

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 30 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560051

研究課題名（和文） 化学的パラメータに基づく固体飛跡検出器応答特性の評価

研究課題名（英文） Response studies on polymeric etched track detectors using some chemical damage parameters

## 研究代表者

山内 知也（YAMAUCHI TOMOYA）

神戸大学・大学院海事科学研究科・教授

研究者番号：40211619

研究成果の概要（和文）：高分子系エッチング型飛跡検出器中に形成されるイオントラックの構造を赤外分光分析によって系統的に評価した。対象とした高分子は、ポリアリル・ジグリコール・カーボネート（PADC）、ビスフェノール A ポリカーボネート（PC）、ポリエチレン・テレフタレート（PET）、ポリイミド（PI）であった。照射したプロトンや重イオンの阻止能域は 10 から 12000 keV/μm であった。赤外線吸収スペクトル上にはエッチング可能な飛跡形成の閾値以下の阻止能を有するイオン照射によって有意な変化が観察された。化学的パラメータとして、着目している官能基がその内部で失われている実効的トラックコア半径、同官能基のトラック単位長さ当たりの損失数である損傷密度、そして、放射線化学収率を求めた。潜在飛跡がエッチング可能となるには、飛跡の径方向について隣り合った C-O 結合が 2 つ以上切断される必要があるとの化学的閾値モデルが得られた。

研究成果の概要（英文）：Several etched track detectors of PET, PC, PI and PADC films are exposed to proton and heavy ions, He, C, Ne, Si, Ar, Fe, Kr and Xe ions, in the air. The examined region of stopping power was between 10 and 12,000 keV/μm. Chemical damage parameters of damage density, which is the number of loss of considering functional groups per unit length of tracks, radial size of track core, in which the considering chemical groups are lost, and the radiation chemical yields, G values, for each group are evaluated as a function of the stopping power. Latent track will be etchable when the radial track core size is larger than the distance between two adjacent breaking points of polymer chains. Such dominant breaking points are C-O bonds in ether, ester and carbonate ester bonds.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2012年度	100,000	30,000	130,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・応用物理学一般

キーワード：放射線・イオントラック

## 1. 研究開始当初の背景

(1) CR-39 という商品名で知られている、ポリアリル・ジグリコール・カーボネート

(PADC) を主体としたプラスチック飛跡検出器は数 MeV 以上のプロトンに対しても感度を有しており、中性子線量計測や宇宙放射線計

測、イオンビームを用いた生物照射実験において活用されている。ガンマ線や電子線が混在した場においてもイオントラックのみを選択的に検出できるので、高強度レーザー駆動イオン加速実験等の複雑な混在場においても広く利用されている。

(2) 放射線場への暴露後、化学エッチング処理を施しトラックをエッチピットに拡大・成長させ、光学顕微鏡等で観察・計測するのがその基本的な利用法である。近年、原子間力顕微鏡を利用することで高密度のイオントラックが計測可能になり、また高速画像取得顕微鏡によって数十倍の速さでの読み取りと自動解析が行われるようになった。同検出器が適用できる条件は広がっており、格段に利用しやすくなってきた。

(3) 各種応用分野から同検出器の特性に要請されているところは、検出感度を高くすることと検出の閾値を制御することである。酸化防止剤等の添加物を共重合させることで感度を上げる試みがなされてきており一定の成果があった。検出感度の低い高分子材との共重合材が試作されていた。ともにいろいろな混合比で実際に製作し多様な照射とエッチング処理をする経験的手法が採られていた。しかしながら固体飛跡検出器中に形成される潜在飛跡自体に対する分析的研究は遅れていた。飛跡に沿って何らかの損傷が生じていてそのような部分のエッチング速度が高くなっているためにエッチピットが形成されるということが広く信じられているが、ここに言う損傷とはどのように乱された構造なのか；そのサイズはどの程度のものなのか；構造やサイズとエッチング速度との間にはどのような関係があるのか；といった基本的な課題は未だ解決されていなかった。

(4) 申請者らはこれまで PADC 中のトラックコア半径について、紫外線分光分析とトラック重なりモデルに基づく評価手法 (UV 法) や原子間力顕微鏡による極短時間エッチング後のピット成長挙動に対する分析 (AFM 法) によって系統的な評価を行ってきた。最近になって PADC の薄膜を得ることに成功し、赤外線分光法を用いて損傷の具体的な化学構造を明らかにし、トラックのコア半径や単位長さ当りの損傷密度、放射線化学収率 (G 値) のイオン種や阻止能依存性も含めた定量的結果が得られるようになっていた。

## 2. 研究の目的

(1) PADC を含む種々の高分子材料中に形成されるプロトンや重イオンの潜在飛跡 (トラック) の構造と形成機構を解明し、検出感度を決定している分子構造を明らかにする：これにより、高エネルギー中性子計測において求められる数 10 MeV 程度のプロトンの飛跡が記録可能な分子構造、鉄核よりも重たいイオ

ンの飛跡のみが選択的に記録できる分子構造を明らかにする。PADC の繰り返し構造単位は 2 nm 程度の長さであり、モノマーの時にはアリル基を形成していた両端から 2 個ずつの炭素が他の異なる 4 つの繰り返し構造単位と結びついて 3 次元ネットワークを形成する。構造単位中央にエーテル結合があり、エチレン基を介して、対称の位置に 2 つのカーボネートエステル結合がある。

(2) PADC 中トラックサイズと化学構造のイオン種及び阻止能依存性を明らかにする：放射線に対して最も高い感受性を示すのはエーテル結合であり、次いでカーボネートエステル結合が切れやすい。後者が切れる場合には単なる切断ではなくて二酸化炭素の放出を伴う。したがってトラックの半径が数 nm を超える場合には 2 つのカーボネートエステルに挟まれた部分から 2 つの二酸化炭素と 2 つのエチレンクラスの低分子ガスが生じて系外に失われると考えられる。このような開裂反応は PADC の著しい特徴である。本研究ではプロトンから Xe イオンまでの幾つかの重イオン照射によって、PADC 中のエーテル結合及びカーボネートエステル結合が失われる損傷密度と G 値、トラックコア半径を系統的に求める。

(3) PADC 中トラックの内面を水酸基が装飾するプロセスを明らかにする：PADC の検出感度は照射雰囲気依存し、真空中では著しく低下するが、大気中での照射後には水酸基が生じる。典型的な親水基である水酸基によってトラックの内側が装飾されているか否かで、エッチング時の溶液侵入速度が大きく変化し、これが検出感度を決定している。照射後の酸化反応によって水酸基が形成する機構を、照射雰囲気を変化させた実験、及び、ラジカルと溶存酸素との反応によって水酸基が生じるとする物質収支に基づいた理論計算の両面から明らかにする。

(4) 各種官能基のプロトンや重イオンに対する応答特性を明らかにする：同様の照射・分析実験を、感度が高い TD-1 や TNF-1 等の PADC をベースにした検出器や、PADC のひと世代前の固体飛跡検出器であるビスフェノール A ポリカーボネート (PC)、硝酸セルロースを母体とする LR-115 検出器、代表的工学プラスチックであるポリエチレン・テレフタレート (PET)、耐熱耐放射線材料であるポリイミド (PI) に対して行い、高分子材料中における各種官能基のプロトンや重イオンに対する応答特性を明らかにする。

(5) 新しい飛跡検出器の分子構造を設計・試作する：以上のような実験的・理論的研究を基礎にして感度を高くするために必要な分子構造や鉄核以上の重イオンに対してのみ敏感になり得る分子構造設計を試みる。これには分子力学や分子動力学による計算に基

づいた分子モデルも利用する。

### 3. 研究の方法

(1) 高分子材料として、PADC と PC、PET、PI に特に着目した。PC と PET とはそれらの薄膜をスタックにして、PADC と PI は薄膜を自作してプロトンや重イオン照射した。電子線やガンマ線照射も実施した。

(2) 分析は主として赤外線分光分析によって行った。着目する官能基の吸収ピーク強度の照射前後の比である相対吸光度のフルエンス依存性を求め、そこからトラック 1 本当りの除去断面積（実効的トラックコア面積）を求めた。

(3) 実験的に得られた実効的トラックコア面積から、実効的トラックコア半径やトラック単位長さ当りの官能基の減少数である損傷密度、単位エネルギー当りの官能基の減少数である放射線化学収率（G 値）を、プロトンや重イオンの阻止能の関数として評価した。その阻止能域は 10 keV/μm から 12,000 keV/μm であった。

(4) 同様の照射条件において低フルエンス照射を行い、エッチピットの生成の有無を系統的に調べた。エッチピットが観察された場合にはピット径の成長挙動から、材料表面の浸食速度に一致するバルクエッチング速度に対するトラックに沿ったエッチング速度の比である、エッチ率比を評価した。これらの値を阻止能やイオン速度、初期電離

(Primary Ionization) や限定的エネルギー損失 (Restricted Energy Loss) の関数としてまとめた。

(5) 高分子材料のモノマーあるいはダイマーやトリマーレベルの分子モデルを計算化学プログラム内に作成し、安定した構造をそれぞれについて求めた。赤外線吸収スペクトルの実測値との比較も行い、文献に示されていた帰属の正しさを確認した。

(6) PADC 中に含まれる水分について、赤外線分光を補足する手法としてカール・フィッシャー法を導入し、トラック近傍に集まる水を定量した。

(7) PADC のエッチング条件について、エッチング処理前の二酸化炭素処理が感度の上昇に有効であることを確認し、二酸化炭素の挙動を知るための分析を実施した。

### 4. 研究成果

(1) 先行する諸結果との比較及び研究手法の妥当性：図 1 には PC 中に形成されたトラックコア半径を、先行する同じ赤外線分光を用いた分析結果や透過型電子顕微鏡 (TEM) や電気伝導度法 (electrolytic cell)、アモルファス化計測 (Amorphization) による分析結果とともにまとめている。諸外国で取り組まれていた赤外線分光による結果とは実

験誤差の範囲で一致し、PC を構成する官能基である、カルボニル基、フェニルリング、メチル基の順番に放射線感受性が高いことが確認できた。官能基ごとの感受性が比較できるところが赤外線分光法の利点である。

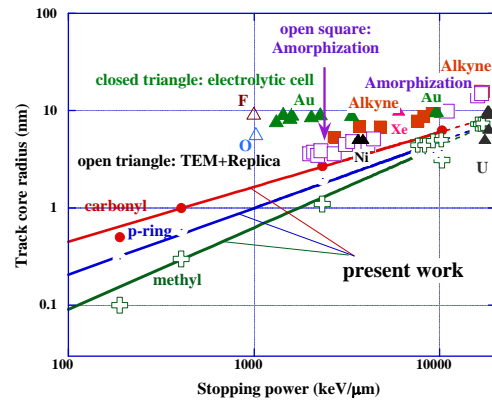


図 1 トラックコア半径

(KEK-Proceedings 2010-10, 2010, 1-11.)

PC のみに見られた特徴であるが、カルボニル基損失のトラックコア半径が阻止能のルートに比例している。同じことを別の言葉で表現することになるが、カルボニル損失の損傷密度が阻止能に比例している。これらは阻止能に違いがあっても、同質の損傷が生じており、それぞれの損傷の密度が増加しているとして理解できる。PET や PI についても先行する結果との比較を実施しよ一致を見た。

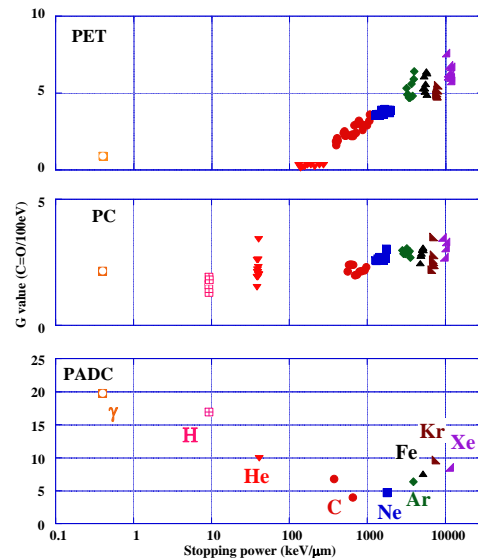


図 2 カルボニル基損失の G 値

(JJAP 51, 2012, 056301)

(2) 放射線化学収率とエッチピット形成の閾値：PADC と PC、PET に共通して存在するカルボニル基について、その損失の G 値を阻止能の関数としてまとめた (図 2)。中央に示

している PC は先に述べたように、阻止能が異なっても同質の損傷が作られるために G 値の阻止能依存性がない。逆に言えば、PC 中のカルボニル基の減少量から、一般に Gy 単位で測られる吸収線量を評価することが可能である。上に示した PET の結果を見ると、He と C イオンの境界に位置する 300 keV/μm 付近にステップが存在している。これはエッチング可能なトラック形成の閾値と事実上一致している。

トラックの径方向に 2 つ以上の C-O 結合が切断することで損傷が形成されやすくなっていると考えられる。より具体的には隣接する C-O で挟まれている部分が系外に失われることで再結合が不可能となっていると見られる。同様の分析を通じて、PET と PC、PADC については、エーテルやエステル、カーボネートエステル内の C-O 結合がそのような切断点になっていると見られる。特にカーボネートエステルについては、そこから二酸化炭素が放出されるタイプの切断が生じる。

(3) PADC の放射線化学的特異性：PADC 中のカルボニル基損失の G 値を見ると、ガンマ線やプロトンに対する値が非常に高い。このことは高エネルギー電子によってもエーテルと 2 つのカルボニル基によって特徴付けられるその分子鎖が容易に切断されることを意味する。図 2 の重イオンに対する実験は比較的低いエネルギー (< 6 MeV/n) のものであるが、1000 keV/μm までは阻止能が低いほど G 値が高くなっている。このような傾向を明らかにするために、高いエネルギーの C や Fe イオンについての実験を実施した (図 3)。

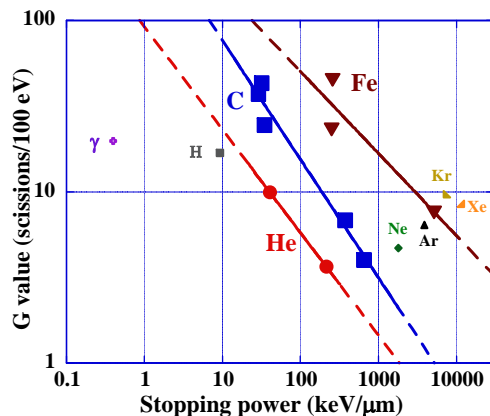


図 3 カルボニル基損失の G 値  
(APEX 5, 2012, 086401)

これによってそれぞれのイオン種について阻止能が低いほど G 値が大きくなっていることが確認され、また、同じ阻止能であれば、重たいイオンの G 値が大きいことも確認された。これは比較的高いエネルギーをもった二次電子が飛跡中心からやや離れたところにも損失を形成することに起因する。

(4) 高い閾値を有する飛跡検出器：PI の一種である Kapton のピット形成閾値や重イオンに対する応答特性を評価し、伝統的な初期電離 (Primary Ionization) や限定的エネルギー損失 (Restricted Energy Loss) と言ったモデルの適用が困難な反面、隣接する 2 つのジフェニルエーテルが切断するとピットが形成するとする化学的モデルが妥当であることを実験的に確認した。U 等のより重たいイオンでの実験の必要性を指摘した。

## 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 15 件)

① Tomoya Yamauchi, Kenya Matsukawa, Yutaka Mori, Masato Kanasaki, Atsuto Hattori, Yuri Matai, Tamon Kusumoto, Akira Tao, Keiji Oda, Satoshi Kodaira, Teruaki Konishi, Hisashi Kitamura, Nakahiro Yasuda, Remi Barillon: Applicability of Polyimide Films as Etched-Track Detectors for Ultra-Heavy Cosmic Ray Components, Applied Physics Express, 査読有, 6, 2013, 046401-1-4

DOI:10.7567/APEX.6.046401

② Yutaka Mori, Tomoya Yamauchi, Masato Kanasaki, Atsuto Hattori, Yuri Matai, Kenya Matsukawa, Keiji Oda, Satoshi Kodaira, Hisashi Kitamura, Teruaki Konishi, Nakahiro Yasuda, Sachiko Tojo, Yoshihide Honda, Remi Barillon: Greater Radiation Chemical Yields for Losses of Ether and Carbonate Ester Bonds at Lower Stopping Powers along Heavy Ion Tracks in Poly(allyl diglycol carbonate) Films. Applied Physics Express, 査読有, 5, 2012, 086401-1-3.

DOI : 10.1143/APEX.5.086401

③ Tomoya Yamauchi, Yutaka Mori, Akira Morimoto, Masato Kanasaki Keiji Oda, Satoshi Kodaira, Teruaki Konishi, Nakahiro Yasuda, Sachiko Tojo, Yoshihide Honda, Remi Barillon: Thresholds of Etchable Track Formation and Chemical Damage Parameters in Poly(ethylene terephthalate), Bisphenol A polycarbonate, and Poly(allyl diglycol carbonate) Films at the Stopping Powers Ranging from 10 to 12,000 keV/μm. Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, 51, 2012, 056301-1-5.

DOI : 10.1143/JJAP.51.056301

④ 深尾裕亮、金崎真聡、森豊、山内知也、小田啓二、小西輝昭、安田仲宏：二酸化炭素処理による PADC 飛跡検出器の増感機構、神戸大学大学院海事科学研究科紀要、査読無、第 9 号、2012、69-78。

[http://www.lib.kobe-u.ac.jp/infolib/met\\_a\\_pub/G0000003kerneldetail-jp](http://www.lib.kobe-u.ac.jp/infolib/met_a_pub/G0000003kerneldetail-jp)

⑤ Yutaka Mori, Tomoya Yamauchi, Masato Kanasaki, Yusuke Maeda, Keiji Oda, Satoshi Kodaira, Teruaki Konishi, Nakahiro Yasuda, Remi Barillon: Radiation chemical yields for loss of ether and carbonate ester bonds in PADC films exposed to proton and heavy ion beams. *Radiation Measurements*, 査読有, 46-10, 2011, 1147-1153.

doi:10.1016/j.radmeas.2011.07.031

⑥ 森豊、前田佑介、金崎真聡、山内知也、小田啓二、蔵岡孝治、安田仲宏、小西輝昭、小平聡、菅田義英、藤乗幸子：イオン照射した PADC 固体飛跡検出器の表面特性評価、放射線、査読有、37-3、2011、149-155.

⑦ 森本彰、森豊、山内知也、小田啓二、小平聡、小西輝昭、安田仲宏：ポリエチレンテレフタレート薄膜中重イオントラックの損傷構造、放射線、査読有、37-3、2011、149-155.

⑧ 海部俊介、森豊、金崎真聡、山内知也、小田啓二、小平聡、小西輝昭、安田仲宏：新しい固体飛跡検出器としてのポリイミド薄膜、放射線、査読有、37-3、2011、149-155.

⑨ 前田佑介、森豊、金崎真聡、山内知也、小田啓二、小西輝昭、安田仲宏、藤乗幸子、菅田義英、蔵岡孝治：プロトン照射した PADC 検出器表面上液滴の接触角異常、神戸大学大学院海事科学研究科紀要、査読無、第 8 号、2011 年、21-29.

[http://www.lib.kobe-u.ac.jp/infolib/met\\_a\\_pub/G0000003kerneldetail-jp](http://www.lib.kobe-u.ac.jp/infolib/met_a_pub/G0000003kerneldetail-jp)

⑩ 森本彰、森豊、山内知也、小田啓二、小西輝昭、安田仲宏：ポリエチレンテレフタレート薄膜中重イオントラックの構造分析、神戸大学大学院海事科学研究科紀要、査読無、第 8 号、2011 年、21-29.

[http://www.lib.kobe-u.ac.jp/infolib/met\\_a\\_pub/G0000003kerneldetail-jp](http://www.lib.kobe-u.ac.jp/infolib/met_a_pub/G0000003kerneldetail-jp)

⑪ Tomoya Yamauchi, Yutaka Mori, Keiji Oda, Satoshi Kodaira, Nakahiro Yasuda, Remi Barillon: ON THE TRACKS OF PROTON AND HEAVY IONS IN PC AND PADC PLASTICS DETECTORS. *KEK Proceedings RADIATION DETECTORS AND THEIR USES*, 査読有, 2010-10, 2010. 1-11.

⑫ 坂本淳志、森豊、金崎真聡、山内知也、小田啓二：紫外線照射下における高分子系飛跡検出器中カーボネートエステル結合損失の量子収率、神戸大学大学院海事科学研究科紀要、査読無、第 7 号、2010 年、87-98.

[http://www.lib.kobe-u.ac.jp/infolib/met\\_a\\_pub/G0000003kerneldetail-jp](http://www.lib.kobe-u.ac.jp/infolib/met_a_pub/G0000003kerneldetail-jp)

〔学会発表〕(計 50 件)

① 又井悠里、金崎真聡、森豊、山内知也、小田啓二、小平聡、小西輝昭、安田仲宏：PADC 中潜在飛跡近傍における水の挙動 (2)、第 60

回応用物理学会春季学術講演会、2013 年 3 月 30 日、神奈川工科大学.

② 松川兼也、森豊、小田啓二、小西輝昭、小平聡、北村尚、安田仲宏、山内知也：高閾値飛跡検出器としてのポリイミド薄膜の応用、第 60 回応用物理学会春季学術講演会、2013 年 3 月 30 日、神奈川工科大学.

③ Kenya Matsukawa, Yutaka Mori, Masato Kanasaki, Atsuto Hattori, Yuri Matai, Keiji Oda, Satoshi Kodaira, Hisashi Kitamura, Teruaki Konishi, Nakahiro Yasuda, Sachiko Tojo, Yoshihide Honda, Remi Barillon, Tomoya Yamauchi: Threshold of Etchable Track Formation and Chemical Damage Parameters in PI, PET, PC, and PADC Films at the Stopping Powers Ranging from 10 to 12,000 keV/ $\mu$ m, The 8th International Symposium on Swift Heavy Ions in Matter, 24.Oct.2012, Kyoto University.

④ Yutaka Mori, Tomoya Yamauchi, Masato Kanasaki, Atsuto Hattori, Yuri Matai, Kenya Matsukawa, Keiji Oda, Satoshi Kodaira, Hisashi Kitamura, Teruaki Konishi, Nakahiro Yasuda, Sachiko Tojo, Yoshihide Honda, Remi Barillon: Greater Radiation Chemical Yields for Losses of Ether and Carbonate Ester Bonds in PADC at Lower Stopping Powers. The 8th International Symposium on Swift Heavy Ions in Matter, 24.Oct.2012, Kyoto University.

⑤ 又井悠里、金崎真聡、森豊、山内知也、小田啓二、小平聡、小西輝昭、安田仲宏：PADC 中潜在飛跡近傍における水の挙動、第 73 回応用物理学会学術講演会、2012 年 9 月 12 日、愛媛大学.

⑥ 松川兼也、森豊、小田啓二、小西輝昭、小平聡、北村尚、安田仲宏、山内知也：重イオンを照射したポリアラミド薄膜の赤外分光分析、第 73 回応用物理学会学術講演会、2012 年 9 月 12 日、愛媛大学.

⑦ 服部篤人、金崎真聡、福田祐仁、榊泰直、余語覚文、神野智史、堀利彦、倉島俊、神谷富裕、近藤公伯、小田啓二、山内知也：飛跡検出器の重イオンに対する真空効果を考慮した応答特性評価、第 73 回応用物理学会学術講演会、2012 年 9 月 12 日、愛媛大学.

⑧ 森豊、金崎真聡、服部篤人、小田啓二、小平聡、北村尚、小西輝昭、安田仲宏、藤乗幸子、菅田義英、山内知也：PADC の高エネルギー重イオン照射に対する放射線化学収率、第 73 回応用物理学会学術講演会、2012 年 9 月 12 日、愛媛大学.

⑨ 森本彰、森豊、山内知也、小田啓二、小西輝昭、安田仲宏、藤乗幸子、菅田義英：PADC 検出器中 135MeV/n 炭素イオントラックに沿った化学構造変化、第 59 回応用物理学

会関係連合講演会、2012年3月17日、早稲田大学。

⑩深尾裕亮、金崎真聡、森豊、山内知也、小田啓二、小西輝昭、安田仲宏：二酸化炭素処理によるPADC検出器の増感機構、第59回応用物理学会関係連合講演会、2012年3月17日、早稲田大学。

⑪海部俊介、金崎真聡、森豊、山内知也、小田啓二、小平聡、小西輝昭、安田仲宏：高閾値飛跡検出器としてのポリイミド中重イオントラックの研究、第59回応用物理学会関係連合講演会、2012年3月17日、早稲田大学。

⑫Tomoya Yamauchi, Shunsuke Kaifu, Yutaka Mori, Masato Kanasaki, Keiji Oda, Satoshi Kodaira, Nakahiro Yasuda, Remi Barillon: Applicability of the polyimide films as a new SSNTD material, 25th International Conference on Nuclear Tracks in Solids, 5. Sept. 2011. Puebla, Mexico.

⑬Yutaka Mori, Tomoya Yamauchi, Masato Kanasaki, Keiji Oda, Satoshi Kodaira, Teruaki Konishi, Nakahiro Yasuda, Sachiko Tojo, Yoshihide Honda, Remi Barillon Reduction of the latent track core size of C ions in PADC irradiated in vacuum, 25th International Conference on Nuclear Tracks in Solids, 6. Sept. 2011. Puebla, Mexico.

⑭深尾裕亮、金崎真聡、森豊、山内知也、小田啓二、小西輝昭、安田仲宏：PADCに吸蔵させた二酸化炭素がエッチピットに及ぼす効果、第72回応用物理学会学術講演会、2011年8月30日、山形大学。

⑮海部俊介、森豊、金崎真聡、山内知也、小田啓二、小西輝昭、安田仲宏：ポリイミド固体飛跡検出器の重イオン照射効果、第72回応用物理学会学術講演会、2011年8月30日、山形大学。

⑯服部篤人、森豊、山内知也、小田啓二：飛跡検出器の応答特性評価と低温照射による感度変化、第72回応用物理学会学術講演会、2011年8月30日、山形大学。

⑰Tomoya Yamauchi, Yutaka Mori, Akira Morimoto, Masato Kanasaki, Keiji Oda, Teruaki Konishi, Satoshi Kodaira, Nakahiro Yasuda, Sachiko Tojo, Yoshihide Honda, Remi Barillon: Dependence of track core structure on the stopping powers ranging from 10 to 12,000 keV/ $\mu$ m in PET, PC and PADC films, 16th International Conference on Radiation Effects in Insulators, 18. Aug. 2011. Peking, China.

⑱森豊、金崎真聡、前田佑介、山内知也、小田啓二、小平聡、小西輝昭、安田仲宏：PADC検出器中135 MeV/n炭素イオントラックに沿った化学構造変化、第58回応用物理学会関

係連合講演会、2011年3月、神奈川工大（講演会は地震のため中止）。

⑲海部俊介、森豊、山内知也、小田啓二、小西輝昭、安田仲宏：新しい固体飛跡検出器としてのポリイミド薄膜、第58回応用物理学会関係連合講演会、2011年3月、神奈川工大（講演会は地震のため中止）。

⑳森豊、金崎真聡、前田佑介、山内知也、小田啓二、小西輝昭、安田仲宏：PADC飛跡検出器に及ぼす陽子及び重イオン照射効果(3)、第71回応用物理学会学術講演会、2010年9月17日、長崎大学。

〔図書〕（計0件）

〔その他〕

ホームページ等

「固体飛跡検出器研究会」を例年開催し、最新の研究成果を交換している。

[http://www.research.kobe-u.ac.jp/gmsc-iris/sstd\\_27th/index.html](http://www.research.kobe-u.ac.jp/gmsc-iris/sstd_27th/index.html)

研究代表者の業績一覧。

[http://kuid.ofc.kobe-u.ac.jp/InfoSearch/html/researcher/researcher\\_QsToZ-UnuRH0-IBQ3mbe3w\\_ja.html](http://kuid.ofc.kobe-u.ac.jp/InfoSearch/html/researcher/researcher_QsToZ-UnuRH0-IBQ3mbe3w_ja.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山内 知也 (YAMAUCHI TOMOYA)

神戸大学・大学院海事科学研究科・教授

研究者番号：40211619

### (2) 研究分担者

小田 啓二 (ODA KEIJI)

神戸大学・大学院海事科学研究科・教授

研究者番号：40169305