ISSN 0916-3328

東京大学アイソトープ総合センター

ニュース

VOL. 32 NO. 1 2001. 6. 25

計画的な実験と偶然の発見

兵 頭 俊 夫

試行錯誤は、人間の有限な能力で無限の可能性を秘める自然を解明したり新しい技術を開発したりするための最大の武器のひとつである。しかしその武器の使い方にはコツがある。漫然と失敗を繰り返すか、よく考えて実行して失敗に対応するかで、目標達成までの速さも質も大いに違ってくる。

試行錯誤を有効に生かすためには、現在の理論や既に知られている実験事実を正しく理解し、自分の行う次の実験の目的を明確にして、結果をなるべく詳しく予想してから実行することが大切である。実験結果は往々にして予想と異なる。その原因は、理論の理解の不足、基本方針の誤り、実験操作のミス、気がつかなかった装置の故障などさまざまである。予想に反した結果が出たときに、迅速に正しい判断で対処して次のステップに進むために、自分が正しいと信じていることに従って詳しい予想をあらかじめ立てておくことは極めて有効である。

正しいと信じた思考と実験結果の間の鋭い矛盾の中から、真実の新しい発見や発展が生まれてくる。やみくもに試行を繰り返しても、基本法則が広い範囲で成り立っていることを身をもって知るのに時間を費やしてしまうだけのことが多い。

ベクレルは放射能を「偶然」発見したと言われることがあるが、彼は「たまたま」放射性物質とともに引き出しに入れておいた乾板を現像して、それを発見したわけではない。

彼は最初、クルックス管の蛍光を発する部分から強いX線が発生している事実からヒントを得て、実験を行い、「燐光の性質を持つ物質を太陽に当てると厚紙を通して乾板を感光させる不可視の放射が出る」という現象を発見したと思って、さらなる実験を繰り返していた。1896年2月26日と27日にも、厚紙で遮光した写真乾板に硫酸ウラニルカリウムの結晶を貼り付けて測定の準備をしたにもかかわらず、太陽が顔を出さないので、引き出しにしまって、晴れるのを待った。しかし曇りの日が続いたので、やむを得ず「非常に弱い像を見いだすことを予想して」、3月1日に乾板を引き出しから取り出して現像したところ、これまでより強く感光していることを見出したのであった。続いて彼は、実験の全ての操作を暗室の中で行っても乾板は感光するはずである、という予想を立てて実験を進めていく。

世間で「偶然」と称されている大発見のほとんど全てが、このようなはっきりした目的と予想のもとに慎重になされた実験の副産物なのではないだろうか。

（大学院総合文化研究科）

研究紹介

核融合炉ブランケット増殖材料からのトリチウム放出挙動に関する研究

寺　井　隆　幸

1．はじめに

将来のエネルギー源として研究開発が行われている核融合炉では、ともに水素の同位体である重水素(D)と三重水素(トリチウム、T)の核融合反応

$^{2}D + {}^{3}T \rightarrow {}^{4}He + {}^{1}n + 17.6\ MeV$

によりエネルギーを生産し、これを利用する。このうち重水素については天然の水素中に0.015％含まれており、具体的には水の電気分解などの方法により、自然界から供給できるが、トリチウムは地球上にほとんど存在しないため、核融合炉システムにおいて生産することが必要である。初期に装荷するトリチウムは、重水炉の冷却水中から回収したり、核分裂炉中でリチウム化合物を照射したりすることにより生産したものを回収精製して供給することも考えられるが、核融合炉が定常的に運転されることを想定した場合には、これらの方法ではトリチウム生産が追い付かず、自らのシステム内で生産回収することが基本的な設計コンセプトとなる。トリチウム生産はリチウムを含んだ体系を核融合炉体系内に置くことにより実現できるが、この目的で用いられる材料をトリチウム増殖材料と称する。本稿では、このトリチウム増殖材料の基本的な機能と現在の研究開発状況、および我々のグループで行ってきたトリチウム放出実験について紹介する。

2．核融合炉ブランケットとトリチウム増殖材料の役割[1)]

上で述べたように、D-T核融合炉においては、燃料となるトリチウムを自らのシステム内で生産する必要があるためトリチウム増殖材料を用いる。この目的で使用する機器をブランケットと称し、炉心を包み込む形状となっている(図1)。ブランケット内部にはトリチウム増殖材料や冷却用配管、遮蔽などが配置されている。

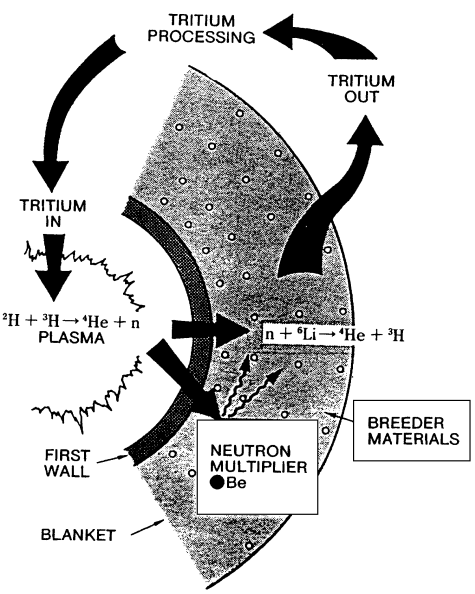

図1　核融合炉ブランケット

ブランケット内部では次の反応によりリチウムからトリチウムを製造する。

$^{6}Li + {}^{1}n \rightarrow {}^{3}T + {}^{4}He + 4.8\ MeV$

$^{7}Li + {}^{1}n \rightarrow {}^{3}T + {}^{4}He + {}^{1}n - 2.5\ MeV$

核的な観点からは、リチウムを含んだ体系であれば何でもトリチウムを増殖できるが、中性子吸収断面積の大きな核種を含んでいることは望ましくない。また、望ましいと判断される核種から構成される物質が存在するか、その特性はどうかと言うことも増殖材料

選定の観点からは重要になる。トリチウム増殖材料に要求される事項には、(1)トリチウム増殖性能が良いこと、(2)トリチウム放出特性に優れていること、(3)物理的化学的安定性が高いこと、(4)熱物性に優れていること、(5)構造材料との両立性が良いこと、(6)誘導放射能が小さいこと、(7)製造加工性に優れていること等が挙げられる。

現在研究が行われているトリチウム増殖材料は、使用時の状態によって、液体リチウム、液体リチウム合金、溶融塩などの液体増殖材料と、Li_2Oに代表されるリチウム含有セラミックスの固体増殖材料とに大別される。液体増殖材料はそれ自体を冷却材として使用することもできるが、液体増殖材料を静置し、Heあるいは水などの別系統の冷却材によって除熱することも可能である。固体増殖材料については、ブランケット内に固体増殖材を設置し、熱除去はHeガスあるいは水などの冷却材によって行なう方式が考えられている。これらの増殖材料にはそれぞれ一長・一短があり、長所を利用し、短所をカバーするという考え方で設計が行われている。

3．トリチウム増殖材料からの照射下トリチウム放出実験

既に述べたように、トリチウム増殖材料に要求される重要な特性の1つとして、核融合炉ブランケット運転条件下におけるトリチウム放出特性が挙げられるが、これはトリチウム放出・回収システムの設計のために重要となるのみならず、ブランケット体系中のトリチウム存在量(インベントリー)評価を行うためにも重要なパラメータである。具体的には、トリチウムの放出化学形や放出速度、ブランケットを構成する配管構造材料を透過するトリチウムの透過漏洩速度などを明らかにする必要がある。研究の初期には、増殖材料をカプセルに封入したあと原子炉中で中性子照射を行って増殖材料内部にトリチウムを生成し、照射後に原子炉外で試料を昇温することにより放出してくるトリチウムの放出速度を評価するという、「照射後トリチウム放出実験」が主流であった。しかし、これでは、中性子高温照射という核融合炉ブランケット環境を模擬することができず、環境条件によって大きく影響を受けるトリチウムの拡散係数や表面からの脱離速度係数などを正確に評価することは困難である。そこで、筆者らは、東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設に設置されている高速中性子源炉「弥生」の照射孔中に模擬ブランケット体系を設置し、様々な増殖材料について中性子照射を行いながらトリチウム放出を観測する「中性子高温照射下トリチウム放出実験」を行い、トリチウム放出に関する様々なパラメータを測定してきた。

実験体系は、図2に示すように、炉内試料照射部・パージガス導入部・放出トリチウム測定部からなる。炉内試料照射部に装荷された増殖材料中で生成し放出されたトリチウムは、パージガスによってトリチウム測定部に送られ、水バブラーとシリカゲルベッドの前後に設置された2台の電離箱によって、連続的にモニターされ、これによりトリチウム放出速度が水可溶成分(HTOやTFなど)と水不溶成分(HTやT_2など)に分けて測定される。「弥生」炉自身は、出力2 kWという極めて小型の炉であり、そのため照射場所におけるトリチウム生成量も5Bq/s/g-Liという非常に小

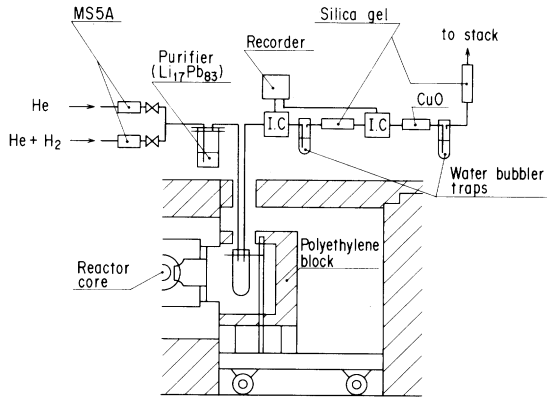

図2　中性子高温照射実験装置

さいものであるが、原子炉が小型であり、照射場所の体積が極めて大きいために、照射体系を自由に変更できるとともに、照射場所からトリチウム測定場所までの距離を短くでき、トリチウム測定に及ぼす配管の影響を小さくできるという特長を持っている。原子炉の運転を開始してから定常放出速度に達するまでのトリチウム放出速度変化のデータからトリチウムの放出時間遅れ(図3においてI/Sで与えられる)を計算し、これから試料中のトリチウムの拡散係数・試料からパージガスへの物質移動係数等を決定した。

我々のグループは、極めて早い時期にLi_2O、$LiAlO_2$などの固体増殖材料中のトリチウムの拡散係数を求める[2]とともに、トリチウム放出に及ぼす表面交換反応の重要性を指摘した[3]。固体増殖材料に関する中性子高温照射実験は、その後国内外の研究機関で大型の研究炉を用いることによりさらに大規模に行われることになったが、その先鞭を告げることになった。液体増殖材料については、液体リチウム−鉛合金(Li17-Pb83)中のトリチウム拡散係数[4]や液相から気相への物質移動係数[5]の測定を世界で初めて中性子高温照射下で行った。また、Li17-Pb83と接触する配管構造材料中のトリチウム透過係数の測定[6]を行うとともに、酸化被膜やセラミックスコーティングを表面に施すことにより配管構造壁のトリチウム透過を大幅に抑制できること[7]やトリチウム回収法としてのニオブ金属透過膜の有効性[8]を実証した。また、その後、Flibe($LiF\text{-}BeF_2$)溶融塩についてのトリチウム放出の研究を行い、パージガス中の水素分圧やフッ素ポテンシャルなどのパラメータをフッ素化雰囲気から還元雰囲気へと変化させるにともなって放出化学形がTFからHT(またはT_2)へと変化すること[9](表1参照)、これら2種類の化学種の放出速度や構造材料中透過挙動が異なるために全体のトリチウム放

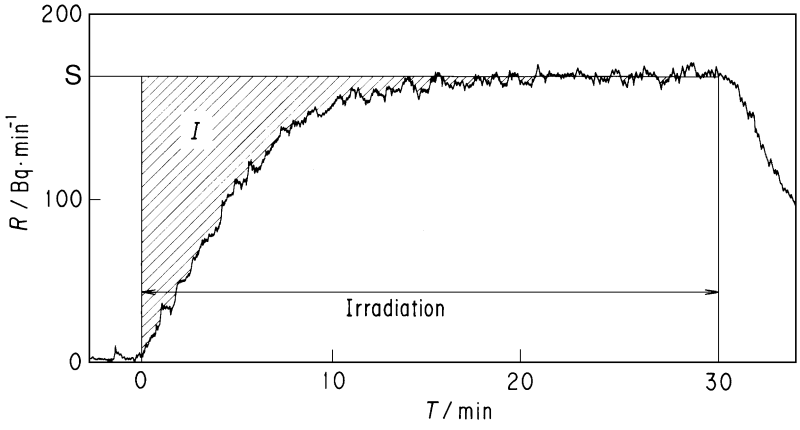

図3　トリチウム放出曲線

F⁻activity \ H₂ activity	He purge gas	He +0.01%H₂ purge gas	He +1%H₂ purge gas	H₂ purge gas
low				
dehumidification time 24-26 days	HT (+TF) small release rate coefficient	HT (+TF) medium release rate coefficient	HT large release rate coefficient	HT large release rate coefficient
dehumidification time 3-5 days	TF very small release rate coefficient	———	HT large release rate coefficient	HT large release rate coefficient
He+2%HF purge gas	TF very small release rate coefficient	———	———	———
high				

He ⟶ H_2

表1　Flibeからのトリチウム放出化学形

出速度や透過速度も体系の酸化還元状態の影響を大きく受けること[10]などを明らかにした。また、これらの結果は、TFとT_2の液相からの直接放出のみならず、溶融塩中でのトリチウムの同位体交換反応を考えたモデルにより、統一的に説明できることを示した[11]（図4参照）。これらの研究成果は、本研究における中性子高温照射下トリチウム放出実験によって初めて明らかにされたものであり、世界的にも他に例がなく、手前味噌ではあるが、本研究分野では大きな注目を集めていると自負している。近年では、新しい液体増殖材料候補材料であるリチウム―スズ合金からのトリチウム放出挙動を明らかにしつつある。

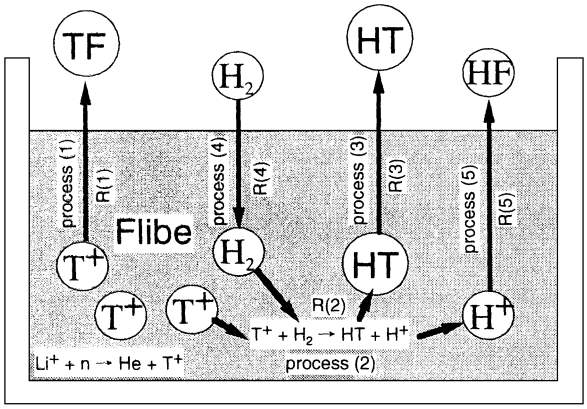

図4　Flibeからのトリチウム放出モデル

今後の展開としては、これまでの研究を継続し、実験条件を十分にキャラクタライズした質の良い実験データを求める一方、実際のブランケット条件により近い条件下での研究を行うことが考えられる。たとえば、実際の液体ブランケットでは、液体増殖材料を閉ループで循環することが考えられているので、液体増殖材料循環ループを原子炉照射体系内に設置し、増殖材料の循環やループ中の温度分布にともなう生成トリチウムの移行についての研究を行うことなどが重要であると考えている。

（大学院工学系研究科システム量子工学専攻）

参考文献

1）寺井隆幸：プラズマ・核融合学会誌, 70 (1994), 704.
2）T. Terai, Y. Takahashi and S. Tanaka : Fusion Engineering and Design, 7 (1989), 345.
3）T. Terai, Y. Takahashi, S. Tanaka et al. : Fusion Engineering and Design, 8 (1989), 349.
4）T. Terai, S. Nagai, T. Yoneoka et al. : Journal of Nuclear Materials, 187 (1992), 247.
5）T. Terai, S. Nagai, T. Yoneoka et al. : Fusion Engineering and Design, 17 (1991), 237.
6）T. Terai, K. Uozumi and Y. Takahashi : Fusion Technology, 21 (1992), 781.
7）T. Terai, T. Yoneoka, H. Tanaka et al. : Journal of Nuclear Materials, 212-215 (1994), 976.
8）A. Suzuki, T. Terai and S. Tanaka, Journal of Nuclear Materials, 258-263 (1998), 519.
9）T. Terai, A. Suzuki and S. Tanaka, Journal of Nuclear Materials, 248 (1997), 159.
10）T. Terai, A. Suzuki and S. Tanaka, Fusion Technology, 30 (1996), 911.
11）T. Terai, A. Suzuki and S. Tanaka, Fusion Technology 39 (2001), 768.

自己紹介

阿　保　照　江

4月1日付けで医学部から配置換になりました。

年相応にそれなりに経験年数は積んでまいりましたが、会計の仕事も一部分しか経験がなく、今回こちらでは会計全般を担当しなくてはならないようで、大変とまどっております。何とか努力して、少しでも早く皆様のお役に立てる仕事ができるようになりたいと思っておりますのでどうぞよろしくお願いします。

又、この弥生地区にはとてもステキな夢二美術館がすぐそばにあり、昔、昔、夢二の生家を訪ねて岡山に青春の一人旅したことをなつかしく思い出しました。今では地ビールと露天風呂を求めて旅行するのが楽しみ、といった具合の私ですが、どうぞこれからアイソトープ総合センターの一員としてよろしくお付き合いの程、お願い致します。　　(アイソトープ総合センター　会計掛)

阿　部　　剛

3月より化学部門で技術補佐員として働いています阿部剛といいます。私は東京理科大学で化学を学んでおり、勤務後に学校へ通っています。私が大学で化学を専攻しようと思うきっかけになった時期は、あまり詳しくは覚えていません。高校に入った時は、化学という分野にはほとんど関心がなく、学校自体もどちらかというと文系に力を入れているような学校でした。関心がないというのは、別に自分が化学を嫌っているのではなく、単に興味がなかったからです。しかし、そのうちに多くの化学物質の立体モデルを目にしているうちに、その幾何学的な形に対して何か不思議な魅力を感じ、いつの間にか自分の興味を引く分野になっていました。

当センターで勤務を始めてからはおよそ3ヶ月が経ちます。私はこのような仕事をすることに対して大きな好奇心を抱いていました。しかし、いざ仕事をするとなると何をしてよいのか戸惑いがありました。現在は、何をするか多少は分かるようになりましたが、まだ多くは分かっていません。今は早く仕事に慣れることだけを考えています。このような私ですが、宜しくお願いします。　　（アイソトープ総合センター　化学部門）

●共同利用のお知らせ

平成13年度共同利用予定

通　年
- 平成13年4月9日～ 7 月13日（第Ⅰ期）
- 平成13年9月3日～12月14日（第Ⅱ期）
- 平成14年1月7日～ 3 月15日（第Ⅲ期）

平成13年度《通年》共同利用採択課題一覧

所属	取扱責任者	研究課題
埋蔵文化財調査室	原　祐一	江戸時代の遺跡から出土した金属製品の材質分析
医学部附属病院	浅野知一郎	グルコーストランスポーターの構造と機能の解明
	黒川峰夫	細胞成長因子受容体のクローニング
	小山博之	アデノウィルスによるEx Vivo遺伝子導入法を用いた治療的血管新生の研究
工学部	野村貴美	メスバウアー分光法による機能材料の解析
	鈴木　勉	[^{14}C]ラベルを用いた細胞内アミノアシルtRNAの分析
	石原一彦	バイオマテリアル表面へのタンパク質の吸着、細胞粘着の解析
	萱野英子	^{125}Iを用いた膜上レセプターの発現数と結合Kineticsの解析
	佐藤慎司	自然放射線測定による海岸地形形成機構の解明
	田中　知	材料中のトリチウム吸着・脱離挙動の解明
	原田敦史	人工ウイルスベクターの分子設計
理学部	小橋浅哉	環境資料に含まれる放射性核種
	福沢世傑	海洋ポリエーテル毒とナトリウムチャネルの相互作用の解析
	名川文清	高次生体系における多重遺伝子の発現制御
	小澤岳昌	インスリン受容体及びキメラ糖輸送担体の機能解析
	岡野俊行	脊椎動物におけるメラトニンリズムの解析
	久保謙哉	メスバウアー分光法による機能性鉄錯体の研究
農学部	中西友子	植物細胞のミクロラジオグラフィ
	正木春彦	アミノ酸の部位特異的トリチウムラベル化
アジア生物資源環境研究センター	奈良一秀	樹木―菌根菌共生系における^{14}C動態の解明
教養学部	兵頭俊夫	2光子角相関法による陽電子消滅の研究
	八田秀雄	運動中及び運動後における乳酸を中心とする糖代謝
	松尾基之	メスバウアー分光法及び放射化分析法による環境試料の分析
薬学部	楠原洋之	哺乳類動物細胞における物質透過の解析
	漆谷徹郎	KおよびCl輸送蛋白質の機能解析
地震研究所	兼岡一郎	^{40}Ar-^{39}Ar法による岩石・隕石・鉱物等の年代測定
海洋研究所	竹井祥郎	ウナギの鰓における^{22}Naのフラックス
分子細胞生物学研究所	西山賢一	蛋白質膜透過におけるSecAの構造変化の役割
アイソトープ総合センター	巻出義紘	金属材料中の水素解析
	巻出義紘	トリチウムと有機化合物の反応
	森岡正名	大気試料の放射化分析
	巻出義紘	大気中微量成分の分布と挙動
	巻出義紘	^{186}Reと生体関連物質との反応性に関する研究
	巻出義紘	放射性核種の環境中の挙動

●センター日誌

平成13年4月9日	共同利用ガイダンス実施
4月9日	平成13年度第Ⅰ期共同利用開始
5月7日	共同利用ガイダンス実施
教育訓練の実施	
平成13年5月18日～22日	新規放射線取扱者講習会第96回(A)(B)RIコース
5月28日～30日	新規放射線取扱者講習会第97回(A)(B)RIコース

6月5日～7日	新規放射線取扱者講習会第98回(A)(B)RIコース
5月17日	新規放射線取扱者講習会第72回X線コース
6月4日	新規放射線取扱者講習会第73回X線コース
平成13年4月9日、10日	理学部生物学科動物学・植物学教室学生実習
4月20日～27日	農学生命科学研究科・生物生産化学応用生物化学専修
(6日間)	学生実習

●研修会・説明会

○平成13年2月28日(理学部化学本館講堂)

『法令改正に伴う大学等の放射線施設安全管理研修会』

アイソトープ総合センターと大学等放射線施設協議会との共催で、全国の大学放射線施設の管理担当者を対象に、放射線障害防止法関係法令改正に伴なう大学の放射線施設の対応に関して、遮蔽計算、申請内容の見直し、予防規定の改正等についての講演と、文部科学省放射線規制室担当官を交えての総合討論が行われた。約200名の参加を得て、熱心な雰囲気で、活発な意見交換も行われた。(写真1と写真2)

○平成13年3月1日(センター2階講義室)

『放射線障害防止関係法令改正に伴なう学内担当者への説明会』

平成13年4月1日から実施される放射線障害防止法関係法令改正に伴ない、法令改正の概要や東京大学各部局の放射線施設で実施しなければならないいくつかの事項、とくに急がれる放射線障害予防規程の変更などについて、学内の担当者を対象に説明会を開催した。約50名の出席を得て、実際の対応の詳細について、説明と質疑応答が行われた。(写真3)

写真1, 2　『法令改正に伴う大学等の放射線施設安全管理研修会』

写真3　『放射線障害防止関係法令改正に伴なう学内担当者への説明会』

●人事消息

○採用(技術補佐員)(平成13年3月16日)	阿部　剛	
○採用(事務補佐員)(平成13年4月1日)	遠山佳代子	
○採用(技術補佐員)(平成13年5月1日)	佐藤　翼	
○採用(技術補佐員)(平成13年5月1日)	大西　祥広	
○採用(事務補佐員)(平成13年5月21日)	安蒜　利恵	
○配置換(会計掛長)(平成13年4月1日)	伊藤　忠夫	(農学系学術国際課附属演習林千葉演習林へ)
○配置換(会計掛長)(平成13年4月1日)	阿保　照江	(医学部医学系研究科経理掛から)

○退職（事務補佐員）（平成13年3月30日）　池永　祐子
○退職（技術補佐員）（平成13年3月31日）　鎌田　幸
○退職（技術補佐員）（平成13年3月30日）　小林　俊昭
○辞職（事務補佐員）（平成13年4月16日）　遠山佳代子
○客員研究員（平成13年4月1日～平成14年3月31日）

永井　尚生（日本大学文理学部）　瀧上　豊（関東学園大学法学部）
岩田　尚能（山形大学理学部）　白井　知子（宇宙開発事業団）
佐藤　純（明治大学理工学部）　薬袋　佳孝（武蔵大学人文学部）
森川　尚威（(財)相模中央化学研究所）

●委員会だより

○センターニュース編集委員会　平成13年5月21日(月）開催

●委員会名簿

○アイソトープ総合センター運営委員会名簿（平成13年4月1日～平成15年3月31日）

部　局	官　職	氏　名	備　考
医	教　授	鈴木紀夫	
病　院	助教授	青木幸昌	
分　院	助教授	青木茂樹	
工	助教授	☆野村貴美	
理	助教授	西田生郎	
農	教　授	☆唐木英明	委員長(センター長)
教　養	教　授	兵頭俊夫	
薬	助教授	☆黒瀬　等	
医科研	助教授	高崎誠一	
生　研	教　授	七尾　進	
分生研	教　授	徳田　元	
物性研	教　授	☆上田　寛	
海洋研	助教授	小島茂明	
原子力センター	助教授	☆小佐古敏荘	
保健センター	講　師	鈴木順一	
アイソトープセンター	教　授	☆巻出義紘	
事務局	事務局長	坂本幸一	

13年度(前期)オブザーバー(総長補佐)
児玉　龍彦（先端科学技術研究センター・教授）
☆：幹事会委員（平成13年4月1日～平成14年3月31日）

○センターニュース編集委員会名簿

［委員］　（◎は委員長）

◎松尾基之　大学院総合文化研究科広域システム科学系化学
…… ダイヤルイン　5454-6568
cmatsuo@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp　内線　46568

西山賢一　分子細胞生物学研究所細胞形成…… ダイヤルイン　5841-7832
unishiy@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp　内線　27832

長崎晋也　大学院新領域創成科学研究科…… ダイヤルイン　5841-6995
nagasaki@k.u-tokyo.ac.jp　内線　26995

谷川勝至　理学部放射線管理室…… ダイヤルイン　5841-4606
tanikawa@chem.s.u-tokyo.ac.jp　内線　24606

大　矢　恭　久　　RI総合センター物理部門……　ダイヤルイン　5841-2876
yoya@ric.u-tokyo.ac.jp　　内線　22876
松　原　嘉　彦　　〃　　事務主任…… ダイヤルイン　5841-2895
matubara@ric.u-tokyo.ac.jp　　内線　22895
［幹事］
鈴　木　ミツ子　　〃　　庶務掛…… ダイヤルイン　5841-2883
内線　22883

東京大学アイソトープ総合センターニュース

目　　次

巻 頭 言
計画的な実験と偶然の発見……兵頭　俊夫　1
研究紹介
核融合炉ブランケット増殖材料からのトリチウム放出挙動に関する研究
……寺井　隆幸　2
自己紹介
……阿保　照江・阿部　　剛　6
共同利用のお知らせ……　6
センター日誌……　7
研修会・説明会　……　8
人事消息　……　8
委員会だより……　9
委員会名簿　……　9

編集後記

このたび、平成13年度のアイソトープ総合センターニュース編集委員長を仰せつかりました。思えば、今から25年前、理学部化学科の学生として実習に参加したのがこのセンターとの出会いでした。その頃のセンターニュースは手元に残っていませんが、共同利用研究者となった平成5年度以降の物は大事にとってあります。単に知り合いの執筆した記事が多かったばかりでなく、役にたちそうな記事が多かったからだと思います。世の中でいろいろなニュース誌が発行されていますが、一読の後も保存しておいてもらえるような、興味深い紙面作りを目指したいと思います。どうかよろしくお願いいたします。　（松尾基之）

東京大学アイソトープ総合センターニュース　VOL. 32　NO. 1　2001年6月25日発行　編集発行人 松原嘉彦
〒113-0032 東京都文京区弥生2丁目11番16号　東京大学アイソトープ総合センター・03(5841)2881