文 献

- 1) ゲルハンドブック, 長田義仁, 梶原莞爾編集代表, エヌ・ティー・エス (1997).
- 2) M. D. Ingram and C. A. Vincent, *Chemistry in Britain*, **20**, 235 (1984).
- 3) B. Scrosati, *Lithium Ion Batteries - Fundamentals and Performance* (Eds. M. Wakihara and O. Yamamoto), Wiley-VCH, Kohdansha, Tokyo, Chap.10, p. 218 (1998).
- 4) G. Feuilleade and Ph. Perche, *J. App. Electrochem.*, **5**, 63 (1975).
- 5) K. M. Abraham and M. Alamgir, *J. Electrochem. Soc.*, **137**, 1657 (1990).
- 6) K. M. Abraham and M. Alamgir, *J. Power Sources*, **43**, 195 (1993).
- 7) G. Nagasubramanian, A. I. Attia, and G. Halpert, *J. Appl. Electrochem.*, **24**, 298 (1994).
- 8) ポリマーバッテリーの最新技術Ⅱ, 金村聖志監修, シーエムシー出版 (2003).
- 9) 電子とイオンの機能化学シリーズ, Vol. 3, 次世代型リチウム二次電池, 田村英雄監修, 森田昌行他編著, エヌ・ティー・エス (2003).
- 10) M. Watanabe, M. Kanba, K. Nagaoka, and I. Shinohara, *J. Polym. Sci., Polym. Phys.*, **21**, 939 (1983).
- 11) S. S. Zhang, M. H. Ervin, K. Xu, and T. R. Jow, *Electrochim. Acta*, **49**, 3339 (2004).
- 12) S. S. Zhang, K. Xu, D. L. Foster, M. H. Ervin, and T. R. Jow, *J. Power Sources*, **125**, 114 (2004).
- 13) S. S. Zhang, M. H. Ervin, K. Xu, and T. R. Jow, *Solid State Ionics*, **176**, 41 (2005).
- 14) M. Ishikawa, M. Ihara, M. Morita, and Y. Matsuda, *Electrochim. Acta*, **40**, 2217 (1995).
- 15) F. Croce, A. D'Epifanio, J. Hassoun, P. Reale, and B. Scrosati, *J. Power Sources*, **119-121**, 399 (2003).
- 16) M. Ishikawa, M. Morita, and Y. Matsuda, *Electrochem. Soc. Proc.*, **96-25**, 325 (1997).
- 17) M. Ishikawa, T. Kishino, N. Katada, and M. Morita, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, **575**, 423 (2000).
- 18) J. M. Tarascon, A. S. Gozdz, C. Schmutz, F. Shokoohi, and P. C. Warren, *Solid State Ionics*, **86-88**, 49 (1996).
- 19) N. Yoshimoto, A. Okamoto, M. Morita, N. Ando, and Y. Hato, *J. Power Sources*, **146**, 195 (2005).
- 20) H. S. Kim, P. Periasamy, and S. I. Moon, *J. Power Sources*, **141**, 293 (2005).
- 21) T. Osaka, X. Liu, M. Nojima, and T. Momma, *J. Electrochem. Soc.*, **146**, 1724 (1999).
- 22) M. Ishikawa, S. Tsumeda, and M. Morita, *Electrochem. Soc. Proc.*, **2002-7**, 48 (2002): 石川正司, 小野 武, 吉本信子, 森田昌行, 高分子学会予稿集, 52巻12号, p. 3297 (IS19), 第52回高分子討論会 (2003).
- 23) M. Morita, T. Fukumasa, M. Motoda, H. Tsutsumi, Y. Matsuda, T. Takahashi, and H. Ashitaka, *J. Electrochem. Soc.*, **137**, 3401 (1990).
- 24) M. Morita, N. Yoshimoto, S. Yakushiji, and M. Ishikawa, *Electrochem. Solid-State Lett.*, **4**, A177 (2001).
- 25) N. Yoshimoto, S. Yakushiji, M. Ishikawa, and M. Morita, *Electrochim. Acta*, **48**, 231 (2003).
- 26) Y. Matsuda, M. Morita, M. Ishikawa, and M. Ihara, *J. Electrochem. Soc.*, **140**, L109 (1993).
- 27) M. Morita, J.-L. Qiao, N. Yoshimoto, and M. Ishikawa, *Electrochim. Acta*, **50**, 837 (2004).
- 28) N. Yoshimoto, H. Nomura, T. Shirai, M. Ishikawa, and M. Morita, *Electrochim. Acta*, **50**, 275 (2004).
- 29) Y. Aihara, G. S. Appetecchi, and B. Scrosati, *J. Electrochem. Soc.*, **149**, A849 (2002).
- 30) S. Tabata, T. Hirakimoto, M. Nishiura, and M. Watanabe, *Electrochim. Acta*, **48**, 2105 (2003).
- 31) Y. Kato, K. Suwa, S. Yokoyama, T. Yabe, H. Ikuta, Y. Uchimoto, and M. Wakihara, *Solid State Ionics*, **152-153**, 155 (2002).
- 32) イオン性液体－開発の最前線と未来－, 大野弘幸監修, シーエムシー出版 (2003).

● 著者プロフィール

氏名: 吉本 信子 Nobuko YOSHIMOTO
 所属: 山口大学工学部応用化学工学科
 (〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1)
 役職: 助手
 趣味: スポーツ観戦

氏名: 森田 昌行 Masayuki MORITA
 所属: 山口大学工学部応用化学工学科
 (〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1)
 役職: 教授
 趣味: 映画鑑賞, 歴史小説

2 水溶液系二次電池・電気二重層 キャパシタ用高分子ヒドロゲル電解質

井上 博史, 野原 慎士, 岩倉 千秋

1 はじめに

ニッケル-カドミウム電池, ニッケル-水素電池, ニッケル-亜鉛電池などのアルカリ二次電池にはアルカリ水溶液が電解液として用いられているが, 水の電気分解による制約を受けるため, 作動電圧は非水溶液系電解液を用いるリチウム

イオン電池の半分以下である。しかしながら, アルカリ電解液の電気伝導率は非水溶液系電解液に比べて約2桁高いため, アルカリ二次電池は大電流での充放電も可能であり, モバイル機器のみならず, 電動工具やハイブリッド車などの高出力用途にも実用されている。

電解液の漏液や凍結の恐れがなく、薄型化や小型化を可能にするという観点からアルカリ電解液の代わりに固体電解質を用いるという発想は古くからあったが、反応機構上の問題やイオン伝導材料の面から全固体アルカリ二次電池は開発されるに至っていない。

1999年にFauvarqueらは、従来の高分子ゲル電解質の製法を参考にしてポリエチレンオキシド (PEO) 中に水酸化カリウム水溶液を取り込ませることにより新しい固体高分子電解質を作製し、これを用いた全固体ニッケル-水素電池の特性評価に関する論文を発表した¹⁾。この論文で特筆すべき点は、彼らの作製したPEO-KOH-H₂O系の固体高分子電解質が室温で約 10^{-3} S cm⁻¹という高い電気伝導率を示したことおよび水溶液に近い充放電条件で充放電できることを初めて示したことである。また、この電池は、-20～40℃の広い温度範囲で作動し、500回以上充放電可能であった。さらに、この固体高分子電解質は、適当な温度のもとでPEOと水酸化カリウム水溶液を混合した後、ゆっくりと冷やすだけで作ることができるので、作製法としても非常に簡単であるという特長も有する。

Fauvarqueらによる論文発表の後、様々な固体高分子電解質が開発され、それらの全固体化に向けたアルカリ二次電池用電解質としての応用研究が行われている²⁻⁵⁾。例えば、エピクロロヒドリンとエチレンオキシドとの共重合体を用いた固体高分子電解質では、結晶性が低下するためにフィルム状になり、電気伝導率も向上した²⁾。ポリビニルアルコール (PVA) を用いた固体高分子電解質では、室温での電気伝導率が最高 0.047 S cm⁻¹に達した⁴⁾。また、PVAを用いて作製した密閉型ニッケル-亜鉛電池は充電量の半分しか放電できなかったものの100回以上の充放電が可能であった⁵⁾。これらの固体高分子電解質を用いる電池の充放電特性は、KOH水溶液を用いた場合に近づいてきたが、それでも電気伝導率は同濃度の水溶液に比べてまだ1～2けた小さいため、レート特性が劣っている。

架橋されたポリアクリル酸が水などの溶媒を大量に吸収して膨潤する現象はよく知られており、このような物質は一般に高分子ゲルと呼ばれている。筆者らは市販の架橋型ポリアクリル酸カリウム (PAAK) が、水酸化カリウム水溶液を大量に吸収してゲル化することを見出し、アルカリ水溶液を保持したこの“高分子ヒドロゲル電解質”を安価である点も考慮してアルカリ二次電池や電気二重層キャパシタなどに応用することを検討してきた⁶⁻¹³⁾。本稿では、高分子ヒドロゲル電解質の特長およびこれまでに得られた知見を簡単に紹介する。

2 高分子ヒドロゲル電解質の特長

高分子ヒドロゲル電解質は以下のように作製する。市販の架橋型PAAK粉末とKOH水溶液を混合し、室温、大気中、密閉容器内で3日間熟成させた後、減圧下で気泡を除去することにより、透明な高分子ヒドロゲル電解質が生成する。得られた高分子電解質は、PEO-KOH-H₂O系固体高分子電解質の約15倍のKOH水溶液を吸収し、保持している。この高分子ヒドロゲル電解質の電気伝導率 (25℃) は、同濃度のKOH水溶液にきわめて近い電気伝導率を有し、ゲル作製時のKOH水溶液濃度が6～8 Mの範囲では 0.5 S cm⁻¹を越える非常に高い電気伝導率を示すことがわかった (Fig. 1)⁶⁾。

Fig. 1 Effects of KOH concentration on the conductivity (25℃) of polymer hydrogel electrolytes and KOH aqueous solutions. The content of PAAK: 7 wt.%.

また、電気伝導率は、高分子ヒドロゲル電解質中のPAAK含有率が増加するにつれて徐々に低下する傾向を示した。このようにKOH水溶液に匹敵する高い電気伝導率を示したのは、PAAKが大量のKOH水溶液を吸収・保持しているためと考えられる。

電解質中の陰イオン (OH⁻) の輸率をヒットルフ法で測定すると、6 M KOH水溶液では0.72、高分子ヒドロゲル電解質では0.85となった。これは、陽イオン (K⁺) がPAAKのカルボキシル基に静電的な束縛を受けるのに対し、OH⁻の移動度はゲル中であってもあまり変化しないためと考えられる。

白金を作用電極に用いて測定した高分子ヒドロゲル電解質中でのサイクリックボルタモグラムの場合は、KOH水溶液の場合と同様に、水素の吸脱着および白金酸化物形成・還元に基づく電流が観測されたが、高分子の分解に起因する電流は認められなかった。このことより、高分子ヒドロゲル電解質は、広い電位窓を有し、電気化学的に安定であることがわかった。

高分子ヒドロゲル電解質とKOH水溶液のクリープ特性の違いを調べるため、電解質と接触させたニッケル棒に負電位を印加し、メニスカスがニッケル棒の側面に沿って上昇することに起因する酸素還元電流の増加量を評価したところ、KOH水溶液の場合には電流が時間とともに増大したのに対し、高分子ヒドロゲル電解質の場合には電流の増加量が小さく、クリープは大きく抑制されることがわかった⁸⁾。これは、高分子ヒドロゲル電解質の高い保水力によるものであると考えられる。

3 高分子ヒドロゲル電解質の水溶液系二次電池への応用

3.1 ニッケル-水素電池への応用

前節のような特長を有する高分子ヒドロゲル電解質を用いてニッケル-水素 (Ni/MH) 電池を組み立て、特性評価を行った⁶⁻¹⁰⁾。負極にはペースト型水素吸蔵合金 (MmNi_{3.6}Mn_{0.4}Al_{0.3}Co_{0.7}, Mm=misch metal) 電極を、正極には焼結式ニッケル正極板を用いた。架橋型PAAKに7.3 M KOH水溶液を吸収させることによって作製した高分子ヒドロゲル電解質を含浸させたスルホン化ポリプロピレン製不織布のセパレータ (厚さ120 μm) で正極を包み、これを2枚の負極で挟んで正極規制のNi/MH電池を組み立てた。比較のために、高分子ヒドロゲル電解質の代わりに7.3M KOH水

溶液を用いたNi/MH電池を組み立てた。これらの電池の充放電試験を行ったところ、高分子ヒドロゲル電解質を用いたNi/MH電池の充放電曲線は、KOH水溶液を用いたNi/MH電池のそれとほぼ重なり、典型的なNi/MH電池の充放電挙動を示すことがわかった。また、充放電サイクルを重ねても放電容量の減少は認められず (Fig. 2), 電極/高分子ヒドロゲル電解質界面での充放電反応は電極/KOH水溶液界面と同様、スムーズに進行していることがわかる。さらに、充放電電流密度を $1.5 \text{ A g}[\text{Ni}(\text{OH})_2]^{-1}$ まで変化したときの高率充放電能も、両電解質ともに似た傾向を示した⁹⁾。このように、高分子ヒドロゲル電解質を用いた場合でも大電流充放電が可能であることが明らかになった。これは、高分子ヒドロゲル電解質がKOH水溶液に近い電気伝導率を有することに起因している。

高分子ヒドロゲル電解質を用いたNi/MH電池は、容量特性やレート特性に関して、KOH水溶液を用いたものとはほぼ同等であったが、容量保持率の点では、KOH水溶液を用いたものに比べて優れていた。Fig. 3は、種々の温度における容量保持率を示している¹⁰⁾。高分子ヒドロゲル電解質を用いたNi/MH電池は、広い温度範囲にわたって、KOH水溶液を

Fig. 2 Discharge capacities as a function of cycle number for the Ni/MH batteries with a polymer hydrogel electrolyte and a 7.3 M KOH aqueous solution. Charge: $145 \text{ mA g}[\text{Ni}(\text{OH})_2]^{-1}$, 2.4 h. Rest: 0.17 h. Discharge: $145 \text{ mA g}[\text{Ni}(\text{OH})_2]^{-1}$, 0.9V.

Fig. 3 Capacity retention as a function of storage temperature for the Ni/MH batteries with a polymer hydrogel electrolyte and a 7.3 M KOH aqueous solution after the storage test for 10 days.

用いたものより高い容量保持率を示し、高温になるにつれてその差は顕著となった。また、高分子ヒドロゲル電解質を用いた場合には、KOH水溶液を用いた場合に比べて、溶出した合金成分 (Al, Mn 等) の移動が大きく制限される (Fig. 4)。このことが高分子ヒドロゲル電解質を用いた場合に容量保持特性が向上する大きな要因であると考えられる。

3.2 ニッケル-亜鉛電池への応用

高分子ヒドロゲル電解質をニッケル-亜鉛 (Ni/Zn) 電池に用いた場合にも KOH水溶液を用いた場合とは異なる特性を示す。架橋型 PAAK に 7.3 M KOH水溶液を吸収させて作製した高分子ヒドロゲル電解質を多孔質カーボンペーパー上に亜鉛を電析させた負極と焼結式ニッケル正極板で挟んで、負極規制の Ni/Zn 電池を組み立てた¹¹⁾。この電池の充放電サイクル特性を Fig. 5 に示す。初期の数サイクルは、高分子ヒドロゲル電解質を用いた場合にも KOH水溶液を用いた場合にも充電電気量のほぼ 100% 放電した。充放電曲線においても、両電池ともに明瞭な電圧のプラトーが 1.7 V 付近に観測され、Ni/Zn 電池として機能していることがわかった。しかしながら、さらに充放電を繰り返すと、KOH水溶液の場合には、不安定な充電挙動を示し、放電容量は急激に減少した。これに対して、高分子ヒドロゲル電解質の場合には、50 サ

Fig. 4 Distribution of dissolved Al species in a polymer hydrogel electrolyte and a 6 M KOH aqueous solution after 30 charge-discharge cycles.

Fig. 5 Discharge capacities as a function of cycle number for the Ni/Zn batteries with a polymer hydrogel electrolyte and a 7.3 M KOH aqueous solution.

Fig. 6 SEM photographs of negative electrodes in the Ni/Zn batteries with (a) a polymer hydrogel electrolyte and (b) a 7.3 M KOH aqueous solution after charging at 50th cycle.

イクル充放電後でさえ、放電容量の減少はほとんど起こらず、充放電曲線も初期サイクルのものとほとんど変わらなかった。このような違いは、高分子ヒドロゲル電解質中と KOH 水溶液中での $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ イオンの拡散速度の違いに起因すると考えられる。高分子ヒドロゲル電解質の場合には、放電時に溶出した $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ イオンが電極/電解質界面付近により多く存在していると予想されるが、実際、充放電試験後、電解質中に溶解した Zn イオン種の濃度を測定すると、高分子ヒドロゲル電解質の方が負極近傍における Zn イオン種の濃度が高いことがわかった。高分子ヒドロゲル電解質では可逆的な充放電反応をよりスムーズに進行させていると考えられる。

充放電試験後の亜鉛負極の表面形態を観察すると、Fig. 6 のように、高分子ヒドロゲル電解質の場合には Zn が粒状に析出しているのに対し、KOH 水溶液の場合にはデンドライト状に析出していた。Zn のデンドライト形成は充電時の電位の振動と密接な関係があることはよく知られている¹⁴⁾。高分子ヒドロゲル電解質の場合、上記のように電極/電解質界面付近に多くの $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ イオンが存在することにより充電時の電位の振動が起こりにくくなり、デンドライト形成も抑えられ、結果として充放電サイクル特性が著しく向上したと考えられる。

4 高分子ヒドロゲル電解質の水溶液系電気二重層キャパシタへの応用

電気二重層キャパシタ (EDLC) の充放電過程は、二次電池のように電極/電解質界面を電子が移動しない非ファラデー過程であるが、蓄電デバイスであるという点では同じである。したがって、高分子ヒドロゲル電解質は EDLC にも適用可能である。これまで有機系の高分子ゲル電解質に関する研

究は盛んに行われているが¹⁵⁻¹⁸⁾、水溶液系の高分子ゲル電解質に関する研究例は非常に少ない¹⁹⁾。そこで筆者らは、架橋型 PAAK に 10 M KOH 水溶液を吸収させて作製した高分子ヒドロゲル電解質を EDLC に適用してみた。

高分子ヒドロゲル電解質をスルホン化ポリプロピレン製不織布のセパレータに含浸させた後、活性炭素繊維布 (比表面積: 約 $2000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) を用いた 2 枚の活性炭素 (AC) 電極で挟み、実験用 EDLC セルを組み立てた¹³⁾。高分子ヒドロゲル電解質および 10 M KOH 水溶液を用いたセルの充放電曲線を Fig. 7 に示す。両電解質ともにキャパシタ特有の直線的な充放電曲線が得られ、IR ドロップはほとんど観測されなかった。また、放電曲線から求めた放電容量も、両電解質で似た値をもつことがわかった¹³⁾。これらのことから、高分子ヒドロゲル電解質を用いた EDLC は、KOH 水溶液を用いた場合と同様、良好に機能していることがわかる。さらに、高分子ヒドロゲル電解質は、KOH 水溶液と同等の優れた高率放電特性を有することがわかった (Fig. 8)。

20000 サイクル充放電後の高分子ヒドロゲル電解質および KOH 水溶液を用いた場合における放電容量は、それぞれ初期の 82%, 72% であった¹³⁾。このように高分子ヒドロゲル電解質を用いた場合の方が KOH 水溶液を用いた場合よりサイクル特性が優れていたのは、本実験を解放系で行ったため

Fig. 7 Charge and discharge curves (10th cycle) for the EDLC cells with a polymer hydrogel electrolyte and a 10 M KOH aqueous solution. Charge and discharge current density: 1 mA cm^{-2} .

Fig. 8 High-rate dischargeabilities for the EDLC cells with a polymer hydrogel electrolyte and a 10 M KOH aqueous solution.

Fig. 9 Time courses of leakage currents at 0.8 V for the EDLC cells with a polymer hydrogel electrolyte and a 10 M KOH aqueous solution.

に、前者の方が後者より水分の蒸発が抑えられたためではないかと考えられる。また、充電状態 (0.8 V) で保持した時のリーク電流を測定したところ、高分子ヒドロゲル電解質を用いた場合のリーク電流は、KOH水溶液を用いたものより大きく抑制された (Fig. 9)。また、充電後、開回路状態に維持したときのセル電圧の降下についても、高分子ヒドロゲル電解質を用いた方が抑制されることがわかった。自己放電の原因は未だ明らかではないが、活性炭素中に含まれていると思われる不純物の金属種による両極間のシャトル反応が高分子ヒドロゲル電解質では抑えられたためではないかと考えられる。

5 おわりに

高分子ヒドロゲル電解質は、これまでになく大量のKOH水溶液を吸収・保持することができ、その結果、KOH水溶液に匹敵する電気伝導率を示した。そして、高分子ヒドロゲル電解質を用いたアルカリ二次電池や電気二重層キャパシタは、KOH水溶液を用いた場合と同等かそれ以上の特性を示すことがわかった。

アルカリ二次電池では、過充電時のガス発生がしばしば問題になる。例えば、Ni/MH電池では、過充電時に正極で発生した酸素ガスがすばやく電解液を拡散して金属水素化物負極と反応することにより電池内圧の上昇を防いでいるが、高分子ヒドロゲル電解質中の酸素ガスの拡散は1けた程度おそくなる²⁰⁾。したがって、電気伝導率を維持しながら、ガス透過性を向上させる高分子ヒドロゲル電解質の設計が実用化する上でのかぎになると考えられる。

文 献

- 1) N. Vassal, E. Salmon, and J. F. Fauvarque, *J. Electrochem. Soc.*, **146**, 20 (1999).
- 2) N. Vassal, E. Salmon, and J. F. Fauvarque, *Electrochim. Acta*, **45**, 1527 (2000).
- 3) A. Lewandowski, K. Skorupska, and J. Malinska, *Solid State Ionics*, **133**, 265 (2000).
- 4) C.-C. Yang and S.-J. Lin, *J. Appl. Electrochem.*, **33**, 777 (2003).
- 5) A. A. Mohamad, N. S. Mohamed, M. Z. A. Yahya, R.

- 6) C. Iwakura, N. Furukawa, T. Ohnishi, K. Sakamoto, S. Nohara, and H. Inoue, *Electrochemistry*, **69**, 659 (2001).
- 7) C. Iwakura, S. Nohara, N. Furukawa, and H. Inoue, *Solid State Ionics*, **148**, 487 (2002).
- 8) C. Iwakura, M. Horiuchi, S. Nohara, N. Furukawa, and H. Inoue, *J. Appl. Electrochem.*, **35**, 293 (2005).
- 9) C. Iwakura, K. Ikoma, S. Nohara, N. Furukawa, and H. Inoue, *J. Electrochem. Soc.*, **150**, A1623 (2003).
- 10) C. Iwakura, K. Ikoma, S. Nohara, N. Furukawa, and H. Inoue, *Electrochem. Solid-State Lett.*, **8**, A45 (2005).
- 11) C. Iwakura, H. Murakami, S. Nohara, N. Furukawa, and H. Inoue, *J. Power Sources*, in press.
- 12) S. Nohara, H. Wada, N. Furukawa, H. Inoue, M. Morita, and C. Iwakura, *Electrochim. Acta*, **48**, 749 (2003).
- 13) H. Wada, S. Nohara, N. Furukawa, H. Inoue, N. Sugoh, H. Iwasaki, M. Morita, and C. Iwakura, *Electrochim. Acta*, **49**, 4871 (2004).
- 14) K. Fukami, S. Nakanishi, T. Tada, H. Yamasaki, S. Sakai, S. Fukushima, and Y. Nakato, *J. Electrochem. Soc.*, **152**, C493 (2004).
- 15) M. Ishikawa, M. Morita, M. Ihara, and Y. Matsuda, *J. Electrochem. Soc.*, **141**, 1730 (1994).
- 16) A. Rudge, I. Raistrick, S. Gottesfeld, and J. P. Ferraris, *Electrochim. Acta*, **39**, 273 (1994).
- 17) X. Liu and T. Osaka, *J. Electrochem. Soc.*, **143**, 3982 (1996).
- 18) T. Osaka, X. Liu, M. Nojima, and T. Momma, *J. Electrochem. Soc.*, **146**, 1724 (1999).
- 19) A. Lewandowski, M. Zajder, E. Frackowiak, and F. Béguin, *Electrochim. Acta*, **46**, 2777 (2001).
- 20) H. Inoue, S. Takehara, T. Suzuki, S. Nohara, and C. Iwakura, *56th Annual Meeting of International Society of Electrochemistry*, Abstr. No. 3A-158-P (2005).

●著者プロフィール

氏名：井上 博史 HIROSHI INOUE
所属：大阪府立大学大学院工学研究科
(〒599-8531 堺市学園町1-1)
役職：教授
趣味：スポーツ観戦、音楽鑑賞

氏名：野原 慎士 SHINJI NOHARA
所属：大阪府立大学大学院工学研究科
(〒599-8531 堺市学園町1-1)
役職：助手
趣味：スポーツ観戦

氏名：岩倉 千秋 CHIAKI IWAKURA
役職：大阪府立大学名誉教授
趣味：プロ野球テレビ観戦、囲碁

Othman, S. Ramesh, Y. Alias, and K. Arof, *Solid State Ionics*, **156**, 171 (2003).