

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 29 日現在

機関番号：12301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2016

課題番号：26706025

研究課題名(和文)エアロゾルの大気中環境動態を解明するためのイオンビーム顕微動態分析法の開発

研究課題名(英文) Development of micrometer-scaled ion beam analysis technique for the evaluation of environmental dynamics of individual aerosol particles

研究代表者

加田 渉 (Kada, Wataru)

群馬大学・大学院理工学府・助教

研究者番号：60589117

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、荷電粒子誘起発光(Ion beam induced luminescence: IBIL)を利用した微粒子試料の化学組成分布分析技術を開発した。照射対象の化学組成により、IBILの波長に差異が生じる。このため、IBILを顕微分光することで、数マイクロメートル程度の試料の化学組成が分析できる。さらに、集束ビームの高速な走査時間に対応する光子検出器を開発することで、微粒子試料表面の化学組成分布を取得可能とした。実際の微粒子試料を大気取り出し集束イオンビームを利用して分析することで、通常大気環境下での微粒子表面の微量化学組成分布の可視化やその動態解析がIBIL顕微分光により可能となった。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have developed a new ion beam analytical technology of charged particle induced luminescence (IBIL) for individual analysis of airborne particles. IBIL has the possibility to visualize the distribution of organic and inorganics in compounds or on the surface of particles in scale of several micrometers. To enhance its applicability under general microbeam scanning condition, we developed a high resolution type visible light detector based on photo-multiplier tube array. Continuous analysis of IBIL disclosed significant change in the emission wavelength of IBIL from particulate targets as well as organic standards. Based on these experimental results, IBIL spectroscopy and imaging technique enabled to analyze or identify the chemical composition and changes in micrometer-scale targets.

研究分野：量子ビーム科学

キーワード：IBIL 荷電粒子誘起発光 イオンマイクロビーム 化学形態分析 イメージング PIXE エアロゾル

1. 研究開始当初の背景

大気環境中に存在する微粒子(エアロゾル)の内部や表面には、特定の有害元素だけでなく有害な化合物や更にはウイルス・微生物由来の様々な有機物物質を固着させることが可能であることが明らかとなっている。しかしながら、環境中でのエアロゾルの挙動は個別粒子のレベルでは十分に把握されておらず、粒子表面で起こる固着・脱離や変質に伴う化学反応を決定する上で、粒子表面に存在するこれらの化学形態の把握が重要となる。しかしながら、粒子表面に限定して非破壊的に化学状態やその表面分布を取得することが必要であるが、これをイメージングする事は容易ではない。

分析技術としての量子ビーム技術のうち、イオンマイクロビームを利用した分析法である荷電粒子誘起蛍光 X 線分析(Particle-Induced X-ray Emission, PIXE)法は、数マイクロメートルオーダーの試料について元素組成分布の取得が可能である。一般に数 keV 程度のエネルギーを有し、元素組成情報が取得可能な反面、化学結合のような数 eV 程度の情報の取得は困難である。しかしながら本技術では一般的に有機物の分析や化学形態の分析は容易ではない。これに対して、よりエネルギーの低い光子を計測する荷電粒子誘起発光(Ion Beam Induced Luminescence: IBIL)分析法では、元素間の化学結合のような数 eV 程度の情報を反映した信号の取得が可能である。これまでの研究開発により、既存技術と比較して優れた集光効率の IBIL 検出体系がすでに構築されている。他方で、イオンマイクロビーム走査下のような逐次試料に損傷が生じるような環境下では、化学形態の変化に既存光検出器が追従できず、IBIL 分光分析スペクトルに含まれる化学組成情報の信頼性が担保できない。このため既存の IBIL 分析技術では化学組成分析への応用は困難であると想定されてきた。これに対し、IBIL 分析技術に用いられる検出器を高度化し、短時間ごとの化学形態変化を時間的な系列に沿って計測できれば、目的とする微粒子中・表面に含まれる化合物といった化学状態の情報を、準非破壊的に取得することが可能となると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、ミクロンオーダーの試料についてその化学状態の分析・イメージングを可能にする新技术を、イオンマイクロビームプローブを利用して開発することを研究の主目的として掲げた。既往考察結果を踏まえ、IBIL により個別の微小粒子状物質の大気中環境動態の解明につながる粒子表面の有機・無機化合物分布の可視化とその変動解析を可能とするために、必要となる高分解能型可視光検出器を開発した。本分析体系に置かれた微粒子から、イオンビーム励起光子を利用して試料表面の化学組成情報を取得した。

本成果により、有機物標準試料や微粒子試料における化学組成とその時系列での変動を解析し、大気環境中で試料に起こる化学組成変化の可視化が可能であることを実験的に確認した。

3. 研究の方法

3.1 IBIL 連続分光分析システムの開発

本研究開発では、量研機構 高崎量応用研究所イオン照射研究施設(TIARA)に設置された 3 MV シングルエンド加速器マイクロビームライン上に IBIL 顕微分光分析システムを図 1 に示すように開発した。

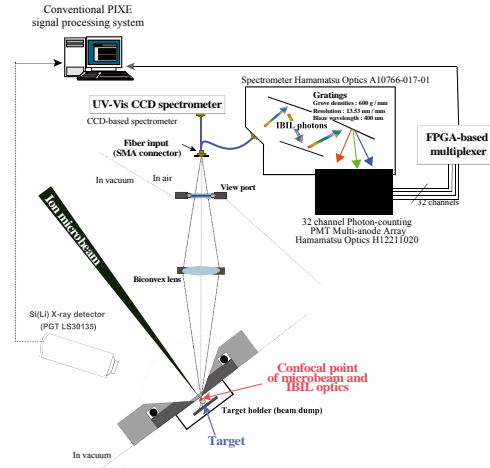


図 1. 大気取出しイオンマイクロビームと共益焦点を有する IBIL 顕微光学系の概念図

本実験体系では約 1mm 四方程度の試料に対する分析が最大走査範囲(800 $\mu\text{m} \times 800 \mu\text{m}$)で可能である。これまでに 3 MeV H^+ マイクロビームをプローブとして、試料を空气中に設置したままで分析が可能な大気マイクロ PIXE 分析体系が既に関係され、分析に応用されている。多くは約 7 μm 厚の高分子薄膜をビーム取出窓として、真空チェンバのビーム照射位置にビーム取出窓材料とともに試料を取り付ける。IBIL 顕微分光装置ではビーム照射領域と光ファイバ入射端を共益焦点とする光学系を構築している。本実験体系は信号対雑音比の面で有利だけでなく、既存設備である、PIXE 用半導体 X 線検出器や他のイオンビーム分析技術と IBIL を同時利用する際の設備上の制約を最小限にとどめることが可能である。

3.2 IBIL スペクトルの解析

いくつかの化学組成が既知の有機物標準試料や無機物試料を対象として、3 MeV H^+ 集束イオンビームによる IBIL スペクトルを取得した。表 1 に無機物と有機物の IBIL ピーク波長の例を示す。また粒径が小さく、荷電粒子照射耐性の高い蛍光体材料を探索し、イメージングを行う際の標準となる試料の検討を行った。このうち SiAlON 蛍光体がマイクロビーム程度の粒径を有し、長時間の荷電粒子照射耐性を有することが確認できた。

これらの材料は荷電粒子モニタにも応用可能と推定できる。本分析体系では、これらの結晶粉末や有機物を利用してシステムの波長校正・イメージング挙動の確認を行ったうえで、IBIL 法の微粒子試料への分析応用をおこなった。

表 1. ILUMIS 装置の波長校正に利用した代表的な有機・無機化合物の発光波長の例

Chemical Composition	Wavelength
SiO ₂	425, 460 nm
SiO ₂ :Fe	695 nm
CaSiO ₃	556, 589 nm
CaMgSiO ₄	525 nm
CaCO ₃	560 nm
Al ₂ O ₃	325 nm
Al ₂ O ₃ :Cr	689 nm
NADH (C ₂₁ H ₂₇ N ₇ O ₁₄ P ₂)	430 nm
Riboflavin (C ₁₇ H ₂₀ N ₄ O ₆)	525 nm

実験に利用する実験試料として、NIST や国立環境研究所 (NIES) が提供するエアロゾル標準試料や実際に大気中から捕集されたエアロゾル試料を用意した。二枚のポリイミド薄膜を張り合わせて密封することで試料ホルダを作製した。このような試料形成により、万一照射時に特異な化学物質が発生した場合でも、環境外への漏洩がないように留意した。

3.3 IBIL 用波長分散型光子検出器の開発

光子計数(フォトンカウンティング)レベルで複数波長にわたり IBIL を同時計測するための検出器を開発した。32 チャンネル光子計数光電子増倍管 (Photomultiplier; PMT) アレイ (浜松ホトニクス HI2211-20) を回折格子 (浜松ホトニクス A10766-017-01、有効波長範囲 320-750 nm) と組み合わせ IBIL 検出器とした。本装置では、波長分解能 約 14 nm で分光分析が可能である。各 PMT アレイは 14 nm の間隔でバンドパスフィルタが設けられた状態で、各波長帯域からの光子計数パルスを出力する。出力信号の処理を従来の PIXE 計測系で用いられるアナログ信号処理系でも処理可能とするために、FPGA (Altera EP4CE15F17C6N) ベースの信号処理回路を開発した。本処理系では、光子計数パルス信号を各チャンネル番号に応じて異なる振幅 (0-10V) に増幅させ、さらにマルチプレクサにより単一のアナログ信号として出力を可能とした(図 2 参照)。

本検出器のバックグラウンドレベルは、常温動作において約 30 カウント/秒/チャンネル程度であった。さらに実試料を用いた分析により、分析対象試料であるシリコン及びケイ酸塩化合物の化学組成の違いなどが可視化可能であることを確認した。

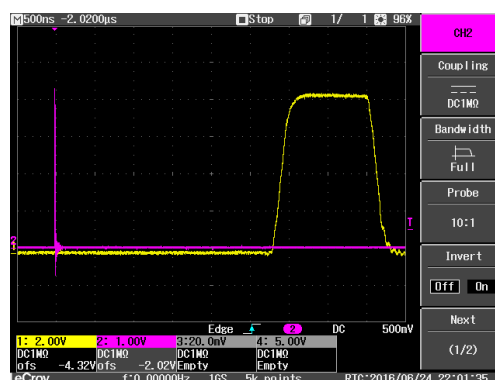


図 2. IBIL の多波長同時分光測定を目的とした IBIL 用検出器の出力波形例。FPGA 処理前のデジタル波形では、Channel ごとに数 ns 程度の波形を出力するとともに、単一のアナログ回路での全信号処理を可能とするマルチプレクサ回路を開発。アナログ回路処理向けに数 μ s のチャンネルごとにパルス波高値の異なる出力信号を発生

4. 研究成果

4.1 IBIL の顕微イメージング

IBIL の多重波長同時イメージングについて、蛍光体粒子等での波長ごとの像の変化を確認した後に、実際の微粒子を含む試料を使用した。図 3 は、一部の微粒子試料に見られた波長ごとの IBIL 像の差異の例を示す。

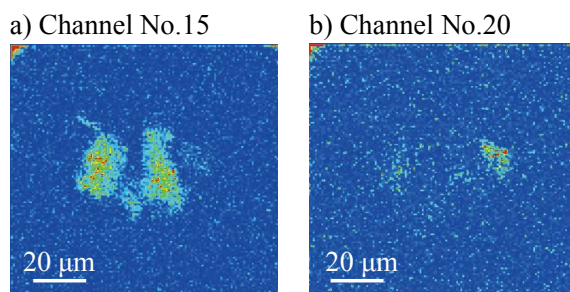


図 3. 複数波長の IBIL 同時分析・イメージング例により取得された中心波長の異なる帯域ごとの微粒子のイメージング例

実験に用いた検出器は、3.3 節で開発した検出器を使用した。異なる中心波長 (c) を有する PMT アレイの異なるチャンネルを用いて、IBIL が発生している本例は、微粒子中に含まれる異なる化合物の分布を可視化している。多波長にわたり IBIL を同時にイメージングした例はこれまでになく、マイクロ PIXE 法では困難な顕微鏡レベルでの化学組成分布の差異を周囲と区別する可能性を有することを示唆している。

4.2 IBIL の連続的分光分析

IBIL 分光分析が分析法として確立するためには、照射ごとに変動するスペクトル強度やスペクトル形状についてその挙動を把握することが重要である。そこで、連続的なビーム照射中に起こる IBIL スペクトル強度の変化を観察した。図 4 は、2 つの有機物標準

試料である NADH と PAH (ベンゾ[a]ピレン) の IBIL の減衰傾向を比較している。PAH においては、照射開始時からピームフルエンスが増加するにつれて、双峰性のスペクトル形状に変化した。それぞれの化合物について、照射開始時からの IBIL 強度の変化 (減衰) について Birks-Black モデル式 (1) を適用し、その減衰曲線から減衰定数を抽出した。

$$I = \frac{1}{1 + AF} \quad (1)$$

ここで IBIL の強度を I、ピームフルエンスを F、さらに減衰定数を A としてそれぞれ定義した。図 4 に示す減衰曲線の例では、これらの関数によりそれぞれ、 1.69×10^{-13} (NADH) 1.12×10^{-14} (PAH、ピーク #1) として減衰の強度を算出した。

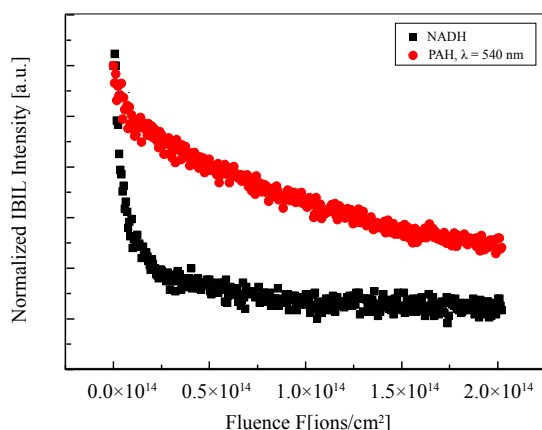
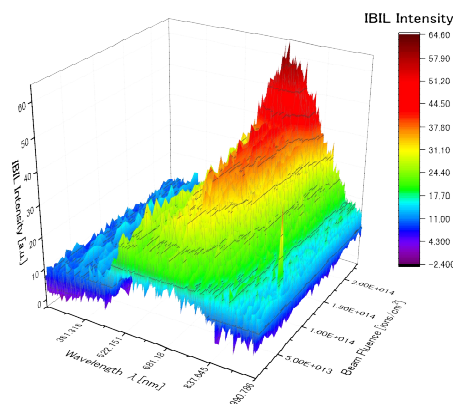


図 4. IBIL の減衰曲線の測定例。照射対象試料として、NADH ならびに PAH の標準試料を連続的に照射し IBIL を連続的に測定。

4.3 IBIL による化合物変化の測定

イオンビーム照射による IBIL スペクトルの構造変化は、単調な減衰現象に限定されず、照射中に新たなピーク形成を確認することができた。PAH 標準試料では、もともと存在したピーク波長の消失に伴い、新たなピークが既往ピークよりも長波長側に発現することが確認できた。同様の照射量領域に起こる変化は一部の微粒子試料においても図 5 のように確認できた。さらに大気中微粒子など数 μm 程度の粒径の試料について、光電子増倍管分光器を用いることで、どの波長の IBIL がどの領域に生じているかをイメージング像として取得が可能であることが確認できた。継続的に観察を行うことで、微粒子構造領域からの発光が減衰し、微粒子近傍で一様に発光する様子が確認できた。今回の照射フルエンスでは一般的に無機物を変質させることは容易ではないため、有機物試料の変質が IBIL に与える支配的な変化の要因と考えられる。また IBIL イメージング技術を材料改質技術である proton beam writing (PBW) と複合することで、照射領域の化学構造変化をイメージングすることも可能であった。

図 5. 大気中微粒子試料からの IBIL 連続分光



スペクトルの例。照射初期に存在しなかったピークが形成されることが確認された。

本研究成果で構築された連続的な IBIL 分析ではこれらの有機物に生じる化学組成構造変化の可視化の可能性が示唆された。これらの減衰の違いは、イオンビームの影響による化学組成の変化に対応し、特に照射に敏感な有機物試料を評価する上で重要な情報である。IBIL においてはこれまで波長、スペクトル構造などから化合物の推定が可能とされている。しかしながら本実験結果では、その減衰定数を用いても標的有機物を評価することが可能であることを明らかにできた。とりわけ微粒子表面に固着する微量有機物の同定などが迅速に可能となれば、その挙動に有効な情報を付与するものと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 10 件)

1. W. Kada, S. Kawabata, T. Satoh, R. K. Parajuli, N. Yamada, M. Koka, K. Miura, O. Hanaizumi, and T. Kamiya, Development of a high-speed wavelength-dispersive IBIL analysis and imaging system using a multi-channel photon-counting spectrometer, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, (2017) accepted in press, DOI: 10.1016/j.nimb.2017.03.056, 査読有。
2. W. Kada, S. Kawabata, T. Satoh, M. Sakai, R. K. Parajuli, N. Yamada, M. Koka, K. Miura, O. Hanaizumi, and T. Kamiya, Observation of changes in ion beam induced luminescence spectra from organics during focused microbeam irradiation, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, (2017) accepted in press, DOI: 10.1016/j.nimb.2017.01.025. 査読有。
3. S. Kawabata, W. Kada, Y. Matsubara, T. Satoh, M. Sakai, R. K. Parajuli, N. Yamada, M. Koka, K. Miura, O. Hanaizumi, and T. Kamiya, Micro-PIXE analysis and imaging of radio-photoluminescence glass bead microdosimeters, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B:*

- Beam Interactions with Materials and Atoms*, (2017) accepted in press, DOI: 10.1016/j.nimb.2017.04.017, 査読有.
4. R. K. Parajuli, W. Kada, S. Kawabata, Y. Matsubara, M. Sakai, K. Miura, T. Satoh, M. Koka, N. Yamada, T. Kamiya, and O. Hanaizumi, Ion Beam Induced Luminescence (IBIL) Analysis of β -SiAlON:Eu Scintillator under Focused Micro-beam Irradiation, *Sensor and Materials*, 28(8) 837-844 (2016), 査読有.
 5. 加田 涉, 川端駿介, Parajuli Raj Kumar, 江夏昌志, 山田尚人, 横山彰人, 佐藤隆博, 三浦健太, 神谷富裕, 花泉修, 鉱物内部の微視的な化学組成分布可視化のためのイオンマイクロビーム誘起発光分析法の開発, *Geo-Pollution Science, Medical Geology and Urban Geology*, 12(2016)5-9, 査読有.
 6. W. Kada, A. Yokoyama, M. Koka, K. Miura, T. Satoh, O. Hanaizumi, and T. Kamiya, Continuous observation of ion beam induced luminescence spectra from organic standard targets, *International Journal of PIXE*, 25, 127-134 (2015), 査読有.
 7. S. Kawabata, W. Kada, R. K. Parajuli, Y. Matsubara, M. Sakai, K. Miura, T. Satoh, M. Koka, N. Yamada, T. Kamiya, and O. Hanaizumi, In situ ion-beam-induced luminescence analysis for evaluating a micrometer-scale radio photoluminescence glass dosimeter, *Japanese Journal of Applied Physics*, 55(6S1) 06GD03 (2016), 査読有.
 8. R. K. Parajuli, W. Kada, S. Kawabata, Y. Matsubara, K. Miura, A. Yokoyama, M. Haruyama, M. Sakai, and O. Hanaizumi, Evaluation of radio-photoluminescence spectra of copper-doped phosphate glass dosimeter irradiated with ionized particles, *Key Engineering Materials*, 698, 163-170(2016), 査読有.
 9. A. Yokoyama, W. Kada, T. Satoh, M. Koka, K. Shimada, Y. Yokota, K. Miura, and O. Hanaizumi, Ionoluminescence analysis of glass scintillators and application to single-ion-hit real-time detection, *Nuclear Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 371, 340-343 (2016), 査読有.
 10. 加田 涉, 横山 彰人, 江夏 昌志, 佐藤 隆博, 神谷 富裕, イオンマイクロビーム励起発光を利用した分析技術の開発とその応用, 第 57 回自動制御連合講演会 論文 集, 1462-1464 (2014), DOI: 10.11511/jacc.57.0_1462 査読無.
- [学会発表] (計 22 件)
1. W. Kada, S. Kawabata, T. Satoh, N. Yamada, M. Koka, K. Miura, O. Hanaizumi, and T. Kamiya, Continuous IBIL analysis and imaging for visualization of chemical composition and modification occurred in microscopic scale targets, The 15th International Conference on Particle Induced X-ray Emission(PIXE2017), Split, Croatia, April, (2017).
 2. 加田 涉, 川端 駿介, 佐藤 隆博, 江夏 昌志, 山田 尚人, 三浦 健太, 花泉 修, 神谷 富裕, 荷電粒子誘起発光分析を利用したミクロスケール粒子から
- の蛍光連続取得と大気中微粒子分析への応用, 第 10 回大気バイオエアロゾルシンポジウム, 金沢, 石川 2 月(2017).
 3. W. Kada, S. Kawabata, T. Satoh, M. Koka, N. Yamada, M. Sakai, P. R. Kumar, K. Miura, O. Hanaizumi, and T. Kamiya, Development of combined focused ion beam microprobe analysis and imaging techniques for chemical composition characterization of microscopic targets, International Conference on Advanced Engineering and Its Education in 2016 (ICAEE16) October 13-15, 2016, Kiryu, Japan.
 4. 加田 涉, 集束イオンビームを利用した光材料開発とその場分析技術の開発, (独)日本学術振興会荷電粒子ビームの工業への応用第 1 3 2 委員会第 2 2 3 回研究会, 東京理科大学 森戸記念館, 東京 12 月(2016).
 5. 加田 涉, 川端 駿介, 佐藤 隆博, 江夏 昌志, 山田 尚人, 三浦 健太, 花泉 修, 神谷 富裕, 荷電粒子誘起発光多波長同時分析・イメージングを目的としたフォトンカウンティング型分光器の開発, 第 32 回 PIXE シンポジウム, 札幌, 北海道 11 月(2016).
 6. 加田 涉, 川端 駿介, 佐藤 隆博, 江夏 昌志, 山田 尚人, 三浦 健太, 神谷 富裕, 村尾 智, 花泉修, 微粒子や鉱物微小領域評価のためのイオンマイクロビーム発光連続分析技術, 第 2 6 回環境地質学シンポジウム, 日本大学文理学部, 東京 11 月(2016).
 7. W. Kada, S. Kawabata, T. Satoh, M. Sakai, P. R. Kumar, N. Yamada, M. Koka, K. Miura, O. Hanaizumi, and T. Kamiya, Observation of the changes in IBIL spectra from organics during focused microbeam irradiation, 15th International Conference on Nuclear Microprobe Technology and Applications (ICNMTA), Lanzhou, China, July (2016).
 8. W. Kada, S. Kawabata, T. Satoh, P. R. Kumar, N. Yamada, M. Koka, K. Miura, O. Hanaizumi, and T. Kamiya, Development of high-speed wavelength-dispersive IBIL analysis and imaging system using multi-channel photon-counting spectrometer, 12th European Conference on Accelerators in Applied Research and Technology (ECAART12) Jyvaszkyla, Finland, July (2016).
 9. S. Kawabata, W. Kada, Y. Matsubara, T. Satoh, M. Koka, M. Sakai, P. R. Kumar, N. Yamada, M. Koka, K. Miura, O. Hanaizumi and T. Kamiya, Micro-PIXE analysis and imaging of Radio-photoluminescence glass beads dosimeter designed for micro-dosimetry, 12th European Conference on Accelerators in Applied Research and Technology (ECAART12) Jyvaszkyla, Finland, July (2016).
 10. W. Kada, R. Saruya, H. Kato, K. Miura, S. Kawabata, Y. Matsubara, P. Raj Kumar, A. Yokoyama, M. Koka, T. Satoh, Y. Ishii, T. Kamiya, H. Nishikawa, and O. Hanaizumi, Fabrication and in situ evaluation of integrated micro-optical devices by a focused proton microbeam technique, International Symposium on Innovative Material Technologies Utilizing Ion Beams,

- The 25th annual meeting of MRS-J, Yokohama, Japan, December (2015).
11. 加田 涉, Raj Kumar Parajuli, 川端 駿介, 松原 良典, 江夏 昌志, 山田 尚人, 神谷 富裕, 三浦 健太, 花泉 修, イオンマイクロビーム誘起発光分光装置を利用した β SiAlON:Eu シンチレータの荷電粒子モニタとしての評価, 第 31 回 PIXE シンポジウム, 高崎, 群馬 10 月(2015).
 12. S. Kawabata, W. Kada, Y. Matsubara, K. Miura, T. Satoh, M. Koka, N. Yamada, T. Kamiya, and O. Hanaizumi, Complex System of Micrometer Sized Material Modification and In-Situ Elemental and Luminescence Analysis Using Proton Microbeam Probe, 28th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2015), Toyama, Japan, November, (2015).
 13. 加田 涉, 佐藤 隆博, 川端 駿介, 江夏 昌志, 山田 尚人, 横山 彰人, 神谷 富裕, 三浦 健太, 花泉 修, イオンマイクロビーム誘起発光分光装置の開発とこれを利用した新規シンチレータの評価, 第 9 回次世代先端光科学研究会, 静岡大学, 静岡 9 月(2015).
 14. W. Kada, T. Satoh, S. Kawabata, A. Yokoyama, M. Koka, N. Yamada, K. Miura, O. Hanaizumi, and T. Kamiya, Continuous observation of IBIL spectra obtained from microscopic targets, 22nd International Conference on Ion Beam Analysis (IBA2015), Opatija, Croatia, June, (2015).
 15. A. Yokoyama, W. Kada, T. Satoh, M. Koka, K. Miura, and O. Hanaizumi, In-situ luminescence analysis and imaging of G2000 glass scintillator fabricated for real-time measurement of heavy ion microbeam, 22nd International Conference on Ion Beam Analysis (IBA2015), Opatija, Croatia, June, (2015).
 16. T. Satoh, A. Yokoyama, A. Kitamura, T. Ohkubo, Y. Ishii, Y. Hatakeyama, S. Watanabe, Y. Koma, and W. Kada, PIXE-CT Analysis of Adsorbent for Extraction Chromatography, 22nd International Conference on Ion Beam Analysis (IBA2015), Opatija, Croatia, June, (2015).
 17. 加田 涉, 佐藤 隆博, 川端 駿介, 江夏 昌志, 山田 尚人, 横山 彰人, 横山 彰人, 神谷 富裕, 三浦 健太, 花泉 修, 大気取り出し陽子マイクロビームプローブによる有機物試料からのイオン誘起発光分光スペクトルの連続測定, 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 名古屋国際会議場, 愛知 9 月(2015).
 18. 川端 駿介, 加田 涉, 松原 良典, 三浦 健太, 佐藤 隆博, 江夏 昌志, 山田 尚人, 神谷 富裕, 花泉 修, イオンマイクロビーム誘起発光分析による自作ガラス線量計素子の評価, 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 名古屋国際会議場, 愛知 9 月(2015).
 19. PARAJULI Raj Kumar, 川端 駿介, 松原 良典, 加田 涉, 酒井 真理, 三浦 健太, 佐藤 隆博, 江夏 昌志, 山田 尚人, 神谷 富裕, 花泉 修, イオンビーム誘起発光分析を利用した SiAlON 蛍光体の放射線耐性評価, 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 岩手医

- 科大学, 岩手 9 月(2015).
20. 加田 涉, 横山 彰人, 江夏 昌志, 佐藤 隆博, 神谷 富裕, イオンマイクロビーム励起発光を利用した分析技術の開発とその応用, 自動制御連合講演会, 名古屋国際会議場, 愛知 11 月(2014).
21. 加田 涉, 佐藤 隆博, 横山 彰人, 山田 尚人, 江夏 昌志, 神谷 富裕, 花泉 修, イオン誘起発光分光による微量有機物分析の試み, 第 30 回 PIXE シンポジウム, 岩手医科大学, 岩手 10 月(2014).
22. 加田 涉, 横山 彰人, 江夏 昌志, 山田 尚人, 佐藤 隆博, 神谷 富裕, 陽子マイクロビームプローブによるイオン誘起発光顕微分光分析を可能にする高分解能顕微光学系の開発, 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学, 北海道 9 月(2014).

〔図書〕(計 1 件)

1. 加田 涉, 横山 彰人, 佐藤 隆博, 江夏 昌志, 神谷 富裕, イオン励起発光顕微イメージング分光と大気マイクロ PIXE を組み合わせたシステムによる大気中微粒子の分析, 放射線と産業, 136, 40-45 (2014).

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 3 件)

1. 名称: 荷電粒子放射線計測方法および荷電粒子放射線計測装置
発明者: 加田 涉, 三浦 健太, 花泉 修, 神谷 富裕, 佐藤 隆博, 須崎 純一, 山田 鈴弥
権利者: 電気化学工業株式会社
種類: 特願
番号: 2015-169363
出願年月日: 2015 年 8 月 28 日
国内外の別: 国内
2. 名称: 荷電粒子放射線計測方法および荷電粒子放射線計測装置
発明者: 加田 涉, 三浦 健太, 花泉 修, 神谷 富裕, 佐藤 隆博, 須崎 純一, 山田 鈴弥
権利者: 電気化学工業株式会社
種類: PCT/JP
番号: 2016/074813,
台湾出願番号: 105127462
出願年月日: 2016 年 8 月 25 日
国内外の別: 国外
3. 名称: 荷電粒子放射線計測方法および荷電粒子放射線計測装置
発明者: 加田 涉, 三浦 健太, 花泉 修, 神谷 富裕, 佐藤 隆博, 須崎 純一, 山田 鈴弥
権利者: 電気化学工業株式会社
種類: 特願
番号: 2017-036154
出願年月日: 2017 年 2 月 27 日
国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ

<http://www.el.gunma-u.ac.jp/~hana/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加田 涉 (KADA, Wataru)

群馬大学・大学院理工学府・助教

研究者番号: 60589117

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

()