

## 先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	次世代癌治療用近赤外線発光シンチレータの系統的研究開発
研究機関・部局・職名	東北大学・金属材料研究所・教授
氏名	吉川彰

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成25年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	116,000,000	116,000,000	0	116,000,000	116,000,000	0	0
間接経費	34,800,000	34,800,000	0	34,800,000	34,800,000	0	0
合計	150,800,000	150,800,000	0	150,800,000	150,800,000	0	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	100,000	75,316,825	16,600,935	0	92,017,760
旅費	0	5,988,940	3,555,628	0	9,544,568
謝金・人件費等	0	7,074,015	5,418,151	0	12,492,166
その他	0	578,659	1,366,847	0	1,945,506
直接経費計	100,000	88,958,439	26,941,561	0	116,000,000
間接経費計	30,000	25,016,120	9,753,880	0	34,800,000
合計	130,000	113,974,559	36,695,441	0	150,800,000

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
恒温器光量測定システム	TKS-GYS	1	2,794,365	2,794,365	2011/9/26	東北大学
SETARAN社製 超高温熱分析装置	SETSYS Evolution24 Base Unit	1	14,271,075	14,271,075	2012/2/27	東北大学
赤外分光装置	NIR-1600-X	1	48,373,500	48,373,500	2012/3/30	東北大学
結晶方位測定・切断システム用検出	RASCO-TU	1	1,995,000	1,995,000	2012/3/26	東北大学
炭素鋼管	冷却水用配管	1	828,000	828,000	2011/11/24	東北大学
高精度シンチレーション光検出装置	SPC-212104282-001	1	8,179,500	8,179,500	2013/2/28	東北大学
TDC/E-SPL時間差エネルギー同時測定装置	TDC/E-SPL	1	1,890,000	1,890,000	2012/11/12	東北大学
LCRメータ	E4980A再生品	1	1,102,500	1,102,500	2012/7/20	東北大学
高温用光電子増倍管	R1288AH-07	1	784,350	784,350	2012/7/3	東北大学
ソースメータ	2410	1	880,740	880,740	2012/6/21	東北大学
増幅器	A572A	1	521,136	521,136	2012/6/7	東北大学
中性子線源	N-252CE	1	886,200	886,200	2012/4/25	東北大学

5. 研究成果の概要

我々独自結晶育成方法等を用いて、次世代癌治療用近赤外線発光シンチレータ結晶の育成を行った。その結果 (Gd,Y)3(Al,Ga)5O12, Gd2Si2O7といった酸化物母材結晶やフッ化物母材結晶にNd、Yb、Cr等を賦活剤として添加した結晶の育成に成功した。

さらに本研究では、赤外分光装置等、独自の検出器の設計・立ち上げも行った。そして前述の結晶について、透過率やシンチレーション特性等を測定した。

その結果、Cr添加ガーネット結晶などで、X線照射によって人体透過可能な赤外線領域(おおよそ650 - 1,100 nm)での発光が観測できた。さらに撮像など応用をめざして当初計画以上の研究に取り組み、医療応用への道筋をつけることができた。

これらの成果について、関連論文として30本以上、国際・国内学会は30本以上(うち招待講演5講演含む)を発表した。TECH Biz EXPO2011などの展示会、研究室のホームページにおける広報等を通じて国民との科学・技術対話にも積極的に取り組んだ。

課題番号	LR008
------	-------

## 先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます
------------------

研究課題名 (下段英語表記)	次世代癌治療用近赤外線発光シンチレータの系統的研究開発
	Development of Infrared scintillator for the next-generation tumor-treatment
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	東北大学・金属材料研究所・教授
	Tohoku University, Institute for Materials Research, Professor
氏名 (下段英語表記)	吉川彰
	Akira Yoshikawa

### 研究成果の概要

(和文):

我々独自結晶育成法であるマイクロ引下げ法等を用いて、次世代癌治療用近赤外線発光シンチレータ結晶として酸化物およびフッ化物母材結晶に Nd、Yb、Cr 等を添加した結晶の開発を行った。さらに評価用に赤外分光装置等、独自の検出器の設計・立ち上げも行い、前述の結晶について、透過率やシンチレーション特性等を測定した。その結果、Cr 添加ガーネット結晶などで、X 線照射によって人体透過可能な赤外線領域(650~1100 nm)での発光の観測に成功した。これらには赤外線領域で放射線一個ごとでの発光量測定が可能になるという赤外発光材料の中での優位性が見られた。更に応用を目指して、撮像に成功するなど当初計画以上の研究にも取り組み、がん治療時の危険性軽減に向けた道筋をつけることができた。

(英文):

We have developed novel infra-red scintillators based on oxide and fluoride crystals or ceramics doped with Nd, Yb and Cr. The crystals were grown by our original technique called "micro-pulling down method". We have also developed novel original detectors in order to study the scintillation and optical properties in the infra-red region. We succeeded in developing bright scintillators emitting at the infra-red (e.g. Cr-doped garnet crystals) under X-ray excitation, and succeeded in single radiation particle counting. Moreover, we could obtain more additional results than that was expected; for example, we successfully developed infra-red imaging technique employing alpha rays.

1. 執行金額 150,800,000 円  
 (うち、直接経費 116,000,000 円、 間接経費 34,800,000 円)

2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成25年 3月31日

3. 研究目的

本研究は近年癌治療において大きな役割を果たしつつある放射線治療法における、低侵襲なリアルタイム線量計用近赤外線発光シンチレータの系統的な研究開発を目的とする。

シンチレータとは一般に非可視な MeV オーダーの単一電離放射線を eV オーダー（可視～紫外域）の複数の光子へと変換する材料である。変換された光子は光電子増倍管等の受光素子によって電子へと変換され、読み出される。癌診断の中心である陽電子断層撮影装置（PET）や X 線 CT のみならず、資源探査、セキュリティ、高エネルギー物理、文化物非破壊検査等広範な応用領域を有している。申請者は、ライフサイエンスにおいて従来診断に用いられてきたシンチレータを、

発光波長域をこれまで系統的な研究が行われてこなかった近赤外線にすることで癌放射線治療にも応用可能であると着想し、赤外線発光シンチレータに取り組んだ。

癌治療において放射線治療法は他の治療法よりも患者への負担が小さいため、実施例が増えつつある。この放射線治療では、基本的には X 線 CT に基づいた治療計画のもとで放射線治療が行われているが、2005 年には、治療計画用コンピュータによる線量計算の結果と体内の実際の線量の差が 5% を超える場合が高頻度にあるとの報告がなされた。5% の線量誤差は治療成績に差を生じるレベルとされており、従来の放射線で制御できなかった症例は、部分的な線量不足/過剰（過少/過剰照射）に起因する可能性も指摘されている。そのため治療中の体内線量を正確かつリアルタイムにモニタすることは、治療成績向上を希求するうえで必須であるとの議論がなされるようになった。

このような状況の中、申請者は本学病院の放射線科教授らにリアルタイム線量

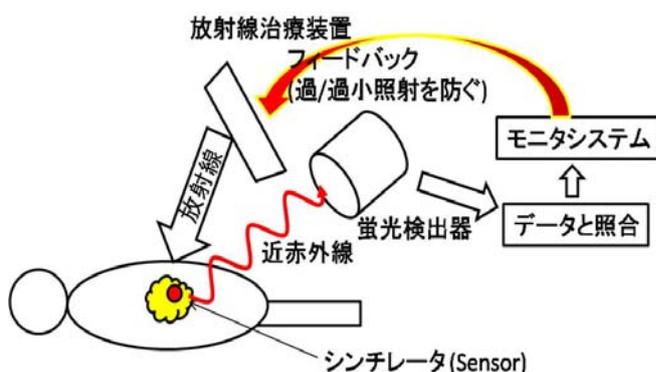


図 1 近赤外線発光シンチレータを応用した放射線治療線量計測法の概念図。

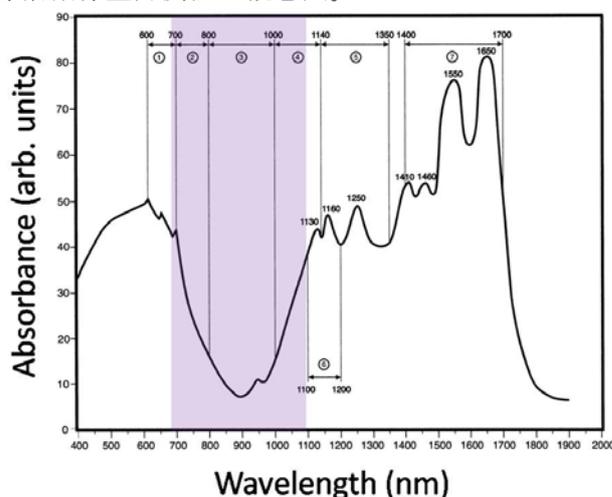


図 2 人体の典型的な吸収スペクトル。色つき部が目標とする波長域。

計開発の相談を受ける過程で、近赤外発光シンチレータを利用するのが良いという着想を得た。図 1 には近赤外発光シンチレータを用いた治療システムの概念図を示す。開発したシンチレータは 1-3 mm 球状に加工され、X 線 CT 等にて発見された腫瘍部にカテーテル挿入される。LINAC 等の治療装置からの放射線がシンチレータに入射すると、冒頭に述べたように付与した線量に比例する近赤外線光子が東方的に放出される。図 2 に示すように、人体は 700-1100 nm 近辺の近赤外線領域においては吸収の窓を持つために体外に透過する。体外に透過した近赤外線は、検出器によって検出され、その検出量に応じた線量をリアルタイムに計測する。これによって、カテーテル挿入による低侵襲なリアルタイム型線量計が成り立つ。

本研究では我々独自の結晶育成方法であるマイクロ引下げ法( $\mu$ -PD 法)、その他の結晶、セラミックス合成法を用いて候補シンチレータ材料の合成、評価を行い、その結果を理解し、可視光同様に X 線照射によって人体透過可能な赤外線領域(おおよそ 650 - 1100 nm)での高輝度材料を開発することを目的とする。

そのために、酸化物ホスト + 希土類元素添加系、酸化物ホスト + 遷移金属添加系、フッ化物ホスト + 希土類元素添加系、フッ化物ホスト + 遷移金属添加系の4系統で探索合成を進めて、得られた結晶に対しては結晶性評価、組成分析、光物性評価、放射線応答特性評価を順次行い、系統的に特性を把握し、目的材料の開発を実現する。

#### 4. 研究計画・方法

本研究における目標は、650 - 1100 nm 近辺で発光し、LINAC による放射線照射時に動物肉を透過する新規シンチレータを開発することであり、大まかには下記のように進めた。

- (1) 研究室独自の結晶作製法である  $\mu$ -PD 法を駆使してサンプルを合成する。
- (2) 得られたサンプルに対しては、X 線回折法を用いた結晶性評価(RIGAKU, ATX-E)や、SEM(Hitachi, S-3400N)、EPMA(Oxford, INCA WAVE500)、XRF(Ourstex, 160II)といった結晶性評価、透過率測定装置(JASCO, V-530)、反射率測定装置(Shimadzu UV-2550)、フォトルミネッセンス装置(浜ホト, FLS920)を駆使した光物性評価、近赤外受光素子とアセンブリしての密封線源を用いての放射線応答評価までを研究室内において随時行い、最適なサンプルを見出す。
- (3) これらの結果を育成にフィードバックさせて材料の最適化を図る。

5. 研究成果・波及効果

我々独自結晶育成方法であるマイクロ引下げ法 ( $\mu$ -PD 法)をはじめとした結晶育成法を用いて、次世代癌治療用近赤外線発光シンチレータ結晶の育成と評価を行ってきた。ここで、癌治療にはX線、ガンマ線といった放射線が用いられ、本研究ではこれらの放射線を検知して人体透過のできる赤外線を発光する物質の研究を行った。

具体的には  $Y_3Al_5O_{12}$ ,  $Lu_3Al_5O_{12}$ ,  $(Gd,Y)_3(Al,Ga)_5O_{12}$ ,  $Gd_2Si_2O_7$ ,  $Gd_3Ga_5O_{12}$ ,  $Bi_{12}GeO_{20}$ ,  $LiNbO_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaYAlO_4$  といった酸化物母材結晶および  $CaF_2$ ,  $BaF_2$ ,  $SrF_2$ ,  $BaLu_{1.2}Y_{0.8}F_8$ ,  $BaYb_2F_8$  といったフッ化物母材結晶に Ce, Pr, Nd, Er, Yb といった希土類元素や Cr, Ti 等の遷移元素を賦活剤として添加した結晶の育成に成功した(図3)。

これら作製した結晶によりX線回折法を用いた結晶性評価(RIGAKU, ATX-E)や、SEM(Hitachi, S-3400N)、EPMA(Oxford, INCA WAVE500)、XRF(Ourstex, 160II)といった結晶元素組成分析を実施した。

さらに本研究では、装置開発も進め、赤外分光装置の立ち上げを行った(図4)。

また研究計画以上の成果を得ることが期待できることから、高精度シンチレーション光検出装置および時間差エネルギー同時測定装置といった新しい独自の検出器の設計、立ち上げも行い、実際の医療で用いることになる赤外領域での透過率、発光波長等の光物性、シンチレーション特性について、前述の結晶サンプルを用いて研究することができた。

その結果、Nd 添加  $Lu_3Al_5O_{12}$ 、Yb 添加  $Gd_3(Ga,Al)_5O_{12}$  といったガーネット結晶や  $Ti:Al_2O_3$ ,  $Cr:CaYAlO_4$ ,  $BaYb_2F_8$  などで、X線照射によって人体透過可能な赤外線領域(おおよそ 650 - 1100 nm)での発光を確認することができ、目的を達成することができた。また、その発光由来などの基礎学的な面も含めて考察も行うことができた。

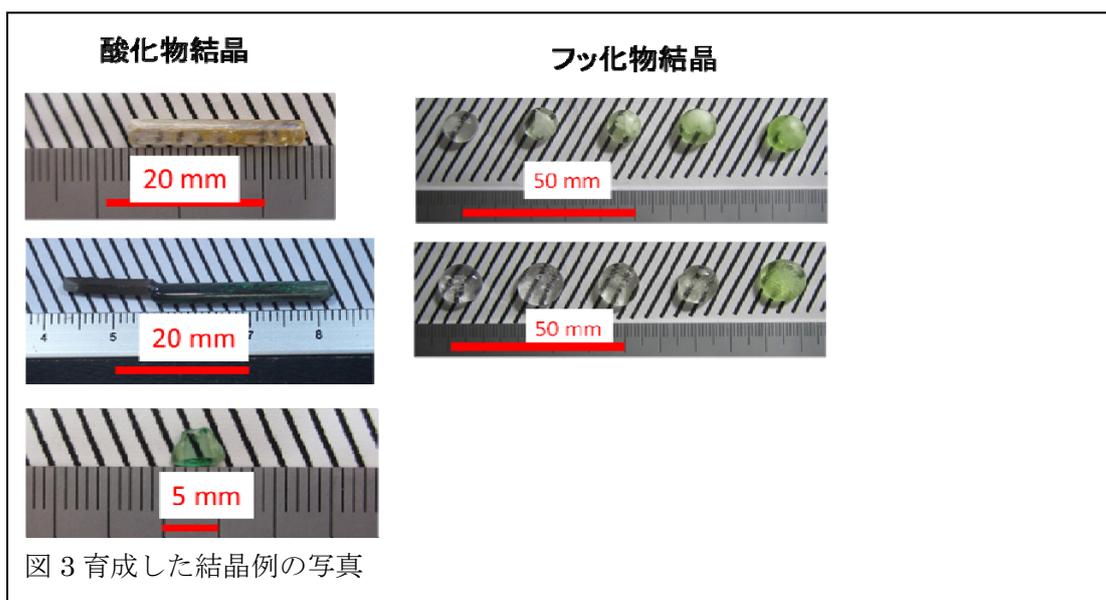


図3 育成した結晶例の写真

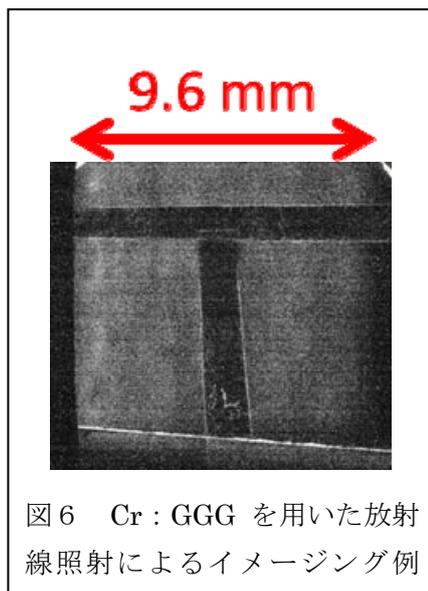
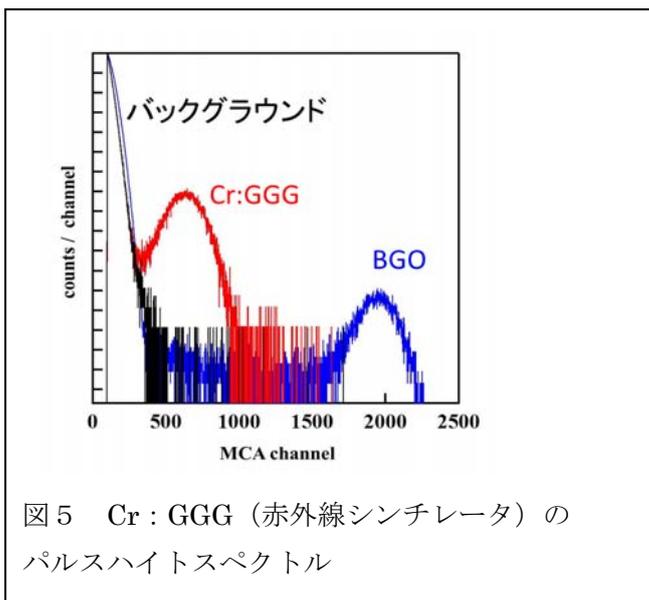


図4 赤外線シンチレータ評価用の新分光器の様子

特に Cr 添加  $Gd_3Ga_5O_{12}$ (Cr:GGG)では図5の通り、パルスハイト測定に世界で初めて成功した。比較として可視光領域で良く利用される BGO 結晶と比べて 30%程度の発光量であったが、図5中の信号は放射線 1 個の入射による発光量を評価したもので、実際の治療モニタ等の応用ではこれらの入射放射線を積算させて線量を測定するので、十分に明るいことが示された。既存の赤外線発光シンチレータは、不透明なものや発光量評価にある程度の放射線を入射させないと測定できないという問題があった。しかし、本研究では透明な発光体で、より効率的に光を結晶外部へ取り出せ、さらに物質自体の発光特性もよく、単一の放射線のみでの発光量を評価できるほどの明るさや減衰時間等を兼ね備えているという進歩性を得ることに成功した。

さらに赤外シンチレータの探索という当事業で設定した目的を達成した後(研究期間後期から)は、実際の医療応用を意識した取り組みも実施しており、応用に向けてイメージング(図6)など当初計画以上の研究に取り組むことができた。また、豚肉を用いて、赤外線の透過実験にも成功した。なお、このイメージング装置に関しては、量子効率が 700nm 付近で 40%を超える新型の CMOS カメラを使用した。いままでは赤から赤外線領域での光測定には CCD カメラなどが使用されてきたが、最近 CMOS カメラの難点であった暗電流なども改善され、CCD に比べて CMOS カメラの利点である時間応答性を有しながら、CCD カメラと同等の性能を有する新規 CMOS カメラが開発された。そこでこの新規 CMOS カメラを利用してイメージング装置を組んだ。本研究はこの新規 CMOS カメラおよびイメージング装置をつかった初めてのシンチレータ評価であり、先進性および開発した技術・優位性を持つことができた。そして、この評価方法は、医療応用のみならず、考古学、資源探査、新薬や新物質の研究時に使用される場合がある放射光のビームプロファイルの確認などの X 線イメージングにも適用の可能性があり、関連研究分野への進展も十分に考えられる結果となった。

このように、本研究を通して医療応用に向けた赤外線シンチレータの開発およびその評価が大いに進んだ。材料面での開発については一定の成果が上がったので、今後はこれらの材料を用いたリアルタイムモニタの実用化を目指した研究をすすめる。これによって国民の三大疾患であるがんの治療について、いままで過剰照射および誤った部位への照射による事故をリアルタイムにモニタすることで防ぎ、より安心、安全な治療の実施がなされるという効果が期待される。このように国民生活における課題解決への波及効果のある研究となった。



6. 研究発表等

雑誌論文  計31件	(掲載済み一査読有り) 計24件 1. T. Yanagida, K. Kamada, Y. Fujimoto, Y. Yokota, A. Yoshikawa, H. Yagi, T. Yanagitani "Scintillation properties of transparent ceramic and single crystalline Nd:YAG scintillators " Nuclear Instruments and Methods in Physics A., (2011), vol. 631, pp.54-57.  2. Y. Fujimoto, Y. Yokota, T. Yanagida, V. V. Kochurikhin, A. Yoshikawa "Comparison study about optical, scintillation characterizations of YVO4, (Y, Lu)VO4, and LuVO4 single crystals " Nuclear Instruments and Methods in Physics A, (2011), vol. 635 (1), pp. 53-56.  3. , A. Fukabori, V. Chani, K. Kamada, F. Moretti, A. Yoshikawa Growth of Tm3+ doped Y2O3, Sc2O3, and Lu2O3 crystals by the micro-pulling down technique and their optical and scintillation characteristics " Cryst. Growth Des., (2011), vol. 11(6), pp. 2404-2411.  4. G. Boulon, T. Epicier, W., V. I. Chani, T. Yanagida, and A. Yoshikawa "Absence of Host Cation Segregation in the (Gd,Y)3Al5O12 Mixed Garnet Optical Ceramics " Jpn.J,Appl.Phys., (2011), vol. 50, p 090207  5. D. Totsuka, T. Yanagida, Y. Fujimoto, J. Pejchal, Y. Yokota, A. Yoshikawa "Crystal growth and scintillation properties of Pr-doped oxyorthosilicate for different concentration " Nucl. Instrum. Meth-A, (2011), vol. 643(1),pp. 64-68  6. M. Sugiyama, Y. Fujimoto, T. Yanagida, Y. Yokota, J. Pejchal, Y. Furuya, H. Tanaka, A. Yoshikawa "Crystal growth and scintillation properties of Nd-doped Lu3Al5O12 single crystals with different Nd concentrations " Opt. Mater., (2011), vol. 33(6), pp. 905-908  7. Y. Furuya, H. Tanaka, K. Fukuda, N. Kawaguchi, Y. Yokota, T. Yanagida, V. Chani, M. Nikl, A. Yoshikawa "Crystal growth and characterization of (NaxCa1-2xLux)F2 single crystals" J. Cryst. Growth, (2011), vol. 320, pp. 63-68.  8. A. Fukabori, K. Kamada, T. Yanagida, V. Chani, K. Aoki, Y. Yokota, S. Maeo, M. Nikl, A. Yoshikawa "Optical and scintillation properties of Sr7%:Ce15%:GdF(3) single crystal " J. Cryst. Growth, (2011), vol. 318, pp. 1175-1178  9. M. Sugiyama, T. Yanagida, Y. Fujimoto, D. Totsuka, Y. Yokota, S. Kurosawa, Y. Futami, A. Yoshikawa "Crystal Growth and Scintillation Properties of Ho-doped Lu3Al5O12 single crystals " IEEE Transactions on Nuclear Science, (2012)、vol. 59 pp. 2141-2145  10. K. Kamada, T. Yanagida, T. Endo, K. Tsutumi, M. Yoshino, J. Kataoka, Y. Usukia, Y. Fujimoto, A. Fukabori, A. Yoshikawa "Large size single crystal growth of Lu3Al5O12: Pr and their uniformity of scintillation properties " Journal of Crystal Growth, (2012), vol. 352 pp. 91-94.
------------------	--

<p>11. Y. Fujimoto, T. Yanagida, Y. Yokota, A. Ikesue, A. Yoshikawa          "Evaluation of Characterization of Rare-earth doped Sesquioxide Ceramic scintillators "          Opt. Mat.,(2011), vol 34, pp. 448-451.</p> <p>12. Y. Fujimoto, T. Yanagida, Y. Yokota, N. Kawaguchi, K. Fukuda, D. Totsuka, K. Watanabe, A. Yamazaki, A. Yoshikawa          "Scintillation characteristics of Tm<sup>3+</sup> in Ca<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> crystals "          Rad. Meas., (2011), vol. 46, pp. 1506-1508.</p> <p>13. M. Sugiyama, Y. Fujimoto, T. Yanagida, D. Totsuka, Y. Yokota, A. Yoshikawa          "Scintillation properties of Tm-doped Lu<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> single crystals "          Opt. Mat., (2011), vol. 34, pp. 439-443.</p> <p>14. Shunsuke Kurosawa, Makoto Sugiyama, Takayuki Yanagida, Yuui Yokota and Akira Yoshikawa          "Temperature dependence of the scintillation properties of Ce:GSO and Ce:GSOZ"          Nuclear Instruments and Methods in Physics A vol. 690, pp. 53 - 57 (2012).</p> <p>15. Akihiro Fukabori, Liqiong An, Akihiko Ito, Valery Chani, Kei Kamada, Takashi Goto, Akira Yoshikawa          "Scintillation characteristics of undoped Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> single crystals and ceramics"          IEEE Transactions on Nuclear Science vol. 59, pp. 2594 - 2600 (2012).</p> <p>16. Akihiro Fukabori, Valery Chani, Kei Kamada, and Akira Yoshikawa          "Growth of Yb-doped Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> single crystals by the micro-pulling-down technique and their optical and scintillation characterization"          JCG vol. 352, pp.124 - 128 (2012).</p> <p>17. Akira Suzuki, Shunsuke Kurosawa, Jan Pejchal, Vladimir Babin, Yutaka Fujimoto, Akihiro Yamaji, Mafuyu Seki, Yoshisuke Futami, Yuui Yokota, Kunio Yubuta, Toetsu Shishido, Masae Kikuchi, Martin Nikl and Akira Yoshikawa          "The effect of different oxidative growth conditions on the scintillation properties of Ce:Gd<sub>3</sub>Al<sub>3</sub>Ga<sub>2</sub>O<sub>12</sub> crystal"          p.s.s. (c) 9 pp. 2251 - 2254 (2012).</p> <p>18. Yutaka Fujimoto, Takayuki Yanagida, Shingo Wakahara, Hideki Yagi, Takagimi Yanagidani, Shunsuke Kurosawa, Akira Yoshikawa          "Scintillation properties of Yb<sup>3+</sup>-doped YAG transparent ceramics"          Opt. Mat. vol. 35, pp. 778 - 781 (2013).</p> <p>19. Shingo Wakahara, Takayuki Yanagida, Yuui Yokota, Yutaka Fujimoto, Valery Chani, Makoto Sugiyama, Yoshisuke Futami and Akira Yoshikawa          "Phosphorescent Luminescence of Pure Magnesium Oxide Transparent Ceramics Produced by Spark Plasma Sintering"          Opt. Mat. vol. 35, pp. 558 - 562 (2013).</p> <p>20. Akira Suzuki, Shunsuke Kurosawa, Toetsu Shishido, Jan Pejchal, Yuui Yokota, Yoshisuke Futami, and Akira Yoshikawa          "Fast and High-Energy-Resolution Oxide Scintillator: Ce-Doped (La,Gd)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>"          Appl. Phys. Express vol. 5, 102601, (2012).</p> <p>21. Vladimir Babin, Akihiro Fukabori, Vitezslav Jary, Alena Beitlerova, Valery I. Chani, Akira Yoshikawa, and Martin Nikl</p>
---

	<p>“Luminescent properties of RE<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (RE = Lu, Sc, Y) singlecrystals and ceramics” The European Physical Journal B 86, p93 (2013)</p>
22.	<p>Makoto Sugiyama, Takayuki Yanagida, Daisuke Totsuka, Yuui Yokota, Yoshisuke Futami, Yutaka Fujimoto, Akira Yoshikawa Crystal growth and luminescence properties of Cr-doped YAlO<sub>3</sub> single crystals JCG vol. 362 pp. 157 – 161 (2013).</p>
23.	<p>Yoshihiro Ohashi, Nobuhiro Yasui, Yuui Yokota, Akira Yoshikawa, Toru Den “Submicron-diameter phase-separated scintillator fibers for high-resolution X-ray imaging” Appl. Phys. Lett. Vol 102, 51907 (2013).</p>
24.	<p>Development of LuAG-based scintillator M. Nikl, A. Yoshikawa, K. Kamada, K. Nejezchleb, C.R. Stanek, J.A. Mares, K. Blazek Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials 59 (2013) pp. 47–72</p>
	<p>(掲載済み一査読無し) 計1件</p>
1.	<p>M. Sugiyama, Y. Fujimoto, T. Yanagida, D. Totsuka, Y. Furuya, Y. Yokota, A. Yoshikawa “Scintillation properties of rare-doped Lu<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> single crystals” The 6th International Workshop on Individual Monitoring of Ionizing Radiation Proceedings (2011), pp. 317–319</p>
	<p>(未掲載) 計6件</p>
1.	<p>Akira Yoshikawa, Yutaka Fujimoto, Akihiro Yamaji, Shunsuke Kurosawa, Jan Pejchal, Makoto Sugiyama, Shingo Wakahara, Yoshisuke Futami, Yuui Yokota, Kei Kamada, Kunio Yubuta, Toetsu Shishido, Martin Nikl “Crystal growth and characterization of Ce:Gd<sub>3</sub>(Ga,Al)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> single crystal using floating zone method indifferent O<sub>2</sub> partial pressure” Opt. Mat. (受理済み,印刷中) Optical Materials (in press) <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.optmat.2013.02.021">http://dx.doi.org/10.1016/j.optmat.2013.02.021</a></p>
2.	<p>Makoto Sugiyama, Yutaka Fujimoto, Takayuki Yanagida, Daisuke Totsuka, Valery Chani, Yuui Yokota, Akira Yoshikawa “Nd-doped Lu<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> single-crystal scintillator for X-ray imaging” Rad. Meas. (受理済み,印刷中)</p>
3.	<p>Yuui Yokota, Masato Sato, Valery Chani, Yoshisuke Futami, Kazushige Tota, Shunsuke Kurosawa, Ko Onodera and Akira Yoshikawa “Growth of column-shaped and plate-like langasite-type piezoelectric single crystals and their physical properties” Sens. &amp; Act. A. Phys. (受理済み,印刷中)</p>
4.	<p>Shunsuke Kurosawa, Takayuki Yanagida, Jan Pejchal, Kentaro Fukuda, Noriaki Kawaguchi, Sumito Ishizu, Toshihisa Suyama, Masanori Nakagawa, Yuui Yokota, Martin Nikl, Akira Yoshikawa “Evaluation of Nd:BaY<sub>2</sub>F<sub>8</sub> for VUV scintillator” Rad. Meas. (受理済み,印刷中)</p>
5.	<p>Shunsuke Kurosawa, Jan Pejchal, Shingo Wakahara, Yuui Yokota, Akira Yoshikawa “Optical Properties and Radiation Response of Ce:SrHfO<sub>3</sub> Prepared by the Spark Plasma Sintering Method” Rad. Meas. (受理済み,印刷中)</p>

	<p>6. Akihiro Yamaji, Yutaka Fujimoto, Takayuki Yanagida, Noriaki Kawaguchi, Kentaro Fukuda, Yuui Yokota, Akira Yoshikawa          “Luminescence properties of Nd<sup>3+</sup> doped LiLuF<sub>4</sub> single crystals with different dopant concentrations”          Opt. Mat. (受理済み,印刷中)</p>
<p>会議発表  計34件</p>	<p>専門家向け 計34件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. A. Yoshikawa              “Development of novel rare earth doped fluoride and oxide scintillators, and 2 dimensional imaging ”              Wroclaw, POLAND, 2011.6.13-15, The Second International Conference on RARE EARTH MATERIALS (REMAT) : 招待講演</li> <li>2. M. Sugiyama, Y. Fujimoto, T. Yanagida, D. Totsuka, Y. Yokota, A. Yoshikawa              “Crystal Growth and Luminescence Properties of Cr-doped YAlO<sub>3</sub> Single Crystals ”              Suntec, Singapore, 2011.6.27-7.1, The 5th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT-5)</li> <li>3. M Sugiyama, Y Yokota, Y Fujimoto, T Yanagida, A Yoshikawa              “Dopant segregation in rare earth doped lutetium aluminum garnet single crystals grown by the micro-pulling down method ”              Monterey, California, 2011.7.31-8.5, The 18th American Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ACCGE-18)</li> <li>4. S. Kurosawa, D. Totsuka, T. Yanagida, Y. Yokota, A. Yoshikawa              “Crystal Growth of Ho:YAP Scintillator and Its Properties ”              Giessen, Germany, 2011. 9.12-16, 11th International Conference on Inorganic Scintillators and their Applications (SCINT 2011)</li> <li>5. Y. Fujimoto, T. Yanagida, Y. Yokota, A. Yoshikawa              “Scintillation Characteristic of Yb<sup>3+</sup>-Doped Gadolinium Gallium Garnets with Different Dopant Concentrations ”              Giessen, Germany, 2011. 9.12-16, 11th International Conference on Inorganic Scintillators and their Applications (SCINT 2011)</li> <li>6. M. Sugiyama, Y. Fujimoto, T. Yanagida, D. Totsuka, Y. Yokota, A. Yoshikawa              “Growth and Scintillation Properties of Ho-Doped Lutetium Aluminum Garnet Single Crystals,” Giessen, Germany, 2011. 9.12-16, 11th International Conference on Inorganic Scintillators and their Applications (SCINT 2011)</li> <li>7. S. Kurosawa, D. Totsuka, T. Yanagida, Y. Yokota, A. Yoshikawa              “Scintillation Properties of Ho:YAP Scintillator using an APD”              Valencia, Spain, October 23-29, 2011, 2011 IEEE Nuclear Science Symposium</li> <li>8. Akira Yoshikawa, Yuui Yokota, Shunsuke Kurosawa, Yutaka Fujimoto, Martin Nikl, Vladimir V. Kochurikhin              “Development of Novel Scintillator Crystals and their applications”              International conference on Solid State Chemistry, Stavropol, Russia, 2012/4/24 Oral (invited)</li> </ol>

	<p>9. S. Kurosawa, V. V. Kochurikhin, M. A. Borik, Y. Yokota, T. Yanagida, A. Yoshikawa  “Scintillation Properties of High-Melting Temperature Single Crystals Using Skull Melting Method”  SORMA west, Oakland, CA, US, 2012, 2012/5/14 Poster</p> <p>10. Jan Pejchal, Martin Nikl, Takayuki Yanagida, Yuui Yokota, Akira Yoshikawa  “Luminescence and Scintillation Properties of Rare-earth-doped BaLu<sub>2</sub>F<sub>8</sub> Single Crystals Grown by Micropulling-down Method”  ICOOPMA12, Nara, Japan, 2012/6/6 Oral</p> <p>11. Akira Suzuki, Shunsuke Kurosawa, Jan Pejchal, Vladimir Babin, Akihiro Yamaji, Mafuyu Seki, Yoshisuke Futami, Yuui Yokota, Kunio Yubuta, Toetsu Shishido, Masae Kikuchi, Martin Nikl, Akira Yoshikawa  “Scintillation Properties of Ce-doped Gd<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Ga<sub>3</sub>O<sub>12</sub> Crystal Grown by Floating Zone Method”  ICOOPMA12, Nara, Japan, 2012/6/4 Poster</p> <p>12. Mafuyu Seki, Vladimir V. Kochurikhin, Shunsuke Kurosawa, Akira Suzuki, Akihiro Yamaji, Yutaka Fujimoto, Shingo Wakahara, Yuui Yokota, Akira Yoshikawa  Optical and Scintillation Properties of Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> Crystals Doped with Rare Earth  ICOOPMA12, Nara, Japan, 2012/6/4 Poster</p> <p>13. Yutaka Fujimoto, Takayuki Yanagida, Shunsuke Kurosawa, Akira Yoshikawa  “Growth and Scintillation Properties of Ce<sup>3+</sup>-doped (Y<sub>x</sub>-1Gdx)AlO<sub>3</sub> Crystals”  ICOOPMA12, Nara, Japan, 2012/6/4 Poster</p> <p>14. Kei Kamada, Takayuki Yanagida, Takayuki Yanagida, Takanori Endo, Kousuke Tsutumi, Yoshiyuki Usuki, Akira Yoshikawa  Crystal Growth and Scintillation Properties of Ce doped (Gd,Y)<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> Single Crystal  ICOOPMA12, Nara, Japan, 2012/6/4 Poster</p> <p>15. S. Kurosawa, M. Sugiyama, Y. Yokota, S. Wakahara, T. Yanagida, A. Yoshikawa  “Optical Property and Radiation Reaction of RE:SrHfO<sub>3</sub> (RE=Ce, Pr) prepared by the Spark Plasma Sintering Method”  LUMDETR 2012, Halle (Saale), Germany, 2012/9/12 Oral</p> <p>16. A. Yoshikawa, K. Kamada, Y. Fujimoto, S. Kurosawa, Y. Yokota, J. Pejchal, Y. Futami, M. Nikl  Crystal chemistry of Cerium doped multicomponent {Gd,RE}<sub>3</sub>[Ga,Al,M']<sub>2</sub> (Ga,Al,M)<sub>3</sub>O<sub>12</sub> single crystalline scintillators and their performance  LUMDETR 2012, Halle (Saale), Germany, 2012/9/12 Oral (invited)</p> <p>17. Y. Yokota, A. Yamaji, Y. Fujimoto, S. Kurosawa, N. Kawaguchi, K. Fukuda, A. Yoshikawa  “Shape-Controlled Scintillator Single Crystals Grown by Micro-Pulling-Down Method”  IEEE/NSS, Anaheim, CA, USA, 2012/10/29 Poster</p> <p>18. A. Yoshikawa, S. Kurosawa, A. Suzuki, M. Seki, A. Yamaji, Y. Fujimoto, Y. Yokota, S. Nagata, T. Shikama, V. V. Kochurikhin  “Crystal Growth and Luminescent Properties of Nd-Doped Ca<sub>3</sub>(Nb,Ga)<sub>5</sub>O<sub>12</sub>”  IEEE/NSS, Anaheim, CA, USA, 2012/10/29 Poster</p> <p>19. S. Kurosawa, Y. Yokota, and A. Yoshikawa  Optical and Scintillation Properties of Eu-doped Fluoride Scintillator and Its Eu<sup>3+</sup>/Eu<sup>2+</sup> Ratio</p>
--	---

	International Symposium on Rare Earths, Okinawa, Japan, 2012/11/8 Poster
20.	Shunsuke Kurosawa, Yuui Yokota and Akira Yoshikawa “Temperature dependence of Ce:SrHfO <sub>3</sub> ceramics scintillator” IWIRM8, Oarai, Japan, 2012/12/2 Poster
21.	Yasuhiro Shoji, Mafuyu Seki, Shunsuke Kurosawa, Yuui Yokota, Vladimir V. Kochurikhin and Akira Yoshikawa “Crystal growth and luminescent properties of Y <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub> and sapphire ( $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) for a dosimeter” IWIRM8, Oarai, Japan, 2012/12/2 Poster
22.	Akira Suzuki, Shunsuke Kurosawa, Toetsu Shishido, Jan Pejchal, Yuui Yokota, Yoshisuke Futami, Akira Yoshikawa “Performance of Novel Oxide Scintillator Ce:(La,Gd) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> with a high energy resolution” VCI 2013, Vienna, Austria, 2012/12/13 Oral
23.	Akira Yoshikawa, Shunsuke Kurosawa, Yuui Yokota, Kei Kamada “Development of high light yield and high energy resolution inorganic scintillator crystals” VCI 2013, Vienna, Austria, 2013/2/12,14 Poster
24.	杉山誠, 柳田健之, 藤本裕, 横田有為, 吉川彰 “ガーネット構造を有する透明セラミックスのシンチレーション特性評価” 東京, 早稲田大学, 2012. 3.15-18, 2012 年春季 第 59 回 応用物理学関係連合講演会
25.	藤本裕, 杉山誠, 山路晃広, 横田有為, 吉川彰, 柳田健之, 池末明生 “Tm <sup>3+</sup> :Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 及び Nd <sup>3+</sup> :Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> セラミックスの発光特性と放射線応答 ” 北海道, 北海道大学, 2011. 9. 7-9、日本セラミックス協会 第 24 回秋季シンポジウム
26.	鈴木 彬, 黒澤俊介, 藤本 裕, 永田晋二, 山路晃広, 四竈樹男, 横田有為, 吉川 彰 “Yb:Y <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub> 単結晶材料の育成および発光特性の評価” 第 73 回応用物理学学会学術講演会(2012 年秋季講演会), 愛媛大学・松山大学, 2012/9/12 口頭発表
27.	黒澤俊介、横田有為、鈴木彬、吉川彰 “SPS 法によるシンチレータ材料の開発” セラミックス協会第 25 回秋季シンポジウム、名古屋大学、2012/9/19 口頭発表
28.	黒澤俊介、横田有為、吉川彰 “シンチレータの開発” 大洗研究会、秋葉原 UDX、2012/9/27 口頭発表
29.	吉川 彰, 横田有為, 黒澤俊介, 藤本 裕, 山路晃広, 西本けい “フッ化物共晶体を使った新しいシンチレータの開発” 第 7 回日本フラックス成長研究発表会、物質・材料研究機構、2012/12/7 口頭発表
30.	黒澤俊介、鈴木彬、宍戸統悦、横田有為、吉川彰 “Ce 添加:(Gd, La) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> シンチレータの開発” 研究会「放射線検出器とその応用」(第 27 回)、高エネルギー加速器研究機構(KEK)、 2013/2/6 口頭発表
31.	山路晃広、黒澤俊介、鈴木彬、関真冬、藤本裕、横田有為、永田晋二、四竈樹男、V. V. Kochurikhin、吉川彰

	<p>“Nd:Ca<sub>3</sub>(Nb,Ga)5O<sub>12</sub> 単結晶の育成及び発光特性” 研究会「放射線検出器とその応用」(第 27 回)、高エネルギー加速器研究機構(KEK)、2013/2/7 ポスター発表</p> <p>32. 吉川 彰 “マイクロ引下げ法を用いた新材料探索と形状制御結晶成長” 結晶成長学会 第 88 回バルク結晶分科会研究会、東北大学、2013/2/22 口頭発表 (招待講演)</p> <p>33. 黒澤俊介, 原田晃一, 庄子育宏, 横田有為, 吉川彰 “高い放射線阻止能を有するシンチレータの開発” 日本物理学会 第 68 回年次大会、広島大学、2013/3/27 口頭発表</p> <p>34. 吉川彰 新規シンチレータ結晶の開発および最近の開発動向 電気化学会創立第 80 周年記念大会、東北大学、2013/3/31、口頭発表、(招待講演)</p> <p>一般向け 計 0 件</p>
<p>図 書 計2件</p>	<p>1. 杉山 誠, 柳田 健之, 横田 有為, 伊藤 暁彦, 福田 健太郎, 河口 範明, 山路 晃広, 深堀 明博, Liqiong An, 藤本 裕, 古谷 優貴, 田中 秀彦, 後藤 孝, 吉川 彰 解説記事 “新規無機シンチレータ材料の開発 ” レーザー研究 vol 39 (5) (2011) 306-311</p> <p>2. 吉川 彰, 柳田 健之, 福田 健太郎, 河口 範明, 鎌田 圭, 藤本 裕, 横田 有為, 黒澤 俊介 解説記事 “シンチレータとそれを用いた放射線モニター ” レーザー研究 Vol. 40(3) (2012) 171-176</p>
<p>産業財産権 出願・取得 状況  計 0 件</p>	<p>(取得済み) 計 0 件  (出願中) 計 0 件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>金属材料研究所 吉川研究室 <a href="http://yoshikawa-lab.imr.tohoku.ac.jp/">http://yoshikawa-lab.imr.tohoku.ac.jp/</a></p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<p>1. TECH Biz EXPO2011、平成 23 年 10 月 20-22 日、名古屋(ポートメッセなごや)、対象者:一般、参加者:1,000 人以上、赤外線シンチレータ開発などの研究室活動内容の紹介</p> <p>2. 東北大学イノベーションフェア、平成 24 年 3 月 15 日、東京(国際フォーラム)、対象者:一般、参加者:500 人以上、赤外線シンチレータ開発などの研究室活動内容の紹介</p> <p>3. メッセナゴヤ2012、平成 24 年 11 月 7-9 日、名古屋(ポートメッセなごや)、対象者:一般、参加者:6 万人以上、赤外線シンチレータ開発などの研究室活動内容の紹介</p>

様式21

新聞・一般 雑誌等掲載 計0件	特になし
その他	特になし

7. その他特記事項

特になし