



No.27 1999.11 東北大学サイクロトロン・ラジオアイソotopeセンター

## 卷頭言

東北大学歯学部口腔生化学講座 山田 正

卷頭言としてふさわしいものかどうかはわからないが、今や知る人が少なくなったと思われるサイクロトロン RI センターの設立当時の経過の一部について、述べてみたい。

1960年代の後半かと思う。当時の放射性同位元素分科会（放射性同位元素専門委員会の前身）で東北大学に RI 総合センターを設立することについて議論が始まった。当時は、RI 関係の設備費がかなり配当されており、放射性同位元素分科会では、その予算の配分が大きな議題であった。歯学部に RI 実験室をつくり、主任者をしていた私の役目は、この委員会で設備用の予算をぶんどってくることであった。当時の志村（憲助）委員長を相手に、思い出しても恥ずかしくなるような屁理屈をこねて設備用の予算をもらってきた。センター設立については委員会でかなりの議論が行われた。最終的な結論として、理学部薬学部共通の RI 実験室を上に載せた形での RI 総合センター構想ができあがったところで、私はスウェーデンに渡航した。

半年後に帰国してみてびっくりした。理薬共通 RI 実験室を上に載せた RI 総合センター構想は跡形もなく消え、別の委員会で議論されていたサイクロトロンセンターと一緒にになり、現在の形のセンター構想となっていた。いずれにしろ、全学の RI 利用とその安全管理を総括する場所ができたと言うことで、全学的 RI 管理に種々苦労していた私たちはほっとした面もあった。

しばらくして教授に就任した私は、川上道夫教授に代わってサイクロトロン RI センターの歯学部代表の運営委員となり、またびっくりした。センターの放射線管理部門は当然

RI 総合センターの役割をしていると思っていたところ、なんと、その主たる役割はサイクロトロンに関する安全管理であり、全学講習会の世話以外は全学の RI 管理はしないという雰囲気であった。このことに関して、私は運営委員会でかなりきつい発言をしたと思う。放射線管理部門の藤田助教授は穏和な方で、なかなか思っておられることをストレートには申されなかったようで、歯がゆい思いをした。藤田教授の退官後、中村教授が東大より転任され、全学の RI 管理を積極的に行う姿勢を明確にされた。私にとっては、当初の RI 総合センター構想がやっと日の目を見たという感じであった。最近になって、RI 管理では種々お世話願った中村教授が、今度は工学研究科に移られるということで、第3のショックであった。その何ヶ月後には私も定年退官ということで、RI 総合センターも一緒におさらばかと覚悟した。しかし、中村教授も引き続きセンターの運営に関与していただけるとのことでもあり、放射線管理研究部が RI 総合センターとしての役割を担う路線は変更されることはないようである。私も安心して成仏できるというものである。

## 目 次

・ 卷 頭 言	東北大学歯学部口腔生化学講座 山 田 正	1
・ 研究紹介		
(1) 抗炎症・抗アレルギー薬開発のための理論構築を目指して ——各種炎症細胞レベルでの研究——	東北大学大学院薬学研究科機能分子生化学分野 大内和雄, 平澤典保 石原研治	3
(2) 中性子 ——その挙動と応用—	東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター放射線管理研究部 馬場 譲	8
・ 特集記事	大型サイクロトロンの現状と計画 CYRIC 織原 彦之丞	14
・ 共同利用の状況		26
・ センターからのお知らせ		26
・ 研究交流		32
・ R I 管理メモ		33
・ 分野別相談窓口		42
・ 人事異動		42
・ C Y R I C 百科		43
・ 編集後記		44

## 研究紹介 (1)

# 抗炎症・抗アレルギー薬開発のための理論構築を目指して — 各種炎症細胞レベルでの研究 —

東北大学大学院薬学研究科機能分子生化学分野

大内和雄

平澤典保

石原研治

## 1. はじめに

近年、花粉症やアトピー性皮膚炎、アレルギー性気管支喘息など、アレルギー反応を原因とする疾患が急増し、しかもその病状は悪化・難治化する傾向にあることから、その優れた治療薬の開発が強く望まれている。機能分子生化学分野では、アレルギー性炎症にかかわる炎症性細胞の機能と活性化機構を分子レベルで解明し、そのうえで、どのような薬物が新規抗炎症・抗アレルギー薬になりうるかという理論を構築することを目指している。ここでは、各種炎症細胞を用いた研究をそれぞれ簡単に紹介する。

## 2. 好中球

炎症反応の一つの特徴は、好中球の炎症局所への浸潤である。ラットのアレルギー性空気囊型炎症において、好中球浸潤機構を解析したところ、ケモカインの一つ macrophage inflammatory protein (MIP)-2 が大きく関与していることを明らかにした<sup>1)</sup>。そこで、好中球の MIP-2 に対する遊走反応機構、および MIP-2 産生機構について解析している。

### 2-1 MIP-2 に対する好中球の遊走反応の解析

各種阻害薬を用いた解析から、MIP-2 に対する好中球の遊走反応には、チロシンキナーゼ (PTK)、及びプロテインキナーゼ C (PKC) が大きく関与し、ホスファチジルイノシトール 3-キナーゼ (PI3K) は部分的に、また、p42/p44 NAP kinase (MAPK) はほとんど関与していないことを明らかにした<sup>2)</sup>。現在、MIP-2 の種々変異蛋白質を作成し、その遊走活性、並びに MIP-2 に対する拮抗作用について解析し、MIP-2 の作用抑制の方法論を研究している。

### 2-2 MIP-2 の産生機構の解析

ラット腹腔浸潤好中球を発癌プロモーター staurosporine で刺激すると、MIP-2 を産生する<sup>3)</sup>。この系を MIP-2 産生のモデル系として利用して、MIP-2 の発現における細胞内情報伝達機構を解析した。MIP-2 の産生は p42/p44 MAPK の活性化阻害薬 PD98059 及び p38 MAPK の阻害薬 SB203580 により濃度依存的に強く抑制された<sup>4)</sup>。更に、MIP-2 mRNA レベルを Northern blot により解析したところ、これらの薬物は、MIP-2 の産生をほぼ完全に抑制する濃度においても、

MIP-2 mRNA 量を約50%程度しか低下させなかつた<sup>4)</sup>。したがって、これらの MAPKs は MIP-2 の転写に部分的に関与するとともに、転写以後の mRNA の安定性あるいは翻訳レベルにも関与していると考えられ、現在この点について解析を進めている。

### 3. 好酸球

好酸球の炎症局所への浸潤はアレルギー疾患に特徴的である。特に気管支喘息では好酸球の脱颗粒反応により放出される颗粒蛋白質が気道上皮細胞の傷害に関与すると考えられている。そこで、好酸球颗粒蛋白質が本当に気道上皮細胞に対して傷害的に作用するかどうかを明らかにするために、颗粒蛋白質のクローニングを行つた。さらに、好酸球の生存・アポトーシスに影響を与えるステロイド性抗炎症薬や IL-5 の作用について解析している。

#### 3-1 颗粒蛋白質のクローニングと機能解析

ラット好酸球颗粒蛋白質である major basic protein, eosinophil-associated ribonuclease-1 及び -2 をクローニングし、そのアミノ酸配列を決定した<sup>5,6)</sup>。これらのリコンビナント蛋白を調製し、抗体を作成するとともに、その細胞傷害性について解析している。

#### 3-2 好酸球のアポトーシスとサバイバルの制御

種々のアレルギー性疾患に著効を示すステロイド性抗炎症薬は、末梢血液中の好酸球数を激減させることが知られている。そこで、好酸球の生存に対するステロイド性抗炎症薬の効果について解析した。ステロイド性抗炎症薬は腹腔浸潤好酸球に直接作用し、その生存を短縮すること、この生存短縮はアポトーシスの誘導によることを明らかにした<sup>7)</sup>。一方、好酸球は IL-5 により生存が延長する<sup>8)</sup>。IL-5 による生存延長作用には、JAK-STAT 系が重要な役割を果たしており、何らかの蛋白質の誘導が生存延長に関与していることを明らかにした（投稿中）。このようなステロイド性抗炎症薬によるアポトーシスの誘導、IL-5 による生存延長作用の分子機序について解析中である。

### 4. マクロファージ

マクロファージは、炎症局所における、プロスタグランジンや炎症性サイトカインの主たる産生細胞であり、その活性化機構の解明は極めて重要である。ラット腹腔マクロファージを発癌プロモーターである thapsigargin や staurosporine 等で刺激するとプロスタグランジン E<sub>2</sub> や NO などのケミカルメディエーターの产生、TNF- $\alpha$  や IL-6 などのサイトカイン产生が亢進する。これらはいずれも炎症反応の誘発・進展に重要な役割を果たしており、その产生機序並びに薬物による产生抑制について解析している。

#### 4-1 プロスタグランジン E<sub>2</sub> 产生制御機構

腹腔マクロファージを各種発癌プロモーターで刺激すると、いずれも微量でアラキドン酸代謝を亢進することを明らかにしてきた<sup>9-11)</sup>。さらにシクロオキシゲナーゼ-2 や iNOS の誘導と活性に対

する金製剤 auronofin<sup>12~14)</sup> や生薬成分<sup>15)</sup> の作用及び作用機序を検討した。

#### 4-2 サイトカイン産生機序の解析

マクロファージは staurosporine 刺激により IL-6 を産生するが、その分子機序として PKC と PI3K が IL-6 の転写に促進的に関与し、PTK が抑制的に作用していることを明らかにした<sup>16)</sup>。また、TNF- $\alpha$  の産生には、細胞内血小板活性化因子が関与していることを明らかにし<sup>17, 18)</sup>、その作用点について解析を進めている。

### 5. 肥満細胞

肥満細胞の細胞表面にある Fc  $\epsilon$  RI に結合した IgE を抗原で架橋すると、活性化され、顆粒内のヒスタミンや酵素の放出、アラキドン酸代謝の亢進、サイトカインの産生などがみられ、アレルギー反応の誘発に大きく関与している。これまで、脱颗粒反応における細胞内情報伝達機構、転写因子の活性化とサイトカインの産生機構、及びこれらに対するステロイド性抗炎症薬の効果について検討した。これまで脱颗粒反応には PKC の活性化や細胞内カルシウム濃度の上昇とともに、PI3K の活性が必要であること<sup>19)</sup>、また、ステロイド性抗炎症薬のサイトカイン産生機序の一つとして c-Jun N-terminal kinase を抑制して転写因子 AP-1 の活性化を抑制することを見出した<sup>20)</sup>。さらに、ステロイド性抗炎症薬のサイトカイン産生抑制作用、MAPK 活性化抑制作用について解析中である。

### 6. 気道上皮細胞

気道上皮細胞は単なるバリアあるいは好酸球の標的細胞ではなく、接着分子と呼ばれる一連の蛋白質を発現し、好中球や好酸球と相互作用し、その浸潤、活性化を促進する。これらの接着分子の発現機構について解析を行った。Interferon- $\gamma$  や TPA 刺激により接着分子 ICAM-1 の発現が亢進するが、前者には PTK が、後者には PKC と転写因子 NF  $\kappa$  B の活性化が必要であることを明らかにした<sup>21)</sup>。さらに、Interferon- $\gamma$  による ICAM-1 の誘導における JAK-STAT 系の関与、ステロイド性抗炎症薬の作用機序について解析中である。

### 7. おわりに

以上、本分野において行われている、各種炎症性細胞の活性化機構についての研究を簡単に紹介した。これらの結果を総合し、どのような分子機序を持つ薬物が抗アレルギー薬、抗炎症薬として有効であるのかを明確にし、抗炎症・抗アレルギー薬開発のための理論構築を目指している。

また、最後になりましたが、これらの実験において重要な意義を持つ、<sup>32</sup>P を用いた Northern blot による mRNA 量の解析やキナーゼアッセイ等の実験を、サイクロトロン RI センターでさせていただいておりまして、大変お世話になっております。皆様にこの場を借りて御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) Xiao, Y.-Q., Tanabe, J., Edamatsu, T., et al. Possible participation of macrophage inflammatory protein 2 in neutrophil infiltration in allergic inflammation in rats. *Biochim. Biophys. Acta* 1361, 138-146 (1997).
- 2) Xiao, Y.-Q., Minami, K., Mue, S., et al. Pharmacological analysis of protein kinases responsible for chemotaxis of rat peritoneal neutrophils. *Eur. J. Pharmacol.* 360, 195-204 (1998).
- 3) Edamatsu, T., Xiao, Y.-Q., Tanabe, J., et al. Induction of neutrophil chemotactic factor production by staurosporine in rat peritoneal neutrophils. *Br. J. Pharmacol.* 121, 1651-1658 (1997).
- 4) Xiao, Y.-Q., Someya, K., Morita, H., et al. Involvement of p38 MAPK and ERK/MAPK pathways in staurosporine-induced production of macrophage inflammatory protein-2 in rat peritoneal neutrophils. *Biochim. Biophys. Acta* 1450, 155-163 (1999).
- 5) Nittoh, T., Watanabe, M., Mue, S., et al. Cloning of cDNA for rat eosinophilic major basic protein. *Biochim. Biophys. Acta* 1264, 261-264 (1995).
- 6) Nittoh, T., Hirakata, M., Mue, S., et al. Identification of cDNA for rat homologues of human major basic protein and eosinophil cationic protein. *Int. Arch. Allergy Immunol.* 117, 5-9 (1998).
- 7) Nittoh, T., Fujimori, H., Kozumi, Y., et al. Effects of glucocorticoids on apoptosis of infiltrated eosinophils and neutrophils in rats. *Eur. J. Pharmacol.* 354, 73-81 (1998).
- 8) Ishihara, K., Satoh, I., Nittoh, T., et al. Preparation of recombinant rat interleukin-5 by baculovirus expression system and analysis of its biological activities. *Biochim. Biophys. Acta* 1451, 48-58 (1999).
- 9) Ohuchi, K., Sugawara, T., Watanabe, M., et al. Stimulation of arachidonic acid metabolism in rat peritoneal macrophages by thapsigargin, a non-(12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate) (TPA)-type tumor promoter. *J. Cancer Res. Clin. Oncol.* 113, 319-324 (1987).
- 10) Ohuchi, K., Sugawara, T., Watanabe, M., et al. Analysis of the stimulative effect of thapsigargin, a non-TPA-type tumor promoter, on arachidonic acid metabolism in rat peritoneal macrophages. *Br. J. Pharmacol.* 94, 917-923 (1988).
- 11) Watanabe, M., Tamura, T., Ohashi, M., et al. Dual effects of staurosporine on arachidonic acid metabolism in rat peritoneal macrophages. *Biochim. Biophys. Acta* 1047, 141-147 (1990).
- 12) Yamashita, M., Niki, H., Yamada, M., et al. Dual effects of auranofin on

- prostaglandin E<sub>2</sub> production by rat peritoneal macrophages. *Eur. J. Pharmacol.* 325, 221-227 (1997).
- 13) Yamashita, M., Niki, H., Yamada, M., et al. Induction of nitric oxide synthase by lipopolysaccharide and its inhibition by auranofin in RAW 264.7 cells. *Eur. J. Pharmacol.* 338, 151-158 (1997).
- 14) Yamashita, M., Ichinowatari, G., Yamaki, K., et al. Inhibition by auranofin of the production of prostaglandin E<sub>2</sub> and nitric oxide in rat peritoneal macrophages. *Eur. J. Pharmacol.* 368, 251-258 (1999).
- 15) Kim, Y.P., Yamada, M., Lim, S.S., et al. Inhibition by tectrigenin and tectridin on prostaglandin E<sub>2</sub> production and cyclooxygenase-2 induction in rat peritoneal macrophages. *Biochim. Biophys. Acta* 1438, 399-407 (1999).
- 16) Yamaki, K. and Ohuchi, K. Induction of interleukin-6 production by staurosporine in rat peritoneal macrophages : Possible participation of protein kinase C and phosphatidyl-inositol 3-kinase. *Br. J. Pharmacol.* 127, 1309-1316 (1999).
- 17) Yamada, M., Ichinowatari, G., Tanimoto, A., et al. Inhibition of tumor necrosis factor- $\alpha$  production by SK & F98625, a CoA-independent transacylase inhibitor, in cultured rat peritoneal macrophages. *Life Sci.* 62, 297-302 (1998).
- 18) Yamada, M., Tanimoto, A., Ichinowatari, G., et al. Possible participation of intracellular platelet-activating factor in tumor necrosis factor- $\alpha$  production by rat peritoneal macrophages. *Eur. J. Pharmacol.* 374, 341-350 (1999).
- 19) Hirasawa, N., Sato, Y., Yomogida, S., et al. Role of phosphatidylinositol 3-kinase in degranulation induced by IgE-dependent and -independent mechanisms in rat basophilic RBL-2H3 (ml) cells. *Cell. Signal.* 9, 305-310 (1997).
- 20) Hirasawa, N., Sato, Y., Fujita, Y., et al. Inhibition by dexamethasone of antigen-induced c-Jun N-terminal kinase activation in rat basophilic leukemia cells. *J. Immunol.* 161, 4939-4943 (1998).
- 21) Togashi, Y., Yamaki, K., Sakai, T., et al. Analysis of the expression of intracellular adhesion molecule-1 in cells of the human bronchial epithelial cell line NCI-H292. *Eur. J. Pharmacol.* 345, 199-206 (1998).

## 研究紹介 (2)

# 中性子 — その挙動と応用 —

東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター  
放射線管理研究部 馬場 譲

### はじめに

私はこのたび10月1日付で、工学部量子エネルギー工学科からCYRICに転任となりました。以前もCYRICを利用させていただいてはおりましたが、本拠地は工学部でしたしそこで行ってきた中性子がらみの研究は新サイクロトロンでも計画されておりますので、本稿では工学部で行ってきた研究のあらましを紹介させていただきます。

工学部では、ダイナミトロン加速器、CYRICの旧680サイクロトン、原研高崎研TIARAのAVFサイクロトンなどを用いて、高速中性子と物質の相互作用、中性子検出器の開発、中性子の応用などに関する仕事を行ってきました。中性子は先日の東海村JCOの臨界事故によってすっかり悪役のイメージを強めてしましましたが、一方では、原子炉はもとより、第一世代の核融合実用炉と目されるDT核融合炉、さらには加速器システムなど、殆どあらゆる原子力システムにおいてエネルギーや燃料の生成・輸送などに主要な役割を演じる重要な粒子でもあります。さらに、中性子は回折やラジオグラフィ、放射化分析などを通じてエネルギー以外の現代科学・技術分野においても不可欠なプローブとなっています。これらは中性子に電荷がなく、核子・原子核のみと選択的な相互作用をする、などの独特な性質によっています。中性子の利用はますます増大することが予測されており、CYRIC新サイクロトロンにおける中性子の理工学や医学への利用についてもコメントしたいと思います。

### 1. 中性子源の開発と整備

中性子を用いた実験を行うには、適切な強度、エネルギー幅などの条件を備えた中性子源が不可欠である。特に、中性子散乱や受動的な中性子検出器の特性測定には単色中性子が望ましい。我々は、ダイナミトロン加速器で種々の中性子生成反応を用いて、8keVから20MeVまでの単色中性子源を整備した<sup>1)</sup>。また、小型加速器では困難な11MeV近傍の中性子生成に単色ではないが<sup>15</sup>N(d, n)反応が利用できるようになった<sup>2)</sup>。さらに、CYRICに22, 33MeV<sup>3)</sup>、TIARAに40-85MeVの<sup>7</sup>Li(p, n)中性子場<sup>4)</sup>を整備した。<sup>7</sup>Li(p, n)反応は単色ではないが、このエネルギー範囲では最も単色性に優れたものである。これらの場における中性子スペクトル、強度をTOF法や反跳陽子スペクトロメータを用いて測定し、その素性を明らかにした。これらの中性子場は、4桁に及ぶエネルギー範囲をカバーしており、単色または疑似単色源としては他に例がない。これらの中

性子源は、以下に紹介する中性子核反応データの測定、中性子応用実験、及び各種中性子線量計の開発や特性測定に広く用いられている。(この仕事の一部は中村尚司教授グループとの共同研究及び大学・原研プロジェクト共同研究による)。

## 2. 大立体角型粒子スペクトロメータの開発

中性子は二次粒子であり、そのビーム強度は一次イオンビームに比べ数桁小さい。また、透過力が高いため至る所でバックグラウンドを生成するので、検出器に予め対策を講じておかないと本物がバックグラウンドに埋もれ使いものにならない。そのため、検出感度が高く S/N の良い検出器を実現することが研究のポイントとなる。我々は、幾つかの二次中性子、二次荷電粒子用スペクトロメータの開発を行ったが、ここでは二つの例を挙げる。

図 1 にグリッド電離箱 (Gridded ionization chamber ; GIC)<sup>5)</sup> を示す。これはカソードを共有する二つの  $2\pi$  型 GIC を組み合わせたもので、カソード上のサンプルに中性子が入射して生成された荷電粒子のほとんど全てを一網打尽に検出し、かつアノード、カソードからの信号を利用するによってエネルギーと放出角度を決定することができる。 $\alpha$  粒子で 20MeV、陽子で 6MeV 程度まで測定可能である。感度は従来の高感度スペクトロメータに比べても 50 倍以上に達し、これによって、 $(n, x\alpha)$  反応 DDX を数時間の測定によって取得できるようになった<sup>6,7)</sup>。また、この GIC は Astrophysics に関連した数 100keV 中性子に対する  $^{14}\text{N}$  ( $n, p$ ) 反応の実験にも威力を発揮した<sup>8)</sup>。GIC 自体の歴史は古く、現在でも重イオン検出器として広く用いられているが、この GIC は阻止能を高めバックグラウンドの抑制に工夫を凝らすことによってはじめて高速中性子に適用可能となつたものである。時間分解能を向上させることによってさらに多くの応用が可能と考えられる。

図 2 に中性子散乱実験用の大型液体シンチレーション検出器 (LLSD)<sup>9)</sup> の模式図を示す。この検出器は、幅 10cm × 厚さ 6cm × 長さ 80cm の Pyrex 容器に NE213 シンチレータを封入して両端に光電子増倍管を取り付けたもので、長さ方向に位置敏感性を有する。この LLSD を散乱面に垂直 (方位角方向) に配置し、検出位置の補正を行うことによって、角度、エネルギーの分解能を損なうことなく立体角を大幅に高めることができる<sup>9)</sup>。この検出器は、良好な SN 比を有し 11.5MeV, 18MeV など弱い中性子源強度の実験に特に有効である<sup>10)</sup>。(LLSD は量子エネルギー工学科岩崎信氏によって設計製作されたもので、本研究は同氏との共同による。)

## 3. 核融合・原子炉構成材核種の中性子核反応データの測定

核融合炉や加速器システムなど高速中性子が支配的となるシステムでは、中性子のエネルギーと空間分布が特性を支配する。その予測には二次中性子のエネルギー・角度分布 (二重微分面積 : DDX) データが必要となる。また、中性子によって生成される p, d,  $\alpha$  などの二次荷電粒子の DDX もエネルギーの輸送や中性子による照射損傷の予測に必要となる。加えて、DDX は、計算のモデ

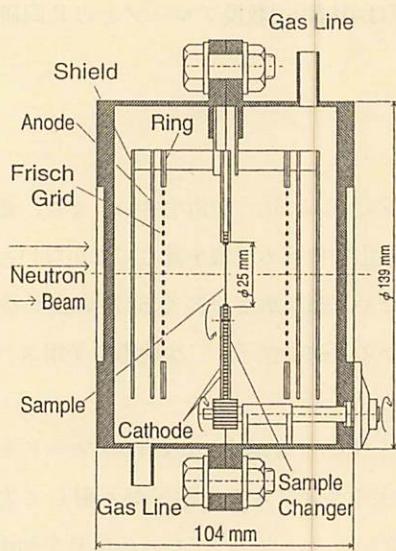


図1 二次荷電粒子測定用グリッド電離箱 (GIC)<sup>5)</sup>

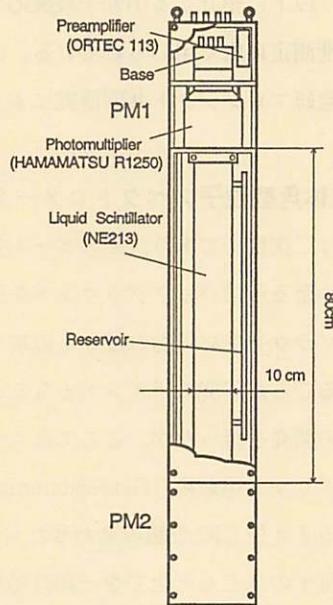


図2 中性子散乱実験用大型液体シンチレーション検出器 (LLSD)<sup>6)</sup>

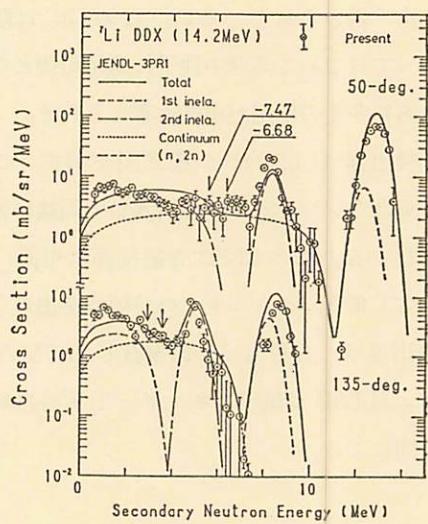


図3 14MeV 中性子に対する  $^{7}\text{Li}$  の中性子生成二重微分断面積<sup>11)</sup>

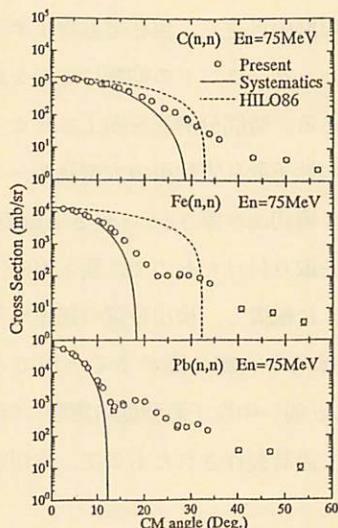


図4 75MeV 中性子の弾性散乱微分断面積；実験値とコード内蔵データの比較<sup>14)</sup>

ルやパラメータに関しても有用な情報を与えるので、この面でも実験データが期待されている。我々が中性子と荷電粒子の DDX に着目したのはこのような理由による。

一方、二次粒子のエネルギーは広い範囲に亘るため、DDX の全容を把握するには測定系に大きなダイナミックレンジ、高い SN 比及び検出効率が要求され、かなりの実験上の困難を伴う。我々は、中性子、荷電粒子に対して、上に述べたような帯域、立体角を兼ね備えた測定器を開発し、測定に応用してきた。

これらによって、中性子 DDX については、ダイナミotron 施設で  $^{6,7}\text{Li}$  から  $^{238}\text{U}$  までの約30核種について、数 MeV から 18MeV までの数点のエネルギーで広い二次エネルギー範囲に亘る系統的なデータを取得した<sup>10~13)</sup>。その一例<sup>11)</sup>を図4に挙げる。これらのデータは特に核融合炉用データの整備に貢献した。また、核分裂性核種の非弾性散乱と核分裂中性子スペクトルの構造を明らかにした<sup>13)</sup>。また、TIARAにおいて、55, 65, 75MeV 中性子に対する弾性散乱断面積の測定も行ってきた<sup>14)</sup>(図4)。現在、核設計や遮蔽設計に用いられるコード(HETC 及び MORSE/CG コード)に内蔵されているデータは実験結果と大幅に異なり、抜本的な改善が必要なことが分かる。

また、上に述べた GIC を用い C, O,  $^{50}\text{Cr}$ , Fe, Ni, Cu について ( $n, \alpha$ ) 反応 DDX のデータを 4-15MeV の範囲で取得した<sup>6,7)</sup>。また、TIARA での 55-75MeV 中性子に対する測定のために比例計数管、SSD, BaF<sub>2</sub> シンチレータからなる 3 要素テレスコープを作成し、C, Al, Fe, Ni などの p, d, t,  $\alpha$  粒子生成 DDX 測定を行ってきた<sup>15)</sup>。

#### 4. 中性子応用

中性子の特徴である高い透過力を生かすことによって、物質内部を非破壊的に調べることができ、我々も関連する研究を行ってきた。一つは、中性子弹性反跳検出法(NERD)による水素同位体の深さプロファイルの測定<sup>16)</sup>であり、もう一つは高速中性子ラジオグラフィ<sup>17)</sup>である。

前者は、目的とする試料に単色中性子を入射させ、反跳される p, dなどをカウンターテレスコープで検出し、そのエネルギー分布から深さ分布を求めるもので、イオンビームを用いる ERD(Elastic Recoil Detection) の中性子版である。ダイナミotronからの 5MeV 近傍の中性子を用いることによって、100 μm 以上の深さに亘って分布の測定が可能なことが分かった。水素吸蔵合金、燃料電池電極などへの応用が期待される。動的挙動の分析などのために、さらに中性子強度と検出感度を高める方法を検討している。(名古屋工業技術研究所 斎藤和雄室長との共同研究による)。

現在中性子ラジオグラフィは主として熱中性子を用いて行われているが、透過距離の長い熱外または高速中性子の利用によってより厚い物体の分析が可能になると期待される。そのためには高速中性子のプロファイル測定手法の開発が必要である。我々は、高感度のイメージングプレート(IP)をポリエチレン(CH<sub>2</sub>)コンバータと組み合わせ、反跳陽子を利用する方法を検討してきた。問題となる  $\gamma$  線バックグラウンドはポリエチレンを取り除いた測定で評価できると考えられる。

5MeV近傍の中性子と厚さが反暁陽子の最大飛程程度のコンバータを用いれば、かなり明瞭な像が得られることが分かった。但し、高速中性子では散乱断面積が大きいため、散乱中性子による像の歪みやぼけが大きいこと、上の方法では除去しきれない $\gamma$ 線バックグラウンドが残ることも分かった。そのため、エネルギー分析可能な位置敏感カウンターを用いて散乱線の影響を除去することも試み、有効性を確認した。今後、CYRICの減速中性子場に有用なプロファイル測定器の開発にも取り組んでいく計画である。(本研究はCYRIC山寺助教授、中村教授との共同研究による)。

なお、1-4の仕事は、上記の方々に加え量子エネルギー工学科、松山成男、岩崎智彦、平川直弘の諸氏、研究室の学生諸君、ダイナミotron実験室の藤沢政則、坂本隆司氏の協力で可能となつたものであり、記して感謝します。

## 5. 今後：加速器中性子源の開発とその利用

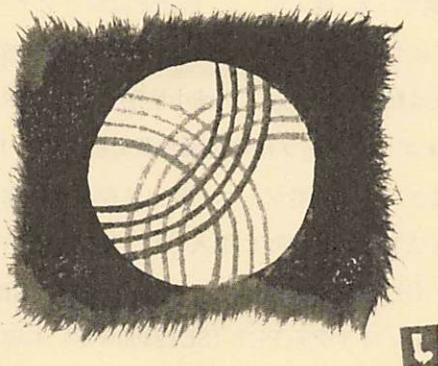
中性子の利用は多方面にわたり、そのニーズはますます増大することが予測されている。一方、原子炉のリタイアーや立地難などで利用可能な中性子源は減少し、需要と供給の不均衡が拡大することが懸念されている。大型の核破碎中性子源計画が各国で推進されているが、これら国家プロジェクト的な大型装置で全てをまかなうことには無理があり、地域センター的な中小型装置も不可欠と考えられる。

大型の加速器中性子源の場合には高エネルギー中性子の混入が特に中性子ホウ素捕捉療法(BNCT)などの医療利用で問題となるため、逆に1-3MeV、300mAといった小型大電流の装置も幾つか提案されている。しかしこの大電流の実用にはまだ技術的な課題が多いと考えられる。その点、CYRIC新サイクロトロンの<50MeV、300 $\mu$ Aという容量は現実性が高く、ターゲットの技術開発は必要としても、高エネルギー中性子の混入を減少させる工夫によって医療利用を含む多目的減速中性子源になり得ると期待される。そのための基礎研究と実際の開発研究は、加速器の特徴を生かした有意義なものと考える。

## 文 献

- 1) M. Baba et al. : Nucl. Instrum. Methods, A376 (1996) 115-123
- 2) S. Matsuyama et al. : Proc. Int. Conf. on Nucl. Data for Sci. and Technol., Gatlinburg (1994) 400-402
- 3) M. Takada et al. : Nucl. Instrum. Methods, A372 (1996) 253-261
- 4) M. Baba et al. : Nucl. Instrum. Methods, A428 (1999) 454-465
- 5) N. Ito et al. : Nucl. Instrum. Methods, A337 (1994) 474-485
- 6) M. Baba et al. : J. Nucl. Sci. Technol., 31 (1994) 757-769

- 7) M. Baba et al. : Proc. Int. Conf. on Nucl. Data for Sci. and Technol., Gatlinburg (1994) 941-943
- 8) T. Sanami, M. Baba et al. : Nucl. Instrum. Methods, A394 (1997) 368-373
- 9) S. Matsuyama et al. : Nucl. Instrum. Methods, A372 (1996) 246-252
- 10) M. Ibaraki et al. : ibid., 35 (1999) 843-850
- 11) S. Chiba et al. : J. Nucl. Sci. Technol., 22 (1985) 771-787
- 12) M. Baba et al. : ibid., 27 (1990) 601-616
- 13) M. Baba et al. : ibid., 31 (1994) 745-747
- 14) M. Ibaraki et al. : ibid., *to be published*
- 15) Y. Nauchi, M. Baba et al. : J. Nucl. Sci. Technol., 36 (1999) 143-151
- 16) K. Saito et al. : KEK Proceedings 98-4 (1998) 115-124
- 17) T. Sanami et al. : Nucl. Instrum. Methods, *to be published*



## 特集記事

# 東北大学重荷電粒子ビーム多目的利用システム

サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター 織 原 彦之丞

ここでは、サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターにおけるサイクロトロン並びにラジオアイソトープ多目的利用20年の成果を概観し、平成10、11年の2カ年にわたって予算化された1億電子ボルト AVF サイクロトロン、短寿命放射性化合物製造装置並びに重荷電粒子多目的利用システムと、併せて更新なったこれら最新の諸装置による研究計画を紹介いたします。

サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター (Cyclotron and Radioisotope Center : 略称 CYRIC) は、サイクロトロンの多目的利用、各部局では取り扱い困難な高レベル RI やサイクロトロン生成短寿命 RI の利用並びに RI 安全取り扱いの全学的な教育・訓練などを行うために昭和52年に設立された学内共同教育研究施設です。更新前の旧サイクロトロンは、K=50MeV、AVF サイクロトロンであり、最大加速エネルギーは、陽子 : 40MeV、重陽子 : 25MeV、ヘリウム-3 粒子 : 65MeV、アルファ粒子 : 50MeV でした。

昭和54年に共同利用を開始して以来大略20年間の平成10年度末までに、センターにおける研究をもとに多くの研究分野にわたる501編の英文審査付きの論文が世界の学術雑誌に公表されました。教育の侧面を学位論文の数で見ますと、理学博士 [博士 (理学) を含む。以下同様] : 37編、医学 : 38、工学 : 11、農学 : 6、薬学 : 2、他大学 : 2、合計96編がセンターにおける研究をもとに作成されています。また修士論文につきましては、理学、工学を中心に154編提出されています。

センターの主要研究設備は順調に稼動し、高速中性子のエネルギー分析用飛行時間分析装置 (飛行距離44m)、短寿命ラジオアイソトープ用の電磁質量分析装置、PIXE 用 x 線分析装置は建設当初より設置され、医学利用としては、ポジトロン放出核標識化合物自動合成装置に続いてポジトロン断層撮影装置 (PET) ECAT-II が1981年に導入され、更に1986年、1987年に導入された多段層 PET (PT931)、TOF-PET (PT711) もあわせて、がんの早期・質的診断や脳研究などの研究に応用されました。更に、1995年には3次元PET (SET2400W-S) も導入され、より活発な利用がなされています。

これらの装置でなされた研究成果の概略を紹介しますと、中性子飛行時間分析装置では 35MeV の陽子ビームによる (p, n) 反応を用いて、陽子と中性子の交換反応を調べ、原子核中の核子の自転 (スピン) と核子の電荷状態 (アイソスピン) の結合状態を調べました。それによって、1) 強い相互作用の元では同じように振舞うとされる陽子と中性子 (核子と総称される) が、電荷の存在などによってその対称性を崩してしまう現象 (アイソスピン混合) や、2) スピンと荷電状態が

同時に交換する反応では、裸の状態で存在する核子同士の結合とは違った強さで結びつくように見える（多体中の媒質効果）現象などを見つけ、更に 3) 自転の方向が整列して最大のスピンを持つような励起状態を (p, n) 反応で世界で初めて観測しました。また、(d, n) 反応によって原子核中の陽子の運動状態（軌道や角運動量）を解明し、核構造解明に寄与しました。X 線測定装置では粒子ビームによる原子中の内殻電子との衝突による電離過程の解明に大きく貢献し、更にはその応用として X 線測定による元素分析法 (PIXE 法) の開発を行いました。

電磁質量分離器 (EMIS) によってサイクロトロンで作られた短寿命の不安定核を瞬時のうちに検出器前面まで輸送し未発見のラジオアイソトープ等が探索されました。テープ輸送系やイオンガイド法の開発と合わせて、1)  $^{57}\text{Cu}$  並びに  $^{69}\text{Zn}$  など最も重い鏡映核を発見したり、2) 放射性同位元素をオンライン同位体分離器のビームで加速し、材料表面に埋め込み、同位体効果の超精密測定を行いました。また、原子核の電磁的性質を理解する為に、摂動核相関を測定する為の PAD 磁石も活躍し、15 個に及ぶ原子核の磁気モーメント（磁石特性）の測定に成功しました。この摂動核相関測定は、物質の格子欠陥の研究にも威力を發揮し、物質の構造の解明に役立っています。更に、重イオンを用いた散乱実験への応用のために、重イオン加速も行なわれ、 $^{15}\text{N}$  等のビームが加速され、 $^{28}\text{Si}$  核との超前方角度弹性散乱の実験に用いられてモデルに依存しない全反応断面積が得られています。

36MeV  $\alpha$  粒子およびエネルギー減衰装置を用いて深度分布の均一な試料を作成し、数多くの化合物の機械的特性におけるヘリウム埋め込み効果が研究され、核融合炉の構造物に用いられる化合物に適用されました。また、(d, xn) 反応による反跳インプランテーションによるその機構の解明や Tc<sup>II</sup> (accid)<sub>2</sub> 等の新生化合物の合成が行われました。更に、陽子および重陽子ビームを用いた RI 製造での最近の話題として、C<sub>60</sub> および C<sub>70</sub> フラーレン中への放射性原子の挿入があり、 $^7\text{Be}@\text{C}_{60}$ ,  $^{127}\text{Xe}@\text{C}_{60,70}$  及び  $^{85}\text{Kr}@\text{C}_{60,70}$  が確認されました。

中性子飛行時間分析装置によって、線量測定およびモニタリングについて研究が行われ、放射化および核破碎断面積の測定が行なわれました。また、放射線遮蔽に応用するため、中性子の減衰および漏洩についても研究が行なわれました。更に PET の臨床研究との共同で、陽電子放出薬剤の静脈注射によって生じる人体の吸収線量が測定されました。

センターの総力を傾注して陽電子断層撮影装置並びにサイクロトロン生成短寿命ポジトロン放出核種標識薬剤自動合成装置の開発を行って参りました。センターの 5 研究部は、このため有効に機能しました。加速器研究部はサイクロトロンの保守・開発でビームを確保し、測定器研究部は PET のソフト・ハードの開発を行いました。3 次元データ収集および 3 次元画像解析用の世界最速のプログラムは工学研究科並びに本学大型計算機センターの協力を得て、スーパーコンピューターを駆使して成功しました。3 次元画像収集によって、PET 感度が飛躍的に向上し、少量の放射性薬剤による小児への適用、薬剤の有効利用など以下に述べる核医学診断の成功の鍵となっています。

また、核薬学研究部は、120種を越える放射性薬剤を世に送り出し PET 診断用薬剤研究の中心的役割を果たし、第1表にその代表例を掲げます。センターのサイクロトロン核医学研究部は PET 共同利用の中心となり、更に放射線管理研究部は PET 診断における内部被曝の研究と共に、一万件を越す PET 診断における放射線安全管理を全うしました。

第1表 主な放射性薬剤とサイクロトロン核医学研究の対象

核種	放射性薬剤	研究対象
炭素-11	[ <sup>11</sup> C]メチオニン	腫瘍
	[ <sup>11</sup> C]ドキセピン	ヒスタミン H <sub>1</sub> 受容体
	[ <sup>11</sup> C]Nemonapride (YM09151-2)	ドーパミン D <sub>2</sub> 受容体
	[ <sup>11</sup> C]ベンゾトロピン	Muscarinic acetylcholine receptor
フッ素-18	[ <sup>18</sup> F]FDG 疑似糖	脳、心臓、腫瘍のエネルギー代謝
	[ <sup>18</sup> F]FDOPA	Presynaptic dopamine synthesis
	[ <sup>18</sup> F]Fluorodeoxyuridine	腫瘍
酸素-15	[ <sup>15</sup> O]酸素	脳酸素消費
	[ <sup>15</sup> O]二酸化炭素	脳血流
	[ <sup>15</sup> O]一酸化炭素	脳血流量
	[ <sup>15</sup> O]水	脳血流

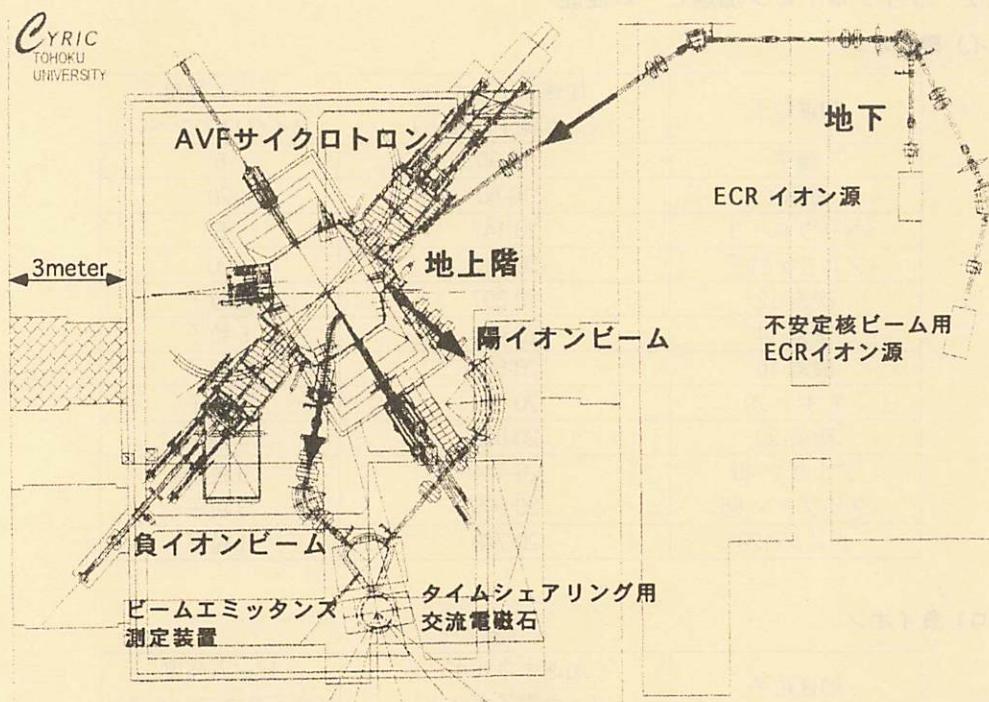
PET による核医学において、生体内代謝の定量的画像化に成功し、世界で初めて癌の早期・質的診断に応用され、癌の広がりのみならず代謝別・組織別診断法を確立し、合理的治療、治療薬の選択、治療効果の判定に道を拓き、さらにアルツハイマー痴呆と老人性痴呆の糖代謝の違いを明らかにし、モヤモヤ病の原因を究明し、てんかん病巣でのヒスタミン增加による発作抑制機序発現の証明が注目されました。更に、脳の高次機能の研究に応用されておりますが、最近では筋肉の糖代謝の画像化でスポーツ医学への応用も注目されています。

これらの臨床研究を支えてきた基礎医学の研究も本センターの特徴であり、一例を挙げれば、サイクロトロン生成短寿命放射性核種によるオートラジオグラフィーによる脳虚血の研究など数多くの成果を産出しています。

## 1. 1億電子ボルト AVF サイクロトロン

第1図は新しいサイクロトロンと、入射並びに出射ビームラインを図示したものです。重イオンを含む陽イオン用のECRイオン源は不安定核ビームのためのECRイオン源と共に、遮蔽壁の外の地下室に設置されています。なお負イオン源は図に示されていませんが、本体真下の地下に設置されています。イオンはインフレクターを通って中心加速領域に導かれます。このサイクロトロンの大きな特長は陽イオンと負イオン加速の二つの加速モードを持っていることです。陽イオンは半径930mm ( $K=130\text{MeV}$ ) まで加速されてデフレクターを通って引き出され、一方負の陽子並びに重陽子イオンは半径680mm ( $K=50\text{MeV}$ ) に置かれた炭素薄膜を通過し、電子をはぎ取られて引き出されます。

陽イオンビームは二極電磁石によって運動量分析され、更にビームエミッタス測定装置でビーム輸送系との整合性をデフレクターの調整などで計った後に実験サイトまで輸送されます。大電流の負イオンビームには運動量収差の無い輸送系が用意されています。ビーム輸送系にも工夫が施され、数秒単位の交流を二極電磁石に印可しビームを3コースまでタイムシェアリング出来るようになっています。ロングランの物理実験の合間にRI製造を同時に行ったり、複数の長時間実験を平行に走らせることが可能です。



第1図 サイクロトロン並びに入射系、出射系のレイアウト

表1と2にサイクロトロンの各部仕様とビーム性能を掲げます。

表1 サイクロトロン各部仕様

電磁石系		
	重量	200トン
	引き出し半径	923ミリメートル
	セクター数	4対
	最大平均磁場	19.6kG(凸部)
	主電磁石電力	230キロワット
	トリムコイル数	12対
高周波系		
	ディー電極数	2
	周波数	11-22メガヘルツ
	最大ディー電圧	50キロボルト
	最大高周波電力	70キロワット×2
外部イオン源		
	負イオン	カスプ型
	陽イオン(軽、不安定核)	ECR, 10ギガヘルツ
	陽イオン(重イオン)	ECR, 14ギガヘルツ

表2 サイクロトロン加速ビーム性能

イ) 陽イオン

加速粒子	加速エネルギー (メガ電子ボルト)	ビーム強度 (マイクロアンペア)
陽子	10-90	5
重陽子	10-50	20
ヘリウム-3	20-147	5
アルファ粒子	20-110	20
炭素-12	20-397	5粒子
窒素-14	20-463	5粒子
酸素-16	20-530	5粒子
ネオン-20	20-662	5粒子
硫黄-32	20-698	3粒子
アルゴン-40	20-744	3粒子
クリプトン-86	20-695	3粒子
ゼノン-129	20-748	1粒子

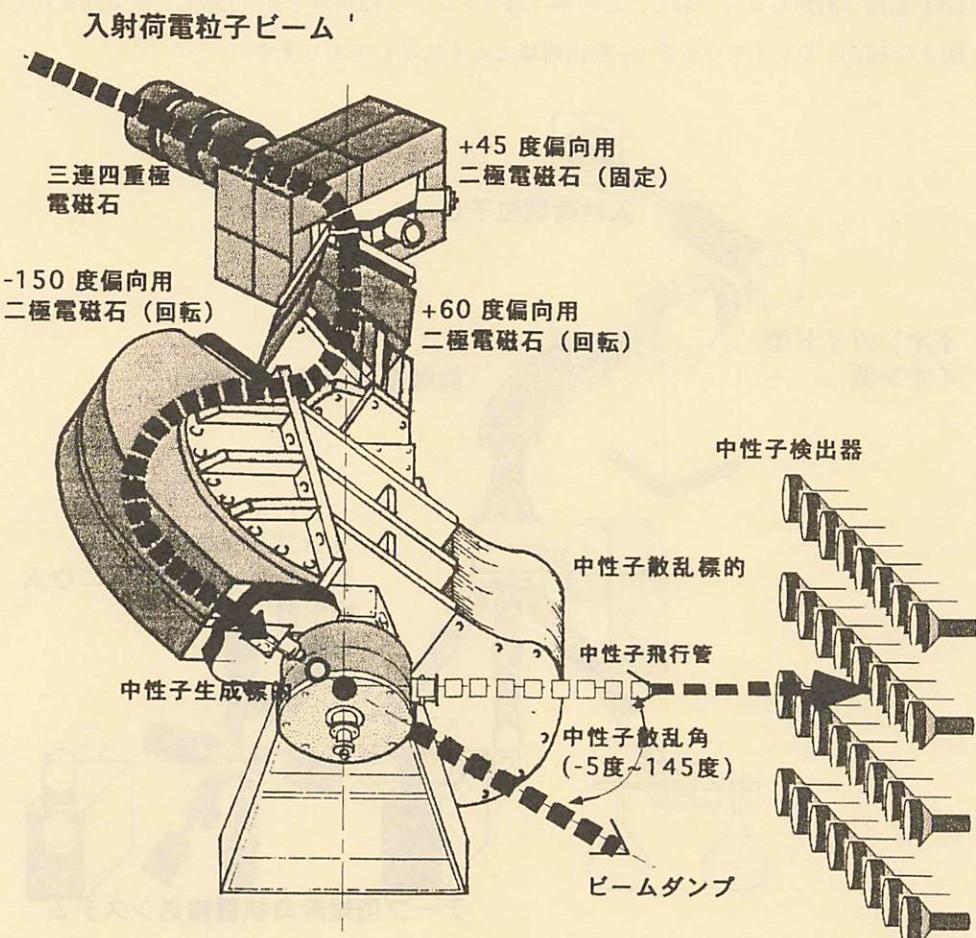
ロ) 負イオン

加速粒子	加速エネルギー (メガ電子ボルト)	ビーム強度 (マイクロアンペア)
陽子	10-50	300
重陽子	10-25	100

## 2. 大立体角高速中性子飛行時間分析装置

中性子ビームによる核物理学の研究は本プロジェクトの中心課題の一つであり、ビームスウィンガーも新しいエネルギーに対応するように新設されました。本装置は下図に見られるように二個の二極電磁石を軸上で回転させ、光学的条件を不变のまま入射ビームの角度を変えることができ、この装置によって44メートル先にある中性子検出器を固定したままで、散乱中性子の断面積の角度依存が測定できます。中性子検出器も増強され液体シンチレーター1.5リットルを密封した検出器が32個装備されています。

本装置によって入射陽子エネルギーが100MeVまでの( $p, n$ )反応による原子核のスピン・アイソスピン励起の全体像が明らかにされ、また、大強度単色中性子ビームによる高精度の中性子散乱データは、陽子弹性散乱のデータとあわせ、核力の荷電独立性の研究を格段に進め、中性子散乱データのための工学利用も計画されています。

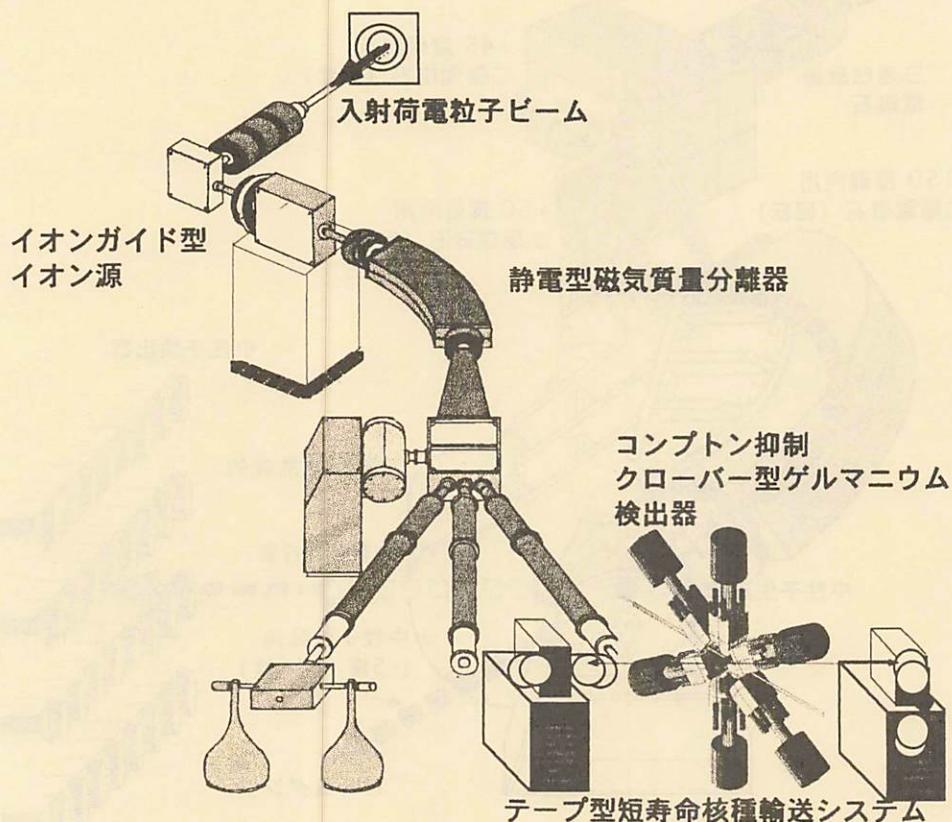


第2図 ビームスウィンガーと中性子検出器群のレイアウト

### 3. オンライン質量分離器とゲルマポール

我々は、加速器または原子炉で不安定核を人工的に作ることで、宇宙の歴史の過程で崩壊してしまった原子核についての様々な情報を得ます。高エネルギー大強度荷電粒子は、安定ラインから遠く離れたこれら不安定核を探索するうえで優れた候補と考えられ、世界の多くの研究所で荷電粒子、特に重粒子がこの目的のもと加速されています。しかし原子炉の場合には、実験上の困難により中性子ビームをオンライン同位体分離装置と組み合わせた例は限られています。一方、中性子による不安定核の生成は極めて有効であります。

CYRIC の新しいサイクロトロンは大強度の中性子ビームを供給し、中性子ドリップライン近傍の不安定核を調べるのに適しています。更にイオンガイド型イオン源および高速テープ輸送装置を備えたオンライン同位体分離装置 (EMIS) と、新たに装備される高分解能大立体角ガンマ線検出システムは、このための強力な武器となります。このシステムは 4 つのクローバー型純ゲルマニウム (Ge) 結晶 3 対からなっており、この各々はコンプトン抑制型で BGO 結晶 12 個で囲まれています。図 3 に EMIS のレイアウトを Ge 検出器球とともに示しております。

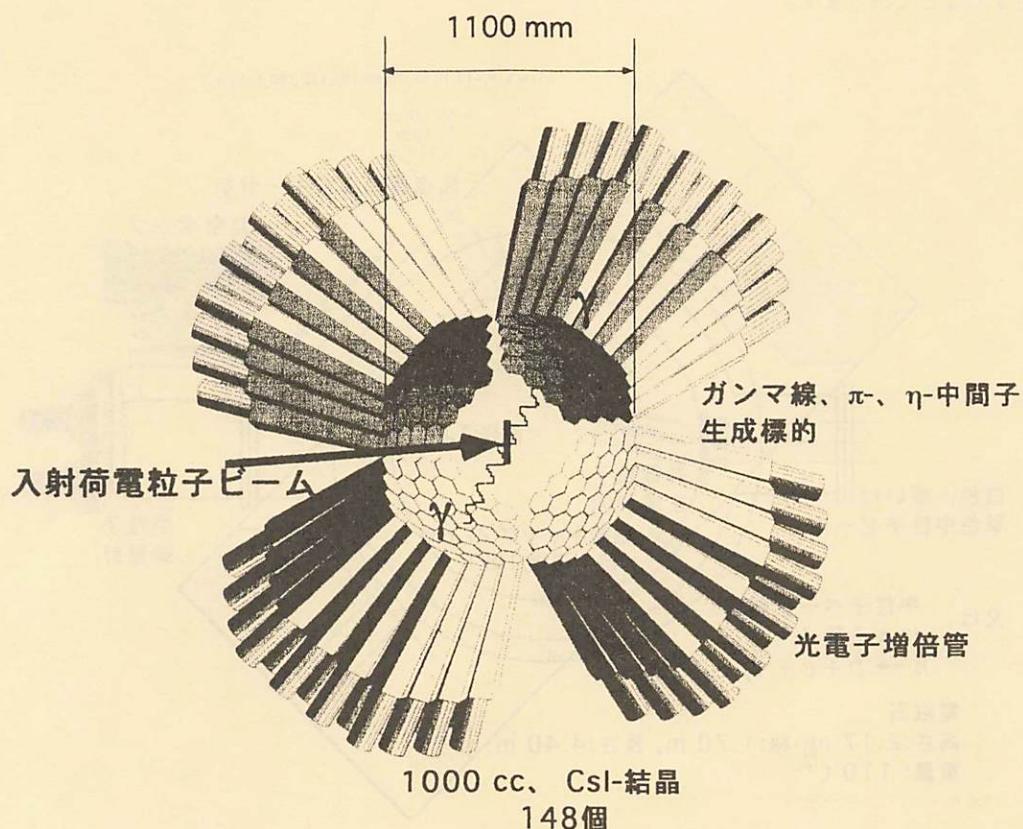


第3図 オンライン質量分離器とゲルマポールのレイアウト

#### 4. 高エネルギーガンマ線検出システム

このシステムは、核反応によって生成する~500MeVまでの高エネルギーガンマ線や非荷電中間子を検出・解析するものです。148個のヨウ化セシウム(CsI)結晶からなり、そのそれぞれの体積は1000cm<sup>3</sup>で、全体は4つのグループに分かれ、立体角で1/2πステラジアンをカバーしています。最小内径は55cmです。4つのブロックはシステムに固定され、ブロックごとに独立に移動させることができます。

CYRICのビームコース上に設置され、高エネルギーの重イオンビームが一塊りになって衝突する際に発生する高エネルギーガンマ線を運動学的に許容される最大エネルギーまで測定する研究が計画されています。更に、同じく重イオンビームが一塊りになってπまたはη中間子を生成する過程、すなわち、このシステムで核の coherent extreme の現象を探索することが計画されています。タイムシェアリング交流電磁石を備えたビーム輸送系は、このような極めて希少なイベントの実験に有効に機能することが期待されます。図4はCsI結晶の高エネルギーガンマ線検出器を示しています。

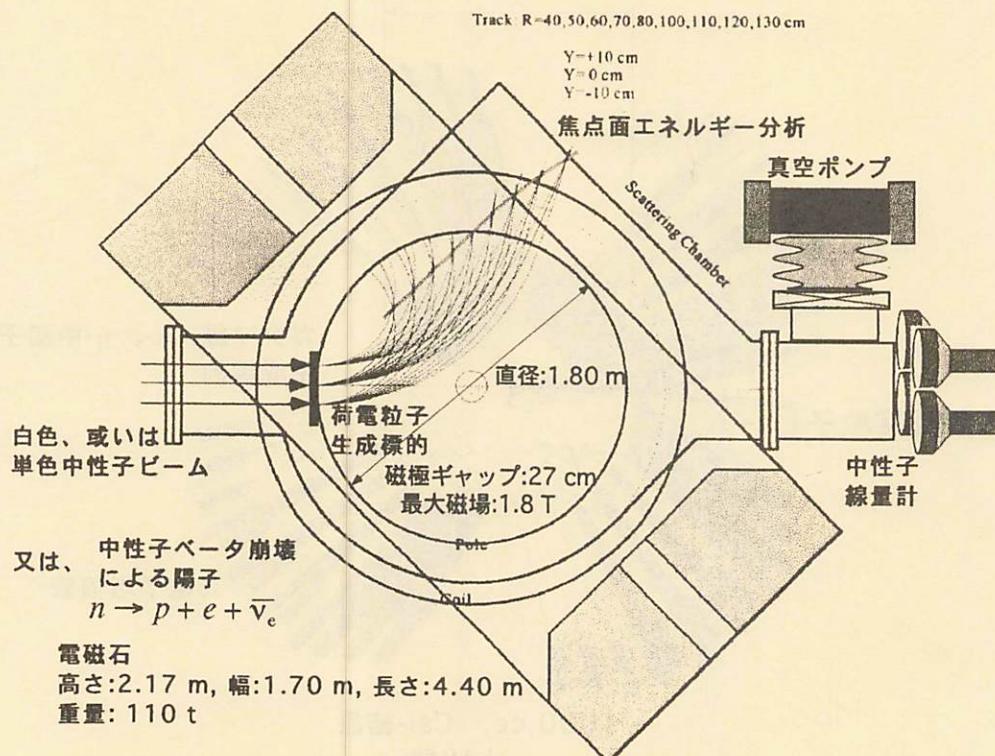


第4図 CsI結晶高エネルギーガンマ線検出器

## 5. 中性子寿命測定および中性子誘導核反応解析装置

大強度荷電粒子ビームによる二次ビームの白色および単色中性子ビームは数々の中性子誘導核反応の研究を可能にします。図5にレイアウトされているスペクトロメーターの主要部はかつてK=50MeVのサイクロトロンで使用されていた電磁石です。入射方向に対し垂直に立てられた平面上の異なる場所から放出された荷電粒子は焦点面を持ち、ここにはカロリーメーターとして動作する検出器が並べられます。

この大立体角磁気スペクトロメーターおよび大強度単色中性子ビームを用いたチャレンジングな計画として中性子の寿命の測定があります。精密な中性子寿命のデータの产出は、天体物理、宇宙論、素粒子原子核物理など今日の諸科学にとって極めて重要な課題です。30MeVの単色中性子ビームは20メートルの飛行管を平均1マイクロ秒ほどでスペクトロメーターに到達します。平均寿命12分の中性子は1マイクロ秒の飛行中に、10億個の内の1個が陽子にベータ崩壊します。従って、毎秒10万個の中性子を送り続ければ、1時間あたり1個程度の中性子が陽子に崩壊すると予想されます。この実験で最も重要なところは中性子の総量をゼロコンマ数パーセント程度の充分な精度で測定することあります。



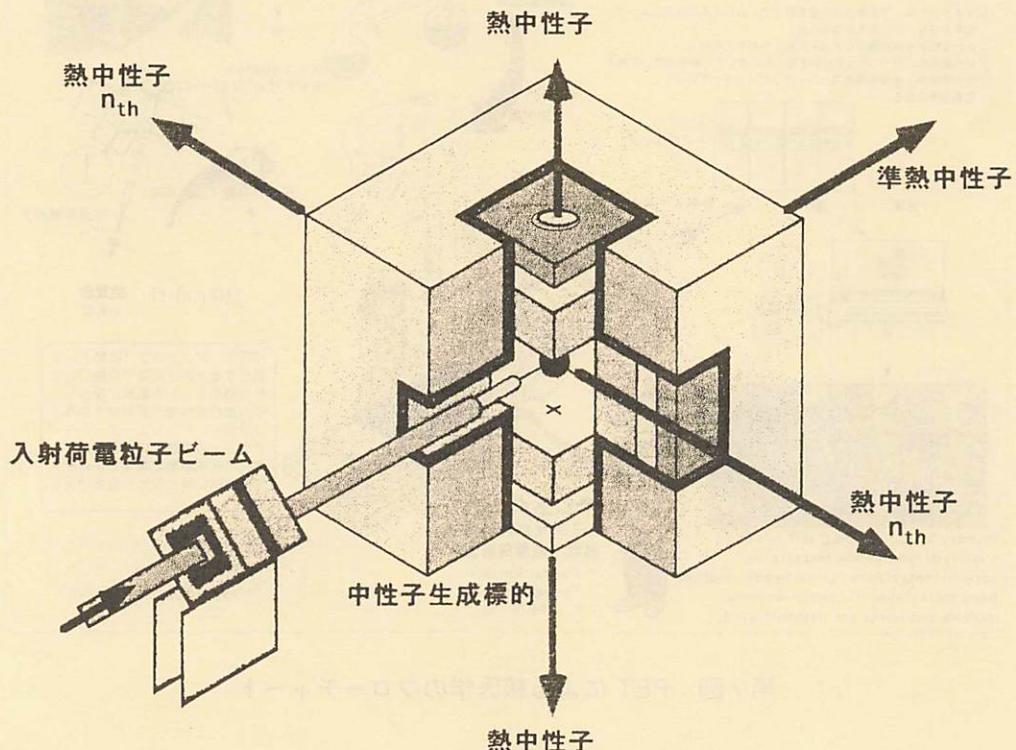
第5図 磁気分析器の断面図

## 6. 大強度熱中性子源および熱外中性子源

負イオン加速モードによる大強度の陽子あるいは重陽子ビームは原子炉に匹敵する強度の中性子を生成し、これらを効率よく減速することによって、熱中性子およびエピサーマル中性子源することが出来ます。

図6はターゲットおよび高エネルギー中性子から熱中性子およびエピサーマル中性子を生成するための減速材システムであり、このシステムにはアルミニウム、鉛、鉄、グラファイト、重水およびビスマスなどが配置されています。数十 MeV の中性子を熱中性子化するにあたってまだ技術的な課題が数多く残されています。特に、高エネルギー中性子のバックグラウンドを減らすことはこの研究で最も重要なことです。

熱中性子およびエピサーマル中性子の有用性は中重核に対するPIXE分析法によるものと組み合わされ、軽い核のラジオグラフィーや放射化分析は多くの研究分野に応用されます。更に、熱化中性子利用の目指すところはホウ素中性子捕捉がん治療(BNCT)の研究です。特定の黒色腫治療に限ったとしても、物理学・薬学・放射線生物学および医学の協力が不可欠です。このプロジェクトは目下ワーキンググループで検討されています。

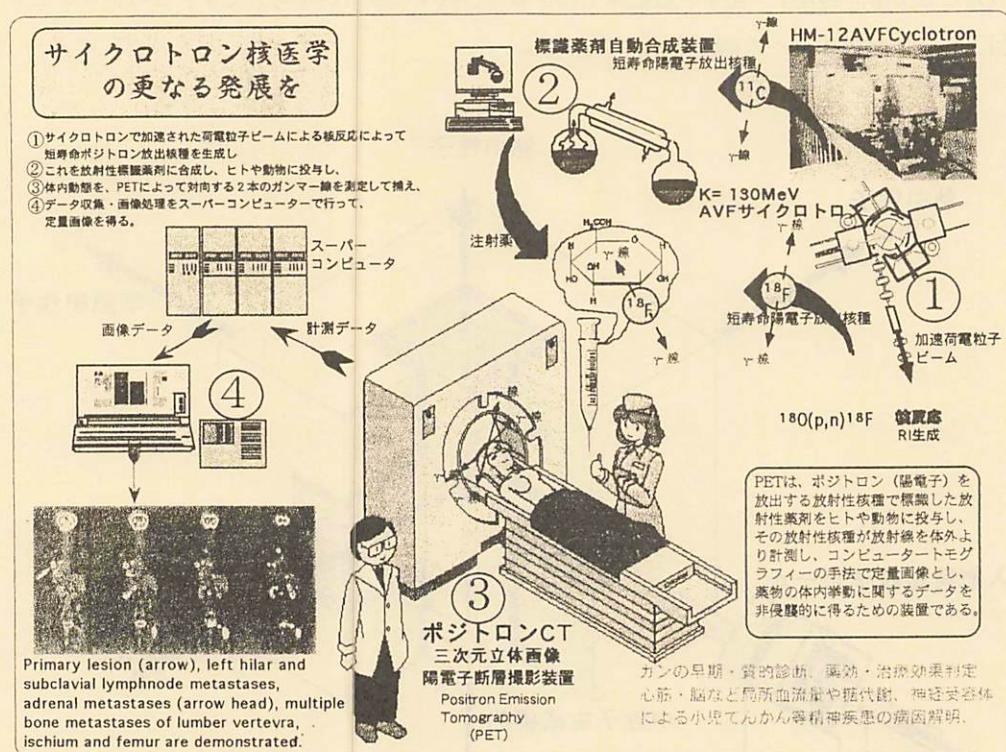


第6図 热中性子源レイアウト

## 7. ポジトロン放出核種標識薬剤の多重合成による核医学研究

高エネルギービームは中重核での( $p$ ,  $xn$ ,  $yp$ )反応などによるラジオトレーサーの生成への新しい分野を拓きます。稼動中の小型サイクロトロンと併用し、放射性核種の多重合成が可能になります。

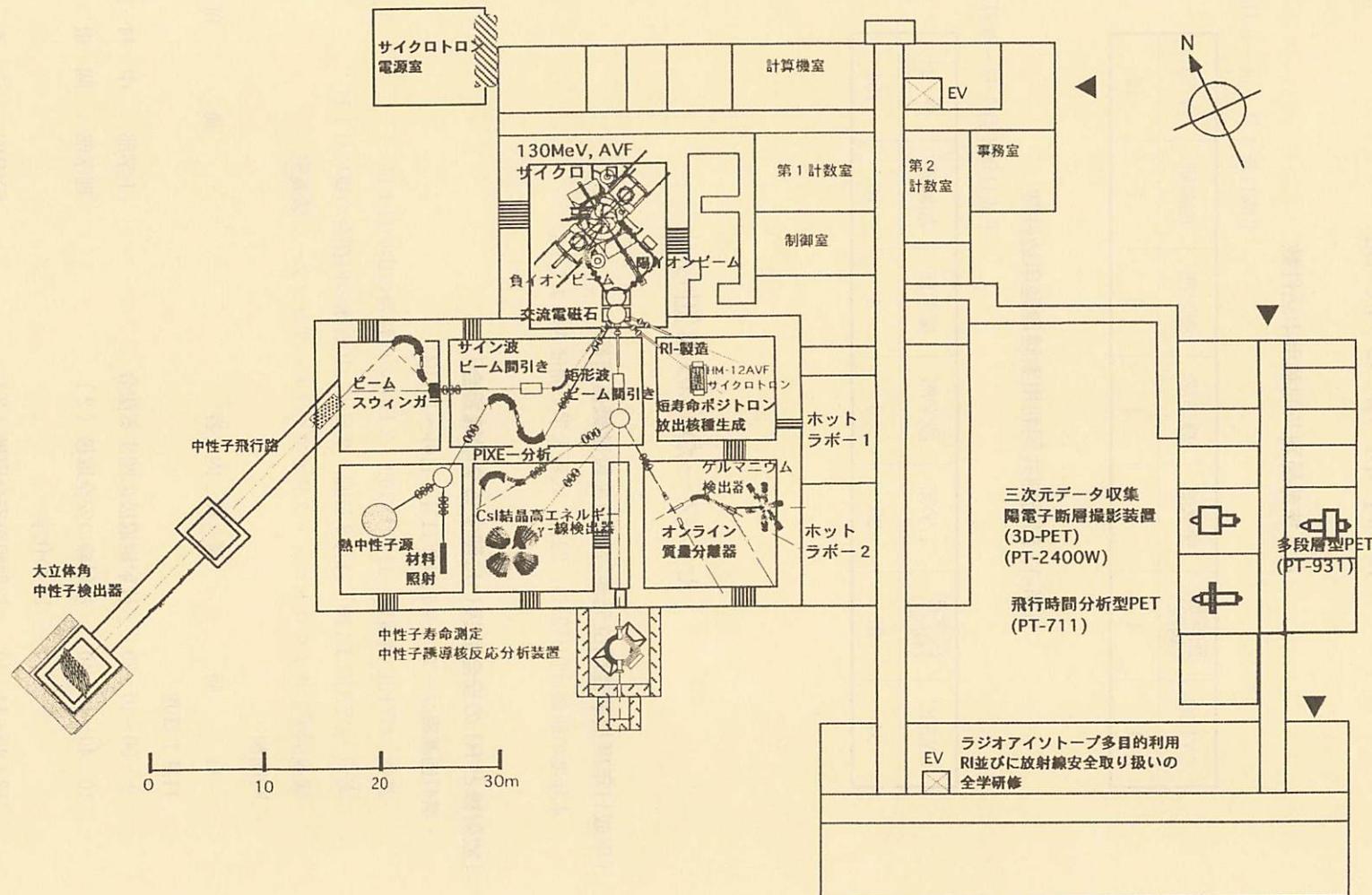
神経伝達物質や受容体の同時、定量的評価が、 $^{11}C$ によって標識された受容体配位子および $^{15}O$ によって標識された水を用いて行なわれ、痴呆や精神疾患などの臨床検査に応用されます。 $^{45}Ti$ 核種は寿命が長いこととタンパク質に対する親和性がよいことにより抗体の標識に適しています。血管内の $^{45}Ti$ の放射能はヘモグロビンと硬く結びついた $[^{15}O]$ -一酸化炭素を用いた組織血管の破断の測定に組み合わせられます。ポジトロン放出放射性核種で標識されたモノクロナール抗体を用いたガンの診断は、 $^{45}Ti$ で標識されたモノクロナール抗体と $^{15}O$ によって標識された二酸化炭素によって行なうことができます。これらはそれぞれ $K=130$ および $K=12\text{MeV}$ サイクロトロンで生成されるものです。図7には関連する装置と共にPETによる核医学のフローチャートが示してあります。



第7図 PETによる核医学のフローチャート

以上まとめとして、1億電子ボルト AVF サイクロトロンと重荷電粒子ビーム多目的利用システムが建屋配置と共に、次頁にレイアウトされています。

# 東北大学重荷電粒子ビーム多目的利用システム



## 共同利用の状況

### RI棟部局別共同利用申込件数

平成11年4月1日～9月30日

CYRIC	医学部 (病院)	理学部	農学部	薬学部	加齢研	合計
1	4	2	1	6	1	15

### HM-12部局別共同利用実験課題申込件数

平成11年4月1日～9月30日

CYRIC	医学部 (病院)	工学部	農学部	薬学部	加齢研	合計
34	87	20	3	4	16	164

## センターからのお知らせ

### [平成11年度放射性同位元素等取扱施設教職員研修]

本年度の研修は10月21日、22日、大阪大学で開催されました。

### [放射線と RI の安全取扱いに関する全学講習会]

#### ・第47回基礎コース：平成11年11月1日(月)～10日(木)

講義：CYRIC 講義室 11月1日(月)，2日(火)の内都合の良い日1日

実習：CYRIC RI 棟 11月8日(月)，9日(火)，10日(水)の内都合の良い日1日

講義場所：サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター 講義室

時間割

日 時	講 義 内 容	講 師
11月1日(月)		
9：00～10：30	放射線取扱に関する法令	工学部 中村尚司
10：40～11：40	放射線の安全取扱（2）	理学部 関根 勉
	RIの化学	
12：40～14：10	放射線の安全取扱（3）	CYRIC 山寺亮

14:20~15:50	放射線の安全取扱（1） 物理・計測	CYRIC	馬場	護
16:00~17:00	人体に対する放射線の影響	医学部	山本	政彦
17:00~17:20	小テスト			
11月2日(火)				
9:00~10:30	放射線取扱に関する法令	工学部	中村	尚司
10:40~12:10	放射線の安全取扱（1） 物理・計測	CYRIC	馬場	護
13:10~14:40	放射線の安全取扱（3）	CYRIC	山寺	亮
14:50~15:50	放射線の安全取扱（2） RIの化学	理学部	関根	勉
16:00~17:00	人体に対する放射線の影響	医学部	山本	政彦
17:00~17:20	小テスト			

・第10回 SOR（放射光）コース：基礎コースの講義のみ

・第33回 X線コース：CYRIC 講義室 11月4日(木)

講義場所：サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター 講義室

時間割

日 時	講 義 内 容	講 師
11月4日(木)		
9:00~10:30	X線装置の安全取扱い	医療短大 鈴木正吾
10:40~11:10	X線関係法令	CYRIC 山寺亮
11:20~12:00	安全取扱いに関するビデオ	CYRIC 宮田孝元

[運営委員会報告]

第153回（平成11年4月12日）

- ・平成12年度概算要求について審議
- ・助手定員の借用について要望することを承認
- ・非常勤研究員等4名の採用を承認
- ・民間等共同研究員1名の受け入れを承認

第154回（平成11年7月19日）

- ・放射線管理研究部教授人事選考委員会を発足

- ・平成10年度決算を承認
- ・平成11年度予算を承認
- ・臨床研究についての覚書を了承
- ・第3専門委員会委員・委員長の任期を平成13年3月31日まで継続することを承認
- ・民間等共同研究員3名の受入れを承認

第155回（平成11年9月6日）

- ・放射線管理研究部教授の候補者として馬場護氏（東北大工・院・助教授）を選考し原子理工学委員会に推薦することとした。
- ・中村教授の兼務教官および運営委員の発令を承認
- ・加速器研究部教授人事選考委員会を発足
- ・岩田鍊助教授の工学部への移籍を了承

[講演会報告]

1) 和田道治（理化学研究所）

“ビーム破壊核分離器からの不安定核ビームの高効率減速  
およびトラップ法の開発とその応用”

平成11年4月23日(金)

2) Juha Arje (Jyvaskla University, Finland)

“Recent Activities at Jyväskylä Accelerator Laboratory”

平成11年8月30日(月)

[サイクロトロン見学と廃棄物セミナー]

日本アイソトープ協会 放射線取扱主任者部会東北支部

日本原子力学会東北支部

日時 平成11年10月5日(火) 11:00~15:30

場所 東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター

11:00~12:00 サイクロトロンの見学

13:00~13:30 サイクロトロンの解体 日本環境調査研究所 泉 雄一

13:30~14:00 放射線管理と廃棄物

東北大学サイクロトロン・RIセンター 山寺 亮

14:00~15:00 放射性廃棄物に関する最近の状況

日本アイソトープ協会環境整備部 清水 雅美

15:00~15:30 質疑および討論

# 第20回サイクロトロン共同利用実験研究発表会プログラム

日時 平成11年12月1日(水)、2日(木)

場所 サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター講義室

## 特別セッション 新型サイクロトロンの現状 (9:30~10:50)

	座長	藤岡 学 (センター)	織原 彦之丞
1. 重荷電粒子多目的利用システム	センター	織原 彦之丞	
2. 新サイクロトロン更新の現状 (含質量分離器)	センター	篠塚 勉	
3. サイクロトロン本体・入射系及び全体制御系	センター	藤田 正広	
4. 出射系及び新ビーム輸送系 (含中性子飛行時間分析装置)	センター	寺川 貴樹	

(11:00~12:00)

座長 中川武美 (理学研究科)

5. ECRイオン源1号機の開発	センター	山崎 明義
6. 大電流加速に伴う空間電荷効果の考察	センター	三須敏幸
7. 新型サイクロトロン施設の遮蔽設計	工学研究科	中村尚司

-昼休み (12:00~13:00) -

座長 小林俊雄 (理学研究科)

8. 高エネルギーガンマ線検出システム	理学研究科	笠木 治郎太
9. 中性子寿命測定、中性子誘導核反応分析装置	センター	篠塚 勉 (理学研究科 前田和茂) 代理
10. クローバー型検出器システム	センター	篠塚 勉 (理学研究科 田村裕和) 代理

## 第1セッション 理工学(物理一般) (14:10~15:10)

座長 坪田博明 (理学研究科)

1-1 RFイオンガイドの製作と研究	センター	園田 哲
1-2 摂動角相関用強度可変型永久磁石回路の研究	センター	馬場健郎
1-3 速いくり返しのシンクロトロンにおける渦電流効果の研究	センター	金井康護
1-4 高速中性子プロファイル取得法の開発	工学研究科	三浦孝子

第2セッション 臨床医学(脳) (15:20~16:05)

座長 福士 審(医学系研究科)

- 2-1 Recall processes from different contexts : A PET study

医学系研究科 藤井俊勝

- 2-2 Olfactory Stimulus Processing - By Human Brain A Functional PET Study

加齢医学研究所 AHMAD QURESHY

- 2-3 社会的判断と自伝的記憶に関するPET Activation Study

加齢医学研究所 杉浦元亮

利用者の会総会 (16:05~17:00)

第3セッション 臨床医学(基礎) (9:30~10:45)

座長 佐々木英忠(医学系研究科)

- 3-1 脳磁波・脳波同時測定とその解析

工学研究科 長沢実保

- 3-2 3次元PETにおける吸収補正の研究

工学研究科 水田哲郎

- 3-3 フーリエリビニング法に基づいた3D-PETの画像再構成法の研究

工学研究科 大石幸裕

- 3-4 癌腫診断における2時間PETの有用性

加齢医学研究所 渥田和雄

- 3-5 激運動時(ダッシュ)における全身糖代謝

医学部附属病院 大沼正

第4セッション 臨床医学(全身代謝) (10:55~12:10)

座長 福田 寛(加齢医学研究所)

- 4-1 FDG経口投与の試み

センター 山口慶一郎

- 4-2 経口投与された<sup>18</sup>F-FDGの口腔内局在と動態

センター 尾崎郁

- 4-3 脳腸相関におけるヒスタミン神経系の関与

医学系研究科 鹿野理子

- 4-4 状態間における右脳・左脳の血流変化

医学系研究科 望月秀紀

- 4-5 痴呆患者における脳脊髄液中アミロイドβ蛋白濃度と脳糖代謝の関連性

医学部附属病院 岡村信行

第5セッション 基礎医学・薬学(1) (13:10~14:10)

座長 谷内一彦(医学系研究科)

- 5-1 マストパランによる筋小胞体からのリアノジン受容体を介した

Ca<sup>2+</sup>遊離の分子制御機構の解析 薬学研究科 平田豊

- 5-2 薬物代謝酵素誘導に関する核内レセプターについて 薬学研究科 山崎亨
- 5-3 MPTP誘発パーキンソン病モデルマウスにおける急性期の病態変化 薬学研究科 三上忠世志
- 5-4 精神分裂病治療剤の錐体外路系副作用に関する検討 薬学部 水谷治央

第6セッション 基礎医学・薬学(2) (14:20~15:35)

座長 水柿道直(附属病院)

- 6-1 パーキンソン病モデル動物における脳内ガングリオンドおよびドーパミンの変動 センター 小坂良
- 6-2 培養脳神経細胞における [<sup>18</sup>F] fluorodiacetyl glycerol の代謝動態 センター 若山健太郎
- 6-3 マウス乳癌モデルへの <sup>99m</sup>Tc-MIBI 集積の検討 医学部附属病院 大平広道
- 6-4 新しい <sup>18</sup>F-標識薬剤の開発 工学研究科 岩田鍊
- 6-5 <sup>18</sup>FRP-170 を用いた腫瘍低酸素細胞及び心筋虚血層の画像化 医学部附属病院 高井良尋

第7セッション 理工学(PIXE・材料) (15:45~17:00)

座長 馬場護(センター)

- 7-1 大気中イオンビーム照射による試料損傷の研究 工学研究科 遠藤寛和
- 7-2 仙台市近郊で補集されたエアロゾル試料の PIXE 分析 工学研究科 東海幸康
- 7-3 植物根表面元素組成の大気 PIXE 分析 農学研究科 横田聰
- 7-4 オーステナイトステンレス鋼の溶接特性に及ぼす注入ヘリウムの影響  
—軽水炉構造材料の保全に関する基礎研究— 工学研究科 長谷川晃
- 7-5 Si 放射線検出器とデバイスの照射損傷 東北工業大学 須賀一郎

まとめ

課題採択委員長 中村尚司(工学研究科)

## 研究交流

新しくセンターに来られた共同研究者を紹介します。

氏　名　高木俊治

会社名　(株)三菱総合研究所

会社での身分　研究員

研究題目　宇宙放射線の防護に関する研究

指導教官　中村尚司

研究期間　平成11年4月1日～平成12年3月31日

氏　名　加藤　隆

会社名　(株)日建設計

会社での身分　設計主管

研究題目　医療用高エネルギー加速器施設の放射線遮蔽設計に関する研究

指導教官　中村尚司

研究期間　平成11年7月20日～平成12年3月31日

氏　名　山口恭弘

会社名　日本原子力研究所

会社での身分　外部被ばく防護研究室室長

研究題目　中性子線量評価の高精度化に関する研究

指導教官　中村尚司

研究期間　平成11年7月27日～平成12年3月31日

氏　名　横堀　仁

会社名　新型炉技術開発(株)

会社での身分　技術部部長

研究題目　加速器中性子源の高性能化に関する研究

指導教官　中村尚司

研究期間　平成11年9月1日～平成12年3月31日

氏　名　阿部　誠

会社名　明星電気(株)

会社での身分　エキスパートエンジニア

研究題目　人工衛星による宇宙線観測用放射線測定器の特性評価

指導教官　中村尚司

研究期間　平成11年10月12日～平成12年3月31日

## R I 管 理 メ モ

### ・自主点検について

平成11年度第1回目の自主点検を9月21日～29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。

### ・JCOの臨界事故に関連して

9月30日に発生したJCO事故に関して安全取扱の徹底を再確認するための文書を10月4日付で本センター有資格者に配布しました。(別添1)

別添1

平成11年10月4日

### 利 用 者 各 位

東北大学サイクロotron・ラジオアイソトープセンター  
放射線取扱主任者

### RIの安全使用について

既に御存知のことと思いますが、9月30日茨城県東海村の核燃料加工事業所で重大な放射線漏れ事故が発生しています。報道等によれば、その事故原因は、単純な人為的ミスによるのではないかと推測されています。実験者は、とかく実験の結果だけが気になって、安全面は疎かになりがちです。センター利用者各位におかれましても、実験手順をもう一度安全取扱の観点から再確認するなどして、改めて安全なRI利用を心がけていただきたいと思います。その際、自身の安全はもちろん、他の実験者や一般公衆に対しても安全の配慮がなされていることも確認して下さい。

- (1) 慣れた実験操作にも、単純ミスをしないよう再度の確認を行って下さい。
- (2) 特に標識実験時など、RIを大量に取り扱う際は細心の注意を払って下さい。
- (3) RIの保管・管理を徹底してください。
- (4) 事故を起こした時は、速やかに放射線管理部まで連絡下さい。内線7808, 4399, 4406。

・新型サイクロトロンの設置に伴う変更内容について

新型サイクロトロン930型 [主要仕様 (別添 2), 性能 (別添 3)] 設置に伴い①一時的に非管理区域となっていた本体室, 本体ピット室, 加速器部品保管室, および前室から汚染検査室までの廊下を再び管理区域とする。又, ②現在稼動中の小型サイクロトロン HM12 の運転制御・インターロックシステムを新型サイクロトロン930型と共通のシステムにする。③サイクロトロンのエネルギーとビーム強度が増加するため遮蔽の補強が必要となりそれに伴う管理区域の拡大(中性子飛行管室外側)を行う。④サイクロトロン棟の南側壁に隣接してガス飛跡検出器室を増設し,これを新たに管理区域とし, 個別の出入り口を設ける。

別添 2

930型 AVF サイクロトロン本体主要仕様

1. 電磁石

- セクター数 : 4
- ポール径 : 2.156m
- バレー最大ギャップ : 405mm
- ヒル最大ギャップ : 166mm
- マグネット寸法重量 : 2.31m × 5.19m 2.6m 200ton
- 引出半径 : 923mm
- 引出平均的磁場 : 1.64Tesla
- メインコイル設計起磁力 : 400,000AT
- メインコイル最大電流値 : 900A
- トリムコイル数 : 12対
- ハーモニックコイル数 : 入射用 4 対, 引出用 4 対
- 加速ハーモニック数 : 1, 2, 3

2. RF システム

- ディー数 : 2
- ディースパン角 : 86度
- キャビティ数 : 2
- ディービームスペース : 38mm
- ダミーディギャップ : 40mm
- 周波数 : 10.6MHz ~ 22MHz
- 最大ディー電圧 : 60KV
- 共振補正周波数 : 500kHz
- 出力 : 50kw × 2 台

### 3. 引き出し系

- デフレクター電場 : 120kv/cm
- デフレクター最大電圧 : 60kv
- デフレクタースパン角 : 55度
- マグチャン最大逆磁場 : 2.5KG
- マグチャンスパン角 : 20度

### 4. 真空排気系

- 加速空間真空度 ;  $5 \times 10^{-7}$  Torr 以下

### 5. 冷却系要求

- 加速器系 : 入口水温30度±1度 壓力損失 : 12kg/cm<sup>2</sup>純水
- 発熱負荷 670,000kcal/H 通水量 : 850l/m  
(負荷対象は、サイクロトロン用電源も含む)
- 真空系 : 入口水温20度±3度 壓力損失 : 3kg/cm<sup>2</sup>市水
- 発熱負荷 16,000kcal/H 通水量

別添3

### 放射線発生装置

番号	種類	性 能			使用の目的	使用の場所	備考
	台数						
1	サイクロトロン	加速粒子エネルギー及び出力電流			理工学等の 教育研究	場所 3	
		陽子	12MeV	60 μA*			
2	サイクロトロン	重陽子			理工学等の 教育研究	サイクロト ロン棟全域	
		P(-)	50MeV	300 μA*			
		D(-)	25MeV	100 μA*			
		P	90MeV	5 μA*			
		D	50MeV	20 μA*			
		<sup>4</sup> He	110MeV	20 μA*			
		<sup>3</sup> He	147MeV	5 μA*			
重イオン(Li~Bi) 最大 27.5MeV/核子					10 μA*		

\* μA とは particle-μA の値である。

以上です。

- ・このほど科学技術庁放射線安全課から次のような（別添4）課長通達が出されました。

別添4

平成11年6月1日

非密封放射性同位元素取扱事業所 御中

科学技術庁原子力安全局放射線安全課長

下村和生

平素より放射線安全管理に御尽力いただいていることと存じます。

さて、液体シンチレーター廃液の焼却に関する安全管理については、従来より「放射性有機廃液の焼却に関する安全指針」により放射性同位元素取扱事業所における安全管理を行ってきたところですが、近年、廃棄物の焼却に伴い発生するダイオキシンが社会的問題となっており、放射性同位元素取扱施設における焼却施設についてもこれらに関する実態の把握並びにその対策等が求められております。

このような背景のもと、昨年より放射性有機廃液焼却装置の焼却時の安全管理について関係事業所に対して注意喚起を行うとともに、液体シンチレーター廃液焼却時の安全管理等について原子力安全委員会放射性同位元素等安全規制専門部会において調査・検討が行われてまいりましたが、この度これらの調査・検討結果を踏まえ、焼却に伴い生ずるおそれのあるダイオキシンの発生を抑制するための内容を盛り込み別紙のとおり技術的事項をとりまとめました。

つきましては、貴事業所において液体シンチレーター廃液の焼却を行う場合は、本通知に示された諸事項に従い関連設備の点検を行うとともに、液体シンチレーター焼却時の安全管理の徹底を図っていただきますようよろしくお願ひいたします。

# 液体シンチレーター廃液の焼却に関する安全管理について

平成11年6月1日

科学技術庁原子力安全局

放射線安全課

標記の件については、昭和61年4月1日付け科学技術庁原子力安全局放射線安全課通知「放射性有機廃液の焼却に関する安全指針」により放射性同位元素取扱事業所における安全管理を行ってきたところですが、この度、焼却に伴い発生する有害物質（ダイオキシン等）の発生の抑制並びに現行の液体シンチレーターの使用状況への適合を図ることを目的として、原子力安全委員会放射性同位元素等安全規制専門部会における検討を踏まえ、下記の内容をとりまとめました。

つきましては、貴事業所において液体シンチレーター廃液の焼却を行う場合は、法令に定められた下記事項を遵守し、安全管理を徹底してください。

なお、本通知をもって、昭和61年4月1日付け科学技術庁原子力安全局放射線安全課通知「放射性有機廃液の焼却に関する安全指針」（以下「旧通知」という。）平成10年10月20日付け科学技術庁原子力安全局放射線安全課長通知「放射性有機廃液焼却処理における安全管理について」及び平成11年2月5日付け科学技術庁原子力安全局放射線安全課長通知「放射性有機廃液焼却装置の安全管理について」を廃止することを申し添えます。

## 記

### I 本通知と旧通知の相違点の概要

本通知においては、旧通知の内容を基礎として、以下の内容に関する規定を設けるとともに、様式及び語句の整理を行った。

- (1) 焼却に伴い生ずるおそれのある有害物質の発生を抑制するため、燃焼温度及び廃ガスの冷却に関する諸事項を規定した。
- (2) 焼却対象物である液体シンチレーター廃液の管理について規定した。
- (3) 液体シンチレーター廃液に含まれる核種として新たにP-33及び放射線障害防止法関係法令に基づき行われるモニタリングの際に生じる液体シンチレーター廃液を加えた。
- (4) 法令で定められた事項についてその内容の確認を行うとともに、文書の様式・語句を整理した。

### II 焼却対象物

#### 1. 焼却対象物の種類・性質及び含まれる核種

焼却対象物は、H-3、C-14、P-32、P-33、S-35及びCa-45を含む可燃性・流動性のある液体シンチレーター廃液、放射線障害防止法関係法令に基づき行われるモニタリングの際に採取した試

料を含む液体シンチレーター廃液（以下「廃液」という。）及び助燃剤に限ること。

## 2. 放射性同位元素の濃度

焼却する液体シンチレーター廃液中の放射性同位元素の濃度は、以下に定める濃度を超えないようにし、焼却炉の焼却能力、排気量及び排水量に応じて、排気口における排気中の RI 濃度及び排水口における排水中の RI 濃度が法定の濃度限度以下となるようにすること。また、廃液中の放射性同位元素の種類及び濃度の特定は、事前にサンプルを採取し、液体シンチレーション計測法等により測定し、その結果を記録すること。

H-3	37 Bq/cm <sup>3</sup>
C-14	37 Bq/cm <sup>3</sup>
P-32	3.7Bq/cm <sup>3</sup>
P-33	3.7Bq/cm <sup>3</sup>
S-35	37 Bq/cm <sup>3</sup>
Ca-45	3.7Bq/cm <sup>3</sup>
放射線障害防止法関係法令に基づき 行われるモニタリングの際に採取し た試料を含む液体シンチレーター廃 液に含まれるその他の核種	3.7Bq/cm <sup>3</sup>

なお、複数の核種が存在する場合は、それらの放射性同位元素の濃度のそれぞれの上記の濃度に対する割合の和が 1 を超えないものとする。

## III 設備

### 1. 炉の材質

腐蝕等による漏れや汚染を防止するため、焼却炉本体、廃ガス冷却装置、廃液タンク及び配管を含む装置の材質は、耐熱性があり、廃液及び焼却生成物に対し耐食性を有し、かつ、燃焼室等高温になる部分には耐火材を用いること。

### 2. 炉の構造及び性能

- (1) 気体が漏れにくく、かつ、灰が飛散しにくい構造とすること。（規則第14条の11第1項第6号イ参照）
- (2) 焼却残渣の搬出口は、廃棄作業室に連結すること。（規則第14条の11第1項第6号参照）
- (3) 焼却炉の排ガス出口は法令で定める排気設備に連結された構造とすること。（規則第14条の11第1項第4号参照）
- (4) 炉内に固形物が付着することによる異常燃焼等を防止するため、焼却炉本体及び廃ガス冷却装置等の内部に付着若しくは沈殿した物を洗浄又は除去できる構造とすること。

- (5) 燃焼中連続して燃焼温度が測定できること。
- (6) 必要に応じ燃焼温度を制御するための装置が設置されていること。
- (7) 外部に液体が漏れることによる周囲の汚染や引火を防止し、タンク内の残量を確認するため、廃液及び助燃剤のタンクには液位計を設けること。
- (8) タンク内の廃液及び助燃剤の温度が燃焼中に上昇するおそれがあるときには遮熱板又は冷却装置を設けること。
- (9) 燃焼状態が安定で、かつ、不完全燃焼を起こしにくい構造であること。
  - a. 必要に応じて助燃剤による補助燃焼が行われるか、助燃剤の添加が可能な構造であること。
  - b. 廃液の滴下ノズル又は噴霧ノズル等のつまり防止対策が施されていること。
  - c. 不完全燃焼及び燃焼温度が摂氏800度以下になった場合に廃液の燃焼を停止するための自動送液停止装置が設けられていること。
- (10) 点火時の引火、爆発及び汚染の防止を図るため、点火が安全かつ確実に行われる構造であること。
  - a. 点火の確認ができる構造であること。
  - b. 点火失敗時の燃料の供給停止ができる機構であること。
  - c. 自動点火の場合にエアパージ（空気の通気による未燃焼ガスの除去）前に点火できない機構等が設置されていること。
- (11) 焼却炉を設置する部屋等の気圧を考慮し、安定な給気が行われる構造であること。
- (12) 焼却炉下部に受け皿を設ける等、点検又は修理時に汚染が広がりにくい構造とすること。
- (13) 爆発防止装置として次の装置を設けること。
  - a. 点火前、燃焼終了時及び運転中の燃焼停止時に、残留ガスのエアパージができる装置
  - b. 運転中の燃焼停止時に、自動的に廃液及び補助燃料の供給が停止できる装置
  - c. その他再点火時に爆発を防止する装置
- (14) 焼却炉の構造が複雑な場合には、放散孔を必要に応じ設けること。
- (15) 必要に応じて燃料供給管には逆火防止装置として逆止弁を設けること。
- (16) 地震が発生した場合に送液ポンプを停止するための地震感知消炎装置を設けること。具体的には以下の性能を満たすこと。
  - a. 100-200galで加振した場合に、直ちに燃料の供給を停止するものであること。
  - b. 地震時に落下した可燃性物質が発炎着火しない措置が講じられていること。
- (17) 焼却炉本体に地震時の転倒防止措置が講じられていること。
- (18) 焼却炉の外部から肉眼により燃焼状態を監視できる窓が設置されていること。ただし、適切な火炎検知装置が設置されている場合には監視窓は必ずしも必要ではない。
- (19) 焼却炉の異常高温及び異常消炎を監視する装置を設けること。また、必要に応じて焼却炉の異常圧力並びに廃液及び助燃剤タンクの異常高温を監視する装置を設けること。

- (20) 燃焼時における排気中の粉塵除去のため、必要に応じ廃ガス出口に除塵装置を設けること。
- (21) 有害物質の発生を低減化でき、高温廃ガス等による排気設備の損傷を防ぐため、廃ガスを速やかに摂氏200度以下に冷却する能力を有する廃ガス冷却装置を設けること。
- (22) 焼却炉からの排水は排水設備に損傷を与えないよう、適切に冷却されること。

### 3. 焼却炉を設置する施設の具備すべき要件

廃棄作業室、汚染検査室、排気設備及び排水設備を設けること。また、排気設備の材質は、廃ガスに対し耐熱性を有し、かつ、耐食性を有すること。(規則第14条の11参照)

## IV 取扱い

### 1. 焼却炉の取扱いに関する注意事項

- (1) 廃液を焼却する前に、助燃剤の予備燃焼等により摂氏800度以上の燃焼温度で燃焼状態を安定させること。
- (2) 爆発及び汚染された廃ガスの施設内への放出を防ぐため、点火、燃焼停止時及び焼却終了時にエアページを行うこと。
- (3) 廃液を焼却する際の燃焼温度が摂氏800度以上であることを実測により確認しながら焼却作業を行い、その結果を記録すること。
- (4) 焼却前の液体シンチレーター廃液のうち、静置後水層又は沈殿物を生じるものについては、これらを分離し、必要に応じ助燃剤を加えるなど、組成調整後燃焼すること。なお、分離した水層又は沈殿物については保管廃棄する等、内容物に応じて適切に処理すること。
- (5) 焼却炉の運転中は燃焼温度、煙漏れ、水漏れ及び必要に応じ炉内圧力その他の異常の有無について十分な監視を行うこと。
- (6) 炉の異常を未然に発見し、安全で一定の焼却条件を確保するため、あらかじめ定められた期間毎に次の点検及び清掃を行うこと。
  - a. 一定期間毎に燃焼室並びに燃焼機器、地震感知消炎装置及び電気系統の作動状況、ポンプ系統、温度監視装置について点検を行うこと。
  - b. 一定期間毎に火炎検知装置、監視窓及びタンク配管系統の清掃並びに燃焼室内、廃ガス冷却装置内の洗浄又は残渣の除去を行うこと。なお、この作業は廃棄作業室内で汚染が広がらないように注意して行うこと。また、作業にあたっては、被ばくを防止するための保護具(呼吸マスク、保護手袋、保護メガネ等)を着用して作業を行うこと。

### 2. 焼却残渣等の取扱い

- (1) 廃ガス冷却装置の洗浄水、捕集水及び廃ガスに直接接触させる冷却水を廃棄する場合は排水設備に排水すること。(規則第19条第1項参照)
- (2) 固形物、残渣等は保管廃棄設備において保管廃棄すること。(規則第19条第1項参照)

### 3. 測定

- (1) 排気口及び排水口における放射性同位元素による汚染の状況の測定は排気又は排水の都度行い、その結果を記録すること。(規則第20条第1項参照)
- (2) 放射線の量及び放射性同位元素による汚染の状況の測定は1月を超えない作業期間毎に行い、その結果を記録すること。(規則第20条の第1項参照)
- (3) 測定記録の記帳項目としては、測定年月日、測定者の氏名、測定器の種類・型式、測定方法、測定箇所及び測定結果を含むこと。(規則第20条第4項参照)

### 4. 廃棄の記録

廃棄の作業を行った場合には、その都度廃棄年月日、廃棄に従事する者の氏名、焼却炉の種類・型式、助燃剤の種類、液体シンチレーター廃液の成分・性状・放射性同位元素濃度・容積、残渣の処理方法、残渣の量を記録すること。(規則第24条第1項参照)

### 5. 焼却炉の管理体制

- (1) 長期間(概ね1年間以上)使用していない焼却炉を使用する際は、焼却炉メーカーによる点検・修理を行うなど適切な措置を講じた後使用を再開すること。
- (2) 焚却炉の管理体制に関し、安全管理組織、関係者の職務、権限及び責任並びに、次項以下の各項目について放射線障害予防規定に明示すること。
- (3) 異常時及び緊急時の措置
  - a. 異常を発見した場合は、直ちに運転を停止し、原因を究明すること。また、異常の原因が明らかでない場合は、製造メーカーによる技術指導、点検を受け、正常な状態に復帰するまで運転を再開しないこと。
  - b. 運転再開に際しては、再点火する前に十分にエアバージを行うこと。
- (4) 焚却炉の運転担当者、保守点検担当者及び廃棄作業に従事する者に対する教育訓練を行うこと。また、各担当者に対し、焼却炉の安全な運転方法、液体シンチレーター廃液の取扱方法、異常時並びに緊急時の措置の教育訓練を行うこと。
- (5) 運転担当者、保守点検担当者及び廃棄作業に従事する者には必要な教育訓練を受けた者を指名し、そのものに行わせること。
- (6) 焚却炉の運転マニュアル及び保守点検マニュアル及び液体シンチレーター廃液の安全取扱マニュアルを作成すること。
  - a. 安全な運転方法、液体シンチレーター廃液の取扱方法並びに異常時及び緊急時の措置について定めること。
  - b. 保守点検項目及びその時期について定めること。

(注) 規則：放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則(昭和35年9月30日総理府令第56号)

## 分野別相談窓口（ダイヤルイン）

理 工 系：篠 塚 勉 217-7793 FAX 263-9220  
ライフサイエンス系：井 戸 達 雄 217-7797 FAX 217-3485  
R I 系：中 村 尚 司 217-7805 FAX 217-7809  
事 務 室：総 務 掛 長 3479 FAX 263-9220  
R I 棟 管 理 室：宮 田 孝 元 4399 FAX 217-7809

### [人事異動]

下記の職員の異動がありました。

発令年月日	官 職	氏 名	異 動 内 容
11. 9.30	講師(研究機関研究員)	和 田 裕 明	辞 職
11.10. 1	文 部 教 官 教 授	中 村 尚 司	大学院工学研究科教授に配置換
11.10. 1	文 部 教 官 教 授	馬 場 譲	サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター教授に昇任
11.10. 1	文 部 教 官 助 教 授	岩 田 鍊	大学院工学研究科助教授に配置換
11.10. 1	講師(研究機関研究員)	結 城 雅 弘	採 用

# C Y R I C 百科

原子力発電用の核燃料は、ウラン鉱石の採掘、製錬、転換、濃縮、再転換、加工の各工程を経て製造されます。その過程で、天然ウランに約0.7%しか含まれていない<sup>235</sup>Uを、軽水炉で約3%，高速増殖炉で約20%という濃縮度に高めます。この濃縮は気体の六フッ化ウランUF<sub>6</sub>の遠心分離により行われます。そのために前の転換工程で、ウラン鉱石を製錬して得た重ウラン酸アンモニウム(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>U<sub>2</sub>O<sub>7</sub>を六フッ化ウランに化学変化させる必要があります。また、濃縮後の六フッ化ウランを、核燃料となる二酸化ウランUO<sub>2</sub>に変化させる工程を再転換といいます。再転換工程では不純物を化学的に除去するために、六フッ化ウランを硝酸に溶解して硝酸ウラニルUO<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>溶液をつくり、溶媒抽出を行います。さらに溶液を加熱・脱硝して粉末の二酸化ウランにします。このようにして得られた二酸化ウランは加工され、燃 料用のペレットになります。

## 核燃料の転換

血液は赤血球、白血球、血小板などの細胞を含んでいます。これらの細胞の基になるのが血液幹細胞という細胞で、この細胞から赤血球、白血球、血小板などは分化します。この細胞は主に骨髄と臍帯(赤ん坊のへその緒)に存在します。何らかの理由で白血球などがなくなるような状況(例えは、癌治療、放射線被曝など)の場合に、骨髄液や臍帯血を投与して白血球を増やしてやるのが骨髄移植です。骨髄移植のとき一番大切なのは、HLAという相性です。これは赤血球の型であるA, B, O, AB型と同じ様な白血球の血型と見てよいでしょう。これが合わないと拒否反応(GVHDと言われます)が起こり、致命的になります。実際の骨髄移植の時は、移植する方は麻酔をかけて腸骨(腰の骨)から骨髄液を採取します。一方移植される方はほとんど輸血されるのと同じです。静脈投与された骨髄液中の幹細胞は骨髄へ移動し、分化増殖します。通常移植した後に白血球への分化を促進するGCSFという薬剤を投与します。

Quality Factor(線質係数)は、同じ線量をうけても、放射線の種類によって人体に与える生物学的效果が異なることを表す係数で、250kVのX線を基準放射線とした時の比で与えられます。

これは細胞(μmの大きさ)中でのエネルギー吸収量である線エネルギー付与(LET, linear energy transfer)の関数として表され、LETが1から100keV/μmまでは1から30に増加します。つまり微少体積内で多くのエネルギーを失う放射線(高LET放射線)の与える生物学的效果が低LET放射線に比べ最大30倍も大きいことを示しています。東海村の

JCOで起きた臨界事故では核分裂に伴う中性子線が放出され、この中性子線は人体中で核反応を起こして高LETの荷電粒子を放出するため、QFが大きく、中性子のエネルギーによってQFが2から20まで変化し、しかも中性子は透過力が大きいので外部被曝(外から放射線をうける)が問題になりました。

## QF (Quality Factor)

Keff

- \* 原子力エネルギー(原子核エネルギーのほうが正確です)の源泉は、ウランiumという元素(原子)の中心に存在するウラン原子核が、一つの中性子を吸うと、二つに割れる
- \* と同時に多大のエネルギーが放出される
- \* という素過程(原子核分裂)に起因しています。この時、「2または3個の中性子も同時に放出される」そして「その中性子が別のウランに吸収される」というのが、「ウランが燃えづける」為のキーポイントです。2及び3個の中性子は体系から漏れたり、ほかの原子核に吸収されてウランの核分裂に寄与しなくなることもあります。しかし、ウラン燃料の密度や減速材(中性子の速度を落として吸われ易くする)の構成(幾何学的な配置等)によって、平均して一つの中性子が世代をとおしてウランに吸われ続ければ、核分裂の連鎖は続くはずです。「臨界」という現象です。

人類初の原子炉より17億年も前に、天然の原子炉が西アフリカ、オクロ鉱山に存在していたことが調査の結果分かれています。オクロ鉱山のウランの濃縮度は、約3%にまで達していて、この鉱床に雨水が流れ込むなどして、臨界状態が実現し、天然の原子炉が誕生したと推察されています。このように燃料としてのウランと減速材(主に水)がある幾何学的構成を組むと、少なくとも1つの中性子が生き残って次の核分裂を誘発します。この「ひとつ」という値が非常に大事になります。これを大きく超える様に設計すれば、超臨界となって爆発的な事象を生みます。原子爆弾です。1より小さければ核分裂は持続しません。原子力発電所ではこの値を常に見張って運転されています。原子炉物理学ではこの値をKeffと呼んで、原子炉を設計、運転する際のもっとも大事な値と位置付けています。

## 編 集 後 記

今回は、東海村の臨界事故というとんでもない事故が、起こってしまった直後だけに、編集委員会の話題もそちらの方に集中してしまいました。起きてはならない事故が起った訳ですが、“可能性があることは必ず起る”というマフィーの法則には従った訳です。マニュアルの不備が指摘されていますが、マニュアルに単純に従うという硬直化した面も現れた事故だと思われました。今回の事故を他山の石としないためにも、マニュアルの整備とさらにそれに加えた弾力的な対応を我々の施設でも整備して行かなくてはならないと考える今日この頃です。

(KY記)

### 広 報 委 員

中 村 尚 司 (工学研究科)  
井 戸 達 雄 (CYRIC)  
篠 塚 勉 (CYRIC)  
谷 内 一 彦 (医学系研究科)  
高 山 努 (理学研究科)  
田 村 裕 和 (理学研究科)  
山 口 慶一郎 (CYRIC)  
寺 川 貴 樹 (CYRIC)  
船 木 善 仁 (CYRIC)  
遠 藤 みつ子 (CYRIC)



CYRICニュース No.27 1999年11月30日発行

〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉

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 (217) 7800 (直通)

FAX 022 (263) 9220 (サイクロ棟)

022 (217) 7809 (R I 棟)

022 (217) 3485 (研究棟図書室)

Home Page <http://www.cyric.tohoku.ac.jp/>