

平成23年度 日中韓フォーサイト事業 終了時評価資料(進捗状況報告書)

1. 概要

研究交流課題名	セラミックス「らしさ」の追求による多機能性セラミックスの新機能と実用性の顕在化		
日本側拠点機関名	長岡技術科学大学		
研究代表者 所属・職・氏名	機械系 教授 石崎 幸三		
相手国（地域）側	国名	拠点機関名	研究代表者 所属・職・氏名
	中国	武漢理工大学	材料複合新技術国家重点実験室・教授・Zhengyi Fu
	韓国	サンムーン大学	材料科学科 教授 Soo Wahn Lee

2. 研究交流目標

申請時に計画した目標とその達成度について記入してください。

○申請時の研究交流目標

世界的な社会発展の背景の元、日本、中国、韓国を中心とした人口集積地域における環境問題やエネルギー問題が喫緊の課題となっている。これらの問題を克服するためには、日本を中心とした東アジア諸国が世界的にも優れた研究を発信している材料分野の技術革新が不可欠である。とりわけ、セラミックスは当該地域の歴史的な発展の背景と、材料自体の有する多様な機能性の魅力の双方の観点から当該地域における最も重要な戦略的材料の一つであるといえる。この種のセラミックスは一般に構造用セラミックスと機能性セラミックスに分別されてきた。これはセラミックスの多様性の一つを物語るものであるが、これまでのセラミックス研究はそれぞれが独自の進化を遂げている。これに対し、日本側研究代表者である新原は、ナノコンポジットの概念をセラミックスを中心とする材料に導入することで、シームレスにこれらの異種材料が複合出来ることを世界に先駆けて提案し、具現化してきた。これら研究は JSPS 拠点大学交流事業によって日韓連携研究として推進され、学術的な成果はもちろんのこと、これを踏まえた多くの実用化材を開発し、日韓併せて6社のベンチャー企業を生み出すなど多くの成果を生み出した。これらの研究を深化する中で、多機能調和型のセラミックス材料設計指針が提案されると同時に、コーティング材料としてのセラミックス多機能調和材料の優位性が明らかとなった。直近においてはナノレベルでの積層コーティング型の機能調和材料において、各層に異なる構造・機能を分担させることが出来れば、これまでの複合体に見られない卓越した新機能が発現することを予見されている。本研究交流の目的は、この材料設計指針を具現化するために、日中韓の卓越したセラミストが結集することで社会システムを支える基板技術としての材料科学に革新的な進化をもたらそうとするものである。日本側代表者は本研究交流で構築される武漢理工大・SunMoon 大から計5名の博士後期課程学生を受け入れ、全員が学位を取得して新進気鋭の研究者として母国および日本で活躍している他、既に多数の共著論文を生み出すなどの「絆」を有している。そこで、本研究交流の目標はこの「絆」を基礎に、本交流事業を触媒とすることで、これまでの交流事業にない踏み込んだ形での連携体制を構築し、三国が共生できる社会を材料科学の分野から構築する事を目指す。また、次代を担う若手研究者に対し、真のマルチディシプリナリーな素養を身につけさせると共に、若いうちに多様な経験を与えることで先導的な人材を育成することを目指す。

○目標に対する達成度

- 研究交流目標は十分に達成された。
- 研究交流目標は概ね達成された。
- 研究交流目標はある程度達成された。
- 研究交流目標はほとんど達成されなかった。

【理由】

本研究交流を通じて、数多くの成果が明らかとなった。研究面では、新規環境低負荷型のセラミックスプロセスとしてはナノ秒パルス技術、低温焼成技術、生物化学的セラミックス合成技術などが、また、高機能型材料創成に関する成果としては、可視光応答型光触媒、超高熱伝導型有機無機ハイブリッド材料、サーマルマネージメント用セラミックス部材、エネルギーハーベスティング用セラミックス部材、転がり抵抗を極限まで低下させるセラミックス部材、高選択型有機合成用セラミックス不均一触媒、高効率低コスト型色素増感太陽電池、低電圧動作型バイオセンサー、希土類を低減あるいは使用しないセラミックス部材など、多くの卓越した学術成果を得ることに成功している。更に、これらの技術の中から我が国の中だけに限っても、1社の大学発ベンチャーの新設、2社の既設の大学発ベンチャーからの新製品発売、その他、多くの実用化例に成功している。更に、中国、韓国側においても多くの実用化例に結びついている。これらの成果を世界に知らしめるために、世界のセラミックスに関する学術会議の中で最も権威が高く、また、最も多数が参画する国際会議 Interntional Ceramics Congres を本プロジェクトの参画者が中心となって開催し、国際セラミックス協議会の会長も本プロジェクトの参画者から選出された。また、人的な育成の面でも、既に本事業を推進する中で、先に示したほか、日本セラミックス協会会長、韓国MRS会長、韓国表面科学会会長、日本セラミックス協会副会長、国際セラミックス委員会 委員長など、世界の中心的な立場となる人材を多数輩出してきた。また、光触媒分野におけるISO企画の設立委員や、多くの学会誌の編集委員長（例えば Materials Letter 誌チーフエディター、Journal of Ceramics Society of Japan 編集委員会委員長などを輩出している）、さらには、大学の学長、副研究所長など、世界の中心的な人材を輩出することに結実している。これらの事から分かるように、日中韓においてセラミックス分野が世界で最先端となっていることは間違いなく、更にその中でも本プロジェクトのメンバーおよび組織体はそのなかでも中心的な地位を獲得している。

これらの研究面での卓越した成果、人的な連携の強さ、個々のメンバーの果たす役割の全てが世界のセラミックス研究を牽引していることから分かります。本プロジェクトは非常に効果的に運営されていると判断している。

3. 研究交流活動の成果

これまでの交流活動を通じての成果を「学術的側面」「若手研究者の養成」及び「日中韓における継続的な研究教育拠点の構築」の観点から記入してください。また、活動成果から発生した波及効果がある場合には記入してください。

○学術的側面

日中韓の共同研究による代表的な成果について、以下に箇条書きで記す。

① ナノインプリント法による環境浄化セラミックス触媒担体の微細構造制御

近年、ナノインプリントあるいはナノキャストと呼ばれる微細加工技術に注目が集まっている。ナノインプリントとは、CD-ROM を作製する時のように、ナノレベルの金型を加熱した樹脂などに押し当てることによって、パターンニングを行う技術のことである。その寸法精度はフォトリソに匹敵するレベルにまで迫ってきており、プロセスコストが劇的に下がることから、触媒担体製造技術分野におけるイノベーションが期待できる。即ち、人工的で理想的な触媒構造を極めて低コストに合成出来ることでこれまでにない理想的な触媒を合成出来ると考えられる。しかしながら、ナノレベル領域においては、毛細管現象や表面吸着の影響が指数関数的に高まるため、金型と樹脂の離型性が著しく低下する現象が知られている。このため、現時点では高アスペクト比部材の作製が困難であるという問題点を有している。ここで、カーボンナノチューブやフラーレンにおいては、高い潤滑性を有していることが知られており、この特性を金型技術に転用することが出来れば、最大の壁を克服できる可能性があると考えている。そこで、樹脂と金型の離型性を向上させる事を目的として研究を行った。特に中国側においてノウハウを有していた様々な材料とカーボンナノチューブとの複合化技術を用いることによって、金属基、セラミックス基、ガラス基からなるカーボンナノチューブ複合材料を利用することに成功し、触媒担体に対して、高アスペクト比加工を実現するためのナノインプリンティング用モールドを合成することに成功した。この技術を触媒担体用のセラミックス材に適用することでセラミックス焼結体表面に 300nm 程度の微細加工が可能となり、この値はセラミックスの粉末冶金的な手法による微細加工として世界で最も微細な値であることをヨーロッパセラミックス学会誌に投稿し、採択された。このようにナノカーボンの離型特性を最高に発揮することで、これまでに類を見ない微細なセラミックス焼結体を合成出来ることを世界で初めて提案し実証することに成功した。

② ナノ秒パルス電源を用いたナノ粒子配向技術の確立

長岡技術科学大学においては、ナノ秒でのパルス電源構築技術を有していた。これに対して、韓国側においては、様々な構造からなるナノ粒子を合成するためのノウハウを有していた。これらの技術を組み合わせることによって、ナノ秒パルス電源を用いた新たなナノ粒子の配列手法を提案することに成功した。具体的には下記の通りである。

放熱材料(Thermal Interface Material、TIM)は CPU などの発熱体とヒートシンクの上に置かれ、発生した熱を効果的に冷却システム(ヒートシンクなど)に伝える役割を担う。TIM には、グリス、エラストマーシート、RTV (Room Temperature Vulcanization)、ゲル、フェイズチェンジシートなど様々な性状の材料があるが、ポリマーだけでは熱伝導率に限界がある。そこで近年ではこれら有機物マトリックス中に無機フィラーを混合した有機無機ハイブリッド材料が注目されている。特に、これら材料中の無機フィラーを配列制御することが高い熱伝導率を担保するために必要な要素技術となっている。長岡技術科学大学と東北大学、韓国サムスン大学および中国武漢理工大の研究グループにおいては、それぞれの研究者の有する得意なプロセス場として、超伝導マグネットならびにナノ秒パルス電場の 2 つの場を用い、ポリシリコンマトリックス中の BN ナノシートの配向実験を行った。BN ナノシートをポリシロキサン(触媒、硬化剤などを混合したもの、約 14 時間で完全硬化する)と混合したのち、磁場ならびにナノ秒パルス電場中で電磁場を印加しながら硬化させた。磁場中配向のためには、ポア径

100mmφ、最高印加磁場 10Tesla の超伝導マグネットを利用した。また、ナノ秒パルス電場配向のためには、自作の電源(パルス幅 30nsec、40kV)を用い、電極面積 2mm にて電圧を印加した。超伝導マグネットにより磁場を印加しながら硬化したサンプルにおいて、無磁場と比較して膜面垂直方向に高い配向度を示す BN/ポリシリコンゴム複合体が合成出来ることが明らかとなった。ただし、BN の添加量が増えると、互いに回転を阻害しあうために配向度が低下してしまうことが確認された。ただし、この問題はポリシリコンモノマーの粘度を低下させるなどの工夫によって解決できると考えられる。ナノ秒パルス電場においても同様の配向制御を行うことが可能であることが確認された。本実験で用いたナノ秒パルス電源は誘導型エネルギー蓄積回路であるため、負荷が高いほどパルス幅も最高電圧も高くすることが可能となり、高面積の処理を行うためには好適であることが確認された。しかしながら、ナノ秒パルス電場を用いた場合、処理時間が長くなると電気泳動のように、片方の電極に BN ナノシートが凝集する傾向が見いだされた。これに対し、磁場中配向ではそのような傾向は確認されなかった。以上の結果から高熱伝導性を有し、小型モバイル端末の放熱に最適で、かつ、その信頼性を高めることの出来る放熱材料の合成に成功した。

③ 液中レーザーアブレーション法による新規ナノセラミックス合成技術の確立

特異な構造や形状を有する異方性ナノ材料はその構造・形状に起因して、球形ナノ粒子では得られない種々の特性の発現が期待できる。また、従来真空中で形成されてきた高エネルギー密度場を液中で形成して材料合成を行う液相レーザーアブレーション法やソノケミストリー法が提案されており、これら手法の高い非平衡性を利用することによって異方性ナノ材料が合成できることが中国側において達成された。さらに、日本側において、これら技術を活用することで液相レーザーアブレーション法によって異方性を有した銀ナノシートの作製に成功した。しかし、これまで異方性ナノ材料形成過程については必ずしも検討されてこなかった。そこで、本研究課題において、銀化合物が光に対して敏感な性質を有している点に着目し、銀ナノシート形成と光の影響について調査した。この点を元に、超音波と光の同時照射による銀ナノシートの合成に関する実験を中国側と日本側の研究者の共同により、様々な溶液法で行い、厚み 10-30nm の銀ナノシート上に均一粒径で単分散からなるナノ粒子が付着した構造をもつナノ複合体が合成出来ることを見いだした。また、光照射の光源波長を短くするにつれナノ粒子の付着量が増加傾向にあることを見出した。これは、超音波によるナノシート形成に加え、光励起の還元作用によってナノシート上にナノ粒子が析出したと考えられ、その形成速度によって形成物の構造が決定することを示唆しており、光照射と超音波の照射条件の最適化によって初めてシート/粒子複合体の合成が可能となることを示した。この技術は新しい断熱材料へと適用が可能であり、住みやすい住宅づくりに貢献できるだけでなく、省エネルギー住宅への適用も期待できる。

④ 酸化チタンナノチューブの構造・機能設計と環境・エネルギーシステムへの展開

低次元構造を持つナノマテリアルはその特異構造に由来する多様な機能が期待できる。東北大学、長岡技術科学大学、及び韓国の大学とでは、低温溶液化学プロセスや電気化学プロセスを適用・展開することで、多様な酸化チタンナノチューブ(TiO₂ Nanotube, TNT)の合成を行っている。本材料は酸化物半導体材料である TiO₂ が持つ多様な物理化学的機能と低次元ナノ構造の協奏により優れた機能発現や高次機能化が期待できることから、次世代型の環境保全やエネルギー創成システムへの展開を視野に、高次構造制御プロセスを適用した TNT 系材料の創成と多様な機能評価・機構解明を行った。合成条件および粉末処理条件を制御して得た TNT を色素増感型太陽電池(DSC)光電極へ応用した場合、通常のナノ粒子系電極と比較して発電特性を向上できることを確認した。これは、ナノ粒子系に比較して大きな比表面積とそれに伴う吸着色素量の増加、ナノチューブ構造内での長電子寿命など低次元ナノ構造による機能向上のためと考えられた。一方、電気化学的手法

を展開し、従来プロセスでは必須であったフッ化物イオンを含まない電解液を用いた陽極酸化法によるTi 金属上へのTNT高速直接合成法を最適化すると共に、これを光電極として直接DSC へ適用することで高い開放端電圧とフィルファクター特性を有する太陽電池として機能することを見いだした。以上のことから、セラミックス系複合材料を利用することで、新しい太陽電池材料に関する新しいアイデアを提案し実証することに成功した。

⑤ ナノネットワーク構築によるセラミックスの高次機能化

東北大多元研の関野准教授らは、長岡技術科学大学、中国武漢理工大学および韓国サンムーン大学と連携して、一次元ナノ材料であるカーボンナノチューブ(CNT)などをセラミックス内部に三次元的に配置してナノネットワークを構築すると同時に、ナノ粒子を同時分散させたマルチフェーズナノコンポジットの創製と機能解明に関する共同研究を行い、導電性物質添加量を最小限にしてZrO₂などの絶縁性セラミックスに導電性を付与すると共に、力学的・熱的特性を共生的に調和・向上させることに成功した。

⑥ ナノ粒界構造を有する高温構造材料に関する研究

東海大学では、非晶質相を有しないナノ粒界制御構造を有する高温構造材料に関する研究を中国・武漢理工大学と共同で行っている。具体的にはホウ化ケイ素(SiB₆)焼結体の粒界にナノサイズのSiCおよびB₄C相を制御生成させて、高温で優れた強度および硬度を有するセラミック材料(エンジニアリングセラミックス)を作成する方法を見出した。

⑦ ナノ粒界構造を有する生体材料に関する研究

東海大学では、優れた生体活性を有する生体材料に関する研究を韓国・サンムーン大学と共同で行っている。具体的には水酸アパタイト(Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂)焼結体を得る際に、大気中で焼成を行わず、水素ガス中で焼成を行うことにより、疑似体液(SBF)中で、優れた生体活性の発現がある可能性が見出された。

⑧ 優れた蛍光特性を有する蛍光性材料に関する研究

東海大学では、優れた蛍光性材料に関する研究を韓国・漢陽大学および中国・西安交通大学と共同で行っている。具体的には、SrやCa系の酸化物セラミックスに肺活物質のEu成分などを添加して合成する際、水素以外の還元性ガスを用いることにより、優れた蛍光特性を有する試料が得られる可能性があることが明らかになった。

⑨ 高温等方加圧を利用した高強度シリケートガラス発泡体の作製

現在、発泡材料は吸音材、断熱材、触媒、フィルターあるいは生体材料など様々な分野で利用されている。そこで、長岡技術科学大学と西安交通大学では、高温等方加圧(HIP)を用いた新規の発泡材料作製方法を共同で開発した。本作製方法では、原料粉末をカプセル封入せずに直接HIPを行う。HIP後の高圧ガスに満たされた閉気孔を有するバルク体を、常圧下で熱処理を行うことで発泡体を得た。得られた発泡体の機械的性質に及ぼすHIP圧力の影響について調査した。

⑩ 新規強誘電体ニチタン酸バリウムの薄膜化とデバイス化

東北大学後藤グループの発見した強誘電体ニチタン酸バリウム(BaTi₂O₅)の薄膜化およびデバイス化について、武漢理工大学と共同研究を行っている。BaTi₂O₅は鉛を含まないことから、環境に優しく、現在圧電材料等に広く用いられているチタンジルコン酸鉛に代わりうる材料として期待されている。武漢理工大学では、レーザー

アブレーションによる薄膜化、東北大学ではレーザーCVDによる薄膜化を行い、その微細構造および誘電特性の評価を行っている。また、共同でBaTi2O5の大型単結晶を作製し、基礎物性を明かにするとともに、圧電デバイスへの応用を目指している。

⑪ 高性能レーザー用材料の開発

東北大学後藤研究室と漢陽大学量子光子科学研究センターは高性能レーザー用材料の共同研究を行っている。後藤研究室では、SPS焼結による透明セラミックスの作製と評価、漢陽大学は透明膜の作製と評価を行っている。高性能透明セラミックスの開発、および、バルク体での結果を基にした高性能膜の開発を目指している。

⑫ CNT/セラミックスナノ複合材料の研究開発

カーボンナノチューブをベースとした複合材料の研究開発で、以下のような成果を得ることができた。

CNT/PyC/SiCコーティング：CVD法でカーボンナノチューブの成長、熱分解炭素および炭化ケイ素の蒸着によりCNT/PyC/SiC複合コーティングの合成技術を開発した。CNTはコーティング中の亀裂の発生を抑制し、コーティングに優れた耐酸化性に付与した。

CNF/Al2O3複合材料：直径150nmの気相成長炭素繊維(Vapor Grown Carbon Fiber, VGCF)を用いてCNF/Al2O3複合材料をホットプレス法で作製した。アルミナセラミックスに比べ、破壊靱性は50%向上した。亀裂進展する時、VGCFのブリッジング効果が破壊靱性の向上に寄与することを明らかにした。

CNT/TiC/Al2O3複合材料：切削工具として用いられるTiC/Al2O3複合材料はCNTの少量添加により、機械強度や導電性が著しく改善された。

CNT表面のナノ粒子の担持：化学修飾を施したCNT表面に各種酸化ナノ粒子、コーティングを合成することに成功した。

⑬ 各種ガスセンサの合成

低炭素化社会へ向け、水素自動車などが実用化されはじめているが、酸素ガスは助燃性が高く、水素ガスは爆発性が高いなど、極めて危険であり、万が一ガス漏れした際に迅速に検知を行えるセンサの開発は必須課題となっている。そこで、半導体セラミックス線材の通電により発生するホットスポット現象を利用した酸素センサに関して、複合材料の組成や構造を制御することによりセンサの耐久性及び応答性が向上することを見いだした。また、金属の水素化により起こる光学特性の変化を検出原理とする光検知式水素センサの作製方法を検討し、耐久性の高いセンサを得ることに成功した。

⑭ 砥粒を最大限有効に利用した研削工具の開発

LED基板材料として利用されているサファイアの加工には、主に研削が用いられているが、一般的な砥石では砥粒が数百 μm 間隔で一様に配置されており、実際に研削を行う砥粒とその背後にある研削に寄与しない多数の砥粒から構成されている。本研究では、研削に寄与しない砥粒を減らすために、砥粒を含む砥粒部を回転方向に垂直に配置し、その間を多孔質セラミックスで充填した放射線型砥石を作製した。開発した放射線型砥石は従来の砥石に比べ研削に寄与する砥粒の数が約10倍であることがわかった。このことにより、研削に必要なエネルギーと原材料の砥粒の低減を図ることができる。

⑮ 新規青色発光材料の開発

圧力容器内に水溶液原料を封入し、外部ヒータにより通電加熱することにより水熱条件を作り出す手法(水熱

合成法)を用いて新規青色発光材料を合成した。母体材料はヒドロニウムアルナイトであり、発光イオンとして銅、マンガン、銀を用いることで、それぞれ波長 420、540、300nm の発光を示すことを明らかにした。

これらに見られるように、日中韓の各参加機関がそれぞれ得意とする技術を持ち寄ることで、いくつかの「世界初」となる成果を生み出すことができた。

○若手研究者の養成

本研究交流には、各国のセラミックス学会でのリーダー格の教員(主に教授層)が多数参加している。(日本セラミックス協会会長、日本セラミックス協会副会長、韓国表面科学学会会長、韓国 MRS 次期会長等)これら第一線の研究者が、本研究交流参加者のためだけに、特別にデザインされたレクチャーを行い、若手研究者の養成に努めた。セラミックスの研究開発の歴史・最新のセラミックス研究開発動向、英文での論文執筆のポイントなど、教授層からも高い評価を得る講義を行うことができた。さらに、若手研究者に対して、2～30分の英語による口頭発表を課すとともに、教授陣からプレゼンの勘所などについてアドバイスを行うことで、プレゼン能力の向上も図った。

本研究交流に参加し、長岡技術科学大学で博士号を取得した韓国人留学生が、韓国の Korea Institute of Industrial Technology に就職した。

○日中韓における継続的な研究教育拠点の構築

日中韓の各参加研究者は、本研究交流開始以前から既に何らかの共同研究を行っていた者が多く、協力体制は比較的スムーズに立ち上がった。その後、本研究交流を触媒として、参加各機関がそれぞれの得意とする技術を活かす形での共同研究等が進んでいる。また、申請時に計画した通り、中国・韓国から若手研究者を中長期的に受け入れ、Uターンさせる流れができた。学術交流協定が締結され、今後の継続的な研究教育交流が可能になった。

○成果の波及効果

大きな波及効果として、本事業で開発された技術(学術的側面の②ナノ秒パルス電源を用いたナノ粒子配向技術)を展開し、地元ベンチャーと共同で製品化することに成功したことが挙げられる。この技術を更に発展させ、世界で初めて、大気中に2ヶ月間保存しても参加しない乾粉チタン超微粒子の作成に成功した。

大型多孔質セラミックスの研究開発により、平成22年度科学技術の文部科学大臣表彰を受賞した。

中国では、本研究交流の成果に関連した特許が22件登録されている。

2010年3月に東京で開催したセミナーの成果をまとめ、IOP(Institute of Physics, 英国物理学会)からオンラインジャーナルとして出版することが決まった。

4. 研究交流活動の実施状況

(1)これまでの交流活動について、「共同研究」、「セミナー」及び「研究者交流」ごとに、交流人数・交流相手国・概略を記入してください。

○共同研究

日-中 延べ派遣人数人日数： 10人 38人日 延べ受入人数人日数： 10人506人日

日-韓 延べ派遣人数人日数： 8人 37人日 延べ受入人数人日数： 12人101人日

【概要】

共同研究では、以下の課題に取り組んだ。

①ナノテクノロジーを基礎とした多機能型セラミックス

本共同研究課題では、日本が世界においてリードしている分野の一つである、セラミックス工学のナノテクノロジーの運用技術について共同で研究を行った。セラミックスの表面にナノレベルの微細構造を付与する技術や、ナノコンポジットとして添加する微粒子の作成などの技術について、共同研究を行った。

②先進セラミックス創成のための新規なプロセス技術

本共同研究課題では、実用化を強く志向したセラミックスの合成プロセス、特に、粉体合成、スラリー調整、成形、焼結、加工の一連のバルクセラミックス創成プロセスに加え、物理的・化学的な成膜プロセスに関する共同研究を行った。加えて、プロセス時の現象を明らかとするための解析手法や、得られた材料の構造と機能の相関を明らかとするための微細構造解析手法の確立にも取り組んだ。

これらの共同研究課題を通じて得られた主な成果は、前項までに記載した通りである。

また、当初の研究交流目標に挙げたとおり、中国・韓国から若手研究者を中長期的に受け入れる体制ができた。

○セミナー

日本 延べ開催回数： 3回、延べ参加人数人日数 日本側： 83人285人日、中韓側： 84人384人日

中国 延べ開催回数： 4回、延べ参加人数人日数 日本側： 41人199人日、中韓側： 47人209人日

韓国 延べ開催回数： 2回、延べ参加人数人日数 日本側： 24人108人日、中韓側： 62人306人日

【概要】

研究交流開始から、延べ9回のセミナーを開催した。セミナーでは、研究成果の公開、共有、若手研究者の育成を主な目的とした。概要について、時系列順に箇条書きにて記す。

<平成20年度>

平成20年に中国・武漢で開催されたセミナーでは、日中韓の各参加研究者が一堂に会し、本研究交流を円滑に進めるために不可欠な相互理解を得ることができた。また、この際に、日中韓だけでなく欧米諸国からの研究者ともミーティングを行うことで、世界のセラミックス製品に関するニーズについての調査を行うとともに、本研究交流で生み出された先進的な成果について広く公表することができた。

平成21年2月に日本・長岡で開催されたセミナーは、本研究交流の関係者のみが参加し、深い議論を行った。日中韓の各拠点機関の中でも、とりわけ優れており、また特殊な設備を有する長岡技術科学大学を見学する時間を設けることで、特に国際的なプロジェクトに初めて参加する中韓の若手研究者が理解を深めることが可能になった。

<平成21年度>

平成21年6月に韓国・濟州島で開催されたセミナーでは、特に若手研究者の育成に主眼を置いた。本研究交流に参加しているシニアの研究者たちが、英文での論文執筆法、セラミックス研究開発の動向などについてレクチャーを行った。このレクチャーは教授層からも好評であり、記録を次年度以降もこの形式を踏襲することとした。

また、合宿形式をとることで、特に中韓で問題となる上下関係の壁を取り去り、自由な環境での議論が可能となった。

平成22年2月に中国・武漢で開催されたセミナーは、本研究交流を推進する上でのコアメンバーのみが集まり、次年度以降の共同研究等の進め方について確認した。

平成22年3月に日本・東京で開催されたセミナーでは、本研究交流に欠けている理論計算の研究者から基調講演を頂くことで、これまでに見出した研究成果について理論面から再度検証を行う機会を得た。また、次年度以降の共同研究の方針について、環境材料にリソースを集約する方向で意見の一致を得ることができた。

<平成23年度>

平成22年6月に中国・武漢で開催されたセミナーでは、前年度に引き続き若手研究者の育成に主眼を置き、合宿形式をとることで自由な環境で議論を行わせるとともに、シニアの研究者たちからセラミックスの歴史と最新の技術について時間軸に沿って体系的に整理されたレクチャーを行った。また、Nature, Science あるいはそれに準ずる雑誌に論文を掲載した経験を持つ研究者から基調講演を頂いた。

平成22年8月に中国のフフホトで開催したセミナーでは、元素戦略、及び代替材料としてのセラミックスの可能性について議論を行った。セラミックスに関わらず、高機能性材料にはレアアース・レアメタルは必須のものとなっている。しかし、産出可能な地域が大きく偏っており、政治等のリスクで供給が止まるリスクをはらんでいる。そこで、これらレアアース・レアメタルの使用量低減、あるいは完全代替材料となりうるセラミックスの開発について議論が行われた。

平成22年11月に日本・大阪で開催されたセミナーは、世界最大規模のセラミックスに関する国際学会である第3回国際セラミックス会議の分科会の一つとして開催することで、本研究交流で得られた成果を世界中に発表することができた。

平成23年2月に韓国・天安市で開催されたセミナーでは、若手研究者の養成にさらに力を入れ、若手研究者に通常より長い時間の口頭発表を課し、その発表に対してシニアの研究者から講評やアドバイスを行うことで、口頭発表能力の向上を図った。また、韓国の有力企業を訪問し、セラミックスの産業界への展開の実例について学ぶことができた。

これらを通じ、本研究交流で得られた成果を広く世界に還元することに成功した。若手研究者の育成においては、特に教授陣からの知の伝承ということを意識した構成とし、世界でも有数のセラミックス研究者が、本研究交流に参加している若手研究者に対し、惜しみなくノウハウを伝えた。

○研究者交流

日-中 延べ派遣人数人日数: 1人 5人日 延べ受入人数人日数: 4人 20人日

日-韓 延べ派遣人数人日数: 2人 6人日 延べ受入人数人日数: 3人 40人日

【概要】

研究者交流では、本研究交流で得られた成果の発表と、協定締結等に向けての協議を行った。

(2) 本事業における、「日本側拠点機関の実施体制」、「中国・韓国の拠点機関との協力体制」、「日本側拠点機関の事務支援体制」について記入してください。

○日本側拠点機関の実施体制（拠点機関としての役割・国内の協力機関との協力体制等）

拠点機関の長岡技術科学大学は、協力機関と連携を密にし、共同研究の推進、セミナーの開催等を行った。各協力機関・協力研究者の意見を集約し、研究交流の全体的な方針の調整を行うとともに、研究の成果等を共有することに努めた。

また、中国・韓国の拠点機関・研究代表者との連絡調整を行い、中国・韓国で開催されるセミナーについて、日本側の参加研究者との連絡、とりまとめ等を行った。

本研究交流を進める上で非常に幸運なことに、日本側拠点機関である長岡技術科学大学の新原は、2009年6月～2011年5月の間、日本セラミックス協会の会長を務めている。このことは、各参加研究者のネットワークを強固にすることに大変有効であった。

○中国・韓国の拠点機関との協力体制（各国の役割分担・ネットワーク構築状況等）

日中韓の各国は、それぞれ得意とするバックグラウンドが異なっており、（日本：特殊材料合成プロセスおよび特殊計測技術、中国：材料熱力学および原料調整、韓国：非平衡プロセス開発、材料加工学）、それぞれの得意とする技術を連携させ、多方面から環境材料に対してのアプローチを行った。

具体的な例として、我が国において開発されたパルス通電焼結という新規な超高速焼結手法による高速、低温、低消費電力、短時間な焼結プロセスの実証研究の結果を解釈するため、中国の研究者らにより開発された動的な焼結挙動を解析するための熱力学シミュレーションと、これに基づく更に良好な焼結プログラムの提案を行った。得られたプログラムを日本の焼結チームにフィードバックすることにより、得られた材料において、焼結体の表面において破壊の自己修復機能を有する構造材料といった新しい高機能性を有する材料が合成出来た。更に、これら材料の表面を精密に研磨、加工する技術について、韓国において開発された新しい加工装置を用いることによって、加工傷が均一に入る表面加工が可能となり、このことによって、表面のクラックの自己修復機能が精密に評価出来るようになった。このような三カ国の長所を生かした一つの問題の克服の共同研究を通じ、それぞれの得意技術を活かすことで、前項までに記載したように、優れた成果を上げることができた。

また、日中韓の各協力機関同士の連携も加速しており、前項までに挙げたようにいくつもの共同研究が立ち上がっている。このように、本研究交流を触媒として、緊密な教育研究の国際的ネットワークが確立できた。

○日本側拠点機関の事務体制（拠点機関全体としての事務運営・支援体制等）

日本側拠点機関は、協力機関・協力研究者の在籍機関の事務担当者との連絡を密にし、参加研究者の派遣、受入等に係る出張手続き等を遺漏なく行った。また、セミナー開催に当たっては、運営の補助、参加者の整理やアブストラクトの編集作業等を行い、セミナーの円滑な運営に寄与した。

長岡技術科学大学と武漢理工大学の学術交流協定締結の際には、協定文案の作成や調印式の運営等を行った。

これらのように、参加研究者の負担を低減するためのサポートを行い、前項までに挙げたような卓越した成果を生み出すことに大きく貢献した。

5. この課題に関連した主な発表論文名・著者名

研究代表者あるいは参加研究者が実施期間中に既に発表した論文等で、この交流の成果であり、本事業名が明記されているものを記載してください。研究代表者・参加研究者の氏名にはアンダーラインを付してください。また、相手国の参加研究者との共著論文には、文頭の番号に○印を付してください。

なお、本事業名が明記されていない場合でも、本事業による研究成果であることが明瞭なもの(例:①本事業と直接関連のある題名である、②共著者の多数が日本側・相手国側の研究代表者又は参加研究者である(共著論文である場合)等)は、記載してください。

(1) 学術雑誌等(紀要・論文集等も含む)に発表した論文又は著書

・査読がある場合、印刷済み及び採録決定済のものに限り、査読中・投稿中のものは除く。

整理番号	著者名	事業名明記箇所	タイトル	掲載誌名	巻号	掲載頁番号(開始-終了)	発表年	発表月	国内海外	査読有無	備考
①	<u>Kuibao Zhang,</u> <u>Zhengyi Fu,</u> <u>Jinyong Zhang,</u> <u>Weiming Wang,</u> <u>Soo Wahn Lee,</u> <u>Koichi Niihara</u>	巻頭・巻末 38 頁	Characterization of nanocrystalline CoCrFeNiTiAl high-entropy solid solution processed by mechanical alloying	Journal of Alloys and Compounds	495-1	33-38	2010	4	海外	有	
②	<u>Guimin Zhang,</u> <u>Zhengyi Fu,</u> <u>Yucheng Wang,</u> <u>Hao Wang,</u> <u>Weiming Wang,</u> <u>Jinyong Zhang,</u> <u>Soo Wahn Lee,</u> <u>Koichi Niihara</u>	巻頭・巻末 2441 頁	Boron-doped mullite derived from single-phase gels	Journal of the European Ceramic Society	30-12	2435-2441	2010	9	海外	有	
③	<u>Zhangfu Yang,</u> <u>Hao Wang,</u> <u>Xinmin Min,</u> <u>Weimin Wang,</u> <u>Zhengyi Fu,</u> <u>Soo Wahn Lee,</u> <u>Koichi Niihara</u>	巻頭・巻末 頁	Translucent Li- α -Sialon Ceramics Prepared by Spark Plasma Sintering	Journal of the American Ceramic Society	93-11	3549-3551	2010	11	海外	有	
④	<u>Hao Wang,</u> <u>Tohru Sekino,</u> <u>Koichi Niihara,</u> <u>Zhengyi Fu</u>	巻頭・巻末 2496 頁	Preparation of mullite-based iron magnetic nanocomposite powders by reduction of solid solution	Journal of Materials Science	44-10	2489-2496	2009	3	海外	有	
⑤	<u>Xia Zheng,</u> <u>Zheng Yi Fu,</u> <u>Jin Yong Zhang,</u> <u>Wei Min Wang,</u>	巻頭・巻末 頁	Superfast Sintering of Nanocrystalline	Advanced Materials Research	66	100-103	2009	4	海外	有	

	<u>Hao Wang,</u> <u>Yu Cheng Wang,</u> <u>Soo Wahn Lee,</u> <u>Koichi Niihara</u>		Y ₂ O ₃ Ceramics								
⑥	<u>Kuibao Zhang,</u> <u>Zhengyi Fu,</u> <u>Jinyong Zhang,</u> <u>Tadachika Nakayama,</u> <u>Koichi Niihara,</u> <u>Soo Wahn Lee</u>	卷頭・卷末 982 頁	Facile Synthesis of Hierarchical Alumina Monoliths with Tubular Macropores and Ordered Mesoporous Walls	Chemistry Letters	39-9	980-982	2010	9	国内	有	英文
⑦	<u>Seung Ho Kim,</u> <u>Tohru Sekino,</u> <u>Takafumi. Kusunose,</u> <u>A. T. Hirvonen</u>	卷頭・卷末 頁	Thermal and mechanical properties of zirconia/monazite-type LaPO ₄ nanocomposites fabricated by PECS	Ceramic Engineering and Science Proceedings	28-3	19-26	2009	12	海外	有	
⑧	<u>Hao Wang,</u> <u>G. Le,</u> <u>Weimin Wang,</u> <u>Zhengyi Fu,</u> <u>Tohru Sekino,</u> <u>Soo Wahn Lee,</u> <u>Koichi Niihara</u>	卷頭・卷末 頁	Preparation of functional metal nanoparticles embedded mullite composite powders by solid solution reduction	Journal of the Ceramic Society of Japan	117-1364	452-456	2009		国内	有	英文
⑨	<u>Jingtao Li,</u> <u>Zhengyi Fu,</u> <u>Weiming Wang,</u> <u>Hao Wang,</u> <u>Soo Wahn Lee,</u> <u>Koichi Niihara</u>	卷頭・卷末 1686 頁	Preparation of ZrC by self-propagating high-temperature synthesis	Ceramics International	36-5	1681-1686	2010	7	海外	有	
⑩	<u>Sung Hun Cho,</u> <u>Zheng Yi Fu,</u> <u>Koichi Niihara,</u> <u>S. Obregon-Alfaro,</u> <u>Soo Wahn Lee</u>	卷頭・卷末 頁	Red Tide Inactivation by Silver Doped TiO ₂ Produced in Sono-Chemistry Method	Materials Science Forum	658	280-283	2010	7	海外	有	
⑪	<u>Bhupendra Joshi,</u> <u>Hyun Hwi Lee,</u> <u>Seung Ho Kim,</u> <u>Zheng Yi Fu,</u> <u>Koichi Niihara,</u> <u>Soo Wahn Lee</u>	卷頭・卷末 頁	Boron Nitride Doped Transparent Polycrystalline Silicon Nitride Ceramics	Materials Science Forum	658	428-431	2010	7	海外	有	
⑫	<u>Li Wei Huang,</u> <u>Zheng Yi Fu,</u> <u>Jin Yong Zhang,</u> <u>Wei Min Wang,</u>	卷頭・卷末 頁	Effect of Sintering Schedule on the Microstructure of Carbon Nanotubes	Advanced Materials Research	66	288-291	2009	4	海外	有	

	<u>Hao Wang.</u> <u>Yu Cheng Wang.</u> <u>Koichi Niihara.</u> <u>Soo Wohn Lee</u>		Reinforced Alumina Fabricated by SPS Method								
⑬	<u>Guimin Zhang.</u> <u>Yucheng Wang.</u> <u>Zhengyi Fu.</u> <u>Hao Wang.</u> <u>Weiming Wang.</u> <u>Jinyong Zhang.</u> <u>Soo Wohn Lee.</u> <u>Koichi Niihara</u>	卷頭·卷末 頁	Transparent mullite ceramic from single-phase gel by Spark Plasma Sintering	Journal of the European Ceramic Society	29- 13	2705-2711			海外	有	
⑭	<u>Fei Huang.</u> <u>Zhengyi Fu.</u> <u>Weimin Wang.</u> <u>Hao Wang.</u> <u>Yucheng Wang.</u> <u>Jinyong Zhang.</u> <u>Qingjie Zhang.</u> <u>Soo Wohn Lee</u> <u>Koichi Niihara</u>	卷頭·卷末 743 頁	Synthesis of shape-controlled Nb3O7F/NbB2 heterostructure: A new idea to synthesize binary hybrid materials by incomplete reaction	Materials Research Bulletin	45- 6	739-743	2010	6	海外	有	
⑮	<u>LI Jing.</u> <u>FU Zhengyi.</u> <u>WANG Weimin.</u> <u>WANG Hao.</u> <u>LEE Soowohn.</u> <u>NIIHARA Koichi</u>	卷頭·卷末 38 頁	Preparation of ZrC by Self-Propagating High Temperature Synthesis	Journal of the Chinese Ceramic Society	2010 -5	38	2010	5	海外	有	英文
⑯	<u>Jianfeng Zhu.</u> <u>Jiqiang Gao.</u> <u>Jianfeng Yang.</u> <u>Fen Wang.</u> <u>Koichi Niihara</u>	卷頭·卷末 頁	Synthesis and microstructure of layered-ternary Ti2AlC ceramic by high energy milling and hot pressing	Materials Science and Engineering: A	490- 1-2	62-65	2008	8	海外	有	
⑰	<u>Guang-Peng Jiang.</u> <u>Jian-Feng Yang.</u> <u>Ji-Qiang Gao.</u> <u>Koichi Niihara</u>	卷頭·卷末 頁	Porous Silicon Nitride Ceramics Prepared by Extrusion Using Starch as Binder	Journal of the American Ceramic Society	91- 11	3510-3516	2008	11	海外	有	
⑱	<u>Jian Zhang.</u> <u>Tohru Sekino.</u> <u>SeungHo Kim.</u> <u>Soo Wohn Lee</u>	卷頭·卷末 頁	Residual stress determination in plasma sprayed AL2O3 coatings	Journal of Ceramic Processing Research	9	317-320	2008	8	海外	有	
⑲	<u>Woo Sik Kim.</u> <u>Sook Young Moon.</u> <u>Jeong Hoon Lee.</u> <u>Sin Young Bang.</u> <u>Bong Geun Choi.</u> <u>Heon Ham.</u>	卷頭·卷末 頁	Fabrication of single-phase titanium carbide layers from MWCNTs using high DC pulse	Nanotechnolog y	21- 5	art. no. 055608	2010	2	海外	有	

	<u>Tohru Sekino,</u> <u>Kwang Bo Shim</u>										
㉑	Woo Sik Kim, Sook Young Moon, Jeong Hoon Lee, Sin Young Bang, Bong Geun Choi, Heon Ham, <u>Tohru Sekino,</u> <u>Kwang Bo Shim</u>	巻頭・巻末 頁	Fabrication of graphene layers from multiwalled carbon nanotubes using high dc pulse	Applied Physics Letters	95- 8	art. no. 083103	2009	8	海外	有	

(2) 国際会議における発表

- ・著者(参加研究者を含む全員の氏名を、論文等と同一の順番で記載すること)、題名、発表した学会名、開催場所、論文等の番号、月・年を記載すること。発表者に○印を付すこと。
- ・口頭・ポスターの別、査読の有無を区分して記載すること

整理 番号	著者名	事業名明記 箇所	題名	学会名	場所	口頭 ポスター	番号	発表 年	発表 月	査読 有無
1	○ <u>Tohru Sekino,</u> Asuka Hayashi, <u>Dong-Jin Park,</u> Toshiyuki Miwa, <u>Takafumi Kusunose</u>	巻頭・巻末 頁	Molecular Adsorption and Photocatalytic Properties of Titania Nanotubes (Highlighted)	Materials Science and Engineering Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes (MSE2008)	Nurnberg, Germany	口頭	A14-540	200 9	8	有
㉒	○ <u>Tohru Sekino,</u> Jang-Yul Kim, <u>Dong-Jin Park,</u> Satoshi Tsukuda, <u>Soo Wahn Lee,</u> Shun-ichiro Tanaka	巻頭・巻末 頁	Nanoarchitecture Tuning of TiO2 Nanotubes for Advanced Energy and Environmental Applications (Invited)	The 27th International Korea-Japan Seminar on Ceramics	Incheon, Korea	口頭	EE-1-0 3	201 0	11	有
㉓	○ <u>Junichi Matsushita and Kwang Bo Shim</u>	巻頭・巻末 頁	Blue colored luminescent ceramics	The 5th International Workshop for R and D Clustering among China, Japan, Korea in Eco-materials Processing	Jeju, Korea	口頭/ポ スター		200 9	6	口 頭： 有 ポ ス タ ー： 無
㉔	○ <u>Hisayuki Suematsu,</u> Keisuke Josho,	巻頭・巻末 頁	Growth of Silver Nanoplates	China-Japan-Kore a Seminar and	Wuhan, China	口頭	2104	201 0	7	無

	Yahya Muhammad Izuari, <u>Tsuneo Suzuki</u> , <u>Tadachika Nakayama</u> , <u>Koichi Niihara</u> , <u>Zhengyi Fu</u> , and <u>Soo Wohn Lee</u>		Prepared by Pulsed Wire Discharge in Water	Summer Workshop for Advanced Materials (CJK2010)						
⑤	○ <u>Tadachika NAKAYAMA</u> , <u>Hong Dae KIM</u> , <u>Yoshinori TOKOI</u> , <u>Tsuneo SUZUKI</u> , <u>Soo Wohn LEE</u> , <u>ZhengYi FU</u> , <u>Hisayuki SUEMATSU</u> , and <u>Koichi NIIHARA</u>	卷頭・卷末頁	Fabrication of the Nanostructure Patterned Sintered Ceramics with the quartz nano mold	China-Japan-Korea a Seminar and Summer Workshop for Advanced Materials (CJK2010)	Wuhan, China	口頭	6I02	2010	7	無
6	○ <u>T. Sekino</u> , <u>D. J. Park</u> , <u>T. Miwa</u> , <u>J. Y. Kim</u> , <u>I. Kusunose</u> , <u>S. Seino</u> , <u>S.-I. Tanaka</u>	卷頭・卷末頁	Synergy of Molecular Adsorption and Photocatalytic Properties in Titania Nanotube and Its Enhancement (Invited)	The 10th international symposium on Eco-Materials Processing and Design (ISEPD 2009)	Xian, China	口頭	2009-173	2009	1	有
7	○ <u>Y. Hirata</u> , <u>N. Matsunaga</u> , <u>S. Sameshima</u>	卷頭・卷末頁	Densification, Phases, Microstructures and Mechanical Properties of Liquid Phase-sintered SiC (Invited)	3rd International Congress on Ceramics (ICC3)	Osaka, Japan	口頭	S14-026	2010	11	有
⑥	○ <u>K. Zhang</u> , <u>Z. Fu</u> , <u>W. Wang</u> , <u>H. Wang</u> , <u>T. Nakayama</u> , <u>H. Suematsu</u> , <u>T. Suzuki</u> , <u>K. Niihara</u> , <u>L. Soowohn</u>	卷頭・卷末頁	Hierarchically Macro/mesoporous Al ₂ O ₃ Monolith Via a Facile Sol-Gel Process Accompanied by Phase-Separation	3rd International Congress on Ceramics (ICC3)	Osaka, Japan	口頭	S2A-003	2010	11	有
⑨	○ <u>H. Wang</u> , <u>Z. Yang</u> , <u>W. Wang</u> , <u>Z. Fu</u> , <u>S.-W. Lee</u> , <u>K. Niihara</u>	卷頭・卷末頁	Study on Alkali and Alkaline Earth Cations Stablized Sialon Translucent Ceramics	3rd International Congress on Ceramics (ICC3)	Osaka, Japan	口頭	S5-015	2010	11	有
10	○ <u>K. Uematsu</u> , <u>S.</u>	卷頭・卷末	Processing-green	3rd	Osaka, Japan	口頭	S14-00	201	11	有

	<u>Tanaka</u>	頁	structure-microstructure-property Relationship in Ceramics (Invited)	International Congress on Ceramics (ICC3)			2	0		
--	---------------	---	--	---	--	--	---	---	--	--

(3)国内学会・シンポジウム等における発表

・(2)と同様に記載すること

整理番号	著者名	事業名明記箇所	題名	学会名	場所	口頭ポスター	番号	発表年	発表月	査読有無
1	<u>○関野 徹・朴 動 鎮・楠瀬尚史・中山 忠親・清野智史</u>	巻頭・巻末 頁	ナノチューブ材料の高次構造制御による革新的機能化(招待講演)	日本セラミックス協会第21回秋季シンポジウム	北九州市	口頭	1M02	2008	9	有
2	<u>○平田 好洋</u>	巻頭・巻末 頁	コロイドナノ粒子の相転移と固化	日本学術振興会先進セラミックス第124委員会、第133会議	横浜市	口頭		2010	1	無
3	<u>○佐野 秀明、鄭 国斌、内山休男</u>	巻頭・巻末 頁	炭素基材中のB4CおよびSiCの選択酸化	日本セラミックス協会2010年年会	小金井市	口頭		2010	3	無
4	<u>○松丸 幸司、石 崎 幸三</u>	巻頭・巻末 頁	ダイヤモンド-鉄複合粒子による磁気粘性流体研磨	日本金属学会2008年秋季大会	熊本市	口頭		2008	9	有
5	<u>寺内雅裕、○中山 忠親、李 智媛、鈴木 常生、末松久 幸、江 偉華、新原 皓二</u>	巻頭・巻末 頁	銀ナノロッド内包による自己組織化チタニアナノチューブの耐熱性向上と特性評価	第70回応用物理学会学術講演会	富山市	口頭	10-a-Z H-9	2009	9	有
6	<u>○末松久幸、床井 良徳、鈴木常生、中山忠親、新原皓二</u>	巻頭・巻末 頁	金属チタン超微粒子乾粉の実現—パルス細線放電法を活用した有機物被覆活性金属超微粒子作製—	第57回応用物理学会関係連合講演会	平塚市	口頭	19p-S-6	2010	3	無
7	<u>○内山休男、佐野 秀明、鄭 国斌</u>	巻頭・巻末 頁	Al2O3-Y2O3 焼結助剤を用いた液相焼結 SiC の高温酸化腐食挙動	第56回材料と環境討論会	大阪市	口頭		2009	9	無
8	<u>○高橋拓実、田中 諭、古嶋亮一、加藤善二、植松敬三</u>	巻頭・巻末 頁	○軸配向ニオブ酸ストロンチウムバリウムの異方性	日本セラミックス協会2010年年会	小金井市	口頭		2010	3	無

			焼結							
9	○平田 好洋、松永直樹、 <u>鮫島 宗一郎</u>	巻頭・巻末 頁	ナノ粒子コロイドサスペンションの加圧下の相転移と固化プロセスの解析	第 15 回流動化・粒子プロセスシンポジウム	鹿児島市	口頭	F03	200 9	12	無
10	○関野 徹、朴 勳鎮、 <u>楠瀬尚史</u> 、田中俊一郎	巻頭・巻末 頁	化学反応場における低次元酸化物ナノチューブとイオンとの相互作用	日本金属学会 2010 年秋期大会	札幌市	口頭	S4-16	201 0	9	有