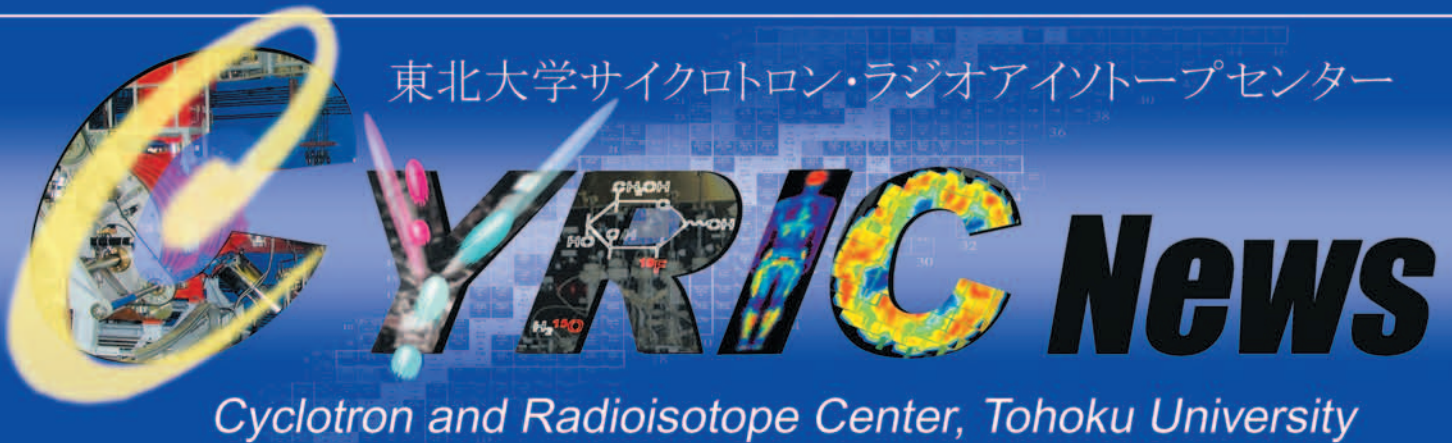


東北大学サイクロロン・ラジオアイソトープセンター



No. 42 2007. 11 東北大学サイクロロン・ラジオアイソトープセンター

巻 頭 言

東北大学 理事（研究・国際交流担当） 庄子 哲 雄

比較人類学について興味深い番組を見た。かつては人類の起源を辿るために人体等の骨格、形状等の相違をもとにその進化過程が調べられてきた。ところが最近の DNA 解析技術の発展は、骨などに残されているわずかなミトコンドリアの DNA を調査することにより人類の起源、言い換えれば人類の変化の歴史が明らかにされてきているという。すなわち比較人類学のための手段は形態学から分子生物学に置き換えられてきているという。それによると、人類の起源は、人種、肌の色、髪の色、言語、文化、習慣などに因ることなくアフリカの一人の母から生まれたものであることが明らかになってきている。日本人についてもミトコンドリア DNA によりいくつかの分類が可能でありモンゴル・中国大陸経由や東南アジア経由等々に分類可能であることを番組では紹介していた。米国からの帰国直後で真夜中に目が覚めた都内のホテルで見た番組で、その方面の専門家にとっては既に常識のことかも知れませんが門外漢の私には極めて新鮮な内容でありました。新たな方法論により過去の学問体系や学術成果が見直されるあるいは飛躍的に発展することは良くある話ではあります

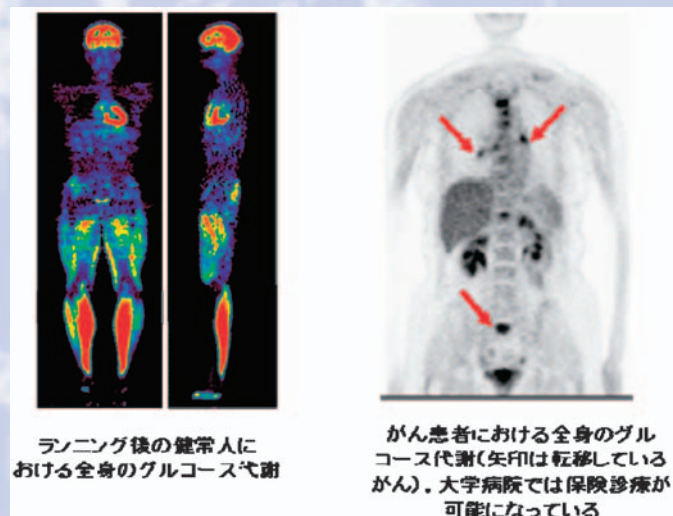
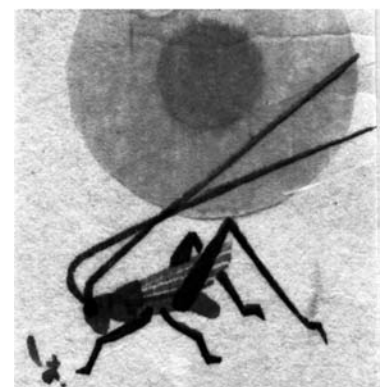


図 1. グルコース代謝のイメージング（研究紹介，4 ページ）

が、最近の特にライフサイエンス分野におけるナノテクの飛躍的發展，新規の分析技術，方法論の開発等々はますますそのような事態を加速的に増やすと思われます。

さて本学のサイクロトロン・ラジオアイソトープセンター（以下 CYRIC と略称）においては、よく知られているように PET による疾患診断において先導的な研究並びに診断を行ってきており、本学が世界を先導する領域のひとつとして挙げられることが出来ます。その歴史的な経緯やその後の展開そして最近の全学横断的組織としての分子イメージング研究推進室（リーダー 谷内教授（医学系研究科））による活動については既に前号において加齢医学研究所長福田寛教授により詳しく説明されているのでここでは言及しないが、ますます大きな広がりを持って発展していくことを期待したい。PET による画像診断は今後ますます広まり、一般的な健康診断の手段として活用される時代が到来しつつあります。本学の先駆的な研究成果がその一層の診断技術の向上に、そして教育プログラムにより育成された人材がそのような場で活躍されることを期待したい。

本学においてはさらに大きな取り組みとしてスマートエージングプログラムが推進されている。このプログラムも分子イメージング研究推進室と同じく、特定領域研究推進支援センター（Center for Research Strategy and Support, 略称 CRESS）において全学的に取り組む課題として進められており学内的には50程度の研究課題が提案されておりそのいくつかは具体的に推進されようとしている。スマートエージングの構想は、高齢化社会において高齢化した後のことのみを対象とするのではなく、生を受けたときからいかに加齢するかを研究対象とするものであり、加齢を自然現象として認めそれにいかに賢く対処し豊かな人生，QOL を得るかを研究対象としている。医歯薬農学，理工学，人文社会科学等を総合したプログラムであり，健康の維持，疾患の早期発見，治療の高度化等々を包括するものであり，PET によるアルツハイマーの早期発見なども含まれている。プローブの開発如何では多様な疾患への適用が可能な分子イメージングとしての PET の適用はますます広がることが予想される。冒頭に述べたように，PET 画像診断において比較人類学における分子生物学に相当する革新的な方法論はまだ残されているのだろうか。科学の進歩は思いもかけない発見・発明により大きな進展を見てきた。PET の次の飛躍はどうもたらされるのか期待したいし，CYRIC がその中核として先陣を切ることを期待したい。



阿部笙子先生作

CYRIC ニュース No. 42 目 次

• 巻頭言	東北大学・理事	庄子 哲雄 ……	1
• 研究紹介			
東北大学における分子イメージング研究	東北大学大学院医学系研究科	谷内 一彦 ……	4
• 学内 RI 使用施設紹介			
東北大学病院	東北大学病院・放射線科	阿部 信行 ……	8
• 新しい機器・設備の紹介			
(1) 1 mm 以下の解像力を持つ超高分解能半導体 PET : Fine PET	東北大学大学院工学研究科	石井 慶造 ……	12
(2) 分子イメージング棟	東北大学サイクロトロン・RI センター	山崎 浩道 ……	18
• センターからのお知らせ			20
□ 分子イメージング棟開所式と記念講演会の開催			
□ 東北大学 100 周年記念まつり			
□ 分子イメージング国際シンポジウム			
□ 放射線と RI の安全取扱いに関する全学講習会			
□ 運営専門委員会報告			
□ 2007 年度 CYRIC バーベキューパーティー			
• 研究交流 ……			25
• RI 管理メモ ……			25
• 人事異動 ……			26
• 組織図・分野別相談窓口 ……			27
• 編集後記 ……			28

研究紹介

東北大学における分子イメージング研究

東北大学大学院医学系研究科・機能薬理学分野
谷内 一彦

1. 分子イメージングとは？

分子イメージング法とは、生体内のタンパク量や酵素活性、遺伝子の発現レベルなどを *in vivo* で可視化する技術であり、病態解明や臨床検査、薬理評価など様々な分野に応用されています。ヒト個体レベルでの評価においては、生体内分子に特異的に結合する化合物（プローブ）をポジトロン放出核種で標識し、ポジトロン断層撮影法 (PET) でその空間分布を体外計測するのが代表的な手法です。PET は 3 次元画像情報を定量的かつ高感度に入手できることが利点であり、生体組織内のピコモル濃度のプローブの検出が可能です。その他、核磁気共鳴や近赤外光を用いた分子イメージング法も提案されていますが、その臨床応用には解決すべきいくつかの課題があり、そのぶん PET への期待が高まっています。これまで神経伝達機能のイメージングに本法が多用されていますが、最近では、アルツハイマー病などの神経疾患の脳内に特異的に蓄積する異常タンパクの検出、遺伝子発現量の解析による遺伝子治療の効果判定、ポジトロン標識生物製剤（タンパク質など）による体内動態研究などにも活用されようとしています。また新規化合物のヒト体内における挙動を生きているヒトで“診る”ことができるために、医薬品開発における新たなツールとして創薬分野への導入も“ビッグファーマ”を中心に進んでいます。このような医薬品開発における分子イメージングの応用は「マイクロドーズ臨床試験」として総合科学技術会議でも積極的に推進すべきであると提言に盛り込まれています。

2. 東北大学における PET を用いた分子イメージング研究

東北大学は国立大学として最も早く、1982 年に PET 臨床研究を開始して先駆的な多くの業績を挙げてきました。学内に“分子イメージング・センター”としてのサイクロトロン・RI センター (CYRIC) を持ち、分野融合的な全学共同利用が活発に行われている唯一の国立大学といってよいでしょう。被験者を対象とした臨床研究も、附属病院・医学系研究科を中心に、薬学研究科、歯学研究科、工学研究科、文学研究科等との密接な協力のもとに行われています。読者の中に被験者になったことがある方もおられるのではないのでしょうか？東北大学では研究科横断的な学内共同利用が有効に機能して、大変ユニークな分子イメージング研究が行われています。東北大学の研究・教育業績は、数百名の修士・博士論文の指導、国立大学で初めての PET 稼働、独自の高分解能・高感度 PET の開発、独自の自動標識合成システムの開発、独自の脳・がん診断用プローブの開発、独自のβ-アミロイドイメージングプローブの開発、世界初の PET がん検診の発案（松澤大樹名誉教授）などが挙げられます。

東北大学の研究者が CYRIC で行なっている臨床研究例を紹介します。図 1（1 ページ参照）に ^{18}F -FDG (2-deoxy-2-fluoro-D-glucose : ^{18}F は半減期 110 分) を用いたグルコース代謝のイメージングを示します。左図はランニング運動中の全身のグルコース代謝のイメージングです。右図はがん患者における全身のグルコース代謝で、矢印は転移しているがんを示します。どちらもひと目で分かるのがよいところです。最近では大学病院にも PET が導入されて、がん患者に保険診療が可能になっていますが、大学病院では探索的 PET 研究は行われていませんので CYRIC は大変重要な研究の場になっています。PET は同一の装置で多くの異なる研究を行うことができるのもよいところです。

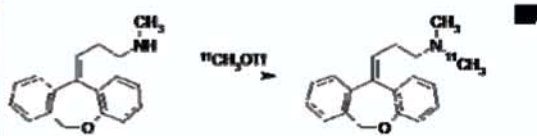
図2に神経伝達物質の受容体の分子イメージングを示します。半減期20分の ^{11}C で標識した化合物を合成する装置で、ヒトに投与できる製剤までコンピューター制御下に合成することが可能です。多くの化合物を合成して臨床研究を行うことができますが、その一例としてヒスタミンH1受容体のイメージングと

^{11}C 自動標識合成システム



自動反応・分取・精製装置を企業と東北大学の産学連携により共同で開発して臨床研究に用いられています。

^{11}C DoxepinによるヒスタミンH1受容体の分子イメージング(17年間)



統合失調症・うつ病における病態解明に貢献
抗ヒスタミン薬の鎮静作用評価の国際基準

^{11}C Donepezilによるアセチルコリンエステラーゼの分子イメージング(5年間)

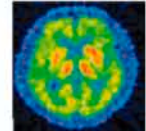


図2. 特異的神経伝達の分子イメージング

アセチルコリンエステラーゼのイメージングを示します。どちらも東北大学オリジナルなプローブで、ヒスタミンH1受容体とアセチルコリンエステラーゼの体外計測が可能になっています。ヒスタミンH1受容体測定の実用として、花粉症やアトピー性皮膚炎によく用いられる抗ヒスタミン薬の鎮静作用(眠気や認知機能障害)の評価にこのプローブが用いられています(図3)。東北大学で発表されたH1受容体占拠率が抗ヒスタミン薬の鎮静作用の評価基準として世界中の医師・薬剤師に貴重な情報を提供しています。

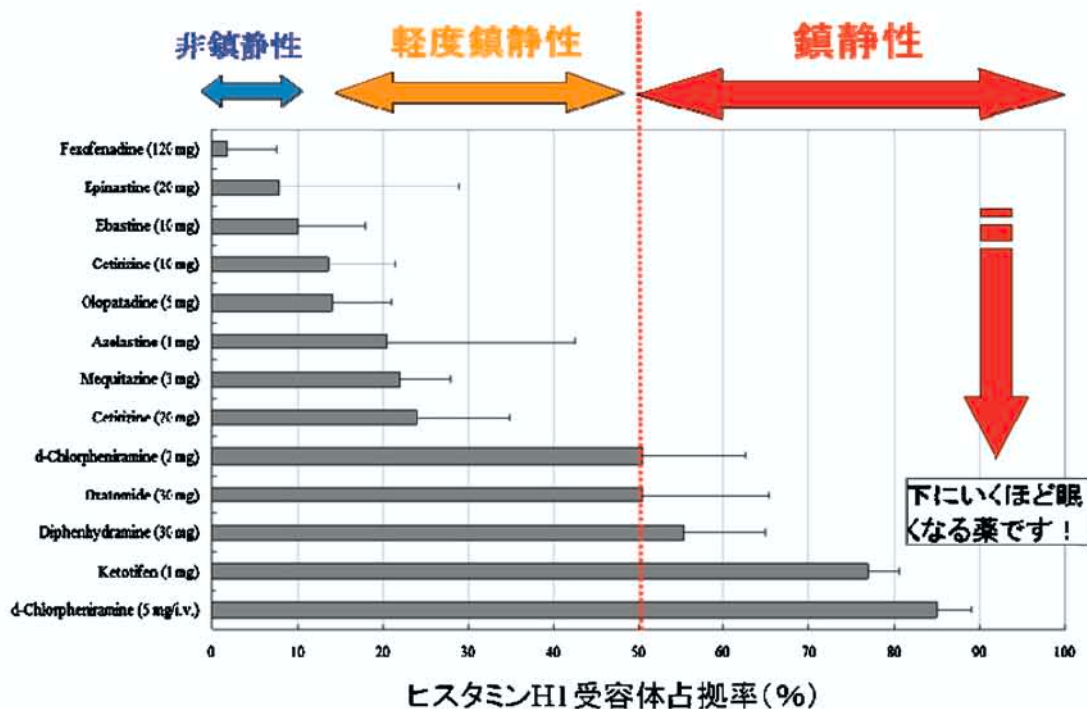


図3. ヒスタミンH1受容体占拠率による鎮静作用の評価

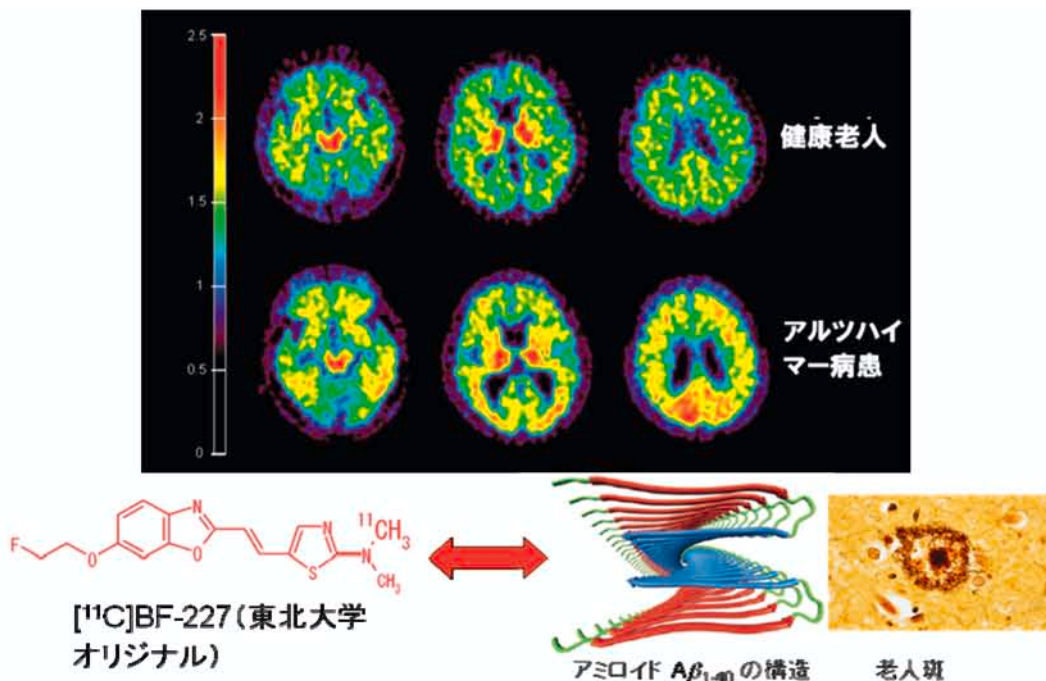


図4. 分子イメージングによるアルツハイマー病の早期診断

また日本国内に約 100 万人はいると推定されているアルツハイマー病の超早期診断プローブも東北大学で開発されています (図4)。アルツハイマー病には老人斑という脳に特徴的な病理像ができますが、この構成成分であるアミロイド蛋白を認識する東北大学オリジナルな ¹¹C 標識化合物 (BF227) を用いると、正常老人と比較してアルツハイマー病患者 (認知症) で異常蛋白を検出することが可能です。現在半減期の長い ¹⁸F-標識プローブも開発中で、東北大学が中心になり日本国内外への普及に努力しています。

3. 国家プロジェクトとしての分子イメージング研究プログラム

文部科学省では平成 17 年度から国家プロジェクトとして「分子イメージング研究プログラム」をスタートさせています。拠点は理化学研究所と放射線医学総合研究所にありますが、東北大学も放射線医学総合研究所と連携して国家プロジェクトに積極的に参加しています。特に分子イメージング研究に係わる人材育成に関して、医学、工学、歯学、薬学の 4 研究科に「分子イメージング教育コース (修士・博士課程)」を開設しています (図5)。さらに放射線医学総合研究所との連携大学院制度を創生して、幅広い学際的知識を身につけた分子イメージング研究を担

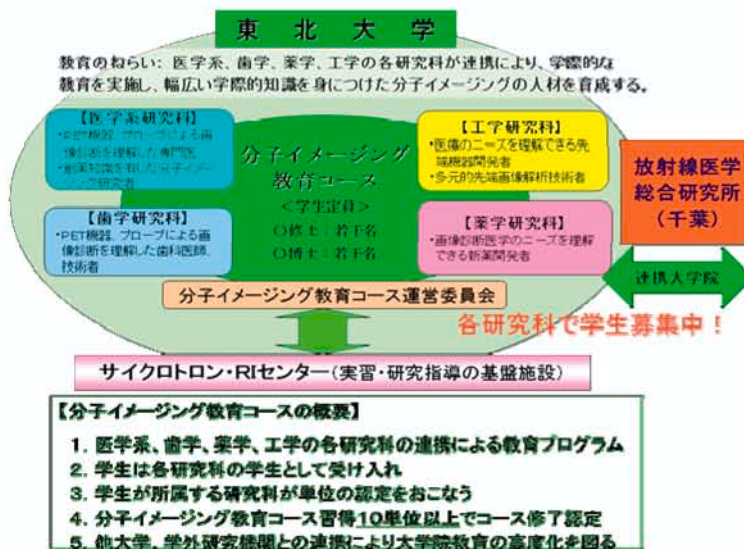


図5. 東北大学分子イメージング教育コース

える人材育成を目指しています。多くの研究者や学生に新しい境界領域である「分子イメージング」

に興味を持っていただきたく思いますし、CYRIC では学内外の共同研究者と研究課題を募集しています。平成 17 年度から東北大学本部に「分子イメージング研究推進室」(室長：庄子哲雄理事) を設けて研究科横断的な取組を積極的に応援しており、今年 6 月に「分子イメージング棟」も CYRIC に設置されています。

学内 RI 使用施設紹介

東北大学病院

大学病院・放射線科 阿部 信行

病院でいろいろな診療用 RI が使われていることはご存じだと思いますが、放射線診療の世界でも新しい機器装置の発明・改良や技術の進歩に伴い、使用される RI の種類や使用形態もかわってきています。この機会に、最近の診療で活用されている RI についていくつか紹介します。

まず当たり前のことですが、研究用 RI は自分を含め周りの人に被ばくや汚染着させたりしないように取り扱わなければいけません。診療用 RI は患者や被験者の身体に積極的に放出される放射線を照射したり、体内に RI を摂取させないと使用目的が達せられないというところが大きく違うところですね。そして、従事者に対する被ばく制限はどの業種も同じですが、最近になってやっと各関係学会などによりガイドラインや目標値が作成されているものの、被験者、治療患者の被ばく量の見極めは担当医師の判断に委ねられており、診療上の線量限度は定められていません。

もう一つの相違点は、人に投与した後の RI は医療法上 RI としては扱われなくなることです。そのため、未だかなり体内に RI が残留している患者さんでも規制を受けず、一般の患者さんや家族などとエレベーターやトイレの使用も区別はされていません。ですから、もし念入りに病院中をザーベイスればバックグラウンドの数倍程度のカウントを示す所が見つかるもおかしくない状況なのです。少し放射線の知識がある人や心配性の職員に、病院内で被ばくすることはないかと聞かれることがあります。以前、核医学検査待合室などで累積線量を測ったことがあります。その結果から推定すると被験者からのガンマ線により何人かは月に数マイクロシーベルト程度被ばくしている可能性は十分にありますが、ガラスバッジなどの個人線量計に有意な数値がでるような事はまず考えられません。

核医学検査および PET 検査

診断用の RI は撮像後に体内残留が長引けば被験者の不必要な被ばくが増えるので、主に半減期が短い核種が使用されます。核医学検査の代表的な核種 ^{99m}Tc は約 6 時間、また PET 検査の主要核種である ^{18}F は 109 分などです。

たしかに核医学検査などで使用される非密封診断用 RI は半減期が短いのですが、診療従事者にとっては 1 日あたりの取扱量が多く、しかも毎日の取扱業務になりますから被ばくを避けることはできません。本院の核医学分野に所属する医師・放射線技師・看護師の年平均線量は 2 mSv 近くになります。百数十 MBq ものガンマ線放出核種を年間数千人におよぶ被験者に投与するのですから、大量の RI を使用した経験のある方なら、被ばく量を想像することは難くないと思います。

放射線診断の領域でここ数年急激に導入台数が増えている機器は PET 装置です。非常に高価な装置にもかかわらず、宮城県内に限っても現在 10 台以上もの PET 装置が稼働しています。主にガンの診断に使われていますが、PET の特性は分解能が高く、また生体の代謝あるいは臓器の機能を可視化できるにあります。さらに、PET/CT が薬事承認を受けてからは一気に導入が加速されています。PET/CT 装置では CT 画像と PET データの重ね合わせにより正確な位置情報が得られ、



PET/CT 装置

また撮影時間の短縮と投与 RI の減量が可能になります。

まだ PET は検診などでのファーストチョイスの手段としては費用が高いうえ、ガン検診の手段として万能とはいえないのですが、他の画像診断と組合わせた検診が民間の医療施設で行われ始めています。

また現在、保険適用が認められている核種は ^{18}F と ^{15}O のみで、しかも適用が限られています。従来の核医学検査からの移行が少しずつ増えています。更に本学の優秀な研究陣により解像度をあげる工夫やシンチレーターの開発、様々な新しい化合物や生理活性物質へのポジトロン核種の標識などが試みられており、今後が期待される強力な診療アイテムの一つといえます。

本院での検査は ^{18}F -FDG を約 185 MBq/人投与、1日 12,3 人のペースで実施していますが、PET 検査業務従事者の被ばく管理には特に注意を払っています。ポジトロン核種は極短半減期であるにも拘わらず、生ずる滅放射線はエネルギーが高いため、特に自立歩行が難しい患者さんの撮影介助をする際には 1 度で数十 μSv 程度の線量が記録されることがあります。さらには、管理区域にほとんど入らず、検査後の患者さんを車椅子で搬送するだけの看護助手が 0.5 mSv/年を記録しています。厳密に言えば放射線障害防止法では規制対象にならないのですが、本院では初期段階から看護助手も放射線診療業務従事者として扱っています。

治療のための RI

^{125}I シード

最近日本でも、欧米並に迫る勢いで増加傾向にある前立腺ガンですが、昨年より ^{125}I 線源永久刺入による治療法が導入されました。ホルモン投与によってガンの大きさがある程度小さくなるまでコントロールできた患者さんに適用されます。通常、麻酔下で 11~15.3 MBq の極小密封源 (写真参照) を 60~80 個ほど、前立腺内の線量分布を 3 次元座標で計算し、適切な位置に長い注入針で永久的に刺入します。

ヨウ素 125 は診療で使用される RI としては半減期が比較的長い約 2 ヶ月ですが、ガンマ線エネルギーは低いので退出基準はさほど厳しくなく、手術による治療と比べ入院日数が非常に短い 2,3 日程度です。

治療効果は手術と同程度と評価されており、期待される治療法ですが、RI 故のしぼりが多く国内で実施している施設はまだ 20 に満たない状況です。しかも残念ながら、本院ではマンパワー不足の問題もあって週に 1 例程度しか施術できません。



^{125}I シード、長さ 5 mm



点状に見えるのが刺入されたシード

^{131}I (ヨウ素 131)

甲状腺ガンの治療では最大で一度に 5.55 GBq もの大量の放射性ヨウ素を経口投与しますので放射線管理上は非常に大変です。新しい治療法ではありませんが、甲状腺ホルモン合成機能を利用し、ホルモン成分のヨウ素を放射性同位体で置き換え (Na^{131}I)、肥大した甲状腺や骨などに転移した甲状腺ガンに取り込ませ、ベータ線の作用で細胞を破壊するというものです。ヨウ素 131 による治療は甲

甲状腺ガンの骨転移などには非常に有効ですが、細胞がホルモン合成機能を失ったガンには取り込まれないので適用は限定されます。

ヨウ素 131 といえばガンマ線放出核種というイメージがありますが、ガンマ線は身体を透過してしまいます。一方、最大エネルギーが 300 keV 程度のヨウ素 131 から放出されるベータ線は組織内での飛程が数ミリメートルにすぎず、甲状腺細胞付近で作用が最大になるので、そのベータ線を利用します。

ヨウ素治療中の RI 病室内空気中 RI 濃度は患者さんの汗、呼気などの代謝物によって有意に高くなります。直接線量も投与直後では患者さんから 1 m の距離で 4~6 $\mu\text{Sv}/\text{分}$ ほどになります。当然、治療を開始すれば家族との面会も叶いません。病そして孤独との戦いでもあります。

投与されたヨウ素 131 のほとんどは短時間で尿中に排泄されます。体内残存量は 3 日目で平均投与量の 3% 前後まで減少するというデータがありますが、骨転移の多い患者さんではその数倍は残っているそうです。通常、投与して 4 日目に患者さんから 1 メートル離れた地点で計測し、退出基準値の 30 $\mu\text{Sv}/\text{hr}$ 以下になっていれば退院許可が得られます。これは体内残存量が 500 MBq に相当する線量率です。通常はこの規制値の 10 分の 1 以下程度に減少することが多いのですが、それでも相当量の RI が残っているまま退院するので、帰宅後の家族との接触について、特に幼児が居る家庭では十分に注意が必要なことを申し伝える必要があります。

マイクロセレクトロン

ワイヤーの先端に取り付けた ^{192}Ir 密封線源 (370 GBq) を挿入して子宮ガン、食道ガンの治療を行うアフターローディング装置といわれるものです。イリジウムの半減期は約 73 日ですから、3 ヶ月毎に 1 本百万円もする線源交換をする必要があります。

10 年ほど前に、線源交換をしている最中にワイヤー巻取りにトラブルが生じ、修理をしようとして誤ってむき出しの線源を直接手で掴んでしまったために高線量の被ばくをした事故が報告されています。当院では研修を受け専門資格を持った納入業者が交換しています。線源交換は遠隔操作で行いますが、作動チェック中に線源がむき出し状態では治療室内の線量率は 1 時間当たり 5 mSv 程度にまで達します。いつもトラブルが起きないことを祈りながら、線源交換に立ち会っています。

他に本院には、輸血用血液中の白血球による拒絶反応を抑制するためにガンマ線照射を行う装置、92 TBq の ^{137}Cs 密封線源を装備している血液用照射装置などがあります。

緊急被ばく医療

最後に東北大学病院は緊急被ばく医療機関に指定されていることを紹介します。TV のニュースでも取り上げられたことがありますので、ご存じの方もいらっしゃるかもしれませんが、これまでに原子力発電所内で定期点検作業中に汚染を伴うやけどを負った患者が女川原発から搬送されたとの想定で、実際に日赤石巻病院経由でヘリコプターと救急車を使い模擬患者を搬送し、当院で除染や治療をする訓練を実施しています。

放射線被ばくや放射能汚染を伴う傷病者が生ずる事故や災害は原発に関わるものだけとは限りません。昨今は核テロによる被災も想定しなければならない時代です。また病院や研究機関、工場でも被ばくや放射能汚染を伴う事故が起こる可能性があります。

傷病の程度に応じて最適な医療処置が可能な施設に搬送できるように、自治体や県内の関連病院、消防署及び千葉にある放射線医学総合研究所とネットワークの構築を進めています。被ばくや汚染、RI の大量誤摂取などの事故の発生頻度は極低いのですが、社会的なインパクトは非常に強く、いわ

ゆる風評被害が大きくなるという特徴があります。怪我や障害、汚染に対応する技術も必要ですが、マスコミや一般の方へ、放射線影響の有無について正しく伝えなければならないという非常に大きな使命も負っていることとなります。

以上、病院で利用されている RI などについて紹介しましたが、実際に緊急被ばく患者が搬送された場合、病院の受入体制は十分ではありません。核種分析など他の部局の皆様の技術や知識の援助が必要になると思いますので、その際には是非ご協力をお願いします。

新しい機器・設備の紹介（1）

1 mm 以下の解像力を持つ超高分解能半導体 PET : Fine PET

東北大学大学院工学研究科（CYRIC センター長） 石井 慶造

1. はじめに

センターに国立大学で初めて PET（初めての商業 PET : ECAT II）が導入されて以来、国内初めての多断層 PET (PT931) の導入、国内初めてのガンマ線の飛行時間情報を用いた TOFPET (PT771) の開発、国内初めての全身用 3 次元 PET (SET2400W) の開発と、センターは常に PET のフロンティア・リーダーとして邁進してきました。そして、現在、文部科学省科学研究費補助金「特別推進研究『1 mm 以下の解像力を持つ超高分解能半導体 PET（：次世代型 PET）の開発』（平成 17 度～平成 21 年度、研究代表者 石井慶造）」の下に、次世代 PET としての超高分解能半導体 PET の開発を行っています。この度、動物用の超高分解能 PET (Fine PET) が開発され、共同利用に供することができるようになりましたので、ここに紹介致します。

2. 超高分解能 PET の実現はシンチレーター検出器の使用から半導体検出器の使用へ

PET の空間分解能は、1) 放射性核種からの陽電子の分布の広がりによる薬剤の位置の不確定さ、2) 陽電子消滅によって放出されるガンマ線対の角度揺動、及び 3) ガンマ線検出器のサイズによる陽電子消滅位置の測定誤差に依存しています。1) の陽電子の分布の FWHM は、PET に用いられるほとんどの RI 核種の場合 1 mm 以下です。中でも、 ^{18}F の場合は、0.2 mm 程度です。つまり、陽電子の分布による誤差は PET の空間分解能に余り影響を与えないことが分かりました。2) のガンマ線対の角度揺動は、計算によると検出器間の距離が 30 cm 以内ならば、それによる PET の分解能の FWHM に与える影響は 0.7 mm 以下となります。それゆえに、PET の空間分解能は検出器のサイズに最も依存することになります。現在、PET 用検出器として NaI、BGO、LSO、GSO などのシンチレーターが用いられています。シンチレーター検出器では、ガンマ線が光となり、光が光電子になるプロセスを経て、ガンマ線が電気信号となります。シンチレーターのサイズを小さくすることによる PET の高分解能化が長年行われてきましたが、いまだに 1 mm 以下の高分解能を得るところまでに達していません。1 mm を切る高分解能の最初の達成は、高エネルギー物理学実験に用いていたドリフトチャンバーを PET に利用したものでした。

PET の空間分解能を上げることができる検出器として最有力候補は半導体検出器です。半導体検出器は、非常に小さくできるので高分解能化が期待できます。しかし、シンチレーターを用いる場合よりも非常に多くの増幅器が必要とされ、且つ、検出器の時間分解能が PET における高放射能計数に耐えられるか、さらに製造価格が高すぎないかが問題となっていました。一方、最近の高集積回路の進歩はめざましく、検出器からの信号を時間分解能良く増幅する多数の増幅器を内包した ASIC 回路が利用できるようになってきたことにより、これらの問題は解決されつつあります。このような背景の下、現在、Si 半導体検出器、Ge 半導体検出器、CZT 半導体検出器、CdTe 半導体検出器を用いた高分解能 PET の開発が世界各地で行われています。

センターでは、CdTe 半導体検出器 (1.0 mm × 1.1 mm × 5 mm) 5120 個をリング状に 2 段重ね (DOI 情報取得) で並べ、FOV (断面方向 64 mm、体軸方向 26 mm) の中心付近 20 mm の視野内で約 0.8 mm の分解能を得ることに成功しました。

3. 小動物用超高分解能半導体 PET (Fine PET)

小型 CdTe 検出器からなる超高分解能半導体検出器ブロックを作製しました。検出器は、19 mm × 5 mm × 1 mm の CdTe 結晶の板に幅 0.1mm、深さ 0.2mm の溝 (図 1) を 15 本作り、上下に Pt、In を蒸着して計 16 個の検出器としました。これを、図 2 のように 2 段重ねにし、この 32 個の検出器一つずつを ASIC 前置増幅器に接続させ、これを 1 ブロックとし、さらに 16 ブロックを図 3 のように束ねて 1 バケツトとしました。

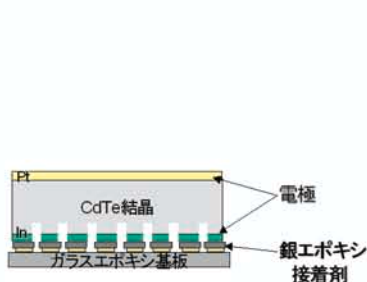


図 1. CdTe 検出器の断面

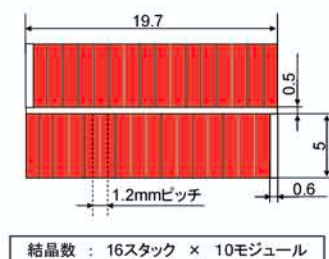


図 2. 検出器の 2 段構造

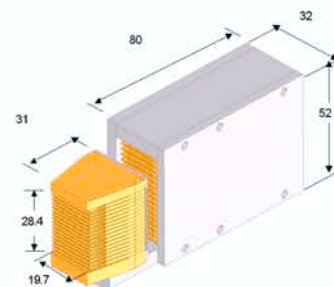


図 3. 検出器バケツト

超高分解能半導体 PET には、コンパクトなプリアンプ、波高弁別回路等のアナログ・デジタル回路を多チャンネル分集積する ASIC (特定用途向け集積回路) の開発が必要とされました。そこで、32 個の検出器からの信号を増幅する ASIC 回路を搭載した信号増幅回路を作成しました (図 4)。これによって、従来の 1 スパン NIM モジュールの増幅器を用いた場合と比べ非常にコンパクト化できました。本増幅器を 1 検出器バケツトあたり、16 個、10 バケツト分作製しました。

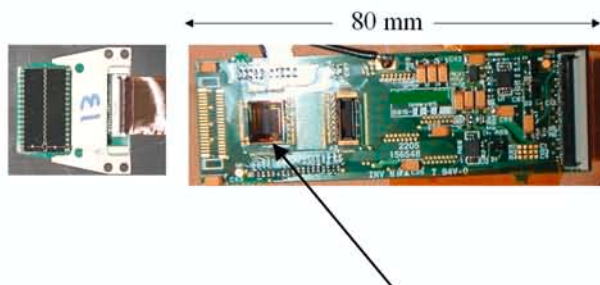


図 4. 32C 増幅回路 (ASIC)



図 5. 信号処理回路

さらに、この ASIC からの信号を受けて、同時計数および検出器の位置弁別する LOGIC 回路 FPGA を搭載した信号処理基板 (図 5) を 10 個作成しました。

図 3 の検出器バケツト 10 個を、円形上に並べられた 10 μm の精度で位置調整できる検出器架台それぞれに 1 個ずつ載せ、また検出器間の距離を 70 mm として、小動物用超高分解能半導体 PET (Fine Structure Imaging PET scanner : 略称を Fine PET としました。) を作製しました (図 6)。図 2 に示した検出器の配置のお陰で、陽電子消滅ガンマ線の同時計数のデータサンプリング間隔は 0.3 mm で行うことができます。

各検出器バケツトからの信号は、図 7 に示す FPGA ボードからなるデータ収集系に入力されます。

FPGA ボードは、信号の到着時刻と検出位置をデータ化して、PC に送る役割をしています。PET で重要な機能である同時計数の判定は、本システムでは PC 内で行われているのが特徴です。従来は、同時計数回路を別途設けて行われていました。

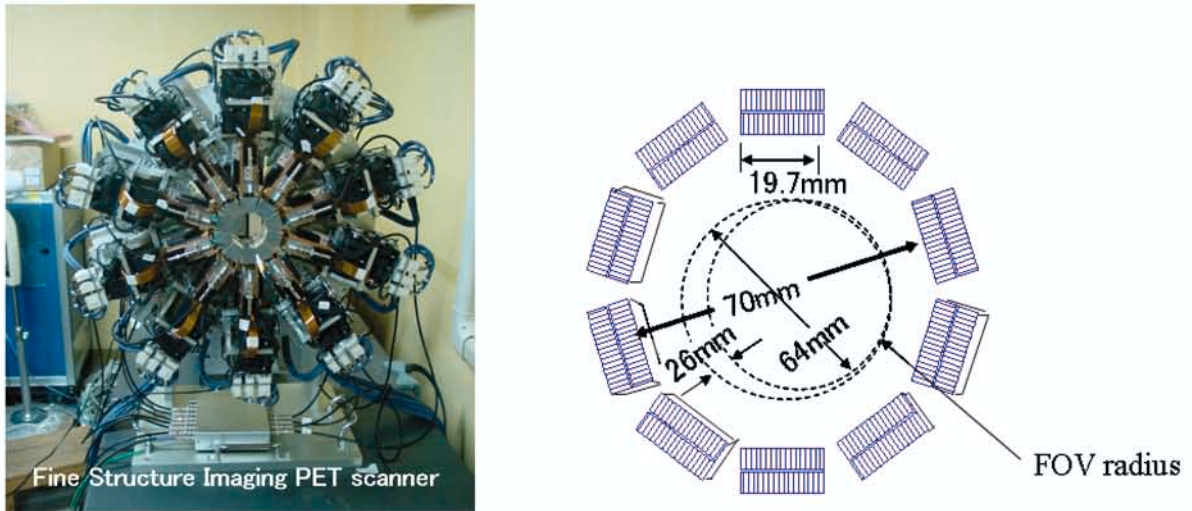


図 6. 超高分解能半導体 PET (Fine PET) と検出器バケットの配置

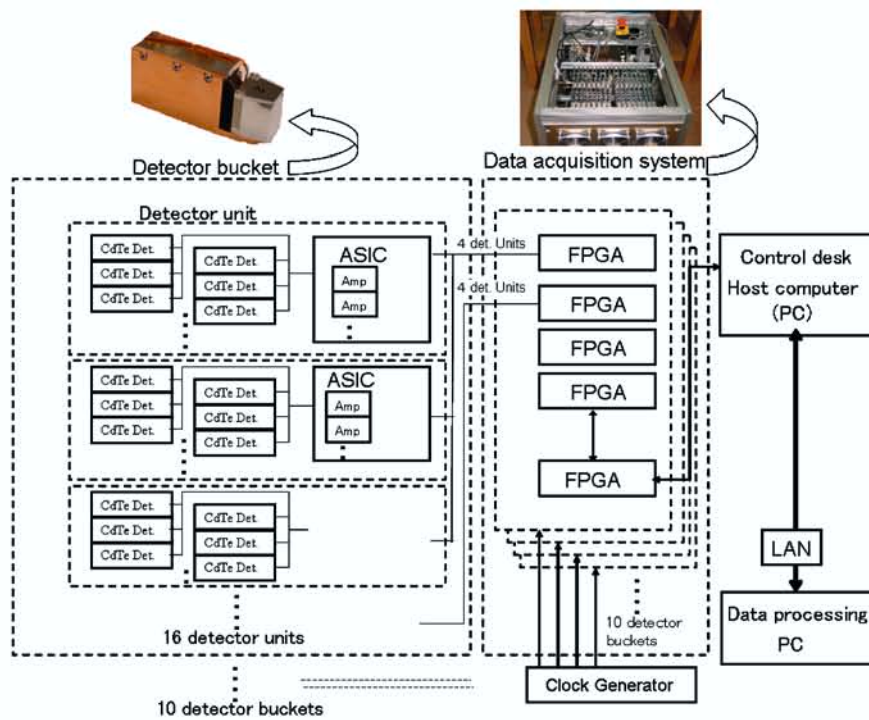


図 7. Fine PET のデータ収集システム

0.5 mm の ^{22}Na の点線源を用いて、Fine PET の空間分解能を測定した結果を図 8 に示します。図 8 から分かるように、本研究で開発した超高分解能半導体 PET (Fine PET) は、視野 2 cm 以内で 1 mm 以下の空間分解能を有しております。本 PET は中心部で 0.74 mm の分解能を持ちます。これは、現在世界最高分解能 (0.95 mm) を出しているワイヤーチャンバーを対向に並べて作成した HIDAC

—PET と同等以上の値であり、実用型半導体 PET では、世界で初めての達成です。

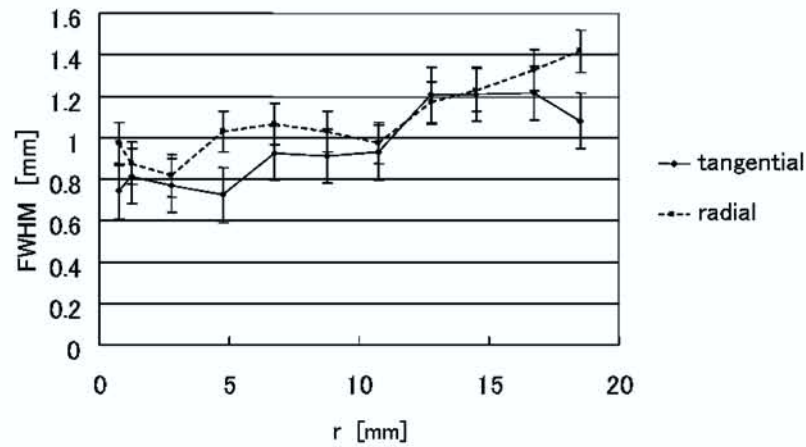


図8. ガントリーの中心からの距離 r の関数での空間分解能

Fine PET の PET 研究への応用に対する性能を評価するために、マウス（7 週齢、23 g）とラット（5 週齢、120 g）に FDG を投与し、その後麻酔して測定（図9）して得られた PET 画像を図10、11、12に示します。

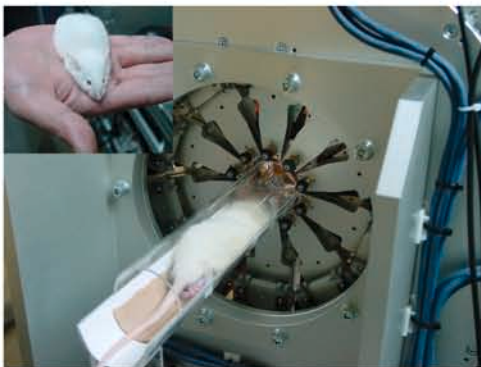


図9. Fine PET でのマウスの測定

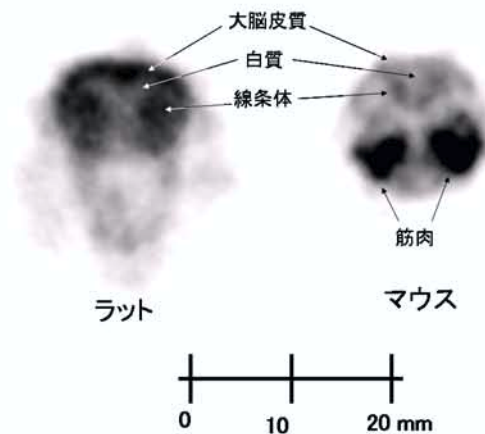


図10. Fine PET での FDG 画像（ラット、マウス）
マウスにおいては、FDG 投与後、顎の運動のために筋肉に FDG が集積した。

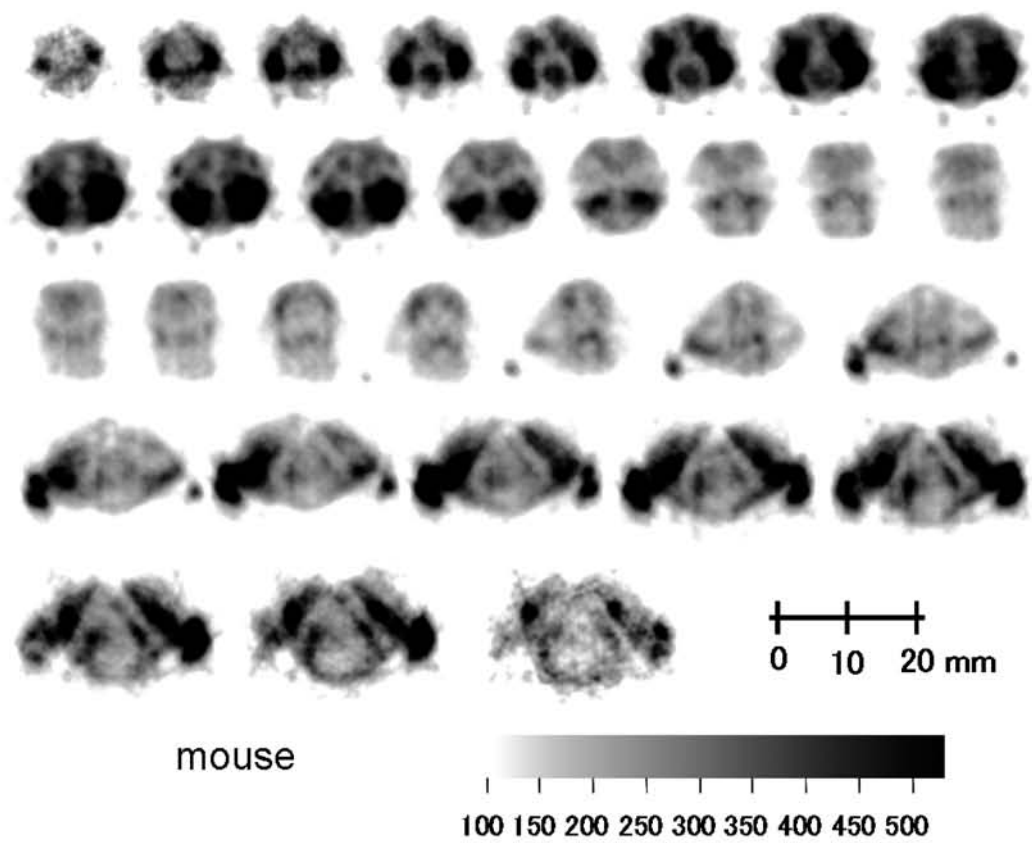


図1 1. マウス頭部の FDG 断層画像

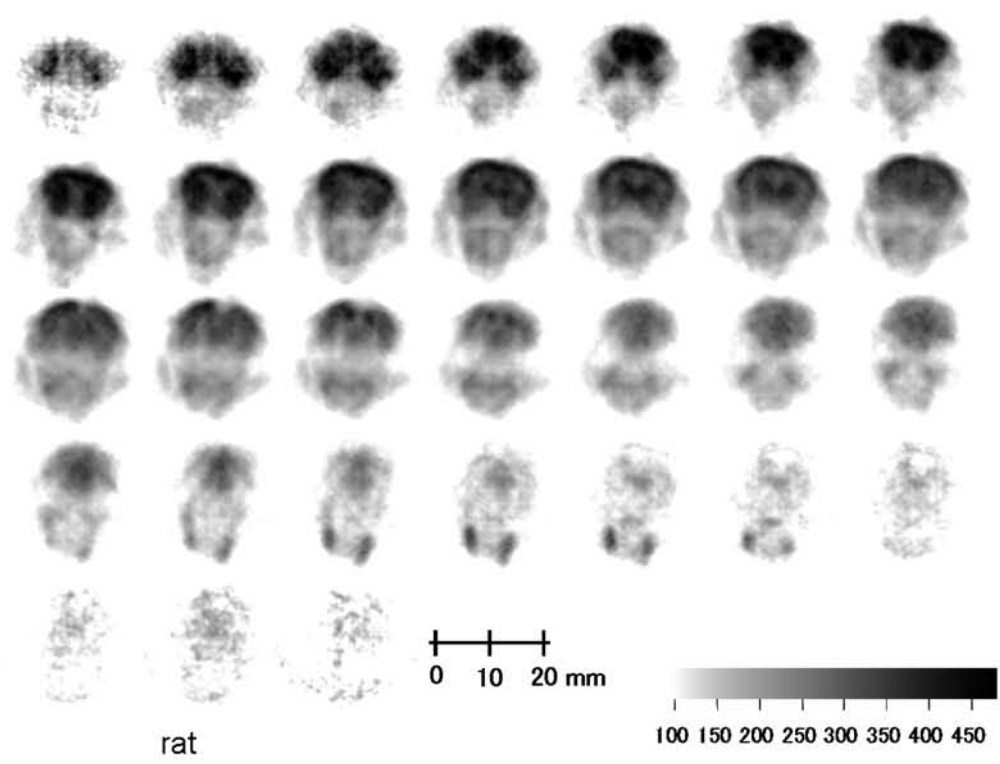


図1 2. ラット頭部の FDG 断層画像

これらの図から、1 mm 以下の分解能のお陰で、マウス的大脑皮質、白質、線条体が十分に区別できることが分かります。これは、今までの PET では見ることが出来なかったことです。また、 ^{18}F によるマウスの骨の代謝画像を図 1 3 に示します。

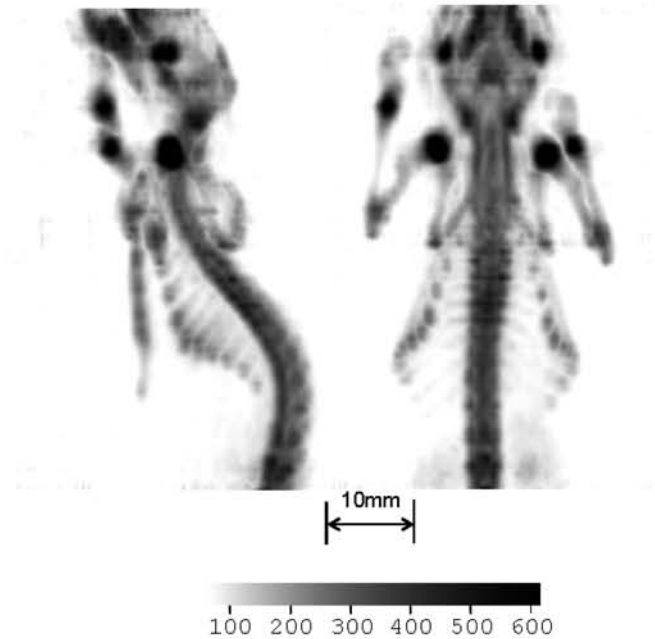


図 1 3. マウスの ^{18}F による骨の代謝画像

4. おわりに

このように、センターでは Fine PET を用いて非常に小さなマウスを用いた動物実験が可能となりました。Fine PET を用いた研究が現在センターで進められています。現在、担癌マウスを用いて 1 mm の癌を初めて可視化に成功、ラットのドパミン D2 受容体の可視化に成功、マウス前脛骨筋 (TA) に発現させた Na/I symporter (NIS) 遺伝子の可視化に成功、ラット抜歯窩の骨代謝の可視化に成功、 ^{124}I イオマゼニルによるベンゾジアゼピンレセプターの可視化に成功等、多くの成果が得られています。是非、Fine PET をご利用下さい (問い合わせは、センター 山崎浩道教授、TEL 7792, 7800)。

新しい機器・設備の紹介（2）

分子イメージング棟

サイクロトロン・RIセンター 放射線管理研究部 山崎 浩道

本センターでは PET を用いる核医学臨床研究を主目標の一つに掲げて共同利用を推進してまいりました。この度、東北大学における PET 分子イメージング研究のさらなる発展と放射線医学総合研究所等の国内研究機関との研究教育の連携を深めるため、研究交流と教育の場となります分子イメージング棟が本センター南側隣接地に完成いたしました。この分子イメージング棟は、平成 19 年 6 月 20 日の開所式をもって運用が開始されましたので、以下にこの新しい建物について紹介いたします。

分子イメージング棟は、図 1 に示すように、淡いクリーム色の外壁の美しい建物で、プレハブであることを感じさせません。この棟の開所式（本年 6 月 20 日開催）において、本学の山下施設部長が「30 年は安心して使える建物である」と仰られました。1 階部分 182 m² と 2 階部分 188 m² の総面積 370 m² を有する総 2 階建ての全室冷暖房完備の快適な建物です（図 2）。

明るいエントランス（図 3）から入る 1 階部分には、推進室（事務室）、40 余名が収容可能な講義室（図 4）ならびに化粧室が配置されており、バリアフリーに配慮した教育交流のスペースとなっております。特に講義室は、180 x 230 cm 電動スクリーン、プロジェクタ、遮光ブラインド等、各種の講演会や講義等の教育交流を機能的に行なうに十分な機器を備えております。

天窓のある明るい階段を上った 2 階部分は、教員室 2 部屋、学生居室 1 部屋、セミナー室および実習室といった主に研究交流に活用するスペースとなっております。特に実習室は、図 5 に示すように、中央実験台 1 台とサイド実験台 2 台が装備されており、放射性同位元素は使用できませんが、10 人程度を対象とした実習および本センター管理区域内の実験室を利用する際の実験準備が行えますので、実効性の高い研究交流の場を提供できるものと考えております。

分子イメージング棟のネットワーク環境は、センターのルーターから分子イメージング棟まで光ファイバーが敷かれており、分子イメージング棟のスイッチングハブに Gigabit Ether で直接接続されておりますので、センター内と同じネットワーク環境が実現できております。また、1 階・2 階の各部屋には上記のネットワークに接続された 1000 BASE-T 対応通信ポートが配置されており、教育・研究交流の実施において支障の無い情報通信環境を整えました。

以上のように、分子イメージング棟は、コンパクトながら 1 階・2 階が異なる活用形態の配置となっており、講義と実習を組み合わせた教育交流と少人数のセミナーを中心とした特化したテーマの研究交流等が同時に実施できるように、機能的にも工夫された建物です。今後、この棟が本学の PET 分子イメージング研究の発展ならびに国内研究機関との連携の進展に貢献できるものと期待しております。

最後に、分子イメージング研究プログラムによりこの教育研究交流棟の設置・建設にご尽力くださいました本学関係各位に深謝いたします。



図1. 分子イメージング棟外観

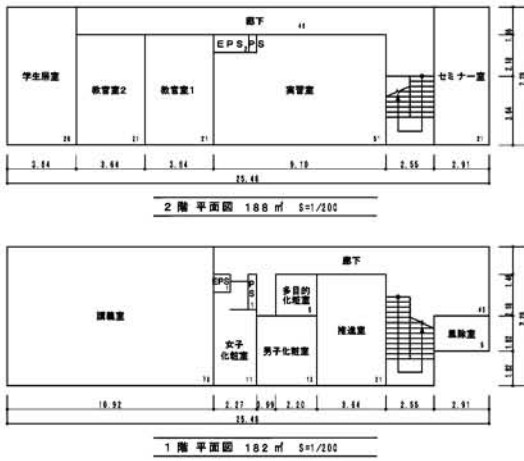


図3. 明るいエントランス



図4. 講義室 (1階)



図5. 実習室 (2階)

センターからのお知らせ

[分子イメージング棟開所式と記念講演会の開催]

東北大学における PET 分子イメージング研究の中心的な役割を担って本センターに昨年度末に完成しました分子イメージング棟の開所式が、分子イメージング研究教育で連携する放射線医学総合研究所（放医研）分子イメージング研究センターから菅野巖センター長をはじめ7名の本学客員教授・准教授を迎えて、平成19年6月20日に開所式が執り行われました。午後3時から、最初に石井慶造センター長の式辞と庄子哲雄理事の挨拶に始まり、菅野センター長、菅村和夫副学長（医学系研究科長）ならびに内田龍男工学研究科長から祝辞をいただきました。

引き続き記念講演会に移り、「放医研と東北大学における分子イメージング研究プログラム」の演題で本学医学系研究科の谷内一彦教授と放医研の須原哲也・分子神経イメージング研究グループリーダーにご講演いただきました。講演会終了後、ささやかな記念パーティが催され、熱心な討論や和やかな懇談により東北大と放医研の連携と親睦を深めることができました。



庄子理事挨拶



谷内教授講演

[東北大学 100 周年記念まつり]

東北大学は本年ついに開学 100 周年を迎え、これを記念して、平成 19 年 8 月 25-26 日に「東北大学 100 周年記念まつり」が開催されました（片平キャンパス）。この記念まつりの特色の一つは、各部局が工夫を凝らして自分たちの研究活動について一般の方向けに展示を行うことでした。部局スタッフ数でみると非常に小規模の CYRIC も、「レントゲンを越えた診断技術 PET!!! 人の命を守る放射線」というキャッチコピーのもとに独自の展示を行ないましたのでご報告いたします。

展示内容の目玉は、「がんが浮かび上がる、心が映し出される！ PET はこれを可能にします」というメッセージとともに企画された「公開 PET 模擬実験」と、「見える！聞こえる！放射線」のタイトルで企画された体験コーナーでした（写真）。公開 PET 模擬実験では、人体模型をつかって同時計数による画像診断で測定精度が向上するしくみを理解していただきました。体験コーナーも盛りだくさんでした。「見える！」では、霧箱をつかった実験を行い、荷電粒子の飛跡を一般の方に見ていただいたり（写真）、電子線の軌道が磁力で曲げられる様子を観察していただいたりしました（比電荷測定装置）。「聞こえる！」のコーナーでは、GM 管を使用して、自然界の岩石や日用品などを使い、弱い放射線を出している物体を探す体験をしていただきました（写真）。また当センターにおける、サイクロトロン稼働から PET 検査に至るまでの作業工程を約 6 分間のフィルムにまとめた「サイクロトロン・シアター」も好評でした。

しかしなんといっても全学中の注目を集めたのは、今回の私たちの展示のメインテーマの PET（ペット）にちなんだマスコット・キャラクター、「ハリー・ペッター」君（ちゃん？）でした（写真）。漆黒の魔女ハットと魔法ローブに身を包み、8月の猛暑をものともせず、野外会場でビラ配りする彼女たちの姿はあまりにも強烈で、通る人々はみな目を奪われて、吸い寄せられよう到来してくれることとなりました（写真）。この不思議な魔力により、私たちの展示会場は会場正面ゲートからもつ

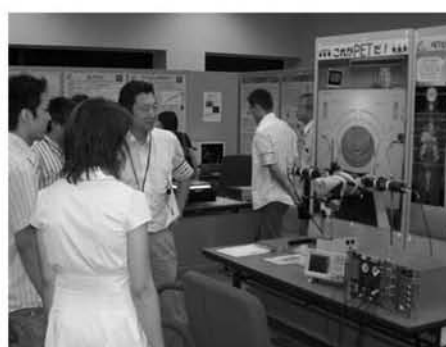
とも離れた場所にあったにも関わらず、多数の方にご来場いただきました。2日間とも、教員総出でほぼ一日中会場に詰めかけて訪問者への展示パネルの説明にあたっても、まだ説明要員が足りないという「うれしい悲鳴」状態のまま、大きな充実感とともにまつりは幕を閉じました（写真）。2日目の終了間際に「もっと早く来ればハリー・ペッターに会えたのにっ！」と悲鳴をあげながら、ご家族とともに駆けつけてくれた男の子には一同大いに感激しました。かのハリー・ペッターちゃんは翌日の読売新聞紙上の関連記事の中でも紹介され、鮮烈な余韻を残したのです。

CYRIC におきましては、常に共同利用を推進するために異種分野のスタッフが協力しあって業務にあたっておりますが、今回もその団結が実を結び、大きな成果を上げることができました。教授も総出で参加、という部局は珍しかったようです。CYRIC のこれからの活動の発展を想像する上でも非常に参考になります。その展示内容の一部をインターネット上で（ePET の部屋）ご紹介しております。どうぞご笑覧下さい。

http://kakuigaku.cyric.tohoku.ac.jp/medicine/100th_festival.html



ハリー・ペッター1	会場の概観	体験コーナー 見える！放射線
まつりのピラ	PET模擬実験	体験コーナー 聞こえる！放射線



[分子イメージング国際シンポジウム]

東北大学では、放射線医学総合研究所との連携事業として「分子イメージング教育コース（大学院修士・博士課程）」を平成 18 年度から開設しております。平成 19 年 9 月 17-18 日に、国際分子イメージング・シンポジウム「画像科学技術の製薬に対する寄与」(International Symposium on Imaging Science and Technology in Drug Discovery and Development) が開催されました。主催は、東北大

学・分子イメージング研究推進室で、CYRIC および米国のテキサス大学 MD アンダーソンがんセンターが共催いたしました。

17 日には一般市民を対象として、がん診断に関する講演会が行われました（会場：仙台メディアテーク）。18 日の国際シンポジウムは研究者・大学院生を対象とし、英語を公用語として数多くの講演が行われ、CYRIC のスタッフも積極的に運営をバックアップいたしました（会場：仙台国際ホテル）。まず、庄子哲雄理事に開会の辞を賜り、被曝評価に関する技術的な講演を MD アンダーソンがんセンターの Kurihara 先生に詳しく講演していただきました。次に東北大学大学院医学系研究科の谷内一彦教授による講演が行われ、東北大学における分子イメージング研究の成果と新設された分子イメージング教育コースの実績と今後の展望が紹介されました。Mourtada 助教授（MD アンダーソンがんセンター）による薬剤合成の自動化に関する講演が行われました。

そして議題は次第に臨床応用に関する内容へと進み、放射線医学総合研究所分子イメージング研究センターの須原哲也グループリーダーから、神経精神疾患の薬物治療に関する最新の分子イメージング研究を紹介いただきました。つぎに Gelovani 教授（MD アンダーソンがんセンター）から、臨床腫瘍診断において分子イメージング技術を効果的に用いることによって、最適な治療プロトコルを迅速に選択できることを示していただきました。

議題は技術開発的な話題に移り、CYRIC の山崎浩道教授による高分解能 PET の開発に関する講演のあと、Mawlawi 准教授（MD アンダーソンがんセンター）による hybrid imaging の有用性に関する講演がありました。そして、議題は再び分子イメージングの臨床応用に戻り、岡村信行助教（東北大学大学院医学系研究科）から東北大学における最新のアミロイド・イメージング研究の概要が紹介されました。Wong 准教授（MD アンダーソンがんセンター）による、Radiotheranositic に関する最新話題の講演が続き、最後に大阪大学大学院医学系研究科の畑澤順教授に“PET from Research to Clinic and Future Prospect”というタイトルで全体の総括と分子イメージング研究の今後の展望についてお話しいただき、盛会のうちに幕を閉じました。

ご多忙の中、ご参加くださった方々、座長の先生方、積極的に後援くださった仙台画像検診クリニック、株式会社アイリスオーヤマに感謝いたします。詳しい講演内容については、以下をご参照ください。<http://kakuigaku.cyric.tohoku.ac.jp/symp2/Pamph-final.pdf>



[放射線と RI の安全取扱いに関する全学講習会]

・第 63 回基礎コース：平成 19 年 11 月 7 日(水)～9 日(金)、12 日(月)～14 日(水)

講義：工学部共通第 2 講義室 11 月 8 日(木),9 日(金) 2 日間の内 1 日受講

CYRIC 研究棟 講義室 (英語クラス) 7 日(水)

実習：CYRIC RI 棟 11 月 12 日(月),13 日(火),14 日(水)

3 日間の内 1 日受講

・第 26 回 SOR コース (基礎コースの講義のみを受講する)

● 基礎コース講義

場所：工学部 共通第 2 講義室

月日：11 月 8 日(木)、9 日(金)

時 間	講 義 内 容	講 師
9:00～ 9:30	放射線の安全取扱(1) 「放射線概論」	CYRIC 馬場 護
9:40～10:40	人体に対する放射線の影響	医学系研究科 山本 政彦
10:50～11:50	放射線の安全取扱(2) 「物理計測」	CYRIC 馬場 護
12:40～13:40	放射線の安全取扱(3) 「RI の化学」	高教セ 関根 勉 (8 日) 金 研 佐藤 伊佐務 (9 日)
13:50～15:20	放射線取扱いに関する法令	CYRIC 馬場 護
15:30～17:00	放射線の安全取扱(4) 「放射線の防護」	理学研究科 大槻 勤 (8 日) 農学部 佐藤 實 (9 日)
17:00～17:20	小テスト	

● 英語クラス講義

場所：CYRIC 研究棟 講義室

月日：11 月 7 日(水)

時 間	講 義 内 容	講 師
9:00～ 9:30	放射線の安全取扱(1) 「放射線概論」	CYRIC 馬場 護
9:40～10:40	人体に対する放射線の影響	CYRIC 田代 学
10:50～11:50	放射線の安全取扱(2) 「物理計測」	CYRIC 馬場 護
12:40～13:40	放射線の安全取扱(3) 「RI の化学」	高教セ 関根 勉
13:50～15:20	放射線取扱いに関する法令	薬学研究科 大内 浩子
15:30～17:00	放射線の安全取扱(4) 「放射線の防護」	理学研究科 大槻 勤
17:00～17:20	小テスト	

・第 49 回 X 線コース

講義：工学部共通第 2 講義室 11 月 6 日(火)

〃 青葉記念会館 7F (英語クラス) 6 日(火)

● 講義

場所：工学部 共通第 2 講義室

月日：11 月 6 日(火)

時 間	講 義 内 容	講 師
9:00～10:30	X線装置の安全取扱い	CYRIC 山崎 浩道
10:40～11:10	X線関係法令	CYRIC 馬場 護
11:20～12:00	安全取扱いに関するビデオ	CYRIC 宮田 孝元

● 英語クラス講義

場所：工学部 青葉記念会館7F 中研修室

月日：11月6日(火)

時 間	講 義 内 容	講 師
13:30～15:00	X線装置の安全取扱い	CYRIC 山崎 浩道
15:10～15:40	X線関係法令	CYRIC 馬場 護
15:50～16:10	安全取扱いに関するビデオ	CYRIC 宮田 孝元

[運営専門委員会報告]

平成19年度第1回（平成19年7月4日開催）

- 各部会からの報告
- 分子イメージング棟の開所式
- センター教員候補者選考内規および予算委員会内規の一部改正
- 教授の辞職と名誉教授の推薦
- 教授選考委員会の設置
- 平成18年度決算と平成19年度予算

平成19年度第2回（平成19年9月20日開催）

- 各部会からの報告
- センターの将来計画と人事
- リサーチフェローの称号授与

[2007年度 CYRIC バーベキューパーティー]

去る8月3日(金)の夕方、毎年恒例のCYRICバーベキューパーティーを開催しました。当日は好天に恵まれ、各研究部のスタッフ、学生から事務の方々まで50名以上が参加する、楽しく、賑やかな雰囲気での開催となりました。みなさん暑い夏を元気に乗り切るべくお肉を堪能する一方で、夕方でも30℃近い暑さの中、冷たいビールやかき氷を楽しんでいました。イベントコーナーはスイカ割りと花火大会。数名の大人達が子供のようにはしゃいでいました。

流しそうめんの早期実現を目指しながら、来年以降も企画を充実させつつ開催していきたいと思ひます。センターニュースの読者諸先生方、息抜きがてらご参加頂ければ幸いです。



研 究 交 流

新しくセンターに滞在される共同研究者の紹介です。

氏 名 天 野 大 三
所 属 住友重機械工業株式会社
役 職 技術本部技術開発センター 主任研究員
研究題目 小動物実験用半導体PETカメラの操作性向上
受入教員 山 崎 浩 道 教授
研究期間 平成19年9月27日～平成20年3月31日

氏 名 横 堀 仁
所 属 新型炉技術開発株式会社
役 職 フェロー
研究題目 加速器中性子源の高性能化に関する研究
受入教員 馬 場 護 教授
研究期間 平成19年11月1日～平成20年3月31日

R I 管 理 メ モ

1. 自主点検

平成19年度1回目の自主点検を9月12日～9月20日にかけて実施しましたが特に異常は認められませんでした。

2. 定期健康診断

平成19年度第2回目の放射線業務従事者特別定期健康診断を行い、問診は10月1日全員に、検診は10月22日に21名が受診しましたが6名の方が経過観察対象でした。

3. 核燃関係使用変更届

核燃関係の使用年月日を平成22年3月31日までに延長を行いました。

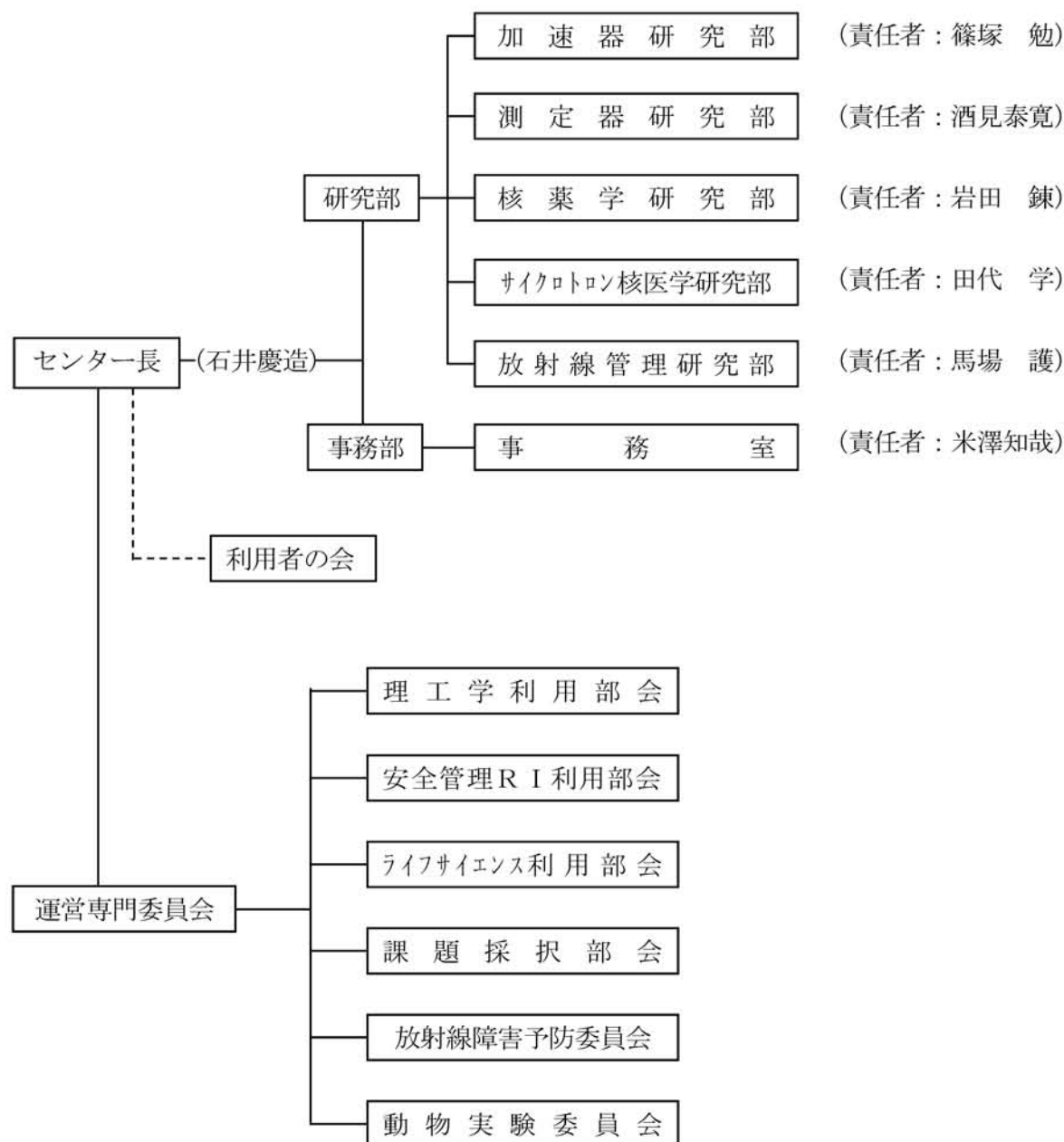
4. 標示付認証機器使用届

届け出たのは Na-22: 3.7MBq 今まで標準線源として使用の届出は必要ではありませんでしたが、平成19年3月31日以降に製造されたものについては使用の届出が必要になりました。又平成19年4月1日以降に標準線源を廃棄する場合には廃棄の届出が必要となっています。

人 事 異 動

発令年月日	職 名	氏 名	異動内容
19. 7. 31	教 授	伊 藤 正 敏	辞 職
19. 7. 31	教育研究支援者	段 旭 東	辞 職
19. 8. 1	技術補佐員	武 田 和 子	採 用
19. 8. 31	教育研究支援者	石 田 孝 司	辞 職
19. 9. 30	教育研究支援者	大 関 和 貴	退 職
19. 10. 1	教育研究支援者	島 田 健 司	採 用
19. 10. 15	教育研究支援者	吉 田 英 智	採 用

組 織 図



分野別相談窓口（ダイヤルイン）

理 工 系	篠 塚 勉	795-7793	FAX 795-7997
ライフサイエンス系	岩 田 錬	795-7798	FAX 795-7798
R I 系	馬 場 護	795-7805	FAX 795-7809
事 務 室	米 澤 知 哉	795-7800 (内 3479)	FAX 795-7997
R I 棟 管 理 室	宮 田 孝 元	795-7808 (内 4399)	FAX 795-7809

編 集 後 記

仙台には野球、バスケットボール、そしてサッカーと3つのプロスポーツがあるのを知っていますか？野球は東北楽天ゴールデンイーグルス。今年は創立3年目にして初めて4位となりました。バスケットボールは仙台89ers。昨シーズンは4位で惜しくもプレーオフ進出は逃しましたが、今シーズンはやってくれるでしょう。そしてサッカーのベガルタ仙台。現在J1復帰を目指して熾烈な争いをしています。(この号が出る頃には嬉しい涙か悲しい涙の結果が出ていますが…)

難しいことを当たり前のようにするのがプロの選手ですが、実はCYRICにも難しいことを当たり前のようにこなすプロがたくさんいます。サイクロトロン of 運転, ビーム of 供給, 薬剤 of 供給, PET of 撮影, そして放射線の管理。当たり前すぎて忘れてしまいがちですが、この安定した運営が最先端の研究の礎となっています。CYRICにはプロがたくさんいることを少しでも思って頂ければ、そしてお役に立てればHAPPYです。

(Y. F. 記)

広 報 委 員

委員長	岩 田 鍊	(CYRIC)
	木 野 康 志	(理学研究科)
	藤 井 優	(理学研究科)
	岡 村 信 行	(医学系研究科)
	山 崎 浩 道	(CYRIC)
	田 代 学	(CYRIC)
	船 木 善 仁	(CYRIC)
	伊 藤 正 俊	(CYRIC)
	涌 井 崇 志	(CYRIC)
	石 川 洋 一	(CYRIC)
	三 宅 正 泰	(CYRIC)
	山 下 宥 子	(CYRIC)

題字デザイン：田 代 学

CYRIC ニュース No. 42 2007年11月30日発行

〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉6番3号

東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター

TEL 022 (795) 7800 (代 表)

FAX 022 (795) 7997 (サイクロ棟)

〃 022 (795) 7809 (RI 棟)

〃 022 (795) 3485 (研究棟図書室)

E-mail : koho@cyric.tohoku.ac.jp

Web page : <http://www.cyric.tohoku.ac.jp/>

