

島根大学研究機構戦略的研究推進センター 『重点研究部門』	平成25年度	年度報告書	提出日 平成25年2月14日
① プロジェクト名	S-グリーン・ライフナノ材料プロジェクト		
② プロジェクトリーダー	藤田 恭久	所属 電子メール	総合理工学研究科 fujita@ecs.shimane-u.ac.jp
③ プロジェクトの概要 (プロジェクトの最終年度における到達目標を簡潔に記入してください。)			
<p>本プロジェクトは、旧重点プロジェクト「S-ナノテク」、「S-匠ナノメディシン」の取り組みを継承し、更なる発展を目指すプロジェクトである。医・理工・農の連携により遂行され、島根大学発の材料や技術を用いて、低炭素化社会や健康長寿社会の実現に向けたイノベーションの創出を目指す。プロジェクトは、グリーンイノベーション、ライフイノベーション、基盤技術の3つのグループから構成される。</p>			
<p>グリーンでは、1) 安価な酸化亜鉛(ZnO)ナノ粒子を用いた低コスト第3世代太陽電池の開発を目指す。ZnOのバンドギャップ制御や光エネルギー変換技術の研究を行う。2) チタン酸化物系強誘電体と熱電技術で、太陽電池の自律化システムを創製する。特に、スーパーキャパシタの欠点を解決し、高価な蓄電池不要の高性能電力貯蔵用デバイスの開発を目指す。ライフでは、1) ZnOなどのナノ粒子の蛍光・造影・温熱効果を用いたがんなどの非侵襲的早期診断・治療技術を開発する。2) ナタデココやZnOナノ粒子をバッファに用いたマイクロ流路電気泳動による診断や抗菌剤含有ナタデココによる治療技術などを開発する。基盤技術では、特別経費で導入された結晶評価システムを用いて、新たな物性評価技術の開発に努める。また、評価技術の開発整備により、地域の産業との協力関係や周辺産業の底上げに寄与する。ナノ材料の安全性評価のための技術開発も行う。こうした医・理工・農の連携による研究体制を維持し、その成果を教育に繋ぐ学内拠点として、ナノテク教育研究センターを立ち上げる。</p>			
④ プロジェクトのメンバー及び役割			
氏名	所属(職)	本年度の役割分担	
(プロジェクトリーダー) 藤田 恭久 廣光 一郎 半田 真 笹井 亮 葉 文昌 山田 容士 池上 崇久 古林 寛 北川 裕之 秋重 幸邦 塚田 真也 劉 文鳳	総合理工・電子制御システム・教授 総合理工学部・物質科学科・教授 総合理工学部・物質科学科・教授 総合理工・物質科学科・准教授 総合理工・電子制御・准教授 総合理工・物質科学科・教授 総合理工・物質科学科・准教授 プロジェクト研究推進機構・研究員 総合理工・物質科学科・准教授 教育学部・自然環境教育講座・教授 教育学部・自然環境教育・助教 プロジェクト研究推進機構・研究員	プロジェクト総括、薄膜・ナノ粒子 <b>A1Gr.サブリーダー</b> 、太陽電池 近赤外吸収体の開発 層状物質の応用 太陽電池デバイスの作製と評価 酸化亜鉛薄膜の作製と評価 近赤外吸収体の開発 酸化亜鉛薄膜の物性改質 <b>Aグループリーダー</b> 、熱電材料の開発 強誘電体と蓄電デバイス 強誘電体材料と蓄電デバイス 強誘電体材料の作製	
磯部 威 松本 暁洋 福田 誠司 長井 篤 増田 浩次 平川 正人 原田 守 藤井 政俊 吉清 恵介 秋元 美穂 梶 とも子 竹下 治男 関根 浄治 藤原 純子	医学部・内科がん化学療法・教授 医学部・発生生物学・助教 医学部・小児科・准教授 医学部・臨床検査医学・准教授 総合理工学部・電子制御・教授 総合理工・数理情報・教授 医学部・免疫学講座・教授 医学部・分子科学・准教授 生物資源・生命工学科・助教 医学部・生命科学講座・助教 医学部・法医学講座技術専門職員 医学部・法医学講座・教授 医学部・歯科口腔外科学・教授 医学部・法医学講座・講師	<b>B1Gr.サブリーダー</b> 、がん診断 がん等の可視化技術 がん分子標的薬剤の開発 アルツハイマー病診断技術 光ファイバセンシング技術 診断画像処理技術の開発 がんの免疫療法の開発 ナノ粒子の表面修飾技術 ナノ粒子の表面修飾技術 がん分子標的薬剤の開発 酸化亜鉛による生態計測 <b>Bグループリーダー</b> ナタデココの歯科口腔外科応用 DNA 診断	
大庭 卓也 森戸 茂一 林 泰輔 吉田 俊幸 船木 修平 橋本 英樹 秋吉 英雄 山本 達之 頓宮 美樹 西村 浩二	総合理工・物質科学科・教授 総合理工・物質科学科・准教授 総合科学研究支援・教務職員 総合理工・電子制御・助教 総合理工・物質科学科・助教 プロジェクト研究推進機構・研究員 生物資源・生物科学科・准教授 生物資源・生命工学科・教授 総合科学研究支援・実験動物・助教 総合科学研究支援・遺伝子機能・助教	<b>Cグループリーダー</b> 、結晶評価 金属材料の結晶学的評価 ナノ材料の結晶学的評価 薄膜の電気・光学的評価 酸化物薄膜の結晶構造・特性評価 ナノ材料の生成と評価 <b>C2 Gr.サブリーダー</b> 、安全評価 医用分光学的評価 安全性評価(動物実験) 植物内トレース・食品安全評価	

⑤ (1) 本年度の研究計画目標の達成状況及び自己評価

(本年度当初の計画書に書かれた内容に沿って、計画と達成目標を箇条書きにしてください。また、その達成目標の項目ごとにその達成状況を記入し、以下の基準に従って自己評価して下さい。)

- A : 目標以上に成果をあげた。
- B : ほぼ目標通りの達成度で予定した成果をあげている。
- C : 計画より遅れ気味であるが年度末には目標達成が可能である。
- D : 年度末までに目標達成は不可能である。

自己評価が B 以外の場合には、その原因についても記載して下さい。 2~3月に行う計画のため未執行の場合には評価を空欄にして下さい。)

計画と達成目標	達成状況と自己評価
<p><b>A-1. 次々世代低コスト太陽電池の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 酸化亜鉛のpn接合を用いた塗布型太陽電池のリーク電流を抑制する。</li> <li>● シリコン-ゲルマニウムタンDEM型太陽電池を実現する。</li> <li>● シリコン、ゲルマニウム系と酸化亜鉛系を組み合わせた第3世代太陽電池を提案する。</li> <li>● 500°C の高温環境に耐える低抵抗・高耐性の透明導電膜(抵抗率 <math>10^{-4} \Omega \text{ cm}</math> 台, シート抵抗 <math>10 \Omega</math> 以下)を開発すると共に、導電膜・絶縁膜の作り分け手法を確立する。</li> <li>● 可溶性フタロシアニンを用いた塗布型有機薄膜太陽電池の効率を膜の結晶性制御により向上させる。</li> <li>● p 型半導体ナノシート/光増感色素/n 型半導体ナノシート複合積層膜を作製し、光電流発生を目指す。</li> </ul>	<p>(自己評価 B)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 酸化亜鉛系塗布型太陽電池のリーク電流を抑制し、近紫外光に対する内部量子効率がほぼ 100%と次々世代超低コスト太陽電池としての可能性を示した。特許出願準備中。(A)</li> <li>● スパッタエピタキシーにより単結晶 Ge 及び Si 薄膜太陽電池を実現したが、効率はそれぞれ 0.7%及び 2.3%であった。効率の向上を優先したため、タンDEM化まで至らなかった。しかし両者とも最大内部量子効率は 70%と高い結果が得られた。(B)</li> <li>● シリコン、ゲルマニウム系と酸化亜鉛系を組み合わせた第3世代太陽電池(理論変換効率 50%)を提案した。(B)</li> <li>● ガリウム添加酸化亜鉛(GZO)膜において、表面にキャップ層を形成し 500°C 前後で熱処理することで、<u>簡便にトップレベルの低抵抗膜(<math>3 \times 10^{-4} (\Omega \text{ cm}, 5 \Omega \text{ 以下})</math>)</u>が得られることを発見した。特許出願準備中。(A)</li> <li>● 可溶性フタロシアニン膜の結晶性と膜厚を同時に制御する方法を見出した。この制御により、効率<math>\eta</math>を 0.037%にまで改善できた(制御なしでは 0.015%)。新規可溶性フタロシアニンの合成、及びそれを用いた太陽電池の作製も行った。(B)</li> <li>● 新規 p 型半導体ナノシートとして、Rh をドーブしたチタン酸ナノシートを合成し、これとポルフィリンとの複合積層膜を作製し、光誘起電子移動反応が起こったことを確認した。また、p 型半導体ナノシート/光増感色素/n 型半導体ナノシート複合積層膜については現在試作中である。(B)</li> </ul>
<p><b>A-2. 高性能電力貯蔵用デバイスの開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● これまでより大きな実効誘電率を目指すとともに、チタン酸バリウム系において新規材料・新規物性の探索を行う。</li> <li>● 本学独自の液相成長技術を用いた熱電材料について、特に n 型 Bi-Te 系材料の性能向上を図る。また、昨年度から着手している新規焼結法を検討し、組織、結晶配向と関連づけた物性評価を行う。</li> </ul>	<p>(自己評価 B)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 本学独自のフッ化カリウム置換六方晶チタン酸バリウムナノ粒子の作製に成功した。このナノ粒子はスパークプラズマ焼結法でセラミックスにして、電気物性の評価を行った。還元条件を変化させることで、実効誘電率が大きく変化し、温度や周波数に対して安定な条件を見つけることができた。(B)</li> <li>● 液相成長法による n 型 Bi-Te 系材料については、再現良く高性能材料が得られる作製条件、ドーピング濃度を決定した。新規焼結法により、結晶配向制御が可能であることを示した。結晶配向により熱電性能が向上することも確認した。(B)</li> </ul>
<p><b>B-1. ナノ粒子の医療・食品応用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 抗体修飾 ZnO ナノ粒子の粒径制御技術の確立および分散性の向上を図る。抗体修飾 ZnO ナノ粒子の抗原特異性を確かめるために、マウス IgG 抗体修飾 ZnO ナノ粒子を用いたブランク実験を行う。</li> <li>● C-2 グループと協力し、ZnO ナノ粒子表面への抗体以外の機能性分子を修飾する</li> <li>● 白血球細胞の遊走異常を制御する責任分子の機能を明らかにする。</li> <li>● 高転移性大腸がん細胞の高転移能と腫瘍血管新生に関わる分子を同定し、その機能解析を行う。</li> <li>● ヒト前立腺癌細胞に対する温熱療法に新規熱ショック蛋白 70 阻害剤を併用した場合の抗癌効果とその作用機序を明らかにする。</li> </ul>	<p>(自己評価 B)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● マウス IgG 抗体修飾 ZnO ナノ粒子を合成した。今後は、これをコントロールに用いて、ガン抗体修飾 ZnO ナノ粒子の抗原特異的蛍光染色の評価を実施中。</li> <li>● ZnO ナノ粒子と蛍光色素フルオレセインをイソチオシアネート基を用いて架橋し、蛍光顕微鏡観察により合成を確認した。(B)</li> <li>● 白血病遺伝子変異 ITD-Fit3 によって生ずる、SDF1 に対する過剰な遊走反応は、細胞内のセリンスレオニンキナーゼである Rock1 分子の発現制御の破たんが原因の一つであることを解明した。(B)</li> <li>● ヒト膵臓癌細胞に対して TRAIL と新規熱ショック蛋白 70 阻害剤 pifithrin-mu の併用効果と機序を明らかにした。(B)</li> <li>● ヒト前立腺癌細胞に対して温熱療法に新規熱ショック蛋白 70 阻害剤 pifithrin-mu の併用効果と機序を明らかにした。(B))</li> </ul>
<p><b>B-2. ナタデココの臨床医療応用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 蛍光色素、ナタデココおよび酸化亜鉛の単独または複合超高度 DNA 診断技術を用いて、心筋梗塞等急性期疾患のマーカーとなりうる DNA 分解酵素を用いた超早期迅速判定システムの応用に供する。</li> <li>● ナタデココを用いた上顎洞挙上術について動物を用いた評価を行う。</li> </ul>	<p>(自己評価 B)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ナタデココおよび酸化亜鉛に加え、シリカナノ粒子を用いた DNA 分解酵素のマイクロチップ電気泳動法による高感度測定技術を開発した。(B)</li> <li>● ウサギ前頭洞を用いた上顎洞底挙上術モデルを作製し、ナタデココを用いた移植材料の安全性評価に着手した。(B)</li> </ul>

<p><b>C-1. 材料の結晶学的評価</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>複雑な形状を持つナノサイズの金属組織の定量評価を行い組織の果たす材料科学へ寄与を明らかにする。</li> <li>ナノ材料の結晶学的評価を行い, A,B グループへフィードバックする。</li> <li>デバイス作製に必要な酸化亜鉛系薄膜の極性を非破壊で調べる方法を開発する。</li> <li>酸化亜鉛ナノ粒子の膜形成とデバイス応用のための基礎的特性の評価を行う。</li> <li>太陽電池等で重要な半導体-金属接合を評価し, デバイス開発にフィードバックする。</li> </ul>	<p><b>(自己評価 B)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>今まで手作業で行っていたラスマルテンサイトの形状および結晶学的特徴の抽出を自動かつ高精度で決定するソフトウェアを開発した。(B)</li> <li>サファイア基板上酸化亜鉛薄膜の X 線回折を行い, 面内エピタキシャル関係の成膜条件依存性を明らかにした。GZO 薄膜の軸長と抵抗率との相関関係のメカニズム解明のため, 通常の XRD 測定ではできなかった a 軸長の評価手法を確立した。(B)</li> <li>酸化亜鉛系薄膜の極性を非破壊・簡便に検証できるゼータ電位法を開発し, その妥当性を収束電子線回折より検証した。(B)</li> <li>酸化亜鉛系ナノ粒子塗布型デバイスにおける<b>窒素ドーブ酸化亜鉛ナノ粒子が p 型を示すことを走査型非線形誘電率顕微鏡像により世界で初めて確認した。</b>(A)</li> <li>ケルビンプローブにより ZnO, GZO 等の電子親和力を測定した。熱電材料である Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> の組織および局所結晶方位解析を行い, デバイス開発にフィードバックした。(B)</li> </ul>
<p><b>C-2. ナノ物質の安全性評価</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>酸化亜鉛ナノ粒子標識化合物の動物実験を個体, 臓器, 組織, 細胞レベルで行い, 医療・食品応用を目指したナノ物質の安全性評価の標準化基準を図る。</li> <li>生細胞へのナノ粒子の影響を明らかにする先導的技術開発として, レーザーラマンイメージング技術を核とした分裂酵母をモデル生物とした安全評価方法の確立を図る。</li> <li>食品の社会的課題(食品の安全衛生面)を地域産業界との連携強化によって明らかにし, 課題を克服する技術開発を目指す。</li> <li>酸化亜鉛ナノ粒子で標識したリガンド分子の輸送形態に関する新規のイメージング技術の確立を行う。</li> <li>B-1 グループとの連携により, 酸化亜鉛ナノ粒子に包接化合物シクロデキストリンなどの側鎖を導入し, その機能の向上を図る。</li> </ul>	<p><b>(自己評価 A)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>動物実験を行い, 酸化亜鉛ナノ粒子標識化合物の安全性を個体, 臓器, 組織, 細胞レベルで検証し, ナノ物質の安全性評価の標準化基準を確認した(B)。</li> <li>分裂酵母の突然変異株に添加した種々の薬物が, 酵母の代謝に与える影響, 顕微ラマン分光法によって安全性を確認する技術を開発した(A): <b>酵母の酸化ストレスのマーカーの発見。</b></li> <li>主に魚介類の栄養成分を, ポータブルラマン装置により簡便に評価することができることを示した(A): <b>タウリンの栄養分布測定法の開発。</b></li> <li>酸化亜鉛蛍光ナノ粒子標識ペプチドによる植物病原菌トレーシング技術の開発を行った(B)。</li> <li>B-1 グループとの連携によるアミノ基修飾 ZnO ナノ粒子表面への求電子性官能基を有する分子の架橋法を確立し, 機能性分子(蛍光色素フルオレセイン)修飾実験で実証した(A): <b>アミノ基が修飾されていない ZnO ナノ粒子にも適用。</b></li> </ul>
<p><b>(2) プロジェクト全体の自己評価</b> (プロジェクト全体としての達成目標から, 今年度の研究成果がこれまでの経過・成果にもとづいてどの段階にあるのかを明示して下さい。また, 各グループ間での連携状況についても記入してください。)</p>	
<p>●<b>プロジェクト全体評価(自己評価)</b> プロジェクト全体としての達成目標に対する今年度の研究成果の達成状況について(自己評価A)</p> <p>本プロジェクトでは島根大学が開発した独自のナノ材料技術をもとに超安価な次々世代塗布型太陽電池, 高性能電力貯蔵用デバイス, ナノ材料による早期診断・治療技術, 食品応用技術などのグリーン・ライフイノベーションと材料・評価の基盤技術を開発し, それらを継続的に発展させる産学官連携, 大学院医理工農連携プログラム, 国際交流に関する学内拠点形成を目指してきた。<b>目標としてきた学内拠点としては昨年度立ち上げたナノテクプロジェクトセンターに加え, 新たに医生物ラマンプロジェクトセンターを立ち上げ, 更に総合科学研究支援センター内にナノテク共用実験室を整備し, 最先端の汎用共焦点ラマン分光装置を設置するなど施設面も今後の発展に繋がる整備ができた。</b></p> <p>H25 年度の研究面ではほぼ目標通りに進行できた。特に超低コスト化が可能な次々世代太陽電池については, 課題はあるものの極めて高い量子収率が得られるという革新的な成果が得られた。他のテーマについても特筆すべきデータが得られており, プロジェクト内の技術が有機的に繋がるものとして今後の発展が期待できる。</p> <p>その他にも, 地域の産学官連携による課題解決型授業や医理工農連携プログラム等の教育への貢献, 若手研究者や学生の予算獲得, 受賞, 台湾交通大学, インド科学大学との 3 者間交流協定をはじめとする国際交流など人材育成も含めて大きな成果が得られた。これらの取り組みの実績から <b>COC 事業(地域のものづくり産業との連携による PBL を担当)(採択)</b>, 大手企業・地域企業 12 社を集めた産学連携により <b>COI STREAM 事業「中小企業を含めた地域の活性化から国際競争力を取り戻す革新的ナノ粒子塗布型半導体プロセス開発拠点の形成」(不採択)</b>等の大型申請を提案するなど極めて高いアクティビティを発揮することができた。</p> <p>更に, 特筆すべき事項は, 本プロジェクトから<b>次期重点研究として若手を含む 5 名のリーダー候補から新プロジェクトの提案(実際の申請は 3 件に集約)がなされた</b>ことである。これは, これまでのナノテクプロジェクトの発展性と人材育成の成果の表れであり, 本学の重点研究プロジェクトが当初から目指してきた短期的なプロジェクトではなく, <b>学内のベクトルをそろえるような研究分野をつくるという目標に対して高い達成度が得られた</b>と考えている。</p> <p>●<b>各グループ間の連携状況</b></p> <p>本プロジェクトは A グループが開発した材料を B グループが使い, C グループが A,B グループの材料の評価, 安全評価を行うという連携体制であり, 異分野間の共創により高い成果を目指してきた。その成果は共同の論文や学会発表などに表れており, ナノテクプロジェクトセンターや医生物ラマンプロジェクトセンターなどの学際的な連携の取り組みに発展している。</p>	

⑥ 公表論文, 学会発表など (当該研究に関連した本年度の公表論文, 学会発表, 特許申請の件数を一覧表に記入して下さい。発明等に関しては, 差し支えない範囲で記載して下さい。)

論文掲載 (総件数)	102
学会発表 (総件数)	228 (内国際会議 44 件)
特許出願 (総件数)	出願 3 + 登録 3 件

(+著書 1 件)

(内 特別講演・招待講演 22)

【内訳】

●論文

1. Yasuhisa Fujita, Kyota Moriyama, Yuto Hiragino, Yutaka Furubayashi, Hideki Hashimoto, and Toshiyuki Yoshida, "Electroluminescence from nitrogen doped ZnO nanoparticles", *Phys. Status Solidi C*, accepted for publication.
2. Yasuji Yamada, Shuhei Funaki, Seiji Ichianagi, Hiroki Kikuchi, and Sota Inoue, "Reduced electrical resistivity in TiO<sub>2</sub>:Nb/ZnO:Ga film by thermal annealing", *Jpn. J. Appl. Phys.* accepted for publication.
3. R. Sasai and H. Shinomura, "Preparation and Optical Characterization of Layered Perovskite-Type Lead-Bromide-Incorporated Azobenzene Chromophores," *J. Solid State Chem.*, 198, 452-458 (2013).
4. W. Liu, S. Tsukada, and Y. Akishige, "Preparation and ferroelectric properties of MnO<sub>2</sub> doped BaTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ceramics by spark plasma sintering from the solid-state-calcined powder", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Published Online, 2014.
5. Hiroyuki Kitagawa, Kojiro Nagao, Naoki Mimura, Shigekazu Morito, Kotaro Kikuchi, "Preparation of Bi<sub>0.5</sub>Sb<sub>1.5</sub>Te<sub>3</sub> Thermoelectric Materials by Pulse-Current Sintering under Cyclic Uniaxial Pressure", *Journal of Electronic Materials*, DOI 10.1007/s11664-013-2796-4.
6. Isobe T, Onn A, Morgensztern D, Jacoby JJ, Wu W, Shintani T, Itasaka S, Shibuya K, Koo PJ, O'Reilly MS, Herbst RS: Evaluation of novel orthotopic nude mouse models for human small-cell lung cancer. *J Thorac Oncol.* 8:140-6, 2013.
7. Tongu M, Harashina N, Monma H, Inao T, Yamada T, Kawauchi H, Harada M. Metronomic chemotherapy with low-dose cyclophosphamide plus gemcitabine can induce anti-tumor T cell immunity in vivo. *Cancer Immunology Immunotherapy*, 62: 383-91, (2013).
8. Aya Yoshino, Mari Tabuchi, Motohiro Uo, Hiroto Tatsumi, Katsumi Hideshima, Seiji Kondo, Joji Sekine: Applicability of bacterial cellulose as an alternative to paper points in endodontic treatment. *Acta Biomater.* 2013 Apr;9(4):6116-22.
9. Shigekazu Morito, Takuya Ohba, Ananda Kurmar Das, Taisuke Hayashi and Mai Yoshida, "Effect of Solution Carbon and Retained Austenite Films on the Development of Deformation Structures of Low-Carbon Lath Martensite", *ISIJ Int.*, 53 (2013), 2226-2232.
10. Yutaka Furubayashi, Taisuke Hayashi, Shigekazu Morito, Yuto Hiragino, Wenchang Yeh, Yasutomo Kajikawa, Hideki Hashimoto, and Yasuhisa Fujita "Zeta Potential Measurements for Determining Polarization of ZnO Films", *Jpn. J. Appl. Phys.*, accepted for publication.

●学会発表 (代表的なものを数件記入して下さい。)

1. 川西有輝, 吉原健太, 池上崇久, 半田真, 田中仙君, 廣光一郎: 「フタロシアニン塗布膜をドナー層とする有機薄膜太陽電池の効率向上の試み」, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 2014 年 3 月 17 日-3 月 20 日, 青山学院大学.
2. 教育シンポジウム: 磯部 威: 化学放射線療法の過去・現在・未来「肺癌」. 第 51 回日本癌治療学会学術集会. 京都市, 2013 年 10 月 (招待講演).
3. 葉文昌, "シリコン系太陽電池", 第 10 回薄膜材料デバイス研究会, 京都, 2013 年 10 月 (チュートリアル).
4. Shigekazu Morito, Show Yoshida, Rei Hayamizu, Taisuke Hayashi, Takuya Ohba, Hidenori Terasaki, Yu-ichi Komizo, "Three-dimensional Approach to Observing Growth of Blocks and Packets in Fe-<sup>18</sup>Ni Maraging Steel", *The International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials*, Las Vegas, NV, USA (December 3, 2013) (invited).
5. Yasuhisa Fujita, Hideki Hashimoto, Miki Tongu, Takaya Yamada, Kohji Nishimura, Keisuke Yoshikiyo, Hideo Akiyoshi, Tatsuyuki Yamamoto, Akihiro Matsumoto, Masatoshi Fujii, Junko Fujihara, Tomoko Toga, Haruo Takeshita, Takeshi Isobe. "Investigation of Functional Zinc Oxide Nanoparticles for Biomedical Applications" *7th International Symposium on Nanomedicine*, November 7-9, 2013, Kitakyushu, Japan(invited).
6. Tatsuyuki Yamamoto, "Normal modes and vibrational analysis, characteristic Raman bands-Proteins and amino acids-", *Summer Camp in Hsinchu*, 2013 年 7 月 6 日-7 日, 新竹 (台湾) (invited).

●特許出願

1. 秋重幸邦, 「チタン酸バリウム系結晶の製造方法」, 特許第 5273468 号, 2013 年 5 月 24 日 (登録).
2. 藤田恭久, 「酸化亜鉛系発光素子」, 特許第 5277430 号, 2013 年 5 月 31 日 (登録).
3. 吉野勝美, 今若直人, 松林和彦, 兒玉由貴子, 田中孝一, 山本 裕, 半田 真, 池上崇久, 「光増感色素ならびに該色素を含む酸化半導体および色素増感太陽電池」, 特願 2013-136847, 2013 年 6 月 28 日 (出願).
4. 北川裕之, 松浦司, 加藤寿仁, 鎌田勤也, 「n 型熱電変換材料、熱電変換モジュール, n 型熱電変換材料の製造方法」, 特願 2013-186934 (出願).
5. 秋重幸邦, 塚田真也, 別木政彦, 「六方晶チタン酸バリウム系誘電体材料製造方法」, 特願 2013-200787, 2013 年 9 月 27 日 (出願).
6. 秋重幸邦, 「BaTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub>系強誘電性セラミックス製造方法」, 特許第 5327677 号, 2013 年 8 月 25 日 (登録).

⑦ 外部資金獲得状況 (当該プロジェクトに関連した外部資金について一覧の各項目に総件数、金額を記入して下さい。)

■外部資金獲得状況一覧		件数	金額(千円)
(1) 科研費 (配分額は間接経費を含む)		11	配分額 22,100
(2) 科研費以外の外部資金	受託研究	15	27,962
	共同研究	6	2,535
	寄附金・助成金	1	200
	合計	33	52,797

【一覧内訳】

(1) 科研費(科目ごとに、テーマ、研究者、金額をそれぞれ列挙して下さい。)

1. 基盤 B「ナノ粒子とアミロイド親和・抑制物質によるアルツハイマー病早期診断・治療法開発研究」(長井篤) 2,800 千円
2. 基盤 B「腎細胞癌に対するテラーメイド癌ワクチン療法の開発」(原田守、(分担)) 1,000 千円
3. 基盤 B「南極オゾンホール経由の紫外線がペンギンの眼に及ぼす影響のリアルタイム分光分析」(山本達之), 4,030 千円.
4. 基盤 C「オートファジー制御に基づく効果的な癌免疫療法の確立」(原田守) 1,400 千円.
5. 基盤 C「内部電場を極限まで増強させたショットキー障壁型有機薄膜太陽電池の開発」(廣光一郎, 半田 真) 1,170 千円.
6. 基盤 C「KF 添加チタン酸バリウム的大型単結晶育成と臨界点近傍物性の解明」(秋重幸邦) 1,300 千円.
7. 基盤 C「液相成長法によるピスマステルライド系熱電変換材料の性能向上とそのメカニズムの解明」(北川裕之) 1,300 千円.
8. 挑戦的萌芽「光増感色素-半導体ナノシートヘテロ積層型光エネルギー変換系の構築」(笹井 亮) 4,160 千円.
9. 挑戦的萌芽「ZnO 粒子塗布型近紫外線発光ダイオードの開発」(藤田恭久, 吉田俊幸) 1,820 千円.
10. 若手 B 「ZnO 系ナノ粒子を用いた塗布型トランジスタ実現のための基礎的検討」(吉田俊幸) 2,080 千円.
11. 若手 B 「ナノインデンテーションとマルチスケール解析を用いた複相金属材料の変形機構解明」(林泰輔) 1,040 千円.

(2) その他外部資金(一覧の項目別に、テーマ、研究者、金額を列挙して下さい。)

1. 受託研究, 「シリコン/ゲルマニウム新型積層構造太陽電池の開発」, JST-ALCA(葉文昌) 7,000 千円.
2. 受託研究「酸化亜鉛ナノ粒子を用いた塗布型発光ダイオードの開発」, JST 知財活用ハイウェイ(藤田 恭久) 3,474 千円.
3. 受託研究「革新的光通信インフラの研究開発」, 情報通信研究機構(NICT)(増田浩次) 10,155 千円.
4. 受託研究「色素太陽電池におけるフタロシアニン誘導体を利用した新規色素材料の合成」, しまね産業振興財団(技術シーズ事業化支援事業)(池上 崇久) 3,300 千円.
5. 民間企業からの受託研究(大庭卓也) 500 千円.
6. 民間企業からの受託研究(森戸茂一) 500 千円.
7. 民間企業との共同研究(藤田恭久) 1,930 千円.

⑧ その他特筆すべき成果 (受賞、シンポジウムの開催、産学連携・地域連携に関する各種見本市、展示会への出展等も含む。)

1. 研究プロジェクト以外の研究成果

A1 グループで開発したナノ粒子塗布型太陽電池は発光ダイオードとしても機能する。ナノ粒子によって超低コストで従来の単結晶デバイスの機能を果たす塗布型デバイスの提案は省エネ照明の技術革新であり、学会でも注目されるようになった。



ナノ粒子塗布型発光ダイオードからの赤色、緑色発光。

2. シンポジウム、研究会等の開催

- 日本エネルギー環境教育学会第 8 回全国大会  
秋重教授、塚田助教などが担当
- 島根大学医生物ラマン研究会第 5、6 回講演会  
山本教授が中心に開催した。全学からのべ 100 名以上が参加し、ラマン分光の新しい可能性について討論した。この取り組みはラマンプロジェクトセンターの開設など全学的な拡がりを見せている。
- 島根大学「古代出雲文化フォーラム II」  
大庭教授が実行委員兼パネルディスカッション司会を担当(2014 年 3 月 9 日)。



医生物ラマン研究会第 5 回講演会の様子。

3. 受賞

- 塚田 真也, 日本物理学会若手奨励賞
- 藤原純子, 日本法中毒学会吉村賞

4. 展示会出展

- 出雲産業フェア 2013 年 11 月 2~3 日, 出雲ドーム.
- nano tech 2014 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議 1 月 29 日~1 月 31 日, 東京ビックサイト

5. 国際連携

- 生物資源、総理、医学部の学生が台湾新竹縣で開催された台湾ラマン学会(TARS)とその主催のサマーキャンプに参加した。

これらの取組は継続的に進められており、台湾国立交通大学、インド科学大学とのラマン分光の医生物応用に関する3者間学術交流協定の締結に発展し、今後の本格的な交流へ進展している。

●米国国立衛生研究所(NIH)のNCIを訪問し、技術的な交流をおこなった(本学学生と北テキサス大学も同行)。

●ナノメディシン分野の日中交流の礎となる第1回中日ナノメディシンシンポジウム(南京)に日本の代表として主導的な立場で参加した。

### 6.特許マップランキング

J-Store 特許マップ検索において酸化亜鉛、酸化チタンに関して出願人ランキングと発明者ランキングで島根大学が全国1位(JSTの出願を除く)を獲得した(H26年3月13日現在)。



第1回中日ナノメディシンシンポジウム。

## ⑨ 本年度の主要な研究成果 (図、表、ポンチ絵などを多用して、2ページ以内にわかりやすくまとめてください。)

### A-1. 次々世代低コスト太陽電池の開発

#### 塗布型 ZnO 太陽電池

昨年度開発した p 型 ZnO ナノ粒子を n 型 GZO 薄膜上に塗布し太陽電池においてリーク電流を改善するための光硬化型のバインダーの導入などの改良を行い、波長 365 nm の紫外線を照射したときの光子を光電流に変換する効率がほぼ 100%であることを示した。これは、ナノ粒子塗布型で良好な pn 接合が形成されている裏付ける結果であり、超低コストデバイスの実用化の可能性を示した(図1)。

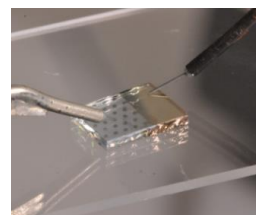


図1 塗布型 ZnO 太陽電池。

#### 次々世代太陽電池の提案

シリコン・ゲルマの積層太陽電池に ZnO 系ナノ粒子塗布型太陽電池を組み合わせた次々世代低コスト高効率太陽電池を提案した。シリコン系太陽電池の弱点となる近赤外と近紫外、可視の短波長側を補った積層構造で理論的には 50%の変換効率が見込まれる(図2)。

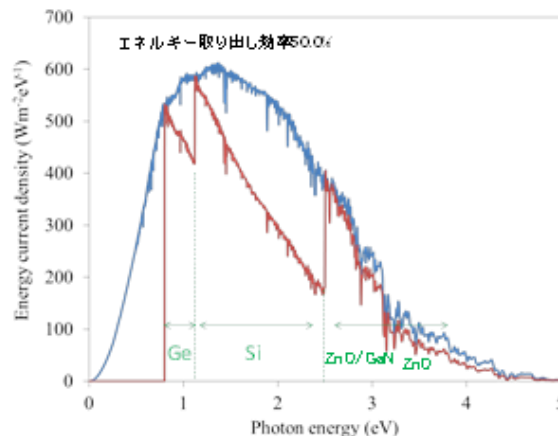


図2 シリコン・ゲルマ・ZnO 積層太陽電池の分光特

#### 低抵抗・高耐性透明導電膜

ガリウム添加酸化亜鉛(GZO)膜表面にキャップ層を設け500°C前後の温度でアニールすることで抵抗率が大きく低減できることを見いだした。図3は、キャップ層の無い膜(黒)と、キャップ層を形成した膜(赤、および、紫)の抵抗率のアニール温度変化を示している。キャップ層を設けることで抵抗率がアニールなしの場合に比べ約半分に低下しており、条件により  $3 \times 10^{-4}$  ( $\Omega \text{ cm}$ ) の値(GZO膜のトップレベル)を示した。この結果は、酸化亜鉛系透明導電膜の特性発現機構の解明、産業応用へのポテンシャル向上に新しい知見を与えるものである。

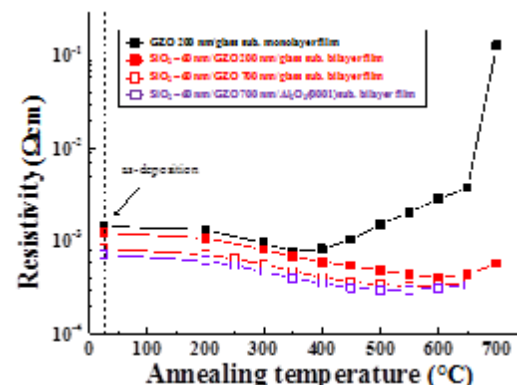


図3 GZO 導電膜の抵抗率のアニール温度変化。

### A-2. 高性能電力貯蔵用デバイスの開発

室温付近での熱電変換材料である  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  に周期的圧力印加パルス通電焼結を適用した。図は本研究の手法による

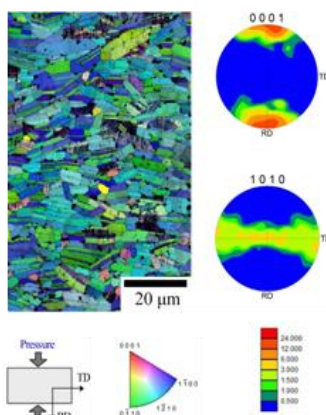


図4  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ 系熱電半導体のEBSD結晶方位マップと極点図。

$\text{Bi}_2\text{Te}_3$ の結晶方位マップである。加圧方向とc軸がほぼ対応していることがわかる。この結果は、加圧方向と垂直な面が、高性能方向に対応していることに対応する。このプロセスにより、通常焼結の1.5倍の熱電出力因子を得ることができた。

### B-1. ナノ粒子の医療・食品応用

ヒト肺小細胞癌細胞 N417, H187, H69 をヌードマウスの左肺に移植することに成功した (図 5)。同所性移植モデルを用いることでよりヒト肺癌に近似させた肺癌の診断、治療の検討が可能となる。

### B-2. ナタデココの臨床医療応用

歯科インプラント治療に併せて頻繁に行われる上顎洞底挙上術において、ウサギ前頭洞を用いたモデルを作製しナタデココを用いた新規材料の応用を展開した (図 6)。

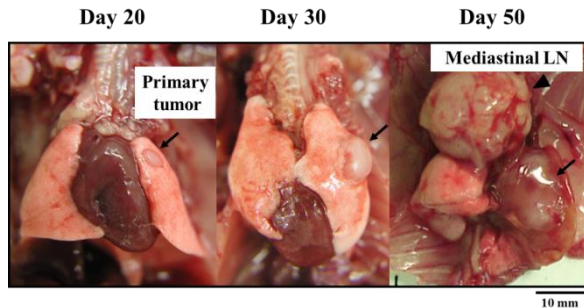


図 5 N417 肺小細胞癌細胞を左肺に移植後、20、30、50 日のマウス肺の肉眼像。

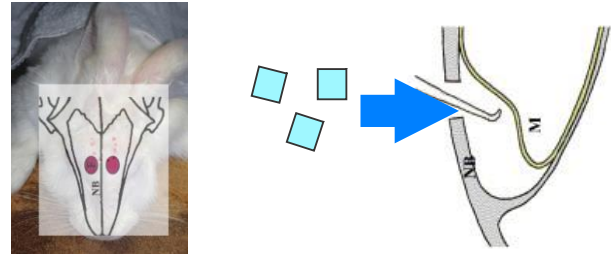


図 6 ウサギ前頭洞に対し洞底挙上術を行い、ナタデココを用いた新規材料を填入。

### C-1. 材料の結晶学的評価

鉄鋼材料に含まれるラスマルテンサイトの自動解析システムを構築した。図 7 は一つの旧オステナイト粒に含まれるラスマルテンサイトの解析結果で、(a)はパケット、(b)はバリエントを示している。(b)に含まれる黒線と白線はそれぞれ大角と小角粒界を意味しており、この図からブロックも同定できる。

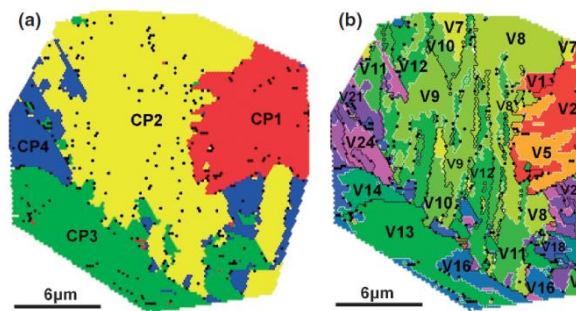


図 7 ラスマルテンサイトの解析結果；(a)パケット図と(b)バリエント図。

### C-2. ナノ物質の安全性評価

シクロデキストリンを使用した生細胞への酸化亜鉛ナノ粒子の安全評価技術の確立

分裂酵母をモデル生物としたレーザーラマンイメージング技術による安全評価方法の診断技術を確立した。

さらにシクロデキストリンを使用した生細胞への新規の安全性影響評価方法を考案し、複数の薬物が酵母の代謝に与える影響評価を行った。

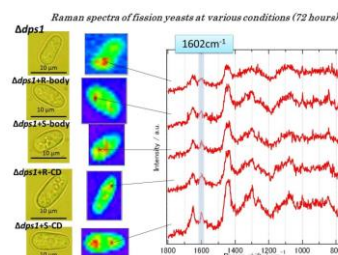
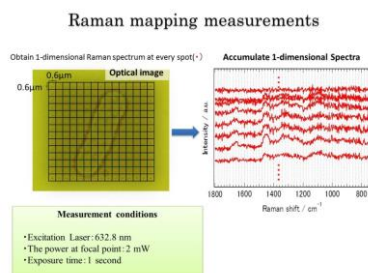
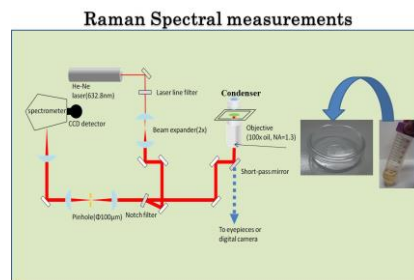
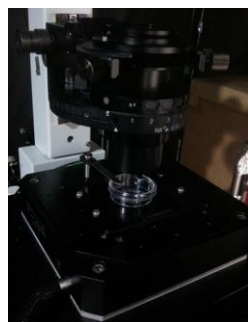


図 8 レーザーラマンイメージング技術を活用した安全性評価技術のイメージ。

## ⑩ 研究成果の教育への還元について

(計画書の内容を踏まえて、今年度取り組んだ内容を記入して下さい。)

### 1. 医理工農連携プログラム・学際的副専攻

本プロジェクトでは、医理工農連携プログラムの学生の研究環境を提供し、両キャンパスをまたがり研究を行う学生を支援している。H25 年度は学生グループが附属病院の検査部の課題を解決するためのプロジェクト実習の支援を行った。また、レーザーマンイメージング法を活用した医学部における応用研究など、学際的卒業研究の指導を行った。

### 2. 産学連携・地域連携教育

●総合理工学研究科の産学官教育推進センターが提供する実践教育プロジェクトおよび学部の企業実践プロジェクトの授業や卒業研究などにおいて学生グループが地域企業の課題を解決するためのプロジェクト実習を行った(4社)。この実習において学生が開発した新製品は東京ビックサイトにおける展示会(LED Next Stage)に出展が決まるなど学生の成功体験となる成果もでている。

●産業界や学内の異分野との接点を持たせたため多くの学生を出雲産業フェアや nano tech2014 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議の本プロジェクトブースの出展者として参加させた。

●教育学部 1000 時間体験活動「環境寺子屋」における電気エネルギー変換や応用物理学会「リフレッシュ理科教室」など多くの教育活動に貢献した。

### 3. 国際交流

●台湾ラマン学会のサマーキャンプに学生を参加させ、昨年度来日した台湾の学生などと相互交流を継続的に行っている。

●本学学生が北テキサス大学、北テキサス大学ヘルスサイエンスセンター、テキサスクリスティアン大学を訪問し、共同研究に関する実験を行うなど研究交流を継続的に進めている。

### 4. 学生の受賞

●加藤雪(総合理工学研究科、物理・材料科学領域、修士1年) 日本化学会「低次元系光機能材料研究会」第2回サマーセミナー優秀発表賞

●平儀野雄斗(総合理工学研究科博士後期課程) The 16th International Conference on II-VI Compound and Related Materials, Best Student Presentation Awards.

●島林佑次(総合理工学研究科、物理・材料科学領域) 日本鉄鋼協会中国四国支部講演大会優秀学生賞



nano tech2014 島根大学のブース。

## ⑪ 若手研究者育成プランについて

(計画書の内容を踏まえて、今年度取り組んだ育成プランについての取り組みの結果を記入してください。)

### 1. 若手研究者育成プラン

●研究発表機会等の提供: 若手研究者に対して国際会議や交流会等の多くの研究発表機会を提供した。また、国際展示会においても若手研究者主体で派遣する等、研究交流や国際交流の機会を提供した。

●地域貢献に対応した人材養成: 共同研究の前段階である研究支援や産業展示会における多くの企業との交流から、地域や産業界のニーズについて考えることができる教員や学生を養成できる。特に学際領域の基礎科学であるナノテクは、基礎科学にもかかわらず様々な産業の応用に関わる技術であり、多くの分野の教員や学生が参画できる。様々な機会です若手研究者と企業との接点を作る活動を積極的に推進した。

### 2. 若手研究者育成の成果

若手研究者については受賞(特筆すべき成果参照)や科研費若手Bの獲得など活発な成果を上げた。特に、次期重点研究のリーダー候補としての提案が准教授以下から3件あったことは、若手研究者の積極性を表しており、特筆すべき育成成果と考えられる。



企業訪問が初めての教員も含む企業訪問(PBL受け入れ企業を開拓)。

## ⑫ 本研究プロジェクトの成果の公表計画について (学術雑誌への投稿、国際学会での発表、特許申請など)

プロジェクトの成果は今後も学術雑誌や国際会議、特許出願などで積極的に公表する。また、3年間のプロジェクトの成果は報告書にまとめる予定である(H26年3月)。本プロジェクトの学際的な活動はナノテクプロジェクトセンター、ラマンプロジェクトセンターに引き継いで継続し、その成果はセンターの広報としてWebや公開講座などで発信していく計画である。