte fuel cells (PEFC) are deactivated due to the aggregation of Pt metal particles and the dissolution and subsequent deposition of Pt metal, because the Pt catalysts should work under very severe conditions such as low pH, highly positive potential and oxygen atmosphere. We covered carbon-supported Pt catalysts with silica layers a few nanometers thick in order to improve the durability of Pt metal under the cathode conditions. The Pt catalysts covered with silica showed high activity and excellent durability for the oxygen reduction reaction. In addition, the coverage with silica can be applied to the development of highly active and durable Pt-Co alloy catalysts.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	11,200,000	3,360,000	14,560,000
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：触媒化学

科研費の分科・細目：プロセス工学・触媒・資源化学プロセス

キーワード：固体高分子形燃料電池, Pt カソード触媒, 耐久性, シリカ被覆, Pt-Co 合金触媒

1. 研究開始当初の背景

水素エネルギー社会の実現に向け、固体高分子形燃料電池 (Polymer Electrolyte Fuel Cell; PEFC) の本格的普及が期待されている。PEFC では、アノードで水素の酸化、カソードで酸素の還元が進行することで発電

され、これらの反応を促進するために両極で炭素担持 Pt 触媒が利用されている。アノードでの水素の酸化に比較して、カソードでの酸素の還元の反応速度は遅いため、カソードで多量の Pt が利用されている。Pt は高価であるため、PEFC の普及に向け、カソードで

の Pt 使用量低減が望まれている。しかし PEFC 用カソード触媒は、酸性、酸素的雰囲気、高い正電位、高温などの厳しい条件にさらされるため、Pt 粒子のシタリングおよび Pt の溶解—再析出による Pt 粒子径成長により、Pt カソード触媒は失活する。このため PEFC カソードでの Pt 使用量低減は困難となっている。Pt カソード触媒の失活を抑制するために、炭素担体の物理的、化学的特性を修飾し、これにより Pt のシタリング耐性が改善されることが報告されている。しかしこの方法では Pt の溶解—再析出による Pt 触媒の失活は抑制できない。PEFC カソード条件下では、Pt 粒子のシタリングと Pt の溶解—再析出は同時に進行するため、これらを同時に抑制できる方法が望まれる。

PEFC カソード触媒中の Pt 使用量を低減することを目的に、Pt 系合金触媒の開発も進められている。Co, Fe に代表される遷移金属を Pt に添加し、これらを合金化させることで Pt の酸素還元活性が向上するため、Pt 系合金触媒を PEFC カソードに利用すれば、Pt 使用量を低減できる。しかし PEFC カソード条件下では、Pt に添加した遷移金属種も溶解するため、Pt 系合金触媒の耐久性は低い。また合金触媒は、通常、炭素担体上に 2 種の金属を担持し、これらを高温で処理することで調製される。高温での処理により合金化度は向上するが、この際に合金粒子はシタリングするため、触媒活性の向上はあまり期待できない。したがって Pt 系合金触媒を PEFC カソードに利用するには、金属種の溶出を抑制するとともに、触媒調製時の Pt 系合金のシタリングも抑制しなければならない。

我々は PEFC 用炭素担持 Pt カソード触媒を厚さ数ナノメートルのシリカ層で被覆することで、Pt の耐久性が著しく改善されることを見出している。Pt 触媒を被覆するシリカ層が Pt のシタリングおよび Pt の溶出を抑制するため、シリカ被覆炭素担持 Pt 触媒は優れた耐久性を示すと考えている。

2. 研究の目的

先に示したように、我々は炭素担持 Pt カソード触媒をシリカで被覆することで Pt の耐久性が改善されることを見出している。Pt を被覆するシリカ層が Pt のシタリングおよび溶解した Pt 種の溶出を抑制するため、シリカ被覆 Pt 触媒は高い耐久性を示したと考えられる。しかしシリカは絶縁体であるため、シリカでの被覆により Pt の電極活性が低下することが予想される。そこで本研究では、炭素担持 Pt 触媒を被覆するシリカ層の厚さや緻密さが、Pt の電極活性、耐久性に与える影響を検討し、その結果を基にシリカ被覆炭素担持 Pt カソード触媒の最適化を行った。また本研究では、シリカでの被覆法を Pt

系合金触媒に応用した。Pt 系合金触媒をシリカ層で被覆することで、触媒調製時に合金粒子のシタリングが抑制されると考えられる。またシリカでの被覆により、PEFC カソード条件下での Pt 系合金触媒からの金属種の溶出が抑制できると考えた。

3. 研究の方法

シリカ被覆炭素担持 Pt 触媒のシリカ層の物理的・化学的性質が電極作用、耐久性に与える影響を調べる目的で、厚さ、緻密さなどが異なるシリカ層で被覆された炭素担持 Pt 触媒を調製した。炭素担体としてはカーボンナノチューブ (CNT) を用いた。CNT 担持 Pt 触媒 (Pt/CNT) のシリカでの被覆は、3-アミノプロピルトリエトキシシランとテトラエトキシシランの逐次的な加水分解により行った。Pt/CNT を被覆するシリカ層の厚さを調整する際には、テトラエトキシシランの濃度を変化させた。またシリカ層の緻密さを制御する際には、シリカ被覆 Pt/CNT

($\text{SiO}_2/\text{Pt}/\text{CNT}$) を異なる温度で処理した。高温で $\text{SiO}_2/\text{Pt}/\text{CNT}$ を処理することで、シリカの脱水・縮重合が進行するため、シリカ層が緻密になると考えられる。

カーボンブラック担持 Pt-Co (Pt-Co/CB) はポリオール法で調製した。エチレングリコール中に塩化 Pt 酸と硝酸 Co を溶解させ、ここに CB を分散させ、 130°C まで加熱した。ここで得られた試料をシリカで被覆する際には、3-アミノプロピルトリエトキシシランとテトラエトキシシランの逐次的な加水分解を利用した。最後に Pt と Co の合金化を促進するために、触媒試料を水素—アルゴン混合ガス中で 700°C まで加熱した。

Pt 系触媒の電極作用および耐久性は、三電極式電気化学セルを用いて評価した。触媒試料を 0.1 M HClO_4 電解質中に浸漬し、電解質中を窒素でバブリングした。その後 Pt 系触媒のサイクリックボルタモグラム (CV) を測定し、この結果を基に各触媒の電極作用、耐久性を評価した。

Pt 系触媒の形状は透過型電子顕微鏡 (TEM) 像により評価した。また触媒中の金属種の構造は、粉末 X 線回折 (XRD) により評価した。

4. 研究成果

図 1 には、Pt/CNT および異なるシリカ量の $\text{SiO}_2/\text{Pt}/\text{CNT}$ の TEM 像を示した。Pt/CNT の TEM 像では、CNT 上に直径 $2\sim 3\text{ nm}$ の Pt 粒子が担持されていることが分かる。一方いずれの $\text{SiO}_2/\text{Pt}/\text{CNT}$ でも Pt 粒子が CNT 上に担持されており、Pt 粒子径は Pt/CNT 上の Pt 粒子に比べ小さく、またそれらはシリカで被覆されていることがわかる。 $\text{SiO}_2/\text{Pt}/\text{CNT}$ の調製では、Pt 前駆体を CNT 上に担持し、それらをシリカで被覆後に Pt 前駆体を水素により金属 Pt に

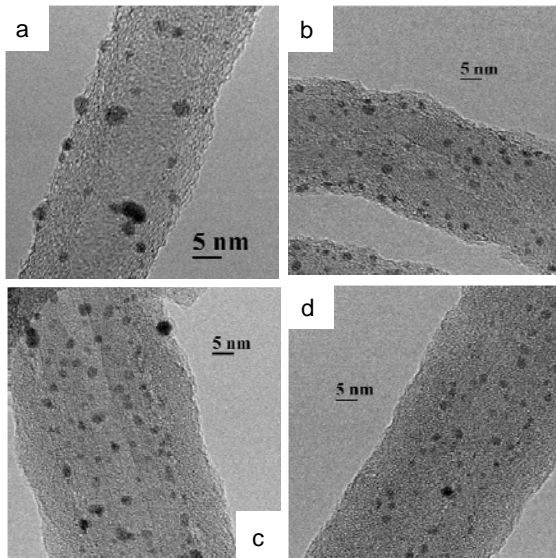


図1 Pt/CNT (a), SiO₂/Pt/CNT (2 nm) (b), SiO₂/Pt/CNT (6 nm) (c) および SiO₂/Pt/CNT (10 nm) (d) の TEM 像。

還元している。SiO₂/Pt/CNT では Pt 粒子がシリカで被覆されていたために、水素での還元時に Pt 粒子がシンタリングしなかった結果、SiO₂/Pt/CNT 中の Pt 粒子径が小さかったと考えられる。また図 1 (b), (c), (d) に示した SiO₂/Pt/CNT 中のシリカ量はそれぞれ 26, 45, 54 wt% であり、そのときシリカ層厚さはそれぞれ 2, 6, 10 nm であった。以下では試料名の後ろにシリカ層厚さを明記した。

Pt/CNT および SiO₂/Pt/CNT の電極活性および耐久性を調べるために、三電極式電気化学セルを用い、触媒の電位を 0.05~1.20 V (vs. RHE) 間で繰り返し変動し、その後 CV を測定した。得られた CV の Pt 上での水素の脱離によるピーク面積から各 Pt 触媒の電気化学的活性表面積 (Electrochemically active surface area; ECSA) を見積もった。その結果を図 2 に示した。耐久性試験初期の Pt/CNT の ECSA は 68 m² g-Pt⁻¹ であったが、電位変動

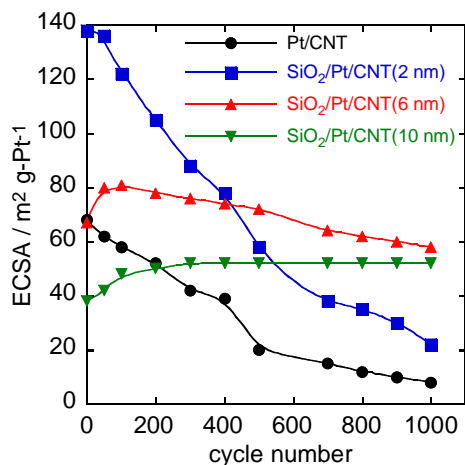


図 2 耐久性試験中における各 Pt 触媒の ECSA の変化。

サイクル数の増加に伴って徐々に減少し、1000 サイクル後には 8 m² g-Pt⁻¹ まで減少した。この結果は、耐久性試験中に Pt/CNT 中の Pt 粒子は、凝集および溶解-再析出により Pt 粒子径が成長していることを示している。一方 SiO₂/Pt/CNT (2 nm) では、耐久性試験開始直後の ECSA は 138 m² g-Pt⁻¹ となり、Pt/CNT より極めて大きかった。これは Pt/CNT に比較して SiO₂/Pt/CNT (2 nm) の Pt 粒子が小さかったためと思われる。しかし電位変動サイクル数の増加に伴って SiO₂/Pt/CNT (2 nm) の ECSA は速やかに減少し、1000 サイクル後には 22 m² g-Pt⁻¹ まで減少した。したがって厚さ 2 nm 程度のシリカ層では Pt の溶解-再析出による Pt 粒子径成長を抑制できないと考えられる。SiO₂/Pt/CNT (6 nm) の ECSA は、耐久性試験初期に 65 m² g-Pt⁻¹ であったが、電位変動を 100 サイクル行うことで 80 m² g-Pt⁻¹ まで増加し、その後の電位変動サイクル数の増加につれ徐々に減少した。しかし 1000 サイクル後も SiO₂/Pt/CNT (6 nm) の ECSA は 58 m² g-Pt⁻¹ と高く保持されており、シリカでの被覆により Pt の耐久性が改善されたといえる。また SiO₂/Pt/CNT (10 nm) の ECSA は耐久性試験開始初期から 400 サイクルまでで 39 から 55 m² g-Pt⁻¹ まで増加し、その後も ECSA の低下は確認できなかった。以上の結果より、6 nm 以上の厚さのシリカ層で Pt/CNT を被覆すれば Pt/CNT の耐久性を改善できると結論できる。

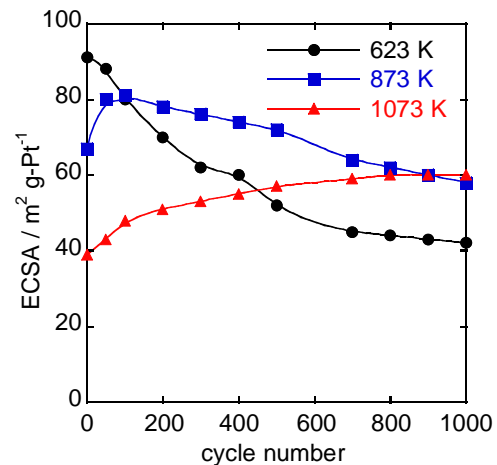


図 3 耐久性試験中における各 Pt 触媒の ECSA の変化。

SiO₂/Pt/CNT 中のシリカ層の緻密さと Pt の電極活性および耐久性の関係を明らかにするために、SiO₂/Pt/CNT (6 nm) を 623K, 873K および 1073K で処理した。図 3 には異なる温度で処理した SiO₂/Pt/CNT (6 nm) の耐久性試験中の CV から求めた ECSA の変化を示した。623 K で処理した SiO₂/Pt/CNT (6 nm) の ECSA は、耐久性試験初期に高かったものの、電位変動サイクル数の増加に伴って速やかに減

少し, 1000 サイクル後には ECSA が半減した. 一方 873 K で処理した $\text{SiO}_2/\text{Pt}/\text{CNT}$ では, 耐久性試験初期に ECSA が 65 から $80 \text{ m}^2 \text{ g-Pt}^{-1}$ まで増加し, その後サイクル数の増加に伴って徐々に減少した. しかし 1000 サイクル後でも ECSA は $60 \text{ m}^2 \text{ g-Pt}^{-1}$ 程度あり, 873 K で処理されたシリカ層でも Pt の耐久性を改善できることが分かる. さらに $\text{SiO}_2/\text{Pt}/\text{CNT}$ の処理温度を 1073 K まで高くすると, 耐久性試験初期での ECSA は低下するものの, 電位変動サイクル数の増加に伴って ECSA が徐々に増加し, 1000 サイクル後には $62 \text{ m}^2 \text{ g-Pt}^{-1}$ まで増加した. 以上の結果から, $\text{SiO}_2/\text{Pt}/\text{CNT}$ をより高温で処理すると Pt の耐久性が改善されるといえる. より緻密なシリカ層で Pt を被覆することで Pt の耐久性が改善されたと考えられる.

以上の結果より, Pt 触媒を被覆するシリカ層厚さは 6 nm 程度が適当であり, さらにより高温で処理したシリカ層が Pt の耐久性向上に適していると結論できる.

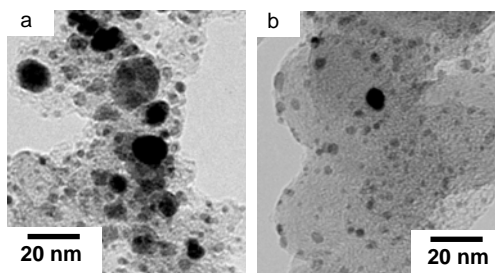


図 4 Pt-Co/CB (a) および $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co}/\text{CB}$ (b) の TEM 像.

次にシリカでの被覆法を Pt-Co 合金触媒に応用した. 図 4 にはカーボンブラック担持 Pt-Co ($\text{Pt-Co}/\text{CB}$) およびシリカ被覆 $\text{Pt-Co}/\text{CB}$ ($\text{SiO}_2/\text{Pt-Co}/\text{CB}$) の TEM 像を示した. これらの触媒は合金化度を向上するために 700°C で処理した. $\text{Pt-Co}/\text{CB}$ の TEM 像では, $2\sim 3 \text{ nm}$ 程度の金属粒子が確認できるが, 4 nm 以上の金属粒子も数多く確認できた. 一方 $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co}/\text{CB}$ の TEM 像では, ほとんどの金属粒子の粒子径は $2\sim 3 \text{ nm}$ であった. したがって $\text{Pt-Co}/\text{CB}$ をシリカで被覆すると, 700°C で処理中の金属粒子のシンタリングが抑制できるといえる. さらにこれらの Pt-Co 触媒の金属種の合金化度を見積もるために, $\text{Pt-Co}/\text{CB}$ および $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co}/\text{CB}$ の XRD パターンを測定した. その結果を図 5 に示した. Pt/CB の XRD パターンでは, 面心立方構造の金属 Pt の回折線が 40 および 47 度付近に確認できる. 一方 $\text{Pt-Co}/\text{CB}$ および $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co}/\text{CB}$ の XRD パターンでも Pt/CB と同様に 2 本の回折線が確認できるが, Pt/CB に比較して高角度側に回折線が存在した. よっていずれの Pt-Co 触媒でも Pt 中に Co 原子が固溶しているといえる. また $\text{Pt-Co}/\text{CB}$ に比較して

$\text{SiO}_2/\text{Pt-Co}/\text{CB}$ のピーク位置は高角度側に位置し, またピークの半値幅は大きいことが分かる. したがって $\text{Pt-Co}/\text{CB}$ に比較して, $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co}/\text{CB}$ 中の Pt-Co 合金の合金化度は高く, また結晶子径は小さいと考えられる.

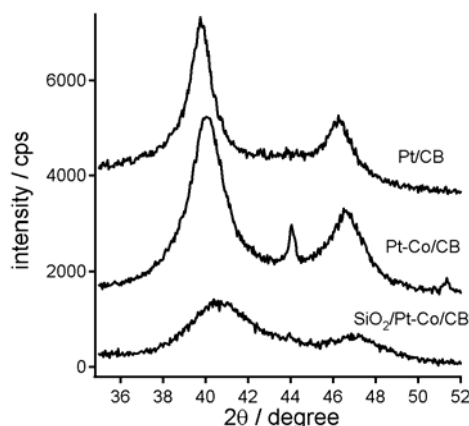


図 5 Pt/CB, Pt-Co/CB および $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co}/\text{CB}$ の XRD パターン.

図 6 には, 耐久性試験中の $\text{Pt-Co}/\text{CB}$ および $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co}/\text{CB}$ の CV から見積もった各触媒の ECSA の変化を示した. 耐久性試験では触媒の電位を $0.5\sim 1.0 \text{ V}$ 間で変動した. CNT 担体は酸化耐性が高いものの, CB 担体は 1.0 V 以上の電位で速やかに酸化劣化する. そこで耐久性試験中の担体の酸化劣化による触媒失活への寄与を少なくするために, ここでは $0.5\sim 1.0 \text{ V}$ 間での電位変動により耐久性試験とした. $\text{Pt-Co}/\text{CB}$ では, 耐久性試験初期に ECSA が $65 \text{ m}^2 \text{ g-Pt}^{-1}$ であったが, 電位変動サイクル数の増加に伴って ECSA が減少し, 6000 サイクル後には $30 \text{ m}^2 \text{ g-Pt}^{-1}$ まで低下した. 一方耐久性試験初期の $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co}/\text{CB}$ の ECSA は $59 \text{ m}^2 \text{ g-Pt}^{-1}$ であり, $\text{Pt-Co}/\text{CB}$ に比較して ECSA は小さかったものの, 電位変動による ECSA の低下はわずかであり, 6000 サイクル

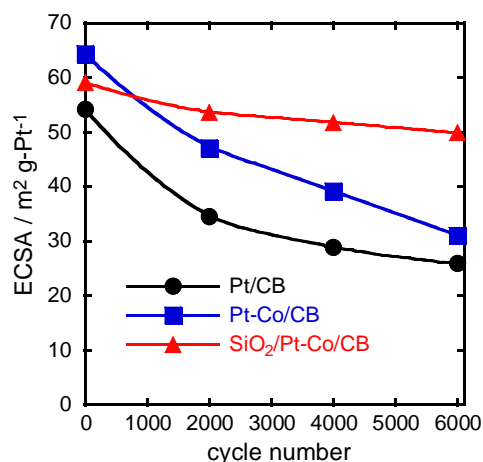


図 6 耐久性試験中における各 Pt 系触媒の ECSA の変化.

後でも ECSA は $50 \text{ m}^2 \text{ g-Pt}^{-1}$ に保持されていた。この結果から、シリカでの被覆により Pt 系合金でも触媒失活が抑制できるといえる。

Pt-Co/CB および $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co/CB}$ 触媒の酸素還元活性を評価するために、これらの触媒を PEFC 単セルのカソードに利用し、単セルの発電特性を評価した。図 7 には Pt/CB, Pt-Co/CB および $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co/CB}$ をカソードに利用した単セルの分極曲線を示した。Pt-Co/CB をカソードに利用した単セルの発電特性は、Pt/CB をカソードに利用した単セルと比較して低かった。先に示したように、Pt-Co/CB 上の金属粒子は激しくシンタリングしており、また金属種の合金化度も低い。これにより Pt-Co/CB の酸素還元活性は、Pt/CB の活性と比較して低かったと考えられる。一方 $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co/CB}$ をカソードに利用した単セルは、Pt/CB を利用した単セルより高い発電特性を示した。 $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co/CB}$ 中の Pt-Co の合金化度は高く、粒子径が小さいため、 $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co/CB}$ は高い酸素還元活性を示したと考えられる。

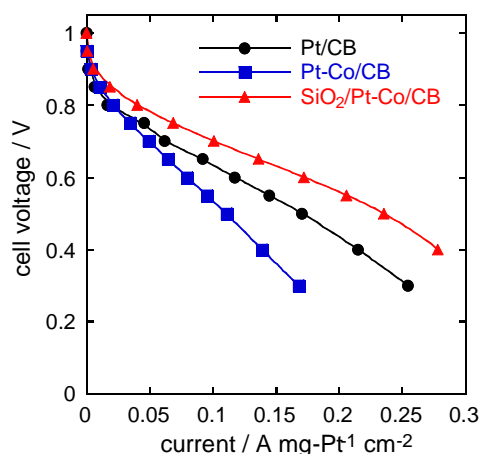


図 7 Pt/CB, Pt-Co/CB および $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co/CB}$ 触媒をカソードに利用した PEFC 単セルの分極曲線。

さらに Pt-Co/CB および $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co/CB}$ の耐久性を PEFC 単セルにより評価した。単セルのカソードに窒素、アノードに水素を流した状態でセル電位を $0.5 \sim 1.0 \text{ V}$ 間で繰り返し変動し、その後カソードに酸素、アノードに水素を供給して単セルの分極曲線を測定した。図 8 には耐久性試験中の各単セルのセル電位 0.7 V での Pt 単位重量あたりの電流密度を示した。Pt-Co/CB をカソードに利用した単セルでは、耐久性試験初期に $50 \text{ mA cm}^{-2} \text{ g-Pt}^{-1}$ であったが、電位変動サイクル数の増加に伴って徐々に減少し、2500 サイクル後には $30 \text{ mA cm}^{-2} \text{ g-Pt}^{-1}$ まで低下した。一方 $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co/CB}$ を利用した単セルでは、Pt-Co/CB を用いた単セルより耐久性試験初

期に高い発電特性を示し、耐久性試験中に $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co/CB}$ の酸素還元活性は高く保持された。この $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co/CB}$ 触媒は、現行の PEFC で利用される Pt/CB より高い酸素還元活性と優れた耐久性を示している。このように、Pt/CB に Co を添加することで Pt の酸素還元活性が向上し、それらをシリカで被覆すると PEFC カソード条件での耐久性が改善される。この結果から $\text{SiO}_2/\text{Pt-Co/CB}$ を PEFC カソードに利用すると PEFC カソード中の Pt 使用量を低減できるといえる。

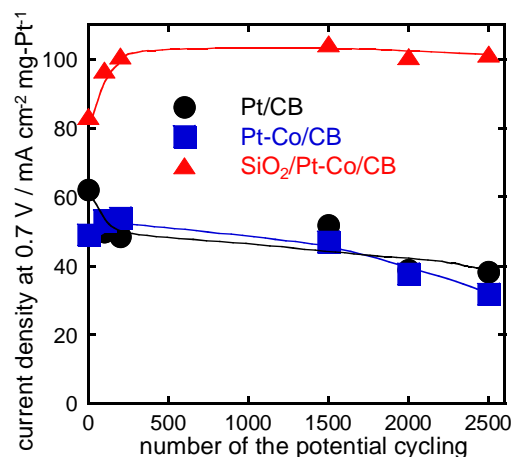


図 8 耐久性試験中における各 Pt 系触媒の酸素還元活性の変化。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① H. Matsumori, S. Takenaka, H. Matsune and M. Kishida, Excellent durability of carbon-supported Pt cathode catalysts covered with silica layers, ECS trans., 25, 689-696 (2009).
- ② H. Matsumori, S. Takenaka, H. Matsune and M. Kishida, Preparation of carbon-nanotube-supported Pt catalysts covered with silica layers; Application to cathode catalysts for PEFC, Appl. Catal. A:Gen., 373, 176-185 (2010).
- ③ S. Takenaka, A. Hirata, H. Matsune and M. Kishida, Preparation of Pt-Co alloy nanoparticles for oxygen reduction reaction; Promotion of Pt-Co alloy formation by coverage with silica, Chem. Lett., 39, 458-459 (2010).
- ④ S. Takenaka, A. Hirata, E. Tanabe, H. Matsune and M. Kishida, Preparation of supported Pt-Co alloy nanoparticle

catalysts for the oxygen reduction reaction by coverage with silica, J. Catal., 274, 228-238 (2010).

- ⑤ S. Takenaka and M. Kishida, Improvement in catalytic performance of carbon nanotube-supported metal nanoparticles by coverage with silica layers, J. Jpn. Petrol. Inst., 54, 80-89 (2011).

[学会発表] (計 11 件)

- ① 松森裕史, 松根英樹, 竹中 壮, 岸田昌浩, PEFC 用炭素担持 Pt カソード触媒のシリカ被覆による高耐久性化, 第 102 回触媒討論会 (名古屋市, 名古屋大学) 2008 年 9 月 26 日.
- ② 平田瑛子, 竹中 壮, 松根英樹, 岸田昌浩, シリカ被覆を利用した炭素担持 Pt 系合金ナノ粒子の調製, 化学工学会 第 74 年会 (横浜市, 横浜国立大学) 2009 年 3 月 18 日.
- ③ 松森裕史, 松根英樹, 竹中 壮, 岸田昌浩, シリカ被覆による PEFC カソード用炭素担持 Pt 触媒の耐久性向上; シリカ被覆法の最適化, 電気化学会第 76 回大会 (京都市, 京都大学) 2009 年 3 月 29 日.
- ④ 松森裕史, 松根英樹, 竹中 壮, 岸田昌浩, PEFC 用シリカ被覆炭素担持 Pt 触媒の電気化学的活性及び耐久性に与える効果, 第 103 回触媒討論会 (さいたま市, 埼玉大学) 2009 年 3 月 30 日.
- ⑤ 松森裕史, 竹中 壮, 松根英樹, 岸田昌浩, PEFC 用炭素担持 Pt カソード触媒のシリカ被覆による耐久性向上-炭素担体の検討, 第 104 回触媒討論会 (宮崎市, 宮崎大学) 2009 年 9 月 30 日.
- ⑥ Sakae Takenaka, Development of highly durable Pt catalysts for PEFC; Coverage of the catalysts with silica layers, Asian International Symposium-Green sustainable chemistry (招待講演) (大阪市, 近畿大学) 2010 年 3 月 28 日.
- ⑦ H. Matsumori, S. Takenaka, H. Matsune, M. Kishida, Improved durability of carbon-supported Pt catalysts for cathode in PEFC by coverage with silica; Application of carbon black to support for Pt, The Sixth Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT6) (札幌市, 札幌コンベンションセンター) 2010 年 7 月 22 日.
- ⑧ 竹中 壮, 平田瑛子, 松根英樹, 岸田昌浩, PEFC 用炭素担持 Pt-Co 合金触媒のシリカ被覆による高活性化, 化学工学会 第 42 回秋季大会 (京都市, 同志社大学),

2010 年 9 月 8 日.

- ⑨ 竹中 壮, シリカ被覆による炭素担持 Pt 触媒の高機能化, 平成 22 年度燃料電池関連触媒研究会 第 3 回新電極シンポジウム (招待講演) (伊東市, 山喜旅館) 2010 年 9 月 10 日.
- ⑩ 竹中 壮, 平田瑛子, 松根英樹, 岸田昌浩, シリカでの被覆を応用した PEFC 用 Pt-Co 合金ナノ粒子触媒の調製, 第 106 回触媒討論会 (甲府市, 山梨大学), 2010 年 9 月 15 日.
- ⑪ 竹中 壮, 固体高分子形燃料電池用金属ナノ粒子触媒のキャラクタリゼーション, 触媒学会 第 20 回キャラクタリゼーション講習会 (招待講演) (大分市, 大分大学) 2010 年 10 月 15 日.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹中 壮 (TAKENAKA SAKAE)

九州大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 10302936

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし