



NIRS-M-217

平成19年度

# サイクロトロン利用報告書



独立行政法人 放射線医学総合研究所



# 目 次

1. サイクロトロンの運転・維持及び改良・開発	( 1)
2. サイクロトロンの R I 製造への利用状況	( 9)
3. 生物・物理研究	
3-1. 重粒子線の生物効果初期過程における基礎物理研究	(13)
3-2. Measurements of metaphase chromosome aberrations in normal human fibroblasts and human lymphocytes exposed to energetic protons	(17)
4. 粒子線検出器の開発	
4-1. 宇宙環境中での中性子検出器の開発	(21)
4-1-I. 中性子線量計のシリコン素子の荷電粒子に対する特性評価	(22)
4-1-II. 飛翔体搭乗員用の個人線量計の開発に関する研究	(23)
4-1-III. ホスウィッチ形中性子システムの特性評価	(24)
4-1-IV. プラスチックシンチレーターの波形の粒子種依存性の実測	(26)
4-1-V. フラグメント生成 2 重微分断面積の測定	(27)
4-2. 宇宙放射線の荷電粒子成分検出器の開発	(29)
4-2-I. 宇宙機搭載放射線観測装置の開発	(30)
4-2-II. 超小型トータルドーズセンサの校正試験	(32)
5. 研究成果一覧	(35)
6. 関連資料	
平成 19 年度第 I 期・II 期マシンタイム予定表	(47)



## 1. サイクロトロンの運転・維持及び改良・開発



# 平成19年度サイクロトロンの運転・維持及び改良・開発

杉浦彰則<sup>a</sup>、本間壽廣<sup>a</sup>、金澤光隆<sup>a</sup>、鈴木直方<sup>a</sup>、北條 悟<sup>a</sup>、河野耕二<sup>a</sup>、金井達明<sup>a</sup>、  
岡田高典<sup>b</sup>、小松克好<sup>b</sup>、神谷 隆<sup>b</sup>

<sup>a</sup> 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

## 概要

放射線医学総合研究所のサイクロトン施設には、建設より34年間運転を続けている大型サイクロトン(NIRS-930)と、1994年に放射性薬剤の製造を目的として導入された小型サイクロトン(HM-18)の2台のサイクロトンがある。大型サイクロトンで加速されたビームは、9つの照射ポートにおいてさまざまな用途で利用されている。そのうち、2つの放射性薬剤の製造専用照射ポートでは、小型サイクロトンで加速されたビームの利用も行なわれている。これら2台のサイクロトンは、平成19年度も大きなトラブルも無くビーム供給を行なう事ができており、放射性薬剤の開発研究を中心に、宇宙環境中における粒子線の検出器の開発や、重粒子線治療に関する生物・物理の基礎実験が行なわれた。

本報告書では、平成19年度における2台のサイクロトンの利用状況、及び改良・開発について報告する。

## 1. 利用状況

放射線医学総合研究所のサイクロトン施設には、大型サイクロトン(NIRS-930)と小型サイクロトン(HM-18)の2台のサイクロトンがある[1]。大型サイクロトンでは外部イオン源で生成されたさまざまなイオンを加速し、放射性薬剤の製造を中心として、生物・物理の実験など幅広い分野に利用されている。小型サイクロトンは、陽子(P)18 MeVと重陽子(D)9 MeVの加速を行っており、放射性薬剤の製造にのみ利用されている。大型サイクロトンから取出されたビームは、4つの照射室にある9つのビームポートにおいて利用されている。C-1, C-2 コースはRI生産照射室、C-4 コースは直線照射室、C-9 コースは垂直照射室にあり、これらのビームポートでは放射性薬剤の製造が行なわれている。小型サイクロトンからは、RI生産照射室にのみ供給が可能となっている。また、C-9 コースと同室に中性子照射ポート(C-3 コース)があるが、本年度は利用されていない。C-6, C-7, C-8, C-10 コースは汎用照射室にあり、生物・物理実験などの様々な分野で利用されている。

### 1-1. 大型サイクロトンの利用状況

平成19年度の大型サイクロトンの分野別運転時間を図1に、粒子・エネルギー別運転時間を表1に示す。大型サイクロトンの分野別運転時間は、A) 放射性薬剤の製造では407.3時間、B) 生物・物理研究では277.7時間、C) 粒子線検出器の開発では252.2時間、D) 有料ビーム提供では111.8時間となり、ビーム供給時間の総計は、1056.1時間であった。また、ビーム供給以外のE)調整運転は、789.0時間であり、総運転時間は、1845.1時間となる。各分野における、利用粒子やエネルギーなどについて以下に述べる。

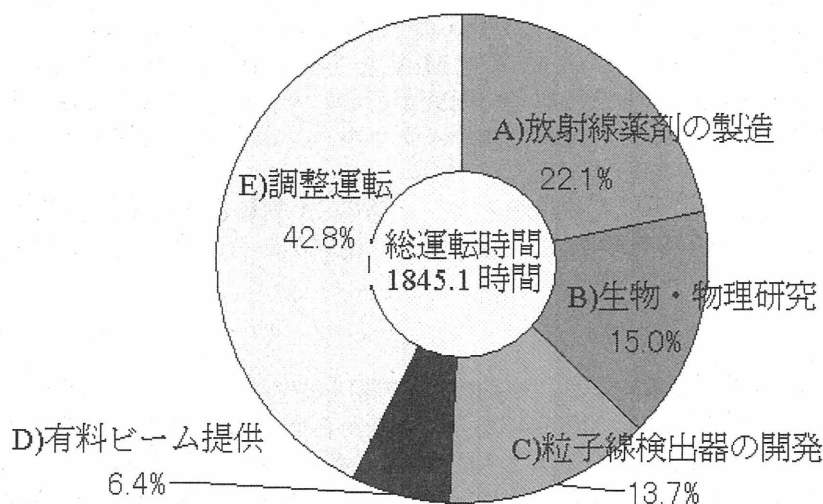


図1. 大型サイクロトンの分野別運転時間



表1. 大型サイクロトロン粒子・エネルギー別運転時間

陽子(P)		水素分子(H <sub>2</sub> <sup>+</sup> )		アルファ粒子(α)		炭素( <sup>12</sup> C <sup>4+</sup> )		酸素( <sup>16</sup> O)	
エネルギー [MeV]	運転時間[時間]	エネルギー [MeV]	運転時間[時間]	エネルギー [MeV]	運転時間[時間]	エネルギー [MeV]	運転時間[時間]	エネルギー [MeV]	運転時間[時間]
80	34.0	36	184.5	100	38.0	144	42.5	(6価)	
70	214.6	30	3.5	78	4.8	72	299.3	160	50.0
55	1.5	28	38.5	74	9.0			128	16.0
40	242.1	25	8.0	50	3.0			(5価)	
38	27.0			40	61.7			160	30.5
30	306.5								
25	10.5								
20	10.7								
18	170.9								
15	5.5								
14	32.5								
計	1055.8		計 234.5		計 116.5		計 341.8		計 96.5
総運転時間[時間]									1845.1

#### A) 放射性薬剤の製造

大型サイクロトロンにおけるビーム供給の中で最も大きい部分を占めているのは放射性薬剤の製造[2]に関するビーム供給で、総運転時間の 22.1% (407.3 時間)を占めている。ここでは主に陽子(P)14～40 MeV とアルファ粒子(α)40 MeV のビームが、放射性薬剤の開発研究や、臨床研究及び診断用の放射性薬剤を製造するために利用されている。これらの実験は、RI 生産照射室(C-1,C-2 コース)、直線照射室(C-4 コース)で行なわれた。また、昨年度に放射性薬剤の製造用に改修が行なわれた垂直照射室(C-9 コース)では、本年度よりビーム調整が行われ照射実験が開始されている。本年度は、C-1,C-2 コースへ、週に 2 回程度、C-4 コースへ週に 1 回程度、C-9 コースへ週に 2 回程度の頻度でビーム供給が行なわれた。また、ジェネレーター(<sup>62</sup>Zn-<sup>62</sup>Cu)の製造が昨年度に引き続き行なわれ、福井大、横浜市大、がんセンター東病院と、放医研の 4 施設へ提供された。このジェネレーターの製造では、P30 MeV, 20 μA のビームを C-4 コースへ 10 時間連続で安定に供給を行なった。放射性薬剤の製造へのビーム供給において、P14 MeV と P18 MeV のビームでは、要求されたビーム強度(ターゲットにおいて 20 μA)を満たすことが困難となっていた。この問題については「2. 装置の改良・開発」内で詳細を述べる。

#### B) 生物・物理研究

生物・物理の研究では 277.7 時間が利用され、総運転時間の 15.0%を占めている。ここでは重粒子線や陽子線の生物効果に関する研究が、汎用照射室の C-10,C-8 コースで行なわれた。重粒子線における生物効果の研究では、C-10 コースにおいて炭素 72 MeV と 144 MeV のビームが利用され、炭素イオンが水に衝突することによって発生する二次電子の研究が行われた[3]。この実験では、炭素イオンの 4 価と 6 価のビーム要求があり、6 価の供給の場合はサイクロトロンから 4 価で炭素ビームを加速し、輸送系の途中で 6 価に荷電変換して供給を行った。

また、陽子線を照射した正常ヒト繊維芽細胞とリンパ球の M 期染色体異常の研究が行われた[4]。この実験では、P70 MeV のビームを均一で広い分布にする要求があり、ワブラーの設置されている C-8 コースが利用された。

#### C) 粒子線検出器の開発

粒子線検出器の開発は、総運転時間の 13.7% (252.2 時間)を占めている。ここでは、P30～70 MeV と α100 MeV のビームが利用されており、個人被ばく線量計から衛星搭載用の放射線観測装置まで、様々な検出器の開発が行なわれた[5,6]。この実験は主に汎用照射室の C-6,C-8 コースで行なわれた。実験の目的上、極少ないビーム量での利用が多く、また、ビームのプロファイルや、ビームバンチ内での時間分布の条件といった多様な要求があり、それぞれの要望に応じて運転を行なった。



#### D) 有料ビーム提供

サイクロترون施設では、本年度も外部機関への有料ビーム提供を行なった。主な提供先は、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の4つの実験グループと、HIREC株式会社のグループである。有料ビーム提供の運転時間は111.8時間で、総運転時間の6.4%を占めている。この運転時間は料金の発生していない提供開始前の準備時間も含まれている。実際に有料である提供時間の総計は92時間となっている。この提供ではP30~70 MeVのビームが擬似宇宙線として利用され、衛星搭載機器等に対する耐放射線試験が行なわれた。

#### E) 調整運転

大型サイクロترونでは、総運転時間の42.8%となる789.0時間を調整運転が占めている。この調整運転の中では、新たに要求が出された酸素ビームの調整時間や、陽子ビームの代替えとして用いた $H_2^+$ などのビーム調整時間が215時間となった。また、その他のビーム調整では、本年度よりRI製造が始まったC-9コースへの輸送効率の改善や、ジェネレーター用のP30 MeVのC-4コースへのビーム調整などが行なわれた。また、障害防止法に基づき年2回行なわれている放射線漏洩測定も、この時間内で行なわれた。

#### 1-2. 小型サイクロトロンの利用状況

小型サイクロترون(HM-18)は、放射性薬剤の製造を目的として、P18 MeVとD9 MeVのみの加速を行なっている。小型サイクロトロンの運転時間を図2に示す。 $^{11}C$ や $^{13}N$ の製造に利用されるP18 MeVが全体の91.1%を占め、1212.5時間であった。 $^{15}O$ の製造に利用されるD9 MeVは全体の7.9%で、104.8時間であった。今年度の総運転時間は1317.3時間であった。小型サイクロترونでは多くの種類のビームを出すことはなく、十分な強度が得られているため、調整運転の時間は、全体の1.0%(14.0時間)で済んでいる。

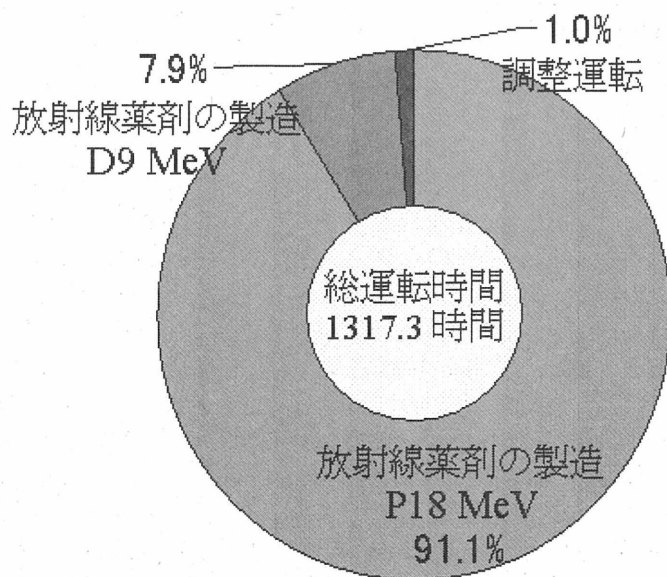


図2. 小型サイクロトロンの運転時間

#### 1-3. 総運転時間の推移

過去5年間の大型・小型サイクロトロンの運転時間の推移を図3に示す。本年度の大型サイクロトロンの総運転時間は、過去5年間の中で最長となっている。これは、マシンタイムのビーム供給終了後にもビーム調整を行なっているからである。平成17、18年度は大型サイクロトロンの加速高周波系更新工事にともなって運転を停止しているため、総運転時間が大型小型ともに少なくなっている。平成16年度と比較すると、本年度の大型サイクロトロンのビーム供給時間が若干少なくなっている。これは、本年度から放射性薬剤の製造用に利用されたC-9コースへのビーム調整を、放射性薬剤の製造のマシンタイム中に行なったからである。本年度の小型サイクロトロンの総運転時間は、平成16年度と同等の1300時間付近となっている。



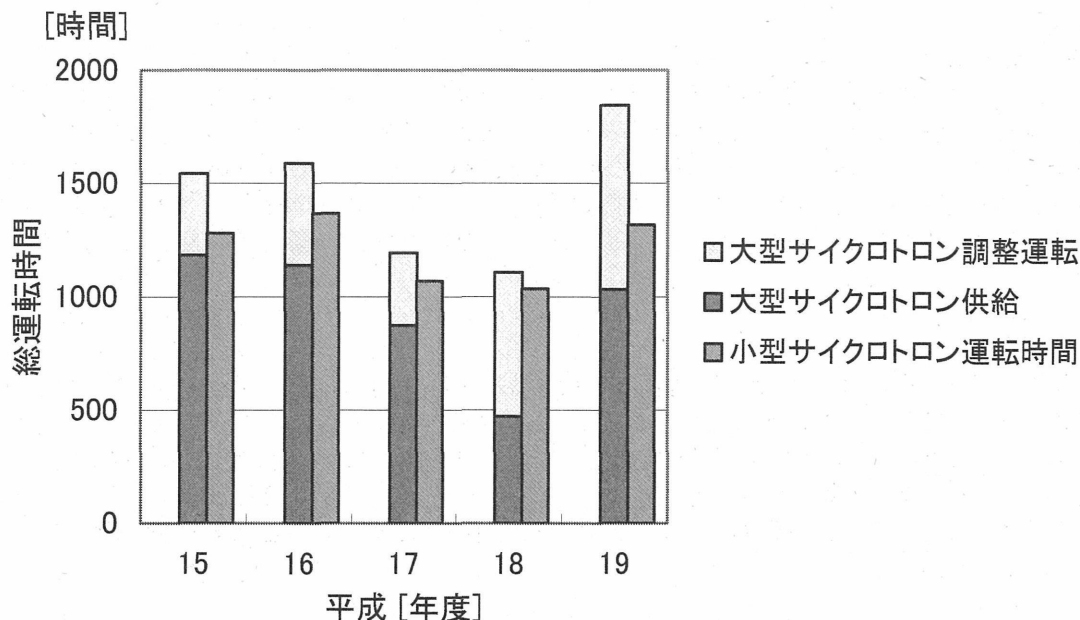


図 3. 過去 5 年間の総運転時間の推移

## 2. サイクロトン装置の改良・開発

サイクロトン施設では装置の維持・性能向上のために、いくつかの改良・開発を行なってきた。本年度に行った改良・開発は、A)低エネルギー陽子ビームの強度増強、B)ハーモニック 1 -ハーモニック 2 兼用中心電極、C)バックアップイオン源の設置である。以下にその概略を示す。

### A) 低エネルギー陽子ビームの強度増強

大型サイクロトンの、低エネルギー帯である P14 MeV, 18 MeV において、ターゲットでのビーム強度が 20  $\mu\text{A}$  という大強度の要求が多くなってきた。P14 MeV や 18 MeV の様な、取出しエネルギーが低いときは、サイクロトンへ入射するときのビームのエネルギーも低くなる。入射するときのエネルギーが低く、ビーム強度の多い時は、空間電荷効果による影響が大きく、入射から取出しまでの効率が悪化してしまう。例えば、陽子ビーム 18 MeV の入射エネルギー 5.3 keV で 250  $\mu\text{A}$  を入射した場合、入射から取出しまでの効率が、高いエネルギーのときと比較して半分程度になってしまった。そのときに得られた P18 MeV のビーム強度は、要求値の半分である 10  $\mu\text{A}$  しか得られていなかった。P14 MeV においては、入射エネルギーが 4.1 keV と更に低く、同様の問題があった。この問題を解決するために、水素分子イオン( $\text{H}_2^+$ )を入射・加速・取出した後、解離させて陽子(P)ビームを得る方法を試みた。解離した後に P14 MeV 及び P18 MeV のビームを得るためには、 $\text{H}_2^+$ ビームのエネルギーはそれぞれ 28MeV 及び 36 MeV が必要になる。 $\text{H}_2^+$ の入射エネルギーは、28 MeV 取出しのときには 8.2 keV、36 MeV 取出しのときには 10.5 keV といった、陽子ビームに比べての倍の高いエネルギーでの入射となる。そのため、陽子に比べ空間電荷効果が少なく、入射から取出しまでにおいて高い効率が得られると考えた。

サイクロトン出口のビームストッパー直前に、 $\text{H}_2^+$ ビームを解離するためのアルミフォイル (厚さ 6.5  $\mu\text{m}$ , 径  $\Phi 38$ ) を設置した。フォイルを透過することによって水素分子が陽子に解離され、ビーム強度が 2 倍になる事を期待したが、ビームテストの結果、得られたビーム強度は 1.5~1.6 倍程度になっている。これは、フォイルのフレームで止められるビームや、フォイルからの二次電子によってビームストッパーにおける電流値の減少が原因として考えられる。

$\text{H}_2^+$ 28 MeV では、250  $\mu\text{A}$  を入射したときサイクロトン出口で 19  $\mu\text{A}$  が得られた。これを解離させ、P14 MeV のビームを 28  $\mu\text{A}$  得る事ができた。同様に、 $\text{H}_2^+$ 36 MeV ではサイクロトンの出口で 16  $\mu\text{A}$  が得られ、これを解離し P18 MeV のビームを 28  $\mu\text{A}$  得る事ができた。この試験の結果から、要求されたそれぞれのエネルギーの陽子ビームにおいて、十分な強度が供給可能となった。

しかしながら、水素分子ビームの運転時間の増加によって、インフレクターの放射化が問題となった。サイクロトン内部を加速中の水素分子ビームの一部は、残留ガスなどにより解離され陽子ビームになってしまう。解離されてできた陽子ビームは軌道半径が半分になるため、サイクロトンの中心部に集中し損失する。これにより、中心電極の放射化レベルが高くなり、交換作業時の被ばくが問題になった。そのため、次節に述べる兼用インフレクターの設計製作が行なわれた。

## B) ハーモニック 1－ハーモニック 2 兼用中心電極

大型サイクロトロンでは、ハーモニック 1 とハーモニック 2 という 2 つの運転モードで、ビーム供給を行なっている。加速エネルギーを変更する際に、陽子では、20 MeV を境に運転モードを切替えなければならない。ユーザーの多様な要望に応えるため、1 日のマシンタイム中のエネルギー変更が多くなり、それに伴う運転モード切替えの回数も増加してきた。運転モードの切替えには、それぞれの運転モード専用の中心電極への交換作業が必要である。しかしながら、前節に述べたように、水素分子ビーム加速によって中心電極の放射化レベルが高くなっており、交換作業時の被ばくが問題となった。そこで、交換作業を必要としない、どちらの運転モードでも対応できる兼用中心電極の製作を行なった。

運転モードの切替えにより、交換作業を要する中心電極はプラーとインフレクターの 2 つがあり、双方ともに兼用化が必要となる。まず、プラーについては、運転モードにより先端角度が大きく異なっている。兼用プラーは、内部イオン源での運転を行なっていた頃に、両モード兼用のプラーが実用化されていたため[7]、それを基に先端角度を決めて設計製作を行なった。図 4 に製作された兼用プラーの写真を示す。次にインフレクターでは、運転モードにより高圧電極の形状が異なっている。これは、電極内部のビーム軌道が異なっているためである（図 6、インフレクター内部のビーム軌道）。兼用インフレクターでは、ハーモニック 1 とハーモニック 2 の中間軌道を基に高圧電極の形状の設計製作を行なった[8]。製作された兼用インフレクターの高圧電極の写真を図 6 に示す。

兼用中心電極を用いて、ビーム加速を行なった結果は良好で、P14～70 MeV までの主要エネルギーにおいて十分な強度のビーム取出しが確認できたため、マシンタイムにおけるビーム供給に使われている。この改造により、オペレーターの被ばくを大幅に減らすことができ、エネルギーの切替え時間も短縮することができた。

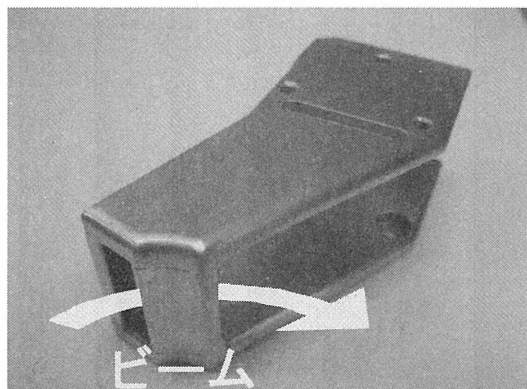


図 4. 兼用プラー

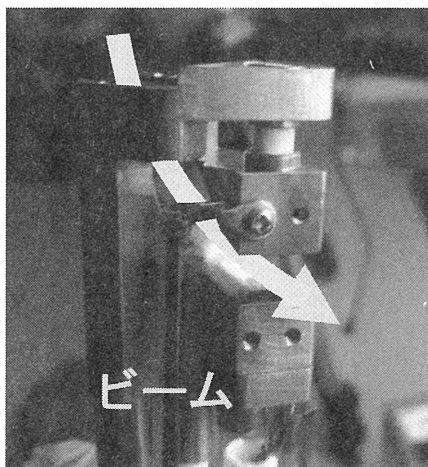


図 6. 兼用インフレクターの高圧電極

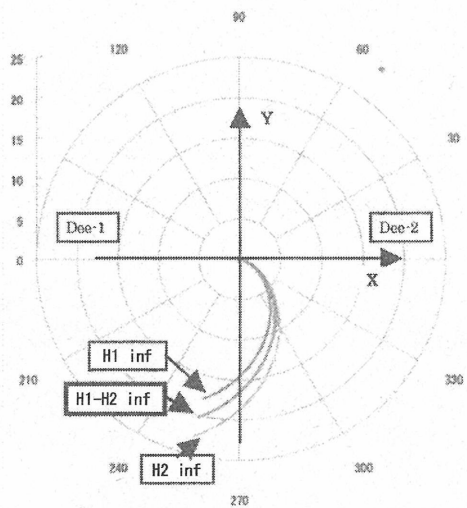


図 5. インフレクター内部のビーム軌道



### C) バックアップイオン源

大型サイクロトロンの垂直入射系には、ECR イオン源 (Kei-Source) [9,10]とマルチカスプ型負イオン源が設置されている。マシンタイムにおけるビーム供給は、ECR イオン源からの  $H^+ \sim ^{12}C^{4+}$ 等の陽イオン加速のみで行われており、マルチカスプ型負イオン源から引き出されるの負イオン( $H^-$ )加速は、未だテスト段階のためビーム供給への実用化はされていない。そのため、ECR イオン源が故障した場合には、大型サイクロトロンからのビーム供給を中止せざるを得ないため、ECR イオン源が故障した場合のバックアップイオン源の製作を行なった (図 7)。

バックアップイオン源は、水素分子イオンを生成できるので、陽子ビームの供給が可能となる。本年度の粒子別運転時間集計 (表 1) から分かるように、陽子 ( $H^+$ ) と水素分子 ( $H_2^+$ ) ビームの供給が可能となれば、全体の 70%を補うことができる。このイオン源は、基々コンパクトマイクロ RF イオン源として、製造されたものであるが、カソードへ直流電圧を加えてカソードーアノード間で放電を起こす PIG 型イオン源へと改造を行なった。カソードは、アーク電流を増すために先端をすり鉢状にし、高温になるためタンタル製とした (図 8)。

大型サイクロトロンから、C-9 及び C-1,2 コースへ 20  $\mu A$  の陽子ビームを供給するために必要な水素分子イオンビームの強度は、イオン源の引き出し電圧を 8 kV (大型サイクロトロン水素分子 28 MeV 加速時の入射電圧相当) とした場合に、イオン源の出口では 200  $\mu A$  が必要となる。テストベンチでイオン源単体のビーム試験を行った結果、水素分子イオンビームを 240  $\mu A$  得ることができた。このときの引き出し電圧は 8 kV で、カソードへの印加電圧は 1.5 kV、イオン化ガスには水素ガスを用いた。

ビーム試験の結果から、供給可能となるビーム強度が得られる事が確認されたため、大型サイクロトロン垂直入射系へ設置を行なった (図 9)。設置場所は、入射ビームを直角に振り下げる 90 度偏向電磁石の上部に設置された。バックアップイオン源からのビームは、90 度偏向電磁石を真直ぐに通り抜けてサイクロトロンへ入射される。そのため、90 度偏向電磁石の残留磁場の影響を補正する偏向要素や、ビームの広がりを抑える集束要素等が必要となる。今後、これらの偏向・集束要素となるビーム輸送系の整備や、イオン源の遠隔制御などの整備を行なっていく予定である。

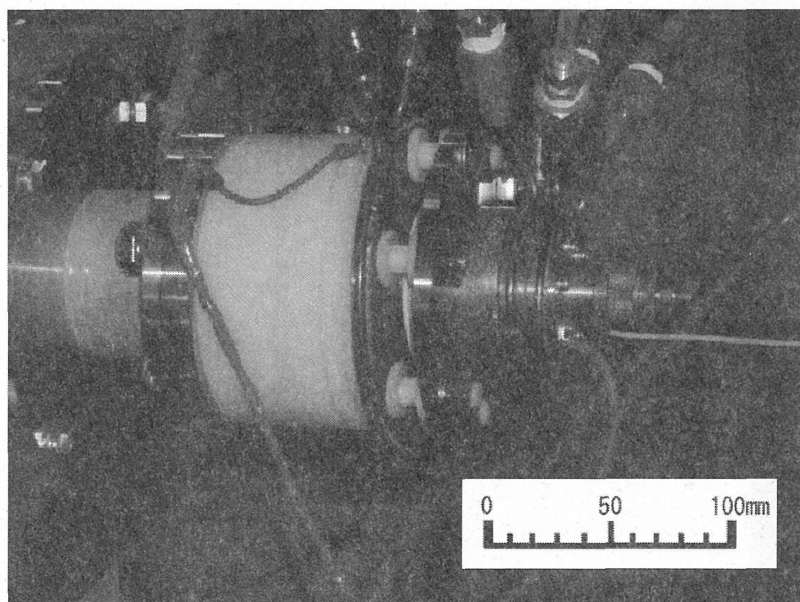


図7. バックアップイオン源  
(コンパクトマイクロ RF イオン源改造 PIG 型イオン源)

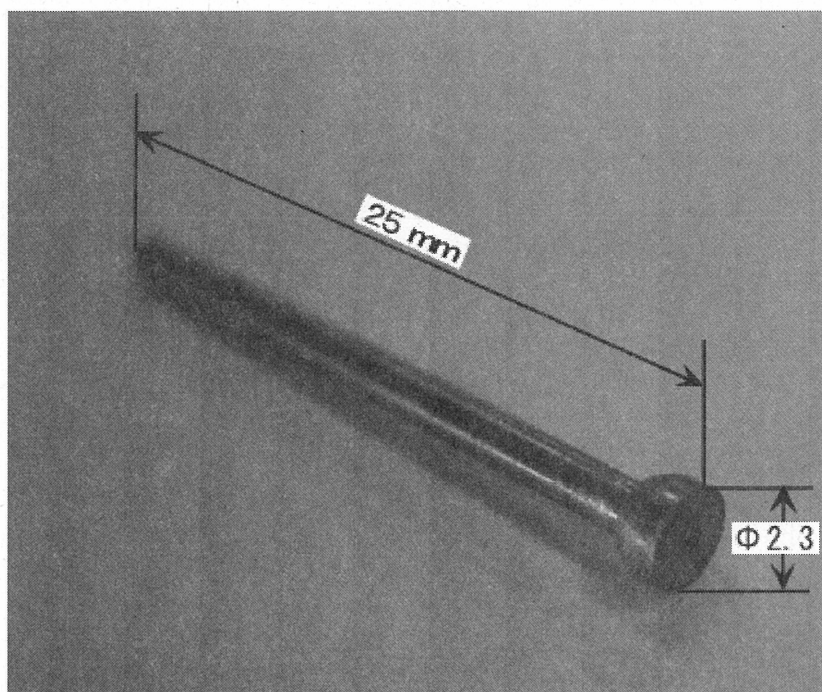


図 8. 先端をすり鉢状にしたタンタル製のカソード

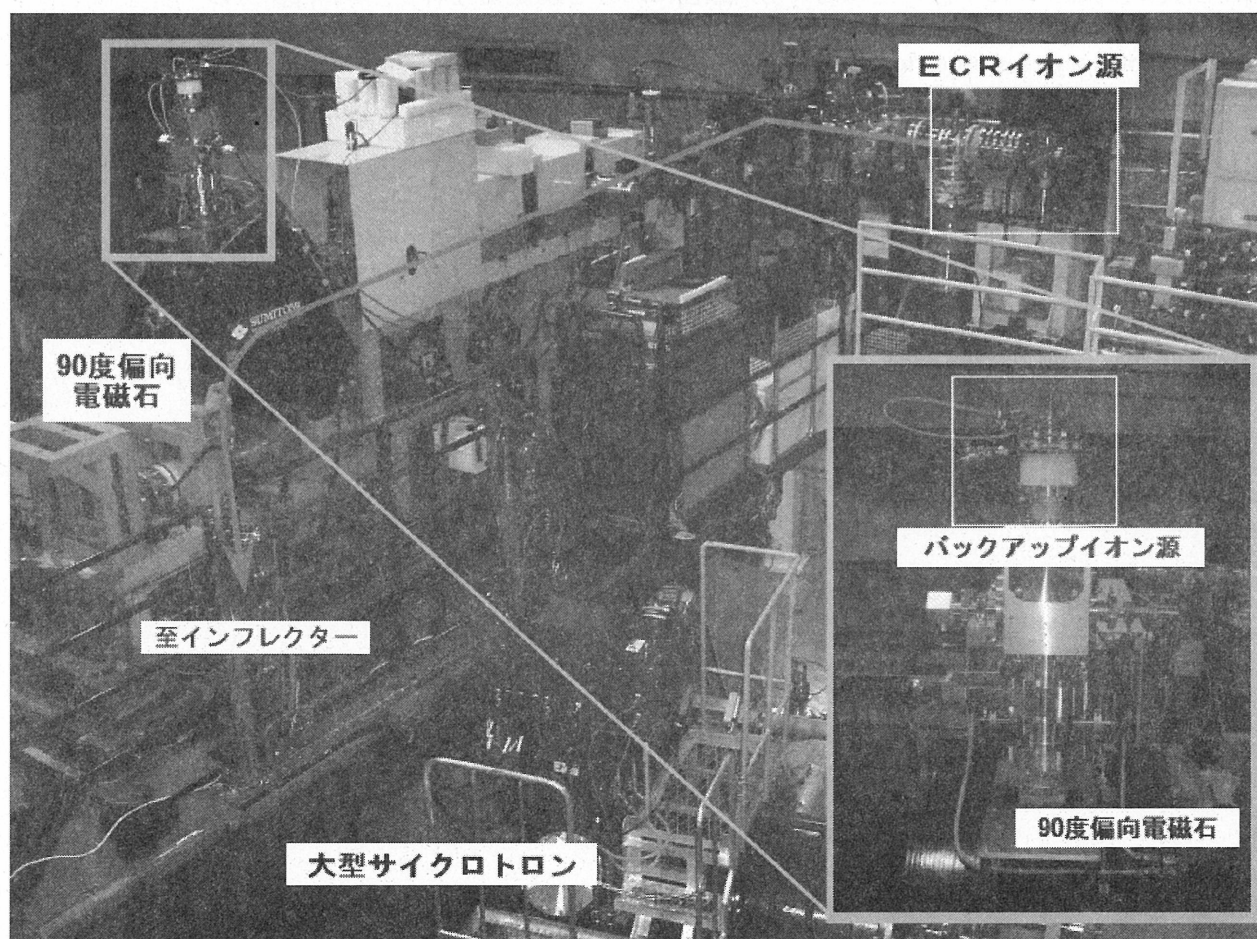


図 9. 垂直入射系に設置されたバックアップイオン源



### 3. サイクロトロン施設の運転維持

サイクロトロンの長期メンテナンスは、8月と3月のそれぞれ2週間の停止期間に行なわれた。大型サイクロトロンにおいては、大気開放による内部点検や、通常24時間運転されている真空排気系の点検及びメンテナンスが行なわれた。小型サイクロトロンでは、製造会社による定期点検が行なわれた。

本年度は、装置の故障防止のために、制御機器への放射線遮へいを行なった。本体室に設置されている、ECR イオン源の制御装置は、放射線の影響と思われる誤動作や、故障が生じていた。そのため、制御機器の四方を27 cm 厚のポリエチレンで囲い、放射線遮へいを行った。遮へいによって放射線の量は、中性子線を1割、ガンマ線を4割程度に減らす事ができた。遮へいを行って以来、誤動作および、故障等は生じていない。

作業上の安全対策として、大型サイクロトロンの電磁石ヨーク上に落下防止対策を行なった。電磁石ヨーク側面の高周波共振器が、昨年度更新され、小型化したことにより、落下防止対策が必要となった。そのため、ヨーク側面に落下防止柵を設置した。また、ECR イオン源への高電圧印加時と、大型サイクロトロンの高周波電力印加中を明確化するために、表示器の設置を行なった。

施設設備については、前年度にサイクロトロン冷却水循環施設が更新され、24時間の監視体制がとられたため、1次冷却水の供給が24時間供給可能となった。また、2次冷却水系統において、大型サイクロトロン周辺、小型サイクロトロン周辺、直線照射室に、漏水検出器を設置した。この漏水検出器は、浸水被害を最小限とする早急な対応を行なうため、冷却水循環施設と同様に24時間の監視体制がとられた。

### 参考文献

- [1] T.Honma, et al., RECENT STATUS OF THE NIRS CYCLOTRON FACILITY, The 18th International Conference on Cyclotrons and Their Applications, pp137-139
- [2] 鈴木和年, et al., サイクロトロンの RI 製造への利用状況, 本誌, pp9-12
- [3] 大澤大輔, et al., 重粒子線の生物効果初期課程における基礎物理研究, 本誌, pp13-15
- [4] Honghoug Chen, et al., Measurements of metaphase chromosome aberrations in normal human fibroblasts and human lymphocytes exposed to energetic protons, 本誌, pp17-19
- [5] 高田真志, et al., 宇宙環境中での中性子検出器の開発, 本誌, pp21-27
- [6] 北村尚, et al., 宇宙放射線の荷電粒子成分検出器の開発, 本誌, pp29-34
- [7] T.Okada et al., DEVELOPMENT A NEW ACCELERATION GEOMETRY IN A CENTRAL REGION AT NIRS-930 CYCLOTRON, proceedings of WAO 2005
- [8] A.Sugiura, et al., Status Report of NIRS Cyclotron, Proc. of ARTA 2008 Tokyo, pp.19-22
- [9] M.Muramatsu et al., Kei-Source, Proc. of the 15th International Workshop on ECRIS 2002, pp.59-62
- [10] T.Honma, et al., Low-energy ion decelerator for an external injection line at the NIRS-930 cyclotron, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS 77,03B909 (2006)

## 2. サイクロトロンのR I 製造への利用状況



## サイクロトロンの RI 製造への利用状況

### 分子イメージングセンター、分子認識研究グループ

鈴木和年、入江俊章、福士清、根本和義、中尾隆士、福村利光、張明榮、大矢智幸

#### [概要]

分子認識研究グループでは、大型、小型サイクロトロンを利用して  $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{18}\text{F}$  その他の金属ポジトロン核種で標識した標識化合物を定常的に製造し、分子イメージングセンターだけではなく重粒子医科学センター病院などに提供している。その主な用途は、放射薬剤の製造法、及び新規放射性薬剤の開発研究、動物実験による薬剤の有効性評価、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断、2) 統合失調症、躁鬱病、アルツハイマー病などの精神神経疾患の診断や病態解明研究などに利用されている。またその他、植物における水の動態の解明等にも利用されている。

本年度の「新規短寿命放射性薬剤の有効性及び安全性に関するワーキンググループ」において新規に6種類の短寿命放射性薬剤 [ $^{11}\text{C}$ ]MNPA が承認され臨床利用への提供が可能となった。本年度に製造した標識化合物の種類、生産量、診断提供量及び実験提供量を表1に示す。製造した短寿命放射性薬剤は、腫瘍診断（メチオニン、FDG、FLT、 $^{62}\text{Cu}$ -ATSM）、脳機能測定（ラクロプライド、MNPA、FLB、BTA、DOPA、など）の臨床利用、サル、ウサギなどの動物実験（BTA、DASB、MNPA、FETDAA、など）、校正用ファントム線源（FDG、 $\text{F}^-$ など）等に提供した。また、サイクロトロン棟の大型サイクロトロンを利用して製造を行った  $^{62}\text{Zn}/^{62}\text{Cu}$  ジェネレータを3研究機関に25回の譲渡をおこなった。

また、新規薬剤製造法研究、高比放射能化研究等のためにも短寿命放射性同位元素が製造された。以下に放射薬剤に関する製造法の研究やそれらを用いた研究について代表的な成果を簡単に紹介する。

表1. 平成19年度に製造した標識化合物および生産量

核種	化学形	生産量 GBq (回数)	診断供給量 GBq (回数) (人数)	動物供給量 GBq (回数)	譲渡 GBq (回数)
<sup>11</sup> C	DOPA	54.919 (37)	26.461 (36) (36)	2.996 (9)	
	DASB	83.839 (38)	15.571 (17) (16)	10.452 (24)	
	DAA	33.07 (8)	13.009 (5) (5)	0.671 (1)	
	FLB	98.661 (40)	9.696 (29) (41)	7.743 (14)	
	MP4A	54.48 (10)	36.253 (10) (10)		
	BTA	179.1278 (63)	62.322 (35) (35)	26.934 (50)	
	SCH	79.564 (27)	3.846 (12) (14)	11.47 (19)	
	Ro1788	4.74 (2)			
	RAC	96.071 (44)	10.175 (28) (28)	8.094 (19)	
	WAY	55.444 (25)	9.88 (16) (16)	9.622 (18)	
	PE2I	71.008 (23)	0.277 (1) (1)	8.033 (19)	
	PK11195	4.2933 (8)			
	NNC	5.36 (1)			
	Ac5216	109.776 (45)		14.683 (31)	
	IRE	9.75 (5)			
	VER	17.66 (3)		3.537 (2)	
	BF227	12.65 (4)		1.633 (4)	
	MNPA	141.596 (46)	16.199 (13) (13)	15.139 (26)	
	s-dThd	4.985 (5)		3.462 (3)	
	MET	2019.427 (346)	1117.474 (458) (908)	3.241 (3)	
	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> I	6.579 (22)			
	CH <sub>3</sub> I	4.823 (7)			
	その他	255.8284 (376)		0.574 (1)	
	合計	3403.651 (1185)	1321.163 (660) (1123)	128.384 (243)	
<sup>13</sup> N	その他	66.126 (67)			
<sup>15</sup> O	H <sub>2</sub> O	254.63 (47)		136.569 (23)	
<sup>18</sup> F	FDG	127.828 (40)	69.029 (56) (107)	3.108 (7)	
	FEtDAA	66.961 (36)		22.2776 (37)	
	FEtSPARQ	5.186 (3)	4.208 (3) (3)		
	FLT	65.229 (34)	19.091 (31) (36)	4.507 (11)	
	FMISO	66.039 (25)			
	FMeNER	4.291 (4)	0.411 (2) (2)		
	FA45	0.809 (1)		0.541 (1)	
	TO-002	6.964 (9)		0.688 (2)	
	FAZA	15.773 (10)			
	F <sup>-</sup>	53.4547 (67)		18.357 (20)	
	その他	36.8355 (60)		3.453 (9)	
	合計	449.3702 (289)	92.739 (92) (148)	52.9316 (87)	
<sup>38</sup> K	K <sup>+</sup> 水溶液	17.8295 (29)			
<sup>61</sup> Cu	Cu	4.2213 (10)		0.399 (2)	
	Cu-ATSM	1.259 (3)		0.2808 (3)	
	合計	5.4803 (13)		0.6798 (5)	
<sup>62</sup> Cu	Cu-ATSM	8.4 (11)			
<sup>62</sup> Zn	<sup>62</sup> Zn/Cu	69.44 (17)	15.265 (13) (18)		44.36 (25)



1 腫瘍の悪性度診断や治療反応性予測を目的とする分子プローブ開発

腫瘍の DNA 合成画像イメージングを目的として、4'-[methyl- $^{11}\text{C}$ ]thiothymidineの有効性評価と安全性試験に関する検討を進めた。

2 酸化ストレスおよび防御システムに関連する機能を捉える分子プローブ開発

排泄輸送系の一つであるMRPの輸送機能測定を目指し、有望プローブの $^{11}\text{C}$  標識を行い小動物PETによる評価を行った。Glutathione/GST還元機能測定を目指し、測定原理とリードプローブデザインを行い、前駆体合成、標識検討を行った。

3 心筋組織再構築の非侵襲的評価法の開発

標識抗テネイシンC抗体のFvフラグメント化と最適抗体の選択試験を行った。

4 [ $^{11}\text{C}$ ]PIBおよび[ $^{11}\text{C}$ ]MP4A/MP4PによるPET臨床

$^{11}\text{C}$ -MP4A/MP4P (AChE測定) および $^{11}\text{C}$ -PIB (amyloid測定) によるPET臨床研究 (脳研究Gとの連携で) を行い、定量解析法に関する検討および認知症等の疾患への応用を行った。

5 標識薬剤の超高比放射能化に関する研究

100Ci/マイクロmolの高比放射能を有するドーパミン $\text{D}_2$ 受容体のリガンドである[ $^{11}\text{C}$ ]Racloprideを使用し、ラットの線条体と大脳皮質に二つの結合部位が存在することを見いだした。この結果は、通常の比放射能では発見が不可能であった。

6  $^{18}\text{F}$ 標識芳香族化合物の合成法に関する研究

ジフェニルヨードニウム塩に対する[ $^{18}\text{F}$ ]Fの求核性置換反応を利用し、[ $^{18}\text{F}$ ]フルオロベンゼン環を有するドーパミンのイメージング剤[ $^{18}\text{F}$ ]DOPAを高収率・高比放射能で製造することができた。

7 新規標識中間体の開発と利用

- ループ法を利用し、種々の[ $^{11}\text{C}$ ]アシル化試薬の効率的な合成法を確立した。また、これらの試薬を利用し、数種類のPETプローブ([ $^{11}\text{C}$ ]タミフルを含む)を合成し、動物実験を可能にした。
- [ $^{11}\text{C}$ ]ヨードメタンのニトロ化による[ $^{11}\text{C}$ ]ニトロメタンの製造法を確立した。またこれを利用して種々のアミノ酸類のための新規合成中間体である[ $^{11}\text{C}$ ]ニトロ酢酸エチルの合成に成功した。

8 新規ベンゾジアゼピン受容体プローブの開発

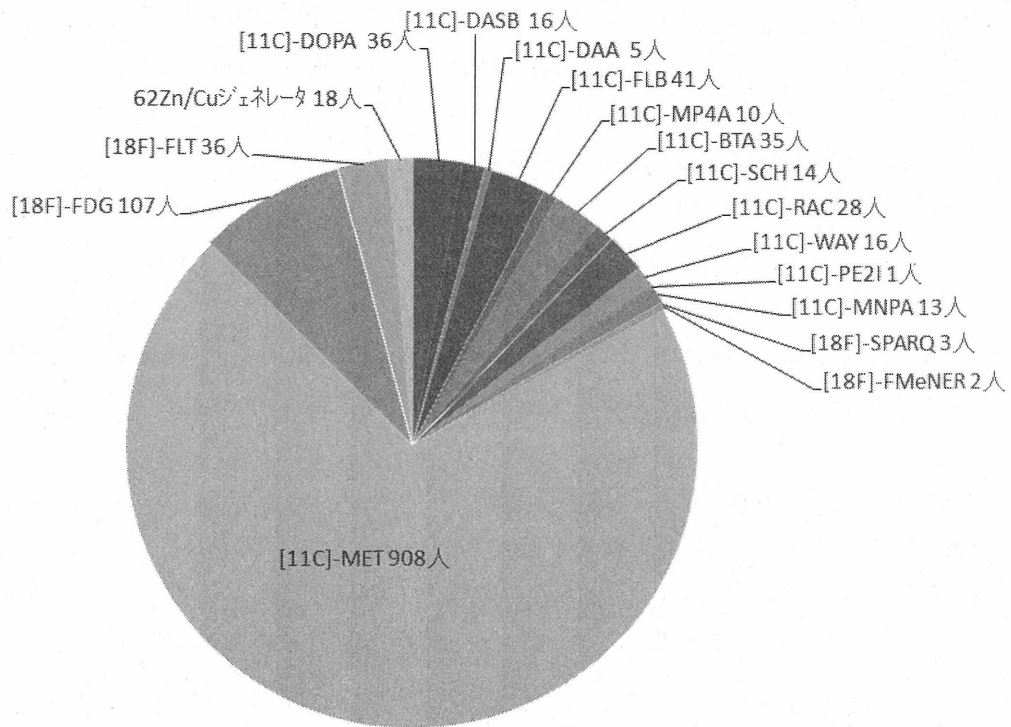
末梢性ベンゾジアゼピン受容体計測用に種々のPETプローブを合成し、臨床利用可能な

PETリガンド $[^{11}\text{C}]\text{AC-5216}$ を見だし、動物モデルでも、神経細胞損傷の検出に有用であることを証明した。

#### 10 $[^{62}\text{Cu}]\text{-ATSM}$ の臨床利用に関する研究

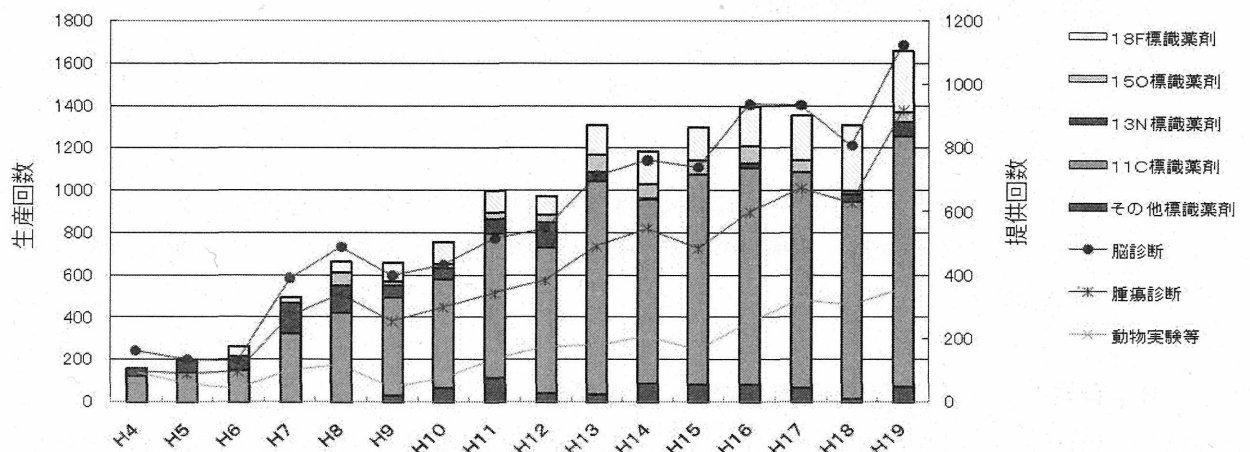
前年度に引き続き放射線医学総合研究所、国立がんセンター、横浜市立大学、福井大学の4施設により $[^{62}\text{Cu}]\text{-ATSM}$  の臨床利用に関する共同研究を行った。外部3施設および当所の合計4施設向けに月1回程度の $^{62}\text{Zn}/^{62}\text{Cu}$  ジェネレータの提供を行った。

19年度における化合物毎の被験者数



総被験者数  
(1289人)

各年度における生産回数と提供回数





### 3. 生物・物理研究

#### 3-1. 重粒子線の生物効果初期過程における基礎物理研究

# 重粒子線の生物効果初期過程における基礎物理研究

## Biophysical investigation on the initial process of heavy-ion impact

大澤大輔<sup>A</sup>、橋本浩利<sup>B</sup>、岡田豊史<sup>C</sup>、本間壽廣<sup>D</sup>、村上健<sup>D</sup>、曾我文宣<sup>D</sup>

D. Ohsawa<sup>A</sup>, Y. Hashimoto<sup>B</sup>, T. Okada<sup>C</sup>, T. Honma<sup>D</sup>, T. Murakami<sup>D</sup>, F. Soga<sup>D</sup>

京大<sup>A</sup>、理科大<sup>B</sup>、千葉大<sup>C</sup>、放医研<sup>D</sup>

### 研究概要

水分子への 6.0 MeV/u  $C^{6+}$  衝撃による放出二次電子線の生成二重微分断面面積測定を開始した。2007 年度では、MCP 交換、角度移動の遠隔操作化等の改良を行った後、二次電子計数のリニアリティ確認とバックグラウンド(BG)を再評価した。得られた二重微分断面面積の角度分布において、1~5 eV では soft collision 理論から予想される等方分布を示さず、 $He^{2+}$  入射と類似の 90° 劣勢対称分布を観測した。水分子の軌道情報(p 軌道)を反映した角度分布を示している可能性がある。微分断面面積と Rudd モデルスケール値(x36)との比較では、10 eV 以上で良い一致を示した一方、1~10 eV では 9~12 % 減少した。高 Z 入射でのスケール則の不適合、Two center 効果(加速)による放出二次電子のエネルギースペクトルの変化が原因として考えられる。

### 1. 研究目的と背景

QOL(Quality of life)の観点から放射線治療に対する期待は、今日急速に高まっている。放射線医学総合研究所の重粒子線がん治療装置(HIMAC : Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba)では、重イオン照射による深部がん治療が行われており、ここではブラッグピーク形成と呼ばれる荷電粒子線の持つ際立った特徴が利用されている。この治療法は照射による表面損傷が激減するという点で、従来の X 線や  $\gamma$  線照射によるそれと異なり非常に効果的かつ有望なものである。ブラッグピーク近傍(6-25 MeV/u)のエネルギー損失は物質の電離、励起によるものが主であり、それに伴って多数の二次電子が放出されるため、その生物効果はこれら放出二次電子線の空間及びエネルギー分布に密接に関係している。過去に、様々な入射核種(主に軽イオン)、ターゲット(主に希ガス)を用いてこの種の実験がなされてきたが、数 MeV/n の重イオン衝撃による水からの二次電子放出については、高真空中で安定希薄な水蒸気ターゲットを得ることが難しいこともあり、信頼できる高精度実験データは殆ど発表されていない。

本研究の目的は、ブラッグピーク近傍のエネルギー(数 MeV/n)を持つ重イオン衝撃により水分子から放出される二次電子線のエネルギー及び角度分布を測定し、既存の理論と比較しうる高精度な二重微分断面面積  $d^2\sigma/dEd\Omega$ (DDCS : Doubly Differential Cross Section)を評価することである。さらに、得られた DDCS を九大上原氏らにより開発された電子輸送コード(KURBUC)に組み込み、重イオンの水中におけるトラック構造(重イオンの飛跡に沿って生じるエネルギー付与の微視的空間分布)をモンテカルロ法により解析する。重イオンの生物影響はラジカル生成等の二次媒体を介さず、重イオン自身と生成二次電子の直接電離作用によるものが主であるとの考えもあり、重イオン照射によるがん治療の改良高度化の観点からも、これらの高精度評価が期待されている。重イオンの持つ高い生物学的効果比(high RBE)、低い酸素増感度(low OER)、細胞周期依存性が無い等のマクロな生物効果の、DNA レベルでのメカニズムはまだ不明な点が多い。トラック構造は DNA サイズ(~nm)におけるエネルギー付与の非均質性の情報を提供するため、DNA へのダメージ付与(局所的な原子/分子間結合の損傷)がどのようにして細胞不活性化(分裂停止)へ移行していくかを解明する端緒となる。断面データについては、近年、データの相互利用、有機的なフィードバックを目的とした原子分子データベースの構築、XML(eXtensible Markup Language)等による標準化が進められているが、重粒子線と生体構成原子/分子の相互作用に関する高精度基礎データは未だ整備されていない。本研究で得られる水蒸気ターゲットデータを組み入れることにより、重粒子線治療における治療計画の精密化、テーラーメイド医療の確立、その結果としてがん治癒率の向上に寄与できると言える。

### 2. 研究内容と成果

#### 2.1. 2006 年度までの経過

2006 年後半から 6.0 MeV/u  $C^{6+}$  衝撃による放出二次電子線の生成二重微分断面面積測定を開始した。 $\mu$ -metal 製冷却カバーを用いて低中速領域( $1 < E < 500$  eV)での  $d^2\sigma/dEd\Omega$ (DDCS)、 $d\sigma/dE$ (SDCS)を得ている。DDCS 角度分布において、1~5 eV では soft collision 理論から予想される等方分布を示さず、 $He^{2+}$  入射と類似の 90° 劣勢対称分布を観測した。低速電子放出はエネルギー付与の小さい(衝突径数の大きい)散乱によるものが主であり、光イオン化との類似性が予想されるため、水分子の軌道情報(p 軌道)を反映した角度分布を示している可能性がある。10~200 eV では、等方分布から 90° を最大とする、やや前方優勢分布を示した。等速  $He^{2+}$  入射での 90° 優勢対称分布とは異なっており、入射イオン価数 Z 増加(+2→+6)に伴う放出電子の入射イオンへの引き寄せ(Two center)効果の現れを示唆している。

入射イオン速度がターゲット原子(分子)の軌道電子速度(~ボーア速度= $2.19 \times 10^6$  m/s)に比べて十分高速な場合は、電離断面面積は入射イオン価数 Z の二乗スケール則(ボルン近似)がよい近似で成り立つとされている。



二体衝突近似をベースにH<sup>+</sup>衝撃での実験断面積値による補正を加えた半経験的解析式の1つであるRuddモデルにZ<sup>2</sup>スケーリング則(x36)を適用し、SDCSと比較したところ、10 eV以上で良い一致を示した一方、1~10 eVでは9~12%減少した。10 eV以下の低速電子放出はイオン-原子分子衝突における電離事象の圧倒的多数成分であるため、この増減、すなわちモデルとのズレは全電離断面積 $\sigma$ の変動へと直結する。従って阻止能、線エネルギー付与(LET)にも影響を及ぼすため、その評価は放射線生物学の観点からも重要である。この結果は等速He<sup>2+</sup>入射とは異なるものであり、高Zイオン入射でのスケーリング則の不適合、Two center効果(加速)による放出二次電子のエネルギースペクトルの変化が原因として考えられる。

## 2.2. 2007年度での成果

### 1. MCP 交換、角度移動の遠隔操作化

長年の使用によりノイズ増加、ゲイン低下がみられた MCP を新規に交換した。枯らし照射によるコンディショニング後、測定に供された。

チェンバ上蓋に既設の回転導入機にモータ駆動装置を、また、計測室に制御盤を設置し、角度移動を遠隔操作化した。照射室への頻繁な入室を抑制することにより、測定時間の大幅な短縮化と、入室の際のビームオンオフ操作によるビーム電流変動の低減化を実現した。

### 2. 二次電子(SE)計数のリニアリティ確認、バックグラウンド(BG)再評価

BG 要因として、(1) MCP 暗電流、(2) ビームハローが上流ダクトに当たる際に発生する X 線、(3) ビームがターゲット領域以外の残留水蒸気に衝撃して発生する二次電子が考えられる。 $\mu$ -metal 製冷却カバーによる測定は、磁場低減には必須だが、熱伝導率が Cu の約 1/10 と小さいため、放出水蒸気の氷結捕獲効率が低下し、真空度は、マスフローオフ時に比べ 10 sccm 時で約 1 桁悪化する( $\mu$ -metal:  $\sim 3.4 \times 10^{-5}$  Pa  $\rightarrow$   $\sim 5.5 \times 10^{-4}$  Pa、一方、Cu: 真空度変化なし)。従って、 $\mu$ -metal 製冷却カバーでは(3)の寄与を無視できない恐れがあるが、過去の測定では、マスフローオフ時の計数を BG としていたため、これを過小評価している可能性がある。この寄与はビームやマスフローのオン/オフ操作により直接測定できないため、マスフロー流量を変えて SE 計数の直線性(リニアリティ)を確認し、それを直線フィットすることで流量ゼロでの値(つまり Y 切片値)を求め、これを BG と評価せざるを得ないと判断した。リニアリティは、20, 30, 50, 90, 130, 160°の 5 角度、マスフロー流量 5, 10, 15, 20 sccm の 4 流量に対して、1~100 eV の SE 計数を測定して確認された。図 1 に SE 計数のマスフロー流量依存性(一部)を示す。SE は MCP 到達までにターゲット領域(半値幅 10.0x18.0 mm)内で散乱吸収を受けているため、その補正をした後、直線フィットし Y 切片値を求めた。

続いて図 2 に 1~100 eV に対して、直線フィットで得られた Y 切片値の角度分布(一部)を示す。1~20 eV に対しては 90°劣勢分布、一方、50~100 eV に対しては等方分布が得られた。マスフローオフ時の計数(従来の BG)と比べて大きく増加しており、(1)、(2)に比べて(3)の寄与がかなり大きいことが分かった。残留水蒸気はチャンバ内にほぼ均一に広がっており、ビーム軸に沿って(3)由来の二次電子が発生するが、このうち、分析器のアクセプタンス角で見込む領域から発生した分が分析器に入り込みうる。この有効領域は角度で幾何学的に決まり  $1/\sin \theta$  に従うため、 $1/\sin \theta$  フィットを試みたところ、90°近傍での一致が良くない結果となった(目安として  $\sin \theta$  フィットも示す)。単純に有効領域のみで決まらず、冷却カバーでの散乱二次電子線の流入等によるボケが生じている可能性が高い。

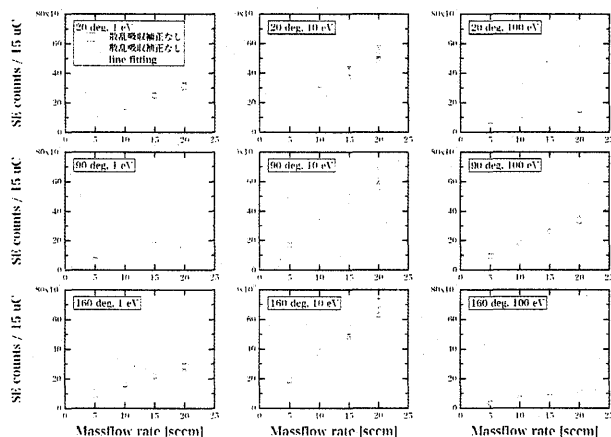


図1. SE計数のマスフロー流量依存性。SE計数は入射イオン電荷量15  $\mu$ Cで規格化されている。赤丸、青四角はそれぞれ散乱吸収補正あり、なし、また、実線は直線フィットを示す。

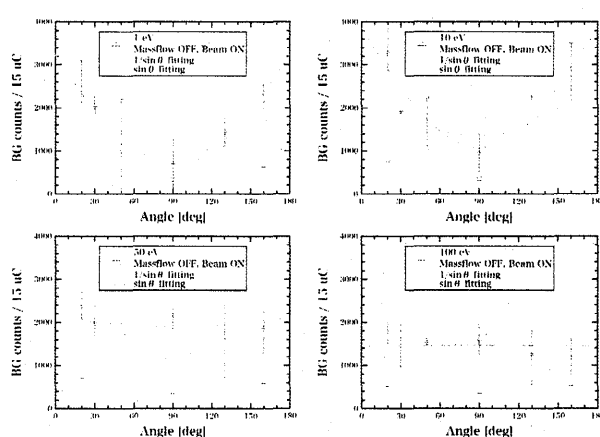


図2. Y切片値の角度分布。赤丸、青四角はそれぞれY切片値、マスフローオフ時の計数(従来のBG)、また、実線、点線はそれぞれ $\sin \theta$ 、 $1/\sin \theta$  フィットを示す。

続いて図3に再評価したBGから得られたDDCS、SDCSを示す。S/N比が10倍以上あるため、BG再評価による断面積変化は全系統エラー±13%の範囲内に収まり、結果に違いはない。MCP交換により再現性が改善された。

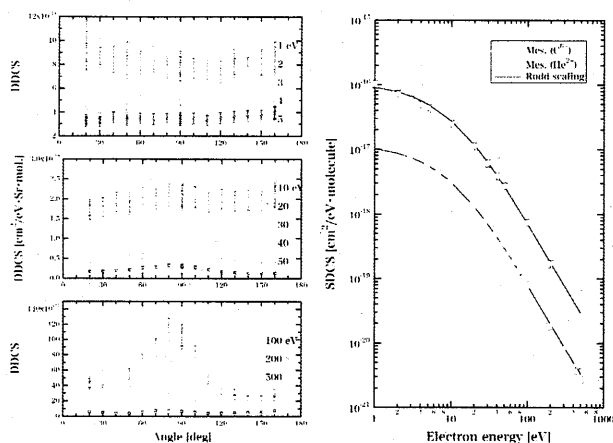


図3. 再評価したBGから得られたDDCS角度分布(左)、SDCSとラッドモデルスケール値(x36)との比較(右)。

### 3. 中高速領域(10 eV<E<10 keV)測定

2007年9月から、Cuカバーに交換し中高速領域(10 eV<E<10 keV)測定を開始した。2008年1月末までの8MTで、マスフロー流量 10 sccm に対して、角度 20~160°まで 10°刻み、エネルギー 10 eV~10 keV の SE 計数を測定した。Cu 製冷却カバーでは、10 sccm 時とマスフローオフ時とで真空度に変化がないため、マスフローオフ時の計数を BG としている。図 4 に結果(一部)を示す。等速 He<sup>2+</sup>入射に比べて約 9 倍の放出があり、比較的統計の良いデータが得られている。すべての角度に対して、500 eV 近傍に鋭い O-K-LL Auger ピーク、また、90°以下の角度に対して、幅広のバイナリピークを観測した。160°の高エネルギー領域(>3000 eV)では、分析器のエネルギー分解能を考慮してもなお多い SE 増加が観測されており、He<sup>2+</sup>入射と同様の高エネルギー電子異常放出が予想される。

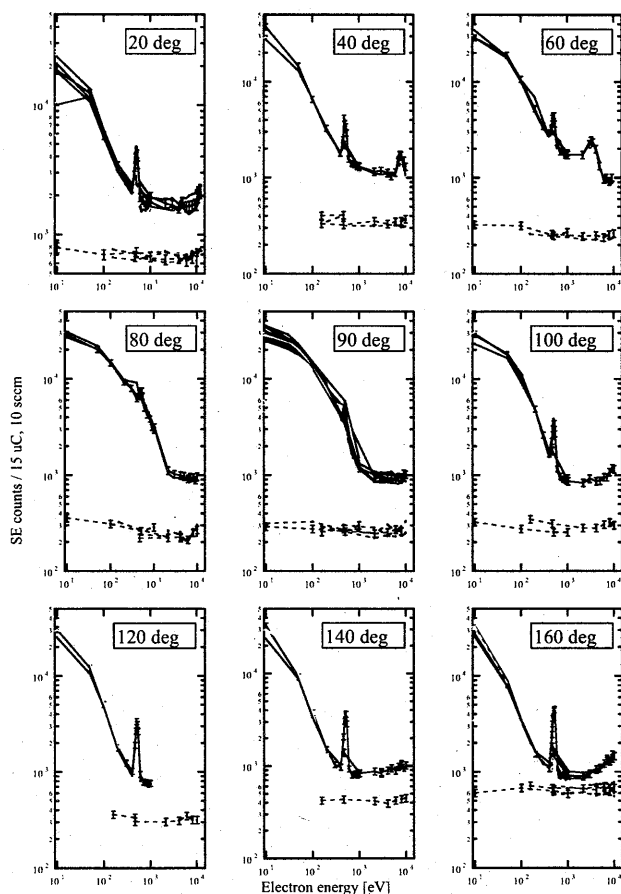


図 4. Cu 製冷却カバーによる中高エネルギー領域(10 eV<E<10 keV)の SE(実線)、BG(点線)計数のエネルギー依存性。



**3 — 2. Measurements of metaphase chromosome aberrations  
in normal human fibroblasts and human lymphocytes  
exposed to energetic protons**



# Measurements of metaphase chromosome aberrations in normal human fibroblasts and human lymphocytes exposed to energetic protons

Honghong Chen<sup>1</sup>, Meijun Zou<sup>1</sup>, Yoshiya Furusawa<sup>2</sup>, and Chunlin Shao<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Radiation Medicine, Fudan University, Shanghai, China;

<sup>2</sup>National Institute of Radiological Sciences, Chiba, Japan.

## Abstract

This study investigated the chromosomal damage in normal human fibroblast cells (AG1522) and peripheral blood lymphocytes that were exposed to 70 MeV protons of different doses. After irradiation, cells were incubated at 37°C for 2h, 48h, 5d and 18d allowing repair of any DNA damage then chromosome aberrations were assayed. Our results indicated that at 2h after proton the frequency of aneuploid AG1522 cells increased with dose, but the frequency of chromosome aberration for both irradiated AG1522 and human lymphocyte cells were lower than 0.1, indicating that some cells directly died from DNA damage.

Keywords: proton radiation, chromosome aberrations

## 1. Introduction

Manned space missions increased recently in number and duration, thus it becomes important to estimate the biological risks encountered by astronauts who are exposed to cosmic and galactic rays, a complex mixture of different radiations in which energetic protons is predominant [1]. The present study measured chromosomal damage and chromosomal transmission of human lymphocyte cells and normal human fibroblast cells that were irradiated with energetic protons, and the difference of DNA damage between these different cells was investigated.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Cell culture, irradiation and chromosome preparation

Whole blood was collected from healthy volunteers using heparinized vacutainer tubes and pipetted into irradiation chambers. Proton irradiation was performed at NIRS in Chiba, Japan. The energy of proton was 70MeV. After irradiation, whole blood sample was allowed to repair at 37°C for 2h. Culture containing 0.5ml whole blood, 4.5ml Minimum Essential Medium Eagle medium supplemented with 10% foetal calf serum, 1.8% PHA (Invitrogen), 1% glutamine and antibiotics were established and kept at 37°C in a humidified atmosphere of 5% CO<sub>2</sub> in air for a further culture time of 48h and 52h. Colcemid was added 3 h before harvesting, and metaphase cells were collected by a standard procedure including the treatment with hypotonic KCl (75 mM) for 20 min at 37°C, followed by fixation in methanol and acetic acid (3:1), dropped onto glass microscope slides and then stained with Giemsa for chromosome analysis.

On the other hand, Normal human fibroblast cells, AG1522, were grown in Minimum Essential Medium Eagle medium supplemented with 10% foetal calf serum, 1% glutamine and antibiotics, and then irradiated in its exponential growth phase. At 2h, 45h, 5d and 18d after proton irradiation, metaphase chromosome spread were prepared.

### 2.2 Chromosome Analysis

All slides analyzed in this study were coded and scored blind by a single person. The number of cells scored for each irradiated sample varied from 100 to over 200. Chromosome damage was assessed in cells where the chromosomes were well spread, using standard scoring criteria [2]. Chromosome aberrations were classified as chromosomal-type aberrations (dicentric, ring chromosomes and Acentric fragments) or chromatid-type aberrations (chromatid exchanges and chromatid breaks). The ratio of CA to the total number of analyzed cells was calculated. The changes of chromosome number were measured by metaphase chromosome counts, including

near-diploid, polyploidy, haploid and near-haploid.

### 3. Results and Discuss

#### 3.1 Numerical chromosome abnormalities

Figure 1 illustrates that, at 2h after irradiation, the frequency of aneuploid (mainly hypodiploid) AG1522 cells increased with dose, and the frequency of diploid cells had a tendency of decrease with dose, suggesting that chromosome non-disjunction and loss could be induced shortly after irradiation [3,4]. When the irradiated cells were further cultured for few days, the cell number in diploid could be recovered partly.

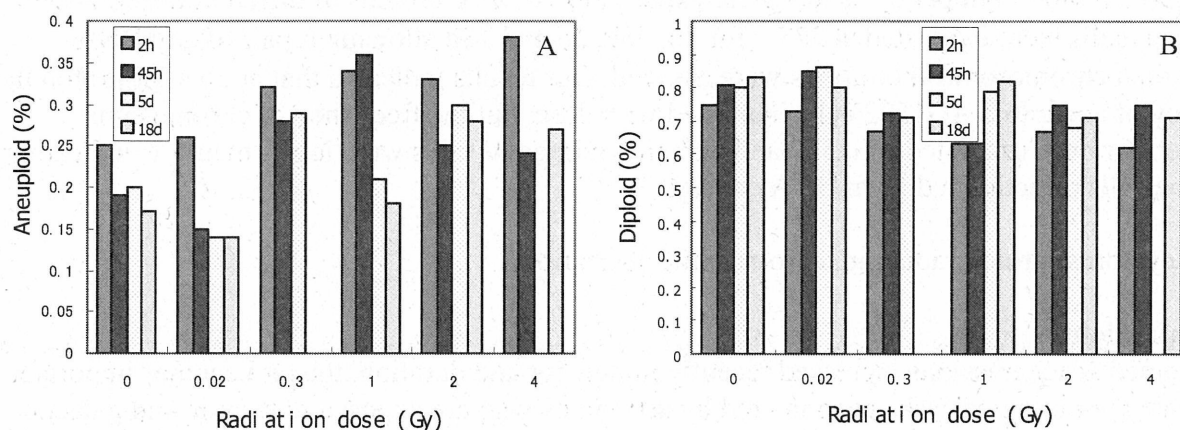


Fig. 1. Changes of chromosome number of irradiated AG1522 cells at different post-time of proton irradiation.

#### 3.2 Chromosome breakage and structural rearrangements

Chromosomal aberrations (CA) including chromatid break, chromatid exchange, dicentrics, centric rings and acentrics fragments were measured in metaphase of AG1522 and human lymphocyte cells. The ratio of CA to the total number of analyzed cells was summed over all sampling times after proton irradiation (Fig. 2). At 2h after irradiation, AG1522 and human lymphocyte cells irradiated with a high dose of proton clearly yielded a lower CA frequency which had a maximum value at 1Gy, then decreased at high dose of 2Gy and 4Gy, suggesting a dose-dependent ablation of lethally damaged cells. This may because cells under high dose irradiation have lethal aberration and die directly, and only the cells lightly damage can grow and enter into M-phase and produce measureable CA. However, these results are not in consistent with the report of reference [5].

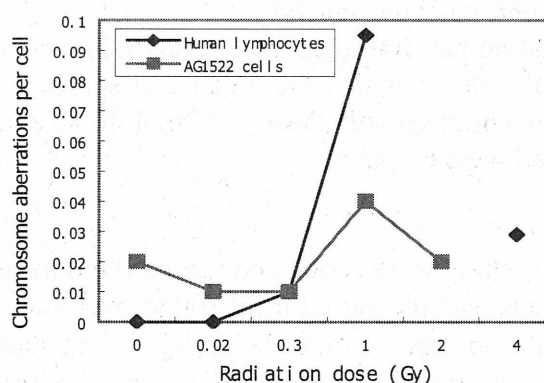


Fig.2. Chromosome aberrations of AG1522 cells and human lymphocytes at 2h post-proton irradiation

In addition, CA transmission in the descendents of irradiated cells at 45h, 5d and 18d post proton irradiation was investigated and its time-course was illustrated in Fig.3. It can be seen that the chromosome aberration had highest value at 45h post-irradiation and then decreased with culture time. This may be because at 2 h post-IR, most of the irradiated cells are still under cell-cycle block and then have a lower frequency of CA. After 45h post-IR, the cells could release from cycle arrest and this enhances CA induction [5]. But when the irradiated cells were cultured continually, some cells carrying unstable aberrations die so that the frequency of CA declines rather rapidly.

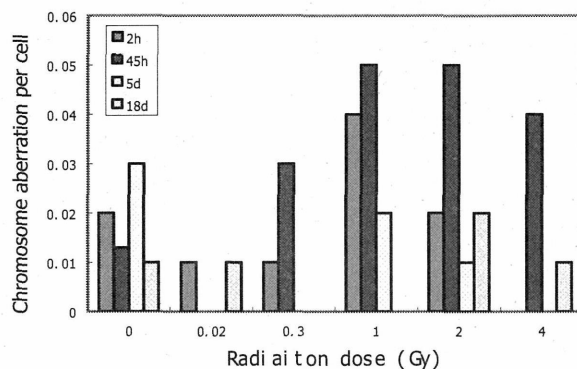


Fig.3 Chromosome aberrations of AG1522 cells in different time post proton irradiation

#### 4. Conclusions

- 1) Shortly after proton irradiation, the frequency of aneuploid AG1522 cells increases with dose. Chromosome non-disjunction is dose-dependent and time-dependent.
- 2) The frequency of metaphase CA is dependent on both irradiation dose and the time post-irradiation.

#### References

- [1] Ohnishi Ken and Ohnishi Takeo. The biological effects of space radiation during long stays in space. *Biological Sciences in Space*, 2004, 18(4):201-205
- [2] Savage, J. R. K., 1975, Classification and relationships of induced chromosomal structural changes. *Journal of Medical Genetics*, **13**, 103-122
- [3] Sgura A, Antoccia A, Cherubini R, et al, Chromosome non-disjunction and loss induced by protons and x rays in primary human fibroblasts: role of centromeres in aneuploidy. *Radiat Res*, 2001, 156: 225-231
- [4] Immaculada P, Joan FB, Rosa M, et al, Non-disjunction and chromosome loss in gamma irradiated human lymphocytes: A fluorescence in situ hybridization analysis using centromere specific probes. *Radiat Res*, 2001, 155: 424-431
- [5] Maddalena Mognato, Elisabetta Bortoletto, Paola Ferraro, et al. Genetic Damage Induced by In Vitro Irradiation of Human G0 Lymphocytes with Low-Energy Protons (28 keV/mm): HPRT Mutations and Chromosome Aberrations. *Radiat Res*, 2003, **160**, 52-60
- [6] Lorenzo Manti, Marco Durante, Gianfranco Grossi, et al. Measurements of metaphase and interphase chromosome aberrations transmitted through early cell replication rounds in human lymphocytes exposed to low-LET protons and high-LET  $^{12}\text{C}$  ions. *Mutation Research*, 2006, 596:151-165



## 4. 粒子線検出器の開発

### 4-1. 宇宙環境中での中性子検出器の開発

## 「宇宙環境中での中性子検出器の開発」

高田真志、矢島千秋、保田浩志（放医研）、大口裕之（千代田テクノル）、布宮智也、中村尚司（富士電機）、萩原雅之、佐波俊哉（高エネルギー加速器研究機構）

本課題では、大きく分けて、以下の研究、実験を実施した。

- I. 中性子線量計のシリコン素子の荷電粒子に対する特性評価
- II. 飛翔体搭乗員用の個人線量計の開発に関する研究
- III. ホスウィッチ形中性子システムの特性評価
- IV. プラスチックシンチレーターの波形の粒子種依存性の実測
- V. フラグメント生成 2 重微分断面積の測定



# 「I. 中性子線量計のシリコン素子の荷電粒子に対する特性評価」

高田真志（放医研）、布宮智也、中村尚司（富士電機）

## 1. 経緯

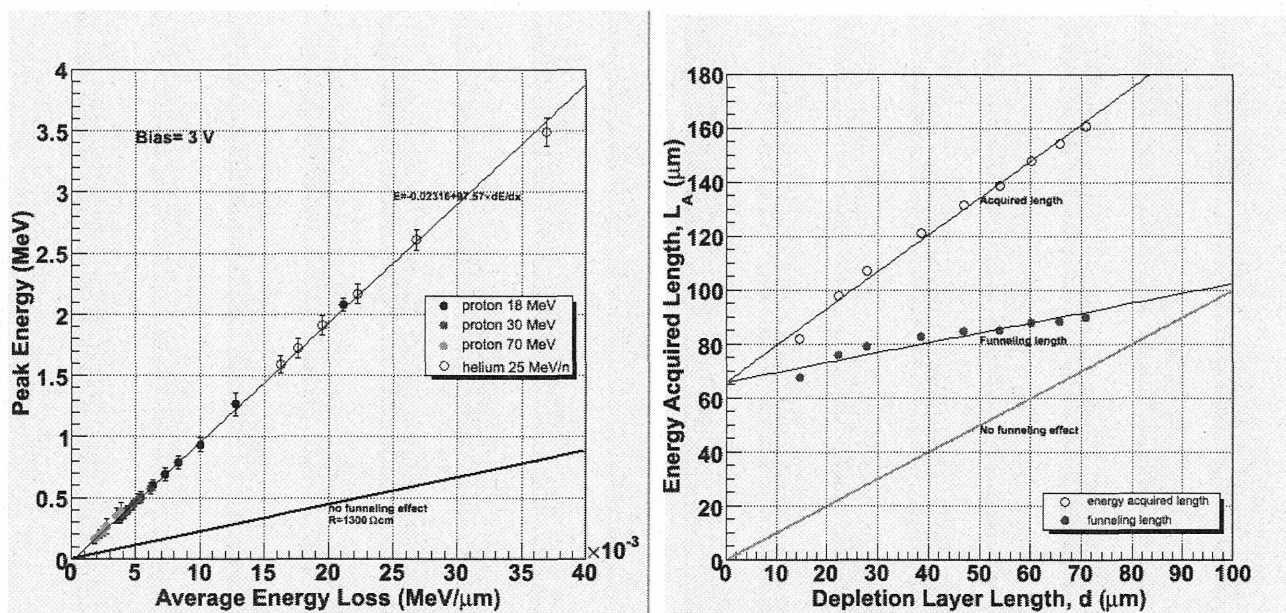
現在、原子力施設、加速器施設周辺の個人被ばくモニター用として利用されているリアルタイム中性子個人被ばく線量計を航空機搭乗員の被ばく線量計、航空機での放射線計測に応用できないかと検討をしている。これまでの実測で、中性子は10倍近い過大評価をすることが分かっている。本研究では、この10倍過大評価する原因を解明し、実環境で中性子の被ばく線量を計測可能な線量計を開発することが目的である。航空機高度の放射線環境は、中性子以外に陽子が存在し、その陽子が中性子計測において不必要な粒子であり、陽子の検出により中性子線量を10倍過大評価していると考えた。そこで、サイクロトロンを使い、まず線量計の荷電粒子に対する特性を調べた。

## 2. 実験方法

線量計に利用されているシリコン素子に、陽子とヘリウムビームをエネルギーを変えながら、照射した。シリコン素子から得られる信号は、粒子の阻止能にエネルギー付与する厚さを掛け合わせたものが得られるはずである。シリコンの場合、空乏層の厚さが該当する。しかし、得られた結果は、空乏層に付与されるエネルギーよりも4-5倍大きな値であった。この計測されたエネルギー量が5倍程度大きな理由は、シリコン検出器中を荷電粒子が通過したことにより、空乏層の電場が乱される **Funneling** 現象が起きているためであることが分かった。この現象は、部分空乏層タイプのシリコン検出器を用いている限り見られ、全空乏層タイプを使用している場合には、**Funneling** 現象は起こらず、計測されたエネルギー量は、空乏層に付与されたエネルギー量と同じであった。本年度は、この空乏層の広がりについて調べた。

## 3. 実験結果

線量計素子で計測されたエネルギー量と、計算した単位長さ当たりのエネルギー付与量（阻止能に近い値）を図1に示した。数MeVから70MeVまでの陽子のエネルギー付与量が同じ直線に乗っており、陽子とアルファ線も同じ線に乗っている。この関係は、印加電圧を変えて、空乏層の厚さを変化させた場合にも、異なるエネルギー、核種のエネルギー付与のデータは同じ線上に乗っているが、直線の傾きは空乏層の厚さに関係して変化する。またファネリング現象が無いと仮定した場合に、検出器から得られるエネルギー量は、図1の太い実線となり、エネルギー量が実測と計算が数倍異なることが分かる。角度を60度、傾けた場合には、ファネリング現象による空乏層の広がり、幾何学的な関係から決まる深さまで広がっていることが分かった。**Funneling** 現象による空乏層の広がり、本来の空乏層の幅と直線相関がある。この空乏層の広がり、線量計素子の応答関数を評価するうえで重要なものであり、今後、この結果を元に、航空機などで中性子計測が可能な線量計の開発に役立てる。



左図 陽子とアルファ線のシリコン素子へのエネルギー付与と粒子の阻止能の関係

右図 シリコン素子中の空乏層の厚さとエネルギー付与する深さとの関係



## 「Ⅱ．飛行体搭乗員用の個人線量計の開発に関する研究」

大口裕之<sup>a</sup>、牧 大介<sup>a</sup>、篠崎和佳子<sup>a</sup>、小口靖弘<sup>a</sup>、山本幸佳<sup>a</sup>、高田真志<sup>b</sup>

<sup>a</sup> 株式会社千代田テクノロ 大洗研究所、<sup>b</sup> 放射線医学総合研究所

### 研究の目的とバックグラウンド

現在、国際宇宙ステーション、航空機搭乗員の放射線被ばく線量の測定方法及び評価方法の開発が盛んに行われており、その放射線被ばく線量の検出器の一つとして PADC（ポリアリルジグリコールカーボネイト）検出器が利用されている。一般に PADC は、エッチング処理後の表面上にプロトン照射の際に発生するエッチピットと同様のエッチピットが、未照射の PADC 表面上に多数発生（擬似ピット）する。この擬似ピットを低減させる方法として、エッチング処理前にある薬品に浸して処理を行うプレソーキング処理を我々は採用している。しかし、このプレソーキング処理は、擬似ピット低減以外に、プロトンに対する応答性を抑制する作用がこれまでの照射試験から分かってきた。また、PADC 検出器に対するプロトンの応答性向上を目的として、我々は、PADC 製造条件面から調査を行い、PADC 製造の際の重合温度条件および抗酸化剤（IR1010）添加が、プロトンに対する応答性を向上させていることをこれまでのプロトン照射試験で発見した。これらの結果を踏まえて本研究では、プレソーキング処理有無でのプロトンに対する PADC の応答性を調査し、さらに、高エネルギー中性子に対する応答性についても調査を行った。

### 実験材料及び実験方法

本研究では、SRIM2003 を用いて減速エネルギーを計算し、様々な厚さのアルミニウムとポリエチレンを組み合わせた減速材を PADC 検出器前面に装填した後、放射線医学総合研究所のサイクロترون加速器を用いて、様々なエネルギーのプロトンを照射した。PADC へ照射した後は、30%KOH、90℃の条件下でエッチング処理を行い、エッチピット生成の有無の判定は高速顕微鏡システム（HSP-1000）を用いて行った。20MeV 前後の準単色中性子照射に対しては、25MeV のプロトンを Li ターゲットに照射し、 ${}^7\text{Li}(\text{p}, \text{n}) {}^7\text{Be}$  反応から発生する中性子を PADC へ照射した。また、ターゲットを透過した陽子ビームは、マグネットで曲げて試料側へこないようにして照射を行った。

### 研究結果

プロトンに対する応答性調査においては、1.5 時間処理で 8MeV のプロトンを検出し、2 時間処理で 10MeV のプロトンを検出することが分かった。また、この結果を基にして、約 20MeV 中性子を PADC へ照射して、中性子に対する応答性を調査したが、漏洩線量の影響等で 20MeV に対する応答性を導きだすことが出来なかった。今後は、漏洩線量に対する対策を講じて調査を行っていく。

### 参考文献

平成 17 年度サイクロترون利用報告書

### 「Ⅲ. ホスウィッチ形中性子システムの特性評価」

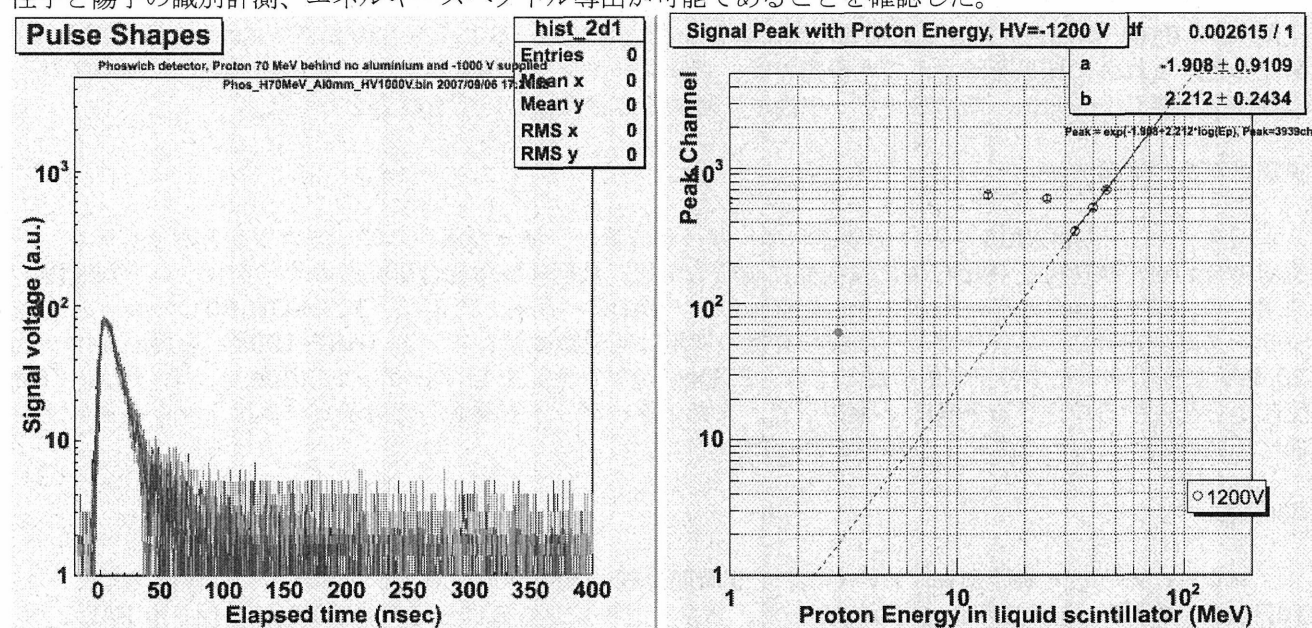
保田浩志、矢島千秋、高田真志（放医研）

#### 1. 経緯

銀河からの宇宙線が大気に入射して、放射線(中性子、陽子、電子、光子、ミュー粒子、パイ粒子等)が二次的に発生し、これらの放射線が航空機高度での被ばくに寄与します。航空機高度での被ばくに寄与する放射線のうち、最も大きな割合を占めるのは中性子で、実効線量の半分以上が中性子によると評価されています。電離成分については、陽子が1～2割り、残りの3割程度を電子、光子、ミューオン、パイ粒子が占めると考えられています。そのため、宇宙飛翔体、航空機高度での高エネルギー中性子検出を行うために製作し、そのホスウィッチタイプの中性子検出器の陽子と中性子に対する特性をビームを使って調べた。

#### 2. 実験方法と結果

エネルギーを変えた陽子ビームを検出器に照射し、図1の信号を確認した。検出器の高圧電圧依存性、入射粒子エネルギー依存性をそれぞれ、下図に示した。動作確認をすることができ、検出器の直線性も確認した。また、実環境での計測用に作製したCREPASの特性を評価した。CREPASは、リアルタイムにデータを取得し、粒子識別、中性子のエネルギースペクトルを導出できるプログラムである。照射実験により、中性子と陽子の識別計測、エネルギースペクトル導出が可能であることを確認した。



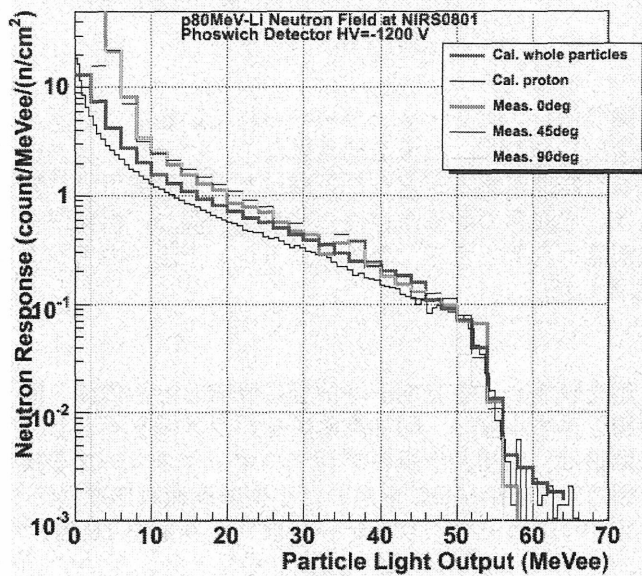
左図 中性子検出器からの陽子検出時の信号

右図 中性子検出器の信号の大きさの入射粒子エネルギー依存性

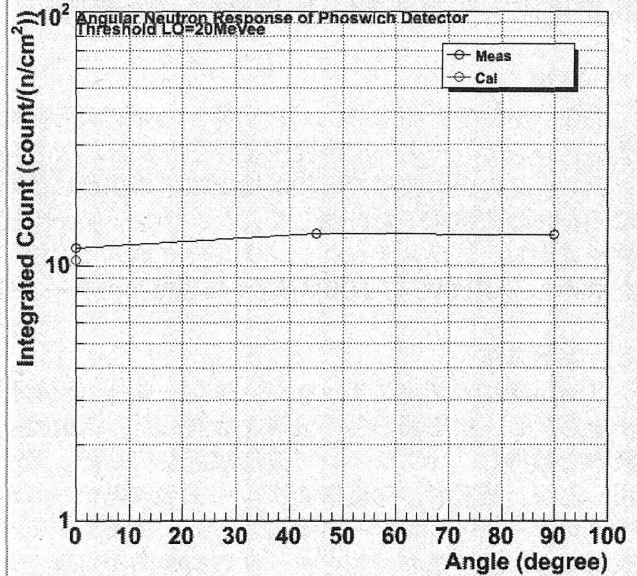
中性子計測では、検出器の中性子に対する応答関数が必須である。中性子を核反応により間接的に計測しているためである。放医研サイクロでプロトン 40,80MeV を 2 MeV 損失する厚さのリチウムターゲットに照射し、得られる準単色中性子を用いて応答関数を計測した。下図に p80MeV-Li 反応により発生する中性子計測時の波高分布を示した。モンテカルロ計算 MCNPX を用いて得られた中性子応答関数も比較のために示した。横軸は検出器の発光量、縦軸は、単位中性子当たりのカウント数である。計算と実測は良く一致していることが分かる。同時に、中性子入射角度に対する感度の変化も調べ、下図に示した。入射角度に対する感度の差は、小さいことを確認した。

本実験で得られた成果は、航空機での実測のデータ解析に大いに役立つ。

Angular Neutron Response of Phoswich Detector



Angular Neutron Response of Phoswich Detector



左図 ホスウィッチタイプ中性子検出器の中性子に対する応答関数、実測と計算の比較  
 右図 検出器の中性子に対する感度の角度依存性



## 「IV. プラスチックシンチレーターの波形の粒子種依存性の実測」

高田真志、矢島千秋、保田浩志（放医研）

### 1. 経緯

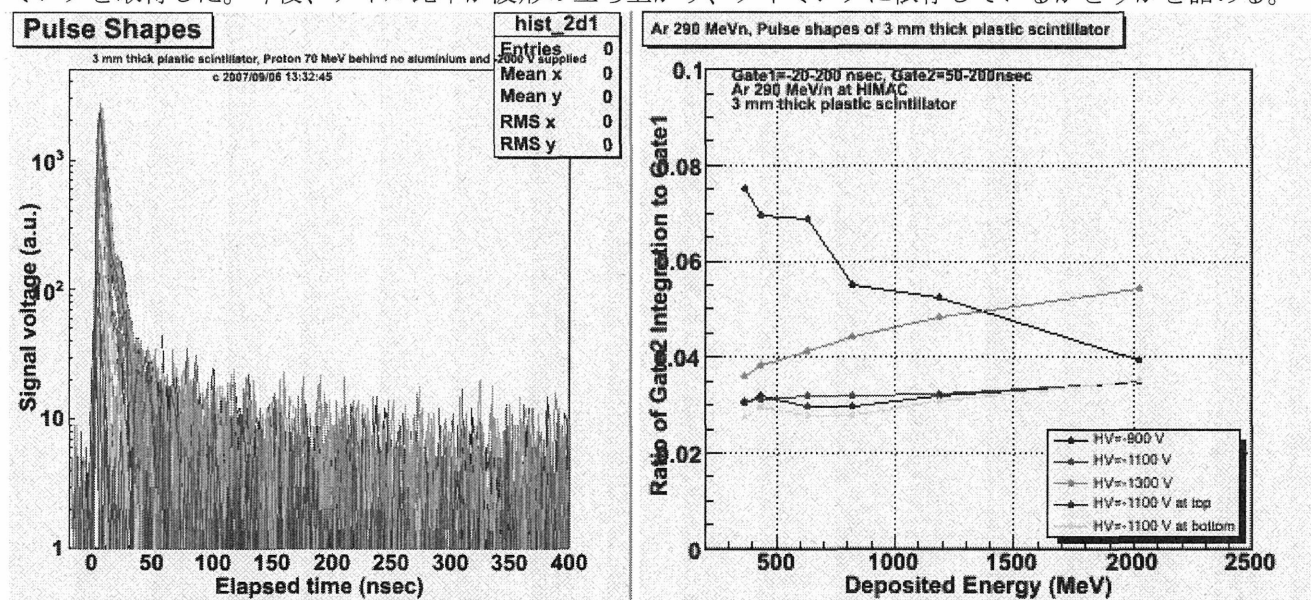
現在、中性子計測には、ガンマ線との弁別が可能な有機液体シンチレーターが用いられているが、プラスチックシンチレーターで中性子を粒子弁別計測できたら検出器の製作、取扱が容易になる。プラスチックシンチレーターの出力波形の形状が検出粒子の核種に依存する可能性があるかどうかを調べた。本研究では、重粒子を含む荷電粒子を計測して、シンチレータから出力される波形の核種依存性の有無を計測し、核種依存性を見出し、プラスチックシンチレータ単体での粒子識別能力を導出する。サイクロトロンで陽子のデータを取得し、HIMAC で 100MeV/n の重粒子のデータを取得した。

### 2. 実験方法

3 mm厚さのプラスチックシンチレーター（反射材、遮光膜無し）を光電子増倍管に直結したものに、陽子を照射し、検出器からの波形を取得した。入射粒子核種とエネルギー、印加高電圧をパラメーターとして波形を取得し、オフラインで波形解析を行った。データ取得は、当初、市販のデジタルオシロスコープを使用した。放医研、環境研究グループ宇宙線チームが作製した **Flash ADC** を用いた小型の高速波形取得データロガーにアップデートすることで、従来のデジタルオシロスコープよりもデータ取り込み量を 10 倍、改善でき、統計量の増加とデータ取得時間を短縮できた。

### 3. 実験結果

計測した波形を解析することで、わずかであるが、波形のテイルが入射粒子依存性を持っている可能性があることが分かった。しかし、この変化が単純に信号の大きさに依存していることは否定できず、これまで問題になっていたデータ取得のトリガー依存性も否定できない。ちなみに本実験では **Le-edge** 法でタイミングを取得した。今後、テイル比率が波形の立ち上がり、タイミングに依存しているかどうかを詰める。



左図 70MeV 陽子を 3mm 厚さのプラスチックシンチレーターでの計測時に得られた波形

右図 アルゴンビームの場合、検出器に付与されたエネルギーと信号のテイルとピークの比率

## 「V. フラグメント生成 2 重微分断面の測定」

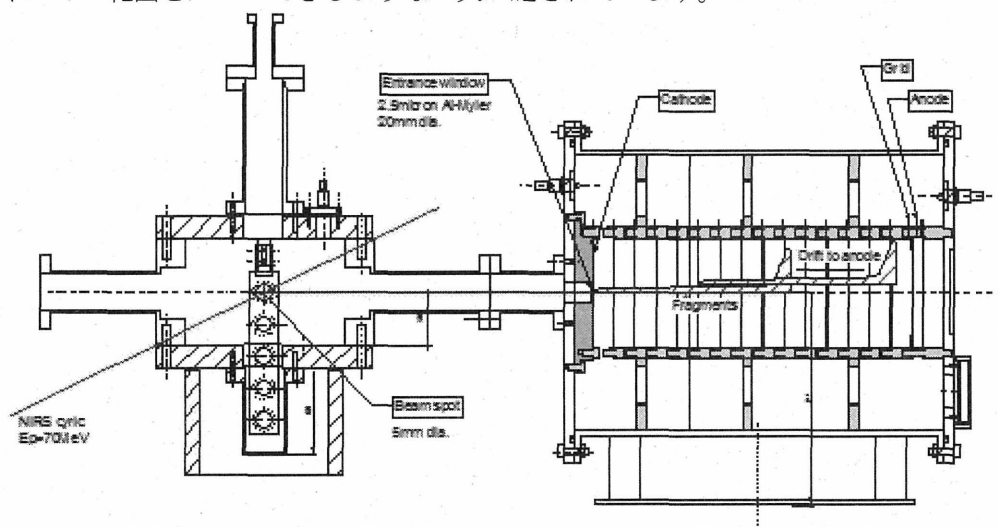
萩原雅之、佐波俊哉（高エネルギー加速器研究機構）

### 1. 経緯

高エネルギー粒子加速器や宇宙環境において問題となる数  $10\text{MeV}$  粒子による材料損傷や被曝には核反応生成物である二次重荷電粒子（フラグメント＝アルファ粒子より重い粒子）が関与しています。このフラグメントは大きな線エネルギー付与（高 LET）をもつために、局所的（マイクロメータ領域）に大きな電離と損傷を与えることができます。このフラグメントによる寄与を線量評価や半導体シングスイメント事象の評価に正しく取り入れるためにはフラグメントの生成確率、放出エネルギー情報、放出角度情報が必要です。数  $10\text{MeV}$  領域でのフラグメント二重微分断面データは、現状では実験データが少なく、理論計算で推定しても精度の検証が難しく、系統的な実験データが求められています。フラグメントは生成率が小さく、大きなエネルギー損失を引き起こすことから、効率のよい測定法を開発しないと系統的な測定は難しいので、大きな効率を有するブラックカーブカウンター手法を改良した検出器を開発しました。

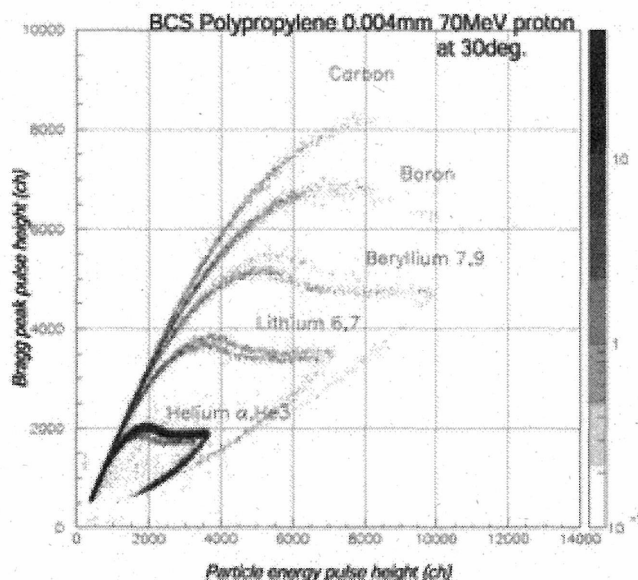
### 2. 実験方法

図に陽子入射反応に対する測定装置を示します。左側の散乱チェンバーに試料を設置し、右側のブラックカーブ検出器でフラグメントを測定します。この検出器には、新たに開発した、(1)アノード・カソード時間差粒子弁別方法、と、(2)突き抜け粒子エネルギー補正法を適用し、数  $10\text{MeV}$  領域での測定に十分なエネルギー範囲をカバーできるような工夫が施されています。



### 3. 実験結果

- 測定されたスペクトルを図に示します。横軸がエネルギーで縦軸が粒子種を表します。ブラックカーブカウンターでは粒子種に固有な最大エネルギー損失の値を元に粒子を弁別することができます。





## 4－2．宇宙放射線の荷電粒子成分検出器の開発



# 宇宙放射線の荷電粒子成分検出器の開発

北村尚<sup>1</sup>、内堀幸夫<sup>1</sup>、安田仲宏<sup>1</sup>、  
松本晴久<sup>2</sup>、佐々木康友<sup>2</sup>、込山立人<sup>2</sup>、木本雄吾<sup>2</sup>、  
寺沢和洋<sup>3,4</sup>、身内賢太郎<sup>4</sup>、永吉勉<sup>4</sup>、藤田康信<sup>4</sup>、竹内浩二<sup>4</sup>、  
寺門康男<sup>5</sup>、富高真<sup>5</sup>、伊藤正和<sup>6</sup>

1. 放射線医学総合研究所
2. 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)
3. 慶応大
4. 早稲田大
5. 明星電気
6. 菱栄テクニカ

平成 19 年度は、宇宙飛翔体に搭載する放射線計測器の放射線感度の校正実験、および、宇宙放射線場での半導体機器の耐放射線実験を行った。次の二点の実験について報告する。

- I. 宇宙機搭載放射線観測装置の開発
- II. 超小型トータルドーズセンサの校正試験

# I. 宇宙機搭載放射線観測装置の開発

松本晴久<sup>a</sup>、佐々木康友<sup>a</sup>、込山立人<sup>a</sup>、寺沢和洋<sup>a</sup>

内堀幸夫<sup>b</sup>、北村尚<sup>b</sup>

a. 宇宙航空研究開発機構、 b. 放射線医学総合研究所

## 概要

サイクロtron施設を利用した宇宙機搭載放射線観測装置の開発について報告する。本年度は、温室効果ガス観測技術衛星(GOSAT)に搭載する放射線観測装置を製作し、サイクロtron施設を利用してビーム照射試験を実施した。

## 1. 研究の目的とバックグラウンド

宇宙放射線は衛星に有害な影響を与えるため、衛星の安全な運用、及び信頼性設計向上のために、JAXAが開発する衛星には継続的に放射線観測装置を搭載し、宇宙放射線に関する情報を取得してきた。取得した情報は、衛星の軌道上不具合の解析、宇宙放射線モデルの開発などに資されている。

## 2. 研究内容と成果

### A) GOSAT 搭載軽粒子観測装置

表1に GOSAT に搭載する軽粒子観測装置の主要緒元を示す。GOSAT 搭載軽粒子観測装置は、半導体検出器を内蔵する5種類(ELS-A, ELS-B, APS-A, APS-B, APS-C)、合計 15 台のセンサから構成される。5種類のセンサは、互いに異なる観測粒子及び観測エネルギー範囲を有しており、組み合わせることにより、従来の観測装置に比べて広い観測範囲を実現している。また、各種のセンサを複数台搭載し複数方向に視野を取ることにより、捕捉放射線帯、太陽陽子、オーロラ粒子など、起源の異なる放射線の空間分布及び時間変動を詳細に観測する。

サイクロtron施設では、GOSAT 搭載軽粒子観測装置を構成するセンサのうち、APS-A:5 台及び APS-B:2 台について、内蔵する半導体検出器の軽イオンに対するエネルギー応答を計測した。

表1. GOSAT 搭載軽粒子観測装置の主要緒元

項目	ELS-A	ELS-B	APS-A	APS-B	APS-C
観測エネルギー範囲 (MeV)					
電子	0.03 - 1.3	0.3 - 20	-	-	-
陽子	-	-	0.4 - 37	1.5 - 250	100 - 500
ヘリウム	-	-	3 - 160	10 - 400	400 - 2000
最大計数率 (event/sec)	$5 \times 10^4$	$5 \times 10^4$	$5 \times 10^4$	$5 \times 10^4$	$5 \times 10^4$
幾何学的因子 (cm <sup>2</sup> sr)	0.003	0.009	0.04	0.06	2
視野角 (全角) (deg)	20	33	44	44	90
質量 (kg)	0.8	1.1	1.3	1.3	1.4
寸法 (mm)	115×85×65	133×78×65	120×90×65	120×90×86	134×120×71
搭載台数	5	2	5	2	1

### B) 使用ビーム

- a) 線種:  $\alpha$
- b) エネルギー: 100MeV
- c) 強度: 1000~10000 particles/sec

### C) 試験セットアップ

図1に試験セットアップを示す。 $\alpha$ 線 100MeV を、ビーム強度モニタであるプラスチックシンチレーション検出器、及びエネルギー吸収体であるポリカーボネートを介して供試体に照射し、単一エネルギーの $\alpha$ 線に対する供試体内蔵半導体検出器の出力を計測した。厚みの異なるポリカーボネートにより、供試品に照射するビームのエネルギーを4~5段階に調整した。

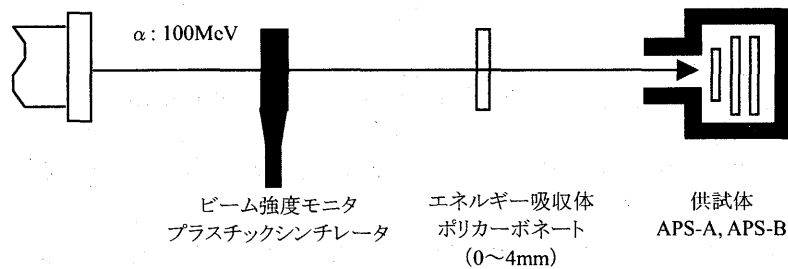


図1 試験セットアップ

#### D) 試験結果

図2に試験結果の一例として、APS-B センサについて、縦軸に半導体検出器における損失エネルギー、横軸に半導体検出器の出力を取ったグラフを示す。理論の予測値に良く一致する結果を得た。これらの試験結果に基づき、検出器出力から粒子エネルギーへの変換テーブルを決定した。

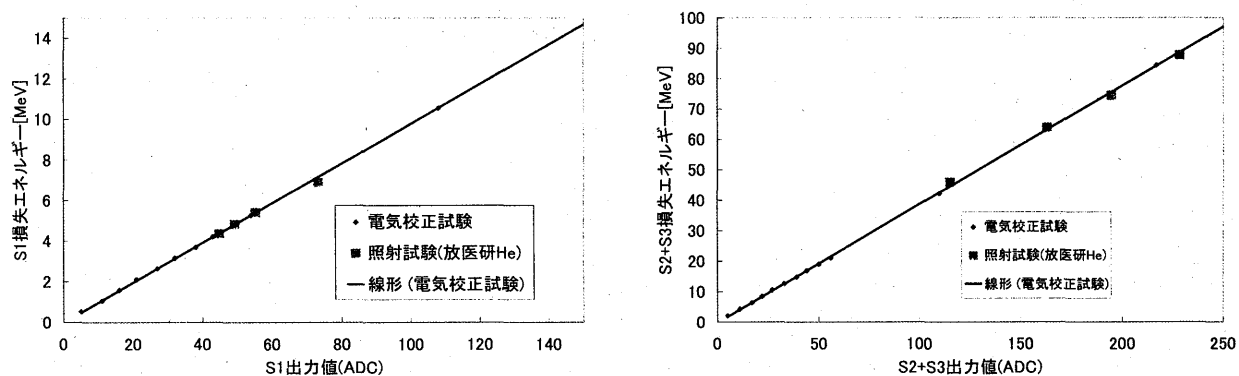


図2 APS-B 内蔵半導体検出器のエネルギー応答



## II. 超小型トータルドーズセンサの校正試験

木本雄吾<sup>a</sup>、松本晴久<sup>a</sup>、伊藤正和<sup>b</sup>、北村尚<sup>c</sup>、内堀幸夫<sup>c</sup>

a. 宇宙航空研究開発機構    b. 菱栄テクニカ（株）    c. 放射線医学総合研究所

### 概要

人工衛星搭載用の超小型トータルドーズ装置のセンサ部である、RADFET (Radiation Sensitive Field Effect Transistor) への陽子 E=70MeV を照射した結果について報告する。本実験結果については、 $\gamma$  線照射試験結果と同じ結果が得られた。

### 1. 研究の目的とバックグラウンド

我々の生活に一層密着するであろう人工衛星等宇宙機の設計要素の一つに耐放射線性設計がある。従来は耐放射線性のある半導体デバイスを国産で開発して使用、もしくは海外から輸入して使用してきた。現在でも特に必要なデバイスについては、半導体メーカー等にその開発を委託している半導体デバイスも存在する。しかしながら、PC、モバイル、ゲームマシン等発展著しい民生半導体分野に対し、耐放射線性を要求仕様に含める分野は圧倒的に需要が多い民生分野と比較し、採算が合わなくなっている。加えて、最先端のデバイスに対して、機能的に何世代か遅れた製品しか入手できないことは、高機能が要求される宇宙機へのアプリケーションとしてはマイナスである。また米国は技術戦略的に耐放射線性を有する高性能 IC の技術情報若しくは製品そのものの輸出を制限しているため、必要な耐放射線を有する半導体デバイスを使えない例もある。

こうして小型・省電力・高機能が要求される宇宙分野に対し、進歩の著しい民生部品を使用せざるを得ない状況となってきた。これらには当然ながら耐放射線設計がされていない。したがって民生部品を使用するためには、遮蔽設計、即ち放射線の影響を小さくするためのシールド設計を考慮する必要がある。それら考慮を行うためには、ミッション要求に合わせた宇宙環境モデルによる宇宙放射線の評価、シールド厚-放射線吸収線量(ドーズデプスカープ)の評価が必要である。しかしながら昨今の宇宙機からの宇宙放射線データ解析の結果、従来から使用してきた宇宙環境モデルの問題点等が明らかになってきている。また衛星メーカーからのヒアリングによれば、海外コンポーネントと比較して国内向けコンポーネントは質量が重い、即ちシールド設計が過剰であるとの認識がある。

上記理由から、実機宇宙機へ宇宙放射線の影響、即ちトータルドーズの計測を行うセンサの研究開発が行われてきた。

### 2. 研究内容

RADFET は Radiation Sensitive Field Effect Transistor の略で、日本語で敢えて言えば“放射線高感受性電解効果トランジスタ”である。特徴としては、電離損傷の効果を高くするために普通の半導体素子よりもゲート酸化膜を厚くした(例 400nm) PchMOS トランジスタである。1)消費電力が小さい、2)軽量、3)計測回路がシンプル等の理由で宇宙機用線量計として優れた特徴がある。

RADFET の校正試験の大部分は $\gamma$  線で行われている。これはトータルドーズ効果の模擬、即ち電離損傷の模擬を $\gamma$  線で行ってきたからに他ならない。しかしながら、RADFET に対し陽子線の影響は過小評価を招くという指摘がある。これは $\gamma$  線と陽子等高 LET(線エネルギー付与)粒子とでは、酸化膜中に発生する電子・正孔対の発生・再結合のメカニズムが異なることによる。陽子の場合、コラム(columnar)再結合モデルによって示される。文献によれば陽子 E=60~200MeV において 65~85%となった実験結果がある。

本試験においては、E=70MeV の陽子を RADFET に照射した。またフライト品のセンサの形状(裏面、横面)の影響の確認も同時に行った。更に他所で実施した試験とあわせ、RADFET への陽子の影響を評価した。

14PinDIP タイプの RADFET とフライト品である Dosimeter センサ(以下、DOS センサ)を同時に縦方向又は、横方向に設置し、陽子線を照射した。図 2-1 へ試験時の構成を示す。

図 2-2 に 14PinDIP タイプの RADFET と DOS センサ正面、横面及び裏面から陽子線照射した結果を示す。4 つの結果は $\pm 10\%$ 以内に入っており、優位な差はなかった。

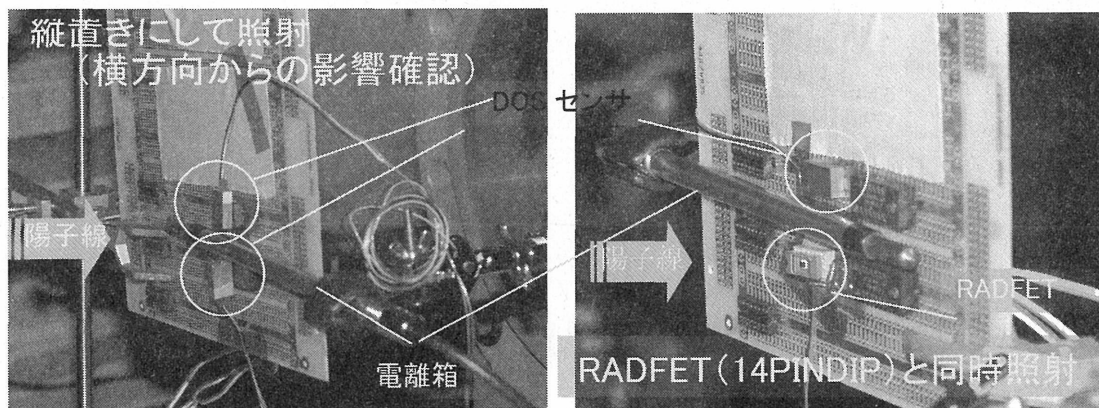


図 2-1 DOS センサへの照射試験構成

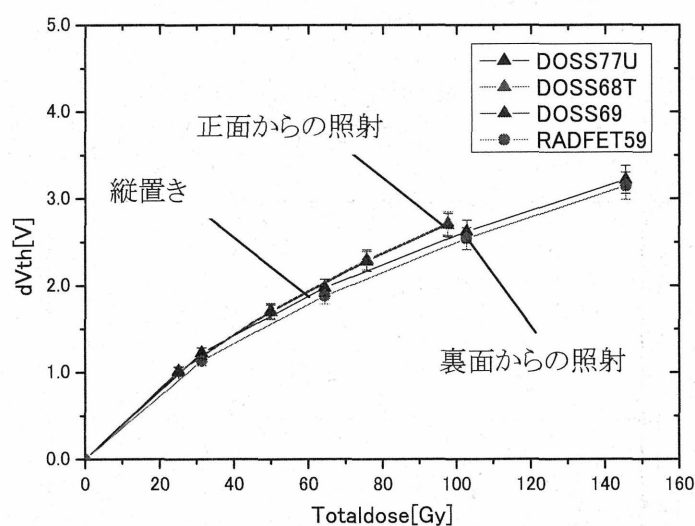


図 2-2 DOS センサの形状の影響の評価

図 2-3 に RADFET (5 個) 及び DOS センサを陽子線照射したと共に  $\gamma$  線照射試験で取得した校正カーブを示す。結果は  $\gamma$  線照射試験結果とほぼ同じであった。

60MeV、70MeV においては、 $\gamma$  線照射結果とほぼ同じ結果が得られた。他所で行った試験データについても加え、 $\gamma$  線による評価を基準とした結果を図 2-4 に示す。文献によれば陽子 E=60~200MeV において 65~85% となった実験結果がある。一連の本照射実験において、その傾向 (プロトンのエネルギーが低くなるにつれ、変化量が小) は見られた。

本結果からエネルギー約 10MeV~60MeV の陽子の影響については、 $\gamma$  線照射試験で校正した場合、25% の過小評価が生じていることがわかった。この影響については、校正曲線上は、エラーバーで示すこととした。

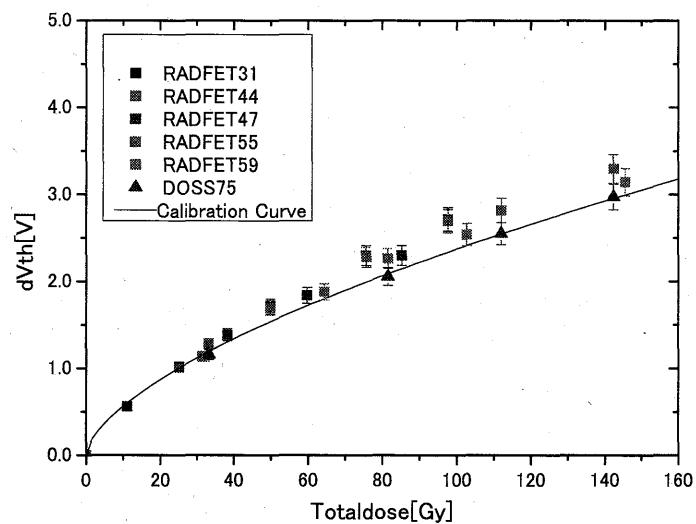


図 2-3  $\gamma$  線との比較(陽子 E=70MeV)

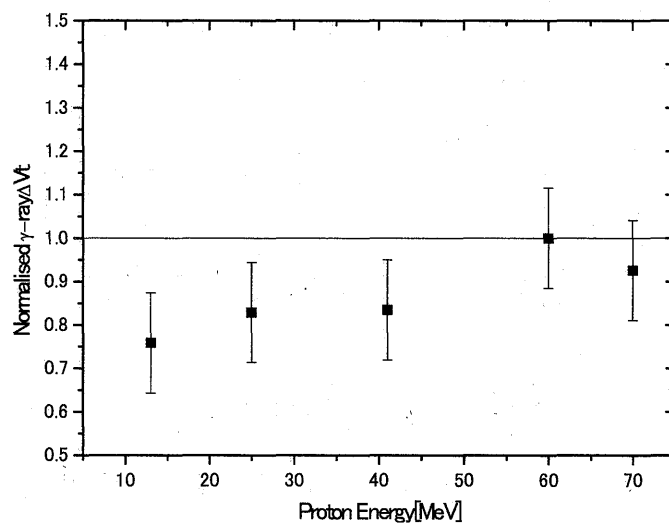


図 2-4  $\gamma$  線との比較

### 3. 研究成果

人工衛星搭載用の超小型トータルドーズセンサ RADFET への陽子 E=70MeV を照射した結果、 $\gamma$  線照射試験結果と同じ結果が得られた。本結果により、宇宙機搭載用超小型トータルドーズセンサの校正式が確認された。



## 5. 研究成果一覽

## 1. サイクロトロン の 運 転 ・ 維 持 及 び 改 良 ・ 開 発

### < 原 著 論 文 等 >

S. Hojo, T. Honma, M. Muramatsu, Y. Sakamoto, A. Sugiura: Development of gas pulsing system for electron cyclotron resonance ion source, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS 79, 02A306(2008), pp.02A306 1-3

### < Proceedings 等 >

Toshihiro Honma, Satoru Hojo, Yukio Sakamoto, Nobuyuki Miyahara, Takuya Endou, Takanori Okada, Katsutoshi Komatsu, Takashi Kamiya, Jun Kanakura, Masami Sano, Yasushi Fukumoto: RECENT STATUS OF THE NIRS CYCLOTRON FACILITY, 18<sup>th</sup> Cyclotrons and Their Applications 2007, Eighteenth International Conference, pp.137-138

### < 学 会 及 び 研 究 会 口 頭 発 表 等 >

杉浦彰則、北條悟、坂本幸雄、本間壽廣、遠藤卓哉、河野耕二、金井達明、岡田高典、小松克好、神谷隆: 放医研サイクロトロン の 改 良 開 発、Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 32<sup>nd</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan (August 1-3 2007, Wako Japan)、WP05、p.37-37

## 2. サイクロトロン の R I 製 造 へ の 利 用 状 況

### < 原 著 論 文 等 >

Ryuji Nakao, Kenji Furutsuka, Masatoshi Yamaguchi, Kazutoshi Suzuki: Quality control of PET radiopharmaceuticals using HPLC with electrochemical detection, Nuclear Medicine and Biology, 33(3), 441-447, 2007

Ryuji Nakao, Kenji Furutsuka, Masatoshi Yamaguchi, Kazutoshi Suzuki: Development and Validation of a Liquid Chromatographic Method for the Analysis of Positron Emission Tomography Radiopharmaceuticals with Ru(bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup>-KMnO<sub>4</sub> Chemiluminescence Detection, Analytical Sciences, 23(2), 151-155, 2007

Akihiro Takano, Hiroshi Ito, Tetsuya Ichimiya, Kazutoshi Suzuki, Tetsuya Suhara, et.al: Effects of smoking on the lung accumulation of [<sup>11</sup>C]McN5652, Annals of Nuclear Medicine, 21(6), 349-354, 2007

Makoto Takei, Koutarou Nagatsu, Toshimitsu Fukumura, Kazutoshi Suzuki: Remote control production of an aqueous solution of no-carrier-added <sup>34</sup>mCl-via the <sup>32</sup>S(alpha, pn)nuclear reaction, Applied Radiation and Isotopes, 65(9), 981-986, 2007

Jun Maeda, Makoto Higuchi, Motoki Inaji, Bin Ji, Eisuke Haneda, Takashi Okauchi, Ming-Rong Zhang, Kazutoshi Suzuki, Tetsuya Suhara: Phase-dependent roles of reactive microglia and astrocytes in nervous system injury as delineated by imaging of peripheral benzodiazepine receptor, Brain Research, 1157, 100-111, 2007

Ming-Rong Zhang, Kazutoshi Suzuki: [<sup>18</sup>F]Fluoroalkyl Agents: Synthesis, Reactivity and Application for Development of PET Ligands in Molecular Imaging, Current Topics in Medicinal Chemistry, 7(18), 1817-1828, 2007

寅松千枝、鈴木敏和、福村利光、鈴木和年: 実用標準器としてのキュリーメータの特性評価、放射線、33(1)、19-28、2007

Ming-Rong Zhang, Katsushi Kumata, Jun Maeda, Kazuhiko Yanamoto, Akiko Hatori, Maki Okada, Makoto Higuchi, Shigeru Obayashi, Tetsuya Suhara, Kazutoshi Suzuki: <sup>11</sup>C-AC-5216: A Novel PET Ligand for

- Peripheral Benzodiazepine Receptors in the Primate Brain, *Journal of Nuclear Medicine*, 48(11), 1853-1861, 2007
- Kazuhiko Yanamoto, Ming-Rong Zhang, Katsushi Kumata, Akiko Hatori, Maki Okada, Kazutoshi Suzuki: In vitro and ex vivo autoradiography studies on peripheral-type benzodiazepine receptor binding using [<sup>11</sup>C]AC-5216 in normal and kainic acid-lesioned rats, *Neuroscience Letters*, 428(2/3), 59-63, 2007
- Ryohei Matsumoto, Terushi Haradahira, Hiroshi Ito, Yota Fujimura, Chie Seki, Youko Ikoma, Jun Maeda, Ryosuke Arakawa, Akihiro Takano, Makoto Higuchi, Kazutoshi Suzuki, Tetsuya Suhara, et.al: Measurement of Glycine Binding Site of N-methyl-D-aspartate Receptors in Living Human Brain using 4-Acetoxy derivative of L-703,717, 4-Acetoxy-7-chloro-3-[3-(4-[<sup>11</sup>C] methoxybenzyl) phenyl]-2(1H)-quinolone (AcL703) with Positron Emission Tomography, *Synapse*, 61(10), 795-800, 2007
- Ming-Rong Zhang, Katsushi Kumata, Kazutoshi Suzuki: A practical route for synthesizing a PET ligand containing [<sup>18</sup>F]fluorobenzene using reaction of diphenyliodonium salt with [<sup>18</sup>F]F-, *Tetrahedron Letters*, 48(49), 8632-8635, 2007
- Jun Maeda, Hin Ki, Toshiaki Irie, Masahiro Maruyama, Takashi Okauchi, Matthias Staufenbiel, Nobuhisa Iwata, Takaomi Saido, Kazutoshi Suzuki, Makoto Higuchi, Tetsuya Suhara, et.al: Longitudinal, quantitative assessment of amyloid, neuroinflammation and anti-amyloid treatment in a living mouse model of Alzheimer's disease enabled by Positron Emission Tomography, *The Journal of Neuroscience*, 27(41), 10957-10968, 2007
- Koichi Kato, Ming-Rong Zhang, Kazutoshi Suzuki: Rapid C-carboxylation of nitro[<sup>11</sup>C]methane for the synthesis of ethyl nitro[2-<sup>11</sup>C]acetate, *Molecular BioSystems*, 4(1), 53-55, 2008
- Junko Noguchi, Ming-Rong Zhang, Kazuhiko Yanamoto, Ryuji Nakao, Kazutoshi Suzuki: In vitro binding of [<sup>11</sup>C]raclopride with ultrahigh specific activity in rat brain determined by homogenate assay and autoradiography., *Nuclear Medicine and Biology*, 35(1), 19-27, 2008
- Jun Toyohara, Maki Okada, Chie Toramatsu, Kazutoshi Suzuki, Toshiaki Irie: Feasibility studies of 4'-[methyl-<sup>11</sup>C]thiothymidine as a tumor proliferation imaging agent in mice, *Nuclear Medicine and Biology*, 35(1), 67-74, 2008
- Fujiko Konno, Takuya Arai, Ming-Rong Zhang, Akiko Hatori, Kazuhiko Yanamoto, Masanao Ogawa, Takehito Ito, Chika Odawara, Tomoteru Yamazaki, Koichi Kato, Kazutoshi Suzuki: Radiosyntheses of Two Positron Emission Tomography Probes: [<sup>11</sup>C]Oseltamivir and Its Active Metabolite [<sup>11</sup>C]Ro 64-0802, *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 18(4), 1260-1263, 2008
- Koutarou Nagatsu, Toshimitsu Fukumura, Makoto Takei, Szelecsenyi Ferenc, Zoltan Kovacs, Kazutoshi Suzuki: Measurement of thick target yields of the natS(alpha,x)<sup>34</sup>mCl nuclear reaction and estimation of its excitation function up to 70 MeV., *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B*, 266(5), 709-713, 2008
- Takeshi Fuchigami, Terushi Haradahira, Noriko Fujimoto, Takashi Okauchi, Jun Maeda, Kazutoshi Suzuki, Tetsuya Suhara, Fumihiko Yamamoto, Takahiro Mukai, Yasuhiro Magata, Minoru Maeda, et.al: Difference in brain distributions of carbon 11-labeled 4-hydroxy-2(1H)-quinolones as PET radioligands for the glycine-binding site of the NMDA ion channel, *Nuclear Medicine and Biology*, 35(2), 203-212, 2008



- Ryuji Nakao, Takehito Ito, Masatoshi Yamaguchi, Kazutoshi Suzuki: Simultaneous analysis of FDG, CIDG and Krptofix 2.2.2 in [ $^{18}\text{F}$ ]FDG preparation by high-performance liquid chromatography with UV detection., *Nuclear Medicine and Biology*, 35(2), 239-244, 2008
- Toshimitsu Okamura, Tatsuya Kikuchi, Kiyoshi Fukushima, Yasushi Arano, Toshiaki Irie: A novel noninvasive method for assessing glutathione-conjugate efflux systems in the brain, *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 15(9), 3127-3133, 2007
- Tatsuya Kikuchi, Toshimitsu Okamura, Kiyoshi Fukushima, Kazuhiro Takahashi, Jun Toyohara, Maki Okada, Ming-Rong Zhang, Toshiaki Irie: Cerebral Acetylcholinesterase Imaging: Development of the Radioprobes, *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 7(18), 1790-1799, 2007
- Tomoya Uehara, Sayaka Adachi, Kenichi Odaka, Yasuhiro Magata, Toshiaki Irie, Yasushi Arano: Technetium-99m-Labeled Long Chain Fatty Acid Analogues Metabolized by Beta-Oxidation in the Heart, *Journal of Medicinal Chemistry*, 50(3), 543-549, 2007
- <Proceedings 等>
- Ming-Rong Zhang, Katsushi Kumata, Kazutoshi Suzuki: PRACTICAL SYNTHESIS OF [ $^{18}\text{F}$ ]FLUOROBENZENE STARTING FROM PHENYLTRIBUTYLSTANNE,, *Journal of Labelled Compounds & Radiopharmaceuticals*, 50(S1), S152-S152, 2007
- Toshimitsu Fukumura, Hisashi Suzuki, Kensaku Mukai, Ming-Rong Zhang, Yuichirou Yoshida, Katsushi Kumata, Kazuyoshi Nemoto, Kazutoshi Suzuki: Development of versatile synthesis equipment for multiple production of PET radiopharmaceuticals, *Journal of Labelled Compounds & Radiopharmaceuticals*, 50(S1), S202-S202, 2007
- Ming-Rong Zhang, Katsushi Kumata, Jun Maeda, Kazuhiko Yanamoto, Misato Amitani, Junko Noguchi, Takashi Okauchi, Tetsuya Suhara, Kazutoshi Suzuki: [ $^{11}\text{C}$ ]AC-5216: RADIOSYNTHESIS AND EVALUATION AS A NOVEL PET LIGAND FOR THE PERIPHERAL-TYPE BENZODIAZEPINE RECEPTOR IN BRAIN,, *Journal of Labelled Compounds & Radiopharmaceuticals*, 50(S1), S312-S312, 2007
- Guiyang Hao, Toshimitsu Fukumura, Jun Toyohara, Kazutoshi Suzuki: ATTEMPT OF RADIOLABELING alpha-MSH ANALOG WITH F-18 AS MELANOMA TUMOR IMAGING AGENT, *Journal of Labelled Compounds & Radiopharmaceuticals*, 50(S1), S355-S355, 2007
- Toshimitsu Okamura, Tatsuya Kikuchi, Kiyoshi Fukushima, Kazutoshi Suzuki, Toshiaki Irie: Development of new tracers for noninvasive evaluation of iodide efflux systems in the brain, *Journal of Labelled Compounds & Radiopharmaceuticals*, 50(S1), S384-S384, 2007
- Kazuhiro Takahashi, Maki Okada, Kazuhiko Yanamoto, Akiko Hatori, Toshiaki Irie, Kazutoshi Suzuki, Syuichi Miura: SYNTHESIS AND BIODISTRIBUTION OF [ $^{11}\text{C}$ ]METHYL-BISINDOLYLMAREIMIDE III, A INHIBITOR OF PROTEIN KINASE C, *Journal of Labelled Compounds & Radiopharmaceuticals*, 50(S1), S398-S398, 2007
- Ryuji Nakao, Takehito Ito, Kazutaka Hayashi, Kazutoshi Suzuki: Development and Validation of an Ultra-Fast LC Method for the Quality Control of PET Radiopharmaceuticals,, *Journal of Labelled Compounds & Radiopharmaceuticals*, 50(S1), S508-S508, 2007

Koichi Kato, Ming-Rong Zhang, Kazutoshi Suzuki: SYNTHESIS OF [ -11C]ETHYL NITROACETATE: A NEW LABELING INTERMEDIATE,, Journal of Labelled Compounds & Radiopharmaceuticals, 50(S1), S52-S52, 2007

Jun Toyohara, Maki Okada, Chie Toramatsu, Toshimitsu Fukumura, Kazuhiro Takahashi, Kiyoshi Fukushi, Kazutoshi Suzuki, Toshiaki Irie: RADIOSYNTHESIS OF 4'-[METHYL-11C]THIOTHYIMIDINE FOR IMAGING OF DNA SYNTHESIS IN VIVO,, Journal of Labelled Compounds & Radiopharmaceuticals, 50(S1), S57-S57, 2007

Koutarou Nagatsu, Toshimitsu Fukumura, Szelecsenyi Ferenc, Kovacs Zoltan, Kazutoshi Suzuki: MEASUREMENT OF THE THICK TARGET YIELDS FOR NATS( $\alpha$ ,X)34MCL REACTION AND ESTIMATION OF ITS EXCITATION FUNCTION UP TO 70MEV, Journal of Labelled Compounds & Radiopharmaceuticals, 50(S1), S97-S97, 2007

Szelecsenyi Ferenc, G.f. Steyn, Kazutoshi Suzuki, Zoltan Kovacs, T.n.van Der Walt, Kensaku Mukai: Application of Zn+p reactions for production of copper radioisotopes for medical studies, International Conference on Nuclear Data for Science and Technology 2007, 142-142, 2007

Yasuhisa Fujibayashi, Kazutoshi Suzuki, Toshimitsu Fukumura, Tetsuya Mori, Shingo Kasamatsu: Non-standard radionuclide production for positron emission tomography in Japan, The Quarterly Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, 51, 2008

Tatsuya Kikuchi, Kiyoshi Fukushi, Toshimitsu Okamura, Ming-Rong Zhang, Kazuhiro Takahashi, Jun Toyohara, Maki Okada, Toshiaki Irie: Evaluation of the effect of the incomplete metabolite-trapping on cerebral acetylcholinesterase activity measurement with N-[18F]fluoroethylpiperidin-4ylmethyl acetate in monkey PET, Journal of Labelled Compounds & Radiopharmaceuticals, 50(S1), S408-S408, 2007

<学会及び研究会口頭発表等>

Koichi Kato, Ming-Rong Zhang, Kazutoshi Suzuki: SYNTHESIS OF [ -11C]ETHYL NITROACETATE: A NEW LABELING INTERMEDIATE, 17th International Symposium on Radiopharmaceutical Sciences, アーヘン, 2007.04

Jun Toyohara, Maki Okada, Chie Toramatsu, Toshimitsu Fukumura, Kazuhiro Takahashi, Kiyoshi Fukushi, Kazutoshi Suzuki, Toshiaki Irie: RADIOSYNTHESIS OF 4'-[METHYL-11C]THIOTHYIMIDINE FOR IMAGING OF DNA SYNTHESIS IN VIVO, 17th International symposium on radiopharmaceutical sciences, アーヘン, 2007.04

吉川京燦、石川博之、佐合賢治、田村克巳、松野典代、神立進、馬場雅行、宮本忠昭、鈴木和年、辻井博彦: メチオニン PET による肺癌の重粒子線治療前後評価と予後判定研究、H18 年度 HIMAC 共同利用研究成果発表会、千葉市、2007.04

鈴木和年: PET 用分子プローブの製造、第 6 回国際バイオ EXPO & 国際バイオフィォーラム、東京、2007.06

Ming-Rong Zhang, Katsushi Kumata, Jun Maeda, Kazuhiko Yanamoto, Tetsuya Suhara, Kazutoshi Suzuki: [11C]AC-5216: RADIOSYNTHESIS AND EVALUATION ASA NOVEL POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY LIGAND FOR PERIPHERAL-TYPE BENZODIAZEPINE RECEPTORS IN PRIMATE BRAIN, Seventh Japan-China Joint Seminar on Radiopharmaceutical Chemistry, 京都市, 2007.09

小高謙一、青木伊知男、米山操、森谷純治、舘野馨、田所裕之、南野徹、小室一成、入江俊章、鈴木和年、菅野巖: マンガン増感MRIによる移植細胞標識の試み、第35回日本磁気共鳴医学会大会、神戸市、2007.09

井上修、鈴木和年: 超高比放射能標識リガンドによる生体での微量現象の解明について、第7回放射性医薬品・画像診断薬研究会、京都市、2007.09

Sherif Mahmoud Abd-Elrazek Helmy, Kyosan Yoshikawa, Mitsuhiko Hasebe, Hiroyuki Ishikawa, Kenji Sagou, Katsumi Tamura, Katsuyuki Tanimoto, Susumu Kandatsu, Tsuneo Saga, Kazutoshi Suzuki, Hirohiko Tsujii: The use of  $^{11}\text{C}$ -Methionine PET imaging with and without CT attenuation correction in the detection of skeletal metastatic lesions, 第46回千葉核医学研究会、千葉市、2007.11

長谷部充彦、吉川京燦、大橋靖也、Sherif Mahmoud Abd-Elrazek Helmy、石川博之、佐合賢治、田村克巳、谷本克之、鈴木和年、佐賀恒夫、辻井博彦: 頭頸部領域 Methionine PET-CT と CT 造影所見の比較検討—悪性黒色腫—、第46回千葉核医学研究会、千葉市、2007.11

大橋靖也、吉川京燦、長谷部充彦、Sherif Mahmoud Abd-Elrazek Helmy、石川博之、佐合賢治、田村克巳、谷本克之、鈴木和年、佐賀恒夫、辻井博彦: 頭頸部領域 Methionine PET-CT と CT 造影所見の比較検討—腺様嚢胞癌—、第46回千葉核医学研究会、千葉市、2007.11

大橋靖也、吉川京燦、長谷部充彦、石川博之、佐合賢治、田村克巳、谷本克之、鈴木和年、佐賀恒夫、辻井博彦: 腺様嚢胞癌におけるメチオニン PET-CT と造影 CT 所見の比較、第47回日本核医学会学術総会、仙台市、2007.11

長谷部 充彦、吉川 京燦、大橋 靖也、Sherif Mahmoud Abd-Elrazek Helmy、石川 博之、佐合 賢治、田村 克巳、谷本 克之、鈴木 和年、佐賀 恒夫、辻井 博彦: 頭頸部悪性黒色腫の Methionine PET-CT と CT 造影所見の比較、第47回日本核医学会学術総会、仙台市、2007.11

吉川京燦、長谷部充彦、大橋靖也、石川博之、佐合賢治、田村克巳、松野典代、谷本克之、鈴木和年、佐賀恒夫、辻井博彦: FDG-PET/CT による膵臓癌の重粒子線治療予後評価の検討、第47回日本核医学会学術総会、仙台市、2007.11

鈴木和年: 「自動製造システム開発 過去・現在・未来」、第47回日本核医学会学術総会、仙台市、2007.11

寅松千枝、高橋和弘、福村利光、鈴木和年: 小動物実験用 PET 装置 Inveon の特性評価、第47回日本核医学会学術総会、仙台市、2007.11

島田斉、篠遠仁、佐藤康一、田中典子、黄田常嘉、須原哲也、入江俊章、その他:  $^{11}\text{C}$ -PIB PET によるアルツハイマー病の脳内アミロイドイメージング、第48回日本神経学会 総会、名古屋市、2007.05

島田斉、篠遠仁、平野成樹、佐藤康一、田中典子、福士清、須原哲也、服部孝道、入江俊章:  $^{11}\text{C}$ -PIB PET によるアルツハイマー病の脳内アミロイドイメージング、第48回日本神経学会総会、名古屋市、2007.05

篠遠仁、島田斉、平野成樹、福士清、田中典子、黄田常嘉、佐藤康一、須原哲也、入江俊章: 加齢による脳内アミロイドの沈着— $^{11}\text{C}$ -PIB-PET による測定—、第48回日本神経学会総会、名古屋市、2007.05



- Hitoshi Shinoto, Kiyoshi Fukushima, Hitoshi Shimada, Tetsuya Suhara, Toshiaki Irie, et.al: Voxel-based analysis of  $^{11}\text{C}$  PIB uptake in Alzheimer's disease and mild cognitive impairment, International Conference on Prevention of Dementia, Washington, D.C., 2007.06
- Tomoya Uehara, Hiromichi Akizawa, Kenichi Odaka, Yasuhiro Magata, Toshiaki Irie, Yasushi Arano: In vivo recognition of cyclopentadienyltricarbonyl Rhenium and Technetium( $\text{CpTR}$ ,  $\text{CpTT}$ ) derivatives., 7th Japan-China Joint Seminar on Radiopharmaceutical Chemistry, 京都市, 2007.09
- 野平美佳、岡村敏充、荒野泰、福士清、入江俊章: PTKによるリン酸化反応におけるチロシンハロゲン化修飾の影響、第7回放射性医薬品・画像診断薬研究会、京都市、2007.09
- 篠遠仁、島田斉、田中典子、佐藤康一、伊藤浩、須原哲也、入江俊章: 脳内アミロイドの沈着と海馬傍回の萎縮について、第47回日本核医学会学術総会、仙台市、2007.11
- Guiyang Hao, Toshimitsu Fukumura, Jun Toyohara, Kazutoshi Suzuki: ATTEMPT OF RADIOLABELING  $\alpha$ -MSH ANALOG WITH F-18 AS MELANOMA TUMOR IMAGING AGENT, 17th International Symposium on Radiopharmaceutical Sciences, アーヘン, 2007.04
- Ryuji Nakao, Takehito Ito, Kazutaka Hayashi, Kazutoshi Suzuki: Development and Validation of an Ultra-Fast LC Method for the Quality Control of PET Radiopharmaceuticals, 17th International Symposium on Radiopharmaceutical Sciences, アーヘン, 2007.04
- Ming-Rong Zhang, Katsushi Kumata, Kazutoshi Suzuki: PRACTICAL SYNTHESIS OF  $^{18}\text{F}$ FLUOROBENZENE STARTING FROM PHENYLTRIBUTYLSTANNE, 17th International Symposium on Radiopharmaceutical Sciences, アーヘン, 2007.04
- Kazuhiro Takahashi, Maki Okada, Kazuhiko Yanamoto, Akiko Hatori, Toshiaki Irie, Kazutoshi Suzuki, Syuichi Miura: SYNTHESIS AND BIODISTRIBUTION OF  $^{11}\text{C}$ METHYL-BISINDOLYLMAREIMIDE III, A INHIBITOR OF PROTEIN KINASE C, 17th International Symposium on Radiopharmaceutical Sciences, アーヘン, 2007.04
- Ming-Rong Zhang, Katsushi Kumata, Jun Maeda, Kazuhiko Yanamoto, Misato Amitani, Junko Noguchi, Takashi Okauchi, Tetsuya Suhara, Kazutoshi Suzuki:  $^{11}\text{C}$ AC-5216: RADIOSYNTHESIS AND EVALUATION AS A NOVEL PET LIGAND FOR THE PERIPHERAL-TYPE BENZODIAZEPINE RECEPTOR IN BRAIN, 17th International Symposium on Radiopharmaceutical Sciences, アーヘン, 2007.04
- Toshimitsu Okamura, Tatsuya Kikuchi, Kiyoshi Fukushima, Kazutoshi Suzuki, Toshiaki Irie: Development of new tracers for noninvasive evaluation of iodide efflux systems in the brain, 17th International symposium on radiopharmaceutical sciences, アーヘン, 2007.04
- Toshimitsu Fukumura, Hisashi Suzuki, Kensaku Mukai, Ming-Rong Zhang, Yuichirou Yoshida, Katsushi Kumata, Kazuyoshi Nemoto, Kazutoshi Suzuki: Development of versatile synthesis equipment for multiple production of PET radiopharmaceuticals, 17th International symposium on radiopharmaceutical sciences, アーヘン, 2007.04
- Koutarou Nagatsu, Toshimitsu Fukumura, Szelecsenyi Ferenc, Zoltan Kovacs, Kazutoshi Suzuki: MEASUREMENT OF  $^{34}\text{M}$ CL REACTION AND ESTIMATION OF ITS  $\alpha$ THE THICK TARGET YIELDS FOR NATS( EXCITATION FUNCTION UP TO 70MEV, 17th International symposium on radiopharmaceutical sciences, アーヘン, 2007.04

Szelecsenyi Ferenc, G.f Steyn, Kazutoshi Suzuki, Kovacs Zoltan, T.n.van Der Walt, Kensaku Mukai:

Application of Zn+p reactions for production of copper radioisotopes for medical studies, International Conference on Nuclear Data for Science and Technology, ニース, 2007.04

Katsuyuki Tanimoto, Kyosan Yoshikawa, Takahiro Shiraishi, Akira Ando, Toshio Miyamoto, Ryo

Koganezawa, Kazutoshi Suzuki, Tsuneo Saga, Kazuhiro Watanabe, Hirohiko Tsujii: A novel quantitative approach to eliminate various factors affecting SUV in 18F-FDG PET, Society of Nuclear Medicine 54th Annual Meeting, ワシントン DC, 2007.06

Kyosan Yoshikawa, Mitsuhiko Hasebe, Sherif Mahmoud Abd-Elrazek Helmy, Hiroyuki Ishikawa, Kenji Sagou,

Katsumi Tamura, Katsuyuki Tanimoto, Susumu Kandatsu, Tsuneo Saga, Kazutoshi Suzuki, Hirohiko Tsujii: Comparison of C-11 methionine and FDG PET in detection and evaluation of ovarian tumor, Society of nuclear medicine 54rd Annual Meetng, ワシントン D.C., 2007.06

Mitsuhiko Hasebe, Kyosan Yoshikawa, Sherif Mahmoud Abd-Elrazek Helmy, Hiroyuki Ishikawa, Kenji Sagou,

Katsumi Tamura, Katsuyuki Tanimoto, Koji Kawaguchi, Kazutoshi Suzuki, Junetsu Mizoe, Susumu Kandatsu, Tsuneo Saga, Kanichi Seto, Hirohiko Tsujii: Comparison of usefulness of C-11 methionine PET for predicting prognosis of patients with adenocarcinoma, adenoid cystic carcinoma and malignant melanoma in head and neck region treated by carbon ion radiotherapy, Society of nuclear medicine 54rd Annual Meetng, ワシントン D.C., 2007.06

Sherif Mahmoud Abd-Elrazek Helmy, Kyosan Yoshikawa, Mitsuhiko Hasebe, Hiroyuki Ishikawa, Kenji Sagou,

Katsumi Tamura, Katsuyuki Tanimoto, Takahiro Shiraishi, Susumu Kandatsu, Kazutoshi Suzuki, Tsuneo Saga, Hirohiko Tsujii: Direct comparison between whole body PET and combined PET/CT 11C-Methionine imaging in early detection of skeletal metastatic lesions, Society of nuclear medicine 54rd Annual Meeting, ワシントン D.C., 2007.06

長谷部充彦、吉川京燦、石川博之、佐合賢治、田村克巳、鈴木和年、佐賀恒夫、溝江純悦、瀬戸皖一、辻井博彦: 頭頸部腺癌の重粒子線治療におけるメチオニン PET 診断と予後評価、第 31 回日本頭頸部癌学会、横浜市、2007.06

小高謙一、青木伊知男、米山操、森谷純治、舘野馨、田所裕之、南野徹、小室一成、入江俊章、鈴木和年、菅野巖: マンガン増感 MRI による移植免疫細胞の標識技術の開発、日本分子イメージング学会総会・学術集会、福井、2007.06

Jun Toyohara, Maki Okada, Chie Toramatsu, Kazutoshi Suzuki, Toshiaki Irie: Radiosynthesis and evaluation of 4'-[methyl-11C]thiothymidine as a PET tracer for cell proliferation., Seventh Japan-China Joint Seminar on Radiopharmaceutical Chemistry, 京都市, 2007.09

Masaki Tokunaga, Nicholas Seneca, Jun Maeda, Ryong-Moon Shin, Hin Ki, Takashi Okauchi, Masahiro

Maruyama, Rb Innis, Christer Halldin, Kazutoshi Suzuki, Makoto Higuchi, Tetsuya Suhara:

Glutamate-dopamine interaction in awake rats and monkeys assessed by PET and dopamine D2/3 receptor agonist radiotracer [11C]MNPA, MEUROSCIENCE 2007, San Diego, 2007.11

豊原潤、岡田真希、寅松千枝、鈴木和年、入江俊章: 新規腫瘍イメージング剤 4'-

[methyl-11C]thiothymidine ([11C]S-dThd)の開発、第 47 回日本核医学会、仙台市、2007.11

荒井拓也、小川政直、張明榮、鈴木和年: ループ内 Grignard 反応を用いた[1-11C]acetyl chloride の合成検討、第 47 回日本核医学会学術総会、仙台市、2007.11

- 羽鳥晶子、豊原潤、鈴木和年、柳本和彦、岡田真希、熊田勝志、張明榮: 演題: [11C] Iressa の腫瘍細胞への取り込み、第47回日本核医学会学術総会、仙台市、2007.11
- 林和孝、中尾隆士、吉田勇一郎、武藤正敏、鈴木和年: 臨床使用のための[18F]FMISO の製造法と品質検査、第47回日本核医学会学術総会、仙台市、2007.11
- 辻厚至、曾川千鶴、須堯綾、須藤仁美、金朝暉、U Winn Aung、豊原潤、小泉満、古川高子、原田良信、樋野興夫、鈴木和年、佐賀恒夫: 中皮腫モデルマウスにおける PET トレーサーの比較検討、日本放射線影響学会第50回大会、千葉市、2007.11
- 福村利光、永津弘太郎、中尾隆士、林和孝、鈴木和年: 62Zn/62Cu ジェネレータの製造と供給、分子イメージング研究シンポジウム 2008、東京、2008.01
- 菊池達矢、福士清、岡田真希、岡村敏充、小高謙一、入江俊章、鈴木和年: 腫瘍および脳をターゲットとした新たな放射性プローブ開発、分子イメージング研究シンポジウム 2008、東京、2008.01
- 張明榮、加藤孝一、熊田勝志、柳本和彦、荒井拓也、羽鳥晶子、昆野富士子、小田原知佳、鈴木和年: 標識技術の開発と応用、分子イメージング研究シンポジウム 2008、東京、2008.01
- 荒井拓也、小川政直、柳本和彦、羽鳥晶子、山崎友照、小田原知佳、加藤孝一、張明榮、鈴木和年: [11C] オセルタミビル及びその代謝活性体[11C]Ro 64-0802 の標識合成、日本薬学会 128 年会、横浜市、2008.03
- 小田原知佳、柳本和彦、武井誠、昆野富士子、熊田勝志、山崎友照、羽鳥晶子、張明榮、鈴木和年: 新規 mGluR1 PET リガンド[11C]TBI の合成と評価、日本薬学会第 128 年会、横浜市、2008.03
- 岡田真希、中尾隆士、入江俊章、井上修、鈴木和年: 高感度マイクロダイアリス radio-LC システムの開発と L-[11C]DOPA のラット in vivo 動態計測への適用、日本薬学会第 128 年会、横浜市、2008.03
- 山崎友照、羽鳥晶子、柳本和彦、張明榮、熊田勝志、鈴木和年: 新規末梢ベンゾジアゼピン受容体 PET リガンド[11C]DAC を用いた腫瘍イメージング、日本薬学会第 128 年会、横浜市、2008.03
- 柳本和彦、武井誠、小田原知佳、熊田勝志、山崎友照、羽鳥晶子、張明榮、鈴木和年: 末梢性ベンゾジアゼピン受容体プローブ[11C]DAC の合成と評価、日本薬学会第 128 年会、横浜市、2008.03
- 中尾隆士、伊藤岳人、鈴木和年: PET プローブ製造の新展開—分離精製に関する検討—、日本薬学会第 128 年会、横浜市、2008.03
- 昆野富士子、荒井拓也、小川政直、柳本和彦、羽鳥晶子、山崎友照、小田原知佳、加藤孝一、張明榮、鈴木和年: [11C]オセルタミビル及びその代謝活性体[11C]Ro 64-0802 の標識合成、日本薬学会第 128 年会、横浜市、2008.03
- 熊田勝志、小川政直、張明榮、福村利光、鈴木和年: 無水[13N]NH<sub>3</sub> を用いる標識合成、日本薬学会第 128 年会、横浜市、2008.03
- Tatsuya Kikuchi, Kiyoshi Fukushi, Toshimitsu Okamura, Ming-Rong Zhang, Kazuhiro Takahashi, Jun Toyohara, Maki Okada, Toshiaki Irie: Evaluation of the effect of the incomplete metabolite-trapping on cerebral acetylcholinesterase activity measurement with N-[18F]fluoroethylpiperidin-4-ylmethyl acetate in monkey PET, 17th International symposium on radiopharmaceutical sciences, アーヘン, 2007.04
- Hitoshi Shinoto, Kiyoshi Fukushi, Shigeki Hirano, Hitoshi Shimada, Noriko Tanaka, Tsuneyoshi Ota, Koichi Sato, Tetsuya Suhara, Toshiaki Irie: Distribution of amyloid deposition in Alzheimer's disease and normal aging demonstrated by [11C]PIB PET, Brain'07 and BrainPET'07, 大阪, 2007.05



Noriko Tanaka, Koichi Sato, Kiyoshi Fukushi, Hitoshi Shinoto, Shigeki Hirano, Hitoshi Shimada, Tsuneyoshi Ota, Tetsuya Suhara, Toshiaki Irie: Effect of scan duration on the Logan analysis of [<sup>11</sup>C]PIB PET, Brain'07 and BrainPET'07, 大阪, 2007.05

田中典子、福士清、篠遠仁、黄田常嘉、佐藤康一、島田斉、入江俊章、須原哲也、伊藤浩: PIB-PET におけるアルツハイマー病診断感度: NLS 法と Logan plot 法の比較、第 47 回日本核医学会、仙台市、2007.11

佐藤康一、福士清、篠遠仁、田中典子、黄田常嘉、島田斉、伊藤浩、須原哲也、入江俊章: [<sup>11</sup>C]MP4A/PET のパラメータ画像作成における簡便解析法の検討、第 47 回日本核医学会、仙台市、2007.11

上原知也、渡邊真樹子、秋澤宏行、安藤興一、入江俊章、川井恵一、荒野泰: アミノ酸輸送システム A の基質による癌の治療効果判定、第 47 回日本核医学会、仙台市、2007.11

篠遠仁、島田斉、福士清、田中典子、黄田常嘉、佐藤康一、伊藤浩、須原哲也、入江俊章: アルツハイマー病と軽度認知機能障害における大脳皮質アミロイドの沈着と海馬傍回の萎縮について、第 47 回日本核医学会、仙台市、2007.11

黄田常嘉、篠遠仁、福士清、田中典子、佐藤康一、島田斉、伊藤浩、須原哲也、新井平伊、入江俊章: アルツハイマー病の進行に伴う脳内アセチルコリンエステラーゼ活性と脳血流の障害に関する検討、第 47 回日本核医学会、仙台市、2007.11

島田斉、平野成樹、篠遠仁、朝比奈正人、佐藤康一、田中典子、黄田常嘉、福士清、須原哲也、服部孝道、入江俊章: レヴィ小体型認知症及び認知症に伴う Parkinson 病における脳内アセチルコリンエステラーゼ活性測定、第 47 回日本核医学会、仙台市、2007.11

島田斉、平野成樹、篠遠仁、朝比奈正人、佐藤康一、田中典子、黄田常嘉、福士清、須原哲也、服部孝道、入江俊章: Brain acetylcholinesterase changes in dementia with Lewy Bodies and Parkinson's disease with dementia demonstrated by PET, 17th WFN World Congress on Parkinson's disease and Related Disorders, アムステルダム、2007.12

#### <その他>

#### <プレス発表・報道>

張明榮、鈴木和年: タミフルの動き画像化 PET 向け 標識薬剤合成に成功、2007

#### <特許登録>

佐々木基仁、鈴木和年、渡辺恭良、池本昌弘: 固定化酵素を用いた標識薬剤自動合成装置、2007

入江俊章、伊古田暢夫、福士清: 光学活性な N-置換ピロリジン誘導体及びこれを含有する中枢局所ブチルコリンエステラーゼ活性測定用試薬、2007

#### <特許出願>

Tetsuya Suhara, Kazutoshi Suzuki, Makoto Higuchi, Ming-Rong Zhang, Jun Maeda, Hin Ki: BTA-DAA compound, 2007

鈴木和年、若井篤志: イオン源とそれを用いた濃縮装置およびイオン源の運転方法、2007

鈴木和年、鈴木寿: ロータリーエバポレーター及びこのロータリーエバポレーターを備えた放射性薬剤、2007

Ming-Rong Zhang, Kazutoshi Suzuki: , 2007

#### <講義・講演>

Kazutoshi Suzuki: Production of PET- Radiopharmaceuticals for Clinical Use, Seventh Japan-China Joint Seminar on Radiopharmaceutical Chemistry, 京都市, 2007.09

鈴木和年: PET 用分子プローブの製造、放医研における PET 用分子プローブ製造の概要、横浜市、2007.09

Kazutoshi Suzuki: FNCA Seminar on Application of Cyclotron and Positron Emission Tomography(PET) in Medicine, FNCA医療用PET・サイクロトロンワークショップおよび公開セミナー、クアラルンプール、2007.11

入江俊章: 「生体分子分析学」特論、千葉大学大学院医学研究院、千葉市、2007.04

入江俊章: 放射線と生命科学、千葉大学普遍教育、千葉市、2007.06

入江俊章: PETによる脳内活性物質の機能測定。北里大学、相模原市、2007.06

#### <招待発表>

入江俊章: 放医研における新しい標識リードプローブ開発への取り組み、Molecular Imaging 2008、東京都千代田区、2008.01

### 3-1. 重粒子線の生物効果初期過程における基礎物理研究

#### <学会及び研究会口頭発表等>

橋本浩利、大澤大輔、曾我文宣、村上健: 6.0-15.0MeV/u の  $\text{He}^{2+}$  粒子と水分子の衝突による放出二次電子のトラック構造解析 (19aXJ-7) 第 62 回物理学会、鹿児島大、2007 春

橋本浩利、大澤大輔、村上健、本間壽廣、曾我文宣: 炭素イオン線と水分子の衝突による放出二次電子の二重微分断面積測定 (21pRE-7) 第62回物理学会、北大、2007秋

#### <学位論文>

岡田豊史: 6.0 MeV/u  $\text{C}^{6+}$  ビーム衝撃による水蒸気からの放出二次電子線の生成二重微分断面積の測定、卒業発表、千葉大理学部物理学科

橋本浩利: 炭素イオン線 ( $\text{C}^{6+}$ ) と水分子の衝突による放出二次電子の二重微分断面積測定、修論発表、東京理科大学大学院理工学研究科 物理学専攻、2007

### 4-1. 宇宙環境中での中性子検出器の開発

#### <原著論文等>

Masashi Takada, Takashi Nakamura: A PHOSWICH DETECTOR FOR HIGH-ENERGY NEUTRONS, Radiation Protection Dosimetry, 2007

M. Hagiwara, T. Sanami, T. Oishi, M. Baba, M. Takada: Extension of energy acceptance of Bragg curve counter at the high-energy end, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, section A, A592, 73-79 (2008)

T.Sanami, M.Hagiwara, T.Oishi, M.Baba, M.Takada: A Bragg curve counter with an active cathode to improve the energy threshold in fragment measurements, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, section A, A589, 193-201 (2008)

#### <学会及び研究会口頭発表等>

高田真志: シリコン検出器の荷電粒子による Funneling 現象、日本原子力学会、3/26-28、2008、大阪大学

H. Ohguchi, N. Juto, S. Fujisaki, S. Migita, Y. Koguchi, M. Takada, : 2006, Study of Improved Alkyl Di-Glycol Carbonate Sheet for High Energy Proton Detection, Radiat. Prot. Dosim, 120, No.1-4,461-465

Hiroyuki Ohguchia, Wakako Shinozaki, Keiji Oda, Takashi Nakamura, Tomoya Yamauchi: Characteristics of PADC detectors using new pre-soaking technique, Radiation. Measurements. 43, 437-441. 2008,  
H.Yasuda et al.: Prototype development for real-time monitoring of neutron energy spectra in space, The 37th COSPAR Scientific Assembly, Montreal, Canada, 13rd-20th July, 2008  
M.Takada et al.: High-energy phoswich-typed neutron detector in the space station; measurement of energy spectra at aviation altitude, The 37th COSPAR Scientific Assembly, Montreal, Canada, 13rd-20th July, 2008

#### 4-2. 宇宙放射線の荷電粒子成分検出器の開発

<Proceedings 等>

Y. Sasaki, H. Matsumoto, T. Nakamura, T. Goka: Development of Technical Data Acquisition Equipment on board GOSAT, 電子情報通信学会 2006 年総合大会講演.

Yasutomo Sasaki, Haruhisa Matsumoto, Tateo Goka: Toshiyuki Nakamura, Kazuhiro Terasawa, Hisashi Kitamura: Technical data acquisition equipment for GOSAT, 30th International Cosmic Ray Conference (2007)

<学会及び研究会口頭発表等>

五家建夫、松本晴久、佐々木康友: GOSAT 搭載技術データ取得装置の開発、第 4 回 宇宙環境シンポジウム(2008)

<学位論文>

木本雄吾: RADFET による宇宙機環境におけるトータルドーズ計測法、博士論文、鹿児島大学大学院理工学研究科

## 6. 関連資料

平成19年度第Ⅰ期・Ⅱ期マシンタイム表



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
3月26日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D	4月16日 (月)	メンテナンス	メンテナンス
3月27日 (火)	RI生産		R&D		4月17日 (火)	RI生産	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4
3月28日 (水)	RI生産		R&D		4月18日 (水)	RI生産	宇宙放射線の荷電粒子成分 検出器の開発 北村 He100MeV/1000～10000pps C6
3月29日 (木)	RI生産		R&D		4月19日 (木)	RI生産	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4
3月30日 (金)	RI生産		R&D		4月20日 (金)	RI生産	宇宙放射線の荷電粒子成分 検出器の開発 北村 He100MeV/1000～10000pps C6
3月31日 (土)					4月21日 (土)		
4月1日 (日)					4月22日 (日)		
4月2日 (月)	メンテナンス	メンテナンス		4月23日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4
4月3日 (火)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4		4月24日 (火)	RI生産	
4月4日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4		4月25日 (水)	RI生産	
4月5日 (木)	RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/500nA C10		4月26日 (木)	RI生産	
4月6日 (金)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4		4月27日 (金)	RI生産	
4月7日 (土)					4月28日 (土)		
4月8日 (日)					4月29日 (日)	昭和の日	
4月9日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	4月30日 (月)	振替休日	
4月10日 (火)	RI生産		R&D		5月1日 (火)	RI生産	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4
4月11日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4		5月2日 (水)	RI生産	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4
4月12日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4		5月3日 (木)	憲法記念日	
4月13日 (金)	RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/500nA C10		5月4日 (金)	みどりの日	
4月14日 (土)					5月5日 (土)	子供の日	
4月15日 (日)					5月6日 (日)		

小型サイクロロン			大型サイクロロン		小型サイクロロン			大型サイクロロン	
月 日	午 前	午 後	午 前	午 後	月 日	午 前	午 後	午 前	午 後
5月7日 (月)	メンテナンス		メンテナンス		5月28日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4
5月8日 (火)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4		5月29日 (火)	RI生産		宇宙環境中における中性子 測定器の開発 高田 P40MeV/1000pps～10nA C6	
5月9日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4		5月30日 (水)	RI生産		宇宙環境中における中性子 測定器の開発 高田 P70MeV/1000pps～10nA C6	
5月10日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4		5月31日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	
5月11日 (金)	RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/500nA C10		6月1日 (金)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	
5月12日 (土)					6月2日 (土)				
5月13日 (日)					6月3日 (日)				
5月14日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	6月4日 (月)	メンテナンス		メンテナンス	
5月15日 (火)	RI生産		宇宙環境中における中性子 測定器の開発 高田(千代田テクノ) P40MeV/100nA～10 $\mu$ A C6		6月5日 (火)	RI生産		宇宙環境中における中性子 測定器の開発 高田(鈴木) C12MeV/n /1000pps～10nA C6	
5月16日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4		6月6日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	
5月17日 (木)	RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/500nA C10		6月7日 (木)	RI生産		宇宙環境中における中性子 測定器の開発 高田(鈴木) O12MeV/n /1000pps～10nA C6	
5月18日 (金)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4		6月8日 (金)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	
5月19日 (土)					6月9日 (土)				
5月20日 (日)					6月10日 (日)				
5月21日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D	6月11日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4
5月22日 (火)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4		6月12日 (火)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	
5月23日 (水)	RI生産		宇宙環境中における中性子 測定器の開発 高田(千代田テクノ) P80MeV/100nA～10 $\mu$ A C6		6月13日 (水)	RI生産		各種材料等の放射線による特性変化の測定 JAXA(河原) P70MeV/1 $\mu$ A C8	
5月24日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4		6月14日 (木)	RI生産		各種材料等の放射線による特性変化の測定 JAXA(河原) P70MeV/1 $\mu$ A C8	
5月25日 (金)	RI生産		各種材料等の放射線による特性変化の測定 JAXA(佐藤) P70MeV/～1E10pps C8		6月15日 (金)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	
5月26日 (土)					6月16日 (土)				
5月27日 (日)					6月17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
6月18日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D	7月9日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4
6月19日 (火)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4		7月10日 (火)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
6月20日 (水)	RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/500nA C10		7月11日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
6月21日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4		7月12日 (木)	RI生産		宇宙環境中における中性子 測定器の開発 高田(千代田テクノル) P40MeV/1000pps~10nA C6	
6月22日 (金)	RI生産		宇宙環境中における中性子 測定器の開発 高田 P10MeV/1000pps~10nA C6		7月13日 (金)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
6月23日 (土)					7月14日 (土)				
6月24日 (日)					7月15日 (日)				
6月25日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	7月16日 (月)	海の日			
6月26日 (火)	RI生産		宇宙環境中における中性子 測定器の開発 高田 P10MeV/1000pps~10nA C6		7月17日 (火)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
6月27日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4		7月18日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
6月28日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4		7月19日 (木)	RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/500nA C10	
6月29日 (金)	RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/500nA C10		7月20日 (金)	RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/500nA C10	
6月30日 (土)					7月21日 (土)				
7月1日 (日)					7月22日 (日)				
7月2日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	7月23日 (月)	メンテナンス	メンテナンス		
7月3日 (火)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4		7月24日 (火)	RI生産		光部品の放射線の影響に関する研究 JAXA(久保山) P18~70MeV/~1E10pps C8	
7月4日 (水)	RI生産		R&D		7月25日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
7月5日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4		7月26日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
7月6日 (金)	RI生産		R&D		7月27日 (金)	RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/500nA C10	
7月7日 (土)					7月28日 (土)				
7月8日 (日)					7月29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
7月30日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	8月20日 (月)	長期メンテナンス			
7月31日 (火)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4		8月21日 (火)	長期メンテナンス			
8月1日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4		8月22日 (水)	長期メンテナンス			
8月2日 (木)	RI生産		各種材料等の放射線による特性変化の測定 JAXA (佐藤) P70MeV/～1E10pps C8		8月23日 (木)	長期メンテナンス			
8月3日 (金)	RI生産		光部品の放射線の影響に関する研究 JAXA (久保山) P18～70MeV/～1E10pps C8		8月24日 (金)	長期メンテナンス			
8月4日 (土)					8月25日 (土)				
8月5日 (日)					8月26日 (日)				
8月6日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	8月27日 (月)	メンテナンス	RI生産	R&D	
8月7日 (火)	RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/500nA C10		8月28日 (火)	RI生産		R&D	
8月8日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4		8月29日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
8月9日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4		8月30日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
8月10日 (金)	RI生産	メンテナンス	R&D	メンテナンス	8月31日 (金)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
8月11日 (土)					9月1日 (土)				
8月12日 (日)					9月2日 (日)				
8月13日 (月)	長期メンテナンス				9月3日 (月)	Ⅱ期マシンタイム			
8月14日 (火)	長期メンテナンス				9月4日 (火)	Ⅱ期マシンタイム			
8月15日 (水)	長期メンテナンス				9月5日 (水)	Ⅱ期マシンタイム			
8月16日 (木)	長期メンテナンス				9月6日 (木)	Ⅱ期マシンタイム			
8月17日 (金)	長期メンテナンス				9月7日 (金)	Ⅱ期マシンタイム			
8月18日 (土)					9月8日 (土)				
8月19日 (日)					9月9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	午 前   午 後	午 前   午 後
8月27日 (月)	R&D	R&D (放射線安全測定)	9月17日 (月)	敬老の日			
8月28日 (火)	RI生産	R&D	9月18日 (火)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4
8月29日 (水)	RI生産	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	9月19日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	
8月30日 (木)	RI生産	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	9月20日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	
8月31日 (金)	RI生産	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	9月21日 (金)	RI生産		R&D	
9月1日 (土)			9月22日 (土)				
9月2日 (日)			9月23日 (日)	秋分の日			
9月3日 (月)	メンテナンス	メンテナンス	9月24日 (月)	振替休日			
9月4日 (火)	RI生産	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	9月25日 (火)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4
9月5日 (水)	RI生産	光部品の放射線の影響に関する研究 JAXA (石島) P18~70MeV/～1E10pps C8	9月26日 (水)	RI生産		陽子線による染色体異常スペクトルの解析 古澤 P70MeV/10pA C8	
9月6日 (木)	RI生産	宇宙環境中における中性子 測定器の開発 高田(富士電機) P70MeV/1000pps～100nA C6	9月27日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	
9月7日 (金)	RI生産	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	9月28日 (金)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	
9月8日 (土)			9月29日 (土)				
9月9日 (日)			9月30日 (日)				
9月10日 (月)	メンテナンス	メンテナンス (汎用クレーン性能検査)	10月1日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D
9月11日 (火)	RI生産	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	10月2日 (火)	RI生産		宇宙放射線の荷電粒子成分 検出器の開発 北村 P70MeV/10000pps C8	
9月12日 (水)	RI生産	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	10月3日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	
9月13日 (木)	RI生産	二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/300nA C10	10月4日 (木)	RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/300nA C10	
9月14日 (金)	RI生産	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	10月5日 (金)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	
9月15日 (土)			10月6日 (土)				
9月16日 (日)			10月7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	
10月8日 (月)		体育の日						10月29日 (月)		メンテナンス RI生産		メンテナンス		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
10月9日 (火)		RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4				10月30日 (火)		RI生産		宇宙放射線の荷電粒子成分 検出器の開発 北村 P30〜70MeV/10000pps C6			
10月10日 (水)		RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4				10月31日 (水)		RI生産		RI生産・ 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4			
10月11日 (木)		RI生産		宇宙放射線の荷電粒子成分 検出器の開発 北村 P70MeV/10000pps C6				11月1日 (木)		RI生産		R&D			
10月12日 (金)		RI生産		宇宙放射線の荷電粒子成分 検出器の開発 北村 P70MeV/10000pps C6				11月2日 (金)		RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4			
10月13日 (土)								11月3日 (土)							
10月14日 (日)								11月4日 (日)							
10月15日 (月)		メンテナンス	RI生産	メンテナンス		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4		11月5日 (月)		メンテナンス		メンテナンス			
10月16日 (火)		RI生産		宇宙環境中における中性子 測定器の開発 高田(千代田テクノル) P70MeV/1000pps〜100nA C6				11月6日 (火)		RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/300nA C10			
10月17日 (水)		RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4				11月7日 (水)		RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4			
10月18日 (木)		RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4				11月8日 (木)		RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4			
10月19日 (金)		RI生産	停電準備	RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4		停電準備		11月9日 (金)		RI生産		宇宙環境中における中性子 測定器の開発 高田 P70MeV/1000pps or O12MeV/n/max C6			
10月20日 (土)				停電				11月10日 (土)		文化の日					
10月21日 (日)				停電				11月11日 (日)							
10月22日 (月)		停電復旧	メンテナンス	停電復旧		メンテナンス		11月12日 (月)		メンテナンス	RI生産	メンテナンス		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
10月23日 (火)		RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4				11月13日 (火)		RI生産		電気回路システムに対する放射線の 影響に関する研究 JAXA(河原) P70MeV/1E7pps C8			
10月24日 (水)		RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4				11月14日 (水)		RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4			
10月25日 (木)		RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4				11月15日 (木)		RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4			
10月26日 (金)		RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/300nA C10				11月16日 (金)		RI生産		宇宙環境中における中性子 測定器の開発 高田(千代田テクノル) P20MeV/1000pps C6			
10月27日 (土)								11月17日 (土)							
10月28日 (日)								11月18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
11月19日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D	12月10日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4
11月20日 (火)	RI生産		R&D		12月11日 (火)	RI生産		宇宙環境中における中性子 測定器の開発 高田(鈴木) C12MeV/n/1000pps C6	
11月21日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4		12月12日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
11月22日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4		12月13日 (木)	RI生産		R&D	
11月23日 (金)	勤労感謝の日				12月14日 (金)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
11月24日 (土)					12月15日 (土)				
11月25日 (日)					12月16日 (日)				
11月26日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	12月17日 (月)	メンテナンス		メンテナンス	
11月27日 (火)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4		12月18日 (火)	RI生産		宇宙環境中における中性子 測定器の開発 高田(千代田テクノル) P40MeV/1000pps~100nA C6	
11月28日 (水)	RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/300nA C10		12月19日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
11月29日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4		12月20日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
11月30日 (金)	RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/300nA C10		12月21日 (金)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
12月1日 (土)					12月22日 (土)				
12月2日 (日)					12月23日 (日)				
12月3日 (月)	メンテナンス		メンテナンス		12月24日 (月)	天皇誕生日			
12月4日 (火)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4		12月25日 (火)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
12月5日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4		12月26日 (水)	RI生産		宇宙環境中における中性子 測定器の開発 高田(保田) P40MeV/1000pps~100nA C6	
12月6日 (木)	RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/300nA C10		12月27日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	
12月7日 (金)	RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/300nA C10		12月28日 (金)	RI生産	メンテナンス	RI生産 鈴木 P40MeV/15μA etc、C1,C2,C4	メンテナンス
12月8日 (土)					12月29日 (土)				
12月9日 (日)					12月30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
12月31日 (月)				1月21日 (月)	メンテナンス   RI生産	メンテナンス	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc, C1,C2,C4
1月1日 (火)				1月22日 (火)	RI生産		半導体素子の放射線の影響に関する研究 JAXA (久保山) P18~70MeV/~1E10pps C8
1月2日 (水)				1月23日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc, C1,C2,C4
1月3日 (木)				1月24日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc, C1,C2,C4
1月4日 (金)	メンテナンス	メンテナンス		1月25日 (金)	RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/300nA C10
1月5日 (土)				1月26日 (土)			
1月6日 (日)				1月27日 (日)			
1月7日 (月)	メンテナンス   RI生産	メンテナンス	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc, C1,C2,C4	1月28日 (月)	メンテナンス   RI生産	カメラのイメージャ素子の放射線試験 JAXA 吉井 P18~70MeV/~1E10pps C8	
1月8日 (火)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc, C1,C2,C4	1月29日 (火)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc, C1,C2,C4
1月9日 (水)	RI生産		R&D	1月30日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc, C1,C2,C4
1月10日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc, C1,C2,C4	1月31日 (木)	RI生産		宇宙放射線の荷電粒子成分 検出器の開発 北村 P70MeV/10000pps C6
1月11日 (金)	RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/300nA C10	2月1日 (金)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc, C1,C2,C4
1月12日 (土)				2月2日 (土)			
1月13日 (日)				2月3日 (日)			
1月14日 (月)	成人の日			2月4日 (月)	メンテナンス		メンテナンス
1月15日 (火)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc, C1,C2,C4	2月5日 (火)	RI生産		半導体部品の放射線による特性変化 HIREC P20~70MeV/5nA C8
1月16日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc, C1,C2,C4	2月6日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc, C1,C2,C4
1月17日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc, C1,C2,C4	2月7日 (木)	RI生産		半導体部品の放射線による特性変化 HIREC P20~70MeV/5nA C8
1月18日 (金)	RI生産		宇宙環境中における中性子 測定器の開発 高田(保田) P70MeV/1000pps~100nA C6	2月8日 (金)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc, C1,C2,C4
1月19日 (土)				2月9日 (土)			
1月20日 (日)				2月10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
2月11日 (月)	建国記念の日				3月3日 (月)	メンテナンス	RI生産
						メンテナンス	メンテナンス
2月12日 (火)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	3月4日 (火)	RI生産	
						二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/300nA C10	
2月13日 (水)	RI生産		陽子線による染色体異常スペクトルの解析 古澤 P70MeV/10pA C8		3月5日 (水)	RI生産	
						二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/300nA C10	
2月14日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4		3月6日 (木)	長期メンテナンス	
2月15日 (金)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4		3月7日 (金)	長期メンテナンス	
2月16日 (土)					3月8日 (土)		
2月17日 (日)					3月9日 (日)		
2月18日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	R&D	3月10日 (月)	長期メンテナンス	
2月19日 (火)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4		3月11日 (火)	長期メンテナンス	
2月20日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4		3月12日 (水)	長期メンテナンス	
2月21日 (木)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4		3月13日 (木)	長期メンテナンス	
2月22日 (金)	RI生産		二次電子実験 大澤 C <sup>6+</sup> 6MeV/300nA C10		3月14日 (金)	長期メンテナンス	
2月23日 (土)					3月15日 (土)		
2月24日 (日)					3月16日 (日)		
2月25日 (月)	メンテナンス	RI生産	メンテナンス	RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4	3月17日 (月)	長期メンテナンス	
2月26日 (火)	RI生産		R&D		3月18日 (火)	長期メンテナンス	
2月27日 (水)	RI生産		RI生産 鈴木 P40MeV/15 $\mu$ A etc、C1,C2,C4		3月19日 (水)	長期メンテナンス	
2月28日 (木)	RI生産		R&D		3月20日 (木)	長期メンテナンス	
2月29日 (金)	RI生産	メンテナンス	陽子線による染色体異常スペクトルの解析 古澤 P70MeV/10pA C8		3月21日 (金)	来年度マシンタイム	
3月1日 (土)					3月22日 (土)		
3月2日 (日)					3月23日 (日)		

## 平成19年度サイクロトロン利用報告書

平成20年11月刊行

編 集

独立行政法人 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

郵便番号

263-8555

住 所

千葉県千葉市稲毛区穴川4丁目9番1号

連絡先

独立行政法人 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

TEL:043-206-3173 FAX:043-287-6146

メールアドレス : cyc\_ope@nirs.go.jp

ホームページ

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