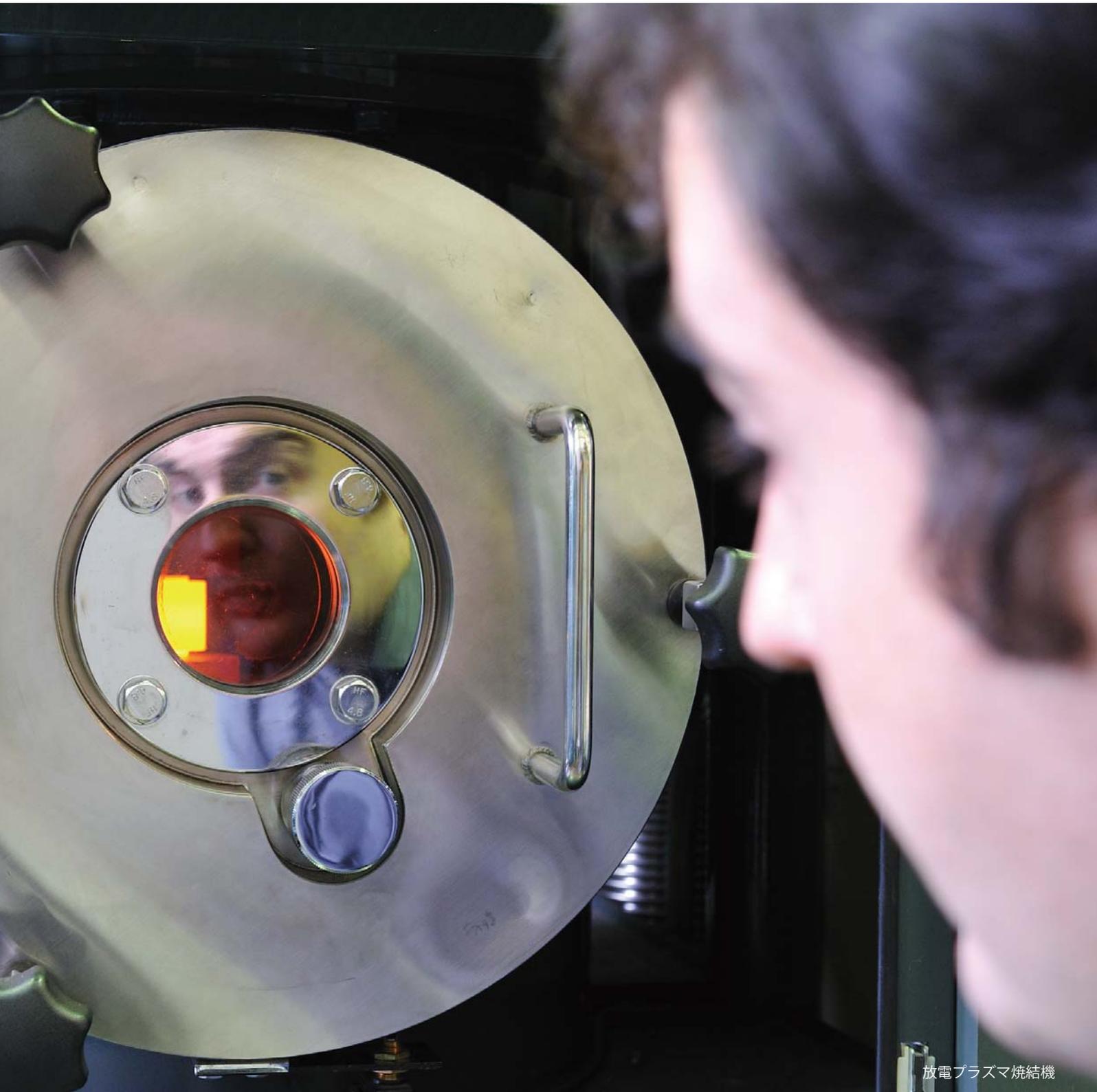


NIMS

2010年 11月号

NOW

イノベイティブ・セラミックス



放電プラズマ焼結機

イノベイティブ・セラミックス

セラミックスの多機能化がすすんでいる。
その材料としてのポテンシャルはまだ未知数であり、
実用化されたサイアロン蛍光体を筆頭に、
今まで考えつかなかったような用途にもひろがっている。
ナノセラミックスセンターでは、
NIMS の卓越したプロセス開発と評価技術を駆使し、
セラミックスに新しい光をあて続けている。



セラミックスの先鋭化、 多機能化を目指して

ナノセラミックスセンター センター長 目 義雄

近年、IT・半導体、環境、原子力、航空宇宙などの先端産業を支える新デバイスの開発、機器の発展、高効率化、環境負荷の低減が強く求められている。

ナノセラミックスセンターでは、セラミックス材料の持つ光、電磁機能、耐熱性や高強度といった基本的特性の先鋭化に加え、これらの特性を意図的に重畳、あるいは洗練させた多機能性のイノベイティブ・セラミックスを創製することを目指している。

種々のナノ粒子プロセスを追求し、高度化を図るとともに、機能発現機構に基づいたナノ構造設計の指針構築と新機能材料の合成・評価までを一貫させ、相互の連携によってさらなる新展開を図っている。

そのために、(1) 均一な組成、結晶粒径の制御されたナノ粒子の合成、(2) 粒径の揃ったナノ粒子配列・集積化・分散制御、規則配列多孔体の作製と空間利用、(3) マイクロメートルからナノメートルオーダーまでの高次構造制御、(4) 局所構造と対象機能の発現との理論的・実験的検討によるナノ構造設計、がキーとなる要素技術である。

特に、ナノ粒子プロセスの高度化には、外界から反応場に、電場、磁場、電磁場、応力場などを印加することが効果的であることがわかってきた。

各プロセスに関する研究は、いずれも NIMS において先導的に研究されており、それぞれ高いポテンシャルを誇っている。具体的な要素技術としては、反応性熱プラズマによるナノ粒子創製技術、プリカーサーによる高純度非酸化物系ナノ粒子作製技術、気相法による高機能非酸化物ナノ粒子の作製技術、パルス通電 (SPS) などの高度焼結技術 (→P6)、強磁場印加による弱磁性体配向技術 (→P4)、電気泳動堆積による膜 (→P8)、積層体作製技術、陽極酸化による規則配列多孔体作製技術 (→P9) などが挙げられる。

本特集では、当センターの最新の成果を紹介している。これを機に、多くの連携、共同研究に繋がることを期待したい。

さっか よしお 博士(工学)。1983年より金属材料技術研究所に入所。
2006年から現職、筑波大学教授、MANA主任研究者。

自然界にインスパイアされた加工できるナノ層セラミックス材料 破壊じん性と曲げ強度の最高値を達成

自然界に学ぶセラミックス構造

曲げ強度が1200MPaで破壊じん性が18MPa・m^{1/2}、さらに機械加工性が鋼と等しいセラミックス材料をつくることできる、といたら、にわかには信じ難いのではないでしょうか。これまでは、無機セラミックス材料の強度とじん性を同時に大きくすることは非常に困難でした。なぜなら、通常これら2つの特性は相反するからです。そのためセラミックス材料は基本的にろく、用途も限定されてきました。

強度とじん性を同時に達成できるセラミックス材料開発のヒントは自然の中にありました。数百万年にわたる自然の進化の過程で、植物や動物は過酷な環境で生き残るために構造的にも最適な選択をしたといえます。

わたしたちが着目したのは真珠殻のマイクロ構造です。その構造はプレートが規則的に並んだサブミクロンの厚さの層状粒子で構成されており¹⁾、その構造は引張、圧縮、及びせん断のいずれにおいても合成したCaCO₃と比べて卓越した強度を示すことがわかっています。

真珠殻の場合と同様、曲げ強度とじん性を

同時に大きくするためには、そのマイクロ構造が1)粒界面が弱く、2)粒子のアスペクト比が大きい、長いという、ふたつの性質を持つことが必須です²⁾。

真珠殻に似たマイクロ構造をつくる

近年、高分子電解質と粘土を逐次堆積する方法により、真珠殻のようなナノ構造材料がつくられています³⁾。このセラミックスをベースとしたハイブリッド材料は曲げ強度がアルミ合金の4倍、破壊じん性がアルミ合金と同程度です。ただ、有機材料を使用しているために高温の用途には適していません。

真珠殻のマイクロ構造を再生する場合、構造がナノ層構造であるMAX相(M_{n+1}AX_n)に注目しました。この場合、n=1~3とするのが理想的で、Mは遷移金属、AはAグループ元素、そして、XはC、またはNとなります。

今回の研究では、MAX相をNb₄AlC₃としました。このMAX相(図1)ではAl原子層とNb、及びC原子層間の結合力が弱いことから、転位が起こりやすく、原子層が滑りやすい。そのため、プラスチックのような挙動を示すキック

バンド^{*1}が粒子内に形成されやすくなります。

Nb₄AlC₃のナノ層粒子を整列させるには、当グループが開発した強磁場中コロイドプロセス^{*2}を用いました。磁化率の極めて小さな粒子でも、非立方晶の構造の場合、強磁場を印加すれば磁気トルクにより配列します。この手法により、c軸高配向のNb₄AlC₃粒子をつくることができ、高温熱処理により板状粒子をつくることが可能になりました⁴⁾。最終的にはナノスケールの大きさの層を有する真珠殻に似たマイクロ構造をつくることに成功しました。

破壊じん性の改善

図2(a~c)は配向性Nb₄AlC₃セラミックスの機械物性値と強化メカニズムを示しています。サンプルの曲げ強度はc軸方向への曲げの場合が1184.9±283.3MPaであり、c軸と直角な方向への曲げの場合が1219.2±108.6MPaであることがわかります(図2a)。

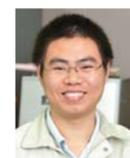
一方、破壊じん性はc軸方向への荷重時の場合が17.9±5.16MPa・m^{1/2}であり(図2b)、c軸と直角な方向への荷重時の場合

が11.49±1.38MPa・m^{1/2}です。これを非配向性のNb₄AlC₃セラミックスと比較してみると、曲げ強度と破壊じん性はそれぞれ3.5倍と2.5倍改善されています。

こうしたマイクロ構造が機械的物性値の改善に資することは明らかです。SENB(single-edge notched bending)試験片をc軸方向に曲げるとジグザグ破壊モードが現れます。このジグザグ破壊面は機械エネルギーから転換された表面エネルギーが大きいことを示しています。さらに、マイクロ構造のジグザグ破壊面の検査結果から、引っ張られ、伸びた粒子が表面全体に存在していることがわかりました(図2c)。

これは、亀裂たわみによって表面エネルギーと亀裂ブリッジが大きくなると同時に亀裂先端部の応力強度係数が小さくなり、結果として破壊じん性が改善されることを示しています。

破壊じん性の改善メカニズムについては、プレクラッキング法による評価もおこないました。試験後、サンプルは完全破壊には至らずに初期形状を維持しています。亀裂は切欠部から発生し、そして、発生した亀裂は配向



MANA Research Associate
微粒子プロセスグループ
Chunfeng Hu



ナノセラミックスセンター センター長
粒子プロセスグループ グループリーダー
目 義雄



筑波大学大学院数理物質科学研究科
物質・材料工学専攻
Salvatore Grasso

性セラミックスの粒子内部及び粒界位置の界面が弱いことにより、対称軸沿いに伝播していきます。枝状に伸びた亀裂は機械エネルギーを効果的に吸収するので、これにより高速で大規模に起こる直線の亀裂の伝播を防止できます。

図3のSEM顕微鏡写真を見ても明らかのように、破壊じん性が増加するのは亀裂のたわみ、粒子の引き抜き及び、粒子のブリッジングによるものです。弱い界面は、その多くが亀裂のたわみを生じさせることに寄与します⁵⁾。

高性能設状セラミックス材料の開発へ礎

上記の結果が得られるのはNb₄AlC₃セラミックスの板状粒子の規則的配列によるものです。

図4は配向性Nb₄AlC₃セラミックスとその他のセラミックス材料の曲げ強度と破壊じん性の比較を示しています。この図からわかるように、配向性Nb₄AlC₃セラミックスは曲げ強度と破壊じん性のいずれも最高値を示しています。

つまり、配向セラミックスはほかに類のない

機械強度を有しています。

強磁場中コロイドプロセス法によって、曲げ強度と破壊じん性の両方を改善した最適マイクロ構造の設計が可能になり、配向セラミックスを構造材料として使用できるようになりました。

また、配向セラミックスは高温用途への適用も可能と考えられます。Nb₄AlC₃セラミックスは1400℃まで劣化することなく曲げ強度を保持しています。さらに重要なことは、Nb₄AlC₃セラミックスは加工が容易なため、複雑な構造部品も簡単に作ることができるということです。

本研究は高性能層状セラミックス材料の開発と設計につながっていくと期待されます。

フ ショーフェン 博士。2008年よりナノ材料分野の研究で国際ナノアーキテクトニクス研究拠点MANAに所属。

さっか よしお (プロフィールはP3に掲載)

サルバトーレ グラッソ 筑波大学大学院数理物質科学研究科 物質・材料工学博士課程。

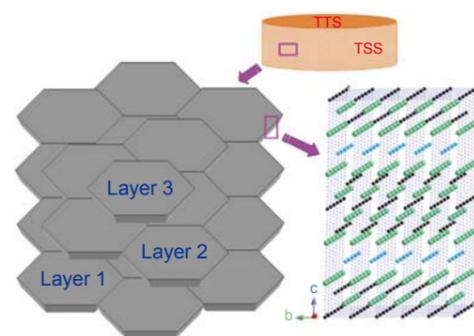


図1 配向性Nb₄AlC₃セラミックのマイクロ構造とナノ層Nb₄AlC₃セラミックの組織構造図
粒子は、そのC-軸が配向最上面(TTS)に対して直角の方向を向くように規則的に積み重なっている。

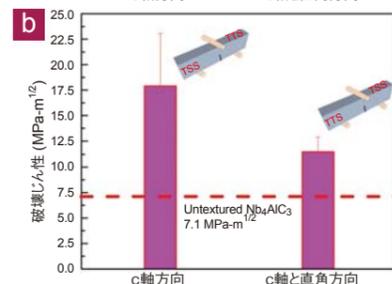
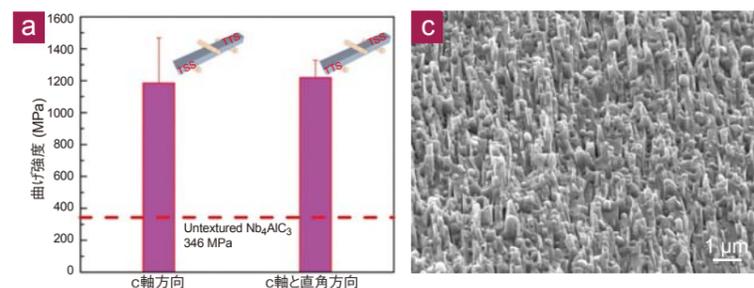


図2 配向性Nb₄AlC₃セラミックの機械物性値と強化メカニズム
a図及びb図は曲げ強度と破壊じん性のそれぞれについて非配向性Nb₄AlC₃セラミックとのテスト比較を荷重方向別に示したものであり、曲げ強度と破壊じん性の両方に著しい改善が見られることがわかる。c図は破壊面の引き抜き粒子の走査電子顕微鏡(SEM)画像である。本画像から、亀裂の撓みと粒子のブリッジングによる強度向上のメカニズムがわかる。

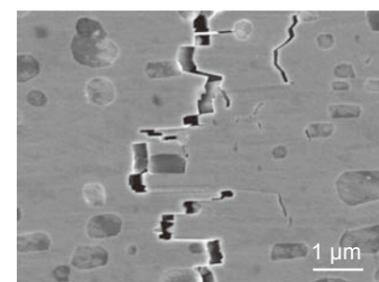


図3 プレクラッキング法による亀裂の伝播現場
亀裂がジグザグに伝播しているのは典型的な亀裂の撓み、粒子の伸び、及び、亀裂のブリッジ現象の証である。

参考文献

- 1) Meyers, M. A. et al. Biological materials: structure and mechanical properties. Prog. Mater. Sci. 53, 1-206 (2008).
- 2) Lawn, B. R. et al. Making ceramics "ductile". Science 263, 1114-1116 (1994).
- 3) Tang, Z. Y. et al. Nanostructured artificial nacre. Nature Mater. 2, 413-418 (2003).
- 4) Hu, C.F. et al. Fabrication of textured Nb₄AlC₃ ceramic by slip casting in a strong magnetic field and spark plasma sintering. J. Am. Ceram. Soc. DOI: 10.1111/j.1551-2916.2010.04096.x.
- 5) Becher, P. F. Microstructural design of toughened ceramics. J. Am. Ceram. Soc. 74, 255-269 (1991).

*1 キックバンド: 結晶に見られる変形構造の一種で、すべり面が局部的に折れ曲がっている変形帯領域。
*2 コロイドプロセス: 溶液中に粒子を分散し、固化させる成形法。

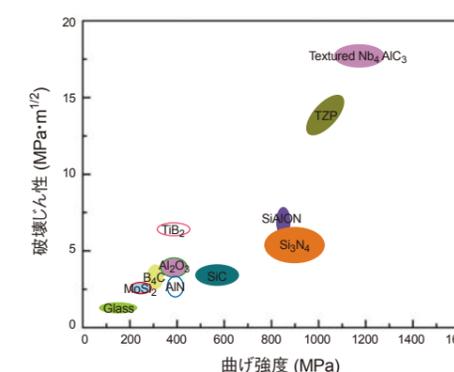


図4 配向性Nb₄AlC₃セラミックとその他の先端セラミック材料の曲げ強度と破壊じん性の比較
配向性Nb₄AlC₃セラミックは曲げ強度と破壊強度のいずれも最高値を示している。

新しい放電焼結法の開拓と極微細粒透明セラミックスの合成



ナノセラミックスセンター
高融点微結晶グループ
グループリーダー
平賀啓二郎



ナノセラミックスセンター
高融点微結晶グループ
金 炳男



ナノセラミックスセンター
高融点微結晶グループ
森田孝治



ナノセラミックスセンター
高融点微結晶グループ
吉田英弘

NIMSでの焼結方法の開拓

多結晶セラミックスを微細粒のまま高密度に焼結すると、高い強度と透明性が同時に得られます。とくに、結晶粒を100nm以下に保って残留する気孔の体積率を0.01%以下にすると、単結晶と同等の透明度になることが理論的に予測されます。

このような透明セラミックスには、ガラスや樹脂に比べて高い強度、硬さ、熱伝導率、屈折率、耐熱性、耐プラズマ性等の諸機能、単結晶よりも等方的で均質な特性と高い量産性や成形性に加えて、組成制御によってレーザー発信などの機能も期待できます。NIMSでは、目的とする機能性や新機能を得るために、放電焼結(SPS)を用いた新しい焼結手法を開拓しています。

従来とは逆の発想の手法を開拓し、極微細粒の高強度・透明セラミックスの合成を可能としました。

極微細粒の高強度・透明セラミックスの合成に成功

SPS法は本来、原料微粉体を加圧装入し

た黒鉛の型にパルス電流を通過して、発生したジュール熱と粒子間に発生する火花放電により焼結を促進する手法(図1)であり、急速加熱を特徴とします。

しかしわたしたちは、焼結温度を従来法よりも200~500℃以上低い温度領域に設定し、かつ昇温速度をより低く制御して、従来得られなかった微細粒緻密化と透明性を実現しました(図2)。

高純度のAl₂O₃やMgAl₂O₄では、強度は最高水準ないし従来の2倍で、光の直線透過率はSPS法では初めて45~70%に達しました。Y₂O₃の場合は、従来のSPS法では緻密化に1400℃以上の温度が必要となるうえ、透光性も得られませんでした。しかし本研究によって、950℃と著しい低温焼結による極微細粒(<200nm)と透光性をはじめて達成しました。粒界に微量の陽イオンをドーブすると、本手法の焼結温度を低下できることもわかりました。

わたしたちの研究では、理論や実験による機構解析をおこなっており、結晶粒径や気孔と光の透過・散乱・吸収挙動との関係、粒界

ナノ領域のイオン結合性・拡散と低温焼結との関係、焼結中のナノ構造と緻密化機構を明らかにしつつあります。そこで得られる知見は、一層の機能向上や新機能の開拓を図る上での指針となることから、材料の合成と並行させて研究をすすめています。

ひらが けいじろう 博士(工学)。東北大学大学院工学研究科修了、1978年金属材料技術研究所入所、1990年マックス・プランク研究所客員研究員、2002年より現職。2008年より北海道大学大学院総合化学院客員教授。

きむ びゆんなむ 博士(工学)。東京大学大学院工学研究科修了、都立大学工学部助手および東京大学先端科学技術センター助手を経て1998年金属材料技術研究所入所、2003年ペンシルベニア大学客員研究員。2006年より現職。

もりた こうじ 博士(工学)。九州大学大学院総合理工学研究科修了、日本学術振興会特別研究員を経て1997年金属材料技術研究所入所、2008年より現職。現在ダルムシュタット工科大学客員研究員。

よしだ ひでひろ 博士(工学)。東京大学大学院工学研究科修了、日本学術振興会特別研究員および東京大学大学院新領域創製科学研究科助手を経て2004年物質・材料研究機構入所、2008年より現職。

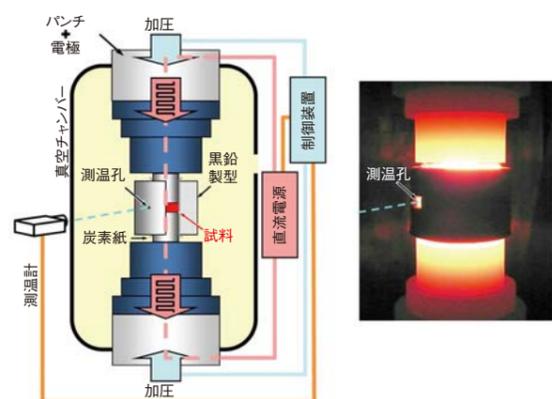


図1 放電焼結(SPS)法。

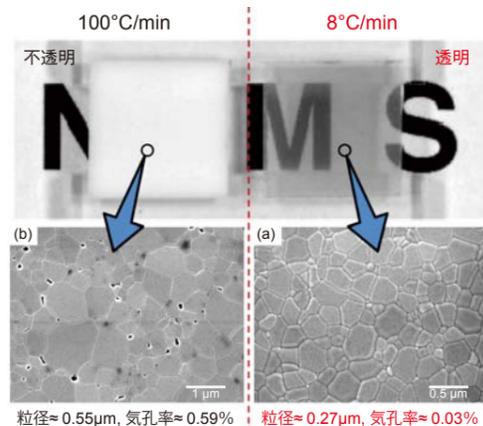


図2 従来手法(左)と本研究の低速度昇温制御SPS(右)の比較。高純度Al₂O₃を1150℃で20分焼結。

世界標準となりつつあるNIMS発の蛍光体サイアロンの現状とこれから



ナノセラミックスセンター
窒化物粒子グループ
グループリーダー
廣崎尚登

NIMS発のLED用蛍光体

近年、省エネルギーへの対応として、照明とディスプレイの分野で白色LEDの採用が活発化しています。照明では白熱電灯の代替である電球型LED照明が、ディスプレイではLEDバックライトを用いた液晶テレビが主流になってきました。白色LEDは、青色LEDチップと蛍光体から構成された発光デバイスであり、蛍光体は発光素子のスペクトルを決める重要な材料です。

LED用途の蛍光体には、耐久性と発色性が必要とされています。サイアロン蛍光体は、これらに答えるNIMS発の材料です。

サイアロンとはどのようなセラミックスなのか

サイアロンはSi-Al-O-Nから構成される結晶であり、従来は耐熱材料として研究されてきたセラミックスです。当グループでは、これらの結晶をホストとする新概念の蛍光体を提案し、発光効率が高く安定性に優れた蛍光体を合成しています。

サイアロン蛍光体は従来の酸化物蛍光体に比べて、①優れた耐久性、②温度特性が

良好、③可視光励起が可能、④材料設計の自由度が大きい、という特徴があり、過酷な条件で用いられる白色LED用途の蛍光体として世界標準となりつつあります。

NIMSが開発した蛍光体には、カズン(CaAlSiN₃) (赤)、α-サイアロン(黄)、β-サイアロン(緑)、窒化アルミニウム(青)等(図1)があり、化学メーカーが量産販売し、様々な工業製品に実用化されています。

新規蛍光体の研究でトップであり続けることを目指す

従来の白色LEDは青白い光であり、白熱電球の様な暖かい光を出すのは苦手でした。これにカズンを添加することにより赤味成分が増えて電球色照明が可能となりました。また、カズンとβ-サイアロンを用いた白色LEDは赤緑青の光の3原色だけから構成される光を放つため、液晶バックライトに用いると、色再現性が向上します(図2)。このため、テレビメーカーでは、従来の冷陰極管(CCFL)に替わり、LEDバックライトを採用する割合が増えています。数年後には、大型の液晶パネ

ルは全てLED化されるといわれています。

蛍光体の研究では、新しいホスト結晶の物質探索が重要ですが、まだまだ未開拓の分野です。今後数年は、多数の新規蛍光体が発見されて、実用化がすすんでいくものと期待されます。NIMSは新規蛍光体の研究でトップであり続けることを目指しており、物質探索とプロセス開発および発光特性の解明をおこない、産業界で使われるレベルの材料を提案していきたいと考えています。

ひろさき なおと 博士(工学)。1980年日産自動車(株)。1998年無機材質研究所入所。現在、ナノセラミックスセンター窒化物粒子グループ・非酸化物焼結体グループグループリーダー。名古屋工業大学未来材料創成工学連携講座教授。



図1 NIMSが開発したサイアロン蛍光体

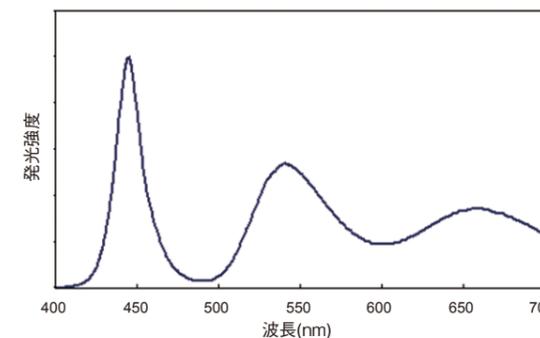


図2 赤緑青の光の3原色で構成される液晶用バックライト用LED

コロイド粒子の電気泳動現象を利用したセラミックス成形プロセス



ナノセラミックスセンター
微粒子プロセスグループ
打越哲郎

複雑な形状にも対応できる セラミックスのコロイドプロセス

直径が 10^{-7} ~ 10^{-9} m程度の大きさの粒子が気体や液体に分散している状態をコロイドといいます。液中のコロイド粒子は、溶質の分子やイオンより大きく、また常に帯電しているため、ブラウン運動、チンダル現象、透析、電気泳動などの特有な性質を有し、凝析や塩析などの現象を示します。

サブミクロン〜ナノサイズのセラミックスの粒子も、水や非水溶媒などの液体に分散すると、こうしたコロイド粒子と全く同じ性質を示します。液中で帯電、分散したセラミックス粒子は、適当な方法で凝集させることにより、緻密な固化成形体を得ることができます。こうした成形法はコロイドプロセスと呼ばれ、複雑形状のセラミックス製品を製造する方法として利用されてきました。

電気泳動させたセラミックス製膜の特性

わたしたちは、液中で帯電したコロイド粒子の電気泳動現象を、セラミックスの製膜に応用するプロセスの研究をしています。液中に

おける帯電粒子は、電場のポテンシャル勾配に依存した振る舞いを示します。セラミックス粒子の懸濁液に+-の電極を挿入し電場を印加すると、粒子は液体で満たされた空間を泳動し、粒子のチャージと極性が逆の電極表面に堆積します。

粒子は電極間の最短距離を直線的にすすむのではなく電気力線に沿うように泳動するので、曲面や凹凸を持つ基材表面への均一なコーティングや、電極の配置を工夫することによるパターンニングも可能です。このような方法で堆積した粒子堆積層は、200MPaの等方静水圧成形に匹敵するかそれ以上の成形密度を有し、プレス成形で得られる固化成形体より低温の焼成で緻密化が可能です。また、膜厚の制御された積層体の作製も容易です。

広がる電気泳動プロセスの応用

電気泳動プロセスに適したサスペンションの調製、非導電性基材上への粒子堆積、DCパルスによる水系サスペンションの電解抑制などの技術により、従来は適用が困難

だった分野へも電気泳動プロセスの応用は広がっています。また最近では、強磁場を用いた磁場配向技術と電気泳動プロセスを結び付けることにより、結晶方位の制御されたセラミックス配向膜や配向積層コンポジットの作製にも成功しています。

わたしたちは、液中のコロイド粒子を電場や磁場で操り、目的や用途に応じた成形体組織微細構造の設計、制御をおこなって、燃料極支持型燃料電池セル、色素増感太陽電池の光電極、光触媒膜、熱電モジュールなどの環境・エネルギー関連材料、歯冠材などの医用材料、セラミックスベニアなどの構造材料など、様々なセラミックス材料の高機能化、多機能化をすすめています。

うちこし てつお 博士(工学)。1987年4月金属材料技術研究所入所、1997~98年カナダマクマスター大学客員研究員、2007年4月より現職(主席研究員)。専門は粉体の物理化学。



図1 形状加工した耐火物を導電性高分子(ポリピロール)で被覆し基材に直接使用した例。粒子堆積後に基材との一体焼成が可能で、歯冠材料など複雑形状部材の作製に適用可能な技術です。



図2 電気泳動法によるサイアロン蛍光体粒子の膜実装例。ITOガラス上に積層した黄、緑、赤のサイアロン蛍光体を青色光で励起し、演色性の高い発光特性を実現しています。

多様なナノ構造作製に応用できる多孔体セラミックス



ナノセラミックスセンター
機能性ガラスグループ
グループリーダー
井上 悟



ナノセラミックスセンター
機能性ガラスグループ
瀬川浩代

さまざまな構造をつくり出せる

陽極酸化アルミナ

配列したナノメーターサイズの細孔を含有する多孔体セラミックスに陽極酸化アルミナがあります。これは反応が進む過程で起こる相互作用により、型などを使わなくても規則的な多孔体組織ができるものです。このような陽極酸化技術は、アルミニウムの化学的耐久性の改善(アルマイト)やカラーアルミサッシなどの工業的量产技術として開発され改良されてきた技術で、40年以上の歴史があります。

ナノセラミックスセンター機能性ガラスグループでは、陽極酸化技術を、ガラス表面での成膜技術に発展させるとともに、より多様なナノ構造作製技術として高度化する研究をすすめています。

作製可能な細孔径は数nm~1000nmの広範囲に亘り、細孔の形を通常の円柱状から円錐状や樽状などとする事ができる他、細孔中にはゾル・ゲル法や電析法により化合物を導入できるので、ナノメーターサイズの鑄型として利用できます。

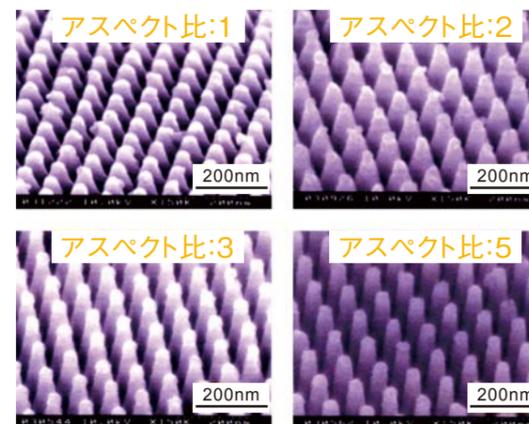


図1 様々な陽極酸化細孔アレイを鑄型として作製したニッケルナノコーンアレイの電子顕微鏡写真

また、陽極酸化アルミナと細孔中に導入した化合物との溶解度差を利用すると、型そのものを溶かしてしまうことでガラス表面にナノメーターの大きさのロッドやチューブが林立した構造(アレイ)を形成できます。細孔内壁上に二酸化チタン膜を付加した光触媒や磁性体を埋め込んだ高密度磁気記録媒体などへの応用が期待されています。

工業生産技術への応用を目指して

図1に陽極酸化アルミナを鑄型として作製した様々な高さ:口径比(アスペクト比)のニッケルナノコーンアレイの走査電子顕微鏡写真を示します。このようにアスペクト比を大きくとれるので無反射膜やセンサーなどへの応用が期待されています。また、直流電圧を掛けることで縦の細孔が揃っている構造が得られますが、交流の電圧を加えると全く異なる層状の構造となります。

次に、種々の酸水溶液を使って作製した層状構造例の電子顕微鏡写真を図2に示します。この構造は二枚貝の貝殻構造に似ています。貝殻では層の中がセルに分かれてい

てより頑丈な構造になっています。現在、より複雑な構造となっている巻き貝の貝殻構造に似たナノ構造の作製法、層の厚みの制御や層と層の間に化合物を導入する方法などについて研究しています。層状の陽極酸化膜はセンサーや光学デバイスなどに応用することを考えています。

直流や交流の電圧を加える陽極酸化技術の複合制御法の開発や、精度を向上することで多様な多孔体やナノ構造を作製できると期待されます。また、陽極酸化技術は工業的量产技術です。したがって、本開発技術はナノ材料の工業生産技術のひとつとして役立つと考えています。

いのうえ さとる 博士(工学)。東京工業大学工学部大学院工学研究科化学工学専攻修士課程修了。東京工業大学助手、助教授、無機材料研究所主任研究官、物質・材料研究機構グループディレクターを経て2006年より現職。

せがわ ひろよ 博士(工学)。東京工業大学大学院理工学研究科無機材料工学専攻博士課程修了。大分大学助手、科学技術振興機構さきがけ研究員、東京工業大学大学院理工学研究科助教を経て2009年より現職。

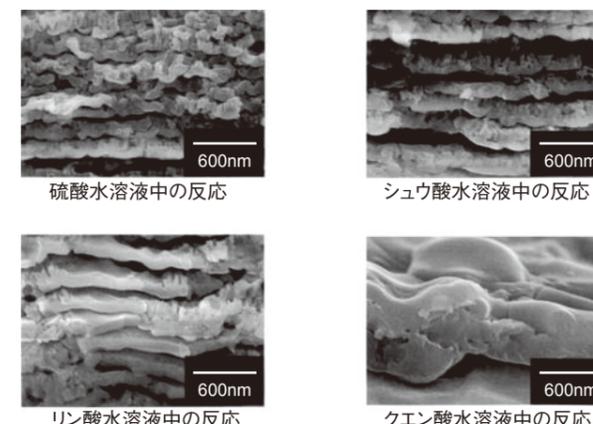


図2 様々な酸水溶液中の交流印加陽極酸化でつくられた層状陽極酸化アルミナの電子顕微鏡写真

オープンな研究で多機能セラミックス開発を目指す

ナノセラミックスセンター センター長

目 義雄

企業とも連携するオープンイノベティブな環境を重視し、研究開発をすすめるナノセラミックスセンター。センター長である目氏に多機能ナノセラミックスの魅力、これからのセンターとしての目標などをうかがった。

—ナノセラミックス材料の高度化とはどのような研究なのでしょう。

わたしたちはナノセラミックスを、粉をもとにしてつくっていくという立場から研究しています。いい粉というのは、こまかくて、粒の大きさが揃っていて、特殊な構造のナノ粒子であることです。ただ、粉の特性を高めるだけでなく、材料としてはバルクや膜にしたいわけですから、加熱してパッキングするとき、穴のない緻密な構造にすることが大切です。わたしたちは溶液中に粒子を分散させる方法をとっていますが、規則的に穴をつくってそこに原子を入れてやるというやり方もあります。通常の加熱だけではなく、電場や磁場を加えながらの作業もありますが、そのための装置群は買っただけではダメで、自分で工夫し、改造していくことが大切で、このスキルがとても重要なのです。

—セラミックスにはどのように興味をおもになったのですか。

学生の頃から、酸化物の拡散について研究していたので、穴のない高純度の焼結体をつくる必要がありました。市販の粉ではうまくいかないので粉をSEMでみたら、粒径が大きいのが原因とわかったんです。そこで、高純度の小さな粉づくりからはじめました。当時は貝殻に注目した人がいて、貝殻は炭酸カルシウムとタンパク質の層状構造でできていますが、強度もあり、じん性にも優れていて、しかも室温でつくられる。そこで貝殻の構造をつくるのが理想だということになったんです。わたしもわざわざその人のところに勉強にいきました。本特集でもとりあげていますが、生物の構造を学ぶことによって研究の道筋がつけられるひとつの例ですね。

—NIMSのナノセラミックスセンターとしての目標は。

基本はプロセス開発なんですけど、それを用いてイノベティブなものを開発していくことです。つまり、目標の一番目はトップデータをさらに高めていくことですが、二番目は微細構造をきちんと制御することによって、二つ以上の特性をもつものをつくることです。強度と透光性とをあわせ備えるとか、それに熱伝導度を加えとか……。もちろん、二つの特性は相互に矛盾することもありますので、微細構造と特性の関係を明らかにすることが極めて大切です。それには、計算科学と評価技術も必要です。



—最終的には実用を目指すということですね。

研究がある程度まですすんだら、民間企業と一緒にやることになるでしょう。わたしたちだけでは実用までできっこないですから。そういう意味で一般企業の方々は歓迎なんです。NIMSは一般企業からみると敷居が高かったようですが、いまは積極的に一緒に研究ができる雰囲気をつくろうとしています。研究をオープンにすれば思ってもみない用途が考えられるかもしれません。そして、応用される国が日本であればいいことはないんですが、最終的に全

世界のためになればいいので、どんな国でも受け入れたいと思っています。

—ところでご趣味はどのようなことをされていますか？

特にないんですが、いろんな分野の本を読む読書でしょうか。若いときは1日1冊をノルマとしていました。『ローマ人の物語』を書いた塩野七生さんには、ああいう作風の人が日本にもいるんだと強い印象を受けました。日本人でなければ世界でもっと評価されている作家はたくさんいますね。

—若い研究者の方についてはいかがでしょうか。NIMSには外国人研究者も多いですが。

日本人の優秀な研究者は、放っておいてもどんどん研究をすすめるし、なんら問題はありませぬ。しかし、そうでない人はやや保守的です。言われないとやらない、いわば指示待ち族で、時間もかかります。それに対して外国人は危機感をもっているせいか、どんな人でもアグレッシブですね。ひとつにはドクターの問題があります。韓国や米国ではドクターをとってないと研究のリーダーにはなれない。ところが日本ではそんな違いはないし、給料も変わらない。また、日本ではドクターになっても研究者のポストが少なくなって、一部の優秀な研究者しか入れなくなりました。

それと、技術者を大切にしていなかったことも問題ですね。近年、そうした人たちが韓国・中国の技術リーダーとして活躍している。セラミックのような材料系は、現在は世界一ですが、このままでは10年後どうなっているかはわからない。最後の砦として国が拠点をつくって、設備をそろえ、研究できる人を育てていかなければ、と思います。

プロフィールはP3に掲載。

セラミックスの可能性を推しひろげる

ナノセラミックスセンター 窒化物粒子グループ グループリーダー

廣崎尚登

白色LEDに利用されているサイアロン蛍光体。その開発をおこなってきたのが窒化物粒子グループだ。産業界への技術移転を意識して、深くセラミックスにかかわり続けてきた廣崎グループリーダーにお話をうかがった。

—LED関係の研究には、どんなきっかけで興味をおもちになったのですか？

もともと、LEDに興味があったわけではまったくありません。わたしの専門はサイアロンという物質の方であって、長年その研究をしてきたのです。サイアロンはLEDとは全然関係がなくて、エンジンや耐熱材料などに使われる基幹部品を作る材料だったんです。わたし自身も、わたしの属する研究室も、無機材質研究所の時から耐熱材料を研究してきました。その結果、エンジンなどに実際の用途が出たのですが、2000年くらいから新しい用途を、ということていろいろな方面から考えました。その中のひとつとして、LED用にどうかということではじめたんです。サイアロンの新しい展開としてはじまった仕事なんです。だからLEDはまったくの素人のようなところからはじめました。

—セラミックスにはいつ頃から関わられたのですか？

30年前、大学を出て自分の仕事を決めるときに、ちょうど自動車のエンジンをセラミックスでつくろうという機運がおこり、これは面白そうだということで民間の自動車会社へ入りました。そこでセラミックエンジンの研究開発に携わったのです。

—民間会社での研究開発はいかがでした？

民間会社ですから、開発といっても商品化するという目的があるわけですね。したがって、研究自体がうまくいってもなかなか使ってもらえなかった。そうした経験があったものから、今回LEDで実際に使ってもらえたというのはうれしかったですね。構造材料というのは、総合評価なんです。耐熱性、強度といった特性、それに信頼性やコスト、それになにかあった時へ

の対処など、すべてをクリアしないと使われな。特に値段は大事です。その意味では金属が当然ライバルですので、今でもセラミックスは特殊な所にしか使われないというわけです。



—LEDの場合はエンジンとは違うわけですね。

そうです。LEDは総合評価ではなく、ひとつの特性がすぐれていけばいいのです。何色をどのくらいの効率で出すかという目標を達成しさえすれば十分ということです。もちろん、それを維持しないとだめですが。

—LEDに応用しようという発想はどうして生まれたのですか。

前例はまったくなかったので、とにかくやってみようと思ったんです。蛍光体は結晶中に含まれるユーロピウムやセリウムなどの原子自体が光る現象です。耐熱材料としてのサイアロンでも希土類元素を含む材料を研究していたので、それにユーロピウムを添加したら光るのではないかと考えたのです。最初はボウッと光る程度でしたが、いまではかなり広く使われるようになりました。蛍光体、合成、発光デバイスなどのいろいろな専門家を集めてチームを作って融合研究をおこなった結果ですね。

—NIMSという研究所をどう見ていらっしゃるのですか。

研究者の組織としては、研究の自由度が大きく、理想的な環境ですね。それは無機材研のときから、風土として変わっていないと思います。したがって若い研究者の人たちにも、自己主張をしてやりたいことをやれといたいですね。他人の評価など、あまり気にしなくてもいいじゃないですか。もっとも、若い人は若い人りのすぐれた発想があって、いつも刺激を受けてはいますが(笑)。

—これからの研究の方向性はどのようにお考えですか。

いま力を入れているのは、サイアロン系の新しい物質を見つけていこうということです。サイアロンという言葉は、広い領域を表しているもので、いろいろな結晶があります。見つかったものもありますが、いまだに見つかっていないものもあります。そうした未知の物質を見つけて、属性や機能を明らかにしていこうというのが、ひとつの方向ですね。

プロフィールはP7に掲載。

岸輝雄NIMS顧問がASM栄誉終身フェローに選出

ASM(American Society of Materials International: アメリカ材料系連携学会)は、岸輝雄NIMS顧問を栄誉終身フェロー(Distinguished Life Membership)に選出し、授与式を10月19日にヒューストンでおこなった。今回の授与は岸顧問によるナノテ

クネットワークや世界材料研究所フォーラムの設立などが評価されたもの。日本人としては本田宗一郎、稲盛和夫氏らに次いで50年間で4人目の選出となる。ASMは米国の金属学会(TMS)、鉄鋼学会(AIST)、セラミックス学会が連合して運営している組織。

岸顧問は今年6月に日本非破壊検査協会賞、8月に材料研究所よりOstwald Fellowship(ドイツ・ベルリン)、10月には破壊国際会議貢献賞なども受賞している。

第10回NIMSフォーラムを開催

10月20日、「第10回NIMSフォーラム」が東京国際フォーラムで開催された。同展示会は今回で10回目の節目を迎え、キーワードである「社会ニーズにこたえる物質・材料研究」というテーマをさらに推し進めた内容で、来場者に好評を博した。

潮田資勝NIMS理事長による開会挨拶、文部科学省研究振興局倉持隆雄局長の来賓挨拶に続き、NIMSの各センター長による最新研究動向の口頭発表やナノ材料科学研究拠点、MANAの最新動向、産独連携の活動についても紹介された。

ポスター発表では「次世代電池・発電材料」「環境再生・資源利用」「次世代半導体」など13のカテゴリで92の発表がおこなわれた。レアアースであるジスプロシウムを使用しない永久磁石開発や、可視光での高活性光触媒であるリン酸銀の発見、グラフェンを用いた基本ロジック素子作製など主要研究成果を多数紹介し、多くの来場者の注目を集めた。



潮田理事長による挨拶



ポスター発表に熱心な来場者が集まる

MANAサイエンスカフェ「メルティングポット倶楽部」を開催

MANAは、アウトリーチ活動の一環としてMANAサイエンスカフェ「メルティングポット倶楽部」をスタートさせた。第1回は、10月28日に、ホテルフロンティアオークラ(つくば市)にて開催。青野正和MANA拠点長と、メディアプロデューサー・板野哲也氏という異色の組み合わせで、「ナノテクノロジーとは何だろうか?」をテーマに実施した。

会場参加者との対話を重視し、定員30名限定での開催。参加者の60%以上が大学1年生だった。参加した学生たちは、青野拠点長が語る原子スイッチのコンピューターへの応用・人工知能の実現の可能性をはじめ、ナノテクによる光合成などの話に熱心に耳を傾けていた。

フリーディスカッションでは「本当に脳のよくなパソコンってできるんですか?」という学生



からの率直な質問に、青野拠点長が「原理的には可能です。実現を目指しています」と少年が夢を語るような表情で、嬉しそうに答える場面もあった。

また当日は、一般参加者に加え、MANAの

ベテラン研究者や若手研究者も数名参加、サイエンスカフェ終了後、席を立つ人も少なく、各テーブルで和気藹々と意見交換が続いた。