



QST-M-15



平成29 年度

## 放 医 研 サ イ ク ロ ト ロ ン 利 用 報 告 書

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構

# 目 次

1. 放医研サイクロترون施設	
放医研サイクロترون施設の運用状況 (平成 29 年度).....	2
放医研のサイクロترونの運転及び整備について .....	8
2. 核医学研究	
サイクロترونの標識薬剤の製造・開発への利用状況 .....	12
3. 物理学/生物学研究	
核破碎片生成二重微分断面積の測定 .....	18
重粒子によるしきいエネルギー付近の核反応に関する研究 .....	23
最後方における荷電粒子生成二重微分断面積の測定 .....	26
高精度陽子線治療のための基盤技術構築に関する研究 .....	30
固体飛跡検出器中に形成される重イオントラックの構造分析.....	36
Study of the elpasolite scintillators for use in space and terrestrial radiation detection.....	40
4. 研究成果一覧.....	43
5. 平成 28 年度マシンタイム予定表.....	73



## 1. 放医研サイクロトロン施設

# 放医研サイクロترون施設の運用状況 (平成 29 年度)

## REPORT ON NIRS CYCLOTRON FACILITY

片桐 健,<sup>A)</sup> 涌井 崇志,<sup>A)</sup> 北條 悟,<sup>A)</sup> 河原 恵子,<sup>A)</sup> 杉浦 彰則,<sup>A)</sup>

宮原 信幸,<sup>A)</sup> 白井 敏之,<sup>A)</sup> 岡田 高典,<sup>B)</sup> 立川 裕士<sup>B)</sup>

Ken Katagiri,<sup>A)</sup> Takashi Wakui,<sup>A)</sup> Satoru Hojo,<sup>A)</sup> Keiko Kawahara,<sup>A)</sup> Akinori Sugiura,<sup>A)</sup>

Nobuyuki Miyahara,<sup>A)</sup> Toshiyuki Shirai,<sup>A)</sup> Takanori Okada,<sup>B)</sup> Yuji Tachikawa<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> 量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所, <sup>B)</sup> 加速器エンジニアリング株式会社

<sup>A)</sup> QST/NIRS, <sup>B)</sup> Accelerator Engineering Corporation, Ltd.

### 概要

放射線医学総合研究所(放医研)サイクロترون施設の特徴は、所内での活発な分子プローブ開発、その所内外での利用と供給のために、マシンタイムの多くの割合が放射性同位元素の生産に費やされることである。放医研サイクロترون施設は、2台のサイクロترونを含む施設の運用・管理を本年度も順調に進めてきた。本年度の大型サイクロترونの総運転時間は1645時間であった。本年度は核医学研究に費やしたビーム提供時間の増加が目立ち、前年度(704時間)に比べて23%程増加した。安定したビームの供給が大型サイクロترونにより行われ、故障等による停止時間は昨年度(34時間)[1]の半分以上の15時間にまで低減された。小型サイクロترونの総運転時間は1547時間であり、前年度と同程度であった。以下にこれらの詳細を示す。

### 1. はじめに

放射線医学総合研究所(放医研)は大型・小型の2台のサイクロترونにより、核医学、物理学、生物学分野における基礎科学・応用研究のために、様々なイオンビームの供給を行ってきた[2]。特に、所内での活発な分子プローブ開発、その所内外での利用と供給のために、マシンタイムの多くの割合が放射性同位元素の生産に費やされることが放医研サイクロترون施設の特徴である。Fig. 1に放医研サ

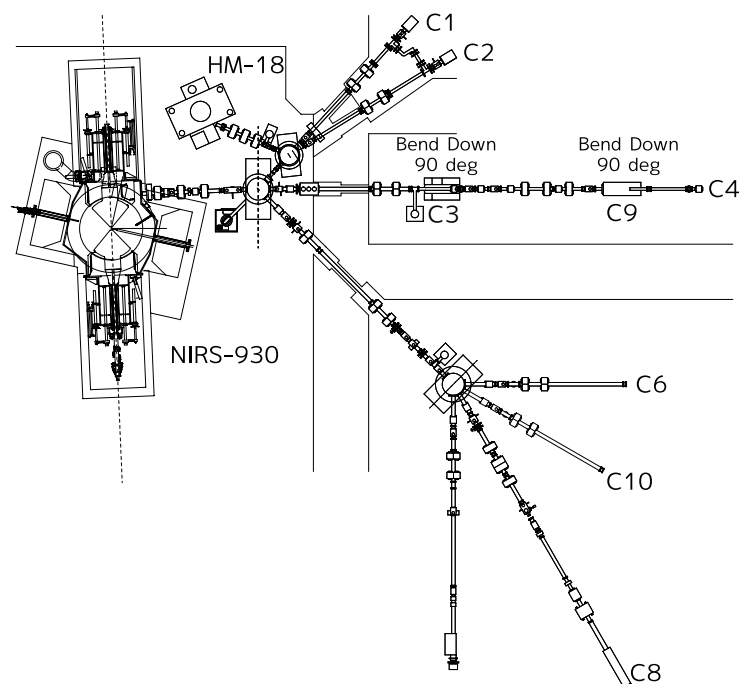


Figure 1: 放医研サイクロترون施設

Table 1: ビーム利用用途毎の運転時間, 及びその割合

	ビーム利用用途	運転時間 (h)	割合 (%)
(1)	核医学研究	868.8	52.8
(2)	物理学研究	281.0	17.1
(3)	生物学研究	0.0	0.0
(4)	有償ビーム提供	192.7	11.7
(5)	マシンスタディ・ビーム調整	302.8	18.4
	計	1645	100

Table 2: 大型サイクロトロンから供給されたイオンビームとそれに費やされた運転時間

イオン種	運転時間 (h)	割合 (%)	エネルギー (MeV)	運転時間 (h)	割合 (%)
陽子	954.2	58.0	13	13.5	0.8
			16	17.3	1.0
			16.4	84.5	5.1
			18	113.1	6.9
			30	180.7	11.0
			40	35.0	2.1
			50	70.1	4.3
			60	11.5	0.7
			70	404.3	24.6
			80	24.3	1.5
重陽子	77.9	4.7	20	66.7	4.1
			50	11.3	0.7
水素分子イオン	135.5	8.2	24	119.9	7.3
			26	3.5	0.2
			27	12.1	0.7
ヘリウム-3 イオン	4.5	0.5	54	30.0	1.8
ヘリウムイオン	447.7	27.2	34	347.9	21.1
			50	10.8	0.7
			75	45.5	2.8
			100	43.5	2.6
計	1645	100		1645	100

イクロトロン施設のサイクロトロン, ビームトランスポート, 照射ポートを示す。大型サイクロトロン (Thomson-CSF 社製 930 型 AVF サイクロトロン) は, 1974 年に日本初の医療用のサイクロトロンとして建設されたものである。すでに運転開始から 44 年が経過しており, 制御システムや加速器の生命線とも言える電磁石用コイル等, 経年劣化のためにリプレイスが必要な箇所が生じている状況であるが, スタッフの保守・管理により現在でも運転が行えている。この大型サイクロトロンは, 陽子, 重陽子のみならず, ヘリウムイオン, 炭素イオン, 酸素イオン, ネオンイオン等, 多種多様なイオンビームの供給が可能である。もう一つの小型サイクロトロンは, PET 薬剤に用いる放射性核種の生産を目的として 20 年程前に導入されたものであり, 陽子, 重陽子のみ供給が可能である。これらの加速器からは, 合計 8 つの照射ポート (C1, C2, C3, C4, C6, C8, C9, C10) へとイオンビームが供給されている。C1,

C2は、主に小型サイクロトロンからの陽子ビームが供給される照射ポートであり、PET薬剤用の放射性核種( $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{18}\text{F}$ )の製造にのみ用いられる。C3, C4, C9は大型サイクロトロンからのビームが供給される照射ポートであり、医療用の多種多様な放射性核種の製造に用いられている。C6, C8, C10も同様に、大型サイクロトロンからのビームが供給される照射ポートであり、物理学・生物学分野の基礎科学実験のために用いられる。

本年度の大型サイクロトロンの総運転時間は1645時間であった。運転時間の増加が目立ったのは、核医学研究のためのビーム提供であり、本年度(869時間)は前年度(704時間)に比べて23%程増加した。故障等による大型サイクロトロンの停止時間は昨年度(34時間)[1]の半分以下の15時間にまで低減され、またビーム調整に費やされる時間も昨年度(615時間)の半分以下の303時間にまで低減されており、安定したビームの供給が大型サイクロトロンから行われていることが分かる。小型サイクロトロンの総運転時間は1547時間であり、前年度と同等の利用が行われている。以下に本年度における放医研サイクロトン施設の運用に関する記録をまとめる。

## 2. 大型サイクロトロンの運用の記録

### 2.1 運転時間

本年度は、下記の通りに大型サイクロトロンを運用した:

- マシンタイム 第Ⅰ期: 3/27 – 9/1, 第Ⅱ期: 9/19 – 3/16
- 長期メンテナンス期間 9/4 – 9/15, 3/19 – 3/30
- 土曜日の運転回数 第Ⅰ期3回, 第Ⅱ期6回
- ビーム利用時間 8:30–17:00, ユーザーの要望により19:00まで延長の場合有り

本年度における、大型サイクロトロンから供給されるビームの利用用途とその時間、割合を示したものをTable 1に示す。イオンビームの利用の用途は、ユーザーの利用目的に沿って、Table 1の(1)–(5)に分けられる。(1)は、診断用・治療用の放射性薬剤開発のために、様々な放射性核種の製造を行うものである。(2), (3)はそれぞれ、基礎的な物理学実験(原子物理分野, 原子核分野, 検出器開発分野等)を行うもの、基礎的な生物学実験(放射線生物学分野, 細胞照射実験等)を行うものである。これらは放医研の職員だけでなく、外部研究機関のユーザーによっても実施される。ユーザーは、得られた成果の報告書を提出することで、無償にてビームを利用できる。(4)は、成果の公表を控えたいユーザーが、成果報告書の提出の代わりに、有償にてビームの利用を行うものである。ユーザーは、主に外部研究機関、一般企業の研究者・技術者である。(5)は、当施設専属のスタッフが、供給ビームの高強度化・安定化のために、ビームスタディ・調整を行うものである。運転時間として最も多いのは、(1)の核医学研究であり、その割合は50%以上にも達する。二番目に多いのは、(5)のマシンスタディ・ビーム調整である。前年度は615時間程であり、その半分程度に低減している。これは、 $^{211}\text{At}$ ,  $^{74}\text{As}$ 製造に用いる34-MeV Heイオンの供給のために、前年度には多くの調整時間が費やされたが、本年度は安定したビームの供給が行えるようになり、調整に費やす時間が減ったためである。(4)の有償ビーム提供は193時間であり、前年度に引き続き、例年(例えば、一昨年度は149時間)よりも多い時間が費やされている。以上を含めた大型サイクロトロンの総運転時間は1645時間であった。

Table 2に、大型サイクロトロンから供給されたイオンビームとそれに費やされた運転時間、その割合を示す。この表中の運転時間は、Table 1の用途(1)–(5)の全てを勘定に入れたものである。運転時間のうち半分近くが陽子ビームの供給に使われている。そのなかでも割合が大きいのは、物理研究、生物研究、有償提供にてよく用いられる70 MeVの陽子ビームである。続いて運転時間の割合が大きいのは、核医学研究にて使われる34 MeVのヘリウムイオンビームである。

ビーム利用用途ごとの記録は下記の通りである:

- 核医学研究

Table 3に核医学研究のために供給されたビームとそのための運転時間を示す。最も運転時間が長いのは、本年度は陽子ビームであり、全体の40.9%を占める。これは、標的アイソトープ治療用薬剤開発の関連研究として、オージェ電子放出核である $^{191}\text{Pt}$ の生産を本年度より開始したために、

Table 3: 核医学研究のために大型サイクロトロンから供給されたビームとそのための運転時間、及びそれにより生産された主たる放射性核種

イオン種	運転時間 (h)	割合 (%)	エネルギー (MeV)	運転時間 (h)	割合 (%)	生産された核種
陽子	355.8	40.9	16.4	40.0	4.6	<sup>225</sup> Ac
			18	108.1	12.4	<sup>191</sup> Pt
			30	163.7	18.8	<sup>191</sup> Pt
			50	35.3	4.1	
			60	8.8	1.0	<sup>67</sup> Cu
重陽子	77.9	4.7	20	50.7	5.8	
			50	3.5	0.4	
水素分子イオン	128.5	14.8	24	116.4	13.4	<sup>64</sup> Cu
			27	12.1	1.4	<sup>124</sup> I
ヘリウム-3 イオン	4.5	0.5	54	4.5	0.5	
ヘリウムイオン	329.4	37.9	34	287.6	33.1	<sup>211</sup> At, <sup>74</sup> As
			75	41.8	4.8	<sup>28</sup> Mg
計	869	100		869	100	

Table 4: 実施された物理研究のテーマ。各テーマの詳細に関しては本利用報告書を参照のこと。

テーマ名	イオンビーム
中高エネルギー粒子による核反応の研究	70-MeV 陽子
重粒子によるしきいエネルギー付近の核反応に関する研究	50, 100-MeV ヘリウムイオン
最前方と最後方における荷電粒子生成二重微分断面の測定	40-MeV 陽子
高精度陽子線治療のための基盤技術構築に関する研究	70-MeV 陽子
高精度陽子線治療と被ばく低減に向けた新しい画像技術の開発	70-MeV 陽子
陽子線治療の高度化にむけた放射線可視化技術の開拓	70-MeV 陽子
高分子系飛跡検出器の応答特性を表す化学的クライテリアの確立	100-MeV ヘリウムイオン
Study of elpasolite scintillators for use in space and terrestrial radiation detection	70-MeV 陽子

18, 30 MeV の陽子ビーム供給時間が増加したためである。次に多いのは、昨年度は最も供給時間が長かったヘリウムイオンビームであり、全体の 37.9% を占める。このイオンビームは、標的アイソトープ治療用薬剤に用いられる <sup>211</sup>At, <sup>74</sup>As の生産に主に用いられた。

- 物理研究・生物研究

Table 4 に本年度実施に実施された物理研究のテーマを示す。本年度は、8 テーマについてビームの供給が行われた。

- 有償ビーム提供

Table 5 に、本年度実施された有償ビーム提供にて、供給されたビームとそのための運転時間を示す。83% もの時間が 70-MeV 陽子の供給に費やされている。総運転時間は 193 時間であり、前年度 (187 時間) と同程度で有る。

- マシンスタディ・ビーム調整

Table 6 に、マシンスタディ・ビーム調整として費やした大型サイクロトロンの運転時間を示す。運

Table 5: 有償ビーム提供にて大型サイクロトロンから供給されたビームとそのための運転時間

イオン種	運転時間 (h)	割合 (%)	エネルギー (MeV)	運転時間 (h)	割合 (%)
陽子	185.2	96.1	30	8.5	4.4
			40	7.5	3.9
			50	9	4.7
			70	160.2	83.1
ヘリウムイオン	7.5	3.9	100	7.5	3.9
計	193	100		193	100

Table 6: マシンスタディ・ビーム調整として費やした大型サイクロトロンの運転時間

イオン種	運転時間 (h)	割合 (%)	エネルギー (MeV)	運転時間 (h)	割合 (%)
陽子	169.9	56.1	13	13.5	4.5
			16	17.3	5.7
			16.4	44.5	14.7
			18	5.0	1.7
			30	8.5	2.8
			50	25.8	8.5
			60	2.8	0.9
			70	28.3	9.4
			80	24.3	8.0
重陽子	27.3	9.0	20	19.5	6.4
			50	7.8	2.6
水素分子イオン	7.0	2.3	24	3.5	1.2
			26	3.5	1.2
ヘリウム-3 イオン	25.5	8.4	54	25.5	8.4
ヘリウムイオン	73.1	24.1	34	60.3	19.9
			75	3.7	1.2
			100	9.1	3.0
計	303	100		303	100

転時間は 303 時間であり、前年度の 615 時間に比べて、半減している。この運転時間の大幅な減少は、前年度には  $^{211}\text{At}$ ,  $^{74}\text{As}$  製造に用いる 34-MeV He イオンの供給のために多くの調整時間が費やされたが、本年度は安定したビームの供給が行えるようになり、調整に費やす時間が減ったためである。

## 2.2 故障等による供給の停止 [3]

本年度、故障等によって生じた大型サイクロトロンの停止時間及びその原因を Table 7 に示す。取り出し装置系による停止時間が例年の 14 時間に比べて、大幅に低減された。本年度の総停止時間は 15 時間であり、昨年度の 34 時間に比べて半分以下となった。本年度も数日間供給が止まるような大きなトラブルはなく、安定した運転が行われた。

Table 7: 故障等による大型サイクロトロンへの停止時間, 及びその原因 [3]

停止の原因	停止時間 (h)	割合 (%)	全運転時間に占める割合 (%)
取り出し装置系 (静電デフレクター)	5	33.3	0.3
電源系	5	33.3	0.3
冷却水系	2	13.3	0.1
制御系	2	13.3	0.1
真空系	1	6.7	0.1
計	15	100	0.9

Table 8: 小型サイクロトロンに関するビーム利用用途別の運転時間, 及びその割合 [3]

ビーム利用用途	イオンビーム	運転時間 (h)	割合 (%)
核医学研究	18-MeV 陽子	1473	95.2
	9-MeV 重陽子	56	3.6
マシンスタディ・ビーム調整		18	1.2
計		1547	100

### 3. 小型サイクロトロンの運用 [3]

小型サイクロトロンは陽子と重陽子を供給し, PET 薬剤に用いる放射性薬剤 ( $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{18}\text{F}$ ) の生産のために用いられている。小型サイクロトロンに関するビーム利用用途別の運転時間, その割合を Table 8 に示す。総運転時間のうち, 1.2% はマシンスタディ・ビーム調整に使用され, 残りの 98.8% は核医学研究のために使用された。前年度の平成 27 年度における総運転時間は 1547 時間であり, 昨年度と同程度であった。小型サイクロトロンの故障が原因で供給が止まることはなく, 非常に安定した運転・供給が行われた。

### 参考文献

- [1] 片桐 他, 平成 28 年度放医研サイクロトロン利用報告書, 2017, pp. 2.
- [2] T. Honma et al., Proceedings of 18th Int. Conf. on Cyclotrons and their Applications, Giardini Naxos, Italy, 2007, pp. 137.
- [3] S. Hojo et al., the 15<sup>th</sup> Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 7–10, 2018, Nagaoka, Japan, pp. 1359.

# 放医研のサイクロトロン運転および整備について

## STATE OF THE NIRS CYCLOTRONS

北條 悟<sup>A</sup>、涌井 崇志<sup>A</sup>、片桐 健<sup>A</sup>、宮原信幸<sup>A</sup>、杉浦 彰則<sup>A</sup>、野田 章<sup>A</sup>、  
岡田 高典<sup>B</sup>、立川裕士<sup>B</sup>、白井 敏之<sup>A</sup>  
Satoru Hojo<sup>A</sup>, Takashi Wakui<sup>A</sup>, Ken Katagiri<sup>A</sup>, Nobuyuki Miyahara<sup>A</sup>, Akinori Sugiura<sup>A</sup>,  
Akira Noda<sup>A</sup>, Takanori Okada<sup>B</sup>, Yuji Tachikawa<sup>B</sup>, and Toshiyuki Shirai<sup>A</sup>

A: 放射線医学総合研究所重粒子医科学センター物理工学部

B: 加速器エンジニアリング株式会社

### 概要

放医研のサイクロトロン棟には、2 台のサイクロトロンがある。1 台は、1974 年に運転開始をした大型サイクロトロン (NIRS-930) で、もう 1 台は、1994 年より PET 診断薬の製造を専門に行っている小型サイクロトロン (HM-18) である。NIRS-930 は運転開始より 44 年、HM-18 は 24 年が経過しており、2 台とも老朽化が進む状態で、各所修繕を繰り返しながら運転を続けている。

本年度は、RI 生産のために 50 MeV proton の高強度化と、新たなビームエネルギーである 54 MeV  $^3\text{He}$  のビーム供給の依頼があり、それぞれビーム調整を行い供給することができた。また、イオン源引き出し電極の製作や、冷却系のバルブの更新等のメンテナンスを行ったので、これらについて報告する。

### 1. ビーム調整

本年度は、新たなビームとして、54 MeV  $^3\text{He}^{2+}$  のビーム調整を行い、ビーム供給を行った。RI 製造における励起関数測定用で、ターゲットでの強度要求値は  $0.1 \mu\text{A}$  であった。サイクロトロンからの取り出しビーム強度は、最大で  $1.2 \mu\text{A}$  を確認することができた。取り出されたビームのエネルギーを測定した結果、55.4 MeV であった。

また、これまで物理実験を目的に供給されてきた 50 MeV proton について、RI 製造用に高い強度の要求が出されたために取り出し電流の増強を図った。物理実験での取り出し強度は  $0.3 \mu\text{A}$  で充分であった。RI 製造に向けたビームの目標値は  $10 \mu\text{A}$  である。取り出しビーム電流を増すためにまずは、静電デフレクタとマグネティックチャンネルの透過効率を上げる必要がある。そのため、取出しにおける静電デフレクタの電極位置や、マグネティックチャンネル、取り出しの為のハーモニックコイルの調整を行い、透過効率を 40% から 47% へ上げることができた。この時の取り出せたビーム電流は、 $5 \mu\text{A}$  であった。目標の  $10 \mu\text{A}$  には、さらに取り出しの効率を上げてビーム電流を上げる必要がある。そのためにまず、サイクロトロン内部における各半径のビーム位相を位相プローブにより測定した。このことからビーム位相の測定結果を図 1 に示す。半径が 80 cm 以上では理想的な加速位相との位相差が 10 度程度に抑えられているが、内側では、最大 40 度にも及ぶ位相差がみられた。次に、微分型メインプローブによるターンパターンを測定した。その結果を図 2 に示す。ターンパターンにおいても、中心部に近い 150 mm 付近でのターンセパレーションがなく、ピークが見えていない。ビーム位相と加速電圧の位相との間にズレがあり 1 ターン当たりの加速電圧が低くなってしまっていると考えられる。この位相ズレを補正して理想的な加速位相にあわせ、さらに中心領域の位相スリットにより加速位相を制限することによって、ビーム取出し効率を上げることが今後の課題である。

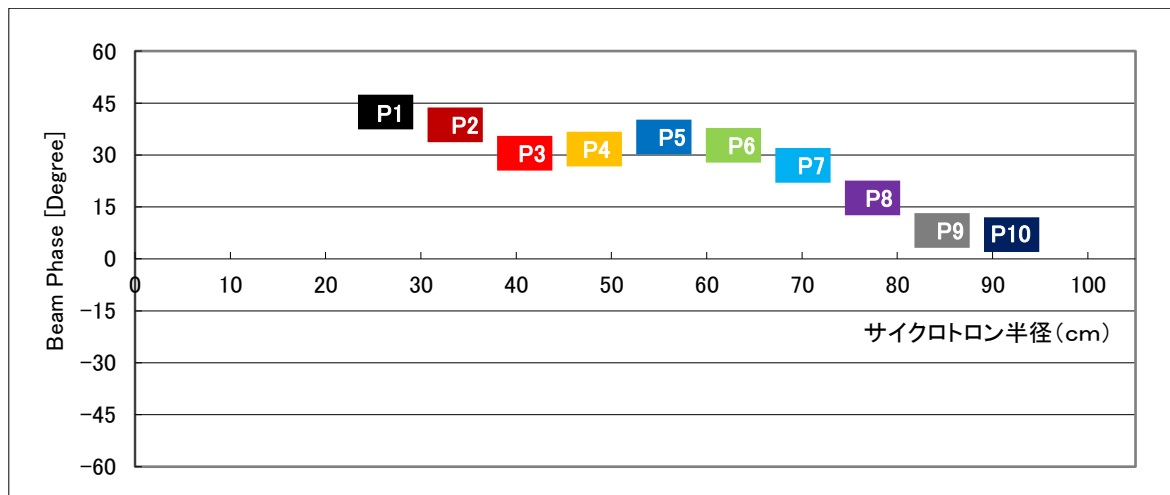


図 1 . 50 MeV proton における位相プローブによるビーム位相の測定結果  
(Beam phase = 0 degree が理想的な加速位相)

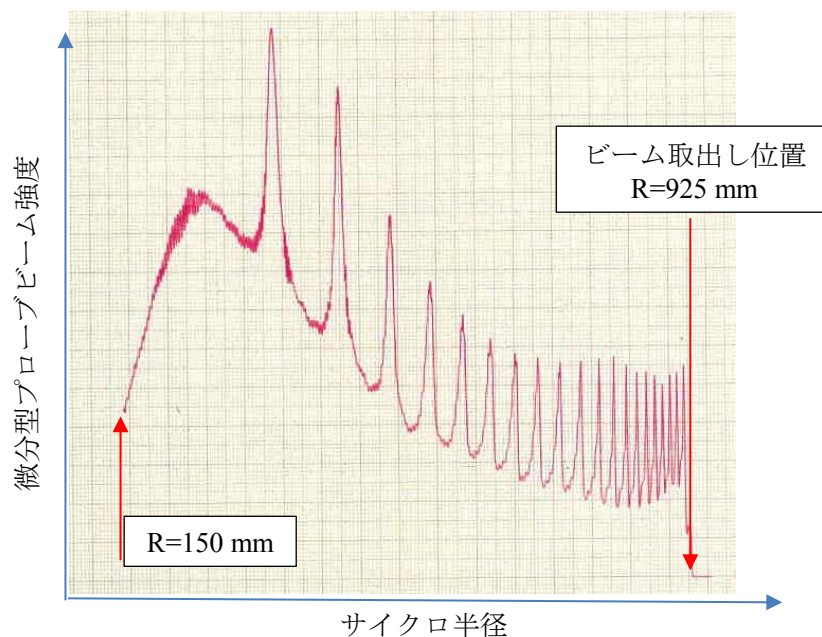


図 2 . 50 MeV proton の微分型メインプローブによるターンパターンの測定結果

## 2. 高度化検討

現在、NIRS-930 の主目的となっている標的アイソトープ治療 (TRT) のための RI 生産において、大電流ビームの需要が高くなってきている。NIRS-930 において大電流ビームの出力を得るためには、入射するビーム電流を増やす大電流入射を可能とすることと、取り出しの効率を上げる高効率取出しを可能とする必要がある。そこで、NIRS-930 において、入射ラインや取出し機構の改良により、この 2 つの目標が実現可能であるかどうかの検討を行った。

まず、大電流ビームを入射するためには、ビーム電流を増やすと影響が大きくなっていく空間電荷効果への対策が必要不可欠となる。空間電荷効果の影響を少なくするために入射するビームのエネルギーを高くすることが効果的である。そのため、例えば 70 MeV proton で現在 15 keV 入射のところを 30 keV での入射が実現可能となるかの検討を行った。その結果、インフレクタ電極のサイズの増大、バンチャー電圧の不足があるが、ほぼ実現可能との見解が得られた。

次に、ビームの取り出し効率を上げるのに最も効果的なのは、負イオン加速による荷電変換取り出しである。負イオンの荷電変換取り出しについては、既設ビームラインへの取り出しが可能となるかの検討を行った。共振器中心軸上に取り出し荷電変換フォイルを設置し、グラディエントコレクタをアクティブ化することにより偏向を行い、既設ビームライン軸上に合わせるための検討を行った。70 MeV proton の負イオン取り出しビーム軌道を計算すると、既設ビームラインに乗せるためには、34 度の偏向角度が必要となり、これをグラディエントコレクタの磁極長で偏向するには、

2 T 以上の磁場が必要となってしまう。実績のあるアクティブ化したグラディエントコレクタの磁場強度は、0.2 T 弱であり、アクティブ化のみでは不可能であり、取り出し直後の輸送ラインの大幅な改良が必要になるとの見解が得られた。

今後さらに大電流化にむけての検討を進めていく予定である。

### 3. 装置の改良や計画について

NIRS-930 の外部入射用イオン源には、炭素線治療装置用小型イオン源のプロトタイプである永久磁石型 ECR イオン源 Kei-source を用いており、プロトンから C, Ne といった NIRS-930 から供給しているイオン種すべてを一手に担っている。Kei-source による NIRS-930 の外部入射からの供給運転は、2006 年より開始し 10 年を超えて安定な供給運転を続けている。NIRS-930 の主目的となっている RI 製造において、高強度が必要なビーム核種としては、プロトンが主流となっていたが、TRT に向けてさらに多岐にわたる核種製造を行っていくうえで、He ビーム等も高強度の需要が高くなってきている。サイクロトロンから高強度でビームを取り出すためには、サイクロトロン内部の調整のみではなく、入射するビームの状態も重要で、イオン源からの引き出しエネルギーやビーム核種が変わることにより、イオン源の出口と引き出し電極間の調整が必要不可欠となってくる。しかしながら、Kei-source からビームを引き出す引き出し電極は、駆動サポート部に不具合が生じており、これまで、位置を固定しての運転を行ってきた。そのために、最適なイオン源の出口のビーム条件を作ることができず、入射ラインでのビームロスが大きくなってしまっている。そこで、引き出し電極の駆動サポート部を強化した引き出し電極と駆動機構の製作を行った。今後、交換作業を行い、さらに遠隔操作化を進めていく予定である。

また、入射ラインで用いているビームバンチャーにおいて、鋸歯状波を用いるために、インピーダンス変換トランスの製作をおこなった。これまで使用していたインピーダンス変換トランスは、内部基板の損傷により、使用不能となってしまう、現在では、整合回路を用いた正弦波ビームバンチャーを用いている。以前使用していた変換トランスより変更した点としては、変換率を 1:4 から 1:9 に挙げて出力側インピーダンスを  $450\Omega$  とした。また、回路変更を行いベース基板への印加される電圧も低めに設定されている。これらの改善により、低い電力で高い電圧が可能となる。今後、取り付け及びパワーテストを行い、ビームテストを実施していく予定である。

### 4. その他、保守メンテナンス作業等

運転開始より 40 年を超える NIRS-930 では故障個所の修繕や、メンテナンスを行いながら運転を続けている。本年度は、NIRS-930 本体周りでは、メインプローブにおいて真空リークが発生した。1100 mm の長いストロークのシャフトの真空シールは、X リングの 2 重真空シールになっている。この X リングに傷が入ってしまい、真空リークが発生してしまった。そのため、X リングの交換を行った。また、加速箱のメイン排気システムであるクライオポンプ用の大口径ゲート弁に真空リークが生じたため、バルブの交換を実施した。

電源系では、40 年以上使用を続けている輸送系の電磁石電源に故障が多く生じた。漏電検出の追加により、制御系電源のラック内部での漏電が判明し、漏電箇所の対応を行った。

冷却系においては、サイクロトロンの冷却水用熱交換器の分解メンテナンスを実施した。その際に、一次水側のストレーナーや、バルブ、フート弁において、錆や腐食による固着などの老朽化による不具合が確認されていた。そのため、交換作業を行った。

安全インターロック系においては、さらなる安全対策として本体室の閉じ込め防止のため、扉閉操作の際に回転灯が点灯しサイレンが鳴る機構を設置した。

長期メンテナンス作業で NIRS-930 の内部点検を行うには、上ヨークをジャッキアップする必要がある。このジャッキアップ機構は、17 年前に導入されたもので、駆動オイルのにじみが発生していたため、ジャッキアップ機構全体のオーバーホールを行った。

放医研の特高変電設備の更新に伴い、40 年以上使われてきたサイクロトロン棟の受電設備の更新が行われた。電源切替は長期休暇のタイミングに併せて行われ、これによるマシンタイムの停止日数は 2 日間のみであった。しかしながら、新たな受電設備には漏電検出機能が追加されており、これにより 3 相 4 線式の中点を利用していた系統が漏電検出とみなされてしまい、サイクロトロンの運転ができなくなるといったトラブルが生じた。このトラブルにより 3 時間程度、供給に遅れが生じてしまった。

## 2. 核医学研究

## サイクロトロンでの標識薬剤の製造・開発への利用状況

Production and Development of Radiopharmaceuticals Using Cyclotron in 2017

武井 誠、鈴木 寿、菊池 達矢、藤永 雅之、破入 正行、石井英樹、永津  
弘太郎、河村 和紀、張 明栄

Makoto Takei, Hisashi Suzuki, Tatsuya Kikuchi, Masayuki Fujinaga, Masayuki Hanyu,  
Hideki Ishii, Kotaro Nagatsu, Kazunori Kawamura, Ming-Rong Zhang

量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所 標識薬剤開発部

### 概要

標識薬剤開発部では、臨床診断・治療や生体機能の計測に有用な放射性核種標識薬剤の開発、標識薬剤合成に必要な放射性核種の製造及び標識・分析技術の開発研究を行っている。また、安全で高品位な標識核種及び診断・治療用の放射性薬剤を供給しており、脳機能イメージング研究部、分子イメージング診断治療研究部のみならず放射線医学総合研究所付属病院や外部の大学・研究機関・企業の研究者に広く提供している。

これらの研究の主な用途は、放射性核種の効率的な製造法の確立、新規 PET 用標識薬剤及び標識技術(中間体と反応)の開発、動物実験による薬剤の有効性と前臨床評価、臨床研究等である。臨床研究用に製造された放射性薬剤は、1) HIMAC を用いた腫瘍の治療効果の評価や転移の有無などの判定、2) がん患者への治療研究、3) 認知症や統合失調症などの各種の精神神経疾患の診断、治療効果の評価及び病態発生メカニズムの解明研究などに利用されている。本報告書では新規標識薬剤の開発状況及び放射性薬剤の安定製造状況を報告する。

### 1. 標識薬剤開発部の開発研究状況

新規標識薬剤の開発、内用療法に資する放射性核種の製造、新規標識技術・合成法の開発、超高比放射能化の研究等のために様々の短寿命放射性核種が製造されている。また、これらの核種及び標識技術を利用し、多数の有用な放射性プローブが開発され、3種の薬剤は臨床利用に至った。以下にこれらの研究について代表的な成果を紹介する。

1) 独自に開発した  $^{18}\text{F}$ -標識技術及び  $^{11}\text{C}$  ホスゲン製造技術を生かしながら、炎症などの新規放射性プローブを開発した。また、ヨウ化  $^{11}\text{C}$  メチル、 $^{11}\text{C}$  一酸化炭素、 $^{18}\text{F}$  フルオロ臭化エチルを含む多様の標識合成中間体を安定製造し、完成した自動製造システムで 10 種以上の新規標識プローブを合成した。さらに、正常及びモデル動物を用い、多数のプローブの有用性を評価した。

2) 薬剤の定常提供を行いながら、3 種の新規 PET 薬剤 ( $^{18}\text{F}$ ]MNI-659,  $^{18}\text{F}$ ]T-401,  $^{11}\text{C}$ ]MeLeu) の製法及び分析法を確立し、前臨床試験である安全性試験、被ばく線量推定試験を実施、  
薬

剤委員会に書類を作成、提出、審議の後、これらの臨床への提供を開始した。また、がん  
治

療用放射性薬剤  $^{64}\text{Cu}$ ]Cu-ATSM の製剤化に成功し、臨床研究への提供を可能にした。

3)  $\beta$  線放出核種  $^{186}\text{Re}$  の製造法を評価・確立し論文投稿を準備している。 $\alpha$  線放出核種  $^{211}\text{At}$  について安定した製造が可能となった。また新規核種・オージェ電子放出  $^{191}\text{Pt}$  について、効率的な製造法を開発し現在評価を行なっている（一部の成果は論文発表済み）。さらに  $\alpha$  線放出核種の候補拡大を図り  $^{225}\text{Ac}$  の製造研究に着手し、研究の一部は特許出願を進めている。

## 2. 標識薬剤開発部の生産・提供状況

平成 29 年度に製造した放射性薬剤は、腫瘍診断 ( $^{18}\text{F}$ ]FDG)、脳機能測定 ( $^{11}\text{C}$ ]BTA、 $^{11}\text{C}$ ]PBB3、 $^{18}\text{F}$ ]PMPBB3、 $^{18}\text{F}$ ]FMeNER、 $^{11}\text{C}$ ]ABP688、 $^{11}\text{C}$ ]SCH、 $^{18}\text{F}$ ]FMeNER、 $^{11}\text{C}$ ]FLB) などの臨床利用、サル、ラット、マウスなどの動物実験 ( $^{11}\text{C}$ ]MAGL-1、 $^{11}\text{C}$ ]C22b、 $^{11}\text{C}$ ]MeTrp、 $^{15}\text{O}$ - $\text{H}_2\text{O}$ 、 $^{18}\text{F}$ ]FEAKT、 $^{18}\text{F}$ ]PMPBB3、 $^{18}\text{F}$ ]5Fu、 $^{64}\text{Cu}$ ]mAb、 $^{211}\text{At}$ ]mGlu など)、校正用ファントム線源 ( $^{18}\text{F}^-$  など) 等へ提供した。また、大型サイクロトロンを利用して製造を行った  $^{28}\text{Mg}$  水溶液、 $^{64}\text{Cu}$  水溶液、 $^{211}\text{At}$  水溶液などを数施設の研究機関に譲渡した。

設備関係では、サイクロトロン棟第二ホットラボ室でシアン合成装置を導入し、臨床に向けた合成実験を行い、来年度から薬剤提供を行う予定である。サイクロトロン棟第一ホットラボ室では、放医研で開発した多目的合成装置 (3 台)、 $^{11}\text{C}$  合成装置 (1 台)、超高比放射能合成装置 (1 台) と  $^{18}\text{F}$ -有機合成装置 (1 台) を配置し、第二ホットラボ室では多目的合成装置 (2 台) を設置して多種多様な薬剤合成を行っている。

なお、平成 29 年度に製造した標識化合物および生産量を表 1 に、被験者数を図 1 に、生産・提供回数の推移を図 2 にそれぞれ示した。

表1. 平成29年度に製造した標識化合物および生産量

核種	化合物	生産量		診断供給量			動物供給量		譲渡	
		放射能 (GBq)	回数 (回)	放射能 (GBq)	回数 (回)	人数 (人)	放射能 (GBq)	回数 (回)	放射能 (GBq)	回数 (回)
$^{11}\text{C}$	PBB3	136,119	77	37,710	37	37	12,412	47	-	-
	BTA	185,792	63	101,034	61	61	2,473	6	-	-
	BF227	13,072	6	0	0	0	3,755	6	-	-
	RAO	21,909	7	0	0	0	2,590	7	-	-
	FLB	3,111	1	489	1	1	0	0	-	-
	Q22b	78,013	34	0	0	0	23,475	34	-	-
	WAY	20,219	5	0	0	0	740	5	-	-
	ABP688	113,514	36	16,482	9	9	27,547	22	-	-
	M2	13,269	6	0	0	0	2,960	6	-	-
	AZD1283	5,678	16	0	0	0	814	16	-	-
	9Pa6TP	17,913	21	0	0	0	2,211	18	-	-
	AC5216	48,893	19	0	0	0	8,893	19	-	-
	MAGL-1	24,514	54	0	0	0	8,961	51	-	-
	MeTrp	57,321	24	0	0	0	10,915	24	-	-
	MET	25,230	6	0	0	0	5,620	6	-	-
	SCH	38,258	13	38,258	11	11	0	0	-	-
	MeLeu	11,876	5	0	0	0	0	0	-	-
	MePro	60,720	13	0	0	0	937	2	-	-
	OH3I	1,810	8	0	0	0	74	8	-	-
	その他	456,219	366	0	0	0	59,149	97	-	-
$^{15}\text{O}$	H2O	73,495	15	0	0	0	70,077	14	-	-
$^{18}\text{F}$	AMPBB3	959	1	0	0	0	411	1	-	-
	PMPBB3	131,221	81	31,694	40	40	25,157	64	-	-
	FEAKT	36,284	31	0	0	0	8,630	30	-	-
	MNI-659	43,347	37	13,270	15	15	8,477	21	-	-
	T-401	23,464	12	0	0	0	2,940	8	-	-
	FETDAA	5,344	4	0	0	0	1,480	4	-	-
	FEDAC	14,907	13	0	0	0	4,242	13	-	-
	FETMP	19,733	10	0	0	0	6,168	10	-	-
	FMeNER	12,737	23	3,629	9	9	184	9	-	-
	FDG	247,878	26	83,506	25	58	0	0	-	-
	F-	24,170	5	0	0	0	13,103	5	-	-
	その他	122,605	135	0	0	0	22,167	28	-	-
$^{20}\text{Mg}$	水溶液	41	6	0	0	0	0	0	41	6
$^{64}\text{Cu}$	水溶液	180,415	14	0	0	0	22,981	11	1,240	1
$^{67}\text{Cu}$	水溶液	0	0	0	0	0	0	0	-	-
$^{68}\text{Ge}$	水溶液	3	2	0	0	0	0	0	2	2
$^{74}\text{As}$	水溶液	5	3	0	0	0	0	0	3	3
$^{111}\text{Ag}$	水溶液	0	0	0	0	0	0	0	-	-
$^{124}\text{I}$	水溶液	0	0	0	0	0	370	0	-	-
$^{211}\text{At}$	水溶液	6,894	25	0	0	0	2,925	19	-	-

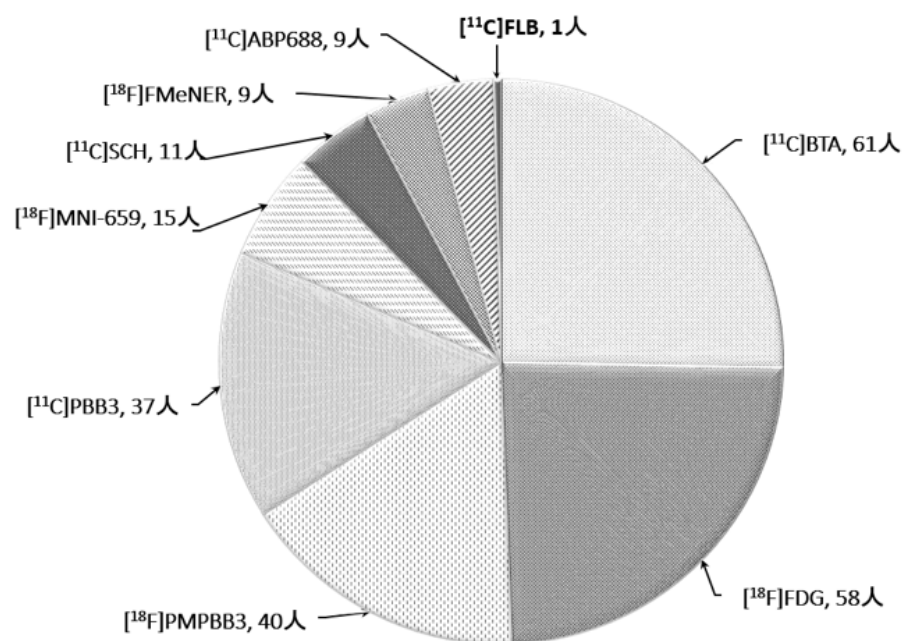


図1. 平成29年度における被験者数(241人)

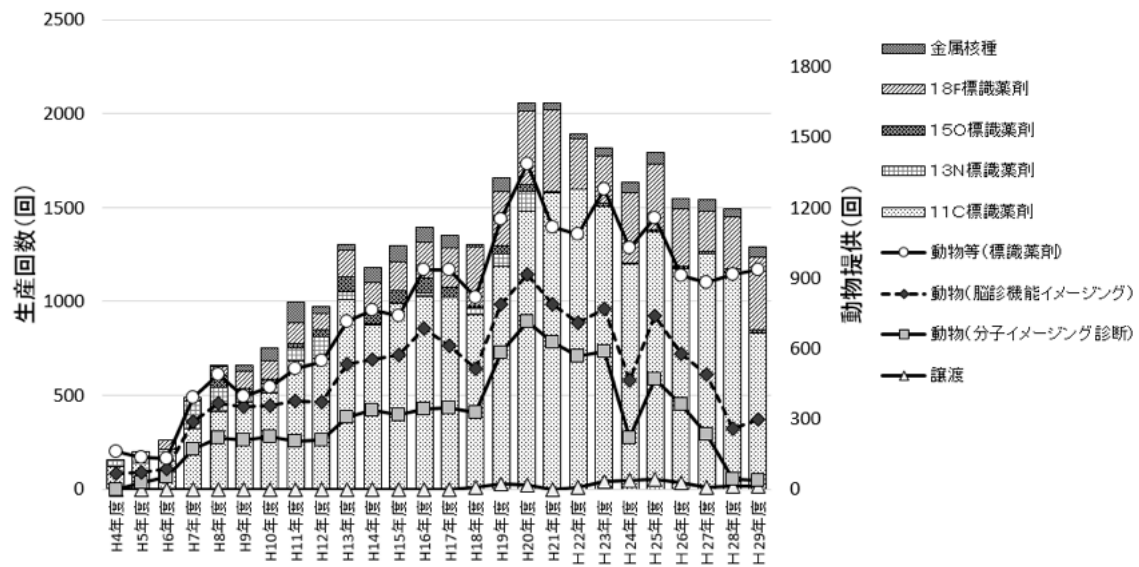


図2. 生産回数と提供回数の推移

### 3. 物理学/生物学研究

# 核破碎片生成二重微分断面積の測定

## DOUBLE DIFFERENTIAL CROSS SECTION OF FRAGMENT PRODUCTION

山口 雄司<sup>A</sup>, 佐波 俊哉<sup>B</sup>, 魚住 裕介<sup>C</sup>, 古場 裕介<sup>D</sup>  
Yuji Yamaguchi<sup>A</sup>, Toshiya Sanami<sup>B</sup>, Yusuke Uozumi<sup>C</sup>, Yusuke Koba<sup>D</sup>

<sup>A</sup>九州大学大学院工学府

<sup>B</sup>高エネルギー加速器研究機構 共通基盤研究施設 放射線科学センター

<sup>C</sup>九州大学大学院工学研究院

<sup>D</sup>量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所

### 概要

平成 29 年度の放医研サイクロトロンの実験では、(p, p'x)反応における蒸発過程からの陽子のエネルギースペクトルの取得を目的として、70 MeV 陽子入射に対する炭素、アルミニウム、銅、金ターゲットからの陽子および核破碎片生成二重微分断面積(DDX)測定をおこなった。

### 1. はじめに

九州大学、高エネルギー加速器研究機構、放射線医学総合研究所からなる当グループでは(p, p'x)反応における蒸発過程からの陽子の角度分布とエネルギースペクトルを取得することを目的として、放医研サイクロトロンを利用した実験データの取得をおこなっている。これまでの研究[1-10]により、陽子、重陽子、ヘリウム原子核、炭素入射に対するベリリウム、炭素、アルミニウム、チタン、銅ターゲットからの核破碎片生成二重微分断面積が得られている。これらの実験データと理論計算の結果を比較することにより、核破碎片生成にはその前段階に当たる核子-核子散乱過程でのエネルギーと核子の放出が寄与していることがわかってきた。核子-核子散乱過程で放出される粒子は陽子、重陽子、三重陽子、ヘリウム原子核などの比較的軽い粒子であり、これまでである程度の実験データが得られているが、核破碎片と同時に測定された例はほとんどない。昨年度までで、測定対象粒子の拡充を目的とした検出器の改良、測定角度の拡充を目的とした散乱チェンバーの改良と改良型検出器の増設をおこない、核破碎片と同時に陽子やヘリウム原子核などの軽粒子の測定が可能となった。本年度は陽子測定におけるサンプルフレーム散乱や検出器入射窓均一性の定量的な調査の上で測定をおこない、信頼性の高いエネルギースペクトルの取得を図った。本報告では、改良型検出器、散乱チェンバーの概要と今年度の測定結果について述べる。

### 2. 実験

実験は放射線医学総合研究所の大型サイクロトロン(NIRS-930)の C6 コースにておこなった。(p, p'x)反応における蒸発過程からの陽子のエネルギースペクトルの取得を目的として、70 MeV 陽子入射による炭素、アルミニウム、銅、金ターゲットからの陽子および核破碎片生成二重微分断面積を測定した。実験体系の写真を図 1 に示す。実験装置の配置、手法については参考文献 [1-10]に詳細な記述がある。ここでは軽粒子および核破碎片測定のための改良型検出器と測定角度拡充のための改良型散乱チェンバーについて記述する。

核破碎片の測定にはブラッグカーブカウンター(BCC)を用いており、これに独自に開発した、カソード信号を用いた低エネルギー粒子弁別能力の改善[2]、突き抜け粒子のエネルギー補正による高エネルギー粒子の測定[3]という手法を適用し、核破碎片の測定のために必要とされる効率と可測定エネルギー域の確保をおこなっている。BCC で測定可能な粒子はリチウム以上の粒子であり、これより軽い粒子では検出器厚みと分解能が十分ではなく、十分に測定がおこなえない

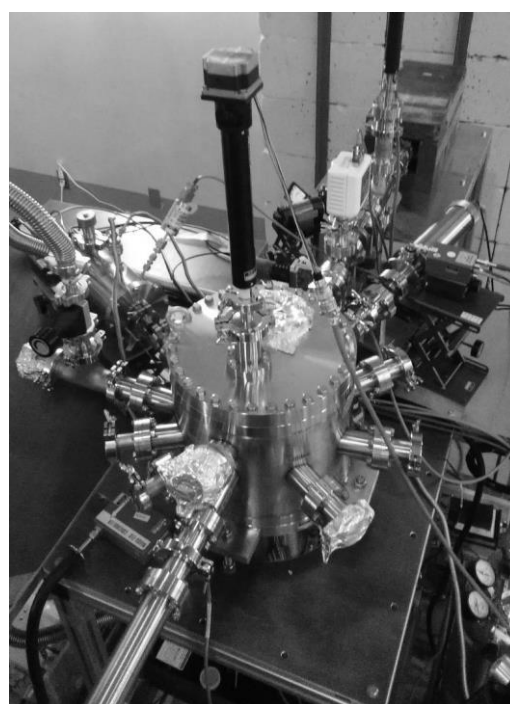


図 1 C6 コースに構築した実験体系の写真

い。そこで1台のBCCに対し、(1) 前置増幅器を内蔵させることによりエネルギー分解能の向上を図り、(2) Si 半導体検出器(SSD)を組み合わせることにより軽粒子を測定可能にし、(3) 全体を小型化して測定角度の拡充をおこなっている。

図2に改良型BCCの断面図を示す。アノードと検出器フランジの間に70 mm程度のスペースを設けて、アノード用前置増幅器とSi半導体検出器を組み込み可能な形状とした。アノード用前置増幅器としては、これまで用いているクリアパルス社製581型を利用した。Si半導体検出器にはセイコーEG&G社製のTB-023-450-400 (SSD 400  $\mu\text{m}$ ), TB-019-300-1000 (Veto SSD 1000  $\mu\text{m}$ )を組み込んだ。さらに後段にVeto SSD 突き抜け粒子を測定できる配置でシンチレータをとりつける予定である。この改良型BCCを用いることで、核破砕片と同時に陽子の測定が可能となったため、後述の散乱チェンバーを用いた測定系の利用によって、蒸発過程からの陽子の角度分布とエネルギースペクトルを取得できる。なお、本年度では高エネルギー粒子測定用にSi半導体検出器TB-015-450-500 (SSD 500  $\mu\text{m}$ )とBGOシンチレータ( $\phi 36, t 12 \text{ mm}$ )からなるカウンターテレスコープを用いた。

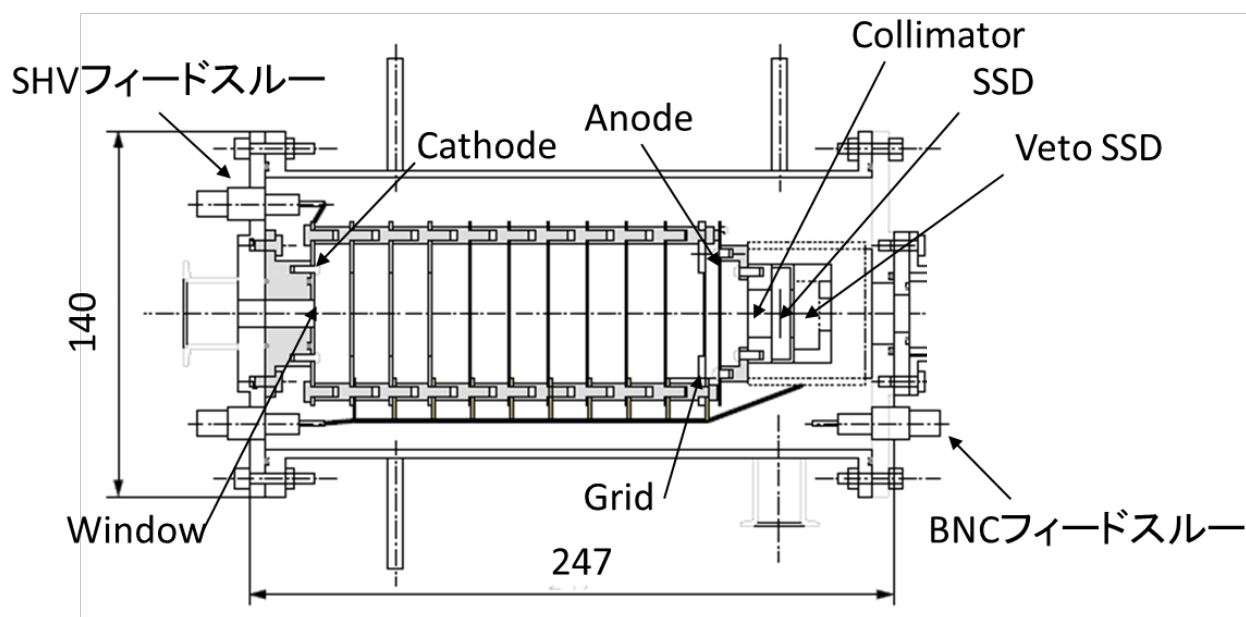


図2 改良型BCCの断面図

上記BCCと組み合わせて用いる散乱チェンバーの縦断面図と平面図を図3に示す。散乱チェンバーについては(1) 検出器に関して最前方のみ小型のBCCを想定し、それ以外の角度では既存のBCCが使用できるようにする、(2) 散乱チェンバーの真空を効率的に引くために、チェンバーにターボ分子ポンプを取り付ける、(3) 測定角度を減らさずにターゲットを覗けるように、散乱面でない方向にビューポートを設ける、(4) Si半導体検出器の使用を考慮し、ビームダンプまでの距離を延長する、(5) ビームダンプ直前にデマルキャストを設置し、ダンプに入射するビームのモニターをおこなう、(6) これらを専用の架台に配して容易に設置できるようにした。改良型散乱チェンバーの使用は2014/12/19からである。

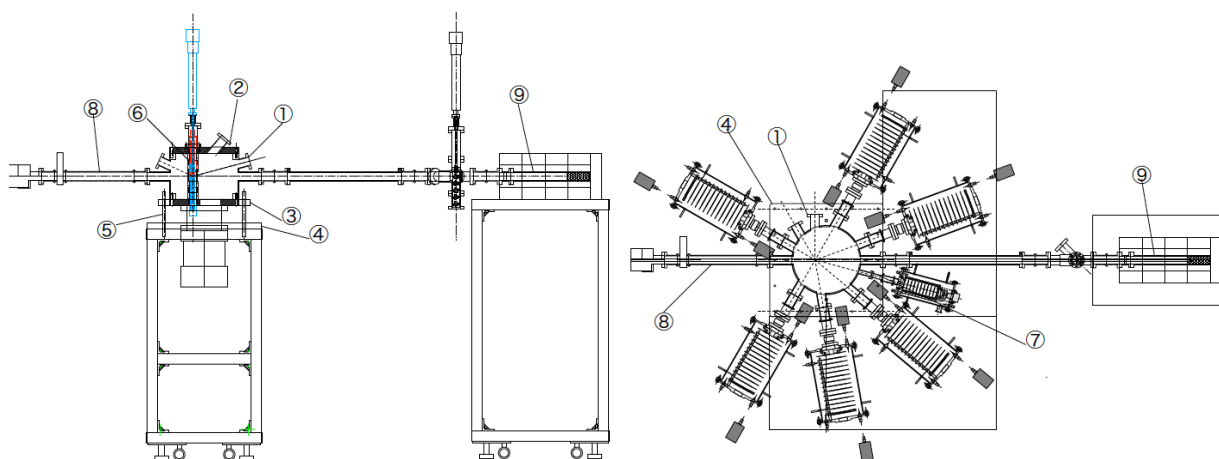


図3 散乱チェンバーの縦断面図(左)と平面図(右)

### 3. 結果と考察

図4に平成29年度の測定結果のうち炭素, アルミニウムターゲットから60度方向に放出した陽子のDDXと先行研究DDX[11, 12]との比較を示す。本測定で取得したデータは, 入射エネルギー $E_p$ や検出器分解能の違いによる差異が小さいと考えられる50 MeV以下の領域において先行研究データと一致する。このことから陽子エネルギースペクトルの信頼性を確認できた。

本測定データのエネルギー下限値は1 MeVであり, 先行研究の測定エネルギー下限値2 MeVに対して1 MeV下げることができた。これにより蒸発過程からの陽子のより詳細なエネルギー分布を得られるようになることが期待できる。

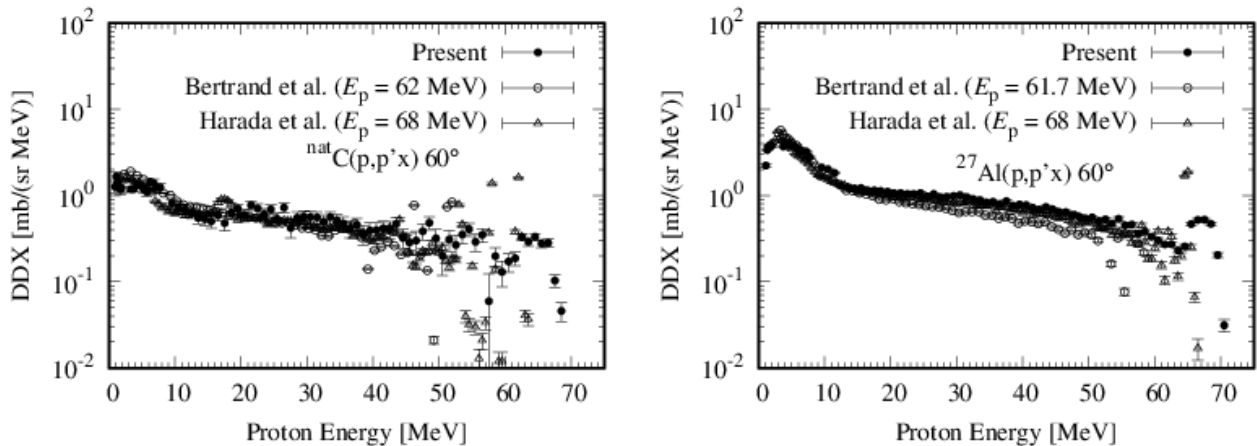


図4 炭素, アルミニウムターゲットからの放出陽子エネルギースペクトル

図5に炭素, アルミニウム, 銅, 金ターゲットから60度方向に放出した陽子のDDXの測定結果と計算値を示す。計算値はPHITSコード2.81によるものである。物理オプションにはデフォルト値を用いている。計算結果は金ターゲットを除き, 低エネルギー部分で測定結果との一致を示すが, 30 MeV以上の高エネルギー領域で過小評価する傾向を示すことがわかる。他の角度におけるエネルギー分布を調べることで過小評価の原因特定が期待できる。

図6に炭素, アルミニウム, 銅, 金ターゲットから60度方向に放出したヘリウム原子核のDDXの測定結果と計算値を示す。アルミニウム, 銅, 金ターゲットの測定データは, Si半導体検出器の厚みの不足により60 MeV以上で得られていない。SSDの後段にシンチレータを配置することで未取得のエネルギー領域のデータを得ることができる。金ターゲットの測定データではヘリウムエネルギー15 MeV前後で傾向が異なっており, 本測定と異なる検出器や測定手法を用いたデータ取得により再現性を確かめる必要がある。

計算値は炭素ターゲットについておおむね測定データを再現するが, アルミニウム, 銅ターゲットでは低エネルギー領域で測定データを再現するものの, 高エネルギー領域で過小評価する傾向を示すことがわかる。入射陽子エネルギー数十MeVでの重陽子やヘリウム原子核などの複合粒子生成反応は, 高エネルギー領域ではダイレクトピックアップ過程が支配的であると考えられており, この過程の記述の改良が必要と推定できる。

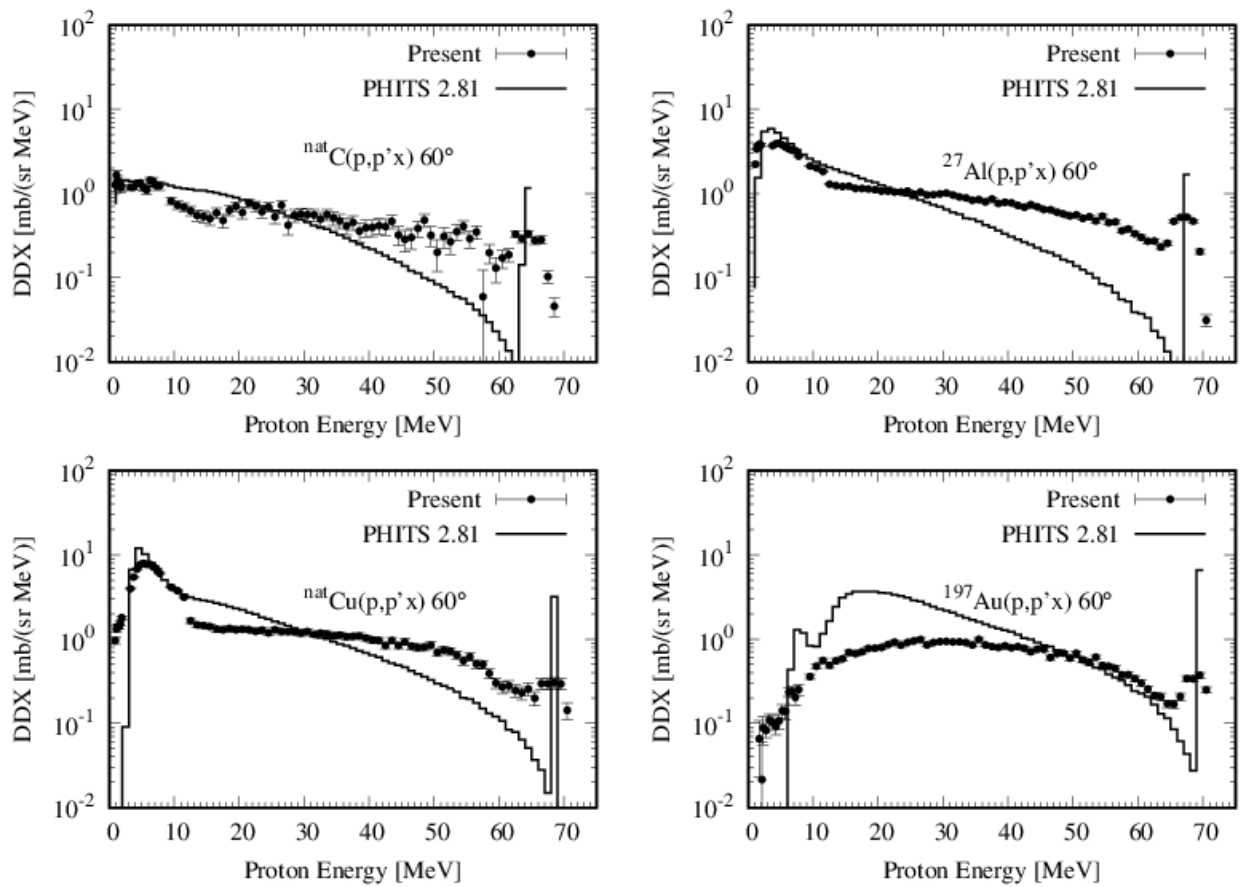


図5 炭素，アルミニウム，銅，金ターゲットからの放出陽子エネルギースペクトルの測定値と計算値

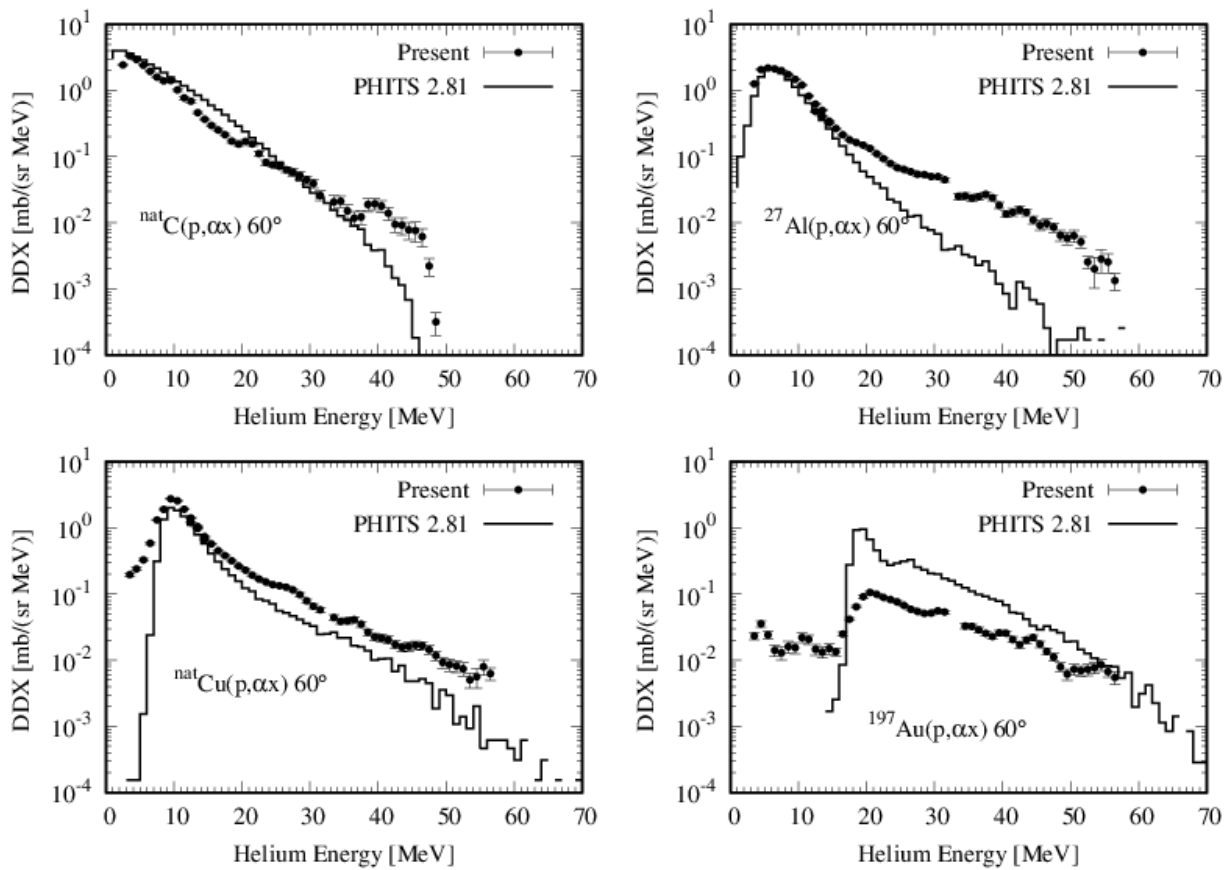


図6 炭素，アルミニウム，銅，金ターゲットから放出するヘリウム原子核のエネルギースペクトルの測定値と計算値

#### 4. まとめ

平成 29 年度のマシンタイムにおいては陽子やヘリウム原子核などの軽粒子のエネルギースペクトルを取得し、取得データと先行研究データとが整合することを確認できた。今後、他の角度におけるデータも取得していく。

#### 参考文献

- [1] T. Sanami *et al.*, “Measurement of fragment production DDX of 72 and 144 MeV  $^{12}\text{C}$  beam induced reaction on carbon using Bragg Curve Counter”, *Proc. 2009 Symp. Nucl. Data*, JAEA-Conf 2010-005 (2010).
- [2] T. Sanami *et al.*, *Nucl. Instrm. Meth.* **A589** 193 (2008).
- [3] M. Hagiwara *et al.*, *Nucl. Instrm. Meth.* **A592** 73 (2008).
- [4] M. Hagiwara *et al.*, “Measurements of Double Differential Fragment Production Cross Sections of Silicon for 70 MeV Protons”, *Proc. 2005 Symp. Nucl. Data*, JAEA-Conf 2006-009 (2006).
- [5] T. Sanami *et al.*, “Recent progress of fragment measurement from tens of MeV proton induced reaction using Bragg Curve Counter”, *Proc. 2008 Symp. Nucl. Data*, JAEA-Conf 2009-004 (2009).
- [6] T. Sanami *et al.*, “Fragment DDX measurement of proton induced reactions on light-medium nuclei for energy range from reaction threshold to a few hundred MeV”, *Journal of Korean Physics Society* 59, 1805-1808 (2011).
- [7] T. Sanami *et al.*, “Experimental studies of light fragment production cross section for nucleon induced reaction at intermediate energies”, *Proc. 2010 Symp. Nucl. Data* (JAEA-Conf 2011-002) (2011).
- [8] M. Hagiwara *et al.*, *Journal of Nuclear Science and Technology*, **49(6)** 571-587 (2012).
- [9] T. Sanami *et al.*, “Angular distribution of light fragments for proton induced reaction at intermediate energies”, *Proc. 2011 Symp. Nucl. Data* (JAEA-Conf 2012-001) 189 (2012).
- [10] T. Sanami *et al.*, “Target Dependency of Light Mass Fragment Production DDX for 6 MeV/u Carbon Induced Reaction” *Proc. 2012 Symp. Nucl. Data* (JAEA-Conf 2013-002) 185 (2013).
- [11] F. E. Bertrand and R. W. Peele, “Complete Hydrogen and Helium Particle Spectra from 30- to 60-MeV Proton Bombardment of Nuclei with  $A = 12$  to 209 and Comparison with the Intranuclear Cascade Model”, *Phys. Rev. C* **8**, 1045 (1973).
- [12] M. Harada *et al.*, “Light Charged-Particle Production in Proton-Induced Reactions on  $^{12}\text{C}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{58}\text{Ni}$ ,  $^{90}\text{Zr}$ ,  $^{197}\text{Au}$ , and  $^{209}\text{Bi}$  at 42 and 68 MeV”, *Journal of Nuclear Science and Technology*, **39:sup 2**, 393-396 (2002).

# 重粒子によるしきいエネルギー付近の核反応に関する研究 STUDY ON HEAVY-ION INDUCED NUCLEAR REACTION NEAR THRESHOLD ENERGY

八島 浩,<sup>A</sup>萩原 雅之,<sup>B</sup>佐波 俊哉,<sup>B</sup>米内 俊祐,<sup>C</sup>  
Hiroshi Yashima,<sup>A</sup> Masayuki Hagiwara,<sup>B</sup> Toshiya Sanami,<sup>B</sup> Shunsuke Yonai,<sup>C</sup>  
<sup>A</sup> 京都大学複合原子力科学研究所  
<sup>B</sup> 高エネルギー加速器研究機構  
<sup>C</sup> 量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所 加速器工学部

## 概要

重イオン加速器施設における誘導放射能評価や理論計算の検証に資するデータの取得を目的として、放医研サイクロトロン C6 コースにおいて 100 MeV He ビームを用いた照射実験を行い、銅中生成核種の励起関数測定を行った。

## 1. はじめに

近年、老朽化した加速器施設の廃止措置計画が進められている。加速器施設の廃止措置においては加速器本体や施設構造物等に生成した誘導放射能の評価が重要となる。誘導放射能は実験データや理論計算をもとに評価されるが、サイクロトロン施設等で用いられる核子当たり数 10MeV 以下の低エネルギー重粒子に対しては実験データが整備されておらず理論計算も十分には検証されていない。そこで、本研究では箔放射化法を用いて低エネルギー重粒子入射による誘導放射能データの系統的測定を進めている。本報告書では 2017 年度に行われた 100 MeV He ビームを用いた照射実験の結果について報告する。

## 2. 方法

照射実験は放医研サイクロトロン C6 コースで行った。図 1 に実験体系を示す。

加速器施設においてよく使用される銅箔(99.96%、0.03mm 厚)とモニタ箔としてアルミ箔(99%、

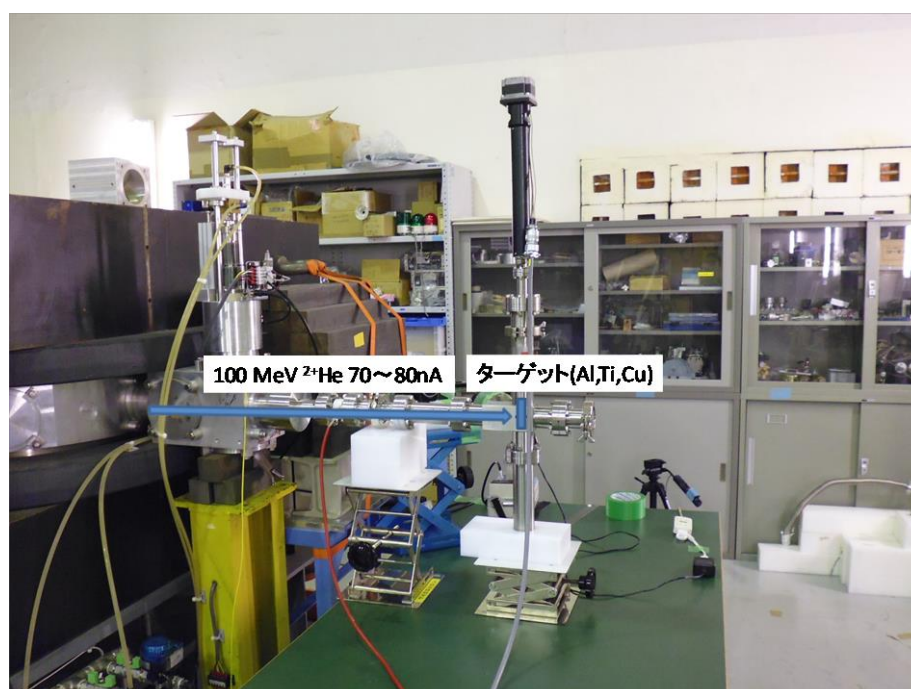


図 1 放医研サイクロトロン C6 コースでの実験体系

0.05mm 厚)チタン箔(99.5%、0.04mm 厚)を重ねて照射ターゲットとした。ターゲットの厚さは 2.16mm と入射粒子の飛程より厚くなるようにした。100 MeV  $^2\text{He}$  イオンをビーム電流約 70~80nA で短半減期核種測定のための短時間照射(約 13 分)、長半減期核種測定のための長時間照射(約 5 時間)の 2 回、ターゲットに照射した。ターゲットからの電流信号をカレントインテグレータに入力し、照射粒子数

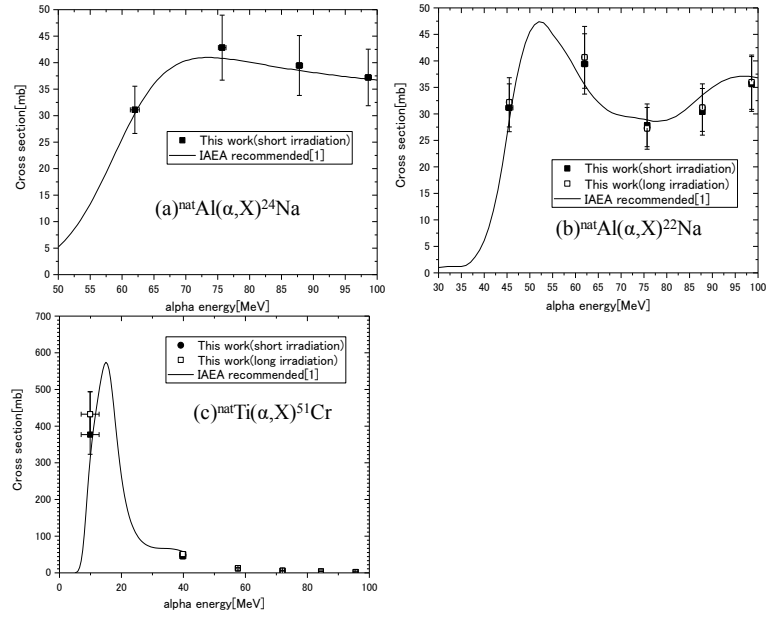


図 2 モニタ反応の励起関数

を求めた。また、カレントインテグレータの出力を Multi channel Scaler で記録することで照射中のビーム強度変動を補正した。照射終了後、高純度 Ge 検出器を用いて照射されたサンプルから放出されるガンマ線を測定し、得られたガンマ線スペクトルからサンプルに生成した核種の生成断面積を求めた。IAEA が提供している  ${}^{\text{nat}}\text{Al}(\alpha, X){}^{24}\text{Na}$ ,  ${}^{\text{nat}}\text{Al}(\alpha, X){}^{22}\text{Na}$ ,  ${}^{\text{nat}}\text{Ti}(\alpha, X){}^{51}\text{Cr}$  反応の標準断面積を用いて入射 He イオンのターゲット内でのエネルギー分布を補正することで励起関数を導出した。

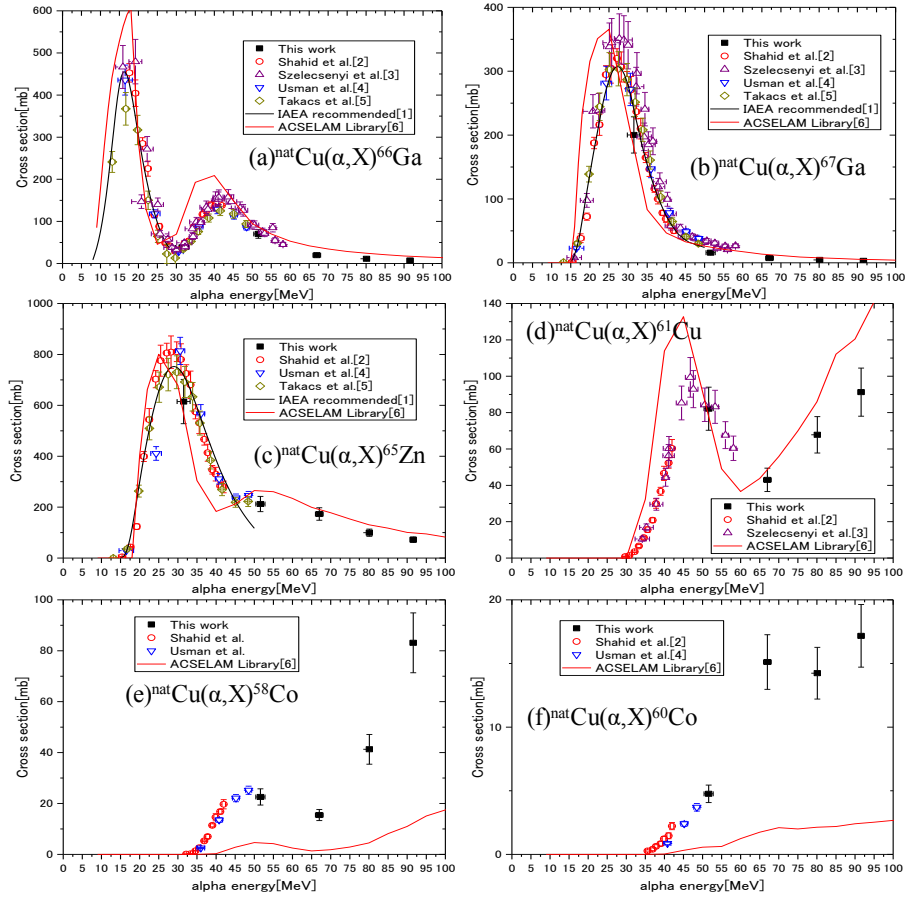


図 3 He イオン入射によって銅に生成した核種の励起関数

### 3. 実験結果

#### 3-1. IAEA 標準断面積との比較

図 2(a)-(c)に本実験で得られた  $^{nat}\text{Al}(\alpha, X)^{24}\text{Na}$ ,  $^{nat}\text{Al}(\alpha, X)^{22}\text{Na}$ ,  $^{nat}\text{Ti}(\alpha, X)^{51}\text{Cr}$  反応の励起関数を IAEA 標準断面積とともにそれぞれ示す。本実験結果は IAEA 標準断面積と良い一致を示している。

#### 3-2. 銅に生成した放射性核種の励起関数

図 3(a)-(f)に  $^{nat}\text{Cu}(\text{He}, X)^{66,67}\text{Ga}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{61}\text{Cu}$ ,  $^{58,60}\text{Co}$  反応の励起関数を他の実験値[2-5]、IAEA 標準断面積及び放射化評価計算コード IRACM[6] 中に整備されている断面積データライブラリ (ACSELAM Library)の結果と共にそれぞれ示す。本実験結果は 50MeV ぐらいまでの比較できるエネルギー範囲内では他の実験値、IAEA 標準断面積と良い一致を示しており、さらに 100MeV 近くのエネルギー領域まで励起関数を得ることができた。ACSELAM Library の結果は励起関数のピーク位置のずれが見られるものの  $^{66,67}\text{Ga}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{61}\text{Cu}$  生成断面積については本実験結果や他の実験結果を大体再現している。しかしながら  $^{58,60}\text{Co}$  生成断面積については本実験結果や他の実験結果を過少評価していることがわかった。

### 4. まとめ

100 MeV He ビーム入射によって銅に生成した放射性核種の励起関数測定を行った。今後も入射粒子、エネルギー、ターゲットについて幅広い範囲で系統的測定を行い、重イオン加速器施設における誘導放射能評価や理論計算の検証に資するデータを収集する予定である。

### 参考文献

- [1] IAEA, “Charged particle cross-section database for medical radioisotope production:diagnostic radioisotopes and monitor reactions”, IAEA-TECDOC-1211 (2011).
- [2] M. Shahid et al., “Measurement of excitation functions in alpha induced reactions on  $^{nat}\text{Cu}$ ”, Nucl. Instrum. Methods **B358**, 160(2015)
- [3] F.Szelecsenyi et al., “Alpha beam monitoring via  $^{nat}\text{Cu} + \alpha$  processes in the energy range from 40 to 60 MeV”, Nucl. Instrum. Methods **B184(4)**, 589(2001)
- [4] A.R.Usman et al., “Productioncross-sectionsofradionuclidesfrom  $\alpha$ -induced reactions on natural copper up to 50 MeV”, Appl. Radiat. Isotopes **114**, 104(2016)
- [5] S.Takacs et al., “Crosschecking of alpha particle monitor reactions up to 50 MeV”, Nucl. Instrum. Methods **B397**, 33(2017)
- [6] 田中進 他, “IRACM:イオン及び中性子による生成放射能計算コードシステム”, JAERI-Data/Code 97-019 (1997)

# 最後方における荷電粒子生成二重微分断面積の測定 MEASUREMENTS OF CHARGED PARTICLE PRODUCTION CROSS SECTIONS AT BACKWARD ANGLES

魚住 裕介<sup>A</sup>、山口雄司<sup>B</sup>、藤井基晴<sup>B</sup>、今村亮太<sup>C</sup>、福田雄基<sup>C</sup>、  
吉田和人<sup>C</sup>、古場 裕介<sup>D</sup>

Yusuke Uozumi<sup>A</sup>, Yuji Yamaguchi<sup>B</sup>, Motoharu Fujii<sup>B</sup>, Ryota Imamura<sup>C</sup>,  
Yuki Fukuda<sup>C</sup>, Kazuhito Yoshida<sup>C</sup>, Yusuke Koba<sup>D</sup>

<sup>A</sup>: 九州大学大学院工学研究院エネルギー量子工学部門

<sup>B</sup>: 九州大学大学院工学府エネルギー量子工学専攻

<sup>C</sup>: 九州大学工学部エネルギー科学科

<sup>D</sup>: 放射線医学総合研究所放射線防護情報統合センター

## 概要

原子核反応モデルの開発と検証に用いる目的で、過去に測定例のない最後方角度での陽子入射荷電粒子生成反応二重微分断面積の整備を目指して実験を継続している。C6 コースに散乱チェンバーを設置し、大型サイクロトロンからの 42 MeV および 71MeV の陽子を使用して、散乱角度 150° から 171° までの範囲で二重微分断面積を測定した。171° での測定は初めて成功した。得られた測定データは理論計算と比較を行った。

## 1. 目的

粒子輸送コードPHITS [1]は加速器核破砕中性子源の設計研究や粒子線医療等多くの応用分野で利用されており、コードの改良は現在でも進められている。特にエネルギー範囲20-100MeVでの核反応計算の精度向上が要望されている。このため、核反応モデルであるINC (Intranuclear Cascade) モデルを100MeV以下のエネルギー領域まで拡張する必要がある。我々は(p,p'x)反応に関する最近の研究 [2,3] において、回折効果と集団励起とを適切に取り扱う事により、INCコードの予測精度を大幅に改善できる事を示した。(p,p'x)反応の場合、集団励起の影響は20° より前方の二重微分断面積 (DDX) において強く現れる傾向にある。回折効果は150° より後方において特に顕著になると予想される。このため、最後方角度での(p,p'x)反応実験データを用いた検証が重要となる。しかし、最後方の角度における二重微分断面積データの測定例は過去になく、新しく実験を行ってデータを取得しなければならない。また、モデルの一般化のためには幅広い質量数領域にわたるターゲットについてデータを取得する必要がある。今年度はこれまで成功していなかった171° での測定を試みた他、71MeVでの実験を開始した。ターゲットとして<sup>12</sup>C、<sup>27</sup>Al、<sup>59</sup>Co、<sup>181</sup>Taの4種類として最後方でのデータ測定を実施した。本報告ではこれらの結果の概略を述べる。

## 2. 実験とデータ解析

実験には放射線医学総合研究所サイクロトロン棟の C6汎用照射コースを利用した。C6コースのビーム取出し口に真空散乱槽を設置して、その中にターゲットを置いた。ターゲットには厚さ100μm <sup>27</sup>Al と厚さ50μm の<sup>59</sup>Co バックグラウンド測定用の Blank ターゲットを使用した。40MeV の陽子ビームをターゲットに照射し、生成粒子を150, 160, 165, 171度に設置したカウンターテレスコープで測定した。図1のようにカウンターテレスコープは透過型検出器(ΔE 検出器)のシリコン型半導体検出器(SSD) と、全停止型検出器(E 検出器)の機能する GSO(Ce)シンチレーション検出器で構成した。GSO(Ce)シンチレータの側面はテフロンシートとアルミニウムテープ、二重の反射材で覆った。

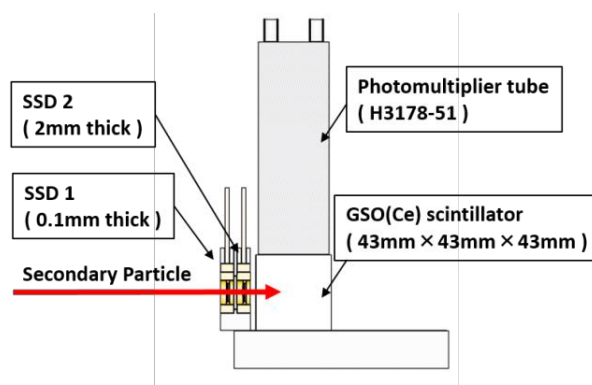


図1. カウンターテレスコープ断面図

C6 コースではターゲットの上流にファラデーカップが設置されているため、測定中のビーム電流値を求める事が出来ない。このため、ビーム電流値の計測用にビームモニターを製作、設置して使用した。ビームモニターはチェンバー下流に置いた厚さ 500  $\mu\text{m}$  の  $^{12}\text{C}$  板からの散乱線を、そこから  $30^\circ$  方向の位置に置いたプラスチックシンチレータ 2 枚で同時計数するような構成とした。ビームモニターの較正は、ファラデーカップが正確に動作するビーム強度の範囲において、ビーム強度を変化させていき、それに対応するビームモニターのカウント数を測定して、ビーム強度とカウント数と関係性を求め、これを用いた。実験で使用するビーム強度の範囲において、良好な線形性が確認できた。実験方法の詳細およびデータ解析については、平成 23 年度の報告 [4] を参照されたい。陽子ビームのエネルギーは 42MeV と 71MeV とした。

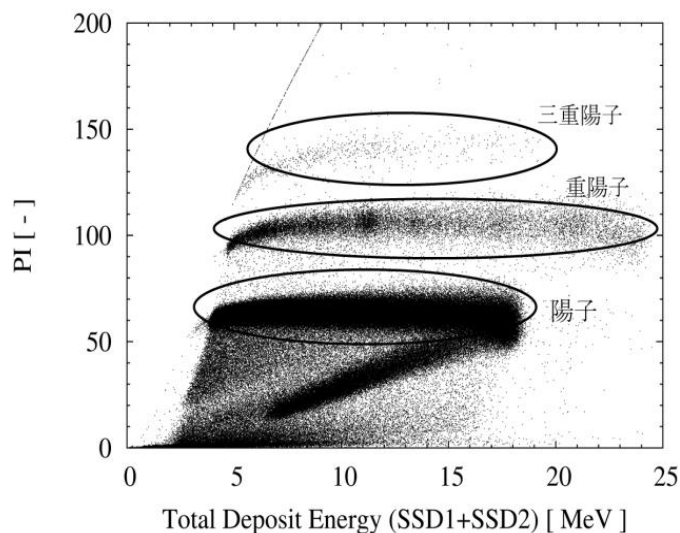


図 2. 粒子識別解析の結果

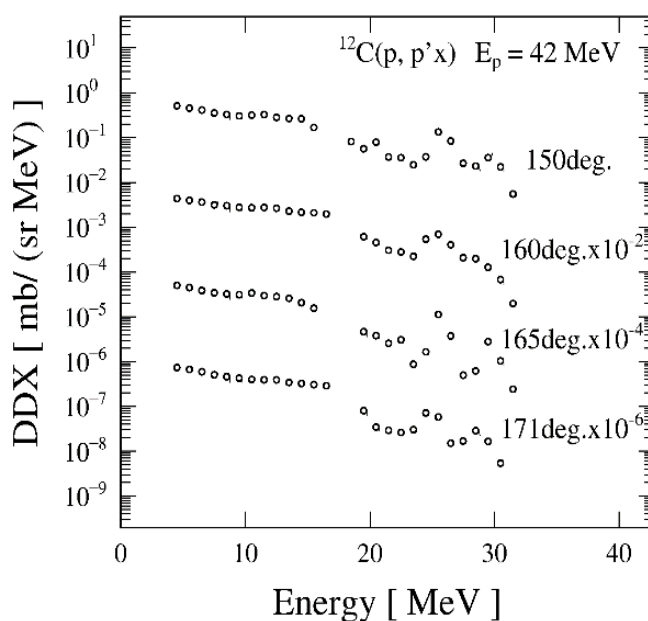


図 3. 決定した DDX スペクトルの例

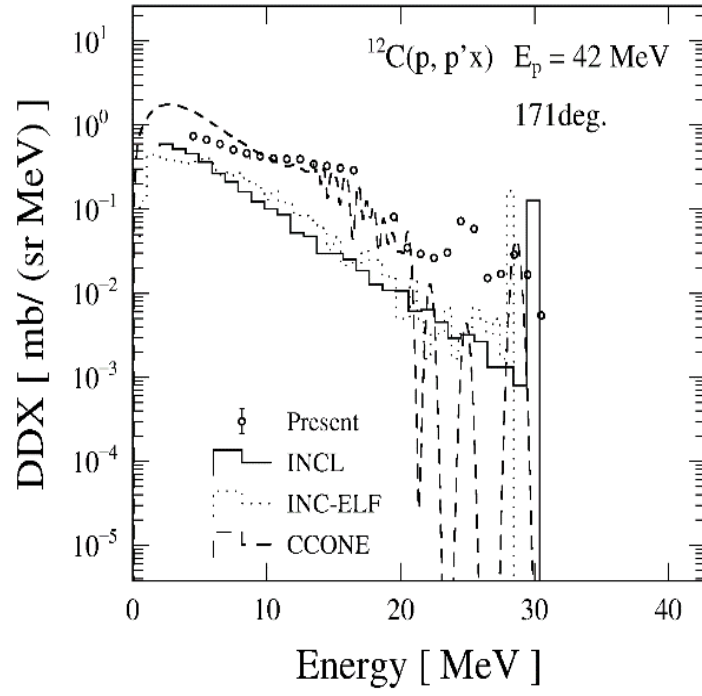


図 4. 171 度での 42MeV  $^{12}\text{C}(\text{p}, \text{p}'\text{x})$  反応 DDX および PHITS(INCL+GEM)、INC-ELF+GEM、CCONE の結果をそれぞれ示している。

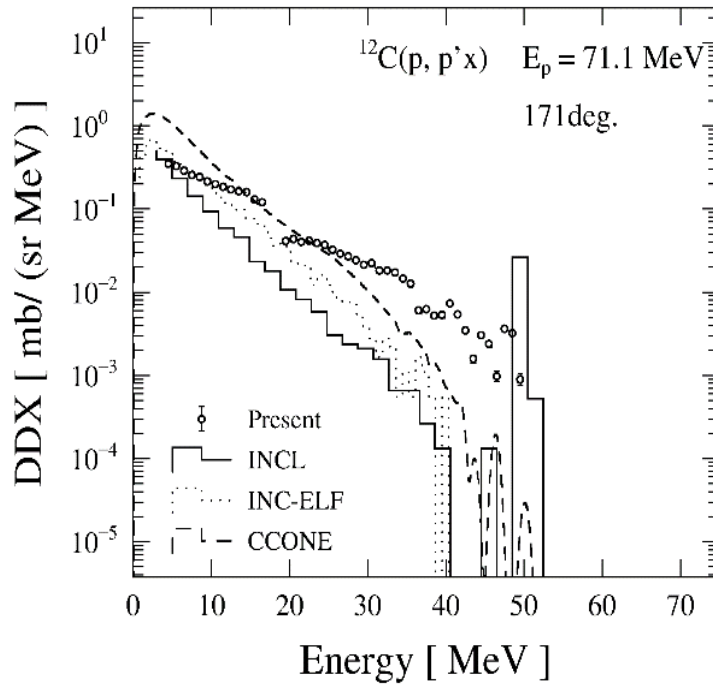


図 5. 171 度での 42MeV  $^{12}\text{C}(\text{p}, \text{p}'\text{x})$  反応 DDX および PHITS(INCL+GEM)、INC-ELF+GEM、CCONE の結果をそれぞれ示している。

### 3. 結果と考察

図2に粒子弁別解析結果の例を示している。これは、測定した  $(p, p'x)$  反応の角度 150 度でのデータについて、SSD 二枚に対する検出粒子付与エネルギーと PI 値の 2 次元プロットである。PI 値の低い方から順に、陽子、重陽子、三重陽子の帯を確認することが出来る。ここから生成陽子のデータを抜き出し、1MeV のエネルギー幅ごとに収量を求め DDX を決定した。

図3に示すデータは 42MeV  $^{12}\text{C}(p, p'x)$  反応の 171 度での DDX である。実験値の誤差は示していない。6MeV 以下のエネルギー領域は一枚目の SSD1 の厚さのため測定出来ていない。17MeV~20MeV の範囲は SSD2 と GSO(Ce)との境界に相当する部分であり、不感物質や PMT ノイズの影響等により DDX は取得できなかった。不感物質は図1に示したカウンターテレスコープを構成する各検出器間の反射材や空気層である。今後、厚さの異なる SSD を使用して欠損部分を埋めて行く計画である。弾性散乱に対応すると考えられるピークは、エネルギー分解能が十分でないため不明瞭であるが観察できており、エネルギーは一致している。各角度でスペクトルは互いに類似した傾向を示している。21MeV より高いエネルギー範囲では標的核の低励起状態が離散的に現れている。

図4と5はそれぞれ、入射エネルギー42MeV と 71MeV での  $^{12}\text{C}(p, p'x)$  反応の 171 度での DDX を各種理論計算と比較した結果である。理論計算としては PHITS (INCL+GEM)、INC-ELF+GEM [5]、CCONE [6]の各コードを用いた。CCONE では蒸発領域を Hauser-Feshbach、前平衡領域をエキシトン模型で計算する。弾性散乱は光学模型、低励起準位への遷移は DWBA で計算し、検出器分解能を考慮してピークの幅を広げている。両ビームエネルギーともに、蒸発領域は過大評価、低励起領域では著しい過小評価、それらの中間の連続領域は比較的に良い一致を示している。

一方、INC-ELF と PHITS (INCL) は互いに似た傾向を示している。蒸発領域は共に実験値に近い値を示しているが、放出陽子エネルギーが高くなっていくと実験値を大きく過小評価して行く。直接反応が支配的な低励起領域では実験値との差が最大となり 1 桁から 2 桁程度の違いとなっている。PHITS では弾性散乱は INCL で計算できないため核データから直接求めており、71MeV の計算結果に見られる INCL のカスケード計算と弾性散乱ピークとの間が不連続となっている。これは INCL で低励起領域が計算できていないためである。INC-ELF は PHITS (INCL) よりもやや良好な結果となっているが、実験値との差異は大きい。

### 5. まとめ

本研究では 42MeV と 71MeV での陽子入射反応について、これまで報告がない後方角領域での陽子生成 DDX を測定した。ターゲットは  $^{12}\text{C}$ 、 $^{27}\text{Al}$ 、 $^{59}\text{Co}$ 、 $^{181}\text{Ta}$  の 4 種類で、測定角度は 150, 160, 165, 171 度の 4 点であった。 $(p, p'x)$  反応 DDX を決定し、実験値と各種計算コードを比較したところ、計算の再現性が十分ではない点を確認することができた。特に 71MeV での不一致は大きかった。高精度計算コードを確立するため、反応モデルの改良とさらなる実験データの取得が必要である。標的核と入射ビームエネルギーについて幅広い範囲でデータを収集して反応断面積の系統性を明らかにしていく計画である。

### 参考文献

- [1] T. Sato et al.: J. Nucl. Sci. Technol. 50:9, 913-923 (2013).
- [2] Y. Uozumi et al.: Phys. Rev. C 86, 034680 (2012).
- [3] Y. Uozumi et al.: Jour. Nucl. Sci. Tech. 52:2, 263-272 (2015).
- [4] 魚住裕介他：平成 23 年度サイクロトロン利用報告書, NIRS-M-250, 24 (2012).
- [5] Y. Sawada, Y. Uozumi et al.: Nucl. Instr. Methods, B291, 38-44 (2012).
- [6] O. Iwamoto: Nucl. Data Sheets, 131, 259-288 (2016).

# 高精度陽子線治療のための基盤技術構築に関する研究 STUDY OF FUNDAMENTAL TECHNOLOGY FOR HIGH PRECISION PROTON THERAPY

西尾 禎治<sup>A</sup>、恒田 雅人<sup>A</sup>、田中 創大<sup>B</sup>、松下 慶一郎<sup>C</sup>、株木 重人<sup>D</sup>、  
増田 孝充<sup>E</sup>、高部 美帆<sup>E</sup>、片岡 淳<sup>E</sup>、三宅 資<sup>F</sup>、中村 哲志<sup>F</sup>、  
北條 悟<sup>H</sup>、稲庭 拓<sup>G</sup>

Teiji Nishio<sup>A</sup>, Masato Tsuneda<sup>A</sup>, Soudai Tanaka<sup>B</sup>, Keiichiro Matsushita<sup>C</sup>, Shigeto Kabuki<sup>D</sup>,  
Takamitsu Masuda<sup>E</sup>, Miho Takabe<sup>E</sup>, Jun Kataoka<sup>E</sup>, Tasuku Miyaka<sup>F</sup>, Satoshi Nakamura<sup>F</sup>,  
Satoru Hojo<sup>G</sup>, Taku Inaniwa<sup>G</sup>

A：東京女子医科大学大学院医学研究科、B：東京大学大学院工学系研究科、

C：京都府立医科大学放射線医学教室、D：東海大学医学部、

E：早稲田大学理工学術院先進理工学研究科、F：立教大学大学院理学研究科、

G：放射線医学総合研究所加速器工学部

## 概要

現在、国内のがん患者数は年々増加の傾向にあり、国民の2人に1人ががんで亡くなる時代が到来している。この国民病とも云えるがんの治療は、手術療法・化学療法（抗がん剤治療）・放射線療法（放射線治療）の3つに大別され、国内において放射線治療が占める割合は30%程度である。しかし、諸外国の現状または国内での放射線治療数の増加率から判断する限り、国内でも放射線によるがん治療は、近い将来には50%を超えると予想される。放射線治療が、がん治療の中で占める割合が非常に高くなる時代が直ぐそこまで来ていると言える。

近年、がんの治療、特に単独療法で根治を狙った、強度変調放射線治療や粒子線治療といった高精度放射線治療が、国内外において急速に普及が進んでいる。高精度放射線治療の特徴は、がん腫瘍のみに放射線（線量）を集中させた治療ができる点である。その中でも、陽子線や炭素線による粒子線治療は、がん腫瘍へ照射された粒子が腫瘍内で止まる寸前にその領域へ大きなエネルギーを付与する特性を活かした、線量集中性の高い最先端の放射線治療である。近年、国内外で粒子線治療施設数の増加傾向にあり[1]、その施設の普及率は、陽子線治療の方が圧倒的に高い数値であり、その需要の高さが伺える。装置の急速な小型化によるイニシャルコスト削減や光子線治療に近い生物学的効果であることから光子線治療の臨床データが活用できる点などが理由と考えられる。

その一方、陽子線治療は、光子線治療と比較すると歴史が浅いこともあり、古くから用いられている照射技術のままの治療が実施されている現状があり、X線治療と同様の先端技術を駆使した革新的な治療法へ進化を遂げる必要がある。高精度陽子線治療のために、陽子線照射技術や計測技術の中核とする基盤技術の構築が必要不可欠である。

## 1. 目的

腫瘍に対する線量集中性を更に向上させた高精度陽子線治療を実現するために、患者体内中での陽子線照射領域可視化及び陽子線のレンジの停止位置精度に関する研究は最も重要な課題である。そこで、陽子線照射領域可視化については、陽子線照射によって標的原子核破砕反応より患者体内中で生成されるポジトロン放出核を情報因子とする陽子線治療患者体内中での照射領域可視化システムを開発とその反応メカニズムの研究を実施してきた。患者体内中での陽子線レンジの停止位置精度については、陽子線CT画像取得システムの開発と画像再構成法の研究を進めてきた。

本年度の研究では、これまでと同様に陽子線治療において、腫瘍に対する線量集中性を更に向上させた高精度陽子線治療の研究を目指す。その実現のために、陽子線照射領域可視化システム用の原子核破砕反応断面積を決定するための陽子線照射実験、治療計画において患者体内中での陽子線レンジ位置を精度良く算出するための陽子線CT画像取得法の確立に関する陽子線照射実験を実施する。

## 2. 実験方法

本研究では、患者体内中での陽子線照射領域可視化における標的原子核破砕反応のメカニズム解明に関する研究、陽子線CT画像取得法の確立に関する研究の2本柱に大別される。尚、マシンタイムの割り当て時間に応じて調整しながら実験を実施して行く。全ての実験において、利用する陽子線のエネルギー

ギーは最大（70MeV）、ビーム強度は実験用途に合わせて最大 50nA までを用いる。また、標的原子核破碎反応メカニズム解明のための実験は C6 及び C8 コース、陽子線 CT 画像取得法確立のための実験は C8 コースで実施する。照射前にはそれぞれの実験用途に合わせて、装置の設置や信号系回路の調整、ビームモニター設定などを実施する。照射後は設置した装置の撤去を行う。

## 2-1. 標的原子核破碎反応メカニズム解明のための実験

陽子線治療の臨床用に開発した Beam ON-LINE PET system mounted on a rotating gantry port : BOLPs-RGp [2-4]と同じ検出器及び計測系を持つ PET 装置を用いて実験を行った（図 1）。このシステムの検出器ヘッド部分は、浜松ホトニクス製の BGO 結晶が利用されているプレーナタイプの検出器であり、2 mm×2 mm×20 mm サイズの BGO 結晶が 7,920 個マウントされている。入射陽子線と体内原子核間の標的原子核破碎反応によって患者体内中でポジトロン放出核が生成し、その対消滅ガンマ線（180 度方向に放出される一対の 511 keV ガンマ線）を対向するプレーナタイプ検出器で同時計測することで、患者体内中での生成ポジトロン放出核の位置と量(activity 分布)を観測することが可能である。

本年度は C6 コースを用いて照射領域の可視化において人体構成元素の中で最も重要な酸素核に対するポジトロン放出核の生成断面積を測定した。水（H<sub>2</sub>O:ゼラチン質にした物）をターゲットとし 70 MeV の陽子線を照射した際に酸素核から生成する主なポジトロン放出核として <sup>15</sup>O、<sup>13</sup>N、<sup>11</sup>C（半減期は順に 122.2 秒、597.9 秒、1222 秒）の 3 種類が挙げられる。前年度までの実験では陽子線を 5 nA で 3 秒間照射し、陽子線の進行方向における activity 分布の時間変化を減衰曲線によってフィッティングすることで、3 種のポジトロン放出核の生成断面積をそれぞれ導出しようとしていた[5]。生成量が非常に多く半減期が他の 2 つと大きく異なる <sup>15</sup>O の生成断面積を求めることには成功していたが、<sup>13</sup>N と <sup>11</sup>C はともに生成量が小さく、半減期も比較的近いためにそれぞれの生成断面積を求めることができていなかった。解析結果より <sup>13</sup>N と <sup>11</sup>C を分離し正しい断面積を導出するためには照射後数十分以降での統計量を大幅に上げる必要性が示唆された。そこで、本年度は実験を以下の 2 ステップに分けて、酸素核から生成される <sup>15</sup>O、<sup>13</sup>N 及び <sup>11</sup>C のポジトロン放出核の断面積の導出を行った。

① 50 nA の大強度陽子線を 5 秒間照射し、照射終了から 60 分間 PET 計測を行う。

② 5 nA の陽子線を 3 秒間照射し、照射終了から 30 分間 PET 計測を行う。

陽子線の照射野形状は 5mm (FWHM) ×8mm (FWHM) のガウス分布に近い形状であった。ターゲットに対し、陽子線の進行方向及びその方向に直交する重力方向の生成ポジトロン放出核の activity プロファイルの観測ができるように PET を設置した（図 1）。実験①では多量のポジトロン放出核が生成するため、照射直後は PET 装置の計数限界を超えてしまう。しかし、十分に時間が経てば PET 装置での計数が可能な放射線量まで下がり、半減期の短い <sup>15</sup>O は減衰しきっているため、<sup>13</sup>N と <sup>11</sup>C の断面積を高い精度で導出できると考えた。実験②では実験①で求めた <sup>13</sup>N と <sup>11</sup>C の断面積結果を用いてフィッティングを行うことで <sup>15</sup>O の断面積を導出した。

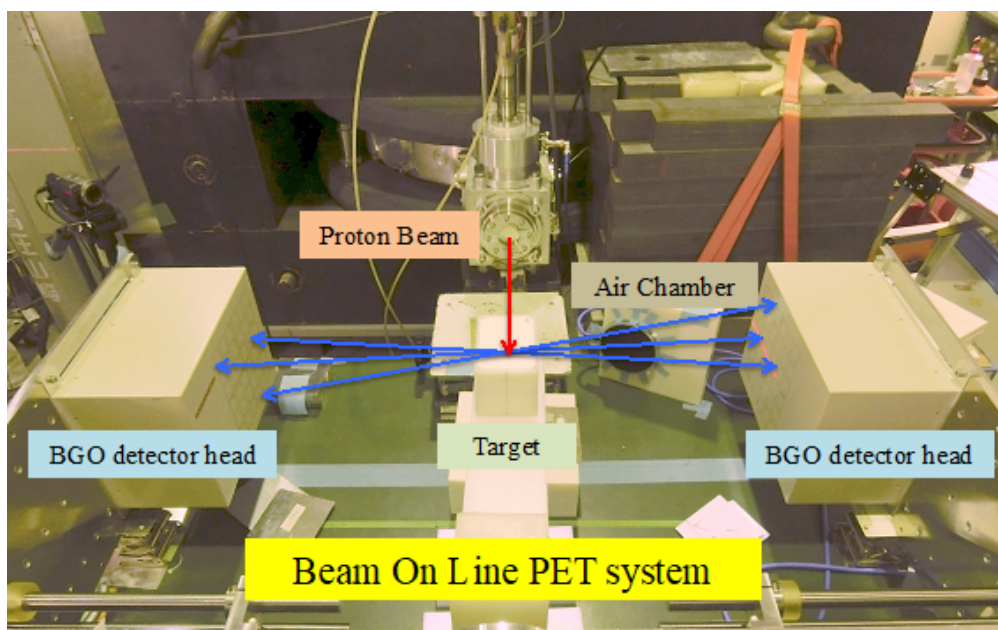


図 1 : C6 コースにおける PET 装置のセットアップ写真。

## 2-2. 陽子線CT画像取得法確立のための実験

本実験は、陽子線 CT 画像取得システムを 10 cm×10 cm×1.2 cm の BGO シンチレータと電気冷却式 CCD カメラ (Bitran, BU-51LN)、シンチレーション光反射鏡、被写体を載せる並進回転ステージ、5 cm×10 cm×1 cm の真鍮をベースに 5 mm 間隔の格子状に 1 mmφ の穴が開いたマルチホールコリメータ (MHC) を用いて構築した (図 2) [6-8]。本システムでは陽子線を BGO シンチレータ内で全て停止させる。BGO シンチレータの発光量はシンチレータ内で失う陽子線のエネルギーに相当し、陽子線の被写体通過前後でのエネルギーの差分量が被写体におけるエネルギー損失に等しいと考えることで、被写体の投影データを得ることができる。MHC はこれまで問題となっていた陽子線の側方散乱線[6,7]の除去を目的としており、穴の大きさを微細加工限界の 1 mmφ とし、穴を通過した 70-MeV 陽子線のシンチレータ内における側方散乱が 2.5 mm 以下になるというシミュレーション結果から穴の間隔を 5 mm として設計した。この MHC により各穴において陽子線側方散乱を除去して、独立した物理量を取得できる。本システムのメリットは 1 度の撮影で多数のポイントの情報を取得可能である点であり、二次元投影データ取得にかかる時間を短縮できる。本実験における空間分解能を得る手法として、MHC の 5 mm 間隔の穴に対して 0.5 mm ピッチでステージを移動させ被写体を測定する操作を 10 回繰り返すことで一次元投影データが完成し、各位置で被写体を回転させながら測定を行うと二次元 CT 画像が取得できる。

本実験では、C-8 コースにおいてワブラー照射法によって形成された 10 cm×10 cm 照射野の 70-MeV 陽子線 (強度 5 nA) を並進回転ステージ上の被写体に照射し、被写体における多重クーロン散乱によって角度をもった陽子を取り除くために BGO シンチレータの直前に MHC を置くことで、高精度な陽子線 CT 画像取得を目指した。MHC を通過した直進成分の陽子のエネルギー付与に対応する BGO シンチレータの発光量を CCD カメラで取得し、光量レンジ変換テーブルを用いて陽子線の飛程 (エネルギー) 情報を得た。被写体としては、円柱アクリル容器 (直径 2.4 cm、壁厚 2 mm) に封入された水、99.5% エタノール、40% リン酸水素二カリウム水溶液、空気の 4 種類の物質と空間分解能測定用ファントムを用いて陽子線 CT 画像を取得した。

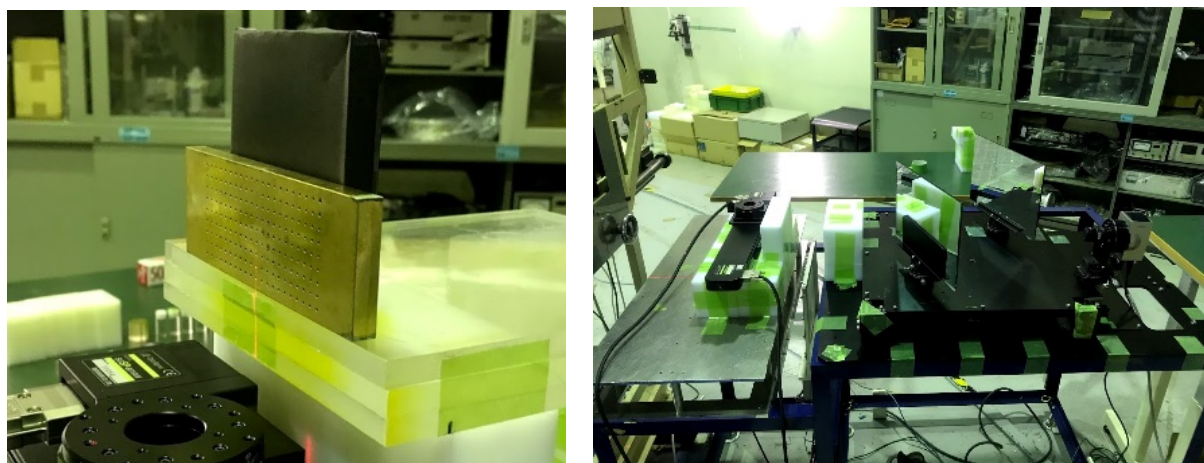


図 2 : MHC (金色の真鍮板) と BGO シンチレータが設置されている写真 (左) 及び C8 コースに設置した陽子線 CT 画像取得システムの写真 (右)。

## 3. 実験結果

### 3-1. 標的原子核破碎反応断面積値

図 2 は C6 コースの陽子線照射実験より得られた、水ターゲット中での activity 分布の例である。図中の activity 分布において、左側から右側が陽子線の進行方向となる。activity 分布の横方向はそれぞれのターゲットでの深部位置での activity を示しており、深部位置がゼロ (左端) の位置では 70MeV の陽子線照射による activity 計測の結果に相当し、ターゲットごとの陽子線の阻止能計算に基づくエネルギー減衰によって、それぞれの深部位置での陽子線エネルギーを算出できる。そのため、深部位置が深くなるに連れて低い陽子線エネルギーに対する activity 計測の結果を示していることになる。

実験①のデータを解析した結果、陽子線照射終了から 25 分経過後には PET 装置が正しく計数できていることが確認できた。 $^{15}\text{O}$  の半減期はおおよそ 2 分であるため、25 分経過後にはその影響は無視できる。そこで、実験①では陽子線の照射終了 25 分後から 60 分後までの PET 計測データを用いて  $^{13}\text{N}$  (図 3 左) と  $^{11}\text{C}$  (図 3 右) の断面積を導出した。この導出結果を用いて実験②のデータより  $^{15}\text{O}$  の断面積を導出した (図 4)。PET 装置の分解能及び陽子のエネルギーストラグリングの影響により、20 MeV 以

下程度の低エネルギー領域では断面積の測定誤差が比較的大きくなってしまったものの、0-70 MeV の広範囲なエネルギー領域に渡り断面積を導出することに成功した。NNDC に報告されている過去のデータともよく一致している。

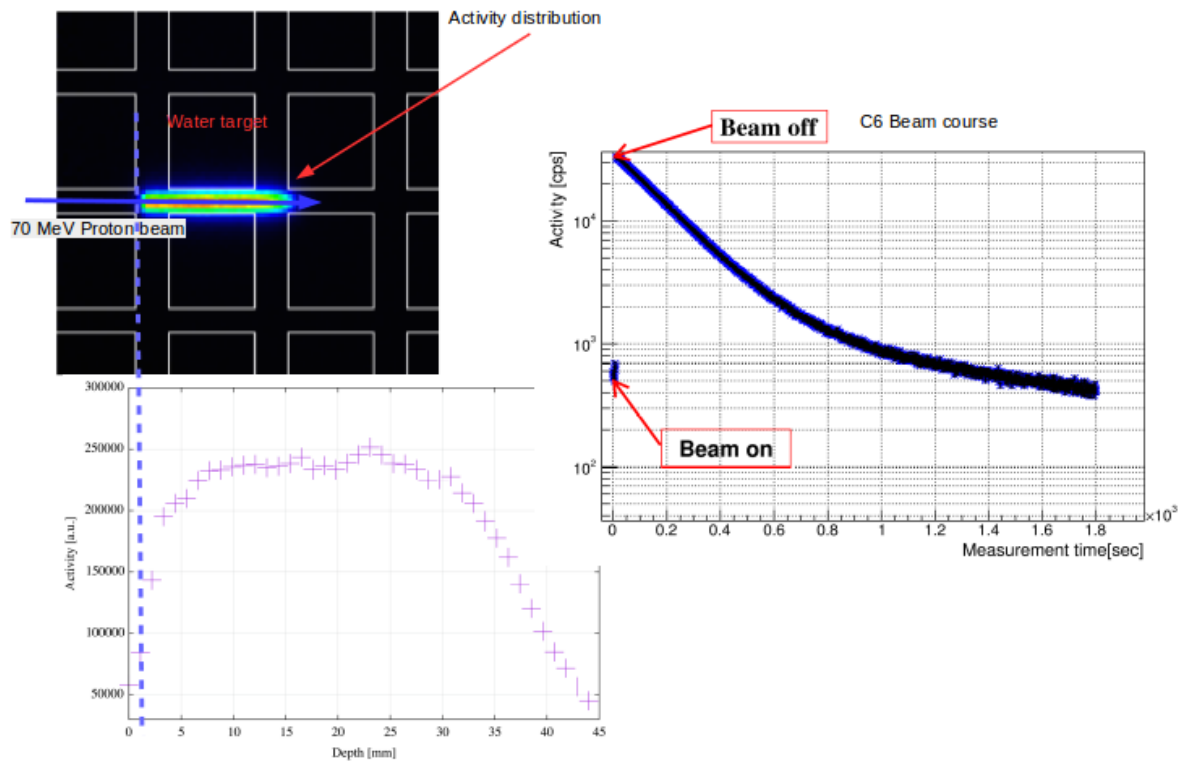


図 2: 水ターゲットへの陽子線照射より実測された activity 分布及び計数率結果。

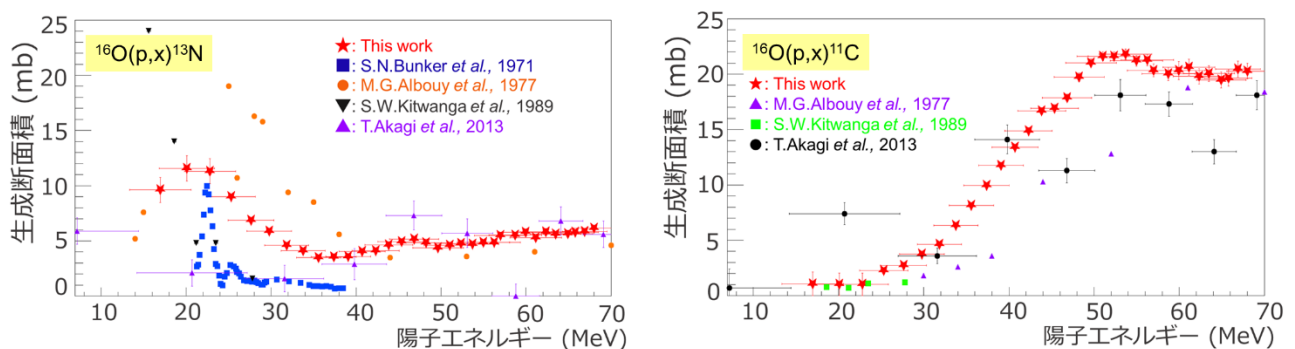


図 3: 実験①により求めたポジトロン放出核  $^{13}\text{N}$ 、 $^{11}\text{C}$  の生成核反応断面積。

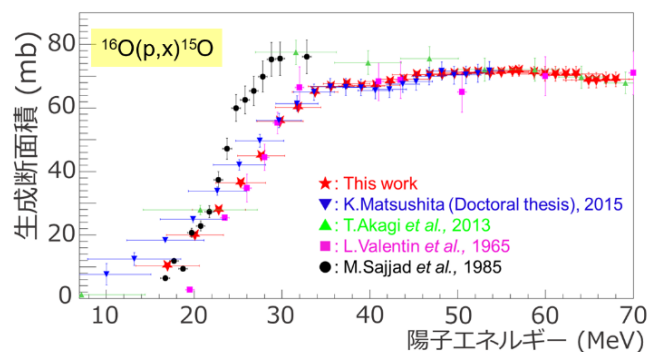


図 4: 実験②により求めたポジトロン放出核  $^{15}\text{O}$  の生成核反応断面積。

### 3-2. 陽子線 CT 画像

MHCを用いて撮影した陽子線CTではコリメータの穴ごとに光量レンジ変換テーブルが異なる結果となった(図5左)。多数のコリメータの穴を通過した陽子によるシンチレーションの発光と複数の穴か

ら見える被写体の影を確認できた（図5右）。各穴を通過した陽子のエネルギーに対応する光量画像から光量レンジ変換の処理を行い、多数の方向からスキャンしたデータを再構成することで陽子線CT画像を得た。図6上に円柱アクリル容器に封入した水、エタノール、40%リン酸水素二カリウム水溶液、空気の4種類の物質の陽子線CT画像を示す。計算値に対する画素値の相対誤差は水の場合が最大であり4.0%であった。図6下に空間分解能測定用ファントムの陽子線CT画像を示す。空気とアクリルのWELFの差の10%を穴の識別基準としたときに、1.5 mm径の穴まで確認できた。

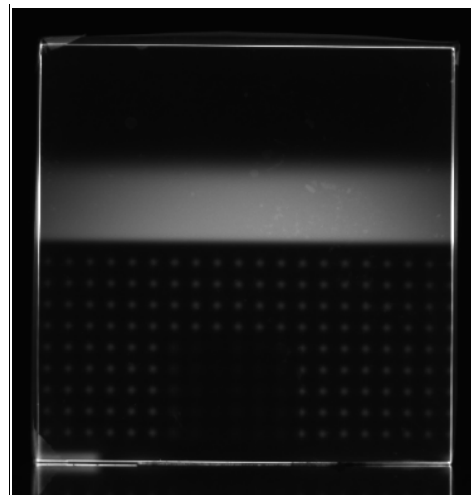
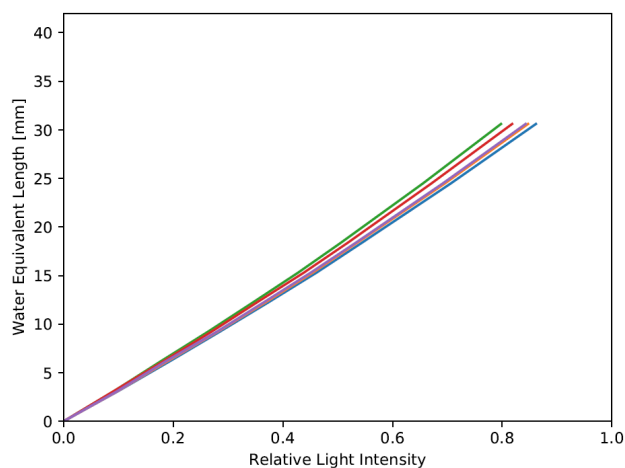


図5：MHCを用いて撮影した場合の光量レンジ変換テーブルの例（左）及びMHCを通過した陽子によるBGOシンチレータでの発光のCCDカメラ画像（右）。

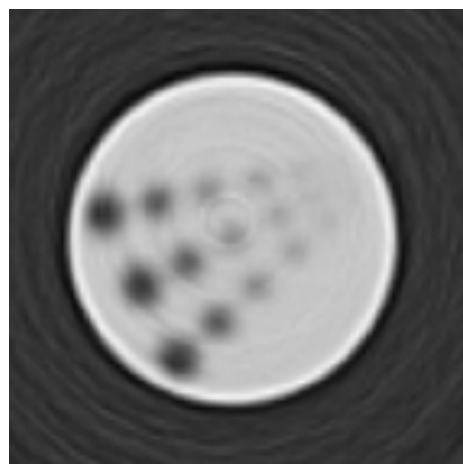
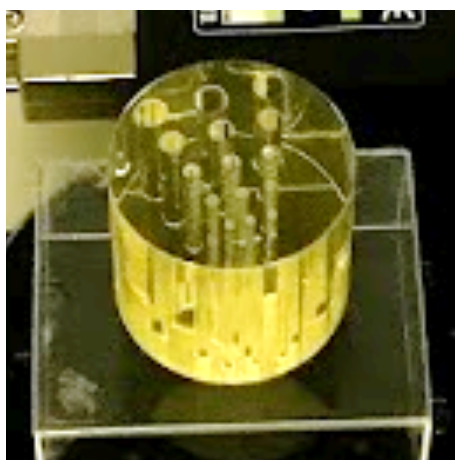
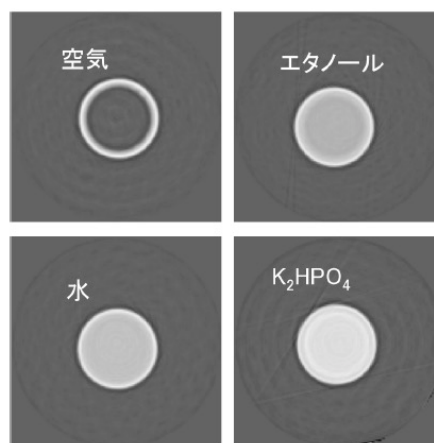
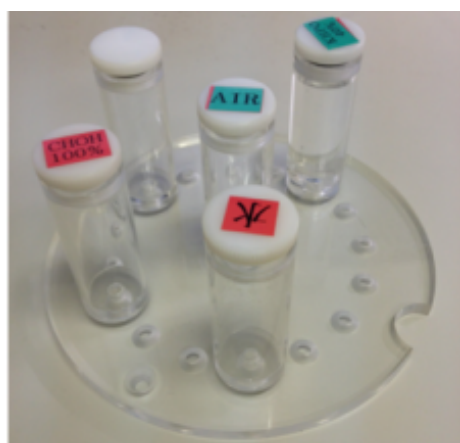


図6：円柱アクリル容器に封入した空気、水、エタノール、40%リン酸水素二カリウム水溶液の4種類の物質の写真（左上）と取得した陽子線CT画像（右上）及び空間分解能測定用ファントムの写真（左下）と取得した陽子線CT画像（右下）。

#### 4. まとめ

放医研大型サイクロトロン施設の C6 及び C8 コースの陽子線照射実験により、高精度陽子線治療を実現するための基盤整備として、陽子線照射領域可視化のための陽子線照射による標的原子核破碎反応メカニズムの研究及び患者体内中での陽子線レンジの停止位置精度向上のための陽子線 CT 画像取得システムの開発と画像再構成法の研究を実施した。標的原子核破碎反応メカニズムの解明においては、これまで報告数が少ない  $^{16}\text{O}$  の生成反応断面積値の結果を導出することが出来た。陽子線 CT 画像については、実験より取得された陽子線 CT 画像の空間分解能及び画素値の評価を行った。

平成 30 年度も引き続き陽子線照射実験を継続して行い、2 つの大別されたテーマを主軸とする研究を遂行することで実験データの精度向上を図る予定である。

#### 参考文献

- [1] PTCOG data : Patientstatistics-update02Mar2009.pdf
- [2] A. Miyatake, T. Nishio, T. Ogino, “Development of activity pencil beam algorithm using measured distribution data of positron emitter nuclei generated by proton irradiation of targets containing  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$  and  $^{40}\text{Ca}$  nuclei in preparation of clinical application,” Med. Phys. 38(10), 5818-5829 (2011).
- [3] T. Nishio, A. Miyatake, T. Ogino, K. Nakagawa, N. Saijo, H. Esumi, “The development and clinical use of a beam ON-LINE PET system mounted on a rotating gantry port in proton therapy,” Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 76(1), 277-286 (2010).
- [4] T. Nishio, T. Ogino, K. Nomura, H. Uchida, “Dose-volume delivery guided proton therapy using beam ON-LINE PET system,” Med. Phys. 33(11), 4190-4197 (2006).
- [5] K. Matsushita, T. Nishio, S. Tanaka, M. Tsuneda, A. Sugiura, K. Ieki, “Measurement of proton-induced target fragmentation cross-section in carbon,” Nucl. Phys. A 946, 104-116 (2016).
- [6] S. Tanaka, T. Nishio, K. Matsushita, M. Tsuneda, S. Kabuki, M. Uesaka, “Development of proton CT imaging system using plastic scintillator and CCD camera,” Phys. Med. Biol. 61, 4156-4167 (2016).
- [7] S. Tanaka, T. Nishio, M. Tsuneda, K. Matsushita, S. Kabuki, M. Uesaka, “Improved proton CT imaging using a bismuth germanium oxide scintillator,” Phys. Med. Biol. 63, 035030 (2018).
- [8] 田中創大. 陽子線治療の高精度化のための陽子線 CT 画像取得法の研究開発. 東京大学, 2018, Ph.D. thesis.

# 固体飛跡検出器中に形成される重イオントラックの構造分析

## Modified structure along nuclear tracks in etched track detectors

山内 知也,<sup>A</sup> 楠本 多聞,<sup>A,B</sup> 寺下 佳孝,<sup>A</sup> 東 和樹,<sup>A</sup> 大谷 拓也,<sup>A</sup> 酒井 盛寿,<sup>B</sup>  
濱野 拳,<sup>A</sup> 千葉 昌寛,<sup>A</sup> 小平 聡<sup>B</sup>

Tomoya Yamauchi,<sup>A</sup> Tamon Kusumoto,<sup>A,B</sup> Yoshitaka Terashita,<sup>A</sup> Kazuki Azumaa,<sup>A</sup>  
Takuya Otani,<sup>A</sup> Morikazu Sakai,<sup>A</sup> Ken Hamano,<sup>A</sup> Masahiro ChibaS,<sup>A</sup> Satoshi Kodaira,<sup>B</sup>

<sup>A</sup> 神戸大学 大学院 海事科学研究科

<sup>B</sup> 量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所 計測・線量評価部

放射線計測技術開発チーム

### 概要

ポリアリルジグリコールカーボネート (PADC) 中に形成される検出閾値以下のプロトン及び He イオンのトラック構造について赤外線分光法を用いた分析を実施している。2017 年度には 100 MeV の He イオンの照射実験を 2 回実施した (ターゲットに入射した He イオンのエネルギーは 70 MeV であった)。2017 年度の結果は前年度までの結果を追試するものであった。イオントラック構造の特性を表現するために、3 種類の化学的損傷パラメータを用いている。それらは、イオントラックの単位長さあたりの着目する官能基の損失数 (損傷密度) と着目する官能基が失われている径方向の広がり (実効的トラックコア半径)、放射線化学収率 (G 値) である。CH 基損失の阻止能依存性は、重イオンが示す傾向とは異なる。G 値の阻止能依存性については明瞭なステップが確認され、検出閾値以下の G 値がより大きな値を示す。このことは検出閾値以下では損傷の広がり放射線感受性の高い領域に限られていることを示唆する。PADC 中の CH 基は大きく 3 つのグループに分けられる。ひとつ目はエーテルとカーボネートエステルに挟まれたメチレン基であって放射線感受性の高い部分にある。ふたつ目は 3 次元ネットワークを構成するポリエチレン状の部分にあるメチレン基であり、最後のものは 3 次元ネットワークの三叉路に存在するメチン基である。これらのうちメチン基のみを評価する手法についても検討を行った。

### 1. はじめに

高い感度をもつポリアリルジグリコールカーボネート (PADC) は、CR-39 とよばれるエッチング型飛跡検出器である。受動型線量計として、宇宙放射線計測やラドン計測、中性子線量計測に利用されている。高い電荷分解能を有するとともに X 線や電子線に対しては、数 100 kGy 程度まで、事実上不感であることから、慣性核融合プラズマの診断やレーザー駆動イオン加速実験にも利用されている [1-3]。これらの応用分野からの要請として、より高いエネルギーのプロトンや中性子を検出できる素材開発が望まれている。従来の PADC 中イオントラック構造の研究は 6 MeV/u 以下のエネルギーのプロトンや重イオンを対象に実施されてきており、検出閾値周辺におけるイオントラック構造の変化、特にエッチピットが形成される場合とされない場合のイオントラック内部での構造変化にどのような差異があるのかを明らかにすることを主眼にした分析は行われていなかった [4-7]。そこで検出閾値周辺のエネルギーを有するプロトンや He イオン照射に最適な加速性能を有する大型サイクロトロン (NIRS-930) を利用して照射実験を行った。その目的はエッチピットが形成されないイオントラックの損傷構造を理解し、ピットが形成される損傷構造との差異を明らかにすることである。このような基礎的知見はより高い検出感度 (より低い検出閾値) を有する素材開発につながると期待できる。

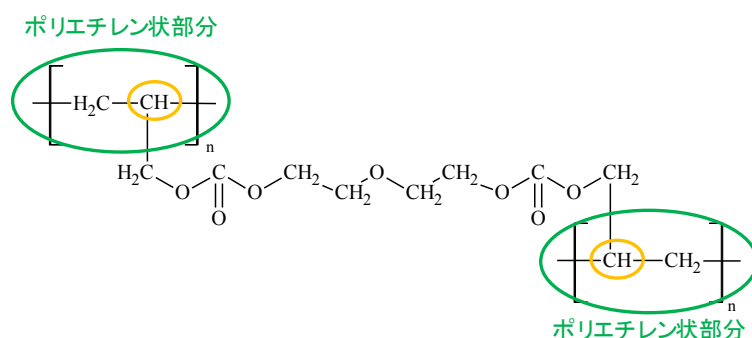


Fig. 1. A repeat unit of PADC.

## 2. 方法

Fig. 1は PADC の繰り返し構造である。エーテル結合が中央に存在し、その両側のエチレン基を介した対称位置に2つのカーボネートエステルがある。エーテルの放射線感受性が最も高く、カーボネートエステルがそれに次ぐ[4]。カーボネートエステルがイオン照射されると脱カルボニル反応が進行し、二酸化炭素が放出される。繰り返し構造の両端にはポリエチレン状の3次元ネットワークが重合反応の結果として生まれており (Fig.1. 中、緑色で囲んでいる)、高分子材料としてはこちらが全体の骨格である。CH 基は繰り返し構造のなかに 18 個あるが、うち 16 個はメチレン基であり 2 個はメチン基である。メチン基はネットワークの三叉路にのみ存在する (Fig.1. 中、黄色で囲んでいる)。

フクビ化学社製の公称厚さ 100  $\mu\text{m}$  厚さの BARYOTRAK を出発物質として化学エッチングによって減肉させた薄膜を試料とした (厚さ 3  $\mu\text{m}$  以下)。薄膜にすることでランベルト・ベール則に基づいた定量分析が可能となる。分光分析には真空密閉型の FT/IR-6100 (日本分光社製) を使用したので、空気中の水分や二酸化炭素の影響は事実上無視できる。ある着目する官能基について、その吸収ピークの吸光度が照射によって  $A_0$  から  $A$  に変化した場合に、その比を相対吸光度と呼ぶ ( $= A / A_0$ )。その官能基の密度が照射によって  $N_0$  から  $N$  に変化したとする。照射前後で試料厚さは変化しないので、相対吸光度は着目する官能基の照射前後の密度比に等しい ( $A / A_0 = N / N_0$ )。したがって、相対吸光度のフルエンス依存性からイオントラック構造に関する化学的損傷パラメータを導くことができる。Fig. 2.には 22 MeV/u の He イオンを照射した場合について、エーテルとカーボネートエステルを構成するカルボニル (C=O)、CH (メチン基及びメチレン基) の相対吸光度をフルエンスの関数として示している。イオントラックの重なりが無視できるフルエンス域では、損傷数はフルエンス  $F$  に比例するので、次の実験式が適用できる：

$$A/A_0 = 1 - \sigma F, \quad (1)$$

ここに  $\sigma$  は、面積の次元をもつ実験定数であり、図中の最適直線の勾配である。これはイオントラック 1 本あたりの相対吸光度変化なので、着目する官能基の除去断面積と見なせる。

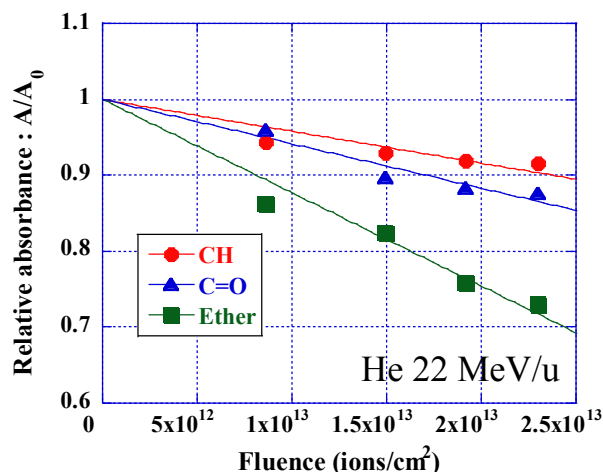


Fig. 2. Reduction behaviors of the relative absorbance of CH, C=O and ether in PADC films exposed to 22 MeV/u He ions.

## 3. 結果と考察

### 3-1. 放射線化学収率

考察に用いている 3 種類の化学的損傷パラメータの間には、阻止能を介した、一定の諸関係が成立している[4-8]。プロトンの検出閾値は 17 eV/nm であり He イオンのそれは 37 eV/nm である[9,10]。Fig.3. に示すように、検出閾値の両側での損傷構造の違いは、CH 基損失の G 値と阻止能との関係を見るとはっきりする。検出閾値を境にして、そこには明確なステップがあり、検出閾値以下の領域 (低阻止能側) で高くなっている。同じ吸収エネルギーで比べると、阻止能が低い方が、損傷が生じやすいことになり、直感的には分かりにくいかも知れない。しかし、放射線感受性が異なる 2 種類の CH 基が存在するとすれば、この阻止能依存性は容易に説明できる。Fig. 1.に示したように、エーテルとカーボネートエステルに挟まれたエチレン基の CH 基は他のものと比べて高い感受性を持つ。CH 基そのものが破壊されるのではなく、エーテル基やカーボネートエステルで生じる切断によって、それらに挟まれた CH 基は低分子となって容易に系外に失われるからである。先に述べた検出閾値との比較で言えば、それらよりも阻止能が高くなると感受性の低い CH 基に損傷を起こさなければならないので

G 値は低くなると考えられる。高分子鎖の骨格を成しているポリエチレン状の部分が感受性の低いグループの CH 基に相当する。したがって、径方向に2つ以上の繰り返し構造にまたがった損傷が生じるとエッチピットが生じる（検出閾値を超える）と考えることができる[8]。

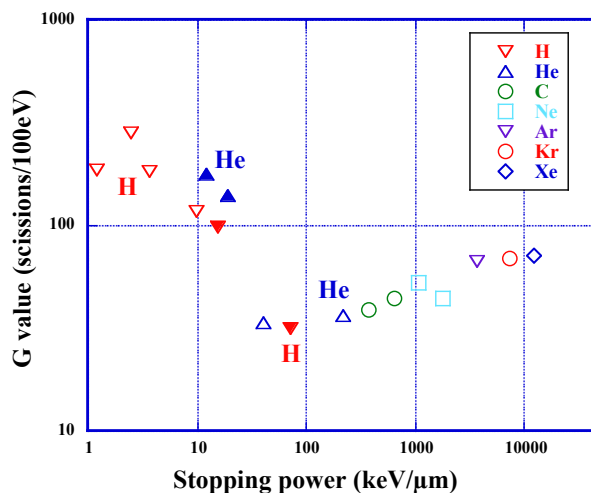


Fig. 3. G value for loss of CH groups as a function of the stopping power.

### 3-2. メチン基とメチレン基の弁別

CH 基の伸縮振動に帰属されるピーク周辺の赤外線スペクトルを Fig.4.に示す。青色で示す Sample#1 は自作の PADC で既製品に比べると重合度が著しく低い試料である。赤色の BARYOTRAK は既製品の PADC であり、緑で示した ADC はアリルジグリコールカーボネート、すなわち、PADC のモノマーである。測定はいずれも ATR 法を用いて行った。Sample#1 と PADC にはピークが3本あるのに対し、ADC のスペクトルには吸収ピークが2つしか見受けられず、明らかにピーク②の位置ではくぼみになっている。また Sample#1 と PADC の中央のピーク位置を比較すると重合が進むにつれてそれは中央に移動している。このことは他の重合度の試料の分析結果からも示された。このことからピーク②は Fig.1.に示す三叉路に存在するメチン基に帰属されると考えた。モノマーの ADC にもアリル基は存在するがそれは三叉路ではなくてアリル基に属しているので、重合によってメチン基のスペクトルがシフトしたと判断した次第である。すなわち、Fig.4.中黄色で示した  $2920\text{ cm}^{-1}$  のピーク②がメチン基に帰属すると考えられる。そして、加えて、 $2960\text{ cm}^{-1}$  のピーク①と  $2890\text{ cm}^{-1}$  のピーク③はメチレン基の対称及び非対称伸縮振動によるものと考えることができる。

イオン照射前後のこの領域のスペクトル変化を求めるとメチレン基のピークには低下傾向が見られるものの、メチン基のピーク位置の吸光度にはほとんど変化が見られないことが確認されつつある。我々が現在進めている PADC 中のイオントラック構造分析においては、それは感受性の高い部分（エーテル基とカーボネートエステルを含む）と感受性の低い部分（ポリエチレン状のネットワーク）にあることを念頭においている。メチン基は感受性の低い領域にのみ存在している CH 基なので、それが事実上不変であるならば、現在の損傷形成モデルをより確実なものにできるだろう。

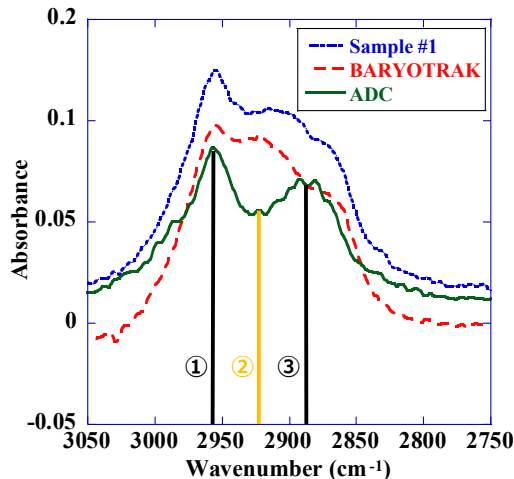


Fig. 4. FT-IR spectra of PADC and ADC around the mode of stretching vibration of CH.

## 4. まとめ

検出閾値以下のイオントラックの構造がどうなっているのかという問題を、感度が最も高い飛跡検出器である PADC を例にとって評価した。エッチピットを形成しないイオントラックはプロトンと He イオンであり、分析方法は赤外線分光であった。PADC 中に存在する官能基の中で最も放射線感受性の高いエーテルとそれに次ぐ感受性を持つカーボネートエステルの損失挙動は、阻止能依存性から判断すると、エッチピットを形成するイオントラックが示している傾向の延長線上にあるものであった。一方で、CH 基の損失挙動は検出域値の両側で明確に異なり、G 値に着目すると低阻止能側で 6 倍以上高い値となった。検出域値以下では放射線感受性の高いグループに属する CH 基のみが損傷を受けていると考えられ、そのグループとは繰り返し構造内のエーテルとカーボネートエステルとの間に挟まれたエチレン基であると考えられる。メチレン基とメチン基とを分別する可能性も出てきた。He イオンについての高いエネルギーでの照射実験が積み残しになっており、新たな端点として生まれる OH 基の定量的な評価に課題を進める段階にはいつている。

謝辞 サイクロトロンの利用に際し多大なご協力をいただいたスタッフの皆様に感謝します。

## 参考文献

- [1] A.B. Zylstra, J.A. Frenje, F.H. Séguin, M. Gatu Johnson, D.T. Casey, M.J. Rosenberg, C. Waugh, N. Sinenian, M.J.-E. Manuel, C.K. Li, R.D. Petrasso, Y. Kim, H.M. Herrmann: A new model to account for track overlap in CR-39 data, *Nucl. Instrum. Meth. A*, **68** (2012) 184.
- [2] Y. Fukuda, A. Ya. Faenov, M. Tampo, T. A. Pikuz, T. Nakamura, M. Kando, Y. Hayashi, A. Yogo, H. Sasaki, T. Kameshima, A. S. Pirozhkov, K. Ogura, M. Mori, T. Zh. Esirkepov, J. Koga, A. S. Boldarev, V. A. Gasilov, A. I. Magunov, T. Yamauchi, R. Kodama, P. R. Bolton, Y. Kato, T. Tajima, H. Daido, S. V. Bulanov: Energy Increase in Multi-MeV Ion Acceleration in the Interaction of a Short Pulse Laser with a Cluster-Gas Target, *Physical Review Letters* **103** (2009) 165002.
- [3] M. Kanasaki, S. Jinno, H. Sakaki, K. Kondo, K. Oda, T. Yamauchi, Y. Fukuda: The precise energy spectra measurement of laser-accelerated MeV/n-class high-Z ions and protons using CR-39 detectors, *Plasma Physics and Controlled Fusion* **58** (2016) 35.
- [4] Y. Mori, T. Yamauchi, M. Kanasaki, Y. Maeda, K. Oda, S. Kodaira, H. Kitamura, T. Konishi, N. Yasuda, R. Barillon: Radiation chemical yields for loss of ether and carbonate ester bonds in PADC films exposed to proton and heavy ion beams, *Radiation Measurements*, **46** (2011) 1147.
- [5] Y. Mori, T. Ikeda, T. Yamauchi, A. Sakamoto, H. Chikada, Y. Honda, K. Oda: Radiation chemical yields for loss of carbonate ester bonds in PADC films exposed to gamma ray, *Radiation Measurements*, **44** (2009) 211.
- [6] Y. Mori, T. Yamauchi, M. Kanasaki, A. Hattori, Y. Matai, K. Matsukawa, K. Oda, S. Kodaira, H. Kitamura, T. Konishi, N. Yasuda, S. Tojo, Y. Honda, R. 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* **5** (2012) 086401.
- [7] T. Kusumoto, Y. Mori, M. Kanasaki, T. Ueno, Y. Kameda, K. Oda, S. Kodaira, H. Kitamura, R. Barillon, T. Yamauchi: Yields of the formation of OH groups and the loss of CH groups along nuclear tracks in PADC films, *Radiation Measurements*, **83** (2015) 59.
- [8] T. Kusumoto, Y. Mori, M. Kanasaki, R. Ikenaga, K. Oda, S. Kodaira, H. Kitamura, R. Barillon, T. Yamauchi: Radiation chemical yields for the losses of typical functional groups in PADC films for high energy protons registered as unetchable tracks, *Radiation Measurements*, **87** (2016) 35.
- [9] N. M. Hassan, Y. Matai, T. Kusumoto, Y. Mori, M. Kanasaki, K. Oda, H. Kitamura, T. Konishi, S. Kodaira, N. Yasuda, T. Yamauchi: On the mechanism of the sensitization of PADC (poly(allyl diglycol carbonate)) track detectors by carbon dioxide treatment, *Radiation Measurements*, **59** (2013) 23.
- [10] Tamon Kusumoto: Radial Electron Fluence around Ion Tracks as a New Physical Concept for the Detection Threshold of PADC Detector, PhD Thesis, Kobe University, 2018.3.

## Study of the elpasolite scintillators for use in space and terrestrial radiation detection

Rachid Machrafi<sup>1</sup>, Alex Miller<sup>1</sup>, Eric Benton<sup>2</sup>, Satoshi Kodaira<sup>3</sup>

<sup>1</sup> University of Ontario Institute of Technology, Faculty of Energy Systems and Nuclear Science, Oshawa, Ontario, Canada

<sup>2</sup> Oklahoma State University, Dept. of Physics, Stillwater, Oklahoma, USA

<sup>3</sup> National Institute of Quantum and Radiological Science and Technology, Chiba, Japan

### Abstract

Lanthanum Halide scintillators such as lanthanum bromide (LaBr<sub>3</sub>:Ce) and lanthanum chloride (LaCl<sub>3</sub>:Ce) have been studied extensively in gamma radiation fields and have shown to be excellent gamma-ray detectors. Measurements with these detectors in complex radiation fields that include neutrons, protons, and heavy ions may provide some information about these radiation fields. To investigate the response of LaBr<sub>3</sub> and its light output to high energy protons, a series of experiments have been carried out using the cyclotron facility at the National Institute of Quantum and Radiological Science and Technology, Japan. Measurements with protons with various incident energies have been carried out. Some preliminary results of the detector response are presented.

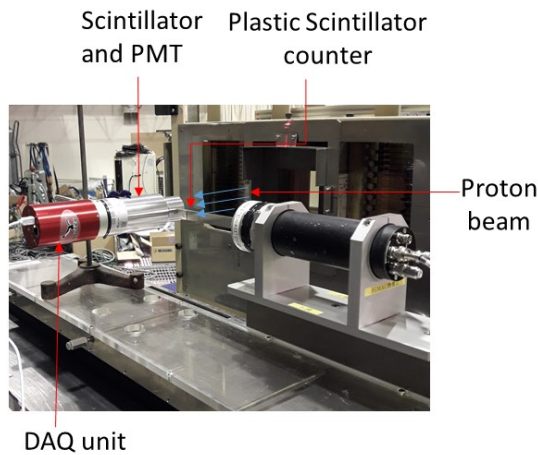
### 1. Introduction

Lanthanum halide detectors are widely used as gamma-ray spectrometers and are noted for their high efficiency, good energy resolution, high light output, faster decay and better timing properties than conventional crystals such as NaI<sup>[1,2]</sup>. Recently, these detectors have been incorporated in space missions as gamma-ray spectrometers<sup>[3]</sup>. However, their response is influenced by other radiation particles such as neutrons, protons and heavy ions that are abundant in such complex environment. For instance, radiation effect on the LaBr and LaCl crystals from protons and heavy ions, as well as from neutrons, have been studied in different papers<sup>[3,4]</sup>. The energy deposited in these detectors by heavy charged particles can produce significant scintillation events with a large light output. In our previous work, fast neutron reactions such as (n,p) and (n, $\alpha$ ) have been studied in CLYC detectors [4][5]. The same reactions are expected to occur in LaCl<sub>3</sub> detectors because of the <sup>35</sup>Cl isotope presence in the crystal. To evaluate

the response of these detectors in complexly mixed radiation fields, it is required to characterize their responses to heavy charged particle radiation. We have used a BrillLanCe<sup>TM</sup> 380 LaBr<sub>3</sub>:Ce detector to study its response to high energy protons. Measurements were carried out using the cyclotron facility at the National Institute of Quantum and Radiological Science and Technology, Japan. This report outlines some preliminary results of different experiments with different proton beams.

### 1. Experiment Description

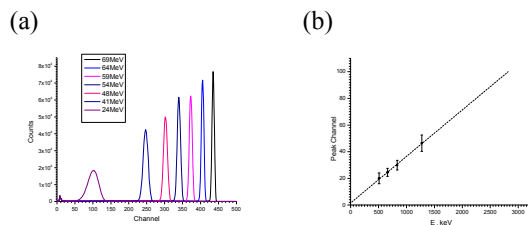
The detector used in these experiments was a cylindrical 1.5x1.5 inch brilliance<sup>TM</sup>380 LaBr<sub>3</sub>:Ce scintillator from Saint-Gobain Crystals mounted on a 2 inch Hamamatsu R6231 photomultiplier tube (PMT) encased in a standard aluminum housing assembly [6]. The detector was attached to an Osprey universal digital multi-channel analyzer (MCA) manufactured by Canberra for scintillation spectrometry [7]. The applied high voltage was significantly reduced from typical operation (750-1000V) down to 250 V in order to reduce the peak anode current and PMT saturation. The system was calibrated with standard calibration gamma sources of <sup>22</sup>Na, <sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co, and <sup>54</sup>Mn. Measurements with 70 MeV protons were performed using the cyclotron facility at the National Institute of Quantum and Radiological Science and Technology in Chiba, Japan. To reduce the beam energy, in different experiments, polymethylmethacrylate (PMMA) Binary Filters of different thickness were placed between the beam nozzle and the detector. To minimize the dead time (0.1 to 1.1%), the exposures were performed with particle fluxes ranged from  $3.2 \times 10^3$  -  $2.6 \times 10^4$  p.cm<sup>-2</sup>. The fluence in each experiment was monitored with a plastic scintillation counter. The experimental setup is shown in Figure 1.



**Figure 1:** Experimental setup with the proton beam

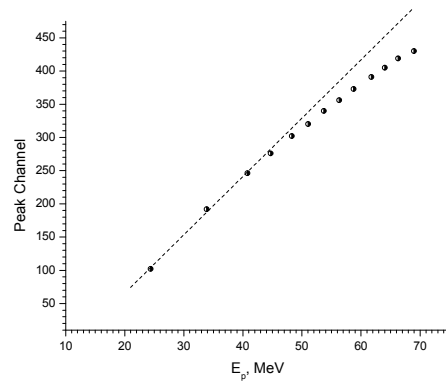
## 2. Preliminary Results

The pulse height spectra were recorded with different proton energies. Typical spectra with different proton energies are shown in Figure 2a. Each peak on the spectra represents the amount of light resulted from energy deposition events in the crystal, while, Figure 2b represents the gamma calibration line with different gamma energies.



**Figure 2:** LaBr<sub>3</sub> pulse height spectra measured with protons (a) and gamma calibration line (b)

The proton data, channel versus energy, shown in Figure 3 shows a divergence from linearity of the light output curve around 45 MeV. This divergence increases with the proton energy.



**Figure 3:** Divergence of the light output as a function of proton energy

## References

- [1] A. Oberstedt, R. Billnert, and S. Oberstedt, "Gamma-ray Measurements with LaBr<sub>3</sub>: Ce Detectors -thinking Outside the Box," *Phys. Procedia*, vol. 31, pp. 21–28, 2012.
- [2] A. Owens, "Scintillators on Interplanetary Space Missions," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 55, no. 3, pp. 1430–1436, Jun. 2008.
- [3] F. G. A. Quarati *et al.*, "High energy gamma-ray spectroscopy with LaBr<sub>3</sub> scintillation detectors," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. Accel. Spectrometers Detect. Assoc. Equip.*, vol. 629, no. 1, pp. 157–169, Feb. 2011.
- [4] R. Machrafi, A. L. Miller, and N. Khan, "New approach to neutron spectrometry with multi-element scintillator," *Radiat. Meas.*, vol. 80, pp. 10–16, Sep. 2015.
- [5] N. D'Olympia, P. Chowdhury, E. G. Jackson, and C. J. Lister, "Fast neutron response of 6Li-depleted CLYC detectors up to 20MeV," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. Accel. Spectrometers Detect. Assoc. Equip.*, vol. 763, pp. 433–441, Nov. 2014.
- [6] BrillLanCe Scintillators Performance Summary, Saint-Gobain Crystals, [www.crystals.saint-gobain.com/products/brilliance-labr3-lanthanum-bromide](http://www.crystals.saint-gobain.com/products/brilliance-labr3-lanthanum-bromide), 01/09.
- [9] "Osprey – Universal Digital MCA Tube Base for Scintillation Spectrometry." Canberra, [www.canberra.com/products/radiochemistry\\_lab/pdf/Osprey-SS-C48365.pdf](http://www.canberra.com/products/radiochemistry_lab/pdf/Osprey-SS-C48365.pdf), 06/16.



## 4. 研究成果一覽

# 研究成果一覧

## 1. 放医研サイクロトロン施設

[ プロシーディングス ]

- (1) S. Hojo et. al, Proceedings of 14<sup>th</sup> Particle Accelerator Society, 2017, pp. 1412.
- (2) K. Katagiri et. al, Proceedings of 14<sup>th</sup> Particle Accelerator Society, 2017, pp. 1193.

[ 学会・研究会での口頭発表及びポスター発表 ]

- (1) 北條 悟, 他, “放医研サイクロトロン (NIRS-930, HM-18) の現状報告 (2018)”, 日本加速器学会年会 2017 年 8 月 北海道大学, 札幌市
- (2) 片桐 健, 他, “RI ビームがん治療用 ISOL システムに用いる 1 価イオン源のイオン生成効率”, 日本加速器学会年会 2017 年 8 月 北海道大学, 札幌市

## 2. 核医学研究

### 2.1. 標識薬剤開発

[ 原著論文 ]

- (1) Ran Cheng, Wakana Mori, Longle Ma, Mireille Alhouayek, Akiko Hatori, Yiding Zhang, Daisuke Ogasawara, Gengyang Yuan, Zhen Chen, Xiaofei Zhang, Hang Shi, Tomoteru Yamasaki, Lin Xie, Katsushi Kumata, Masayuki Fujinaga, Yuji Nagai, Takafumi Minamimoto, Mona Svensson, Wang Lu, Yunfei Du, Mary Jo Ondrechen, Neil Vasdev, Benjamin F Cravatt, Christopher Fowler, Ming-Rong Zhang, Steven H Liang: In vitro and in vivo evaluation of <sup>11</sup>C-labeled azetidine-carboxylates for imaging monoacylglycerol lipase by PET imaging studies, Journal of Medicinal Chemistry, 61, 2278 - 2291, 2018-02.
- (2) Dewei Tang, Masayuki Fujinaga, Akiko Hatori, Yiding Zhang, Tomoteru Yamasaki, Lin Xie, Wakana Mori, Katsushi Kumata, Jianjun Liu, H. Charles Manning, Gang Huang, Ming-Rong Zhang: Evaluation of the novel TSPO radiotracer 2-(7-butyl-2-(4-(2-([<sup>18</sup>F]fluoroethoxy)phenyl)-5-methylpyrazolo[1,5-a]pyrimidin-3-yl)-N,N-diethylacetamide in a preclinical model of neuroinflammation, European Journal of Medicinal Chemistry, 150, 1 - 8, 2018-04.
- (3) Tomoyuki Ohya, Ming-Rong Zhang, Kotaro Nagatsu, Masami Fukada, Masayuki Hanyu, Hisashi Suzuki, Katsuyuki Minegishi: Small-scale production of <sup>67</sup>Cu for a preclinical study via the <sup>64</sup>Ni( $\alpha$ , p)<sup>67</sup>Cu channel, Nuclear Medicine and Biology, 59, 56 - 60, 2018-04.
- (4) Toru Sasaki, Katsumi Aoki, Ryosuke Yamashita, Kensuke Hori, Taiga Kato, Misaki Saito, Kazuhiro Niisawa, Kotaro Nagatsu, Tadashi Nozaki: Development of an externally controllable sealed isotope generator, Applied Radiation and Isotopes, 133, 51 - 56, 2018-03.
- (5) 野崎 正, 永津 弘太郎, 葉袋 佳孝, 佐々木 徹: 広い教育分野における <sup>68</sup>Ge/<sup>68</sup>Ga ジェネレーターを用

いる諸実験の活用, 放射化学, (35), 64 - 81, 2017-03.

- (6) Seock-Jin Chung, Hai-Jeon Yoon, Hyewon Youn, Mi Jeong Kim, Yun-Sang Lee, ae Min Jeong, June-Key Chung, Keon Wook Kang, Lin Xie, Ming-Rong Zhang, Gi Jeong Cheon: [18F]FEDAC as a targeting agent for activated macrophages in DBA/1 mice with collagen-induced arthritis: Comparison with [18F]FDG, *Journal of Nuclear Medicine*, 59(5), 839 - 845, 2018-01.
- (7) Mayeen Uddin Khandaker, Kotaro Nagatsu, Katsuyuki Minegishi, Takashi Wakui, Ming-Rong Zhang, Naohiko Otuka: Study of deuteron-induced nuclear reactions on natural tungsten for the production of theranostic <sup>186</sup>Re via AVF cyclotron up to 38 MeV, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 403, 51 - 68, 2017-07.
- (8) Katsushi Kumata, Joji Yui, Yiding Zhang, Yusuke Kurihara, Masanao Ogawa, Wakana Mori, Masayuki Fujinaga, Ming-Rong Zhang: [11C]BCTC: Radiosynthesis and In Vivo Binding to Transient Receptor Potential Vanilloid Subfamily Member 1 (TRPV1) Receptor in the Mouse Trigeminal Nerve, *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 27(19), 4521 - 4524, 2017-10.
- (9) Wakana Mori, Makoto Takei, Kenji Furutsuka, Masayuki Fujinaga, Katsushi Kumata, Masatoshi Muto, Takayuki Ohkubo, Hiroki Hashimoto, Gilles Tamagnan, Makoto Higuchi, Kazunori Kawamura, Ming-Rong Zhang: Comparison between [18F]fluorination and [18F]fluoroethylation reactions for the synthesis of the PDE10A PET radiotracer [18F]MNI-659, *Nuclear Medicine and Biology*, 55, 12 - 18, 2017-10.
- (10) Tomoteru Yamasaki, Masayuki Fujinaga, Yoko Shimoda, Wakana Mori, Yiding Zhang, Hidekatsu Wakizaka, Masanao Ogawa, Ming-Rong Zhang: Radiosynthesis and evaluation of new PET ligands for peripheral cannabinoid receptor type 1 imaging, *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 27(17), 4114 - 4117, 2017-09.
- (11) Masayuki Fujinaga, Rui Luo, Katsushi Kumata, Yiding Zhang, Akiko Hatori, Tomoteru Yamasaki, Lin Xie, Wakana Mori, Yusuke Kurihara, Masanao Ogawa, Nobuki Nengaki, Feng Wang, Ming-Rong Zhang: Development of a 18F-Labelled Radiotracer with Improved Brain Kinetics for Positron Emission Tomography Imaging of Translocator Protein (18 kDa) in Ischemic Brain and Glioma, *Journal of Medicinal Chemistry*, 60(9), 4047 - 4061, 2017-05.
- (12) Kazunori Kawamura, Masayuki Fujinaga, Yoko Shimoda, Tomoteru Yamasaki, iding Zhang, Akiko Hatori, Lin Xie, Hidekatsu Wakizaka, Katsushi Kumata, Takayuki Ohkubo, Yusuke Kurihara, Masanao Ogawa, Nobuki Nengaki, Ming-Rong Zhang: Developing new PET tracers to image the growth hormone secretagogue receptor 1a (GHS-R1a), *Nuclear Medicine and Biology*, 52, 49 - 56, 2017-09.
- (13) Tomoteru Yamasaki, Masayuki Fujinaga, Wakana Mori, Yiding Zhang, Hidekatsu Wakizaka, Nobuki Nengaki, Lin Xie, Akiko Hatori, Ming-Rong Zhang: In Vivo Monitoring for Regional Changes of Metabotropic Glutamate Receptor Subtype 1 (mGluR1) in Pilocarpine-Induced Epileptic Rat Brain by Small-Animal PET, *Scientific Reports*, 7(1), 14945-1 - 14945-9, 2017-11.
- (14) Xiaofei Zhang, Katsushi Kumata, Tomoteru Yamasaki, Ran Cheng, Akiko Hatori, Longle Ma, Yiding Zhang, Lin Xie, Lu Wang, Hye Jin Kang, Douglas J. Sheffler, Nicholas D. P. Cosford, Ming-Rong Zhang, Steven H. Liang: Synthesis and preliminary studies of a novel negative allosteric modulator [11C]QCA for imaging of metabotropic glutamate receptor 2, *ACS Chemical Neuroscience*, 8(9), 1937 - 1948, 2017-09.
- (15) Toshimitsu Okamura, Maki Okada, Tatsuya Kikuchi, Hidekatsu Wakizaka, Ming-Rong Zhang: Ki-

netics and metabolism of apocynin in the mouse brain assessed with positron-emission tomography  
Phytomedicine, 38, 84 - 89, 2018-01.

- (16) Lu Wang, Ran Cheng, Masayuki Fujinaga, Jian Yang, Yiding Zhang, Akiko Hatori, Katsushi Kumata, Jing Yang, Neil Vasdev, Yunfei Du, Chongzhao Ran, Ming-Rong Zhang, Steven H. Liang: A Facile Radiolabeling of [18F]FDPA via Spirocyclic Iodonium Ylides: Preliminary PET Imaging Studies in Preclinical Models of Neuroinflammation, *Journal of Medicinal Chemistry*, 60(12), 5222 - 5227, 2017-06.
- (17) Katsushi Kumata, Tomoteru Yamasaki, Akiko Hatori, Yiding Zhang, Wakana Mori, Masayuki Fujinaga, Lin Xie, Takayuki Ohkubo, Nobuki Nengaki, Ming-Rong Zhang: Synthesis and In Vitro Evaluation of Three Novel Radiotracers for Imaging of Metabotropic Glutamate Receptor Subtype 2 in Rat Brain, *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 27(14), 3139 - 3143, 2017-07.

[ 学会・研究会での口頭発表及びポスター発表 ]

- (1) 谷本 祐之, 山崎 友照, 張 明栄, 藤林 康久, 中村 雅也, 岡野 栄之: ヒト iPS 細胞由来神経幹細胞移植後の造腫瘍性に対するライブイメージング, 第 47 回日本脊椎髄病学会学術集会, 日本脊椎髄病学会, 2018-04-13.
- (2) 谷本 祐之, 山崎 友照, 張 明栄, 藤林 康久, 中村 雅也, 岡野 栄之: ヒト iPS 細胞由来神経幹細胞移植後の造腫瘍性に対するライブイメージング, 第 17 回日本再生医療学会総会, 一般社団法人日本再生医療学会, 2018-03-21.
- (3) Kotaro Nagatsu, Yasuhisa Fujibayashi, Ming-Rong Zhang, Tomoyuki Ohya: Development of the production methods for emerging radionuclides applicable to the theranostical basic research, Second Research, Coordination Meeting on Therapeutic Radiopharmaceuticals Labelled with New Emerging Radionuclides (Cu-67, Re-186, Sc-47), IAEA, 2018-03-06.
- (4) 鈴木 寿: 放医研で製造されている核種及び照射装置について, 日本サイクロ合同会議, 大阪大学, 2018-02-27.
- (5) 永津 弘太郎: 211At 良いところ・悪いところ 25, PET 化学ワークショップ 2018, PET 化学ワークショップ事務局, 2018-02-03.
- (6) Cuiping Jiang, Lin Xie, Masayuki Hanyu, Yiding Zhang, Rikako Azuma, Hisashi Suzuki, Takashi Shimokawa, Hidekatsu Wakizaka, Shiming Zang, Feng Wang, Ming-Rong Zhang: Biodistribution and PET imaging study of 64Cu-anti-CTLA4 mAb in melanoma bearing mice, Japan-China Nuclear Medicine Exchange Meeting, 日本核医学会, 2017-10-07.
- (7) 峯岸 克行, 永津 弘太郎, 張 明栄: 天然 Ga をターゲットとした As-74 遠隔製造法の検討, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-07.
- (8) 山崎 友照, 森 若菜, 張 一鼎, 脇坂 秀克, 藤永 雅之, 栗原 雄祐, 念垣 信樹, 張 明栄: [11C]SAR127303 を用いたモノアシルグリセロールリパーゼ (MAGL) PET 定量解析, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-07.
- (9) Cuiping Jiang, Lin Xie, Masayuki Hanyu, Yiding Zhang, Rikako Azuma, Hisashi Suzuki, Takashi Shimokawa, Hidekatsu Wakizaka, Shiming Zang, Feng Wang, Ming-Rong Zhang: A novel PET radiotracer for visualizing in vivo action of immune checkpoint blocker anti-CTLA4 mAb, The12th Asia Oceania Congress of Nuclear Medicine and Biology, 日本核医学会, 2017-10-06.
- (10) 破入 正行, 謝 琳, 張 一鼎, 蔣 翠萍, 東 梨佳子, 鈴木 寿, 下川 卓志, 張 明栄: 免疫チェックポイント阻害薬・抗 PD-1 抗体の動態評価 (1) 64Cu 抗 PD-1 抗体の標識反応 の検討, 第 57 回日本核医学

会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-06.

- (11) 藤永 雅之, 熊田 勝志, 森 若菜, 小川 政直, 張 明栄: スピロ環ヨードニウムイリドを用いた 18F-リガンドの合成検討, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-06.
- (12) 謝 琳, 破入 正行, 張 一鼎, 蔣 翠萍, 東 梨佳子, 鈴木 寿, 下川 卓志, 張 明栄: 免疫チェックポイント阻害薬・抗 PD1 抗体の動態評価 (2)PET を用いた 64Cu 抗 PD1 抗体の可視化, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-06.
- (13) 大矢 智幸, 永津 弘太郎, 鈴木 寿, 深田 正美, 峯岸 克行: ルーチン利用を目的とした高品質・高放射能 Cu-64 の効率的製造, 第 17 回放射性医薬品・画像診断薬研究会 第 1 回日本核医学会分科会・放射薬品科学研究会, 放射性医薬品・画像診断薬研究会, 2017-09-09.
- (14) 藤永 雅之, 熊田 勝志, 森 若菜, 小川 政直, 張 明栄: ヨードニウムイリドを経由する 18F-リガンドの合成について, 第 17 回放射性医薬品・画像診断薬研究会 第 1 回日本核医学会分科会・放射薬品科学研究会, 放射性医薬品・画像診断薬研究会, 2017-09-09.
- (15) 東 梨佳子, 坂本 慶充, 下川 卓志: マウスモデルを用いた炭素イオン線治療と免疫応答の研究, H28 年度 HIMAC 共同利用研究成果発表会, 量研機構 放医研, 2017-04-16.
- (16) 岡村 敏充, 岡田 真希, 菊池 達矢, 脇坂 秀克, 張 明栄: 脳内 NADPH オキシダーゼ活性イメージングプローブの開発, 日本薬学会第 138 年会, 日本薬学会, 2018-03-27.
- (17) 東 梨佳子, 馬 立秋, 坂本 慶充, 金井 昭教, 謝 琳, 破入 正行, 張 明栄, 下川 卓志: 炭素イオン線と免疫療法併用による abscopal 効果の誘導, 日本放射線影響学会 平成 60 回大会, 日本放射線影響学会, 2017-10-26.
- (18) 大久保 崇之, 藤永 雅之, 熊田 勝志, 念垣 信樹, 張 明栄: [18F] エピフルオロヒドリンを用いた O-18F-フルオロアルキル化反応の開発, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-06.
- (19) 古塚 賢士, 河村 和紀, 森 若菜, 藤永 雅之, 橋本 裕輝, 武井 誠, 武藤 正敏, 念垣 信樹, 張 明栄: [18F]MNI-659 の効率的な合成法の検討, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-06.
- (20) 森 若菜, 藤永 雅之, 山崎 友照, 熊田 勝志, 大久保 崇之, 小川 政直, 張 明栄: [18F]MNI-659 をリード化合物とした PDE10A の新規 PET イメージング剤の開発, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-06.
- (21) 菊池 達矢, 張 明栄, Antony D. Gee: [11C]CH<sub>3</sub>I 経由の [11C]HCN の簡便な合成法の開発, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-06.
- (22) 武井 誠, 河村 和紀, 橋本 裕輝, 武藤 正敏, 潮見 聡, 藤代 智也, 古塚 賢士, 張 明栄: 床用 [18F]MNI-659 製造法の確立第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-06.
- (23) 橋本 裕輝, 古塚 賢士, 河村 和紀, 念垣 信樹, 張 明栄: 学会 GMP に対応できる [11C] コリン注射液の高感度分析法の検討, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-06.
- (24) 熊田 勝志, 山崎 友照, 張 一鼎, 羽鳥 晶子, 藤永 雅之, 念垣 信樹, 張 明栄: 新規代謝型グルタミン酸 2 型受容体選択的 PET リガンドの合成と評価, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-06.
- (25) 大矢 智幸, 鈴木 寿, 峯岸 克行, 深田 正美, 永津 弘太郎, 張 明栄: ディスポーザブル型 64Cu 製造装置の開発, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-06.
- (26) 羽鳥 晶子, 熊田 勝志, 張 一鼎, 脇坂 秀克, 栗原 雄祐, 武井 誠, 張 明栄: [18F]FEDAC-PET による糖尿病モデル ZDF ラット褐色脂肪の可視化, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-06.
- (27) 岡村 敏充, 岡田 真希, 菊池 達矢, 脇坂 秀克, 張 明栄: 脳実質細胞における薬剤排出ポンプ活性のインビボ評価, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-06.

- (28) 河村 和紀, 藤永 雅之, 下田 陽子, 山崎 友照, 張 一鼎, 羽鳥 晶子, 謝 琳, 脇坂 秀克, 栗原 雄祐, 大久保 崇之, 小川 政直, 念垣 信樹, 張 明榮: 新規 GHS-R1a 選択的 PET 用プローブの開発と評価, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会学, 2017-10-06.
- (29) Masayuki Fujinaga, Lin Xie, Masayuki Hanyu, Yiding Zhang, Katsuyuki Minegishi, Kotaro Nagatsu, Ming-Rong Zhang: Development of two novel I-131 or At-211 labeled radioprobes for targeted radiotherapy of melanoma, 2017 World Molecular Imaging Congress(WMIC2017), World Molecular Imaging Society, 2017-09-16.
- (30) Lin Xie, Yiding Zhang, Cuiping Jiang, Hidekatsu Wakizaka, Katsushi Kumata, Nobuki Nengaki, Ming-Rong Zhang: Identifying antitumor responses of IDO1-targeting combination immunotherapy through 11C-L-1MTrp based PET platform, 2017 World Molecular Imaging Congress(WMIC2017), World Molecular Imaging Society, 2017-09-15.
- (31) Kazunori Kawamura, Tomoteru Yamasaki, Yiding Zhang, Hidekatsu Wakizaka, Akiko Hatori, Lin Xie, Masayuki Fujinaga, Ming-Rong Zhang: Brain PET study using [11C]BU99008 in Zucker fatty versus lean rats, 2017 World Molecular Imaging Congress(WMIC2017) にポスター発表の為. , World Molecular Imaging Society, 2017-09-14.
- (32) 東 梨佳子, 佐藤 克俊, 山田 健一, 中西 郁夫, 松本 謙一郎, 藤崎 真吾, 下川 卓志: 放射線の繰り返し照射により樹立した放射線抵抗性がん細胞株の性状解析, 日本酸化ストレス学会, フリーラジカルサマースクール 2017, フリーラジカルサマースクール事務局, 2017-08-08
- (33) 張 一鼎, 藤永 雅之, 熊田 勝志, 羽鳥 晶子, 謝 琳, 山崎 友照, 張 明榮: TSPO リガンドによるラットの脳腫瘍モデル及び脳虚血モデルのイメージング, Free Radical Summer School in TATEYAMA2017, 筑波大学, 2017-08-08
- (34) 東 梨佳子, 佐藤 克俊, 新田 展大, 柴田 さやか, 青木 伊知男, 今井 高志, 下川 卓志: Repeated gamma-ray and C-ion irradiations have different impact on tumor characteristics, 1st QST International Symposium: “Quantum Life Science”, 量子科学技術研究開発機構, 2017-07-27.
- (35) Masayuki Hanyu, Masayuki Fujinaga, Lin Xie, Yiding Zhang, Yukie Morokoshi, Huizi Keiko Li, Katsuyuki Minegishi, Sumitaka Hasegawa, Kotaro Nagatsu, Ming-Rong Zhang: Development of quantum scientific/therapeutic tool: Synthesis and therapeutic effect of At-211 labeled probe for melanoma with overexpressed metabotropic glutamate receptor 1, QST 第 1 回国際シンポジウム『量子生命科学 -Quantum Life Science-』, 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構, 2017-07-25.
- (36) Tomoteru Yamasaki, Masayuki Fujinaga, Kotaro Nagatsu, Kazunori Kawamura, Ming-Rong Zhang: First Quantum Imaging of Metabotropic Glutamate Receptor Subtype 1 in Parkinson's Disease Rats Using A Novel PET Ligand [11C]ITDM, QST 第 1 回国際シンポジウム『量子生命科学 -Quantum Life Science-』, 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構, 2017-07-25.
- (37) Katsushi Kumata, Tomoteru Yamasaki, Yiding Zhang, Akiko Hatori, Wakana Mori, Masayuki Fujinaga, Ming-Rong Zhang: Development of new radioprobes for PET imaging of metabotropic glutamate receptor subtype 2 in rat brain, SNMMI 2017 Annual Meeting, SNMMI, 2017-06-11.
- (38) Masayuki Hanyu, Masayuki Fujinaga, Lin Xie, Yiding Zhang, Akiko Hatori, Yukie Morokoshi, Huizi Keiko Li, Katsuyuki Minegishi, Sumitaka Hasegawa, Kotaro Nagatsu, Ming-Rong Zhang: Synthesis and radiotherapeutic effect of two I-131 or At-211 labelled radioprobes for melanoma with overexpressed metabotropic glutamate receptor 1, 第 10 回アルファ線治療国際シンポジウム, 金沢大学, 2017-05-31.
- (39) Yoko Shimoda, Akiko Hatori, Yiding Zhang, Masanao Ogawa, Nobuki Nengaki, Masayuki Fujinaga,

- Katsushi Kumata, Lin Xie, Ming-Rong Zhang: [11C]DPFC: a promising PET tracer for imaging fatty acid amide hydrolase in brain, 22nd International symposium on radiopharmaceutical science (ISRS), International Symposium Radiopharmaceutical Sciences, 2017-05-18.
- (40) Tomoyuki Ohya, Hisashi Suzuki, Masami Fukada, Kotaro Nagatsu, Katsuyuki Minegishi, Masayuki Hanyu, Ming-Rong Zhang: Co-precipitation method to separate  $^{67}\text{Cu}$  from a large amount of Zn target, 22nd International symposium on radiopharmaceutical science (ISRS), International symposium radiopharmaceutical sciences, 2017-05-18.
- (41) Toshimitsu Okamura, Maki Okada, Tatsuya Kikuchi, Hidekatsu Wakizaka, Ming-Rong Zhang: Evaluation of kinetics of acetovanillone in the brain by PET, 22nd International symposium on radiopharmaceutical science (ISRS), International symposium radiopharmaceutical science, 2017-05-18.
- (42) Masayuki Fujinaga, Lin Xie, Yiding Zhang, Masayuki Hanyu, Tomoteru Yamasaki, Akiko Hatori, Katsushi Kumata, Ming-Rong Zhang: Synthesis and evaluation of radionuclide therapy probe for metabotropic glutamate receptor 1 in melanoma, 22nd International symposium on radiopharmaceutical science (ISRS), International Symposium Radiopharmaceutical Sciences, 2017-05-18.
- (43) Tatsuya Kikuchi, Ming-Rong Zhang, Antony D. Gee: A preliminary study of facile [11C]cyanide preparation from [11C]methyl iodide, 22nd International symposium on radiopharmaceutical science, International Symposium Radiopharmaceutical Sciences, 2017-05-16.
- (44) Tomoteru Yamasaki, Masayuki Fujinaga, Yoko Shimoda, Wakana Mori, Yiding Zhang, Hidekatsu Wakizaka, Yusuke Kurihara, Kazunori Kawamura, Ming-Rong Zhang: Development of new PET ligands for cannabinoid receptor type 1 in the brown adipose tissue, 22nd International symposium on radiopharmaceutical science (ISRS), International symposium radiopharmaceutical science, 2017-05-15.
- (45) Katsushi Kumata, Yiding Zhang, Akiko Hatori, Tomoteru Yamasaki, Takayuki Ohkubo, Yusuke Kurihara, Masayuki Fujinaga, Lin Xie, Kazunori Kawamura, Ming-Rong Zhang: Development of [11C]CMDC for PET imaging of metabotropic glutamate receptor 2 in the rat brain, 22nd International symposium on radiopharmaceutical science (ISRS), International symposium radiopharmaceutical science, 2017-05-15.
- (46) Hideki Ishii, Joji Yui, Yiding Zhang, Tomoteru Yamasaki, Masayuki Hanyu, Masanao Ogawa, Nobuki Nengaki, Atsushi Tsuji, Ming-Rong Zhang: Radiosynthesis of [11C]disulfiram and its first in vivo PET studies, 22nd International symposium on radiopharmaceutical science (ISRS), International symposium radiopharmaceutical science, 2017-05-15.
- (47) Kotaro Nagatsu, Katsuyuki Minegishi, Hisashi Suzuki, Masami Fukada, Tomoyuki Ohya, Mayeen Uddin Khandaker, Ming-Rong Zhang: A feasibility study on the production of  $^{186}\text{Re}$  from  $^{186}\text{W}$  powder target, 22nd International symposium on radiopharmaceutical science (ISRS), International symposium radiopharmaceutical science, 2017-05-1.
- (48) Kazunori Kawamura, Hiroki Hashimoto, Kenji Furutsuka, Makoto Takei, Kaori Kariya, Satoshi Shiomi, Tomoya Fujishiro, Nobuki Nengaki, Masatoshi Muto, Ming-Rong Zhang: Measurement of the molar radioactivity for [11C]choline and [11C]AIB without UV chromophores using radio-HPLC coupled with a corona-charged aerosol detector to comply with GMP, 22th International Symposium on Radiopharmaceutical Sciences, International Symposium Radiopharmaceutical Sciences, 2017-05-15.
- (49) Kazunori Kawamura, Masayuki Fujinaga, Yoko Shimoda, Tomoteru Yamasaki, Yiding Zhang, Akiko

Hatori, Lin Xie, Hidekatsu Wakizaka, Yusuke Kurihara, Takayuki Ohkubo, Masanao Ogawa, Nobuki Nengaki, Ming-Rong Zhang: Synthesis and evaluation of a new  $^{11}\text{C}$ -labeled growth hormone secretagogue receptor 1a probe, 22nd International symposium on radiopharmaceutical science (ISRS), International symposium radiopharmaceutical science, 2017-05-15.

- (50) Masayuki Fujinaga, Takayuki Ohkubo, Tomoteru Yamasaki, Yiding Zhang, Akiko Hatori, Katsushi Kumata, Nobuki Nengaki, Ming-Rong Zhang: Simple method for introduction of 3-[ $^{18}\text{F}$ ]fluoro-2-hydroxypropyl group and application for synthesis of  $^{18}\text{F}$ -labeled ligand, 22nd International symposium on radiopharmaceutical science (ISRS), International Symposium Radiopharmaceutical Sciences, 2017-05-15.

[ その他 (特許, 解説, 単行本等) ]

- (1) 山崎 友照: 代謝型グルタミン酸受容体 PET イメージングの新展開, パーキンソン病診断バイオマーカーとしての可能性, ISOTOPE NEWS, (4), 2 - 5, 2017-04.
- (2) 河嶋 秀和, 木村 寛之, 戸崎 充男, 永津 弘太郎, 有光 健治: 臨床放射薬学 薬学領域における 放射化学の理論と実践, 第 8 章 原子核反応と放射性核種の製造 (p. 211-236), 2017-09

## 2.2. 脳機能イメージング研究

[ 原著論文 ]

- (1) Naruhiko Sahara, Masafumi Shimojo, Maiko Ono, Hiroyuki Takuwa, Febo Marcelo, Makoto Higuchi, Tetsuya Suhara, In vivo tau imaging for a diagnostic platform of tauopathy using the rTg4510 mouse line Frontiers in Neurology, 8(663), 2017-12.
- (2) Keisuke Takahata, Yasuyuki Kimura, Chie Seki, Masaki Tokunaga, Masanori Ichise, Kazunori Kawamura, Maiko Ono, Soichiro Kitamura, Manabu Kubota, Sho Moriguchi, Tatsuya Ishii, Yuhei Takado, Fumitoshi Niwa, Hironobu Endo, Tomohisa Nagashima, Yoko Ikoma, Ming-Rong Zhang, Tetsuya Suhara, Makoto Higuchi, A human PET study of [ $^{11}\text{C}$ ]HMS011, a potential radioligand for AMPA receptors EJNMMI Research, 7(63), 2017-08.
- (3) Manabu Kubota, Tomohisa Nagashima, Harumasa Takano, Fumitoshi Kodaka, Hironobu Fujiwara, Keisuke Takahata, Sho Moriguchi, Yasuyuki Kimura, Makoto Higuchi, Yoshiro Okubo, Hidehiko Takahashi, Hiroshi Ito, Tetsuya Suhara, Affinity states of striatal dopamine D2 receptors in antipsychotic-free patients with schizophrenia The International Journal of Neuropsychopharmacology, 20(11), 928 - 935, 2017-11.

[ プロシーディングス ]

- (1) 島田 斉, 診療のスキルアップを考える-この症例をどうみるか 2017-, 老年精神医学雑誌, 29, 2018-02.
- (2) 島田 斉, 宅和 政子, 横銭 詩織, 鈴木 斌, 北村 聡一郎, 認知症における行動心理症状の病態基盤ならびに至適対応戦略に関する研究, 柏戸医学研究奨励金による 研究業績集, 平成 27 年度, 9 - 13, 2017-05.

[ 学会・研究会での口頭発表及びポスター発表 ]

- (1) 島田 斉, Neuroepigenetic imaging, 量子イメージング創薬アライアンス・脳とこころ 第 2 回全体会議,

- 量子イメージング創薬アライアンス・脳とこころ, 2018-03-07,
- (2) 南本 敬史, 化学遺伝学とイメージングの融合による霊長類脳回路操作と創薬への応用の可能性, 量子イメージング創薬アライアンス・脳とこころ, 量子イメージング創薬アライアンス, 2018-03-07.
  - (3) 南本 敬史, 南本敬史, 本田学, 鯉田孝和, 質感認知に伴う情動惹起の神経機構, 第5回多元質感知班会議, 多元質感知, 2018-03-05.
  - (4) 南本 敬史, 新規 DREADD アゴニストによるサル脳回路操作とイメージング, 平成 29 年度京都大学霊長類研究所共同利用研究会「先端技術の導入による霊長類脳科学の進展と新たな概念の創出」, 京都大学霊長類研究所, 2018-02-24.
  - (5) Yuhei Takado, Hiroyuki Takuwa, Takuya Urushihata, Takahashi Manami, Maiko Ono, Jun Maeda, Masafumi Shimojo, Nobuhiro Nitta, Sayaka Shibata, Ichio Aoki, Naruhiko Sahara, Tetsuya Suhara, Makoto Higuchi, Correlations between brain metabolites and tau protein accumulation in tauopathy model mice, ISMRM JPC 2018 The 2nd Annual Scientific Meeting, R. Allen Waggoner, 2018-02-22.
  - (6) 佐原 成彦, マウスモデルを用いたタウオパチー治療評価系の確立, 第7回班員会議, 新学術領域研究脳タンパク質老化と認知症制御, 2018-02-17.
  - (7) 下條 雅文, 小野 麻衣子, 田桑 弘之, 樋口 真人, 記憶光プローブを用いた非侵襲画像法の開発, CREST「オプトバイオ」領域 第2回領域会議, JST, 2018-01-31.
  - (8) 南本 敬史, 三村 喬生, 永井 裕司, 井上謙一, 須原 哲也, 高田 昌彦, 化学遺伝学と PET イメージングの融合による黒質線条体ドーパミン神経活動制御, 第7回マーモセット研究会大会, 日本マーモセット研究会, 2018-01-17.
  - (9) 久保田 学, 島田 斉, 互 健二, 北村 聡一郎, 小野 麻衣子, 木村 泰之, 市瀬 正則, 篠遠 仁, 高畑 圭輔, 山本 保天, 佐野 康徳, 関 千江, Paul Tempest, Ming-Kuei Jang, John Seibyl, Olivier Barret, David Alagille, Kenneth Marek, 張 明栄, 須原 哲也, 樋口 真人, A head-to-head comparison between [11C]PBB3 and [18F]PM-PBB3 in patients with AD and non-AD tauopathy, 12th Human Amyloid Imaging, World Events Forum, Inc., 2018-01-17.
  - (10) 南本 敬史, 第7回マーモセット研究会にて口頭発表, 第7回マーモセット研究会, 2018-01-16.
  - (11) 島田 斉, 紀伊 ALS/PDC 患者の臨床診断におけるタウ PET の有用性に関する検討, 平成 29 年度紀伊 ALS/PDC 診療ガイドラインの作製と臨床研究の推進班班会議, 紀伊 ALS/PDC 診療ガイドラインの作製と臨床研究の推進班, 2018-01-06.
  - (12) 季 斌, TSPO イメージングの現状と展望, 神経変性疾患の PET イメージングプロジェクトミーティング, 国立長寿医療研究センター, 2017-12-26.
  - (13) 永井 裕司, 季 斌, Yan Xiong, Jing Liu, 堀 由紀子, Kenichi Inoue, 平林 敏行, 藤本 淳, 関 千江, 熊田 勝志, 張 明栄, 須原 哲也, Masahiko Takada, 樋口 真人, Bryan L. Roth, Jian Jin, 南本 敬史, A novel PET ligand for visualising cellular and axonal DREADD expression in monkeys, 47th Annual Meeting of Society for Neuroscience, Society for Neuroscience, 2017-11-13.
  - (14) 佐原 成彦, In vivo visualization of tau pathology, neurodegeneration and neuroinflammation for developing a diagnostic platform of tauopathy, 脳タンパク質老化と認知症制御第2回国際シンポジウム, 新学術領域研究脳タンパク質老化と認知症制御, 2017-11-03.
  - (15) 久保田 学, 統合失調症の脳構造および分子神経基盤に関する統合的画像研究, 第39回日本生物学的精神医学会・第47回日本神経精神薬理学会 合同年会, 北海道大学, 2017-09-29.
  - (16) 下條 雅文, 理研 BSI 研究室ミーティング, 宮脇敦史, 2017-09-22.
  - (17) 南本 敬史, PET imaging-guided chemogenetics in monkeys, NIMH Neural Circuits Workshop, NIMH/NIH, 2017-09-11.

- (18) 佐原 成彦, Comparative study of tau PET ligands for detecting distinct tau pathologies, 脳タンパク質老化と認知症制御国際多雨シンポジウム, 新学術領域研究脳タンパク質老化と認知症制御, 2017-07-27.
- (19) 須原 哲也, Link between molecule and circuit from translational neuroimaging in neuropsychiatric disorders, 第 40 回神経科学大会, 日本神経科学学会, 2017-07-21.
- (20) 南本 敬史, 化学遺伝学イメージング: 神経路の可視化と操作, 第二回脳情報の解読と制御研究会, 脳情報の解読と制御研究会 事務局, 2017-07-15.
- (21) 南本 敬史, 平林 敏行, 永井 裕司, 堀 由紀子, 質感認知に伴う情動惹起の神経機構, 多元質感知第 4 回班会議, 新学術領域多元質感知, 2017-06-30.
- (22) 北村 聡一郎, 島田 斉, 篠遠 仁, 丹羽文俊, 遠藤浩信, 高畑 圭輔, 久保田 学, 高堂 裕平, 平野 成樹, 木村 泰之, 張 明栄, 桑原聡, 須原 哲也, 樋口 真人, Alzheimer 病における アパシー症状とタウ病変の関係性, 第 56 回千葉核医学研究会, 千葉核医学研究会, 2017-06-24.
- (23) 佐原 成彦, 毒性タウを標的とした創薬プラットフォームの構築, 第 6 回班員会議・第 3 回リトリート, 新学術領域研究脳タンパク質老化と認知症制御, 2017-06-02.
- (24) 高畑 圭輔, 木村 泰之, 島田 斉, 市瀬 正則, 北村 聡一郎, 久保田 学, 森口 翔, 石井 辰弥, 佐原 成彦, 三村 将, 樋口 真人, 須原 哲也, Delayed-Onset Psychosis following TBI is Associated with Tau Depositions in the Neocortex but Not with  $\beta$ -Amyloid Depositions: A Pet Study with [11C] PBB3 and [11C]PiB, Society of Biological Psychiatry 2017 Annual Meeting, Society of Biological Psychiatry, 2017-05-20.
- (25) 須原 哲也, 創薬におけるイメージングバイオマーカーの活用と産学連携, 日本薬物動態学会 第 31 回ワークショップ, 一般社団法人日本薬物動態学会, 2017-05-18.
- (26) 小野 麻衣子, 島田 斉, 北村 聡一郎, 互 健二, 久保田 学, 田桑 弘之, Paul Tempest, Ming-Kuei Jang, John Seibyl, Olivier Barret, David Alagille, Kenneth Marek, 佐原 成彦, 須原 哲也, 張 明栄, 樋口 真人, Development of a tau PET ligand, [18F]PM-PBB3 AAT-AD/PD Focus Meeting 2018, AAT 2018 Conference Secretariat, 2018-03-17.
- (27) 小野 麻衣子, AAT-AD/PD 2018, 2018-03-16.
- (28) 島田 斉, 小野 麻衣子, 互 健二, 北村 聡一郎, 久保田 学, 田桑 弘之, 関 千江, 木村 泰之, 市瀬 正則, 篠遠 仁, 高畑 圭輔, 山本 保天, 佐野 康徳, 高堂 裕平, 佐原 成彦, 須原 哲也, 樋口 真人, Potential utility of novel tau PET ligand, 18F-PM-PBB3, 13th Annual Biomarkers Congress, Oxford Global Marketing Ltd., 2018-03-16.
- (29) 下條 雅文, 小野 麻衣子, 田桑 弘之, 樋口 真人, 記憶光プローブを用いた非侵襲画像法の開発, CREST「オプトバイオ」領域 第 2 回領域会議, JST, 2018-01-31.
- (30) 季 斌, 小野 麻衣子, 山崎 友照, 藤永 雅之, 張 明栄, 青木 伊知男, 須原 哲也, 佐原 成彦, 樋口 真人, グリア TSPO に選択的結合する PET リガンドを用いるアルツハイマー病関連神経炎症の検出, 第 36 回日本認知症学会学術集会, 日本認知症学会, 2017-11-25.
- (31) 小野 麻衣子, 北村 聡一郎, 島田 斉, 佐原 成彦, 田桑 弘之, 吉山 容正, John Q Trojanowski, Virginia M-Y Lee, 須原 哲也, 張 明栄, Ming-Kuei Jang, 樋口 真人, 新規タウ PET トレーサー [18F]AM-PBB3 と [18F]PM-PBB3 の開発, 日本認知症学会学術集会, 日本認知症学会学術集会事務局, 2017-11-24.
- (32) Yukiko Hori, Yuji Nagai, Arata Onishi, 菊池瑛里佳, Tetsuya Suhara, Takafumi Minamimoto, Distinct roles of serotonergic receptor subtypes in value-based decision processes in monkeys: A behavioral pharmacological study with PET imaging, NEUROSCIENCE 2017, Society for Neuroscience, 2017-11-14.

- (33) 永井 裕司, 季 斌, Xiong Yan, English Justin, Liu Jing, 堀 由紀子, 井上 謙一, 関 千江, 熊田 勝志, 張 明榮, 須原 哲也, 高田 昌彦, 樋口 真人, Roth Bryan, Jin Jian, 南本 敬史, サル脳内に発現させた人工受容体 DREADD 評価用の新規 PET リガンド開発, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-06.
- (34) 伊藤 岳人, 須原 哲也, 山田 真希子, Neural basis of the trust formation and the contribution of dopamine D2 receptor, 第 44 回内藤カンファレンス, 内藤記念科学振興財団, 2017-10-04.
- (35) 久保田 学, 永嶋 朋久, 高野 晴成, 小高 文聰, 藤原 広臨, 高畑 圭輔, 森口 翔, 木村 泰之, 樋口 真人, 大久保 善朗, 高橋 英彦, 伊藤 浩, 須原 哲也, Affinity-states of striatal dopamine D2 receptors in antipsychotic-free patients with schizophrenia, 第 39 回 日本生物学的精神医学会・第 47 回 日本神経精神薬理学会 合同年会, 北海道大学, 2017-09-29.
- (36) 島田 斉, Cortical tau deposition is associated with behavioral and psychological symptoms of dementia causing caregiver burden: Path analysis and PET study, XXIII World Congress of Neurology, World Federation of Neurology, 2017-09-19.
- (37) 伊藤 岳人, 須原 哲也, 山田 真希子, 信頼形成 神経基盤とドーパミン 2 受容体 関連性 解明研究, 第 1 回ヒト脳イメージング研究会, ヒト脳イメージング研究会, 2017-09-01.
- (38) 久保田 学, 木村 泰之, 市瀬 正則, 関 千江, 島田 斉, 篠遠 仁, 高畑 圭輔, 北村 聡一郎, 森口 翔, 石井 辰弥, 互 健二, 高堂 裕平, 佐野 ひろみ, 小畠 隆行, 徳永 正希, 前田 純, 張 明榮, 須原 哲也, 樋口 真人, 脳内代謝型グルタミン酸受容体 5・PET データの動的な変化ー食事との関連性について, 第 40 回日本神経科学大会, 日本神経科学学会, 2017-07-21.
- (39) Naruhiko Sahara, Jun Maeda, Ai Ishikawa, Maiko Ono, Hiroyuki Takuwa, Masafumi Shimojo, Takeharu Minamihisamatsu, Masaki Tokunaga, Shoko Uchida, Izumi Matsumoto, Ming-Rong Zhang, Tetsuya Suhara, Makoto Higuchi, Visualization of microglial response to tau-induced neurodegeneration in a model of tauopathy, Alzheimer's Association International Conference, Alzheimer's Association, 2017-07-19.
- (40) 島田 斉, 北村 聡一郎, 小野 麻衣子, Current situation and potential utility of novel PBB3 derivatives: first-in-human PET study with 18F-AM-PBB3 and 18F-PM-PBB3, Alzheimer's Association International Conference, Alzheimer's Association, 2017-07-18.
- (41) 島田 斉, 北村 聡一郎, 小野 麻衣子, Current situation and potential utility of novel PBB3 derivatives: first-in-human PET study with 18F-AM-PBB3 and 18F-PM-PBB3, Alzheimer's Imaging Consortium, Alzheimer's Association, 2017-07-15.
- (42) 久保田 学, 永嶋 朋久, 高野 晴成, 小高 文聰, 藤原 広臨, 高畑 圭輔, 森口 翔, 木村 泰之, 樋口 真人, 大久保 善朗, 高橋 英彦, 須原 哲也, Total and high-affinity-state dopamine D2 receptors in the striatum of antipsychotic-free patients with schizophrenia: a PET study with [11C]raclopride and [11C]MNPA, 13th World Congress of Biological Psychiatry, The World Federation of the Societies of Biological Societies – WFSBP, 2017-06-22.
- (43) 北村 聡一郎, 島田 斉, 篠遠 仁, 平野 成樹, 丹羽文俊, 遠藤浩信, 久保田 学, 高畑 圭輔, 森口 翔, 高堂 裕平, 木村 泰之, 張 明榮, 桑原聡, 須原 哲也, 樋口 真人, Alzheimer 病のアパシー症状とタウ病変の関連性 11C-PBB3 PET 研究, 第 32 回日本老年精神医学会, 日本老年精神医学会, 2017-06-15.
- (44) 高畑 圭輔, 木村 泰之, 関 千江, 市瀬 正則, 河村 和紀, 北村 聡一郎, 久保田 学, 森口 翔, 高堂 裕平, 張 明榮, 須原 哲也, 樋口 真人, A human PET study of [11C]HMS011, a potential radioligand for AMPA receptors, Annual Meeting of Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, 2017-06-14.

- (45) Chie Seki, Masaki Tokunaga, Fumitoshi Kodaka, Jun Maeda, Yasuyuki Kimura, Hiroyuki Takuwa, Yoko Ikoma, Hiroshi Ito, Tetsuya Suhara, Makoto Higuchi, In vitro and in vivo evaluation of inhibitory effect of dopamine on [18F]FE-PE2I binding to dopamine transporter in rat brains, Berlin BRAIN & BRAIN PET 2017, International Society for Cerebral Blood Flow and Metabolism, 2017-04-03.
- (46) Hiroyuki Takuwa, Takuya Urushihata, Takeharu Minamihisamatsu, Masaki Tokunaga, Masafumi Shimojo, Izumi Matsumoto, Ming-Rong Zhang, Tetsuya Suhara, Makoto Higuchi, Naruhiko Sahara, In vivo brain imaging for studying possible linkage between pathological hallmark of tauopathy and neuronal loss, Berlin BRAIN & BRAIN PET 2017, International society for cerebral blood flow and metabolism, 2017-04-02.
- (47) 北村 聡一郎, 木村 泰之, 市瀬 正則, 関 千江, 島田 斉, 篠遠 仁, 久保田 学, 高畑 圭輔, 高堂 裕平, 森口 翔, 石井 辰弥, 張 明榮, 須原 哲也, 樋口 真人, PET quantification of binding of a novel tau radioligand, 18F-AM-PBB3, in consideration of time-dependent changes in its plasma free fraction, Brain and Brain PET 2017, International Society for Cerebral Blood Flow and Metabolism, 2017-04-02.
- (48) 久保田 学, 木村 泰之, 市瀬 正則, 関 千江, 高畑 圭輔, 北村 聡一郎, 森口 翔, 石井 辰弥, 張 明榮, 樋口 真人, 須原 哲也 Binding of a metabotropic glutamate receptor subtype 5 radioligand, (E)-[11C]ABP688, in human brains assessed by test-retest PET scans, BRAIN & BRAIN PET 2017, International Society for Cerebral Blood Flow & Metabolism, 2017-04-02.
- (49) 島田 斉, 実はあぶないその習慣！ 9つの認知症リスクと3つの対策, 認知症講演会, 浜田市認知症ネットワーク世話人会, 浜田市, 2018-03-24.
- (50) 島田 斉, 明日の認知症診療を変える 5W1H と脳機能イメージング, 認知症の早期診断と治療について考える会, 認知症の早期診断と治療について考える会, 2018-03-22.
- (51) 島田 斉, あの日診た所見の意義を僕達はまだ知らない。-神経機能画像から得た学び-, 第61回福岡 RIカンファレンス, 福岡 RIカンファレンス, 2018-03-10.
- (52) 山田 真希子, ポジティブ錯覚, 世界脳週間イベント, 世界脳週間イベント, 2018-03-10.
- (53) 山田 真希子, 認知バイアスの脳内機構, 京都大学講演会, 京都大学, 2018-03-09.
- (54) 樋口 真人, Imaging of neuropathology and functional disruptions in neurodegenerative dementias, UK-Japan Neuroscience Symposium, 日本医療研究開発機構、Medical Research Council, 2018-03-06.
- (55) 樋口 真人, Functional Neuroimaging in Parkinsonism and Dementia, “Takamatsu” International Symposium for PD & MD in Tokyo, 2018-02-24.
- (56) 島田 斉, Update on Neuroimaging in Neurodegenerative disorders, “Takamatsu” International Symposium for PD & MD in Tokyo, IPDST, 2018-02-24.
- (57) 島田 斉, 「先生！ いつまで海馬を見ているんですか？」-認知症診療に求められるパラダイムシフト-, Memory Dementia Summit in TSUKUBA, Memory Dementia Summit in TSUKUBA, 2018-02-14.
- (58) 南本 敬史, PET imaging-guided chemogenetic manipulation of reward-related circuits in monkeys, Advances in Brain Neuromodulation, Stefano Ferraina, 2018-02-12.
- (59) 島田 斉, あらためて問う、認知症早期診断の意義 Pros の立場から, Novartis Alzheimer’s disease Symposium 関東甲信越 ～10年後の認知症診療を考える～, ノバルティスファーマ株式会社, 2018-02-04.
- (60) 南本 敬史, 分子イメージングで紐解く意欲調節の神経メカニズムとその障害, つくばブレインサイエンスセミナー, 筑波大学, 2018-01-16.

- (61) 高堂 裕平, 脳イメージングを用いたトランスレーショナルリサーチ: マウスからヒトまで, 第 4 回筋ジストロフィーの CNS 障害研究会, 松村 剛 先生, 2018-01-13.
- (62) 島田 斉, PET イメージングがもたらす認知症診療の深化, 第 22 回ニューロイメージングカンファレンス, ニューロイメージングカンファレンス, 2018-01-09.
- (63) 島田 斉, 実地診療医が認知症画像研究に無関係でいられない 3 つの理由, 第 13 回 NP ネットワーク研究会, NP ネットワーク研究会, 2017-12-12.
- (64) 山田 真希子, The emergence of positive illusion: integrating from molecules to neural responses, to the self, MEETING OF THE AUSTRALASIAN NEUROSCIENCE SOCIETY 37TH ANNUAL SCIENTIFIC MEETING, Australasian Neuroscience Society, 2017-12-04.
- (65) 島田 斉, 前回頂いた宿題の答え&症例提示, PD エキスパートミーティング 2nd, PD エキスパートミーティング, 2017-12-02.
- (66) 樋口 真人, タウイメージングからみた孤発性タウオパチーの病態, 第 36 回日本認知症学会学術集会, 日本認知症学会, 2017-11-25.
- (67) 島田 斉, PBB3 タウイメージングの現状と課題, 第 36 回日本認知症学会学術集会, 日本認知症学会, 2017-11-24.
- (68) 島田 斉, アミロイド & タウ PET が拓く次世代認知症画像診断, 第 11 回クリニカルランドマーク茨城, クリニカルランドマーク茨城, 2017-11-11.
- (69) 島田 斉, 分子イメージングで臨む認知症超早期診断・予防の近未来戦略, 第 24 回日本未病システム学会学術総会, 一般社団法人 日本未病システム学会, 2017-11-04.
- (70) 樋口 真人, 季 斌, 南本 敬史, 下條 雅文, 須原 哲也, DREADD と iPS 細胞による脳疾患治療, 第 51 回日本てんかん学会学術集会, 日本てんかん学会, 2017-11-03.
- (71) 島田 斉, Parkinson 病診断における PET 検査の位置づけ, PD エキスパートミーティング, PD エキスパートミーティング, 2017-10-21.
- (72) Makoto Higuchi, Imaging tau with 11C-PBB3 and its 18F derivatives, 30th Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine, European Association of Nuclear Medicine, 2017-10-21.
- (73) 島田 斉, 認知症診療の航海図 Clinical Pearls & Future Prospects, Web セミナー, ヤンセンファーマ株式会社, 2017-10-19.
- (74) 須原 哲也, 精神・神経疾患創薬におけるイメージングバイオマーカーの役割, フォーラム富山「創薬」第 46 回研究会, 富山大学 フォーラム富山「創薬」, 2017-10-19.
- (75) 島田 斉, 明日の日常診療が変わる! -これで分かったアミロイド&タウ PET-, 第 22 回静岡県認知症研究会, 静岡県認知症研究会, 2017-10-14.
- (76) 山田 真希子, ポジティブ思考の脳科学, 第 49 回藤田学園医学会, 藤田保健衛生大学, 2017-10-13.
- (77) 樋口 真人, 認知症病態のミクロとマクロをつなぐ 生体 PET・MRI・蛍光イメージング, 理研 CLST-JEOL 連携センターシンポジウム: 革新的分析・診断機器開発のためのプラットフォームの構築, 日本電子株式会社、株式会社 JEOL RESONANCE、理化学研究所, 2017-10-12.
- (78) 島田 斉, 今さら聞けないアミロイドイメージングの ABC, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-06.
- (79) 島田 斉, Association between A  $\beta$  and tau accumulations and their influence on clinical features in aging and Alzheimer's disease spectrum brains: A [11C]PBB3-PET study タウ蓄積とアミロイド  $\beta$  蓄積の相互関連ならびに加齢とアルツハイマー病スペクトラム患者における臨床的意義に関する検討: [11C]PBB3 を用いたタウ PET 研究, The 57th JSNM / The 12 th AOCNMB, 日本核医学会 / The Asia and Oceania Federation of Nuclear Medicine and Biology, 2017-10-05.

- (80) 山田 真希子, The dopamine system in subjective reality of the self and the environment, The 44th Naito Conference, The Naito Foundation, 2017-10-03.
- (81) 佐原 成彦, タウを標的とした診断・治療薬開発の現状, 第39回日本生物学的精神医学会・第47回日本神経精神薬理学会合同年会, 日本生物学的精神医学会・日本神経精神薬理学会, 2017-09-30.
- (82) 樋口 真人, タウイメージングの最新知見, 第39回日本生物学的精神医学会・第47回日本神経精神薬理学会合同年会, 日本生物学的精神医学会・日本神経精神薬理学会, 2017-09-28.
- (83) 島田 斉, PET/SPECT は我々に何を“診せる”のか?, Brain Function Imaging Conference, 脳機能画像研究会, 2017-09-23.
- (84) 島田 斉, Tau PET は日常診療をどう変え得るか?, 第13回東部神経フォーラム, 東部神経フォーラム, 2017-09-08.
- (85) 南本 敬史, サルに学ぶモチベーション制御の分子・神経機構, 計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門生体生理工学シンポジウム 2017, 計測自動制御学会, 2017-09-06.
- (86) 樋口 真人, モデル動物と人をつなぐ精神神経疾患イメージング研究, 平成29年度生理研研究会 第1回脳イメージング研究会, 自然科学研究機構生理学研究所, 玉川大学脳科学研究所, 2017-09-01.
- (87) 樋口 真人, 神経変性疾患の病態イメージング, 第9回お茶の水 Neuroimaging Conference, お茶の水 Neuroimaging Conference, 2017-08-26.
- (88) 島田 斉, Do neurologists dream of mental disorders? -精神神経疾患にもたらされたパラダイムシフト-, Neurology Ground Round at Tokushima University, 徳島大学神経内科, 2017-08-10.
- (89) 山田 真希子, 認知バイアスとその神経基盤, Lilly Academic Depression Seminar 2, Lilly, 2017-07-28.
- (90) 島田 斉, 樋口 真人, Current status in development of next generation tau ligands, International Tau Symposium 2017, 文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究 脳タンパク質老化と認知症制御, 2017-07-27.
- (91) 島田 斉, What PBB3 PET can tell us about the AD and aging, International Tau Symposium 2017, 文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究 脳タンパク質老化と認知症制御, 2017-07-27.
- (92) 島田 斉, 画像は認知症の何を語るのか? -形態画像からタウ PET まで-, 11th Sendagi Dementia Conference in Ueno, Sendagi Dementia Conference, 2017-07-26.
- (93) 山田 真希子, ポジティブ思考の脳科学, 市民公開講座「脳科学の達人 2017」, 日本神経科学学会, 2017-07-23.
- (94) 南本 敬史, Neural and molecular mechanisms underlying loss of motivation in monkeys, Neuro2017, 日本神経科学学会, 2017-07-22.
- (95) 樋口 真人, 認知症の脳病態・脳機能イメージング, 新学術領域「適応回路シフト」第4回研究戦略ワークショップ, 新学術領域研究「行動適応を担う脳神経回路の機能シフト機構」, 2017-06-16.
- (96) 島田 斉, 包括的理解に基づく認知症治療戦略の構築を目指して, 第四回これからの認知症診療を考える会, 君津木更津医師会, 2017-06-12.
- (97) Makoto Higuchi, Imaging-Pathological Correlations of Parkinson's Disease. 21th International Congress of Parkinson's Disease and Movement Disorders, International Parkinson and Movement Disorder Society, 2017-06-08.
- (98) 島田 斉, Detecting Changes Inside the Body: Brain Scans and Biomarkers, ADI Satellite Symposium 2017, ALZHEIMER'S DISEASE INTERNATIONAL, 2017-04-28.
- (99) 島田 斉, 診療のスキルアップを考える-この症例をどう診るか- 症例提示①, アルツハイマー病研究会第18回学術シンポジウム, アルツハイマー病研究会, 2017-04-22.

- (100) 南本 敬史, PET imaging-guided chemogenetic modification of reward-related circuits in monkeys, BRAIN2017, “Neuronal Modulation and In Vivo Imaging - Tools to Dissect the Living Brain, 2017-04-02.
- (101) 南本 敬史, 非ヒト霊長類疾患モデル動物の現状と展望, 非ヒト霊長類疾患モデル動物の研究基盤整備に関する専門家会, 科学技術・学術政策研究所, 2018-03-23.
- (102) 南本 敬史, 分子イメージングで紐解く意欲調節の神経メカニズムとその障害, つくばブレインサイエンスセミナー, 筑波大学, 2018-01-16.
- (103) 山田 真希子, Positive self-awareness and its possible impacts on visual perception, Seminar at Monash University, Naotsugu Tsuchiya, 2017-12-08.
- (104) 須原 哲也, トランスレーショナルイメージングから見た精神・神経疾患の病態と創薬, TOKYO ニューロサイエンス研究会 ～睡眠研究と脳イメージング技術の最先端～, 慶應ニューロサイエンス研究会、武田薬品工業, 2017-10-28.
- (105) 樋口 真人, そのもの忘れ、大丈夫？ – PET で見えた！ 認知症の原因と近未来治療 –, 千葉市科学フェスタ 2017, 千葉市科学館, 2017-10-07.
- (106) 樋口 真人, タンパク質の構造と機能 ～認知症の原因タンパクを例に～, 福島県立医科大学大学院「代謝栄養学」修士課程講義, 福島県立医科大学, 2017-09-19.
- (107) 樋口 真人, アルツハイマー病の診断におけるタウ PET の重要性, 福島県立医科大学大学院 博士課程講義, 福島県立医科大学, 2017-09-19.
- (108) 島田 斉, 核医学検査は難しい, と思いませんか？, 千葉大学神経内科講義, 千葉大学神経内科, 2017-07-10.
- (109) 島田 斉, パーキンソン病の症状経過と薬剤特性から見た治療戦略, 社内講演会, 株式会社エフピー, 2017-05-15.

[ その他 (特許, 解説, 単行本等) ]

- (1) 山田 真希子, 須原 哲也, うつ病症候に関わる認知バイアスの脳機能ネットワークと神経伝達, 日本生物学的精神医学会誌, 28(4), 191 - 195, 2017-12.
- (2) 島田 斉, 神経内科 Clinical Questions & Pearls, 2018-03.
- (3) 島田 斉, 新しい診断法：tau PET, 内科 120 巻 2 号 (2017 年 8 月号), 120(2), 2017-08.
- (4) 堀口 隆司, 樋口 真人, 須原 哲也, 精神・神経疾患の創薬に必要なニューロイメージングバイオマーカー, 臨床精神薬理, 21(2), 169 - 181, 2018-02.
- (5) 前田 純, 樋口 真人, 須原 哲也, 抗うつ薬慢性投与による神経伝達機能の変化とその臨床的意義, 臨床精神薬理, 20(9), 1003 - 1010, 2017-09.
- (6) 樋口 真人, PET イメージング – A  $\beta$  /タウ病変・ミクログリアの可視化による認知症病態の理解, 実験医学 増刊 認知症 発症前治療のために解明すべき分子病態は何か？, 35(12), 41 - 45, 2017-08.
- (7) 樋口 真人, タウ PET, BRAIN and NERVE, 69(7), 819 - 823, 2017-07.
- (8) 樋口 真人, 島田 斉, 前頭側頭葉変性症の画像診断, 前頭側頭葉変性症の療養の手引き, , 36 - 38, 2017-03.

### 2.3. イメージング物理研究

[ 原著論文 ]

- (1) Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Tetsuya Shinaji, Keiji Shimizu, Hidekatsu Wakizaka, Akram Mohammadi, Fumihiko Nishikido, Taiga Yamaya, “Development of a whole-body dual ring OpenPET for in-beam PET,” IEEE Transactions on Radiation and Plasma Medical Sciences, Vol. 1, No. 4, pp. 293-300, July 2017.

[ プロシーディングス ]

- (1) F. Nishikido, M. Suga, K. Shimizu, M. Fujiwara, H. Tashima, T. Obata, E. Yoshida, M. S. H. Akram, T. Yamaya, “Development of the second “add-on PET” prototype: A head coil with DOI-PET detectors for MRI,” Conf. Rec. 2016 IEEE Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference and Room-Temperature Semiconductor Detector Workshop (NSS/MIC/RTSD), Date Added to IEEE Xplore: 19 October 2017. (Date of Conference: 29 Oct.-6 Nov. 2016, Strasbourg, France)

[ 学会・研究会での口頭発表及びポスター発表 ]

- (1) H. Tashima, E. Yoshida, Y. Iwao, H. Wakizaka, Y. Takado, C. Seki, T. Suhara, T. Yamashita, T. Yamaya, “Development of the helmet-neck PET prototype for high sensitivity brain imaging,” ECR2016 Book of abstracts, B-0798, S355, 2017. (2017/3/3, oral, Vienna)
- (2) Md Shahadat Hossain Akram, Fumihiko Nishikido, Takayuki Obata, Mikio Suga, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Keiji Shimizu, Masanori Fujiwara, Akram Mohammadi, Taiga Yamaya, “Development and performance evaluation of the second prototype of a RF-coil integrated PET insert for existing 3T MRI systems,” ISMRM 25th Annual Meeting & Exhibition, No.0762, 2017. (oral and poster, selected for Electronic Power Pitch Poster, 2017/4/26, Honolulu, Awarded for ISMRM Summa Cum Laude Merit Award)
- (3) Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Yuma Iwao, Hidekatsu Wakizaka, Takamasa Maeda, Yuhei Takado, Chie Seki, Tetsuya Suhara, Taichi Yamashita, Shusaku Tazawa, Taiga Yamaya, “Add-on detector position for the second helmet PET prototype: chin vs. neck,” J. Nucl. Med., vol. 58, no. supplement 1, 431, 2017 (SNMMI 2017 Annual Meeting, oral, No. 431, 2017/6/13, Denver, Highlighted)
- (4) Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Kotaro Nagatsu, Hideaki Tashima, Yusuke Okumura, Mikio Suga, Naoki Kawachi, Kei Kamada, Peter G. Thirolf, Katia Parodi, “Whole gamma imaging (WGI) concept: demonstration of <sup>44</sup>Sc triple gamma imaging,” 2017 World Molecular Imaging Congress Program Schedule and Abstract Book, LBA 24, 2017. (oral, 2017/9/14, Pennsylvania Convention Center, Philadelphia)
- (5) Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Yusuke Okumura, Mikio Suga, Naoki Kawachi, Kei Kamada, Katia Parodi, Taiga Yamaya, “Concrete realization of the whole gamma imaging concept,” 2017 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M-21-2, 2017. (2017/10/28, oral, Atlanta)
- (6) Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Hideaki Tashima, Akram Mohammadi, Yuma Iwao, Md Shahadat Hossain Akram, Munetaka Nitta, Takayuki Obata, “NIRS brain PET prototypes with the 4-layer DOI detector technology,” 2017 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, DBIS-01-2, 2017. (2017/10/28, oral, Atlanta)
- (7) H. Tashima, E. Yoshida, Y. Iwao, H. Wakizaka, T. Maeda, Y. Takado, C. Seki, M. Higuchi, T. Suhara, T. Yamashita, T. Yamaya, “Development of the helmet-neck PET prototype: comparison with the

- helmet-chin PET,” 2017 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M-09-6, 2017 (2017/10/26, oral, Atlanta)
- (8) G. Akamatsu, Y. Ikari, H. Wakizaka, T. Yamaya, Y. Kimura, K. Oda, M. Senda, “Phantom test procedures and criteria for standardization of brain PET imaging across different cameras,” 2017 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, DBIS-01-6, 2017. (2017/10/28, oral, Atlanta)
  - (9) G. Hirumi, F. Nishikido, H. Tashima, H. Wakizaka, T. Higuchi, H. Haneishi, T. Yamaya, “Development of a dynamic micro RI imaging system for single cells,” 2017 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M-03-005. (2017/10/25, poster, Atlanta)
  - (10) G. Akamatsu, H. Tashima, H. Wakizaka, T. Maeda, Y. Iwao, E. Yoshida, T. Yamashita, T. Yamaya, “New brain phantoms suitable for brain scanners with hemisphere detector arrangement,” 2017 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M-03-065. (2017/10/25, poster, Atlanta)
  - (11) 蛭海元貴, 錦戸文彦, 脇坂秀克, 樋口隆弘, 羽石秀昭, 山谷泰賀, “シンチレータと CMOS カメラを用いた  $\beta$  線細胞イメージングシステムの開発,” 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 2017 (16a-E204-7, 2017/3/16, パシフィコ横浜)
  - (12) 田島英朗, 吉田英治, 岩男悠真, 脇坂秀克, 山下大地, 田沢周作, 山谷泰賀, “ヘルメット PET 装置の開発: 追加検出器位置の最適化,” 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 2017 (17a-E204-13, 2017/3/17, パシフィコ横浜)
  - (13) Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Yuto Nagao, Mitsutaka Yamaguchi, Naoki Kawachi, Makoto Sakai, Yusuke Okumura<sup>4</sup>), Mikio Suga, Katia Parodi, “Whole gamma imaging concept: feasibility study of triple-gamma imaging,” 医学物理, Vol. 37, Sup. 1, p. 55, 2017. (第 113 回日本医学物理学会学術大会, O-038, 2017/4/13, English oral, パシフィコ横浜, Awarded for English Presentation Prize)
  - (14) Fumihiko Nishikido, Masanori Fujiwara, Yuma Iwao, Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Mikio Suga, Keiji Shimizu, Takayuki Obata, Taiga Yamaya, “Development of second add-on PET/MRI prototype: Evaluation of PET imaging performance,” 医学物理, Vol. 37, Sup. 1, p. 60, 2017. (第 113 回日本医学物理学会学術大会, O-043, 2017/4/13, oral, パシフィコ横浜, Awarded for CyPos Prize)
  - (15) Hideaki Tashima, Yukie Yoshie, Yuma Iwao, Eiji Yoshida, Hidekatsu Wakizaka, Hiroyuki Takuwa, Aya Sugyo, Min-Rong Zhang, Taiga Yamaya, “Development of a small prototype system toward real-time OpenPET image-guided surgery,” 医学物理, Vol. 37, Sup. 1, p. 71, 2017. (第 113 回日本医学物理学会学術大会, O-054, 2017/4/13, English oral, パシフィコ横浜, Awarded for English Presentation Prize)
  - (16) 田島英朗, 吉田英治, 岩男悠真, 脇坂秀克, 前田貴雅, 高堂裕平, 関千江, 樋口真人, 山下大地, 山谷泰賀, “改良型ヘルメット PET 装置の試作と健常者ボランティア試験,” 第 36 回日本医用画像工学会予稿集, pp. 225-228, 2017. (oral, OP5-4, 2017/7/28, じゅうろくプラザ)
  - (17) 蛭海元貴, 錦戸文彦, 樋口隆弘, 羽石秀昭, 山谷泰賀, “ $\beta$  線による細胞機能イメージングに向けたシンチレータ評価,” 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会, 5p-S43-1, 2017. (2017/9/5, 福岡国際会議場)

[ 学位論文 ]

- (1) 蛭海元貴, 細胞の動態観察に向けた高解像な核医学イメージング装置の開発, 修士論文, 千葉大学, 2018 年 3 月修了

## 2.4. 核医学基礎・臨床研究

[ 原著論文 ]

- (1) 18F-FPYBF-2, a new F-18 labelled amyloid imaging PET tracer: biodistribution and radiation dosimetry assessment of first-in-man 18F-FPYBF-2 PET imaging, Ryuichi Nishii, Tatsuya Higashi, Shinya Kagawa, Chio Okuyama, Yoshihiko Kishibe, Masaaki Takahashi, Tomoko Okina, Norio Suzuki, Hiroshi Hasegawa, Yasuhiro Nagahama, Koichi Ishizu, Naoya Oishi, Hiroyuki Kimura, Hiroyuki Watanabe, Masahiro Ono, Hideo Saji *Annals of Nuclear Medicine*, 32(4), 256 - 263, 2018-02.
- (2) Do TSH, FT3 and FT4 impact BAT visualization of clinical FDG-PET/CT images?, Ryuichi Nishii, Shigeki Nagamachi, Yuichi Mizutani, Tamasa Terada, Syogo Kiyohara, Hideyuki Wakamatsu, Seigo Fujita, Tatsuya Higashi, Keiichiro Yoshinaga, Tsuneo Saga, *Contrast Media & Molecular Imaging*, 2018(8), 1 - 9, 2018-02.
- (3) FMZ-PET to assess the efficacy and the mechanism of ketogenic diet in patients with intractable epilepsy, Ryuichi Nishii, Toshinori Hirai, Tatsuya Fujii, Tomohiro Kumada, Tatsuya Higashi, Shinya Kagawa, Yoshihiro Kishibe, Masaaki Takahashi, Hiroshi Yamauchi, Chio Okuyama, Shigeki Nagamachi, *Imaging in Medicine*, 10(1), 9 - 16, 2018-02.
- (4) 18F-FPYBF-2, a new F-18-labelled amyloid imaging PET tracer: first experience in 61 volunteers and 55 patients with dementia Tatsuya Higashi, Ryuichi Nishii, Shinya Kagawa, Yoshihiko Kishibe, Masaaki Takahashi, Tomoko Okina, Norio Suzuki, Hiroshi Hasegawa, Yasuhiro Nagahama, Koichi Ishizu, Naoya Oishi, Hiroyuki Kimura, Hiroyuki Watanabe, Masahiro Ono, Hideo Saji, Hiroshi Yamauchi, *Annals of Nuclear Medicine*, 32, 2018-01.
- (5) 64Cu-ATSM internal radiotherapy to treat tumors with bevacizumab-induced vascular decrease and hypoxia in human colon carcinoma xenografts, Yukie Yoshii, Mitsuyoshi Yoshimoto, Hiroki Matsumoto, Takako Furukawa, Ming-Rong Zhang, Masayuki Inubushi, Atsushi Tsuji, Yasuhisa Fujibayashi, Tatsuya Higashi, Tsuneo Saga, *Oncotarget*, 8(54), 88815 - 88826, 2017-10.
- (6) Multiple Administrations of 64Cu-ATSM as a Novel Therapeutic Option for Glioblastoma: a Translational Study Using Mice with Xenografts, Yukie Yoshii, Hiroki Matsumoto, Mitsuyoshi Yoshimoto, Ming-Rong Zhang, Yoko Ooe, Hiroaki Kurihara, Yoshitaka Narita, Zhao-Hui Jin, Atsushi Tsuji, Keiichiro Yoshinaga, Yasuhisa Fujibayashi, Tatsuya Higashi, *Translational Oncology*, 11(1), 24 - 30, 2017-11.
- (7) Combined treatment of pancreatic cancer xenograft with 90Y-ITGA6B4-mediated radioimmunotherapy and PI3K/ mTOR inhibitor Aung Winn, Atsushi Tsuji, Hitomi Sudo, Aya Sugyo, Yoshinori Ukai, Katsushi Kouda, Yoshikazu Kurosawa, Takako Furukawa, Tsuneo Saga, Tatsuya Higashi, *World Journal of Gastroenterology*, 23(42), 7551 - 7562, 2017-11.
- (8) Synthesis and evaluation of 11C-labeled coumarin analog as an imaging probe for detecting monocarboxylate transporters expression Hiroyuki Tateishi, Atsushi Tsuji, Koichi Kato, Hitomi Sudo, Aya Sugyo, Takashi Hanakawa, Ming-Rong Zhang, Tsuneo Saga, Arano Yasushi, Tatsuya Higashi, *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 27(21), 4893 - 4897, 2017-10.
- (9) Improving the worldwide quality of nuclear cardiology practice and research: The role of the official journal Keiichiro Yoshinaga, Nagara Tamaki, *Journal of nuclear cardiology*, 24(2), 335 - 337, 2017-04.

- (10) Japanese Guidelines for Cardiac Sarcoidosis, Keiichiro Yoshinaga, Masao Miyagawa, Keisuke Kiso, Yoshio Ishida, *Annals of Nuclear Cardiology*, 3(1), 121 - 124, 2017-08.
- (11) Antitumor effects of radionuclide treatment using  $\alpha$ -emitting meta-<sup>211</sup>At-astato-benzylguanidine in a PC12 pheochromocytoma model, 大島 康宏, 須藤 仁美, 渡辺 茂樹, 永津 弘太郎, 辻 厚至, 坂下 哲哉, 伊藤 陽一, 吉永 恵一郎, 東 達也, 石岡 典子, *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 45(6), 999 - 1010, 2018-06.
- (12) <sup>18</sup>F-Labeled Pyrido[3,4-d]pyrimidine as an Effective Probe for Imaging of L858R Mutant Epidermal Growth Factor Receptor. Hiroyuki Kimura, Haruka Okuda, Masumi Ishiguro, Kenji Arimitsu, Akira Makino, Ryuichi Nishii, Anna Miyazaki, Yusuke Yagi, Hiroyuki Watanabe, Ikuo Kawasaki, Masahiro Ono, *ACS Medical Chemistry Letters*, 8(4), 418 - 422, 2018-03.
- (13) Usefulness of <sup>11</sup>C-methionine-PET for predicting the efficacy of carbon ion radiation therapy for head and neck mucosal malignant melanoma, Mitsuhiro Hasebe, Kyosan Yoshikawa, Ryuichi Nishii, Koji Kawaguchi, Tadashi Kamada, Yoshiki Hamada, *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 46(10), 1220 - 1228, 2018-03.
- (14) In vitro uptake and metabolism of [<sup>14</sup>C]acetate in rabbit atherosclerotic arteries: biological basis for atherosclerosis imaging with [<sup>11</sup>C]acetate, Kazuaki Yamasaki, Atsushi Yamashita, Yan Zhao, Yoichi Shimizu, Ryuichi Nishii, Keiichi Kawai, Nagara Tamaki, Songji Zhao, Yujiro Asada, Yuji Kuge, *Nuclear Medicine and Biology*, 56, 21 - 25, 2018-01.
- (15) Development of radioiodine labeled acetaminophen for specific, high-contrast imaging of malignant melanoma, Wen Jing Zhu, Masato Kobayashi, Kohei Yamada, Kodai Nishi, Kotaro Takahashi, Asuka Mizutani, Ryuichi Nishii, Leo G. Flores II, Naoto Shikano, Munetaka Kunishima, Keiichi Kawai, *Nuclear Medicine and Biology*, 59, 16 - 21, 2018-04.
- (16) PET probe detecting non-small cell lung cancer susceptible to epidermal growth factor receptor tyrosine kinase inhibitor therapy, Akira Makino, Anna Miyazaki, Ayaka Tomoike, Hiroyuki Kimura, Kenji Arimitsu, Masahiko Hirata, Yoshiro Ohmomo, Ryuichi Nishii, Hidehiko Okazawa, Yasushi Kiyono, Masahiro Ono, *Hideo Saji, Bioorganic & Medical Chemistry*, 26(8), 1609 - 1613, 2018-02.
- (17) Assessment of Myocardial Blood Flow and Cardiac FDG Uptake using Positron Emission Tomography: The 17th Society Award of Japanese Society of Nuclear Cardiology, Osamu Manabe, Masanao Naya, Keiichiro Yoshinaga, Noriko Oyama-Manabe, Hiroshi Ohira, Tadao Aikawa, Nagara Tamaki, *Annals of Nuclear Cardiology*, 3(1), 205 - 209, 2017-08.
- (18) Clinical Application of <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose PET and LGE CMR in Cardiac Sarcoidosis, Hiroshi Ohira, Keiichiro Yoshinaga, Osamu Manabe, Noriko Oyama-Manabe, Ichizo Tsujino, Masaharu Nishimura, Nagara Tamaki, *Annals of Nuclear Cardiology*, 3(1), 125 - 130, 2017-08.
- (19) Qualitative and Quantitative Assessments of Cardiac Sarcoidosis using <sup>18</sup>F-FDG PET, Osamu Manabe, Hiroshi Ohira, Keiichiro Yoshinaga, Masanao Naya, Noriko Oyama-Manabe, Nagara Tamaki, *Annals of Nuclear Cardiology*, 3(1), 117 - 120, 2017-08.
- (20) New Guidelines for Diagnosis of Cardiac Sarcoidosis in Japan, Fumio Terasak, Keiichiro Yoshinaga, *Annals of Nuclear Cardiology* Volume3 No.1 August2017, 3(1), 42 - 45, 2017-08.
- (21) Cardiac sympathetic nervous system imaging with <sup>123</sup>I-meta-iodobenzylguanidine: Perspectives from Japan and Europe Kenichi Nakajima, Arthur J.H.A.Scholte, Tomoaki Nakata, Aukelien C. Dimitriu-Leen, Taishiro Chikamori, Keiichiro Yoshinaga, Jo ã o V. Vitola, *Jouranl of nuclear cardiology: official publication of the American Society of Nuclear Cardiology*, 24(3), 952 - 960,

2017-06.

- (22) Radiopharmaceutical tracers for cardiac imaging, Osamu Manabe , Tatsuya Kikuchi, Arthur J. H. A. Scholte, Mohammed El Mahdiui, Ryuichi Nishii, Ming-Rong Zhang, Eriko Suzuki , Keiichiro Yoshinaga, Journal of Nuclear Cardiology, 2017-12.
- (23) Early therapeutic effects of adaptive servo-ventilation on cardiac sympathetic nervous function in patients with heart failure evaluated using a combination of <sup>11</sup>C-HED PET and <sup>123</sup>I-MIBG SPECT, Yusuke Tokuda, Mamoru Sakakibara, Keiichiro Yoshinaga, Shiro Yamada, Kiwamu Kamiya, Naoya Asakawa, Takashi Yoshitani, Keiji Noguchi, Osamu Manabe, Nagara Tamaki, Hiroyuki Tsutsui, Journal of Nuclear Cardiology, 2017-11.
- (24) Quantification of myocardial blood flow with <sup>11</sup>C-hydroxyephedrine dynamic PET: comparison with <sup>15</sup>O-H<sub>2</sub>O PET, Yuji Hiroshima, Osamu Manabe, Masanao Naya, Tadao Aikawa, Masahiko Obara, Keiichiro Yoshinaga, Yuuki Tomiyama, Keiichi Magota, Nagara Tamaki, Chietsugu Katoh, Kenji Hirata, Noriko Oyama-Manabe, Markus Kroenke, Journal of Nuclear Cardiology, 2017-11.
- (25) Development of Antibody – Drug Conjugates Using DDS and Molecular Imaging, Masahiro Yasunaga, Shino Manabe, Atsushi Tsuji, Saga Tsuneo, Bioengineering, 4(3), 78-1 - 78-13, 2017-09.
- (26) Molecular imaging using an anti-human tissue factor monoclonal antibody in an orthotopic glioma xenograft model, Hiroki Takashima, Atsushi Tsuji, Tsuneo Saga, Masahiro Yasunaga, Yoshikatsu Koga, Jun-ichiro Kuroda, Shigetoshi Yano, Jun-ichi Kuratsu, Yasuhiro Matsumura, Scientific Reports, 7, 12341-1 - 12341-13, 2017-09.

[ プロシーディングス ]

- (1) 福島県立医科大学における RI 内用療法の実施と新規開発, 織内 昇, 菅原 茂耕, 萱野 大樹, 伊藤 浩, 粟生木美穂, 富永 英之, 趙 松吉, 永津 弘太郎, 張 明栄, 東 達也, 核医学, 54(1), 571 - 571, 2017-05.

[ 学会・研究会での口頭発表及びポスター発表 ]

- (1) 全身性強皮症の PET/CT の一症例, 東 達也, 第 35 回名古屋 PET 症例検討会, 名古屋 PET 症例検討会, 2018-02-03.
- (2) 「アルファ線核医学治療 現状と展望」, 東 達也, OPERA 安全・安心・スマートな長寿社会実現のための高度な量子アプリケーション技術の創出キックオフシンポジウム, 2018-03-18.
- (3) Recent progress in target isotope therapy, 東 達也, RI Science Evolution 2018, 大阪大学, 2018-03-16.
- (4) 褐色細胞腫マウスモデルを用いた <sup>211</sup>At-MABG の抗腫瘍効果の病理解析による検討, 吉永 恵一郎, 須藤 仁美, 須堯 綾, 辻 厚至, 永津 弘太郎, 大島 康宏, 石岡 典子, 東 達也, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-07.
- (5) アルファ線核種を用いた標的アイソトープ治療と将来展望, 東 達也, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-06.
- (6) 放射性標識抗 Tissue factor 抗体を用いた膀胱癌モデルマウスのイメージング, 辻 厚至, 須堯 綾, 須藤 仁美, 佐賀 恒夫, 小泉 満, 安永 正浩, 松村 保広, 東 達也, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-07.
- (7) <sup>90</sup>Y 標識抗ポドプラニン抗体 NZ-12 の中皮腫モデルマウスでの治療効果評価, 辻 厚至, 須藤 仁美, 須堯 綾, 加藤 幸成, 吉永 恵一郎, 小泉 満, 佐賀 恒夫, 東 達也, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-05.

- (8) アルファ線核種を用いた RI 内用療法の可能性について, 東 達也, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-05.
- (9) 腹膜播種に対する  $^{64}\text{Cu}$  標識セツキシマブを用いた腹腔内放射免疫療法の有用性の検討, 吉井 幸恵, 吉本 光喜, 松本 博樹, 張 明栄, 須堯 綾, 辻 厚至, 東 達也, 第 57 回日本核医学会学術総会, 日本核医学会, 2017-10-05.
- (10) Theragnostics: thyroid, 東 達也, 「国際原子力機関/地域協力局 核医学内用療法および認知症診断のトレーニングコース」, 大阪大学大学院医学系研究科, 2017-12-07.
- (11) 放射線被ばく細胞のデュアル蛍光レポーターイメージングシステムの構築 Development of dual fluorescence reporter system for imaging of irradiated cells, 須藤 仁美, 須堯 綾, 相良 雅史, 辻 厚至, 東 達也, 2017 年度生命科学系学会合同年次大会, 分子生物学会, 2017-12-08.
- (12) 肺腫瘍患者における C-11  $^{4}\text{DSTPET}$ , 西井 龍一, 佐賀 恒夫, 須藤 仁美, 戸川 貴史, 須堯 綾, 辻 厚至, 吉永 恵一郎, 東 達也, 大 57 回日本核医学会学術総会, 一般社団法人日本核医学会, 2017-10-06.
- (13) Development of method to reduce radiation exposure to the large intestine during  $^{223}\text{Ra}$  alpha therapy with barium sulfate, Yukie Yoshii, S. Hanadate, K. Washiyama, M. Yoshimoto, H. Matsumoto, T. Yamamura, M. Watanabe, A.B. Tsuji, T. Higashi, Actinides2017, 日本原子力開発機構, 2017-07-11
- (14) Effects of alpha-emitting meta- $^{211}\text{At}$ -astato-benzylguanidine ( $^{211}\text{At}$ -MABG) on tumor growth suppression in a pheochromocytoma mouse model with histological analysis, Hitomi Sudo, Aya Sugyo, Atsushi Tsuji, Kotaro Nagatsu, Yasuhiro Oshima, Noriko Ishioka, Tatsuya Higashi, Keiichiro Yoshinaga, SNMMI2017, SOCIETY OF NUCLEAR MEDICINE AND MOLECULAR IMAGING, 2017-06-12.
- (15) Feasibility of a PET-guided surgery system with  $^{64}\text{Cu}$ -PCTA-cetuximab for accurate resection of intraperitoneal tumors in a mouse model of peritoneal dissemination, Yukie Yoshii, Hideaki Tashima, Yuma Iwao, Hiroyuki Takuwa, Eiji Yoshida, Hidekatsu Wakizaka, Taiga Yamaya, Mitsuyoshi Yoshimoto, Hiroki Matsumoto, Ming-Rong Zhang, Aya Sugyo, Atsushi Tsuji, Tatsuya Higashi, SOCIETY OF NUCLEAR MEDICINE AND MOLECULAR IMAGING, 2017-06-13.
- (16) Intraperitoneal radioimmunotherapy (ipRIT) with  $^{64}\text{Cu}$ -PCTA-cetuximab to treat peritoneal dissemination of colon cancer in a mice model of peritoneal seeding, Yukie Yoshii, Mitsuyoshi Yoshimoto, Hiroki Matsumoto, Ming-Rong Zhang, Aya Sugyo, Atsushi Tsuji, Tatsuya Higashi, SOCIETY OF NUCLEAR MEDICINE AND MOLECULAR IMAGING, 2017-06-13
- (17)  $^{64}\text{Cu}$ -ATSM internal radiotherapy to treat tumors with bevacizumab-induced vascular decrease and hypoxia: Imaging analysis with dual-isotope simultaneous SPECT/PET/CT, Yukie Yoshii, Mitsuyoshi Yoshimoto, Hiroki Matsumoto, Takako Furukawa, Ming-Rong Zhang, Masayuki Inubushi, Atsushi Tsuji, Yasuhisa Fujibayashi, Tatsuya Higashi, Tsuneo Saga, 第 12 回日本分子イメージング学会学術集会, 日本分子イメージング学会, 2017-05-26.
- (18) 第 90 回日本内分泌学会学術総会 FDG-PET/CT 検査で発見される甲状腺偶発腫に関するエビデンス, 東 達也, 第 90 回日本内分泌学会学術総会, 日本内分泌学会, 2017-04-22.
- (19) Reduced Quantitative Pulmonary Blood Flow and its Relationship to Endothelial Dysfunction using O-15-Labeled Water PET in Chronic, Keiichiro Yoshinaga, Kaoruko Shimizu, Chietsugu Katoh, Yuuki Tomiyama, Hiroshi Ohira, Satoshi Fujii, Osamu Manabe, Ichizo Tsujino, Masaharu Nishimura, 第 82 回日本循環器学会学術集会, 一般社団法人日本循環器学会, 2018-03-23.
- (20) Oncological evaluation by nuclear medicine and clinical applications for therapeutic strategy PET によるがんの病態評価と治療戦略への応用, Ryuichi Nishii, Tatsuya Higashi, Shinya Kagawa, Yoshihiko

- Kishibe, Masaaki Takahashi, Shigeki Yamada, Masaaki Saiki, Yoshiki Arakawa, 第 76 回日本医学放射線学会総会, 日本医学放射線学会, 2017-04-14.
- (21) 適応補助換気療法の早期交感神経機能改善効果:C-11 HED PET・I-123 MIBG による包括的評価 (Effects of Adaptive Servo-Ventilation on sympathetic nervous function), 吉永 恵一郎, 徳田 裕輔, 榊原 守, 山田 史郎, 真鍋 治, 加藤 千恵次, 西嶋 剣一, 玉木 長良, 筒井 裕之, 第 57 回日本核医学会学術総会, 一般社団法人日本核医学会, 2017-10-06.
  - (22) がん重粒子線治療後変化を FDG でみてみたが・・・-神ってる薬剤が欲しい-, 西井 龍一, PET サマーセミナー 2017 において発表を行う。 , 日本核医学会 PET 核医学分科会, 2017-08-25.
  - (23) Assessment of 4DST uptake and Ki-67 index in patients with lung tumor in comparison with FDG uptake, Ryuichi Nishii, Tsuneo Saga, Hitomi Sudo, Keiichiro Yoshinaga, Tatsuya Higashi, SNMMI2017, SNMMI, 2017-06-02.
  - (24) 30th Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine, Kentaro Fujiwara, K.Koyama, H.Akiba, H.Iwanari, Tatsuya Higashi, K.tsumoto, T.Hamakubo, 30th Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine - EANM ポスター発表のため, European Association of Nuclear Medicine, 2017-10-21.
  - (25) 放射線被ばく細胞のデュアル蛍光レポーターイメージングシステムの構築 Development of dual fluorescence reporter system for imaging of irradiated cells, 須藤 仁美, 須堯 綾, 相良 雅史, 辻 厚至, 東 達也, 2017 年度生命科学系学会合同年次大会, 分子生物学会, 2017-12-08.
  - (26) Improvement of therapeutic efficacy by combining 90Y-ITGA6B4-mediated radioimmunotherapy (RIT) with dual PI3K and mTOR inhibitor NVP-BEZ235, Aung Winn, Atsushi Tsuji, Hitomi Sudo, Yoshinori Ukai, Katsushi Kouda, Yoshikazu Kurosawa, Tsuneo Saga, Tatsuya Higashi, 30th Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine, European Association of Nuclear Medicine - EANM, 2017-10-21.
  - (27) 64Cu-ATSM internal radiotherapy to treat tumors with bevacizumab-induced vascular decrease and hypoxia: Imaging analysis with dual-isotope simultaneous SPECT/PET/CT, Yukie Yoshii, Mitsuyoshi Yoshimoto, Hiroki Matsumoto, Takako Furukawa, Ming-Rong Zhang, Masayuki Inubushi, Atsushi Tsuji, Yasuhisa Fujibayashi, Tatsuya Higashi, Tsuneo Saga, 第 12 回日本分子イメージング学会学術集会, 日本分子イメージング学会, 2017-05-26.
  - (28) Reduction in O-15-labeled-water lung uptake rate in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension reflects pulmonary blood flow rather than blood volume, Keiichiro Yoshinaga, Kaoruko Shimizu, Chietsugu Katoh, Yuuki Tomiyama, Hiroshi Ohira, Osamu Manabe, Ichizo Tsujino, Masaharu Nishimura, SNMMI 2017 Annual Meeting, SNMMI, 2017-06-12.
  - (29) Prevalence of cardiac involvement in patients with biopsy-proven extracardiac sarcoidosis and normal electrocardiogram and echocardiogram, Hiroshi Ohira, Keiichiro Yoshinaga, Shinya Sakiyama, Toshitaka Nakaya, Ayako Sugimoto, Takahiro Satoh, Taku Watanabe, Osamu Manabe, Noriko Manabe, Tadao Aikawa, Nagara Tamaki, 第 82 回日本循環器学会学術集会, 一般社団法人日本循環器学会, 2018-03-24.
  - (30) Early therapeutic effects of adaptive servo-ventilation on cardiac sympathetic nervous activity in patients with heart failure evaluated by the combined use of 11C-HED PET and 123I-MIBG SPECT, Yusuke Tokuda, Keiichiro Yoshinaga, Mamoru Sakakibara, Shiro Yamada, Takashi Yoshitani, Keiji Noguchi, Osamu Manabe, Nagara Tamaki, ASNC2017, American Society of Nuclear Cardiology, 2017-09-15.

- (31) High Dose Steroid Therapy Increases Physiological Myocardial Uptake due to Metabolic Shift in Evaluation of the Cardiac Sarcoidosis with FDG PET/CT, Osamu Manabe, Keiichiro Yoshinaga, Hiroshi Ohira, Noriko Oyama-Manabe, Ichizo Tsujino, Masaharu Nishimura, Nagara Tamaki, ICNIC2017, European Society of Cardiology, 2017-05-09.
- (32) Differentiation of cardiac sarcoidosis lesions and physiological FDG uptakes using texture analysis in patients with cardiac sarcoidosis, Manabe Osamu, Kenji Hirata, Hiroshi Ohira, Keiichiro Yoshinaga, Noriko Oyama-Manabe, Ichizo Tsujino, Masaharu Nishimura, Nagara Tamaki, ICNIC2017, European Society of Cardiology, 2017-05-09.
- (33) Recent advances of Targeted Radioisotope Therapy (TRT) research, 東 達也, Actinides2017 招待講演, 日本原子力開発機構, 2017-07-13.
- (34) 標的アイソトープ治療の現状と将来展望, 東 達也, 第 87 回日本核医学会関東甲信越地方会, 日本核医学会関東甲信越地方会, 2017-07-08.
- (35) 心筋血流 PET の臨床応用, 吉永 恵一郎, 第 53 回日本放射線学会秋季臨床大会, 日本放射線学会, 2017-09-08.
- (36) IAEA Training Course, Theragnostics, 131I-MIBG Treatment in Neuroblastoma, Keiichiro Yoshinaga, 核医学内用療法および認知症診断のトレーニングコース, 国際原子力機関 (IAEA), 2017-12-08.
- (37) The current status of nuclear cardiology in Japan, Keiichiro Yoshinaga, Executives' Workshop of the Korean Study of Cardiovascular Imaging, Korean Society of Cardiology, 2017-11-01.

[ その他 (特許, 解説, 単行本等) ]

- (1) 日本医学放射線学会秋季臨床大会 イメージングと治療の融合-RI 内用療法, 東 達也, 日本医学放射線学会秋季臨床大会 講演のため, 日本医学放射線学会, 2017-09-09.
- (2) 日本医学放射線学会秋季臨床大会 内用療法 (甲状腺), 東 達也, 日本医学放射線学会秋季臨床大会 講演のため, 日本医学放射線学会, 2017-09-08.
- (3) 標的アイソトープ治療 現状と展望, 東 達也, 第 14 回近衛会研究会, 富士フィルム RI ファーマ (株), 2017-07-22.
- (4) 第 90 回日本内分泌学会学術総会 シンポジウム 20, 東 達也, 第 90 回日本内分泌学会学術総会, 第 90 回日本内分泌学会, 2017-04-22.
- (5) 第 90 回日本内分泌学会学術総会 Professor Haugen Lecture Meeting での指定発言 核医学の立場から, 東 達也, Professor Haugen Lecture Meeting, サノフィ株式会社, 2017-04-22.
- (6) リフレッシャーコース 4「心筋血流 PET の臨床応用」Clinical application of myocardial perfusion PET, 吉永 恵一郎, 第 53 回日本医学放射線学会秋季臨床大会, 公益社団法人日本医学放射線学会, 2017-09-08.
- (7) 放射線医学総合研究所における新規放射性薬剤による治療開発プロジェクト, 吉永 恵一郎, 第 1 回次世代放射性薬剤治療開発検討セミナー, 北海道大学大学院医学研究院, 2017-08-18.
- (8) 肺高血圧症における心臓核医学の役割: 近年の発展と今後の展望, 吉永 恵一郎, 第 2 回日本肺高血圧・肺循環学会学術集会において講演を行う, 日本肺高血圧・肺循環学会, 2017-06-03.
- (9) 辻 厚至, 抗 IL-7R 抗体の抗体薬物コンジュゲートとがんまたは炎症を処置することに用いるための、抗 IL-7R 抗体と細胞傷害剤との抗体薬物コンジュゲートを含む医薬組成物
- (10) FDG-PET/CT 検査で発見される甲状腺偶発腫に関するエビデンス, 東 達也, 日本内分泌学会雑誌, 93(1), 175 - 175, 2017-03.
- (11) 最近のがんの核医学診療 その進歩とこれから, 東 達也, 臨床画像 33/8 2017 年 8 月号, 33(8), 2017-07.
- (12) 放射性ヨウ素内用療法不応の定義について, 東 達也, 耳鼻咽喉科臨床 Vol.110(2017)No.5, 110(5), 364 -

365, 2017-05.

- (13) Focus Issue on Clinical Application of Myocardial Blood Flow Quantification – from JSNC/ASNC Joint Session at the 27th JSNC Annual Scientific Meeting, Keiichiro Yoshinaga, Kenichi Nakajima, Annals of Nuclear Cardiology, 3(1), 155 - 156, 2017-08.
- (14) Challenges and Opportunities in Nuclear Cardiology from Latin American and Asian Perspectives, Keiichiro Yoshinaga, João V. Vitola, Annals of Nuclear Cardiology, 3(1), 173 - 175, 2017-08.
- (15) It is a Tiny Step, But We Are on the Path to Meeting and Surpassing Our Initial Target, Keiichiro Yoshinaga, Annals of Nuclear Cardiology, 3(1), 1 - 3, 2017-08.
- (16) Latest Research Topics from the Young Investigator Award Session at the 2016 Japanese Society of Nuclear Cardiology Annual Scientific Meeting, Keiichiro Yoshinaga, Annals of Nuclear Cardiology, 3(1), 210 - 212, 2017-08.
- (17) 循環器領域における PET の最新知見と今後の展望, 吉永 恵一郎, 心臓, 49(5), 516 - 519, 2017-05.
- (18) 編集委員から Next target and next direction, 吉永 恵一郎, 日本心臓核医学会誌, 19(1), 2, 2017-04.
- (19) 分子イメージングを駆使した ADC の開発, 安永正浩, 眞鍋史乃, 辻 厚至, 古田大, 緒方是嗣, 古賀宣勝, 藤原悠起, 佐賀恒夫, 松村保広, YAKUGAKU ZASSHI, 137(5), 535 - 544, 2017-05.
- (20) Roles of 18F-FDG PET in Diagnosis and Management of Cardiac Sarcoidosis – from the Continuing Medical Education Session at the 63rd SNMMI Meeting, Nagara Tamaki, Osamu Manabe, Keiichiro Yoshinaga, Annals of Nuclear Cardiology, 3(1), 110 - 112, 2017-08.
- (21) 核医学融合画像 基礎と臨床, 東 達也, 辻 厚至, 核医学融合画像 基礎と臨床, 2017-09.

### 3. 物理学・生物学研究

#### 3.1. 中高エネルギー粒子による核反応の研究

[ プロシーディングス ]

- (1) Yuji YAMAGUCHI, Toshiya SANAMI, Yusuke Koba, and Yusuke UOZUMI, “Spectrum Measurement Down to 1 MeV/u Particles with Hydrogen-Identification Using Bragg Curve Counter”, International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses, KEK Tsukuba Campus, January 2018.

#### 3.2. 重粒子によるしきいエネルギー付近の核反応に関する研究

[ 学会・研究会での口頭発表及びポスター発表 ]

- (1) 八島浩、萩原雅之、佐波俊哉、米内俊祐、炭素イオン入射による銅ターゲット中の誘導放射能分布の測定、日本原子力学会 2018 年春の年会、大阪大学、2018 年 3 月

#### 3.3. 最前方と最後方における荷電粒子生成二重微分断面積の測定

- (1) 180 度近傍における  $(p, p'x)$  反応二重微分断面積に関する研究 今村亮太 2018 年 2 月 卒業論文 九州大学工学部

### 3.4. 高精度陽子線治療のための基盤技術構築に関する研究

#### [ 原著論文 ]

- (1) T. Nishio, A. Nishio, “Study of innovating new proton therapy using distribution image of positron emitters generated in patient’s body by target nuclear reaction,” JSMI Rep., 3-8 (2018).
- (2) T. Masuda, J. Kataoka, M. Arimoto, M. Takabe, T. Nishio, K. Matsushita, T. Miyake, S. Yamamoto, T. Inaniwa, T. Toshito, “Measurement of nuclear reaction cross sections by using Cerenkov radiation toward high-precision proton therapy,” Sci. Rep. 8:2570 (2018).
- (3) S. Tanaka, T. Nishio, M. Tsuneda, K. Matsushita, S. Kabuki, M. Uesaka, “Improved Proton CT Imaging using a Bismuth Germanium Oxide Scintillator,” Phys. Med. Biol. 63(3):035030 (2018).

#### [ プロシーディングス ]

- (1) T. Nishio, “Activity of Medical Physics Working Group in clinical trial for radiotherapy,” Jpn. J. Med. Phys. Proc., 38 Supple. 2, 35-39 (2018).
- (2) T. Masuda, J. Kataoka, M. Arimoto, M. Takabe, T. Nishio, S. Hatori, K. Kume, T. Hasegawa, K. Matsushita, S. Yamamoto, T. Inaniwa, T. Toshito, “Time-resolved analysis of Cerenkov light from positron emitter as a new probe to high-precision measurement of nuclear reaction cross section,” Jpn. J. Med. Phys. Proc., 37 Supple. 1, 45 (2017).

#### [ 学会・研究会での口頭発表及びポスター発表 ]

- (1) T. Aso, K. Matsushita, T. Nishio, S. Kabuki, “Particle Therapy System Simulation Framework and its application for probing material composition in patient body,” International Workshop on the Biological Effects of Radiation, Osaka, Japan, March 19 – 21, 2018.
- (2) T. Nishio, “R&D of beam ON-LINE PET system for proton therapy,” TIA Symposium: The Next Generation of Hadron Cancer Therapy and Its Beam Driver, Tsukuba, Japan, March 13 – 14, 2018.
- (3) 西尾禎治, “高精度放射線治療と医学物理学研究”、第 31 回静岡放射線治療研究会 特別講演、静岡、2018 年 3 月 3 日
- (4) S. Kabuki, J. Yamashita, S. Tanaka, M. Tsuneda, T. Aso, H. Yamashita, E. Kunieda, T. Tanimori, T. Nishio, “Basic study of prompt gamma-ray imaging under the proton beam irradiation field using an electron-tracking Compton camera,” European Congress of Radiology 2018, Vienna, Austria, February 28 – March 4, 2018.
- (5) 田中創大、西尾禎治、恒田雅人、高部美帆、増田孝充、久米恭、長谷川崇、株木重人、上坂充, “シンチレータと CCD カメラを用いた線量積算型陽子線 CT 画像取得法の研究”、日本放射線腫瘍学会第 30 回学術大会、大阪、2017 年 11 月 17 – 19 日
- (6) 西尾禎治、岡本俊、株木重人、谷森達、阿蘇司、中村哲志、恒田雅人、西尾彩、山下晴男、溝脇尚志, “粒子線治療における腫瘍の線量応答性観測システムの研究開発”、日本放射線腫瘍学会第 30 回学術大会、大阪、2017 年 11 月 17 – 19 日
- (7) 株木重人、山下諄、増田孝充、田中創大、恒田雅人、高田惇史、水本哲夫、水村好貴、國枝悦夫、谷森達、西尾禎治, “電子飛跡検出型コンプトンカメラを用いた陽子線照射時の即発ガンマ線画像化の基礎試験”、日本放射線腫瘍学会第 30 回学術大会、大阪、2017 年 11 月 17 – 19 日

- (8) T. Aso, K. Matsushita, T. Nishio, S. Kabuki, T. Sasaki, “Reconstruction of Irradiation Field from Prompt gamma-rays in Geant4 Based Proton Therapy Simulation,” 2017 IEEE NSS/MIC, Atlanta, USA, October 21 – 28, 2017.
- (9) T. Masuda, J. Kataoka, M. Takabe, M. Arimoto, T. Nishio, K. Matsushita, T. Miyake, S. Yamamoto, T. Inaniwa, T. Toshito, “A novel method of measuring nuclear reaction cross sections by using Cherenkov radiation toward high-precision proton therapy,” 2017 IEEE NSS/MIC, Atlanta, USA, October 21 – 28, 2017.
- (10) M. Takabe, T. Masuda, M. Arimoto, J. Kataoka, S. Tanaka, T. Nishio, T. Toshito, T. Inaniwa, “Development of simple proton CT system with novel MCS correction methods,” 2017 IEEE NSS/MIC, Atlanta, USA, October 21 – 28, 2017.
- (11) 西尾禎治, “放射線治療・陽子線治療を支える医学物理最前線”、アトムサイエンスフェア講演会 2017、大阪、2017 年 10 月 21 日
- (12) S. Tanaka, T. Nishio, K. Matsushita, M. Tsuneda, S. Kabuki, M. Uesaka, “Proton imaging system using collimator with small holes,” MCMA2017, Naples, Italy, October 15 – 17, 2017.
- (13) 西尾禎治, “線量照射誘導陽子線治療の実現へ”、第 14 回中部放射線治療研究会学術講演会、名古屋、2017 年 10 月 14 日
- (14) 西尾禎治, “がんのピンポイント照射を実現する放射線治療の最先端と未来”、第 35 回東京女子医科大学公開健康講座:東京女子医科大学が創る未来医療、東京、2017 年 6 月 3 日
- (15) 西尾禎治, “体内中での標的原子核破砕反応による生成ポジトロン放出核を利用した新しい陽子線治療法の研究”、第 12 回日本分子イメージング学会 シンポジウム 1:がん医療に活かされる分子イメージング、横浜、2017 年 5 月 25 – 26 日
- (16) T. Masuda, J. Kataoka, M. Arimoto, M. Takabe, T. Nishio, S. Hatori, K. Kume, T. Hasegawa, K. Matsushita, S. Yamamoto, T. Inaniwa, T. Toshito, “Time-resolved analysis of Cerenkov light from positron emitter as a new probe to high-precision measurement of nuclear reaction cross section,” The 113th Scientific Meeting of JSMP, Yokohama, April 13-16, 2017.

[ その他 (特許, 解説, 単行本等) ]

- (1) 西尾禎治特集編輯, “総論:医療画像技術と放射線治療技術の融合”、画像誘導放射線治療、BIO Clinica、Vol.32、No.7、16 – 17 頁、2017 年、北隆館

### 3.5. 高分子系飛跡検出器の応答特性を表す化学的クライテリアの確立

[ 原著論文 ]

- (1) 楠本多聞、森豊、金崎真聡、小田啓二、山内知也、菅田義英、藤乗幸子、ミッシェルフロム、ジョンエマニュエルグロエ、小平聡、北村尚、レミバリオン：PADC 飛跡検出器の放射線高感受性部に見られる段階的な損傷形成、放射線化学 103, 41 - 45 (2017).

[ 学会・研究会での口頭発表及びポスター発表 ]

- (1) 楠本多聞、EL バイタジアッド、岡田勝吾、ジレットピエール、アーバニコラ、森豊、金崎真聡、小田啓二、ヌレディンアブデル-ミジッド、藏重久弥、ミッシェルフロム、クロウティエピエール、D バスアンドリュ、レオンサンチェ、小平聡、レミバリオン、山内知也：高感度飛跡検出器 PADC の閾値に対する新

- しい物理概念としてのイオントラック内径方向電子フルエンス、第 32 回固体飛跡検出器研究会、量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所 2018. 3.
- (2) 寺下佳孝、楠本多聞、小田啓二、金崎真聡、小平聡、山内知也：ポリアリルジグリコールカーボネート中メチン基に着目したイオントラック構造分析、第 32 回固体飛跡検出器研究会、量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所 2018. 3.
  - (3) 東和樹、楠本多聞、寺下佳孝、金崎真聡、小田啓二、小平聡、山内知也：イオントラックに沿ったヒドロキシル基密度による PADC 飛跡検出器の応答特性の記述、第 32 回固体飛跡検出器研究会、量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所 2018. 3.
  - (4) 大谷拓也、楠本多聞、寺下佳孝、金崎真聡、小田啓二、小林一雄、藤乗幸子、菅田義英、山内知也：ESR 法を用いた PADC 中にガンマ線照射によって形成される損傷の研究、第 32 回固体飛跡検出器研究会、量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所 2018. 3.
  - (5) 酒井盛寿、楠本多聞、寺下佳孝、金崎真聡、小田啓二、小平聡、山内知也：赤外分光分析を用いたナイロン 6 のプロトン照射による吸光度変化と化学的 損傷パラメータ、第 32 回固体飛跡検出器研究会、量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所 2018. 3.
  - (6) 千葉昌寛、楠本多聞、寺下佳孝、東和樹、大谷拓也、酒井盛寿、小田啓二、金崎真聡、小平聡、山内 知也：検出閾値周辺におけるポリエチレンテレフタレート中イオントラック構造の研究、第 32 回固体飛跡検出器研究会、量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所 2018. 3.
  - (7) 濱野拳、楠本多聞、寺下佳孝、東和樹、大谷拓也、酒井盛寿、金崎真聡、小田啓二、小平聡、山内知也：ホウ素イオンを照射したポリカーボネート薄膜中放射線損傷の面分布、第 32 回固体飛跡検出器研究会、量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所 2018. 3.
  - (8) 楠本多聞、大谷拓也、寺下佳孝、金崎真聡、小田啓二、小林一雄、藤乗幸子、菅田義英、山内知也：ESR 法を用いたガンマ線照射時の PADC 検出器中フリーラジカルの研究、大阪大学産業科学研究所附属量子ビーム科学研究施設平成 29 年度成果報告会、大阪大学産業科学研究所、2018. 3.
  - (9) 楠本多聞、EL バイタジアッド、岡田勝吾、ジレットピエール、アーバニコラ、森豊、金崎真聡、小田啓二、ヌレディンアブデル-ミジッド、藏重久弥、フロムミッシェル、クロウティエピエール、D バスアンドリュ、小平聡、サンチェレオン、バリオンレミ、山内知：PADC 検出器の閾値を記述する新しい物理概念としてのイオントラック内径方向電子フルエンス、第 65 回応用物理学会春季学術講演会、早稲田大学西早稲田キャンパス、2018. 3.
  - (10) 寺下佳孝、楠本多聞、小田啓二、金崎真聡、森豊、小平聡、山内知也：PADC 中メチン基に着目したトラック構造分析、第 65 回応用物理学会春季学術講演会、早稲田大学西早稲田キャンパス、2018. 3.
  - (11) 東和樹、楠本多聞、寺下佳孝、金崎真聡、小田啓二、小平聡、山内知也：イオントラックに沿ったヒドロキシル基密度による PADC 飛跡検出器の応答特性の記述、第 65 回応用物理学会春季学術講演会、早稲田大学西早稲田キャンパス、2018. 3.
  - (12) 大谷拓也、楠本多聞、寺下佳孝、金崎真聡、小田啓二、小林一雄、菅田義英、藤乗幸子、山内 知也：PADC 検出器中イオントラック内の段階的損傷形成過程、第 65 回応用物理学会春季学術講演会、早稲田大学西早稲田キャンパス、2018. 3.
  - (13) 酒井盛寿、楠本多聞、寺下佳孝、金崎真聡、小田啓二、山内知也：局所線量分布の現代的更新と PET 検出器への活用、第 65 回応用物理学会春季学術講演会、早稲田大学西早稲田キャンパス、2018. 3.
  - (14) N. Ludwig, Tamon Kusumoto, C. Galindo, P. Peaupardin, D. Muller, Tomoya Yamauchi, Satoshi Kodaira, Remi Barillon, Q. Raffy : Determination of radiochemical yields of hydroxyl radical production in water under low energy proton irradiations, 2nd International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses (ISR D 2018), High Energy Accelerator Research Organization (KEK),

2018. 1.
- (15) Tamon Kusumoto, Satoshi Kodaira, Keiji Oda, Tomoya Yamauchi, Remi Barillon, Atsushi Yoshida, Tadashi Kambara, Yoshiyuki Yanagisawa : Applicability of polyimide films for identification of ultra-heavy components, including uranium ions in galactic cosmic ray, 2nd International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses, ISRD2018, High Energy Accelerator Research Organization (KEK), 2018. 1.
  - (16) Kazuki Azuma, Tamon Kusumoto, Yoshitaka Terashita, Masato Kanasaki, Keiji Oda, Tomoya Yamauchi : Study of hydroxyl group in poly(allyl diglycol carbonate) and poly(vinyl alcohol), The 13th International Workshop on Ionizing Radiation Monitoring, Chiyoda Technol Corporation, Oarai Research Center, Ibaraki, 2017.12.
  - (17) Morikazu Sakai, Tamon Kusumoto, Yoshitaka Terashita, Masato Kanasaki, Keiji Oda, Tomoya Yamauchi : An up-date to local dose distribution theory considering effective charge for ion tracks and its applications to detection thresholds in PET and PI, The 13th International Workshop on Ionizing Radiation Monitoring, Chiyoda Technol Corporation, Oarai Research Center, Ibaraki, 2017.12.
  - (18) Takuya Otani, Tamon Kusumoto, Yoshitaka Terashita, Masato Kanasaki, Keiji Oda, Kazuo Kobayashi, Yoshihide Honda, Sachiko Tojo, Tomoya Yamauchi : Dual stage formation process of the damage by gamma ray in radio-sensitive parts in PADC detectors, The 13th International Workshop on Ionizing Radiation Monitoring, Chiyoda Technol Corporation, Oarai Research Center, Ibaraki, 2017.12.
  - (19) N. Ludwig, Tamon Kusumoto, C. Galindo, P. Peaupardin, Y. Le Gall, D. Mulle, Tomoya Yamauchi, Satoshi Kodaira, Remi Barillon, Q. Raffy : Phenylalanine radiolysis under ion irradiation - Mechanistic study and determination of the radiolytic yields, 30th Miller Conference on Radiation Chemistry, “Castellamarre del Golfo, Italy”, 2017. 10.
  - (20) N. Ludwig, Tamon Kusumoto, C. Galindo, P. Peaupardin, Y. Le Gall, D. Mulle, Tomoya Yamauchi, Satoshi Kodaira, Remi Barillon, Q. Raffy : Molecular study of the radiolysis of a model protein irradiated by accelerated ions, 30th Miller Conference on Radiation Chemistry, “Castellamarre del Golfo, Italy”, 2017. 10.
  - (21) 楠本多聞、ピエールクロウティエ、ミッシェルフロム、アンドリュー A バス、レオンサンチェ、山内知也 : 低エネルギー電子のカルボニル基又はエーテル基を含む単量体への影響、第 60 回放射線化学討論会、産業技術総合研究所つくば中央、2017. 9.
  - (22) 寺下佳孝, 楠本多聞, 小田啓二, 金崎真聡, 森豊, 小平聡, 山内知也 : メチン基とメチレン基の赤外線吸収ピークに着目した PADC 中イオントラック構造の分析、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、福岡国際会議場・国際センター・福岡サンパレス、2017. 9.
  - (23) Tomoya Yamauchi, Tamon Kusumoto, Yutaka Mori, Masato Kanasaki, Keiji Oda, Satoshi Kodaira, Remi Barillon : Distinct step-like changes in G values for the losses of typical functional groups in poly(ethylene terephthalate) along B ion tracks around the detection threshold, 27th International Conference on Nuclear Tracks and Radiation Measurements, The University of Strasbourg, Strasbourg, France, 2017.8.
  - (24) Tamon Kusumoto, Koji Kuraoka, Yutaka Mori, Masato Kanasaki, Satoshi Kodaira, Yoshihide Honda, Sachiko Tojo, Remi Barillon, Tomoya Yamauchi : Anomalous increase of the contact angle of water droplets on the surface of PADC detector exposed to proton, 27th International Conference on Nuclear Tracks and Radiation Measurements, The University of Strasbourg, Strasbourg, France,

2017.8.

- (25) Morikazu Sakai, Tamon Kusumoto, Yoshitaka Terashita, Masato Kanasaki, Keiji Oda, Tomoya Yamauchi : An up-to-date local dose distribution theory for ion tracks and its applications to detection thresholds in PET and PI, 27th International Conference on Nuclear Tracks and Radiation Measurements, The University of Strasbourg, Strasbourg, France, 2017.8.
- (26) Tomoya Yamauchi, Tamon Kusumoto, Kazuki Azuma, Takuya Otani, Morikazu Sakai, Yutaka Mori, Masato Kanasaki, Keiji Oda, Remi Barillon : Dependence of G values for losses of typical functional groups along heavy ion tracks in bisphenol A polycarbonate on the surface density, 27th International Conference on Nuclear Tracks and Radiation Measurements, The University of Strasbourg, Strasbourg, France, 2017.8.
- (27) Takuya Otani, Tamon Kusumoto, Yoshitaka Terashita, Masato Kanasaki, Keiji Oda, Yoshihide Honda, Sachiko Tojo, Tomoya Yamauchi : Dual stage damage formation process in radio-sensitive parts of PADC detectors exposed to gamma rays, 27th International Conference on Nuclear Tracks and Radiation Measurements, The University of Strasbourg, Strasbourg, France, 2017.8.
- (28) Kazuki Azuma, Tamon Kusumoto, Yoshitaka Terashita, Masato Kanasaki, Keiji Oda, Tomoya Yamauchi : Quantitative analyses of hydroxyl group in poly(allyl diglycol carbonate) and poly(vinyl alcohol), 27th International Conference on Nuclear Tracks and Radiation Measurements, The University of Strasbourg, Strasbourg, France, 2017.8.
- (29) Tamon Kusumoto, Ziad EL Bitar, Shogo Okada, Pierre Gillet, Nicolas Arbor, Masato Kanasaki, Keiji Oda, Abdel-Mijid Nourredine, Hisaya Kurashige, Remi Barillon, Tomoya Yamauchi : Radial electron fluence around ion tracks as a new physical parameter for the detection threshold of PADC using Geant4-DNA toolkit, 27th International Conference on Nuclear Tracks and Radiation Measurements, The University of Strasbourg, Strasbourg, France, 2017.8.

[ 学位論文 ]

- (1) 楠本多聞 : Radial Electron Fluence around Ion Tracks as a New Physical Concept for the Detection Threshold of PADC Detector 、神戸大学、博士論文、2018 年 3 月.
- (2) 寺下佳孝 : メチン基とメチレン基に着目した PADC 中潜在飛跡構造の研究、神戸大学、修士論文、2018 年 3 月.

### 3.6. Study of elpasolite scintillators for use in space and terrestrial radiation detection

[ 原著論文 ]

- (1) Alexander Miller Rachid Machrafi Eric Benton, Hisashi Kitamura Satoshi Kodaira: Comparison of the space bubble detector response to space-like neutron spectra and high energy protons, Acta Astronautica, Volume 151, October 2018, pp. 1-6

[ 学会・研究会での口頭発表及びポスター発表 ]

- (1) R. Machrafi et al., Update on the ground-based testing of space bubble detectors used aboard the International Space Station, Russian-Canadian Space Agency meeting, Oshawa, March 21-24, 2018, University of Ontario Institute of Technology.



## 5. 平成28年度マシンタイム予定表

月 日	小型サイクロトロン		大型サイクロトロン		月 日	小型サイクロトロン		大型サイクロトロン	
	午 前	午 後	午 前	午 後		午 前	午 後	午 前	午 後
3月27日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D	4月17日 (月)	メンテナンス		メンテナンス	
3月28日 (火)	RI生産		R&D		4月18日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>28</sup> Mg所外) α 75, C4, 10:00～14:00	
3月29日 (水)	RI生産		RI生産( <sup>64</sup> Cu所内,外) H <sub>2</sub> 24, 10 μ A, C4, 9:00～11:00		4月19日 (水)	RI生産		RI生産( <sup>64</sup> Cu所内,外) H <sub>2</sub> 24, 10 μ A, C4, 9:00～11:00	
3月30日 (木)	RI生産		RI生産		4月20日 (木)	RI生産		高精度陽子線治療のための 基盤技術構築に関する研究 女子医大(西尾) P70MeV / 50nA C8	
3月31日 (金)	RI生産		RI生産		4月21日 (金)	RI生産		RI生産 D20, C9, 10:00～13:00	
4月1日 (土)					4月22日 (土)				
4月2日 (日)					4月23日 (日)			一般公開予定	
4月3日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産	4月24日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D
4月4日 (火)	RI生産		RI生産		4月25日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>211</sup> At所内) α 34, 15 μ A, C9, 10:00～13:00	
4月5日 (水)	RI生産		RI生産		4月26日 (水)	RI生産		RI生産 H <sub>2</sub> 24, 15 μ A, C4, 10:00～13:00	
4月6日 (木)	RI生産		R&D		4月27日 (木)	RI生産		RI生産( <sup>211</sup> At所内) D20, 10 μ A, C9, 10:00～13:00	
4月7日 (金)	RI生産		RI生産		4月28日 (金)	RI生産 (15時まで)	メンテナ ンス	R&D	メンテナンス
4月8日 (土)					4月29日 (土)			昭和の日 (サイクロ特高切り替え工事)	
4月9日 (日)					4月30日 (日)			(サイクロ特高切り替え工事)	
4月10日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D	5月1日 (月)	メンテナンス		メンテナンス (サイクロ特高切り替え工事)	
4月11日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>211</sup> At所内) α 34, 15 μ A, C9, 10:00～13:00		5月2日 (火)	メンテナンス		メンテナンス (サイクロ特高切り替え工事)	
4月12日 (水)	RI生産		RI生産 α 34, 10 μ A, C9, 13:00～17:00		5月3日 (水)			憲法記念日 (サイクロ特高切り替え工事)	
4月13日 (木)	RI生産		R&D		5月4日 (木)			みどりの日 (サイクロ特高切り替え工事)	
4月14日 (金)	RI生産		RI生産 H <sub>2</sub> 24, 0.05 μ A, C4, 11:00～11:15		5月5日 (金)			こどもの日	
4月15日 (土)					5月6日 (土)				
4月16日 (日)					5月7日 (日)				

月 日	小型サイクロトロン		大型サイクロトロン		月 日	小型サイクロトロン		大型サイクロトロン	
	午 前	午 後	午 前	午 後		午 前	午 後	午 前	午 後
5月8日 (月)	メンテナンス		メンテナンス		5月29日 (月)	メンテナンス		メンテナンス	
5月9日 (火)	RI生産		R&D		5月30日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>211</sup> At-MABG) α 34, 15 μA, C9, 10:00～13:00	
5月10日 (水)	RI生産		R&D		5月31日 (水)	RI生産		高精度陽子線治療と被ばく低減に向けた 新しい画像技術の開発 早大(片岡) P70MeV / 1nA C6	
5月11日 (木)	RI生産		RI生産( <sup>211</sup> At) α 34, 12 μA, C9, 10:00～12:30		6月1日 (木)	RI生産		RI生産( <sup>64</sup> Cu) H <sub>2</sub> 24, 10 μA, C4, 10:00～11:00	RI(励起関数) P30, 0.12 μA, C1, 15:00～17:00
5月12日 (金)	RI生産		RI生産( <sup>74</sup> As) α 34, 10 μA, C9, 13:00～17:00		6月2日 (金)	RI生産		RI生産(Laテスト) P18, 3 μA, C3, 10:00～11:00	
5月13日 (土)					6月3日 (土)				
5月14日 (日)					6月4日 (日)				
5月15日 (月)	安全測定 本体室	RI生産	安全測定 本体室・汎用照射室	R&D	6月5日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D
5月16日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>64</sup> Cu所内,外) H <sub>2</sub> 24, 10 μA, C4, 9:00～11:00		6月6日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>211</sup> At所内) α 34, 15 μA, C9, 10:00～13:00	
5月17日 (水)	RI生産		RI生産( <sup>211</sup> At所内) α 34, 15 μA, C9, 10:00～13:00		6月7日 (水)	RI生産		RI生産( <sup>64</sup> Cu所内,外) H <sub>2</sub> 24, 10 μA, C4, 9:00～11:00	
5月18日 (木)	RI生産		設備利用G P70MeV / 1nA C8		6月8日 (木)	RI生産		市販品デジタルカメラの耐放射線性評価 JAXA(平澤) P70MeV / 10nA C8	
5月19日 (金)	RI生産		R&D		6月9日 (金)	RI生産		RI生産 α 34, 12 μA, C9, 10:00～11:00 At-211 α 34, 20 nA, C9, 15:30～16:00 実 験	
5月20日 (土)					6月10日 (土)				
5月21日 (日)					6月11日 (日)				
5月22日 (月)	障防法に基づく 定期検査		障防法に基づく定期検査		6月12日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D
5月23日 (火)	RI生産		高精度陽子線治療のための 基盤技術構築に関する研究 女子医大(西尾) P70MeV / 10nA C8		6月13日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>28</sup> Mg所外) α 75, C4, 10:00～14:00	
5月24日 (水)	RI生産		高精度陽子線治療のための 基盤技術構築に関する研究 女子医大(西尾) P70MeV / 50nA C6		6月14日 (水)	RI生産		高精度陽子線治療と被ばく低減に向けた 新しい画像技術の開発 早大(片岡) P70MeV / 1nA C6	
5月25日 (木)	RI生産		RI生産 α 34, 12 μA, C9, 10:00～13:00		6月15日 (木)	RI生産		RI生産 α 34, 12 μA, C9, 10:00～12:00	
5月26日 (金)	RI生産		RI生産 H <sub>2</sub> 24, 10 μA, C4, 10:00～11:00		6月16日 (金)	RI生産		RI生産 H <sub>2</sub> 24, 10 μA, C4, 10:00～11:00	
5月27日 (土)			高精度陽子線治療のための 基盤技術構築に関する研究 女子医大(西尾) P70MeV / 1nA C6		6月17日 (土)				
5月28日 (日)					6月18日 (日)				

月 日	小型サイクロトロン		大型サイクロトロン		月 日	小型サイクロトロン		大型サイクロトロン	
	午 前	午 後	午 前	午 後		午 前	午 後	午 前	午 後
6月19日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D	7月10日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D
6月20日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>211</sup> At所内) α 34, 15 μA, C9, 10:00～13:00		7月11日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>211</sup> At所内) α 34, 15 μA, C9, 10:00～13:00	
6月21日 (水)	RI生産		R&D		7月12日 (水)	RI生産		RI生産( <sup>64</sup> Cu所内,外) H <sub>2</sub> 24, 10 μA, C4, 9:00～11:00	
6月22日 (木)	RI生産		RI生産 P16.4, 5 μA, C3, 10:00～17:00		7月13日 (木)	RI生産		高分子系飛跡検出器の応答特性を表す 化学的クライテリアの確立 神戸大(山内) He100MeV / 100nA C8	
6月23日 (金)	RI生産		RI生産 P16.4, 3 μA, C3, 10:00～11:00 H <sub>2</sub> 24, 10 μA, C4, 13:00～14:00		7月14日 (金)	RI生産		RI生産 p 18, 5 μA, C9, 11:00～11:30, 13:30～14:00, 15:30～16:00	
6月24日 (土)			400V系停電作業		7月15日 (土)				
6月25日 (日)					7月16日 (日)				
6月26日 (月)	メンテナンス		メンテナンス		7月17日 (月)			海の日	
6月27日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>64</sup> Cu所内,外) H <sub>2</sub> 24, 10 μA, C4, 9:00～11:00		7月18日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>211</sup> At-MABG) α 34, 15 μA, C9, 10:00～13:00 D50 エネルギー測定	
6月28日 (水)	RI生産		RI生産 P16.4, 3 μA, C3, 10:00～13:00		7月19日 (水)	RI生産		RI生産 P16.4, 3 μA, C3, 10:00～13:00 D50 0.12 μA, C1, 16:00～17:00	
6月29日 (木)	RI生産		高精度陽子線治療のための 基盤技術構築に関する研究 女子医大(西尾) P70MeV / 5nA C8		7月20日 (木)	RI生産		設備利用H P70MeV / 10nA C8	
6月30日 (金)	RI生産		RI生産 α 34, 12 μA, C9, 10:00～13:00		7月21日 (金)	RI生産		RI生産 α 34, 12 μA, C9, 10:00～12:00	
7月1日 (土)					7月22日 (土)			高精度陽子線治療と被ばく低減に向けた 新しい画像技術の開発 早大(片岡) P70MeV / 10nA C6	
7月2日 (日)					7月23日 (日)				
7月3日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D	7月24日 (月)	メンテナンス		メンテナンス 10t, 15t クレーン点検	
7月4日 (火)	RI生産		設備利用M P70MeV / 10nA C8		7月25日 (火)	RI生産		RI生産 H <sub>2</sub> 24, 10 μA, C4, 10:00～11:00 p 18, 5 μA, C9, 14:00～14:30, 16:00～16:30	
7月5日 (水)	RI生産		RI生産 H <sub>2</sub> 24, 10 μA, C4, 10:00～11:00 p 18, 5 μA, C9, 15:00～16:00		7月26日 (水)	RI生産		RI生産 α 34, 12 μA, C9, 10:00～13:00	
7月6日 (木)	RI生産		RI生産 α 34, 10 μA, C9, 10:00～16:00		7月27日 (木)	RI生産		重粒子によるしきいエネルギー付近の 核反応に関する研究 KEK(萩原) α 100MeV / 100nA C6	
7月7日 (金)	RI生産		最前方と最後方における荷電粒子生成 二重微分断面積の測定 九大(魚住) P40MeV / 10nA C6		7月28日 (金)	RI生産		RI生産 α 34, 10 μA, C9, 11:00～16:00	
7月8日 (土)			最前方と最後方における荷電粒子生成 二重微分断面積の測定 九大(魚住) P40MeV / 10nA C6		7月29日 (土)				
7月9日 (日)					7月30日 (日)				

月 日	小型サイクロトロン		大型サイクロトロン		月 日	小型サイクロトロン		大型サイクロトロン	
	午 前	午 後	午 前	午 後		午 前	午 後	午 前	午 後
7月31日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産 3He, 100 nA 13:00～17:00	8月21日 (月)	メンテナンス		メンテナンス	
8月1日 (火)		RI生産		RI生産( <sup>211</sup> At所内) α 34, 15 μA, C9, 10:00～13:00	8月22日 (火)		RI生産	RI生産 α 34, 15 μA, C9, 10:00～13:00	
8月2日 (水)		RI生産		RI生産( <sup>64</sup> Cu所内,外) H <sub>2</sub> 24, 10 μA, C4, 9:00～11:00	8月23日 (水)		RI生産	RI生産 H <sub>2</sub> 24, 15 μA, C4, 10:00～12:00 α 34, 10 μA, C9, 15:00～17:00	
8月3日 (木)		RI生産		高精度陽子線治療のための 基盤技術構築に関する研究 女子医大(西尾) P70MeV / 50nA C6	8月24日 (木)		RI生産	設備利用A P70MeV / 5nA C8	
8月4日 (金)		RI生産		RI生産 α 34, 10 μA, C9, 11:00～16:00	8月25日 (金)		RI生産	RI生産 α 34, 10 μA, C9, 10:00～12:00	
8月5日 (土)					8月26日 (土)				
8月6日 (日)					8月27日 (日)				
8月7日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産	8月28日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D
8月8日 (火)		RI生産		RI生産( <sup>28</sup> Mg所外) α 75, C4, 10:00～14:00	8月29日 (火)		RI生産	実験可能日	
8月9日 (水)		RI生産		RI生産	8月30日 (水)		RI生産	メンテナンス	
8月10日 (木)		RI生産		RI生産	8月31日 (木)		RI生産	メンテナンス	
8月11日 (金)				山の日	9月1日 (金)		RI生産	メンテナンス	
8月12日 (土)					9月2日 (土)				
8月13日 (日)					9月3日 (日)				
8月14日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D	9月4日 (月)			長期メンテナンス	
8月15日 (火)		RI生産		中高エネルギー粒子による核反応の研究 KEK(佐波) P70MeV / 30nA C6	9月5日 (火)			長期メンテナンス	
8月16日 (水)		RI生産		中高エネルギー粒子による核反応の研究 KEK(佐波) P70MeV / 30nA C6	9月6日 (水)			長期メンテナンス	
8月17日 (木)		RI生産		R&D	9月7日 (木)			長期メンテナンス	
8月18日 (金)		RI生産		設備利用A P70MeV / 5nA C8	9月8日 (金)			長期メンテナンス (9/15まで。来期マシンタイム9/19～)	
8月19日 (土)					9月9日 (土)				
8月20日 (日)					9月10日 (日)				

2018/11/9印刷

月 日	小型サイクロトロン		大型サイクロトロン		月 日	小型サイクロトロン		大型サイクロトロン	
	午 前	午 後	午 前	午 後		午 前	午 後	午 前	午 後
9月18日 (月)			敬老の日		10月9日 (月)			体育の日	
9月19日 (火)	RI生産		R&D		10月10日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>225</sup> Ac) P16.4, 3 $\mu$ A, C3, 10:00～12:00 P16.4, 3 $\mu$ A, C3, 14:00～17:00	
9月20日 (水)	RI生産		R&D		10月11日 (水)	RI生産		高精度陽子線治療のための 基盤技術構築に関する研究 女子医大(西尾) P70MeV / 5 nA C8	
9月21日 (木)	RI生産		RI生産( <sup>225</sup> Ac-①所内) P16.4, 3 $\mu$ A, C3, 10:00～13:30, 14:00～17:00		10月12日 (木)	RI生産		RI生産 Cu-64 H2 24, 20 $\mu$ A, C4, 10:00～12:00	
9月22日 (金)	RI生産		RI生産 P18, 5 $\mu$ A, C9, 11:00～11:15 Pt-191 He34, 10 $\mu$ A, C9, 10:00～13:00 As-74		10月13日 (金)	RI生産		RI生産( <sup>211</sup> At) He 34, 12 $\mu$ A, C9, 10:00～13:00	
9月23日 (土)			秋分の日		10月14日 (土)			陽子線治療の高度化にむけた 放射線可視化技術の開拓 早大(片岡) P70MeV / 10 nA C8	
9月24日 (日)					10月15日 (日)				
9月25日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D	10月16日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D
9月26日 (火)	RI生産		RI生産 At-211 He34, 12 $\mu$ A, C9, 10:00～13:00		10月17日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>28</sup> Mg-①所外) He75, 10 $\mu$ A C4, 10:00～14:00	
9月27日 (水)	RI生産		RI生産 As-74 He34, 10 $\mu$ A, C9, 10:00～12:00, 15:00～17:00		10月18日 (水)	RI生産		RI生産(MABG) He34, 12 $\mu$ A, C9, 10:00～12:00	
9月28日 (木)	RI生産		設備利用M P70 MeV / 1 nA C8		10月19日 (木)	RI生産		設備利用A P30MeV / 20 nA C8	
9月29日 (金)	RI生産		RI生産 191Pt P18, 10 $\mu$ A, C9, 10:00～10:30, 13:00～13:30, 15:00～15:30		10月20日 (金)	RI生産		RI生産 Ac-225 P18, 5 $\mu$ A, C9, 10:00～13:30, 14:00～17:00	
9月30日 (土)					10月21日 (土)				
10月1日 (日)					10月22日 (日)				
10月2日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D	10月23日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D
10月3日 (火)	RI生産		設備利用H P70MeV / 10nA C8		10月24日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>64</sup> Cu-①所内,外) H <sub>2</sub> 24, 10 $\mu$ A, C4, 9:00～11:00	
10月4日 (水)	RI生産		RI生産 191Pt P30, 5 $\mu$ A, C9, 10:00～10:30, 13:00～13:30, 16:00～16:30		10月25日 (水)	RI生産		設備利用F JAXA(境澤) P70MeV / 20 nA C8	
10月5日 (木)	RI生産		RI生産 191Pt P30, 5 $\mu$ A, C9, 10:00～10:30, 13:00～13:30, 16:00～16:30		10月26日 (木)	RI生産		設備利用F JAXA(境澤) P70MeV / 20 nA C8	
10月6日 (金)	RI生産		設備利用E P70MeV / 1 nA C8		10月27日 (金)	RI生産		RI生産 211At, 191Pt He34, 12 $\mu$ A, C9, 10:00～12:00, P30, 5 $\mu$ A, C9, 15:30～16:30	
10月7日 (土)					10月28日 (土)			高分子系飛跡検出器の応答性を表す 化学的クライテリアの確立 神戸大(山内) He100MeV / 100nA C8	
10月8日 (日)					10月29日 (日)				

2018/11/9印刷

月 日	小型サイクロトロン		大型サイクロトロン		月 日	小型サイクロトロン		大型サイクロトロン	
	午 前	午 後	午 前	午 後		午 前	午 後	午 前	午 後
10月30日 (月)	メンテナンス		メンテナンス		11月20日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D
10月31日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>211</sup> At-②所内) α 34, 12 μ A, C9, 10:00～13:00		11月21日 (火)	RI生産		RI生産 D20, 10 μ A, C9, 10:00～12:00, 13:00～16:30	
11月1日 (水)	RI生産		RI生産 Pt-211 P30, 5 μ A, C9, 10:00～13:00, P30, 5 μ A, C9, 10:00～13:00		11月22日 (水)	RI生産		RI生産 Pt-211 P30, 5 μ A, C3, 10:00～10:30, P30, 10 μ A, C3, 13:00～14:00, 15:00～16:00	
11月2日 (木)	RI生産		RI生産( <sup>225</sup> Ac-③所内) P18, 5 μ A, C3, 10:00～13:00		11月23日 (木)			勤労感謝の日	
11月3日 (金)			文化の日		11月24日 (金)	RI生産		RI生産( <sup>225</sup> Ac-④所内) P18, 3 μ A, C3, 10:00～13:00, 14:00～17:00	
11月4日 (土)					11月25日 (土)				
11月5日 (日)					11月26日 (日)				
11月6日 (月)	安全測定 本体室	RI生産	安全測定 本体室・汎用照射室	RI生産	11月27日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D
11月7日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>124</sup> I-①所内) H <sub>2</sub> +27, 10 μ A, C9, 10:00～14:00		11月28日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>211</sup> At-③所内) α 34, 15 μ A, C9, 10:00～13:00 15:00～17:00	
11月8日 (水)	RI生産		RI生産( <sup>64</sup> Cu-②所内,外) H <sub>2</sub> 24, 10 μ A, C4, 9:00～11:00 He34, C9, 14:30～15:30		11月29日 (水)	RI生産		高精度陽子線治療のための 基盤技術構築に関する研究 女子医大(西尾) P70MeV / 50 nA C6	
11月9日 (木)	RI生産		高精度陽子線治療のための 基盤技術構築に関する研究 女子医大(西尾) P70MeV / 50nA C8		11月30日 (木)	RI生産		RI生産 p 30 MeV, C-9, 10 μ A 10:00～12:00, 14:00～17:00	
11月10日 (金)	RI生産		RI生産 P30, 10 μ A, C9, 10:00～12:00 D20, 10 μ A, C9, 15:00～17:00		12月1日 (金)	RI生産		R&D He 100 MeV P60 MeV	
11月11日 (土)			陽子線治療の高度化にむけた 放射線可視化技術の開拓 早大(片岡) P70MeV / 1nA C6		12月2日 (土)			陽子線治療の高度化にむけた 放射線可視化技術の開拓 早大(片岡) P70MeV / 10 nA C6	
11月12日 (日)					12月3日 (日)				
11月13日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D	12月4日 (月)	メンテナンス		メンテナンス	
11月14日 (火)	RI生産		RI生産 He 34, 12 μ A, C9, 10:00～13:00 P30, 10 μ A, C9, 16:00～17:00		12月5日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>124</sup> I-②所内) H <sub>2</sub> +27, 10 μ A, C9, 10:00～14:00	
11月15日 (水)	RI生産		RI生産 P30, 10 μ A, C9, 10:00～12:00, 14:00～17:00		12月6日 (水)	RI生産		RI生産( <sup>64</sup> Cu-③所内,外) H <sub>2</sub> 24, 10 μ A, C4, 9:00～11:00 p 30 MeV, C-9, 10 μ A 14:00～17:00	
11月16日 (木)	RI生産		最後方における荷電粒子生成 二重微分断面積の測定 九大(魚住) P40MeV / 10nA C6		12月7日 (木)	RI生産		設備利用W P70MeV / 0.2nA He100MeV / 0.2nA C8	
11月17日 (金)	RI生産		RI生産 P30, 10 μ A, C9, 10:00～12:00 D20, 10 μ A, C9, 15:00～17:00		12月8日 (金)	RI生産		RI生産 <sup>67</sup> Cu P60, 5 μ A, C9, 10:00～15:00, 15:00～17:00	
11月18日 (土)					12月9日 (土)				
11月19日 (日)					12月10日 (日)				

月 日	小型サイクロトロン		大型サイクロトロン		月 日	小型サイクロトロン		大型サイクロトロン	
	午 前	午 後	午 前	午 後		午 前	午 後	午 前	午 後
12月11日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D	1月1日 (月)			元旦	
12月12日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>28</sup> Mg-②所外) α 75, C4, 10:00～14:00		1月2日 (火)				
12月13日 (水)	RI生産		RI生産( <sup>211</sup> At-④所内) α 34, 12 μ A, C9, 10:00～13:00		1月3日 (水)				
12月14日 (木)	RI生産		超小型衛星搭載電子機器のシングルイベント 評価試験 東京理科大(木村) P70MeV / 0.1nA C8		1月4日 (木)	RI生産		R&D	
12月15日 (金)	RI生産		RI生産 P30, 10 μ A, C9, 10:00～12:00, 14:00～17:00		1月5日 (金)	RI生産		R&D	
12月16日 (土)			高精度陽子線治療のための 基盤技術構築に関する研究 女子医大(西尾) P70MeV / 5 nA C8		1月6日 (土)				
12月17日 (日)					1月7日 (日)				
12月18日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D	1月8日 (月)			成人の日	
12月19日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>64</sup> Cu-④所内,外) H <sub>2</sub> 24, 10 μ A, C4, 10:00～11:00		1月9日 (火)	RI生産		陽子線治療の高度化にむけた 放射線可視化技術の開拓 早大(片岡) P70MeV / 1nA C6	
12月20日 (水)	RI生産		RI生産( <sup>225</sup> Ac-⑤所内) P18, 3 μ A, C3, 10:00～13:00, 14:00～17:00		1月10日 (水)	RI生産		RI生産	
12月21日 (木)	RI生産		最後方における荷電粒子生成 二重微分断面積の測定 九大(魚住) P70MeV / 10nA C6		1月11日 (木)	RI生産		RI生産	
12月22日 (金)	RI生産		RI生産 He 34, 12 μ A, C9, 10:00～12:00 P30, 10 μ A, C9, 15:00～17:00		1月12日 (金)	RI生産		設備利用C P40MeV / 20 nA C8	
12月23日 (土)			天皇誕生日		1月13日 (土)				
12月24日 (日)					1月14日 (日)				
12月25日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D	1月15日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D
12月26日 (火)	RI生産		RI生産 He 34, 12 μ A, C9, 10:00～12:00 P30, 10 μ A, C9, 15:00～17:00		1月16日 (火)	RI生産		設備利用D P30MeV / 20 nA C8	
12月27日 (水)	RI生産		RI生産 P30, 10 μ A, C9, 10:00～16:00		1月17日 (水)	RI生産		RI生産 He34, 12 μ A, C9, 10:00～13:00, D20, 10 μ A, C9, 15:30～17:00	
12月28日 (木)	メンテナンス		メンテナンス		1月18日 (木)	RI生産		設備利用H P70MeV / 10nA C8	
12月29日 (金)					1月19日 (金)	RI生産		RI生産 P30, 10 μ A, C9, 10:00～12:00, 14:00～17:00	
12月30日 (土)					1月20日 (土)			Study of elpasolite scintillators for use in space and terrestrial radiation detection Ontario工科大学(Rachid) P70MeV / 10nA C8	
12月31日 (日)			大晦日		1月21日 (日)				

月 日	小型サイクロトロン		大型サイクロトロン		月 日	小型サイクロトロン		大型サイクロトロン	
	午 前	午 後	午 前	午 後		午 前	午 後	午 前	午 後
1月22日 (月)	メンテナンス		メンテナンス		2月12日 (月)			振替休日	
1月23日 (火)	RI生産		RI生産 He 34, 12 $\mu$ A, C9, 10:00～12:00 D20, 10 $\mu$ A, C9, 15:00～17:00		2月13日 (火)	RI生産		RI生産	
1月24日 (水)	RI生産		RI生産( <sup>225</sup> Ac-⑥所内) P18, 3 $\mu$ A, C3, 10:00～13:00, 14:00～17:00		2月14日 (水)	RI生産		RI生産	
1月25日 (木)	RI生産		宇宙放射線のレーザセンサーに与える 影響に関する研究 JAXA(水野) P50MeV / 10nA C8		2月15日 (木)	RI生産		重粒子によるしきいエネルギー付近の 核反応に関する研究 京大原子炉(八島) He 50 MeV / 100 nA C6	
1月26日 (金)	RI生産		RI生産 P50, 10 $\mu$ A, C9, 10:00～17:00		2月16日 (金)	RI生産		RI生産	
1月27日 (土)					2月17日 (土)				
1月28日 (日)					2月18日 (日)				
1月29日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産	2月19日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産
1月30日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>211</sup> At-⑤所内) $\alpha$ 34, 15 $\mu$ A, C9, 10:00～13:00		2月20日 (火)	RI生産		中高エネルギー粒子による核反応の研究 KEK(佐波) P70MeV / 40nA C6	
1月31日 (水)	RI生産		RI生産		2月21日 (水)	RI生産		RI生産( <sup>225</sup> Ac-⑦所内) P16.4, 5 $\mu$ A, C3, 10:00～13:00	
2月1日 (木)	RI生産		設備利用W P50MeV / 0.2nA C216MeV / 0.2nA C8		2月22日 (木)	RI生産		中高エネルギー粒子による核反応の研究 KEK(佐波) P70MeV / 40nA C6	
2月2日 (金)	RI生産		RI生産		2月23日 (金)	RI生産		RI生産	
2月3日 (土)					2月24日 (土)				
2月4日 (日)					2月25日 (日)				
2月5日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D	2月26日 (月)	メンテナンス		メンテナンス	
2月6日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>64</sup> Cu-⑤所内,外) H <sub>2</sub> 24, 10 $\mu$ A, C4, 9:00～11:00		2月27日 (火)	RI生産		RI生産( <sup>28</sup> Mg-③所外) $\alpha$ 75, C4, 10:00～14:00	
2月7日 (水)	RI生産		RI生産		2月28日 (水)	RI生産		設備利用B P40MeV / 20 nA C8	
2月8日 (木)	RI生産		RI生産		3月1日 (木)	RI生産		RI生産	
2月9日 (金)	RI生産		設備利用G P70MeV / 1nA C8		3月2日 (金)	RI生産		RI生産	
2月10日 (土)					3月3日 (土)				
2月11日 (日)			建国記念の日		3月4日 (日)				

	小型サイクロトロン		大型サイクロトロン			小型サイクロトロン		大型サイクロトロン	
月 日	午 前	午 後	午 前	午 後	月 日	午 前	午 後	午 前	午 後
3月5日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産	3月26日 (月)	長期メンテナンス			
3月6日 (火)	RI生産		RI生産		3月27日 (火)	長期メンテナンス			
3月7日 (水)	RI生産		RI生産		3月28日 (水)	長期メンテナンス			
3月8日 (木)	RI生産		カメラ用基板の耐放射線性評価 JAXA (神田) P70MeV / 10nA C8		3月29日 (木)	長期メンテナンス			
3月9日 (金)	RI生産 (15時まで)	メン テ ナ ン ス	RI生産	メンテナンス	3月30日 (金)	長期メンテナンス			
3月10日 (土)			全所停電(総合点検)		3月31日 (土)				
3月11日 (日)					4月1日 (日)				
3月12日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D	4月2日 (月)	来期マシンタイム			
3月13日 (火)	RI生産		メンテナンス		4月3日 (火)	来期マシンタイム			
3月14日 (水)	RI生産		メンテナンス		4月4日 (水)	来期マシンタイム			
3月15日 (木)	RI生産		メンテナンス		4月5日 (木)	来期マシンタイム			
3月16日 (金)	RI生産		メンテナンス		4月6日 (金)	来期マシンタイム			
3月17日 (土)					4月7日 (土)				
3月18日 (日)					4月8日 (日)				
3月19日 (月)	長期メンテナンス				4月9日 (月)	来期マシンタイム			
3月20日 (火)	長期メンテナンス				4月10日 (火)	来期マシンタイム			
3月21日 (水)	春分の日				4月11日 (水)	来期マシンタイム			
3月22日 (木)	長期メンテナンス				4月12日 (木)	来期マシンタイム			
3月23日 (金)	長期メンテナンス				4月13日 (金)	来期マシンタイム			
3月24日 (土)			建国記念の日		4月14日 (土)				
3月25日 (日)					4月15日 (日)				

## 平成 29 年度 放医研サイクロトロン利用報告書

発行年月 2018 年 12 月

編集発行 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構

連絡先 〒263-8555

千葉県千葉市稲毛区穴川 4-9-1

放射線医学総合研究所

加速器工学部部 サイクロトロン運転室

TEL : 043-206-3171 Fax : 043-287-6146

Email : [cyc\\_mt@qst.go.jp](mailto:cyc_mt@qst.go.jp)

URL : <http://www.qst.go.jp/>

印刷 株式会社 弘報社印刷

©2018 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構

Printed in Japan

QST-M-15

<http://www.qst.go.jp/>