

平成21年 5月28日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2004～2008

課題番号：16079202

研究課題名（和文）：ナノデザイン構造体を利用した高速イオン伝導体の創製

研究課題名（英文）Creation of Fast Ion Conductors by Nano-Designed Structures

研究代表者：

河村 純一（KAWAMURA JUNICHI）

東北大学・多元物質科学研究所・教授

研究者番号：50142683

研究成果の概要：

有機分子のサイズ制御性と自己組織化を利用して、制御されたナノ構造を有するイオン伝導体を創製し、そのイオン伝導度の増大効果の要因を NMR 等を用いて解析した。有機無機複合体、メソポーラスアルミナ複合体、マイクロ分相ガラス、プロトン伝導性高分子電解質などには共通してナノスケールでの不均一構造が存在し、マクロなイオン伝導度の特異な組成依存性は二つの相と界面層の存在を考慮する事で統一的に理解できる。大きな導電率増加が見られるメソポーラスアルミナ・リチウム塩系などでは、ナノ界面に高イオン伝導性のアモルファス相が形成されると推定される。大きな伝導度増加を示さない系では、通常のパーコレーション理論を基礎に説明することができる。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2004年度	10,300,000	0	10,300,000
2005年度	10,400,000	0	10,400,000
2006年度	11,700,000	0	11,700,000
2007年度	9,400,000	0	9,400,000
2008年度	7,400,000	0	7,400,000
総計	49,200,000	0	49,200,000

研究分野：物理・物性

科研費の分科・細目：

キーワード：ナノイオニクス、ナノ界面、イオン伝導度増加、パーコレーション、自己組織化

## 1. 研究開始当初の背景

高速イオン伝導体の開発と応用において、原子レベルやマクロな構造だけでなく、ナノメートルスケールでの構造がイオン伝導に大きな影響を与える事が指摘されていた。例えば、ガラスのようにマクロに均一な系でも数 nm のクラスター構造がイオン伝導度にクリティカルな影響を及ぼす。このようなイオン伝導のナノサイズ効果には、(i)界面での欠陥形成(ii)界面での束縛効果(iii)界面のランダ

ム構造(iv)界面不純物の効果等、様々な要因が複雑に関係し、更に、これらのナノ構造体どうしの(v)連結性=パーコレーションもイオン伝導度には大きく影響する。

従来の粉体混合を基礎とするようなナノ構造体では、これらの要因を識別すること難しく新たな材料開発につなげるのも試行錯誤以外に方法がなかった。

そこで、本グループでは、自己組織化によるナノ構造制御に着目し、有機分子と無機物、

ナノ分相効果などを利用して、良質な界面を持ちサイズ制御可能なナノ不均一界面を設計・作成し、それらの物質について、ナノ構造とイオン伝導特性の関係を様々な手段を用いて検討することで、高速イオン移動を実現するのに必要なナノ構造を明らかにしようと計画した。

## 2. 研究の目的

本研究では、以下の研究目的を掲げた。

- (1) 自己組織化によるナノ構造制御技術を用いてナノ不均一構造を有する高速イオン伝導体の開発を行う。
- (2) それらの高速イオン伝導性ナノ構造体について、イオン伝導度測定をはじめ、X線・中性子線・光散乱・核磁気共鳴などの計測手段を用いて、構造とイオンダイナミクスとの相関を明らかにする実験を行う。
- (3) 上記の研究を通して、それぞれの物質に対して主要なナノサイズ効果の要因を抽出し、観測されるマクロなイオン伝導度の振る舞いを理論的に説明する事を目指す。
- (4) これらの知見を元に、より高いイオン伝導度や従来に無い新しいイオン伝導体の発見・開発を行う。

具体的に、上記の目的を達成するための対象物質系として、本研究では、

- ①有機無機複合イオン伝導体
- ②メソポーラス複合イオン伝導体
- ③ナノ分相イオン伝導体

を取り上げ、これらの物質を創製し、それらのナノ構造とイオン伝導機構を交流伝導度、NMR、中性子散乱等の手段で解析する。

これにより、ナノスケールからマクロスケールにわたるイオンのダイナミクスを明らかにし、イオン伝導に対するナノサイズ効果の要因を明らかにすることを目標とした。

## 3. 研究の方法

ナノ構造体を作成する手段として、(1)有機無機複合イオン伝導体、(2)メソポーラス複合イオン伝導体、(3)ナノ分相イオン伝導体に着目した。

(1)の有機無機複合イオン伝導体とは、アルキルアンモニウム塩等の、かさ高い有機イオンと無機塩からなるガラスや複合体であり、有機分子の大きさと体積分率を制御する事で、無機イオンと有機イオンがナノサイズで分離した構造を取る。これらの物質は、有機分子のサイズや組成により導電率が6桁以上も変化し、絶縁体から超イオン導電体へと転移するなど興味深い現象を示す。

そこで、本研究では、(i)Ag,Li 伝導性の有機無機複合ガラスのナノ構造とイオン伝導機構を詳細に調べる、(ii)従来イオン伝導には関与しないとされてきた有機アンモニウム塩自体のイオン伝導について詳細に検討す

る、(ii)Ag,Li 以外にプロトン伝導性の有機無機複合体の可能性を探索する、更に(iii)これらの物質のナノ構造とイオン伝導機構を明らかにする、ことを具体的な目標とした。

(2)のメソポーラス複合イオン伝導体は、共重合超分子のミセルを鋳型としてナノチャンネルアルミナを合成し、チャンネル内にリチウムイオン伝導体、プロトン導電体を導入した複合体である。本研究では、主にメソポーラス・アルミナとリチウム塩との複合体に注目し、細孔のサイズを制御して様々な複合体を合成した。得られた材料について、イオン伝導度、NMR 拡散係数、中性子散乱などのイオンダイナミクス測定を行い、イオン伝導に対するサイズ効果を詳細に検討した。その結果を、他の複合体の知見と照合することにより、イオン伝導のエンハンス効果や低減効果の解明を行った。

(3)のナノ分相イオン伝導体としては、主に銀カルコゲナイドガラスにおけるナノ分相構造に注目し、そこで観測されるマクロな半導体・超イオン導電体転移の機構解明を行った。更に、Nafion に代表される高分子プロトン伝導体においても、同様な自己組織化によるナノ分相構造が重要な役割を果たす事が分かったので、後半はそれについても含水率を制御したイオン伝導度と NMR 測定を行い、イオン伝導機構とナノ構造の関係を検討した。

(4)その他、特定領域研究の特徴を生かし他班を含めた共同研究として、主に本班の有する NMR 技術をベースに様々な連携研究を実施した。

## 4. 研究成果

### (1)有機無機複合イオン伝導体

ヨウ化銀と有機アンモニウム塩からなる有機無機複合イオン伝導体を作成し、そのナノ構造変化とイオン伝導度との関係を、NMR、ラマン散乱、インピーダンス測定などにより検討した。

AgI とアルキルアンモニウム塩からなる有機無機複合ガラスのパーコレーション臨界領域の精密測定を行い、これまで絶縁体領域と考えられていた組成で有機分子イオンのダイナミクスがイオン伝導に寄与する可能性を見いだした。特に、分子サイズの大きい TBA イオンは、室温でも過冷却状態として高温相が残留し、その境界域では大きな拡散係数を示すことが分かった。

有機アンモニウムハライドを含む柔粘性結晶およびガラスを作成し、その構造とイオンダイナミクスを検討した。その結果、有機アンモニウム塩とその複合体の相転移・相分離・ガラス転移挙動は、極めて複雑・多様である。球に近い有機イオンを含む場合、分子鎖と分子全体の回転運動により柔粘性結晶

(Plastic crystal)相を生成しイオン伝導度が増加する。その際、ハロゲンイオンのみならず、高い有機イオンも一部は拡散している事がNMR測定から分かった。また、低温相の結晶ドメイン間に高温相が一部凍結し高い拡散係数を示す事も解った。これらの事実を説明するためプラスチック・ドメイン・モデルを提案した。

有機アンモニウム塩と種々の硫酸塩・リン酸塩からなる複合体を合成し、そのプロトン導電率を測定した。その結果、硫酸セシウム、リン酸セシウムなどとの複合体では、極めて高いプロトン導電性を示す事が見いだされた。

## (2) メソポーラス複合イオン伝導体

共重合超分子のミセルを鋳型としてナノチャンネルアルミナを合成し、チャンネル内にリチウムイオン伝導体、プロトン導電体を導入した複合体を合成する。得られた材料について、イオン伝導度、NMR 拡散係数などを細孔径・充填率を変えて測定した。

界面活性剤である Triton X-114 を用いて 2~22nm の範囲で様々な細孔径を有するメソポーラスアルミナチャンネル体を作成し、溶解塩浸漬法によりヨウ化リチウムとの複合体を作成した。

メソポーラスアルミナ・ヨウ化リチウム複合体のイオン伝導度は、細孔径が小さい程大きくなるものの、4~7nm で最大値を示しそれ以下では小さくなる事が見出された。50LiI-50Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>組成、細孔径 4.2nm で最大値  $2.4 \times 10^{-4}$  S/cm の値を示した。これは、純粋な LiI の 300 倍、Lian らによる粉末混合体の 20 倍以上高い値である。同様に、より導電率の高い Li<sub>2</sub>ZnI<sub>4</sub> をメソポーラスアルミナと複合した場合も同様の結果を得た。メソポーラスアルミナの添加量が 60% を越えると、逆にイオン伝導度が急激に低下する事が見られ、これはリチウムイオン伝導の経路が遮断されたパーコレーション転移として説明できる事が分った。

イオン伝導度の増加がリチウムイオンの移動度の増加によるもので有る事を実証するため、Li-7 核 NMR による拡散係数測定および中性子準弾性散乱測定を行った。その結果、イオン伝導度の測定結果と対応して、4.2nm でリチウムの拡散係数が最大値を示すことが明らかとなった。更に、イオン伝導度のエンハンスメントの原因を明らかにするため、プロトン-Li 間の交差分極 NMR 等の手段を駆使して、リチウムのサイトを分離計測した。その結果、3種類のリチウムイオンが存在し、プロトンと近接するリチウムが原因とする説は退けられ、アルミナ・リチウム塩界面に存在する、X 線的には検出できない中間相(恐

らくアモルファス)が導電率上昇の原因であると結論された。

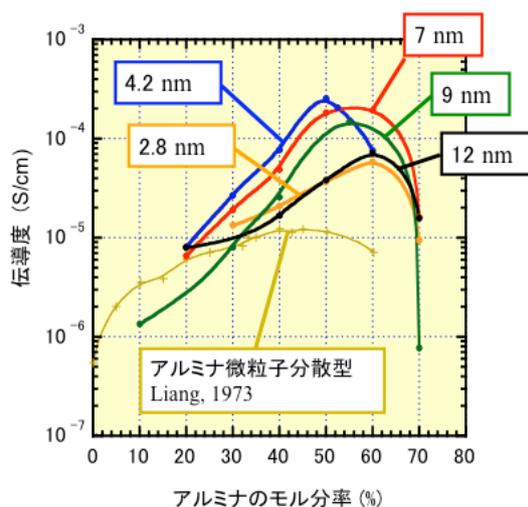


図 1 メソポーラスアルミナ・LiI 複合体のイオン伝導度の細孔径依存性

一方、メソポーラスアルミナは表面に多量の水分子を吸着し、それ自体が高いプロトン導電性を示す事を見いだした。とりわけ、La, P, Cl 等の添加により、室温で  $10^{-2}$  S/cm に近いプロトン導電率を示す複合体が得られた(図 2)。プロトン導電率は細孔径の増加と共に単調に増加する事が分り、細孔表面に吸着したプロトンの移動度は低く、表面から離れるにつれ自由水的な高速プロトン移動が進むとして説明できた。これは、後述の Nafion-水系とも同様である。

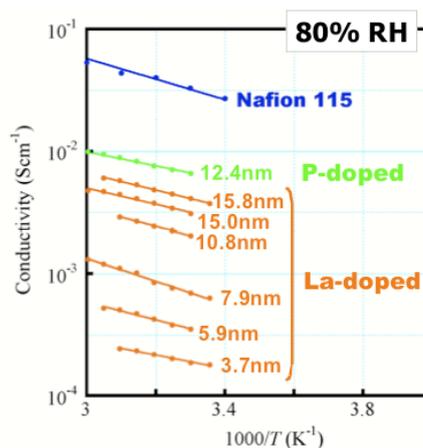


図 2 メソポーラスアルミナのプロトン導電率

なお、このプロトン導電性が上記のリチウムイオン導電性にも影響するとの疑問が提起され、様々な検討を行った。その結果、十分に乾燥した場合、吸着水は残存するがその

イオン伝導への寄与は小さい事が、NMR 等により実証された。

### (3) ナノ分相イオン伝導体

Ag-Ge-S-Se などの銀カルコゲナイドガラスは、半導体から超イオン導電体に転移し、光ドープ現象など興味深い性質を示す。我々はこの現象にナノスケールでのマイクロ相分離が関係する事を見いだしたが、最も顕著な物性変化を示す Ag-Ge-Se 系についてはマイクロ相分離の証拠が得られていなかった。そこで、半導体・超イオン導電体転移の臨界濃度域付近の精密な FE-SEM 観察をおこない、この系での分相構造の存在を初めて実証した。更に、NMR、Raman 散乱などから、相分離の機構と要因を明らかにした。この系の電気伝導度の組成依存性は、一般化された有効媒質近似により極めて良く記述でき、他の系のイオン伝導の振る舞いを解析する際の見本となった。

一方、Nafion 等のプロトン伝導性高分子は、水を吸蔵することで自己組織的にナノミセル構造を形成し、そのミセル構造とプロトン伝導性の関係は、分相ガラスや有機無機複合ガラスやメソポーラスアルミナ複合体などと共通すると推測された。これを実証するために、従来は信頼できるデータが無かった、NMR 拡散係数の測定を含水率を精密に制御して行なった。

その結果、この系でも低含水率領域(スルホン基当りの水分子数で 1.2 付近)で、プロトン拡散係数は急激に低下し、典型的なパーコレーション転移の振る舞いを示すことが分った。これは、ナフィオンの逆ミセル構造が低含水率領域では孤立ミセル化してプロトン伝導経路が切断されるためと結論された。

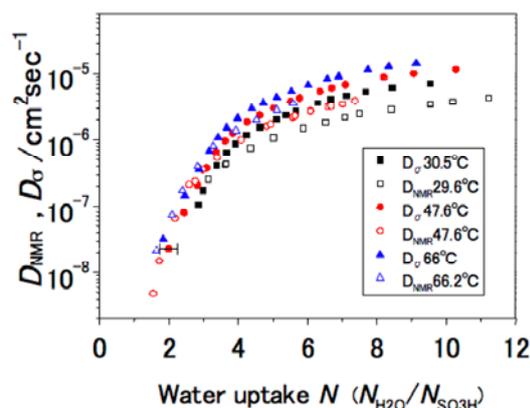


図 3 Nafion117 のプロトン拡散係数の含水率( $H_2O/SO_3$ 比)依存性

#### まとめ

本研究では、様々な、イオン伝導性ナノ複合体を作成し、そのイオン伝導機構を検討した結果、単純な電気二重層モデルで説明でき

ないケースが多く見られ、特に、界面でのアモルファス層の重要性が指摘される。

また、マクロに観測されるイオン伝導度は様々な要因が重畳しており、特に、伝導経路の連結性に関わるパーコレーション問題は、マイクロなナノイオニクス効果と競合的に時には協奏的に働く。連結性の問題は伝導度の組成依存性に顕著に現れ、界面層を考慮した有効媒質近似などで上手く記述する事ができる。ナノ複合体のイオン伝導の理解にはナノからマクロに至る階層構造的な視点が重要である。

#### 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 26 件)

1. Shimon Ochi, Osamu Kamishima, Junichiro Mizusaki, Junichi Kawamura "Investigation of proton diffusion in Nafion®117 membrane by electrical conductivity and NMR", Solid State Ionics, 180, 580-584 (2009).(査読有)
2. Hangyan Shen, Hideki Maekawa, Lina Wang, Bin Guo, and Kangying Shu, "Effect of Chloride on the Acid Properties of Proton-Conducting Mesoporous  $Al_2O_3$ ", Electrochem. Solid-State Lett. 12 (2009), B18. (査読有)
3. Hideki Maekawa, Kotaro Kawata, Yue Ping Xiong, Natsuko Sakai and Harumi Yokokawa "Quantification of local oxygen defects around Yttrium ions for yttria-doped ceria-zirconia ternary system." Solid State Ionics. 180(2009), 314-319.(査読有)
4. A. Ishikawa, H. Maekawa, T. Yamamura, Y. Kawakita, K. Shibata, M. Kawai "Proton dynamics of  $CsH_2PO_4$  studied by quasi-elastic neutron scattering and PFG-NMR", Solid State Ionics, 179(2008), 2345-2349. (査読有)
5. H. Shen, H. Maekawa, J. Kawamura, Y. Matsumoto, T. Yamamura, Y. Kawakita, K. Shibata, and M. Kawai, "Effect of pore size and salt doping on the protonic conductivity of mesoporous alumina", Solid State Ionics, 179 (2008), 1133-1137.(査読有)
6. H. Maekawa, T. Iwatani, H. Shen, T. Yamamura, J. Kawamura "Enhanced lithium ion conduction and the size effect on interfacial phase in  $Li_2ZnIn_4$ -mesoporous alumina composite electrolyte", Solid State Ionics, 178(2008), 1637-1641.(査読有)
7. M. Matsuo, Y. Nakamori, S. Orimo, H. Maekawa and H. Takamura, "Lithium superionic conduction in lithium

- borohydride accompanied by structural transition", Applied Physics Letters, 91, (2007) 224103-224105.(査読有)
8. Junichi Kawamura, Naoaki Kuwata, and Ryo Asayama, "Ionic motion in organic-inorganic hybrid materials", In Protonics in Plastic Materials,, ed. S. Ikahata. 1-26. Transworld Research Network, Trivandrum, India, 2007.(査読無)
  9. Junichi Kawamura, Naoaki Kuwata, Kazuki Hattori, and Junichiro Mizusaki. "Ionic Transport in Nano-Heterogeneous Structured Materials." Rep. Inst. Fluid Science 19 (2007) 67-72.(査読有)
  10. J. Liu, Y. Chiba, J. Kawamura and H. Yugami. "Proton conduction in LaSrScO<sub>3</sub> single crystals." Solid State Ionics 177 (2006) 2329-2332.(査読有)
  11. O. Kamishima, Y. Abe, T. Ishii, J. Kawamura and T. Hattori. "Dielectric relaxation of protonic defects in hydrated and dehydrated SrZrO<sub>3</sub>:Yb." Solid State Ionics 177 (2006) 2375-2379.(査読有)
  12. Hangyan Shen, Hideki Maekawa, Junichi Kawamura, and Tsutomu Yamamura. "Development of high protonic conductors based on amorphous mesoporous alumina." Solid State Ionics 177 (2006) 2403-2406.(査読有)
  13. Takao Tsurui, Junichi Kawamura, and Kenji Suzuki. "Ionic conductivity and nano-crystallization of CuI-Cu<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> glasses." Solid State Ionics 177 (2006) 2605-2609.(査読有)
  14. R. Baskaran, S. Selvasekarapandian, N. Kuwata, J. Kawamura, and T. Hattori. "Conductivity and thermal studies of blend polymer electrolytes based on PVAc." Solid State Ionics 177 (2006) 2679-2682.(査読有)
  15. Hideki Maekawa, Yutaka Fujimaki, Hangyan Shen, Junichi Kawamura, and Tsutomu Yamamura. "Mesopore size dependence of the ionic diffusivity in alumina based composite lithium ionic conductors." Solid State Ionics 177 (2006) 2711-2714.(査読有)
  16. Ryo Asayama, Junichi Kawamura, and Takeshi Hattori. "Plastic domain and ionic conductivity of (C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>4</sub>NI." Solid State Ionics, 177 (2006) 3245-3249.(査読有)
  17. K. Kawata, H. Maekawa, T. Yamamura, "Local Structure Analysis of YSZ by Y-89 MAS-NMR", Solid State Ionics, 177 (2006), 1687-1690 (査読有)
  18. 前川英己, ナノ空間制御法の最近の進歩—第1回:酸化物系でのサイズ、形態制御—, まてりあ, 45(5), 359-370(2006).(査読無)
  19. 前川英己, ナノ空間制御法の最近の進歩—第2回:秩序性ナノ空間を持った酸化物の応用分野—, まてりあ, 45(6), 464-472(2006).(査読無)
  20. 前川英己, ナノ空間制御法の最近の進歩—第3回:有機物、ポリマー、金属、半導体でのナノ空間制御—, まてりあ, 45(7), 540-546(2006).(査読無)
  21. 前川英己, 固体NMRの最近の測定技術とセラミックス評価への応用, セラミックス, 45, 1020-1025(2006).(査読無)
  22. Ryou.Asayama,Junichi.Kawamura,Takeshi.Hattori, "Phase Transition and Ionic Transport Mechanism of (C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>4</sub>NI", Chemical Physics Letters,414, 87-91 (2005).(査読有)
  23. G.Hirankumar,S.Selvasekarapandian,N.Kuwata,J.Kawamura,T.Hattori, "Thermal, Electrical, and optical properties on the Poly vinyl alcohol based polymer electrolytes", Journal of Power Sources,144(1),262-267(2005). (査読有)
  24. S.Selvasekarapandian,G.Hirankumar,N.Kuwata,J.Kawamura,T.Hattori, "1H Solid State NMR Studies on the Proton Conducting Polymer Electrolytes", Materials Letters,59(22),2741-2745(2005).(査読有)
  25. Junichi.Kawamura,Naoaki.Kuwata,Takeshi.Hattori,kazuki.Hattori,Takahiro.Hongo,Junichiro Mizusaki, "Microscopic states of water and methanol in Nafion membrane observed by NMR micro imaging", Solid State Ionics,176,2451-2456(2005).(査読有)
  26. Hideki Maekawa, Yoshitaka Ukei, Kai Morota, Naohito Kashii, Junichi Kawamura, and Tsutomu Yamamura. "High temperature proton NMR study of yttrium doped barium cerates." Solid State Communn. 130 (2004) 73-77.(査読有)
- [学会発表] (計 14 件)
1. H.Yamada, I.Moriguchi, T.Kudo, N.Kuwata, J.Kawamura, "Local structure of high Ag ion conductors loaded in nanopores", 214th ECS Meeting (2008.10.16), Hawaii,USA
  2. Y.Iwai, K.Horiuchi, J.Kawamura, "1H dosy NMR study of nafion membrane immersed in water/methanol solution", The 14th International Conference on Solid State Protonic Conductors(2008.9.7), 京都.
  3. R.B.Cervera, Y.Akao, Y.Oyama, S.Miyoshi, K.Tanaka, J.Kawamura, N.Kuwata, T.Yagi, S.Yamaguchi, "Grain boundary protonic

- conduction in nanograined oxides”, The 14th International Conference on Solid State Protonic Conductors(2008.9.7), 京都.
4. Y.Iwai, K.Horiuchi, J.Kawamura “Methanol diffusion in nafion@ membrane by diffusion ordered spectroscopy(DOSY) NMR”, 11th Asian conference on Solid State Ionics (2008.6.9), Coimbatore.India.
  5. Junichi Kawamura, “Ionic Transport In Glass; Decoupling And Percolation”, 16th International Conference on Solid State Ionics, Shanghai, (2007.6.5.)
  6. Junichi Kawamura,Kazuki Hattori,Junichiro Mizusaki, “Proton dynamics in PEM observed by humidity controlled NMR”, International Conference on Functional Polymers,India,Goa,(2007.2.22); Invited
  7. H.Maekawa,K.Kawata,T.Yamamura,J.Kawamura,Y.P.Xiong,N.Sakai,H.Yokokawa, “Direct determination of local oxygen defect structure around yttrium ions for CeO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ternary system”, The 16th Iketani Conference,Masuko Symposium,東京,,(2006.11.13)
  8. J.Kawamura,N.Kuwata,O.Kamishima,Y.Takeno,H.Maekawa, “Ionic transport in Nano-designed structured materials”, The 16th Iketani Conference,Masuko Symposium, Tokyo, (2006.11.13)
  9. Junichi Kawamura, “Proton dynamics in PEM observed by humidity controlled NMR”, 13th Solid State Proton Conductors Conference(SSPC-13),St.Andrews,United Kingdom(2006.9.4)
  10. Junichi Kawamura, “Percolation Transition in Organic Inorganic Hybrid Glasses”, 7th National Conference on Solid State Ionics,(NCSSI-7),India,Coimbatore,(2006.6.8)
  11. Hideki Maekawa “Mesopore Size Dependence of Ionic Conductivity of Alumina Based Composite”,15th International Conference on Solid State Ionics (Badenbaden)(2005.7.22)(Invited)
  12. R.Asayama,J.Kawamura,T.Hattori, “Plastic Domain and Ionic Conductivity of (C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>4</sub>Ni”, 15th International Conference on Solid State Ionics,Germany, Baden-Baden, (2005.7.21)
  13. HangYan Shen, Hideki Maekawa, Yutaka Fujimaki, Kotaro Kawata, Tsutomu Yamamura “Development of High Protonic Conductors Based on Mesoporous-Alumina”, 15th International Conference on Solid State Ionics (Badenbaden)(2005.7.19)
  14. Kotaro Kawata, Hideki Maekawa, Tsutomu

Yamamura “Local Structure Analysis of YSZ by Y-89 NMR”, 15th International Conference on Solid State Ionics (Badenbaden)(2005.7.19)

〔図書〕 (計 3 件)

1. 河村純一, 神嶋修, 前川英己 「ナノ複合体のイオン伝導 -- 伝導度増加とパーコレーション問題」, ナノイオニクス-最新技術とその展望 ed. 山口周 監修. シーエムシー出版, p80-95. (2008)
2. 前川英己, 希土類酸化物の固体NMR, 希土類の材料技術ハンドブック, 監修足立吟也, (株)NTS, 805-816 (2008)
3. T.Kudo and J. Kawamura. “Fast ionic conductors.” In Materials for energy conversion devices, ed. S Sugihara C C Sorrell, and J Nowotny, Woodhead Publ. in Materials, 2005, 174-211.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称: 「固体電解質物質、その製造方法、および固体電解質を備える二次電池」

発明者: 前川英己

権利者: 東北大学

種類: 特願

番号: 2008-125862

出願年月日: 平成 20 年 5 月 13 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

特に無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河村 純一 (Kawamura Junichi)

東北大学・多元物質科学研究所・教授

研究者番号: 50142683

(2) 研究分担者

前川 英己 (Maekawa Hideki)

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 60238847

神嶋 修 (Kamishima Osamu)

東北大学・多元物質科学研究所・助教

研究者番号: 90321984

桑田 直明 (Kuwata Naoaki)

東北大学・多元物質科学研究所・助教

研究者番号: 00396459

武野 幸雄 (Takeno Yukio)

東北大学・多元物質科学研究所・助教

研究者番号: 30126875