

# 共同利用成果報告書

平成 9 年度

東京大学工学系研究科附属原子力工学研究施設

## 巻頭言

運営委員長 岡 芳明

東京大学工学部附属原子力工学研究施設の高速中性子源炉「弥生」、35MeV電子ライナックは、全国大学共同利用研究に供されている。本報告書は、これらの設備を用いた研究の平成9年度の成果をまとめたものである。さらに、オフパイル研究と呼んでいるこれらを直接用いないが関連する原子力工学の研究の成果、1～2日の短期研究会である弥生研究会の報告、さらに高速中性子科学研究設備を用いた研究成果がまとめられている。

「弥生」の共同利用件数は昨年度と同数である。ライナックの研究テーマは2件が終了し3件が新規に加わり7件となった。将来計画であるフェトム秒ライナックのためのマシンスタディが進められている。オフパイル研究では原子力工学の多様な研究の展開が図られている。1件が終了し1件が新規に加わったため、テーマ数は昨年と不変である。弥生研究会は昨年より1件増加し14件持たれ、原子力工学各分野のトピックスについて活発な議論がなされている。

増大する世界の人口に対して環境を保護しつつ、いかにエネルギーを供給できるかは21世紀の人類に課せられた大きい課題である。そのためには、グローバリゼーション、規制緩和など社会情勢変化も念頭に、これまでの原子力研究開発のあり方を点検しつつ、今後の方向を検討する必要がある。我々は今後の大学における原子力工学研究の方向について検討結果をまとめ ”原子力ルネッサンス……大学における原子力工学研究の一提案”として日本原子力学会誌1997年10月号に発表した。各方面のご批判、ご意見を期待している。

なお、大学院重点化に伴い、平成10年4月より当施設の名称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となった。

# 目次

## 巻頭言

### 高速中性子科学

高速中性子科学研究設備	関村直人	.....	2
照射材料温度・雰囲気測定制御システム	関村直人	.....	3
高時間分解能発光測定システム	吉井康司、上坂 充	.....	4
照射下オンライン物性測定システム	田中 知	.....	5
材料物性高感度測定システム	寺井隆幸、山口憲司	.....	6
高感度材料微細構造観察システム	関村直人	.....	7
高速中性子・光変換測定システム	越塚誠一	.....	8
レーザー共鳴イオン化分光システム	井口哲夫	.....	9

### 共同利用研究成果報告

テ - マ 名	テーマ 推進者	実験参加 代表者	施設内 幹事		
<b>弥生オンライン</b>					
09K-01 固体増殖材料の照射欠陥とトリチウム放出	田中 知	田中 知	山口 憲司	.....	12
09K-02 弥生特性測定	岡 芳明	岡 芳明	斎藤 勲	.....	14
09K-03 高速中性子を用いたラジオグラフィ	藤根 成勲	藤根 成勲	吉井 康司	.....	16
09K-04 機能性材料の中性子照射効果	寺井 隆幸	寺井 隆幸	山口 憲司	.....	18
09K-05 半導体に対する高速中性子照射効果	木村 逸郎	木村 逸郎	斎藤 勲	.....	20
09K-06 欠陥探傷への高速中性子ラジオグラフィの応用	宮 健三	宮 健三	吉井 康司	.....	22
09K-07 材料の中性子照射損傷基礎過程	関村 直人	関村 直人	岩井 岳夫	.....	24
09K-08 プラズマ対向材料 ( P F M ) に 対する中性子照射効果	田辺 哲朗	田辺 哲朗	山口 憲司	.....	26
09K-09 バック・ツー・バック ( B T B ) 核分裂検出器 を用いた T R U 核種の核断面積の測定	山脇 道夫	若林 利男	山口 憲司	.....	28
09K-10 高純度 Ge 検出器による放射性核種の in-situ 測定法 ( 現場測定 ) の開発に関する研究	越塚 誠一	寺井 邦雄	斎藤 勲	.....	30
09K-11 核融合炉材料と水素の相互作用に関する研究	山脇 道夫	山口 憲司	小野 双葉	.....	32
09K-12 シンチレーター塗布・光ファイバーを用いた 熱・高速中性子束・線強度分布測定法の開発	森 千鶴夫	森 千鶴夫	吉井 康司	.....	34
09K-13 放射性廃棄物固化体からの 照射下物質移行メカニズムに関する実験(3)	田中 知	田中 知	斎藤 勲	.....	36
09K-14 弥生炉を用いたマイナーアクチニド核種 の崩壊熱測定実験	岡 芳明	若林 利男	斎藤 勲	.....	38
09K-15 放射線環境下における光ファイバー 分布測定法に関する研究	中澤 正治	高田 英治	吉井 康司	.....	40
09K-16 中性子ドシメトリーの高度化研究	井口 哲夫	井口 哲夫	吉井 康司	.....	42

## 弥生オフパイル

09F-01	原子炉の寿命評価に関する研究	宮 健三	宮 健三	上坂 充	.....	46
09F-02	超電導体の電磁現象	宮 健三	宮 健三	吉田 義勝	.....	48
09F-03	アクチニド化合物・合金の 高温物性及び反応性の研究	山脇 道夫	山口 憲司	小野 双葉	.....	50
09F-04	核融合炉燃料・材料相互作用 ( F F M I ) に関する研究	山脇 道夫	山口 憲司	小野 双葉	.....	52
09F-05	高速炉の熱流動	班目 春樹	岡本 孝司	鶴 大悟	.....	54
09F-06	超臨界圧軽水炉の設計研究	岡 芳明	岡 芳明	越塚 誠一	.....	56
09F-07	画像認識技術の応用に関する研究	岡本 孝司	岡本 孝司	鶴 大悟	.....	58
09F-08	照射相関法の高度化に関する研究	関村 直人	関村 直人	岩井 岳夫	.....	60
09F-09	高温ガス炉 (HTGR) 安全解析の 高度化に関する研究	班目 春樹	岡本 孝司	鶴 大悟	.....	62
09F-10	T R U 元素の地下環境中移行挙動 (3)	田中 知	田中 知	山口 憲司	.....	64
09F-11	原子炉熱出力変動吸収機構の開発研究	菱田 誠	椎名 保顕	上坂 充	.....	66

## ライナック

09L-01	水溶液の放射線効果の研究	勝村 庸介	勝村 庸介	渡部 貴宏	.....	70
09L-02	高分子材料の放射線効果の研究	勝村 庸介	勝村 庸介	渡部 貴宏	.....	72
09L-03	超高速反応測定技術の開発と利用	勝村 庸介	勝村 庸介	渡部 貴宏	.....	74
09L-04	ビーム電荷量モニターの開発	中澤 正治	中澤 正治	上坂 充	.....	76
09L-05	プラズマ加速	小方 厚	中島 一久	原野 英樹	.....	78
09L-06	機能性材料の電子線照射効果	寺井 隆幸	寺井 隆幸	山口 憲司	.....	80
09L-07	サブピコ秒領域における高濃度 Tb <sup>3+</sup> 含有ガラス中での Tb <sup>3+</sup> 間共鳴エネルギー移動 についての研究	山田 興治	山田 興治	上坂 充	.....	82
09S-01	フェムト秒ライナックのためのマシンスタディ	上坂 充	上坂 充		.....	84

## 弥生研究会

研究炉等の運転・管理及び改良に関する研究会 (13)	主催者 岡 芳明	.....	88
核融合炉材料研究会 (11)	関村 直人	.....	90
核融合炉工学研究会 (10)	宮 健三	.....	92
新型核燃料材料研究会 (9)	山脇 道夫	.....	94
核融合炉燃料サイクルの基礎過程 (8)	山脇 道夫	.....	96
放射線検出器とその応用研究会 (7)	高橋 浩之	.....	98
原子力分野における流体関連振動研究会 (7)	班目 春樹	.....	102
新型炉研究会 (7)	岡 芳明	.....	104
ライナックの技術と応用に関する研究会 (7)	上坂 充	.....	106
新型炉研究会 (6)	岡 芳明	.....	108
粒子画像流速測定法研究会 (5)	川橋 正昭	.....	110
高エネルギー粒子照射による材料物性の変化と制御に関する研究会 (2)	寺井 隆幸	.....	112
放射線効果の解明と応用 (1)	勝村 庸介	.....	114
核エネルギーシンポジウム (1)	宮 健三	.....	116

平成9年度施設内行事一覧	..... 118
各種委員会名簿	..... 120
平成9年度弥生施設共同利用実験題目別実験担当者名簿	..... 125

# 高速中性子科学

# 高速中性子科学研究設備

## Fast Neutron Science Research Facility

### 1. 高速中性子科学研究設備における研究の進展

原子力工学研究施設の原子炉「弥生」は、世界で唯一の汎用研究用高速中性子源炉として、多くの実験孔やコラムを炉心とその近傍に有し、ガンマ線の混入の少ない純粋な高速中性子を利用することができる。また、中性子の減速の程度が異なる場所に移動して運転できるなど、幅広いエネルギー範囲の中性子利用も可能である。高速中性子科学研究設備は、透過性に優れた核変換性をもつ量子ビームとしての高速中性子の特徴を生かし、新たな学問分野としての「高速中性子科学」を構築することを目的として、平成5年度に概算要求が認められ、1) 照射材料温度・雰囲気測定制御システム、2) 高速中性子ラジオグラフィシステム、3) 照射下オンライン物性測定システム、4) 材料物性高感度測定システム、5) 高感度材料微細構造観察システム、6) 高速中性子・光変換測定システム、7) レーザー共鳴イオン化分光システム7つのシステムが弥生炉とその周辺に導入された。

我々はこの研究設備を用いて、高速中性子物質科学及び高速中性子応用科学の2つの柱からなる高速中性子科学研究を進めており、既にその成果は、この成果報告書にある各共同利用及び弥生研究会のみならず、原子力工学研究施設主催の2回にわたる「核エネルギーシンポジウム」、あるいは学会、学術雑誌等に広く公表されている。

高速中性子科学研究を計画、推進するにあたって、問題解決のための一貫したモデリングと、そのためのクリティカルな実験研究、高度な計算科学的手法の適用等を指向し、原子力工学の総合工学としての特色を一層進展させるべきであるとの議論が戦わされたが、これは原子力モデリング研究というかたちをとって、原子力工学研究施設を利用する大学院生を含む研究者のアイデンティティとなりつつある。

また、平成7～9年度には、科学研究費補助金基盤研究（A）「先端光技術を用いた原子炉照射実験手法の高度化」（代表者：工学系研究科システム量子工学専攻 中沢 正治教授）が、高速中性子科学研究と強い関連をもちつつ推進され、以下に示す4つの項目について、学内外の研究者組織による共同研究が実施された。

- 1) レーザー共鳴イオン化分光法による極微量核変換物質の高感度定量
- 2) 中性子照射下の自発発光及びレーザー誘起蛍光現象
- 3) 極短パルスレーザーを用いた照射誘起現象の高時間分解検出
- 4) 光学素子を用いた原子炉照射実験の適用性評価と照射実験の高度化

### 2. 高速中性子科学研究と弥生炉の運転

高速中性子科学研究を弥生炉の利用の観点から眺めてみると、通常のマシントイムでの各種設備の利用に加えて、業務運転期間が設けられ、比較的高い積算出力を必要とする高速中性子と物質の相互作用の原理的研究等を中心として、集中的な実験機器のスタディと実験研究が進められてきた。これは原子炉管理部の方々のひとかならぬ努力にも支えられてきたものであり、この場を借りて御礼を申し上げる。

# 照射材料温度・雰囲気測定制御システム

## 1. 実験システムの概要

照射温度雰囲気測定制御システムは、弥生炉の炉心において、液体ヘリウム温度までの極低温から高温に至る温度や雰囲気などの試料環境を精度よくコントロールしつつ、高速中性子照射を行い、オンライン物性測定及び照射後の高感度な物性測定を行うことを目的とする装置である。

## 2. 進捗状況

(1) 高温照射装置 従来から進めてきた高速中性子照射によるミクロな欠陥形成過程に加え、これらが材料のマクロな特性変化にどのように結びついているかを明らかにするために、高純度鉄及び鉄基モデル合金 (Fe-Cu, Fe-Cu-Ni 等)、高純度ジルコニウム及び Zr-Fe モデル合金を取り上げて、照射実験を進めた。またこのために、電子顕微鏡設置室に微小硬さ試験機を導入した。これはグローリー孔で照射可能な微小試験片 (高温照射装置では 5 mm  $\phi$  程度以下) においても、中性子照射による機械的特性変化を精度よく測定する装置であり、最小押し込み荷重は 0.1 g である。

図 1 は高温照射装置の温度制御性例を示したものである。熱中性子束の高い一般の原子炉と異なり、遠隔制御装置 (崩壊熱測定室設置) での高精度温度制御が実現されている。

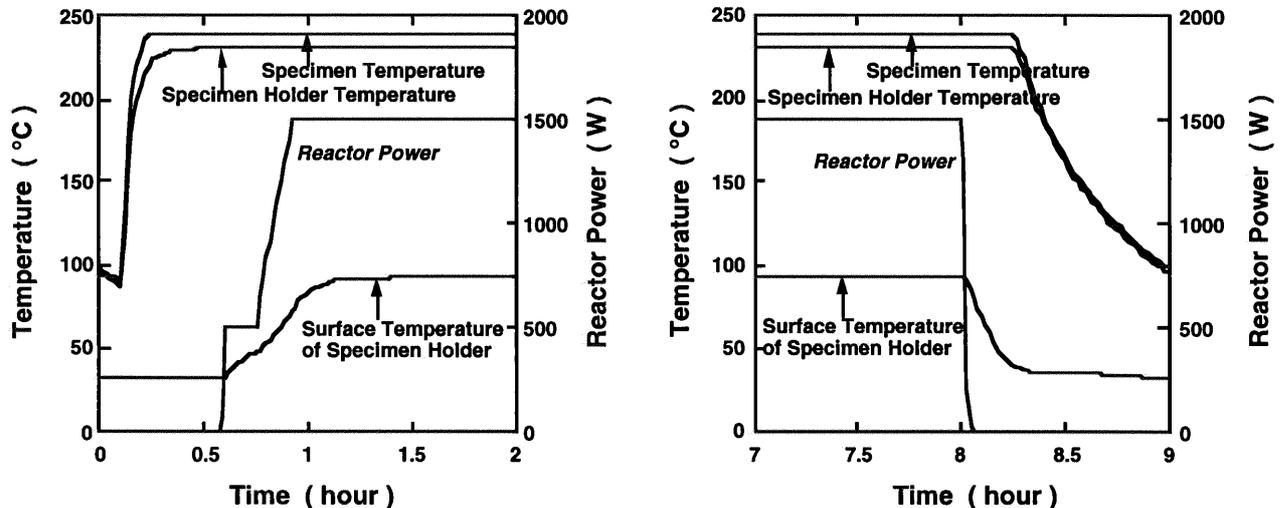


図 1 グローリー孔において、真空環境で240℃での照射試験を実施した際の試料温度、試料支持部温度、照射装置外周部温度と弥生炉出力の時間履歴の例

(2) 低温照射装置 鉄及び銅合金を対象として、電気抵抗変化測定を用いた高速中性子照射下の欠陥形成とその照射後昇温による焼鈍過程について研究を進めた。極低温 (例えば 77 K) において、電気抵抗変化を測定するためには、温度の再現性と測定中の温度変動を  $10^{-3}$  K 程度以下に押さえる必要があることが明らかとなった。このため、グローリー孔用温度制御低温照射装置の試料支持部の形状を変更するなどの改良を実施した。

# 高時間分解能発光測定システム

## 1. 目的

現在、東大原施ライナックではサブピコ秒電子シングルパルスの生成が可能であり、フェムト秒ストリークカメラ（時間分解能 200fs）により計測が行われている。しかし、将来的に計画しているさらなる短パルス化（100fs）に際して新たなビーム計測システムの確立は不可欠となっており、それを目的として研究を進めている。本研究では、マイケルソン干渉計を用いたコヒーレント遷移放射光干渉法を導入し、理論的に時間分解能が無限である周波数領域における測定を行う。具体的には、取得した干渉パターンの解析により電子パルスの縦方向分布を求め、ストリークカメラによる測定結果との比較を通して干渉法による電子パルス計測の妥当性を評価し、高時間分解能発光測定システムとしての確立を目指す。また、将来的にはピコ秒中性子ビーム発生とそれによるピコ秒時間分解能中性子回折研究を計画している。

## 2. 研究進捗状況

マイケルソン干渉計を用いて、サブピコ秒、ピコ秒電子パルスのコヒーレント遷移放射の干渉パターンを取得し、高圧水銀灯の干渉パターンによる放射強度校正、スペクトル計算、バンチ形状因子  $f(v)$  の計算、クラマース・クローニヒ変換等の解析を経てパルス波形再構成を行った。なお、実験で測定可能な波長領域は有限であるので、測定不可能な波長領域にはパルス波形をガウス分布と仮定した理論線を補完して解析した。再構成結果とストリークカメラによる計測との比較の結果、ピコ秒パルスの測定結果においては良好な一致（干渉法：1.7ps, FESCA：1.6ps）を確認し、サブピコ秒パルスにおいては相違が約 200fs（干渉法：520fs, FESCA：700fs）であった。サブピコ秒パルスにおける相違の原因は、ストリークカメラの限界時間分解能が 200fs であり誤差が大きくなっていること、測定時間 10 分間における電子パルス形、パルス幅、電荷量の変動が原因であると推定される。そのほかに、放射体角度を変化させた場合について測定し、光学系の調整精度が 1° 以内であることが確認できた。

## 3. 今後の予定

さらなる実績の積み重ねとして、コヒーレント遷移放射光干渉法を用いてレーザーフォトカソード高周波電子銃による 200fs 電子ビームの測定を行う。また、周波数領域による測定でシングルパルス測定が可能である遠赤外ポリクロメーター、及び反射光学系の導入により SN 比向上が期待されるフェムト秒ストリークカメラによる測定も予定している。

## 照射下オンライン物性測定システム

### 1. 目的

原子炉照射下で種々の物性、特に照射欠陥と関連する諸現象をオンラインで測定することを目的としている。注目しているのは、温度、雰囲気制御下でセラミックの原子炉照射下での欠陥に起因する発光のオンライン測定と、その中性子スペクトル依存性である。セラミックとして核融合炉固体増殖材料であるリチウム酸化物を考えたときには、トリチウム放出挙動と発光を同時に測定することにより欠陥とトリチウムとの相互作用に関する貴重な知見を得ることができる。

### 2. 進捗状況

(1) 酸化リチウムに前もって電子線照射を行いリチウムコロイドを作成し、その後原子炉照射下で温度を室温より上昇させたとき 570-590K で急な発光現象があることを見出し、これがコロイド消滅時の F センターに起因することを明らかにした。また、トリチウムの放出挙動にリチウムとの相互作用が関係することを示した。

(2) 核融合炉などでの絶縁材料として有望な AlN について室温 - 600℃での原子炉照射下発光を測定し、その発光スペクトル、温度依存性、および試料組成依存性より、酸素不純物に関連する intrinsic defect と F センターが重要であることを示した。

(3) レーザー誘起発光測定システムの整備を進め、照射後試料について測定した。

### 3. 今後の予定

(1) 原子炉照射下でのレーザー誘起発光測定システムの整備を行い、欠陥の照射下挙動について知見を得る。

(2) 絶縁物について更に広範囲に室温 - 高温照射下での発光測定を行うとともに、照射が絶縁破壊現象に及ぼす影響を明らかにする。

# 材料物性高感度測定システム

## 1 目的

本システムは、主として磁場下物性測定装置と表面特性測定装置から構成され、物質の磁化率や表面電位などの物性を高感度に測定するシステムである。本システムは、主として、高速中性子照射によるこれらの物性変化を明らかにするための研究や中性子照射法を用いた材料改質・物性制御等の研究に用いられている。

## 2 進捗状況

本測定システムのうち磁場下物性測定装置は、超伝導マグネット・クライオスタットなどから構成され、4~300 K、0~6 T の温度磁場条件下で磁化率・電気伝導率・ホール係数などを測定する装置であり、現在順調に稼働している。液体ヘリウムの使用量が膨大(1回の液体ヘリウム充填に液体ヘリウムが100 l 必要。経費は21万円。1回のヘリウム充填で2~3日程度実験できる)であるため、頻繁に実験を行うことはできないが、平成6~8年度に引き続き、平成9年度も弥生炉やJMTR, JRR-3等で中性子照射し、照射後熱アニールを施した酸化物高温超伝導体試料の磁化率を本装置を用いて測定し、有益な知見を得た。

一方、表面特性測定装置は、高温かつ雰囲気制御下での固体表面の仕事関数を測定を目的とし、振動容量方式に基づき、白金(Pt)製の参照電極との接触電位差(contact potential difference)を測定するものである。システムは、高温ケルビン計、雰囲気ガス導入系、電子制御系、加熱系より構成され、並行して固体表面電位と同一の条件下での電気伝導度測定が可能になっている。今年度は、核融合炉ブランケット固体増殖材料の候補である $\text{Li}_2\text{ZrO}_3$ や $\text{Li}_2\text{TiO}_3$ を重点的に取り上げ、仕事関数の経時変化に関して両材料間に明瞭な違いを見出すなど、さらに新しい知見を得ることができた(成果報告書 K-11 の項参照)。

## 3 今後の予定

本測定システムのうち磁場下物性測定装置については、平成5年度の検収後も測定感度や再現性が所定の性能を満たさないということで何度もメーカーの調整を要したが、平成7年度末に一応所定の性能が出せるところまで改善できた。平成8、9年度は測定温度の安定化を実施し、また、特に9年度は低磁場における磁場の安定性と検出器の感度を向上させることができた。さらに将来的には、本装置に中性子低温照射用クライオスタットを増設し、液体ヘリウム温度で照射を行い、照射後もそのままの温度に保持したままの状態での磁化率測定を行えるようにすることを計画している。

一方、表面特性測定装置に関しては、本測定手法を、さらに「弥生」やHTTR(原研)などの原子炉の中性子照射下においても適用できないか検討を開始した。未だ概念の域を出ないが、電位差の測定に係わるプローブ自身の照射による影響の把握、既に照射を重ねている試料( $\text{Li}_4\text{SiO}_4$ )についての ex-situ での測定、などの課題から順次着手する予定でいる。

# 高感度材料微細構造観察システム

## 1. 目的

高感度材料微細構造観察システムは、高速中性子照射された材料のミクロな変化過程及び欠陥クラスターの形成過程を明らかにすることを目的としたシステムであり、透過型電子顕微鏡、陽電子消滅寿命測定装置の他に、走査型電子顕微鏡、フーリエ変換赤外分光光度計が設置されている。

## 2. 進捗状況と今後の予定

200 kV 透過電子顕微鏡は、主として、照射されたバナジウム薄膜における欠陥集合体形成の詳細な検討に利用された。特に試料膜厚が20 nm 程度以下の極薄い部分にのみ形成される空孔集合体について、カスケード損傷による欠陥形成を別途進展しつつある分子動力学計算及びモンテカルロ計算の結果と比較・検討することができた。

また、透過電子顕微鏡には、一般用ホルダー、試料二軸傾斜ホルダーに加えて、高温加熱試料ホルダーを利用することが可能となり、比較的高真空条件において、欠陥クラスターの熱的安定性に関するデータが得られつつある。しかし、上記のバナジウムについては、欠陥集合体が1 nm 程度の極微小なサイズであることに加え、400℃程度で既に表面酸化物の形成による分解能劣化が起こるために、今後とも継続してデータを得てゆく予定である。

陽電子寿命測定装置は、現在、重照射研究設備の2階に設置されている。平成9年度は、陽電子寿命の高精度測定のための測定器の整備が終了し、イオン照射材料での予備的試験をバナジウム、ジルコニウムについて、それぞれ完了した。今後は、中性子照射され放射化した試料についての陽電子寿命測定を行うために、装置のホット実験室への移設を予定しており、中性子照射済試料の段階的焼鈍に伴う陽電子寿命変化測定を実施してゆく予定である。これらの結果と電子顕微鏡観察及び微小硬度測定装置との比較によって、陽電子寿命から明らかになる電子顕微鏡では観察できない極微小欠陥とミクロ組織、さらにマクロな材料特性の相関を様々な条件で明らかにすることが期待され、材料モデリングのための有効な手段となると考えられる。

さらに、既に金薄膜試料において一連の研究を進めてきた「組み合わせ照射」実験によって、弥生炉のフルエンス制限に伴う実験上の制約を取り除くことを計画している。これは原子力工学研究施設内のイオン加速器による予照射を行った後、弥生炉での中性子照射実験を行う実験である。特に高速中性子による高エネルギー一次はじき出し原子を模擬しうる自己イオン照射をあらかじめ重イオン加速器によって照射することによって、高フルエンス領域でのカスケード損傷間の相互作用に関する研究を進める予定である。また、BCC金属（鉄基合金、バナジウム合金）についても、同様の手法によって、高速中性子照射による欠陥クラスターの変化過程を明らかにしてゆく。

走査型電子顕微鏡では、昨年度に引き続いて、イオン照射されたニッケルのプリスタリング、各種構造用鋼などの金属材料の疲労破壊破面観察などに利用されてきている。

またフーリエ変換赤外分光光度計も順調に稼働し、リチウム化合物の吸光測定などに継続して利用されている。

# 高速中性子・光変換測定システム

## 1. 目的

本システムでは、高速中性子による可視化画像処理に関する研究をおこなう。また、高速中性子と物質との相互作用に関する、大規模3次元シミュレーション手法の開発をおこない、物性に及ぼす影響を解析する。さらに、これらの基盤技術として、可視化、数値シミュレーションに関する研究を実施する。

## 2. 進捗状況

原子力工学は、極めてミクロな空間および時間スケールの現象である中性子と物質との相互作用から、数10年といった原子力プラント寿命にわたるマクロな現象、さらには数千年以上の時間スケールになる放射性廃棄物の処分に関する現象まで、幅の広いスケールを対象とする学問である。そして、個々の現象をミクロからマクロに至る流れの中に位置づけ、相互の関係を明確にし、より基本的な原理から複雑現象を予測できるような体系を作り上げていくことが工学の目標であると考え、これを原子力モデリング工学と名付けた[1]。また、こうした体系化は、材料・電磁気・化学・熱流動などの様々な分野で求められている。さらに、原子力工学は総合工学として、これらの分野を統合したものとして位置づけられるが、この統合の過程においても、より基本的な原理から複合現象を予測できるような体系が求められている。

(1)可視化画像処理法の開発、では、レーザーホログラムを利用した3次元多点同時計測技術の開発をおこなっている。これによって、実験データの解像度が飛躍的に高まり、大規模数値シミュレーションやこれに基づいた物理モデルの検証が可能になる。

(2)粒子を用いた数値シミュレーション手法の開発、では、これまでの有限要素法や差分法とは異なり、計算格子を用いずに粒子を用いる計算手法が開発された。界面の大変形や相変化を容易に扱うことができ、複合問題の解析に適している。

(3)数値シミュレーションによる超電導物質の解析、では、超電導学をミクロからマクロに至るまでの6つの階層構造によって整理し、それぞれの階層間をつなげるべく研究をおこなっている。特に、第3階層における磁束量子動力学法によって、第4階層である超電導材料の物性を予測することに成功している。

## 3. 今後の予定

本年度の研究成果を踏まえ、可視化画像処理法の開発、粒子を用いた数値シミュレーション手法の開発、数値シミュレーションによる超電導物質の解析、を引き続き進める。

## 参考文献

- [1] 班目ら「原子力リネッサンス—大学におけるこれからの原子力工学研究の一提案」  
日本原子力学会誌 39(10), 821-831 (1997)

高速中性子科学研究設備  
「レーザー共鳴イオン化分光システム」

## 1. 目的

レーザー共鳴イオン化分光法は、特定の原子・分子のエネルギー準位幅に相当する波長の光子を、単一又は複数の波長可変レーザーで生成し、同時照射することによって、その特定の原子・分子を共鳴的に選択励起かつ分離する超高感度な元素分析法である。高速中性子科学研究設備の「レーザー共鳴イオン化質量分析 (RIMS : Resonance Ionization Mass Spectrometry) システム」は、3本の波長可変レーザー (モードロックTi : サファイアレーザーシステム1基とパルスNd : YAGレーザー励起色素レーザーシステム2基) と飛行時間型質量分析システムで構成されており、主として、弥生炉などの中性子照射で生成された極微量の核変換物質を高感度に検出することによって、高速中性子照射効果の革新的な高精度診断・評価技術の開発などの研究を行うことを目的としている。

## 2. 進捗状況

平成9年度は、高速炉から定期的に採取されるカバーガス試料の分析を目的として、RIMS装置へ試料ガスボンベの簡便な装着と分析チェンバーへのガス流量を制御できる配管系を新たに付設・整備した。この試料ガス導入系について、Xe検出の性能確認を行うため、カバーガスを模擬した $N_2 99\% + Xe 1\%$ の標準混合ガス(天然組成)の分析を行った。結果の一例として、第1図にXe検出感度(イオン収率)のレーザー出力依存性を示すが、2光子共鳴吸収の理論モデルに基づくレート方程式にフィッティングしたところ、実験結果をよく再現できた。さらに、第2図に、Xe同位体の濃度割合(ppm)とレーザーパルス1ショットあたりにMCPで検出された推定イオン個数をプロットした結果を示すが、両者の間には良好な直線性があり、最小二乗法で直線フィッティングし、検出限界を評価した結果、21ppmとなった。この値を、有感体積当たりの検出可能なイオン個数に換算すると、~51個と見積もられ、これまでの事前評価を裏付ける結果が得られた。一方、現RIMSシステムの検出感度を向上させる方策として、希ガスコールドトラップを分析チェンバーに導入し、金属表面に吸着したXe原子を蒸発させるレーザーアブレーションとそれらの共鳴イオン化を1本の波長同調されたレーザービームで同時に行う共鳴レーザーアブレーション(Resonant Laser Ablation : RLA)の適用を検討している。平成9年度は、Cuイオン収率のレーザー出力及び波長依存性の実験データから、共鳴イオン化成分と非共鳴成分(レーザーアブレーション:熱的過程のみによるイオン化成分)を分離し、その結果に基づくRLA現象の理論モデルを検討した。第3図に、横軸と縦軸のスケールを適切に調整して実験と計算を比較した結果を示すが、レーザーパルス初期に生成される試料蒸発ガスの圧力による試料表面での沸点上昇効果を考慮することで、実験結果を良く説明できることが分かった。また、RLAを用いた微量元素分析では、S/N比と検出感度の向上という観点から、入射レーザーの出力密度に最適範囲があり、Cu試料では、 $\sim 2.5 \times 10^{13} W/m^2$ 程度にするのが良いことも分かった。なお、現時点での検出感度の評価値は、レーザーパルス1ショットあたり~8ppm程度で、必ずしも超高感度と言えないが、レーザーパルスの繰り返し率や質量分析系へのイ

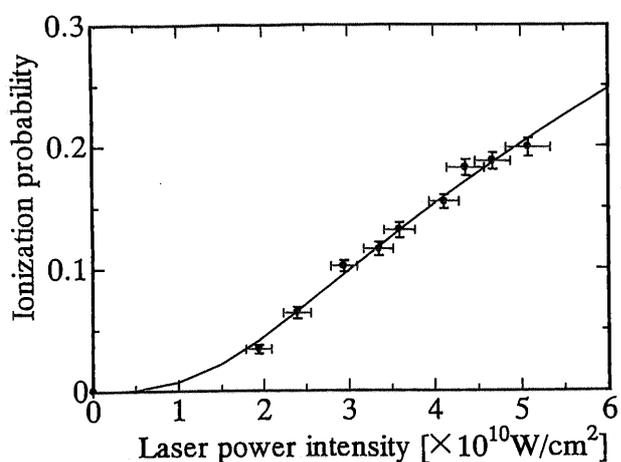
オン引き抜き効率に対して、十分改善の余地がある。

### 3. 今後の予定

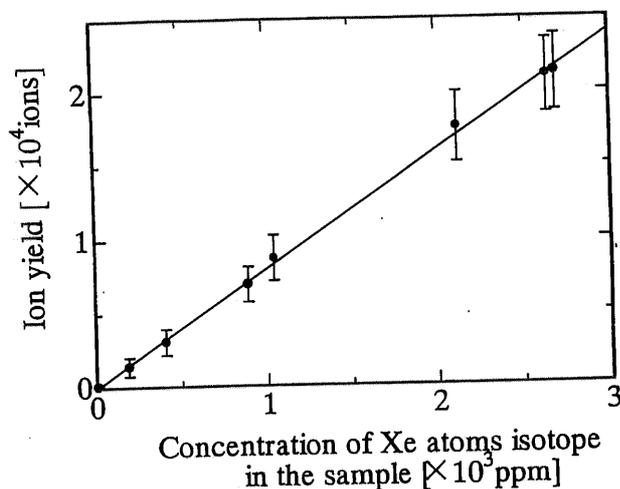
平成10年度は、平成9年度の実験結果を踏まえて、高速実験炉「常陽」におけるタグガスの模擬試料の系統的分析を進め、微量タグガスの分析精度の評価と改善、及び核燃焼に伴う同位体比変化の検出限界を明らかにする予定である。特に、希ガスコールドトラップとレーザーアブレーション併用等による検出感度向上策を実証したい。

### 4. 本装置に関する成果発表等

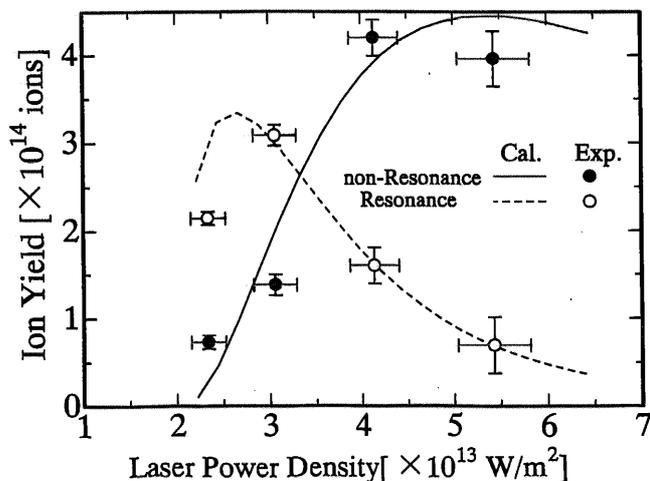
- (1) 渡辺賢一、井口哲夫 他、「共鳴レーザーアブレーションを用いた極微量核変換生成物検出法の開発(2)」、日本原子力学会1997年秋の大会、沖縄、C28、(1997)。
- (2) 渡辺賢一、井口哲夫 他、「共鳴レーザーアブレーションを用いた極微量核変換生成物検出法の開発(3)」、日本原子力学会1998年春の年会、近畿大学、C7、(1998)。



第1図 Xeイオン収率のレーザー出力依存性



第2図 Xe同位体濃度割合と検出イオン数の関係



第3図 RLAによるCuイオン収率の共鳴/非共鳴成分のレーザー出力依存性に関する実験と理論の比較

弥生オンライン

## 固体増殖材料の照射欠陥とトリチウム放出

テーマ推進者 (東大・工システム量子) 田中 知

実験参加者 (東大・工システム量子) 田中 知, 胡 全利, 谷口正樹, 谷川 尚

## 1. 目的

核融合炉の燃料サイクル設計においては、増殖材中におけるトリチウムの挙動の解析が重要な課題である。固体増殖材料について行われてきたこれまでの研究から、バルク内での拡散、表面からの脱離の過程において酸素空孔を始めとした増殖材料中に存在する欠陥がトリチウムの挙動に大きな影響を与えていることが知られているが、そのメカニズムは完全には明らかにされていないのが現状である。本グループでは、これらの点を明らかにするため、(1) 赤外吸収分析による  $\text{Li}_2\text{O}$  内の水素同位体の観測、(2) 高温照射下トリチウム回収実験を行なったのでその結果について報告する。

2. 赤外吸収分析による  $\text{Li}_2\text{O}$  表面重水酸基の観測 [1]

$\text{Li}_2\text{O}$  中で水素同位体は大部分が  $\text{H}^+$  の化学形をとり、酸素と結合して水酸基として存在していることが知られている。固体内水酸基の O-H 伸縮振動は、その配位数や周囲の欠陥の存在により影響を受けると考えられる。本研究は、水酸基の O-H 振動を赤外吸収分析により観測し、固体中での水素同位体の存在状態、特に欠陥との相互作用に関する知見を得ることを目的としている。赤外吸収は、FTIR(フーリエ変換赤外分光装置)を用い、透過法により測定する。試料には  $\text{Li}_2\text{O}$  単結晶を用いた。973K において  $\text{D}_2+\text{H}_2 \sim 1\text{atm}$  で 6 時間試料を保持して熱的に  $\text{H}_2\text{D}$  を試料に吸収させた後、急冷を行なった。冷却は 973K から室温まで約 10、3、1、0.5 min かかる 4 通りの速度で行なった。酸化物を高温から急冷した場合には過剰な酸素空孔が保存されるが、冷却速度が大きいほど空孔の密度は大きくなる。また冷却速度の違いは、水酸基と欠陥との相互作用に影響を与えると考えられる。fig.1 に O-D 伸縮振動の領域の赤外吸収スペクトル測定結果を示す。2550~2650 $\text{cm}^{-1}$  にも少なくとも 3 本のピークが観測され、その強度は冷却速度に依存する事が分かる。アニール時のピーク強度の変化の測定結果から、これらのピークは酸素空孔による影響を受けた O-D 伸縮振動のピークであることが明らかとなった [1]。固体内 O-D 基のピークが複数観測される事は、水素同位体が結合力の異なる複数の存在状態をとり得ることを示している。次に最も冷却速度が大きい試料について種々の温度でアニールを行い、各ピークの強度の変化を観察した (fig.2)。加熱は窒素パージ下で行い、その後室温で赤外吸収分析を行った。どのピークも 373K、6 時間の加熱では大きな変化がないが、473K、3 時間の加熱後には 2651、2566 $\text{cm}^{-1}$  のピークが消滅し、2610 $\text{cm}^{-1}$  のピーク強度が増加した。さらに 573K、3 時間の加熱後には 2610 $\text{cm}^{-1}$  のピークもほとんど消滅した。 $\text{Li}_2\text{O}$  では酸素空孔は 570K 以上で回復することが知られており、これらのピークが酸素空孔の影響を受けた O-D 伸縮振動であることを裏付けている。

## 3. 高温、原子炉照射下トリチウム回収実験 [2]

トリチウム放出挙動に対する照射欠陥の効果を調べるために、多結晶酸化リチウム (80 照射を行う。その後、東大弥生炉において熱中性子照射下でトリチウム回収実験を行った。生成したトリチウムは  $\text{N}_2 + \text{H}_2(1.0\%)$  のスイープガスにて回収する。また、電子線照射にて照射した試料と同様に、熱アニール後の試料についても同様に測定し、レファレンスとした。

電子線照射を行なわなかった試料の熱中性子照射下でのトリチウム放出挙動を fig.3 に示す。750K にシャープなピークが観測され、熱中性子照射によって生成する欠陥は、トリチウム放出にはほとんど影響を及ぼさない事が分かる。次に、電子線照射後にトリチウム放出挙動を測定した結果を fig.4 に示す。この場合、650K にシャープなピークが観測され、さらに 950K 付近にもややブロードなピークが観測される。650K 付近のピークは、試料表面からのトリチウムの脱離、 $\text{LiO}^\cdot$  の熱分解によるものであり、950K のピークは電子線照射によって生成した欠陥によりトラップされたトリチウムの放出によるものであると考えられる。おそらく、電子線照射によって  $\text{Li}_2\text{O}$  試料中に生成するリチウムコロイドが分解してトリチウムと結合し、高温でも安定な  $\text{Li}^\cdot$  を形成するために、複数のピークが観測されるのではないかと考えられる。

#### 4. 結論

赤外吸収分析により  $\text{Li}_2\text{O}$  内での水素同位体の存在状態を観測し、水素同位体が、水酸基 (-OH) の化学形で存在する事、周囲の酸素欠陥により O-H 結合力が変化することを確認した。また、電子線照射酸化リチウム試料の熱中性子照射下トリチウム回収実験により、電子線照射によって生成したリチウムコロイドがトリチウムと結合して高温でも安定な Li-T 結合を形成し、トリチウムインベントリーを増大させる事がわかった。

#### 参考文献

- [1] Hisashi Tanigawa, Masaki Taniguchi and S. Tanaka, "Interaction of hydrogen isotopes with defects in  $\text{Li}_2\text{O}$ ," submitted to Fusion Engineering and Design.
- [2] V. Grishmanov, S. Tanaka, J. Tiliks, G. Kizane, A. Supe and T. Yoneoka, "Influence of radiation defects on tritium release parameters from  $\text{Li}_2\text{O}$ ", Fusion Engineering and Design, in press.

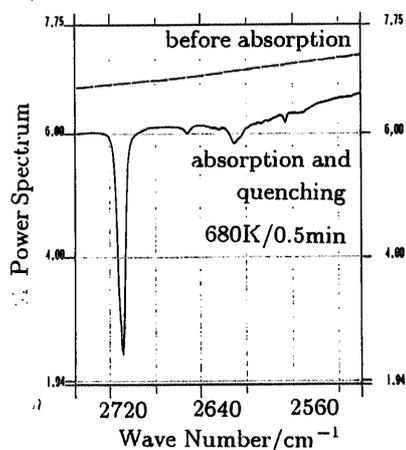


Fig.1: Absorption spectra of  $\text{Li}_2\text{O}$  at room temperature after  $\text{D}_2\text{O}$  thermal adsorption.

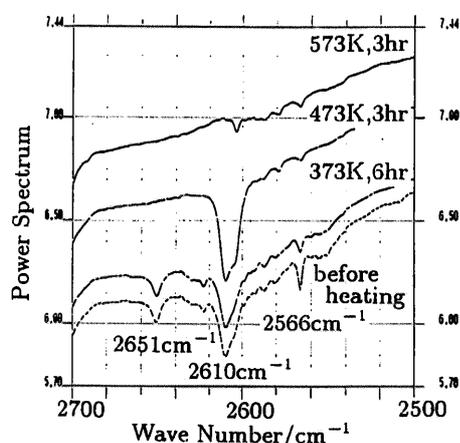


Fig.2 Absorption spectra of  $\text{Li}_2\text{O}$  after annealing at 373~573K.

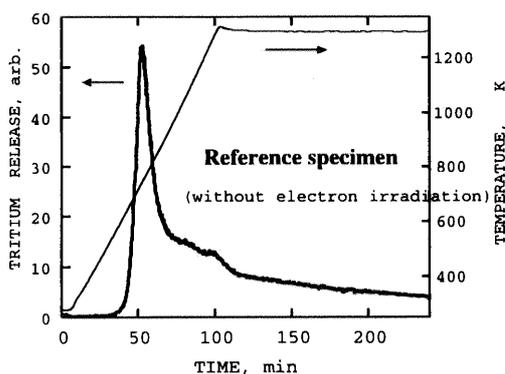


Fig.3: In-situ-luminescence measurement from  $\text{Li}_2\text{O}$  during the temperature transient 300-900 K.

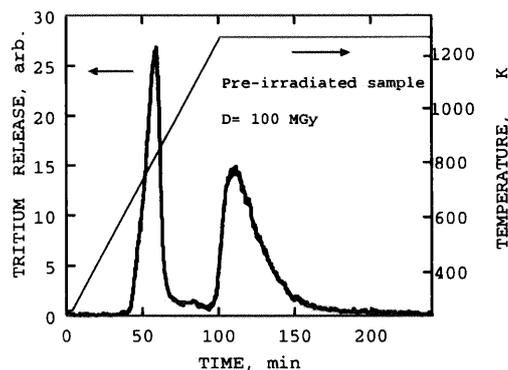


Fig.4: Tritium recovery peaks for a temperature transient 300-900 K in the sweep gas of  $\text{N}_2 + 1\% \text{H}_2$ .

# 「弥生」特性測定

テーマ推進者 (東大・工・原施) 岡 芳明  
 実験参加者 (東大・工・原施) 仲川 勉, 寺門 勉, 斉藤 勲, 間瀬幸雄, 貴家憲彦,  
 助川敏男, 向原 民, 岡村和夫, 越塚誠一, 木藤和明,  
 太田光二, 関根瑞恵, ヨシ・ハヤシ  
 (京大・工・原子核) 木村逸郎 (京大・放生研) 佐々木正夫

## 1. 目的

今回は東大炉「弥生」の代表的な照射場であるファーストコラム内の中性子束及びγ線の空間分布について測定を行った。

## 2. 照射および測定

中性子束分布測定には、高速中性子と熱中性子を測定するため、NiとAuのワイヤを約10mmに切って抱き合わせ、γ線分布測定にはTLDをアクリルチューブに入れて、各測定により図-1及び図-2に示すNo.位置に空間にはタ糸を使い、表面には直接テープ止め固定とした。

### 1) 高速中性子及び熱中性子束分布測定

ビーム軸上とコラム内B反射体表面の2回に分けてワイヤ照射を実施し、ともに炉出力1kWで約2時間(1995Whと1686Wh)照射した。炉停止後に各ワイヤを取出して、半減期を考慮して冷却期間を置き、測定はGe検出器にて、 $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ 反応 ( $E_{\text{eff}} 3.3\text{MeV}$ ,  $\sigma_{\text{eff}} 600\text{mbarn}$ ) 及び $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 反応 ( $\sigma 96\text{barn}$  [0.025eVに対する値])における反応率を測定し、各中性子束を求めた。

### 2) γ線分布測定

TLD照射は測定限度を考慮して、炉心の距離により3回に分けて実施し、46.9mWh, 50.8mWhと5Whの照射とした。約2日の冷却期間において、TLDリーダーにて線量測定をした。

## 3. 結果及びまとめ

測定結果を表-1に示し、図-3～図-8に各分布図を示す。コラム内B反射体表面にて高速中性子束分布のピークはビーム中心であり、熱中性子束分布はDst.側に、またγ線分布のピークはAst.側に若干ずれた位置にピークがあることが判り、今後の照射実験においての位置関係に役立てることができる。なお、図-1と図-2に示す各測定点での測定は各々独立に行ったので、No.3測定点での値と図-2に示す方向の分布のピーク値は一致はしない。

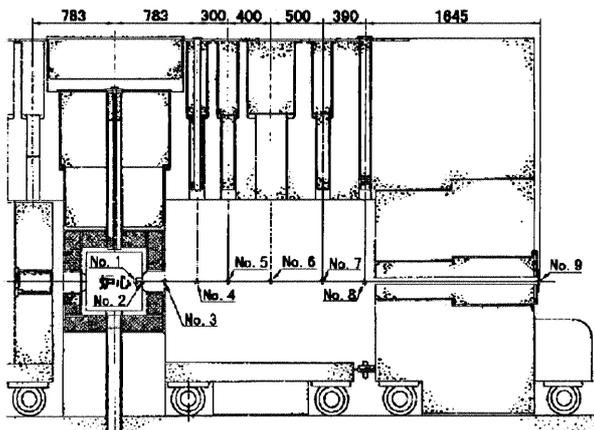


図-1 ファーストコラム内ビーム軸水平位置照射体系図

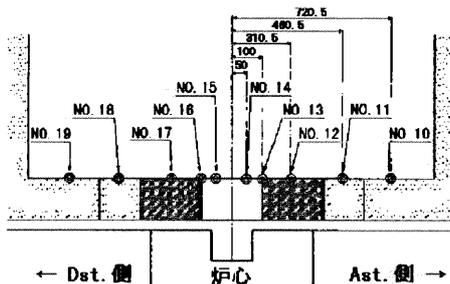


図-2 ファーストコラム内B反射体表面位置照射体系図

No.	高速中性子束 [ $\mu\text{t}/\text{kW}$ ( $\mu\text{cm}^{-2}\cdot\text{sec}$ )]	熱中性子束 [ $\mu\text{t}/\text{kW}$ ( $\mu\text{cm}^{-2}\cdot\text{sec}$ )]	ガンマ線量 [ $\text{kWh}/\text{検出量}$ (rad)]
1	$6.92 \times 10^8$	$4.19 \times 10^8$	$8.32 \times 10^6$
2	$2.77 \times 10^8$	$3.59 \times 10^8$	$2.33 \times 10^6$
3	$5.24 \times 10^7$	$1.02 \times 10^8$	$5.50 \times 10^5$
4	$1.38 \times 10^7$	$5.79 \times 10^7$	$3.39 \times 10^4$
5	$6.00 \times 10^6$	$5.10 \times 10^7$	$2.28 \times 10^4$
6	—	$5.05 \times 10^7$	—
7	—	$4.48 \times 10^7$	$1.82 \times 10^4$
8	$1.55 \times 10^6$	$3.76 \times 10^7$	$2.16 \times 10^4$
9	—	$3.03 \times 10^4$	$2.98 \times 10^2$
10	—	$9.95 \times 10^7$	$1.70 \times 10^5$
11	—	$1.05 \times 10^8$	$1.49 \times 10^5$
12	$2.86 \times 10^6$	$1.01 \times 10^8$	$1.22 \times 10^5$
13	$4.06 \times 10^7$	$1.33 \times 10^8$	$5.19 \times 10^5$
14	$5.88 \times 10^7$	$1.51 \times 10^8$	$6.25 \times 10^5$
15	$6.01 \times 10^7$	$1.34 \times 10^8$	$5.40 \times 10^5$
16	$4.34 \times 10^7$	$1.47 \times 10^8$	$2.92 \times 10^5$
17	$3.75 \times 10^6$	$9.62 \times 10^7$	$1.01 \times 10^5$
18	—	$1.07 \times 10^8$	$8.02 \times 10^4$
19	—	$9.21 \times 10^7$	$2.25 \times 10^5$

表-1 測定結果

図-3 高速中性子束分布測定(1kW)  
(F.C.ビーム軸水平位置)

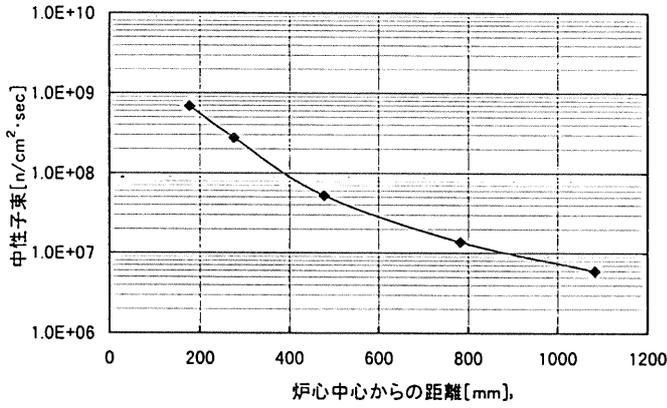


図-4 高速中性子束分布測定(1kW)  
(F.C.内B反射体表面位置)

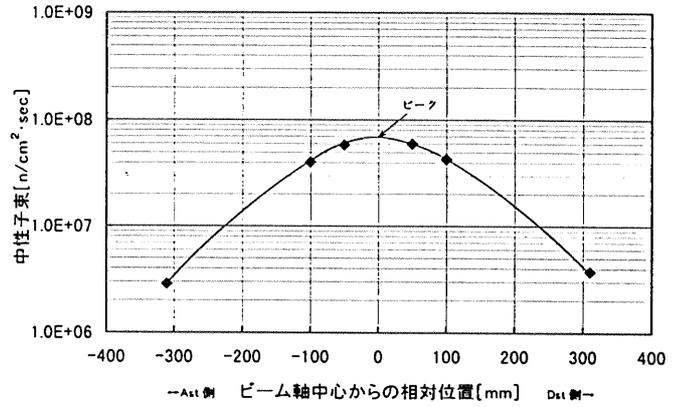


図-5 熱中性子束分布測定(1kW)  
(F.C.ビーム軸水平位置)

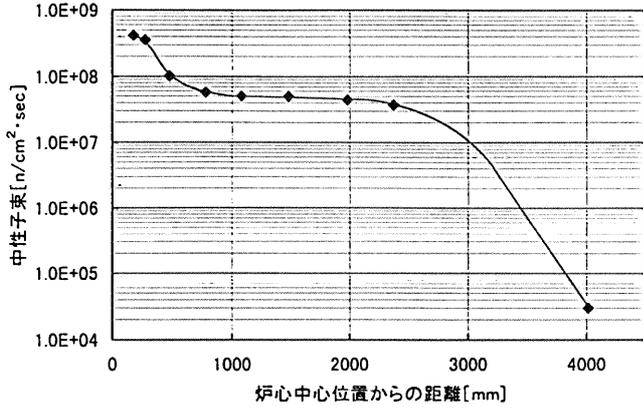


図-6 熱中性子束分布測定(1kW)  
(F.C.内B反射体表面位置)

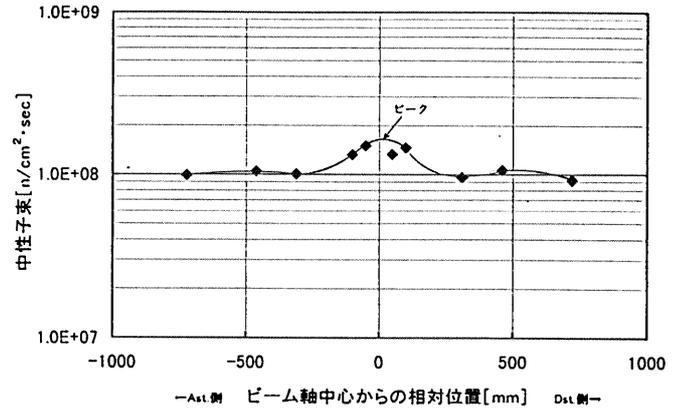


図-7  $\gamma$ 線分布測定(1kWh換算)  
(F.C.ビーム軸水平位置)

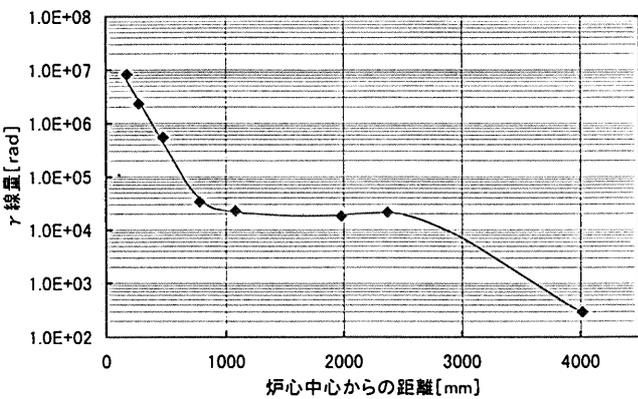
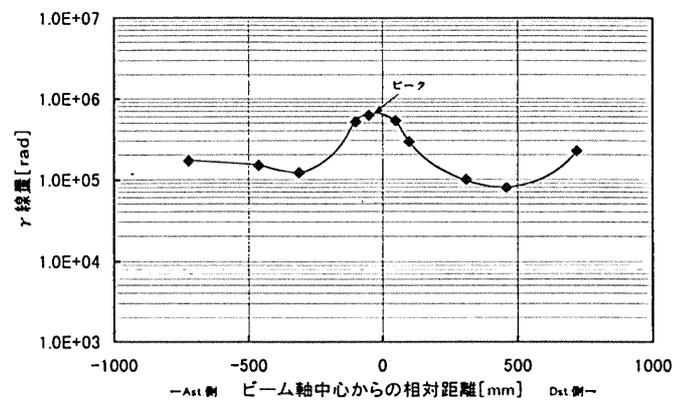


図-8  $\gamma$ 線分布測定(1kWh換算)  
(F.C.内B反射体表面位置)



## 高速中性子を用いたラジオグラフィ

テーマ代表者 (京大炉) 藤根 成勲 (施設内幹事) (東大・原施) 吉井 康司  
 実験参加者 (京大炉) 藤根 成勲、米田 憲司 (東大・原施) 吉井 康司  
 (名大・工) 玉置 昌義、西口 蔵 (東京学芸大・教育) 鎌田 正裕

### 1. はじめに

昭和61年度(1986)より共同利用研究を開始して10年余継続し、この間CR-39を用いたトラック・エッチ法、蛍光コンバータによるTV法やフィルム法、冷却型CCDカメラ法やイメージングプレート法などの撮像法を実験し、実用になる画像を得る技術までに発展させた。これらの研究成果は学会、国際会議、学会誌、外国誌などに発表し、1990年度までの5年間の研究成果は報告書<sup>(1)</sup>としてまとめた。その後の研究成果については1996年開催の国際会議(スイス)で発表し、外国誌<sup>(2)</sup>に投稿した。

本年度は、フィルム法による熱・高速中性子の同時撮影と各種コンバータとX線用イメージングプレートを組み合わせた間接法による実験を実施した。

### 2. 実験結果

#### 2.1 フィルム法による熱・高速中性子の同時撮影

実験継続中のポリエチレン円柱や鉄容器中の試料の熱・高速中性子の同時撮影を実施した。実験結果の一例として直径5cmで高さ5cmのポリエチレン円柱の画像を第1図に示す。第1(3)図の熱中性子の画像では散乱線のために円柱中央の孔が撮影されていないが、試料とフィルムを10cm離れた第1(4)図では孔(直径2cm、深さ2.5cm)の部分が撮影されている。鉄容器中の亚克力円盤の撮像では昨年度の画像に比較して円盤中央部の薄い部分や小孔などが撮影され、C-CCDで示した画像と同様な画像が得られた。紙面の都合で画像は省略するが文献(2)を参照されたい。

#### 2.2 各種コンバータとX線用イメージングプレートを組み合わせた間接法による実験

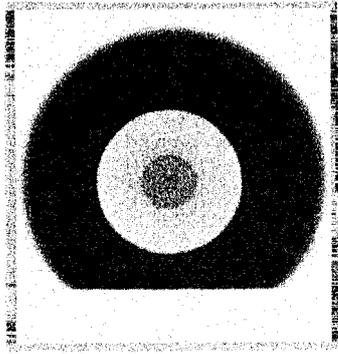
高速中性子ラジオグラフィでは $\gamma$ 線の影響を受けない撮像法としてトラック・エッチ法や間接法が注目されるが、本年度ではX線用イメージングプレートを用いた間接法を試みた。コンバータとしてFe, Cd, Ag, In, Alを採用したが、画像の例としてCd箔とIn箔による転写画像を第2図に示す。第2(1,3)図はCdのしきい値反応による高速中性子の透過像であるが、第2(2,4)図では熱中性子の影響もみられる。特に、第2(4)図では、高速中性子によるポリエチレンステップ像に、散乱により生じた低エネルギー中性子による等高線のような像が重なっている。この例では第1(4)図のように試料と撮像系を少し離して撮影すれば散乱線の影響のない画像が得られることが予想される。

### 3. おわりに

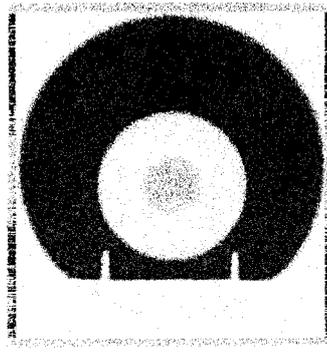
本年度の実験ではこれまで何度か実施したフィルム法と新しくCdやIn箔とイメージングプレートによる間接法を実施した。In箔の実験は平成7年度でも試みたが、画像としてはかなり鮮明になってきた。来年度からはこれら間接法に重点を置いた実験を予定している。これまでの共同研究は実験参加者が少なくなってしまうため、今年度でこのシリーズの研究を終了し、今後はテーマを絞った共同研究として研究組織を更新して実施する予定である。これまで協力頂いた実験参加者および関係者各位に感謝したい。

#### 参考文献

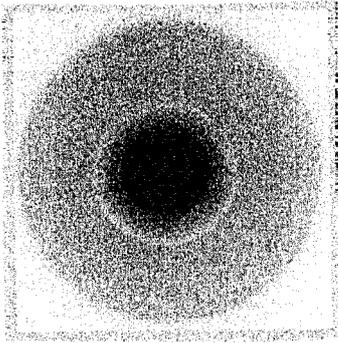
- (1) 藤根他編集: "高速中性子ラジオグラフィ技術の開発に関する研究" 報告書、1991.7.
- (2) S. Fujine et al.: "Development of Imaging Techniques for Fast Neutron Radiography", The 3rd Intn'l Topical Meeting on NR, Luzern, Switzerland, March, 1998. Nucl. Instr. & Meth. A. (in print)



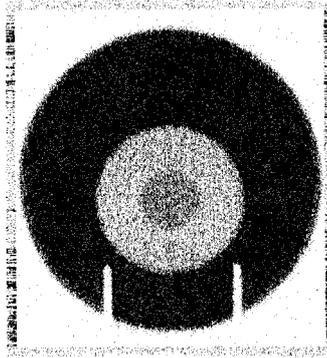
(1)



(2)



(3)



(4)

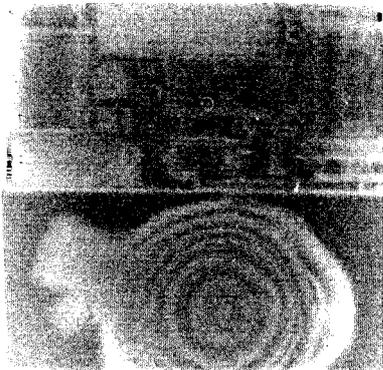
第1図 ポリエチレン円柱のフィルム法による熱・高速中性子の同時撮影画像 (地下GYD実験孔で撮影)

(1) 高速中性子による画像 (試料とフィルムは密着)

(2) 高速中性子による画像 (試料とフィルムの位置間隔は10cm)

(3) 熱中性子による画像 (試料とフィルムは密着)

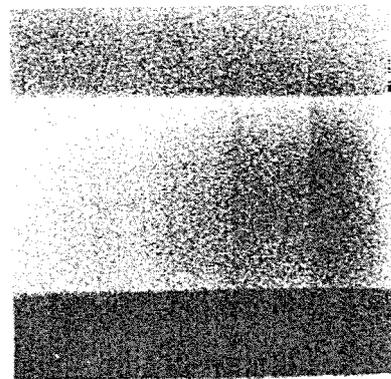
(4) 熱中性子による画像 (試料とフィルムの位置間隔は10cm)



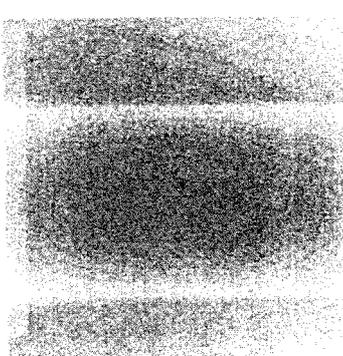
(1)



(2)



(3)



(4)

第2図 転写法による画像 (TC実験孔で撮影)

(1) Cd箔/X線用IP (転写法) による使い捨てカメラと木片の画像 (しきい値反応による高速中性子のみによる放射化)

(2) In箔/X線用IP (転写法) による使い捨てカメラと木片の画像 (熱中性子・共鳴中性子による放射化)

(3) Cd箔/X線用IPによるポリエチレンステップの画像 (Cdしきい値反応を利用しているため高速中性子の透過像のみとなっている)

(4) In箔/X線用IPによるポリエチレンステップの画像 (高速中性子によるステップ像に散乱により生じた低エネルギー中性子による等高線のような像が重なっている)

# 機能性材料の中性子照射効果

テーマ代表者 東大・工・システム量子工学科 寺井 隆幸  
 実験参加者 東大・工・システム量子工学科 田中 知、鈴木 晶大  
 東大・工・原子力工学研究施設 山口 憲司、小野 双葉

**1、序** D-T核融合炉におけるトリチウム増殖材料として、リチウム-ベリリウムフッ化物溶融塩(以下Flibe:  $\text{Li}_2\text{BeF}_4$ , 融点459°C)は、その低い電気伝導率(MHD圧損防止)、高い化学安定性、および冷却材としての利用可能性から、有望な液体増殖材料の一つと考えられている。Flibeを使ったブランケットシステムの問題点としては、LiFと中性子が反応して生成するTFによる腐食、Flibeや気相からの構造材料を通してのトリチウムの透過漏洩が挙げられるが、これらの問題点を解決するために高温照射下Flibe中のトリチウム挙動を明らかにする事が重要となっている。このため、本研究では高温照射下Flibeから気相中へ放出されるTを化学形を分離しながらin-situ測定する事によって、放出トリチウムの化学形、放出速度係数、放出機構について知見を得る事を目的としている。前年度までの実験で、高温照射下Flibeからのトリチウム放出挙動は、表1に示すように体系中の $\text{H}_2$ 濃度とHF濃度に依存して3種類の放出プロセスにより特徴づけられている事がわかっている。すなわち、Flibe中に生成した $\text{T}^+$ を直接気相へTFとして放出するProcess1、Flibe中の $\text{T}^+$ をHTへ同位体交換( $\text{T}^+ + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HT}$ )するProcess2、HTを放出するProcess3である。体系中の $\text{H}_2$ 濃度が小さくHF濃度が高い場合、Process1がトリチウム放出の律速過程となり、TFを非常に小さな放出速度係数で放出する。また、体系中の $\text{H}_2$ 濃度が小さくHF濃度も小さい場合、Process2がトリチウム放出の律速過程となり、体系中の $\text{H}_2$ 濃度に著しく依存した放出速度係数でHTを放出する。さらに、体系中の $\text{H}_2$ 濃度が大きい場合にはProcess3がトリチウム放出の律速過程となり、体系中の $\text{H}_2$ 濃度に依存しない大きな放出速度係数でHTを放出するといことがわかっている。今年度は、Flibeからのトリチウム放出挙動を特徴づけるこれらのプロセスのうち、process2についてさらに詳しい知見を得たので報告する。

表1 トリチウム放出化学形と放出速度係数

■ Process (1) が律速過程 (化学形TF、小さな放出速度係数)  
 □ Process (2) が律速過程 (化学形HT、 $\text{H}_2$ 分圧に依存する中程度の放出速度係数)  
 ◻ Process (3) が律速過程 (化学形HT、 $\text{H}_2$ 分圧に依存しない大きな放出速度係数)

		He <span style="float:right">H<sub>2</sub></span>			
		スweepガス He	スweepガス He+0.01%H <sub>2</sub>	スweepガス He+1%H <sub>2</sub>	スweepガス H <sub>2</sub>
乾燥時間	24~26日	HT(+TF) 放出速度係数 小	HT(+TF) 放出速度係数 中	HT 放出速度係数 大	HT 放出速度係数 大
	3~5日	TF 放出速度係数 小	—	HT 放出速度係数 大	HT 放出速度係数 大
	スweepガス He+2%HF	TF 放出速度係数 小	—	—	—

**2、実験** 実験装置の概略図を図1に示す。東大弥生炉で中性子照射された873Kの溶融塩Flibe中にはトリチウムが生成し、Flibeから放出されたトリチウムは試料表面をスweepするパージガスによって回収される。トリチウムを含んだパージガスについては、アルミニウム片(673K)によってTFをHTに還元しトリチウム濃度(HTとTF両方の寄与分)の時間変化を測定するライン、あるいはモレキュラーシープによってTFを吸着しHTの寄与分だけを測定するラインへ導入した。なお、パージガスとしてはHe + 0.001-100% $\text{H}_2$ ガス(100cc/min)を用いた。本実験においてはProcess2が律速過程となるような $\text{H}_2$ 分圧条件下に注目したため、トリチウムの放出化学形は常にHTでありTFは測定されなかった。

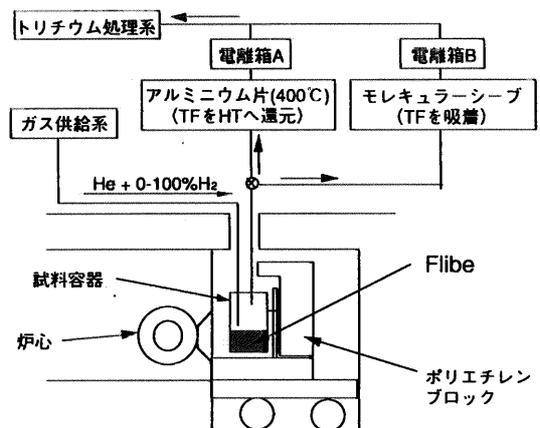


図1 実験装置

**3、結果と考察** 図2に各 $\text{H}_2$ 分圧下におけるHT放出速度の時間依存性について示す。低水素分圧下(He+0-0.1% $\text{H}_2$ )におけるHT放出速度の時間変化は、高水素分圧下(He+1-100% $\text{H}_2$ )におけるHT放出

表2 定常状態におけるHTとTFの放出割合

バージガス中の H <sub>2</sub> 分圧 [Pa]	定常状態における HT放出割合 [%]	定常状態における TF放出割合 [%]
100000	100	0
10000	100	0
1000	100	0
100	17	83
10	7.4	93
1	0.9	99

速度の時間変化と比較して、定常状態におけるHT放出速度が異なりHT放出速度係数は等しいと仮定したフィッティングカーブによく一致した。定常状態においてHTとして放出されないTはTFとして放出されると考える事ができるため、本実験体系で各H<sub>2</sub>分圧下における定常状態での放出Tの各化学形の放出速度の比が表2のように求まった。これにより、Process2が律速過程となっている条件下では、定常状態におけるトリチウム放出化学形が体系中のH<sub>2</sub>分圧に依存して急激に変化しているという事がわかる。なお、実験ではこれらの条件下においてTFの放出は測定されなかったが、これはTFの放出速度係数は非常に小さく、原子炉運転開始後150分間では有為な値として測定できなかったためと考えられる。

また、Process2の同位体交換反応の反応速度は、Flibe中のT<sup>+</sup>、H<sub>2</sub>、H<sup>+</sup>、HT、T<sub>2</sub>の各濃度によって決定されるため、図3に示すように、これらの化学種のFlibeへの吸収・放出を含めた同位体交換反応モデルを考えた。このモデルによると、Flibe中の水素形化学種の濃度(H<sub>2</sub>+HT)は、気相中のH<sub>2</sub>分圧のみに依存し時間的には一定である事がわかり、図4に示すような、本実験体系での定常状態におけるFlibe中のH<sub>2</sub>濃度、HT濃度のH<sub>2</sub>分圧依存性をうまく説明できた。この図より、低H<sub>2</sub>分圧下においては、定常状態におけるHT濃度が、Flibe中の水素(H<sub>2</sub>+HT)濃度を上限値として下がってしまうために、HT放出速度の定常値が低く抑えられると考えられる。また、HT濃度が上がらない理由としては、外部からのH<sub>2</sub>供給が不十分になるためにFlibe中のH<sub>2</sub>濃度が非常に小さくなってしまい、同位体交換反応によるHT生成速度が低下するためであると考えられる。

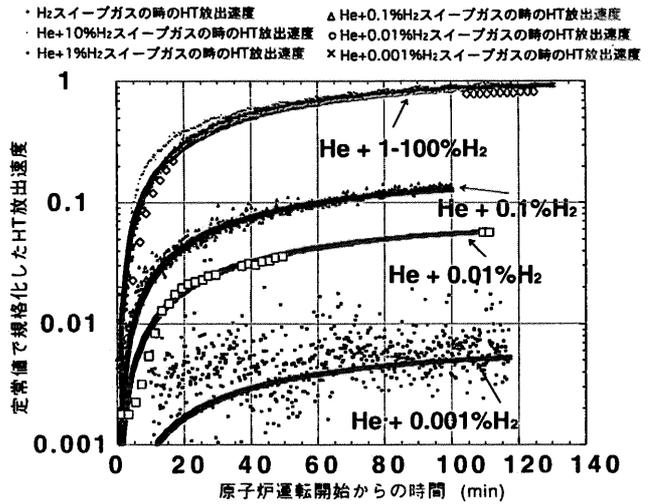


図2 各H<sub>2</sub>分圧下におけるHT放出速度の時間依存性

$$\text{HT生成反応の反応速度 ; } R(2) = k_1[T^+][H_2] - k_2[H^+][HT]$$

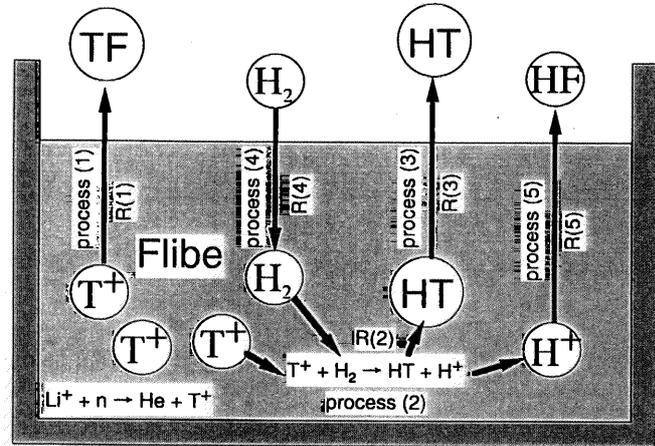


図3 同位体交換反応 (HT生成反応) の反応速度

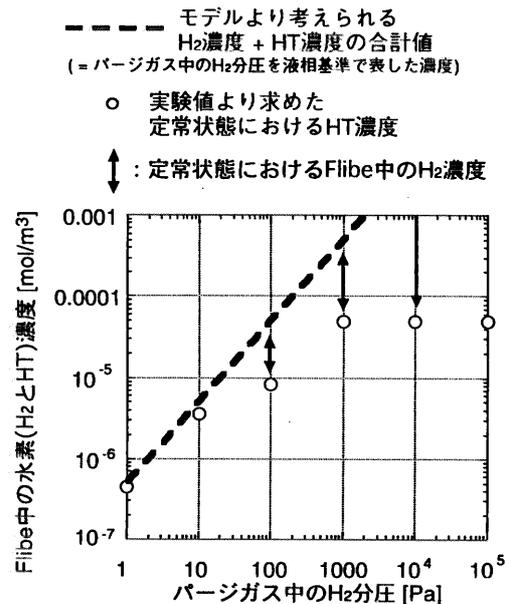


図4 定常状態におけるFlibe中の水素(H<sub>2</sub>とHT)濃度

# 半導体に対する高速中性子照射効果

テーマ代表者 (京大院・工) 木村 逸郎

実験参加者 (京大院・工) 神野 郁夫、金澤 哲、石井 淳也、梶居 裕二

(東大院・工・原施) 斎藤 勲、岡 芳明、岡村 和夫、貴家 憲彦  
寺門 勉、間淵 幸雄、仲川 勉

**1 はじめに** 半導体（特にSi）は、高温及び強放射線場での劣化やソフトエラーの発生が問題となる。これに対し炭化けい素(SiC)は、耐熱、耐放射線に優れた半導体として期待されている。いずれにしてもこれら半導体の中性子照射効果の知見を得ることは重要である。半導体に対する中性子照射効果は古くから研究されているが、なお十分解明されていない。特に各種照射効果の中性子エネルギー依存性は十分定量化されていない。エネルギースペクトルが明確にわかっていて、しかも熱ないし熱外中性子のほとんどないYAYOIは、その意味で半導体の中性子照射効果の研究に好適である。本年度は、(1) SiCについて、照射欠陥のアニール特性を求め、他の照射場の結果と比較した。(2) Siについて、中性子照射中の電気的特性の変化を測定した。以下その概要につき報告する。

**2 照射したSiC中の欠陥 (Si空孔) のアニール特性** 実験に用いたSiC試料は、新日本製鐵社製の4H-SiC単結晶を用いた。中性子照射は、東大炉(YAYOI)と京大炉(KUR)の圧気輸送管及び日本原子力研究所の14MeV中性子源(FNS)で行った。高速中性子の線量の決定のためには、 $^{58}\text{Ni}(n, p)^{58}\text{Co}$ 、 $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$ を用いる放射化箔法により行った。放射化量の測定は、高純度Geガンマ線検出器を用いた。アニール特性の評価のため、照射後の試料を373Kから50Kの間隔で、5分間ずつヘリウムまたはアルゴン雰囲気中で等時アニールをした後、液体窒素温度(LNT)で、ESR及び吸光度の測定を行った。

中性子照射したSiCのESR測定の結果は図1に示すようにT1センター(文献1)が観測される。このT1センターは、等間隔で分離した等方的な5本線で構成され、そのg値は2.0029である。また、吸光度測定では780nm付近に顕著な吸収帯が現れる。そして、この欠陥のアニール特性を測定すると上記ESR信号と780nmの吸収帯が同様の特性を示す。このことより、4H-及び6H-SiCに対して中性子を照射した場合も、T1センターが生じ、かつ、780nm吸収帯の起因となる欠陥も同種のものであることを示唆している。この欠陥構造としては、単一Si空孔が考えられることはすでに報告している(文献2)。今回は、YAYOI以外に、KURとFNSで照射したSiC中に生じるこの欠陥のアニール特性を調べた。その結果、細部には違いがあるがほぼ同様の結果を得た。これらの結果を第2図及び第3図に示す。中性子エネルギースペクトルがこの欠陥に対してどのように影響するかの定量的検討は今後の課題である。

**3 中性子照射中のSiの電気的特性の変化** 中性子照射中にSi中に生じた欠陥がSiの電気的特性にどのような影響を与えるかを調べるため、YAYOI及びLINAC(京大炉)で中性子照射中に電気的特性を測定した。Si試料は、比較的实验例の少ない高抵抗のものを用いた。その測定結果を第4図に示す。この結果からは、Siの電気抵抗率の増加の主たる原因はキャリア濃度の変化にあることを示している。中性子エネルギースペクトルおよび制動放射線がこれらの特性にどのように影響するかの定量的検討は今後の課題である。

4 まとめ ESRと吸光度で求めたSiC中に照射によってできた欠陥のアニール特性は、中性子照射場を原子炉と14MeVと変えても、大略同様である。

Siについては、中性子照射中の抵抗率の増大の主たる原因がキャリア濃度の減少によることが分かった。

- 参考文献 1 H. Itoh et al., J. Appl. Phys. 66, 4529 (1989)  
2 石井他、原子力学会、1997年秋の大会

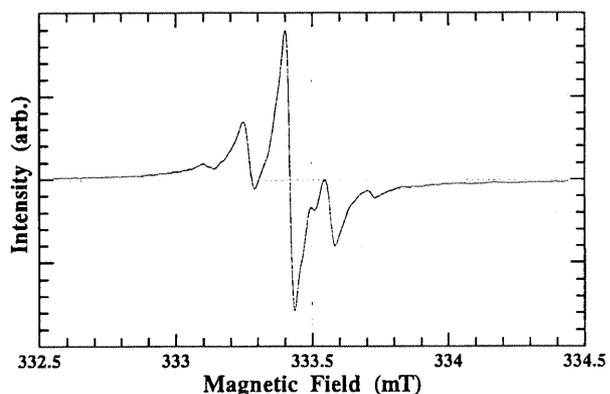


図1 YAYOIで照射したSiCのT1センターのスペクトル

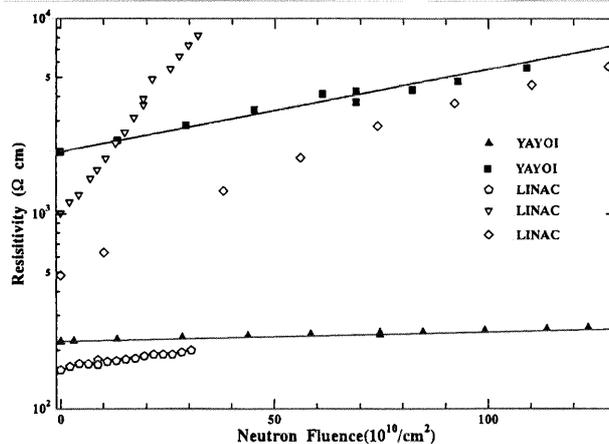


図4 (a) 中性子照射したSiの電気抵抗率の高速中性子フルエンス依存性

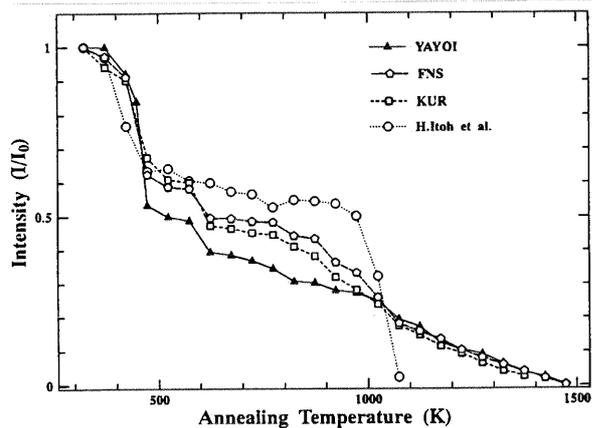


図2 中性子照射したSiCのT1センターのアニール温度依存性

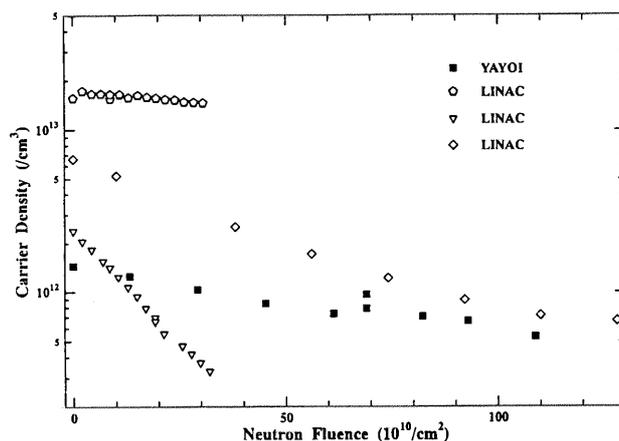


図4 (b) 中性子照射したSiのキャリア濃度の高速中性子フルエンス依存性

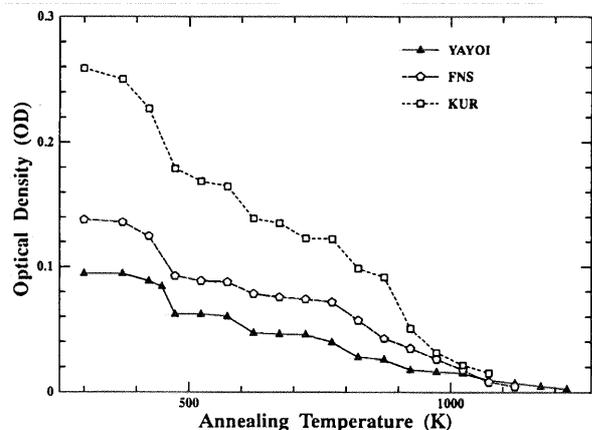


図3 中性子照射したSiCの780nm吸収帯のアニール温度依存性

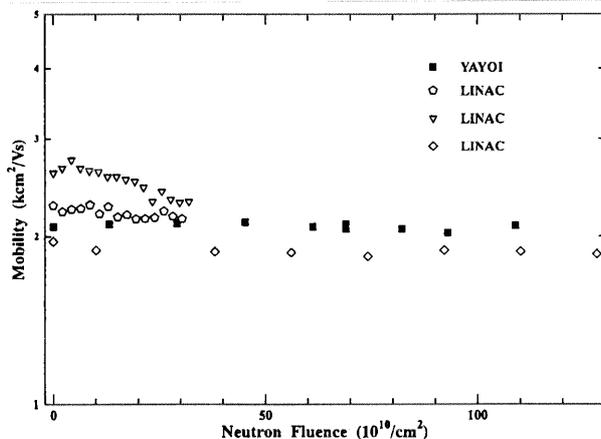


図4 (c) 中性子照射したSiの移動度の高速中性子フルエンス依存性

## 欠陥探傷への高速中性子ラジオグラフィの応用

(研究テーマ代表者) (東大・工・原施) 宮 健三  
(施設内幹事) (東大・工・原施) 吉井 康司  
(実験参加者) (東大・工・原施) 上坂 充、高瀬 健太郎、  
中山 匡、木下 健一  
(神戸大) 竹中 信幸、浅野 等、水端 稔

**要旨** 高速中性子ラジオグラフィにより軽水炉の安全性研究で重要な模擬燃料集合体中の気液二相流の流れの可視化を行った。可視化結果を画像処理し、CT再構成法による3次元ポイド率分布の可視化が可能であることを示した。

**1、緒言** 高速中性子線は金属をよく透過し水によく減衰されることから、高速中性子ラジオグラフィは金属容器内の水と気体の二相流の可視化に適している。熱中性子ラジオグラフィでは水の減衰が大きく、BWRの運転条件のような水の割合が少ない（高ポイド率）の二相流の可視化に適しており既にCT再構成による3次元の可視化結果を報告[1],[2]しているが、PWRで問題となるような水の割合の多い（低ポイド率）の二相流の可視化は水の減衰が大きすぎるため困難である。本研究では、模擬燃料集合体中の低ポイド率二相流の可視化を目的として高速中性子ラジオグラフィの実験を行った。また他の手法では困難な水銀の流れの可視化の検討を行ったがタフト製作法を現在検討中である。

**2、実験方法** 実験は、FCとFCOポートで冷却型CCDカメラによる高速中性子ラジオグラフィシステム [1] を用いて行った。実験装置は、軽水炉の安全性研究でよく用いられる4×4 ロッドバンドルでマルセル型スパーサを使用したものを用いた。実験装置のスパーサはステンレス鋼性で他の部分はアルミ製である。実験装置、方法、画像処理法については、比較のため熱中性子ラジオグラフィで用いたもの[2], [3]と同様とし、熱中性子では水の減衰が大きく可視化できない条件で実験を行った。CT試験は、1実験条件について行い、試験部を1.8度ずつ25回で45度回転させて対称性を仮定して3次元の再構成をフィルタードバックプロジェクション法で行った。また多数の実験条件で1枚の画像を撮影し、画像処理によって1次元の管断面平均ポイド率分布を可視化した。

**3、実験結果と考察** CT試験で得られた25枚の画像において40枚の断層分布を再構成し、3次元の分布を可視化した。Fig. 1 にスパーサ内の断面における二相流の可視化例を示す。スパーサ部は金属製の複雑な流路であるが、金属を透過して水の挙動がよく観察できた。図は水の割合を示しており、4×4の模擬燃料棒の間を二相流がほぼ均一で四隅が少し気体の割合が多くなって流れていることがよく解る。Fig. 2 には水の流量を一定として、気体流量を変化させたときの管断面1次元ポイド率分布の可視化例であり、スパーサ部でポイド率が増加することが解る。このような条件での可視化は従来の方法では困難であり、今後このような可視化結果を解析していく予定である。

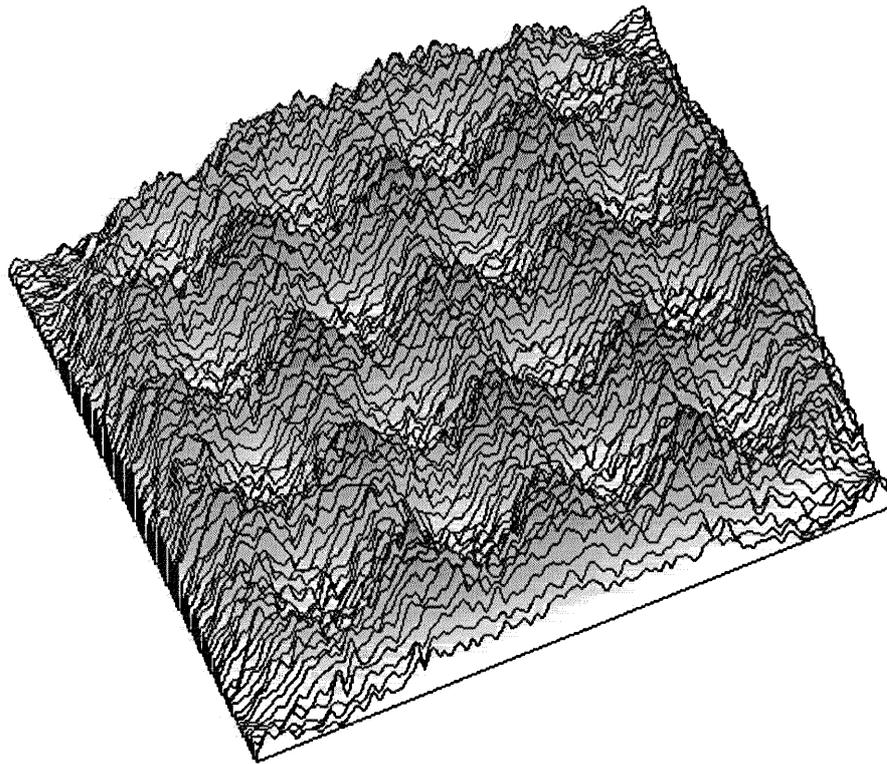


Fig.1 A slice of 3-D void fraction distribution in a rod bundle.

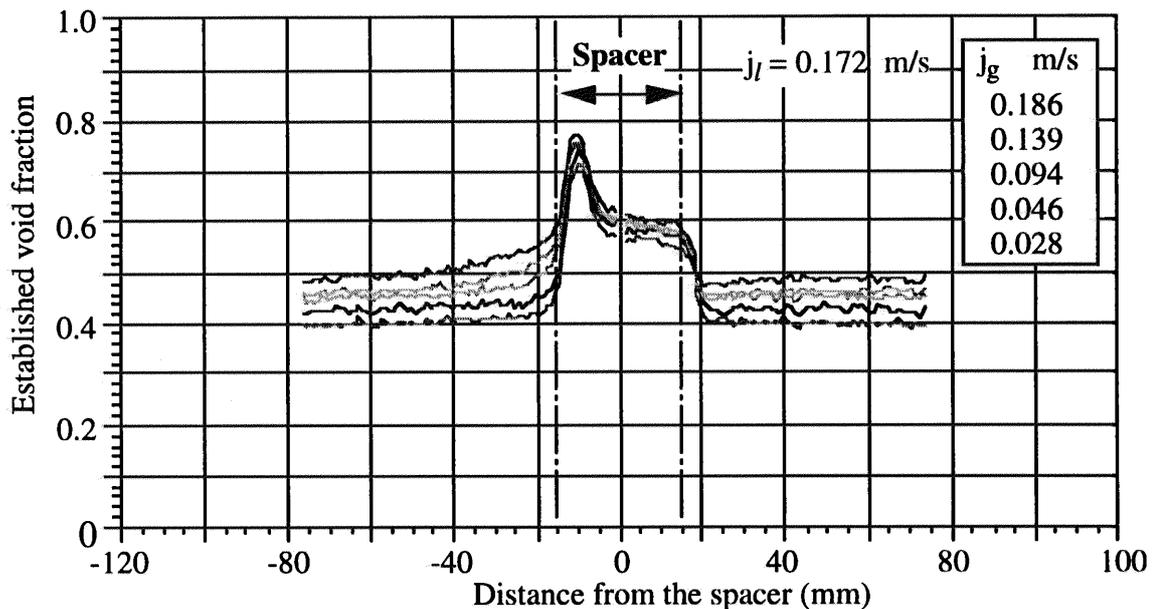


Fig.2 Examples of cross sectional averaged void fraction distributions in a rod bundle.

#### 4、参考文献

- [1] 吉井、東京大学博士論文
- [2] Takenaka et al., NIM A 377, 1996, pp.115-118.
- [3] Takenaka et al., "5th. World Conference on Neutron Radiography", Deutsche Gesellschaft Für Zerstrahlungsfreie Prüfung e.V., 1997, pp.118-125.

#### 5、研究発表

- (1) Takenaka et al., 3rd. Topical Meeting on Neutron Radiography, (1998).
- (2) Takenaka et al., 1st. European-Japanese Conference on Two-phase Flow, (1998).

# 材料の高速中性子照射損傷基礎過程

研究テーマ代表者（東大・工）関村直人

実験参加者（東北大・金研）四竈樹男、栗下裕明

（九大・応力研）森下和功

（東大・原総センター）岩井岳夫

（東大・工）河西 寛、荒井良夫、与那嶺真一、中村 俊、  
山口博英、沖田泰良、森岡智昭、

## 1. 緒言

本研究では、軽水炉压力容器用鋼材の照射脆化挙動を予測するモデル構築のために、鉄基モデル合金に対して、高速中性子照射及び重イオン照射を行い、照射硬化に対する照射量、照射温度、照射速度、銅、炭素等の不純物の効果について考察した。

特にここでは、積分量である中性子フルエンスあるいは  $dpa$  などの単位で評価されてきた照射脆化及び硬化挙動に対する照射速度（フラックス）の影響を、物理的な機構に基づいてモデル化することを主たる目的とした。この成果は、一般的なサーベイランス試験あるいは材料試験炉による材料データをより高度に生かすことに加え、イオン照射試験を中性子照射を受ける材料評価手法に積極的に適用してゆくための、基盤を形成することにもつながると考えている。

## 2. 実験

試料として高純度鉄（99.999%）、電解鉄（99.9%）、電解鉄と高純度銅からアーク溶解により溶製したFe-0.1, 0.3, 0.6, 0.9 wt.% Cu合金を用いた。この材料を弥生炉グローリーホールにおいて、240℃で、 $0.9 \times 10^{17} \text{ n/cm}^2$  の照射を行った。なお照射温度は、コルダーホール型ガス炉の使用温度を念頭に置いたものである。照射試料について、超微小硬度計を用いてマイクロビッカース硬度を測定して照射硬化を評価した。

この他、同一の試料を東京大学重照射照射施設（HIT）内のタンデトロン加速器を使用して、4 MeV  $\text{Ni}^{3+}$  イオン照射を行った。照射温度は240℃の他に、軽水炉の使用温度である290℃でも実施している。照射量依存性は0.003~20 dpa の範囲内で、照射速度を  $\sim 2.0 \times 10^{-4} \text{ dpa/sec}$  一定とした。照射速度依存性については照射量を0.2 dpa 一定として照射速度を  $0.9 \times 10^{-6} \sim 2.0 \times 10^{-3} \text{ dpa/sec}$  で変化させた。照射温度は240℃、290℃、400℃である。これらの場合、損傷領域が試料表面近傍に限定されることから、損傷深さピークと測定精度を考慮して測定荷重を5.0gとした。また照射試料を等時焼鈍し、極微小硬度測定を行うことで脆化の要因の熱的安定性の評価も行った。

## 3. 結果

### （1）照射効果の照射量依存性

図1に240℃での高速中性子及び重イオン照射による硬化の損傷量依存性を示す。鉄

—銅合金では低損傷量からのCu集合体の核生成が高損傷量にかけて継続しており、高損傷量においても硬化が高くなった。これに対して、高純度鉄は常に電解鉄より硬化量が小さく、欠陥集合体の形成には侵入型不純物元素の影響がある。

弥生炉で達成できる高速中性子フルエンスでは損傷量は低いにもかかわらず、重イオン照射と比較して、照射硬化が大きくなることが明瞭に示された。これは照射速度の違いが主として硬化を引き起こすミクロ種の形成過程を促進していると考えられる。

### (2) 照射硬化の損傷速度依存性と照射温度の影響

図2は、290℃での0.2 dpa 重イオン照射による硬化の照射速度依存性を示したものである。鉄—銅合金と電解鉄では低損傷速度で硬化が高くなる傾向がある。特にFe—0.1 wt.% Cu合金と電解鉄では低損傷速度で高い硬度上昇がみられた。高純度鉄の照射硬化が照射速度にほとんど依存しないことから、不純物の炭素が低照射速度で点欠陥集合体の形成を強く助長すると考えられる。240℃及び400℃においても、これらと同様に低損傷速度で硬化が高くなる傾向が見られた。

### (3) 照射硬化のモデリングと予測

鉄基合金中においては、銅は空孔機構によって運ばれ、銅集合体を形成する。したがって、照射速度に依存する空孔濃度に硬化量が強く依存していると考えられる。鉄—銅合金の銅集合体による硬化量を電解鉄の照射硬化との差分と仮定すると、この機構に基づいて、銅集合体の成長過程を速度論的に表現できる。このモデルによって銅集合体サイズの照射速度依存性を導いたところ、弥生炉の低い照射速度での硬化促進をイオン照射データからほぼ正確に予測することができた。今後は、モデルの中に欠陥集合体形成過程を取り込むとともに、照射試料の焼鈍による硬化の回復測定結果とモデルによって予測される硬化（脆化）要因の熱的安定性を検証する予定である。

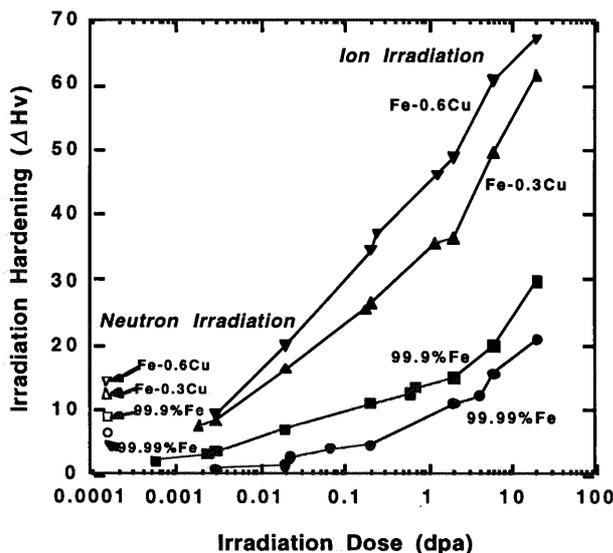


図1 240℃での弥生高速中性子照射及び4 MeV Ni<sup>3+</sup> イオン照射による純鉄及び鉄—銅合金の照射硬化の照射量依存性。

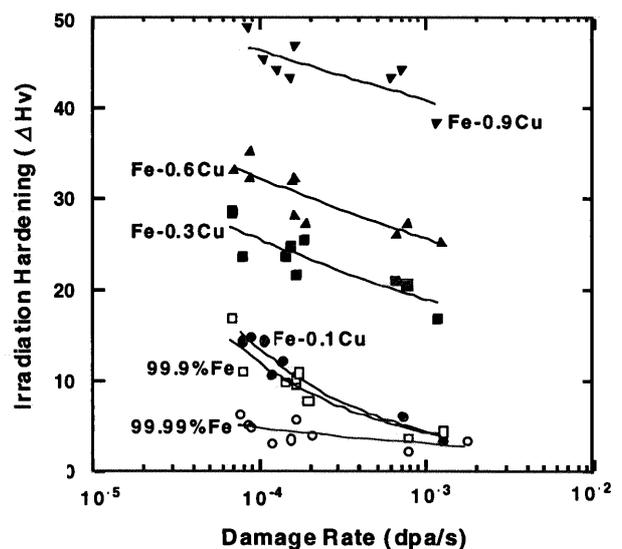


図2 290℃での4 MeV Ni<sup>3+</sup> イオン照射による純鉄及び鉄—銅合金の照射硬化の照射量依存性。

# プラズマ対向材 (PFM) に対する中性子照射効果

—SiO<sub>2</sub>の炉心におけるその場発光分光—

テーマ推進者	(名大・理工総研)	田辺 哲朗
実験参加者	(東大・工・原子力)	田中 知
	(東大・工・原施)	山口憲司
	(名大・理工総研)	吉田朋子
	(名大・工・原子核院生)	大森章弘、酒井幹夫、 原 孝伸

## 1. はじめに

中性子照射によるセラミックスの損傷は核融合炉の窓材、光計測機器、絶縁材料にとって非常に重要な問題である。とりわけ中性子照射のダイナミック効果として中性子照射中に絶縁体の電気抵抗が大幅に減少する効果が注目を集め緊急の研究課題となってきた。本研究では原子炉心におかれたセラミックスからの発光をその場観察し、中性子照射による着色中心の生成並びにその他の格子欠陥の研究を行うものである。セラミックスの発光はとりもなおさず電子励起に起因しており、電気抵抗の変化にみられる中性子のダイナミック効果を直接観察する方法でもあり新しい知見が得られるものと期待される。

これまでの研究により、炉心におかれたセラミックスが様々の発光スペクトルを与えることが分かった。本年度は特にこれらの発光とシリカガラス中のOH基濃度との関連性について考察した。

## 2. 実験の概要

試料としてOH含有量の異なる2種類のSiO<sub>2</sub>ガラス (Silica glass A, Silica glass B) を用意した (図1参照)。試料は弥生炉心におかれ、原子炉照射により引き起こされた発光を光導管・光ファイバーを通して分光器に導入させた。分光した光を光電子増倍管を用いて検出した。

## 3 結果と考察

図2に炉心に置かれた2種類のSiO<sub>2</sub>ガラスからの200nmから700nmの範囲に現れる発光スペクトルを、照射初期及び引き続く3つの異なった中性子量を照射した後について示した。両試料とも2つのピークを持つ発光スペクトルが見られるが、発光原因としてはその波長から、300nm付近の発光はエキシトンによる発光、430nm付近の発光は酸素空孔に起因するカラーセンターによる発光と推定される。つまり発光スペクトルは炉内のγ線により励起された電子により励起されて発光に至る過程を反映しているものと考えられる。図2から300nm付近のスペクトルは照射時間によって余り変化していないが430nm付近のピークを持つ発光は中性子照射に従って変化していることが分かる。

430nm付近の発光強度と、シリカ中のOH濃度及び中性子照射量との関係について詳しく調べた結果が図3である。Silica glass A(OH低濃度)の発光強度はSilica glass B(OH高濃度)の2倍以上であるが、これはSiO<sub>2</sub>ガラスにAr<sup>+</sup>を照射した際に現れる450nm付近の発光がOH含有濃度の低い試料ほど強くなるというMogulらの結果と良く一致している。Silica glass Aについては、430nm付近の発光強度は照射量に対して殆ど変化しないことから、この発光はあらかじめこの試料の中に存在する酸素空孔に起因するものと考えられる。一方、Silica glass Bについては430nm付近の発光強度はSilica glass Aに比べて低い、照射に従って強度が増加していることが分かる。これは中性子照射による弾き出しの効果により酸素空孔が照射量に伴って増えるため発光強度が強くなると説明され、シリカガラス中のOH基の濃度が高いほど弾き出しによる酸素空孔の形成は促進されることを示唆している。

以上、本研究から酸素空孔に起因する430nm付近の発光はシリカガラス中のOH濃度

に強く影響を受けることが見いだされた。しかしこの発光には、あらかじめシリカガラス中に存在する酸素空孔と中性子照射により生成した酸素空孔の双方が関与しているため、弾き出しによるextrinsicな酸素空孔の生成にOH基がどのようにかわるかを今後詳しく調べ解明するつもりである。

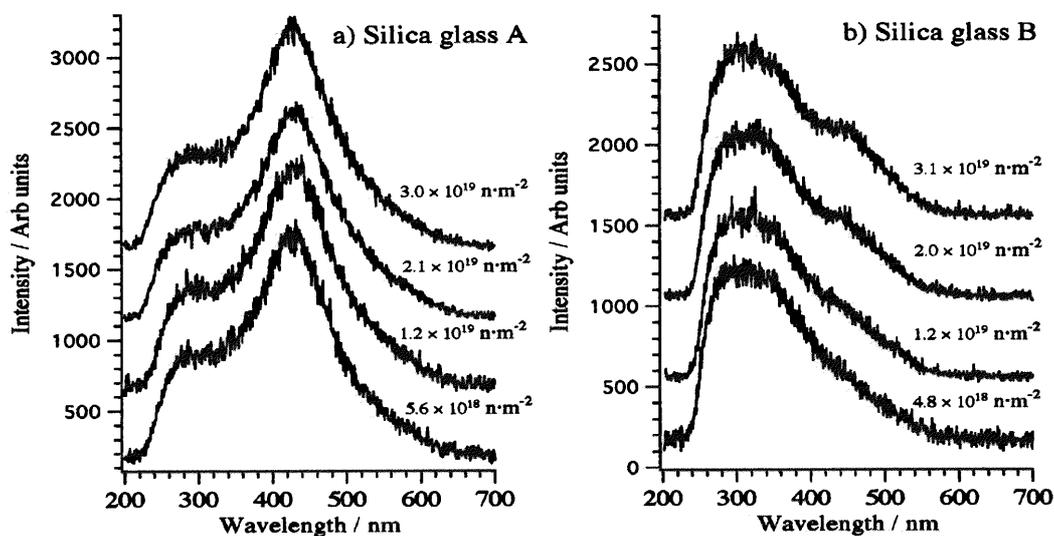


図2 炉心に置かれたシリカガラスからの発光スペクトル

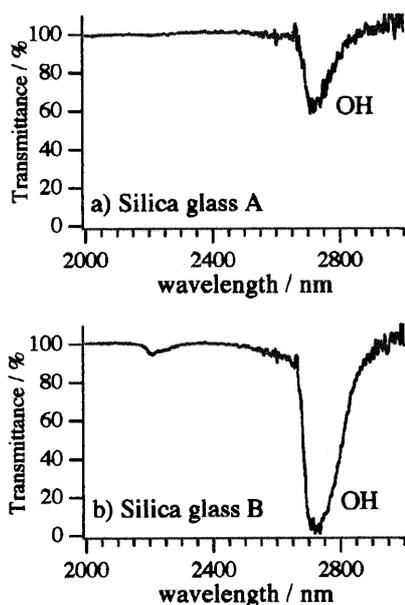


図1 シリカガラスの光透過スペクトル

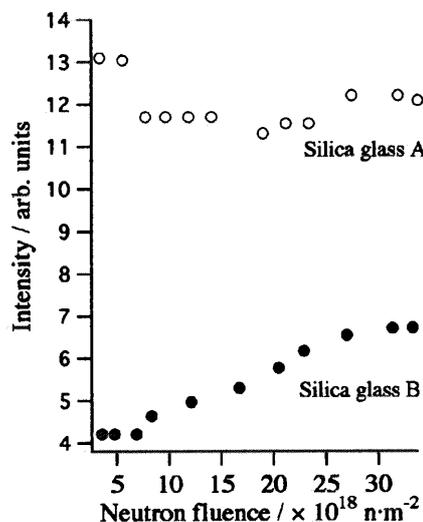


図3 弥生炉心に置かれたシリカガラスからの430nm付近の発光の照射量依存性

#### 4 研究発表

1. T. Tanabe: Photone Emission Induced by Neutrons and Ions: Proc. US/Japan Workshop LA-UR-92-4400(1992)229, Santa Fe, New Mexico Nov. 11-14, 1992
2. T. Tanabe, T. Iida, S. Tanaka, K. Yamaguchi and M. Yamawaki: Neutron induced luminescence of ceramics, J. Nucl. Mater. 212-215(1994)pp.1050-1055
3. T. Tanabe, M. Fujiwara, T. Iida, S. Tanaka, K. Yamaguchi and M. Yamawaki: Neutron Induced Luminescence of Insulators, Fusion Eng. Design 29(1995)pp.435-441
4. T. Tanabe: Ion induced luminescence of  $Al_2O_3$ , Proc. Intern Sympos. Materials Chemistry in Nuclear Environment, March 14-15, 1996, Tsukuba, Japan, pp.803-813
5. T. Tanabe, M. Fujiwara, K. Miyazaki: Energetic particle induced luminescence of  $Al_2O_3$ , J. Nucl. Mater. 233-237(1996)pp.1344-1348
6. M. Fujiwara, T. Tanabe, H. Miyamaru and K. Miyazaki: Ion-induced luminescence of silica glasses Nucl. Instr. Methods, B116(1996)pp.536-541

## バック・ツー・バック (BTB) 核分裂検出器を用いた TRU 核種の核断面積の測定 (Np-237 の測定)

テーマ推進者 東大・工・原施 山脇道夫  
 実験参加者 東大・工・原施 山口憲司 齊藤 勲  
 動燃・大洗 若林利男 大川内 靖

### 1. 研究の目的

使用済核燃料より取り出される廃棄物の中には長半減期の TRU 核種 (Np-237: 約 200 万年、Am-241: 約 430 年、Am-243: 約 7400 年等) が含まれる。高速炉はこれら核種を核反応により消滅することが可能である。しかし、これら TRU 核種の核断面積については、核データライブラリー (JENDL、ENDF/B 等) 間に違いがあるとともに、その精度検証に必要な実験データも少なく、かつ実験データ間の相違も大きいのが現状である。このため、高速炉における TRU 消滅処理技術の確立には、核断面積の精度向上 (特に高速炉のエネルギー領域) が不可欠となる。

そこで本研究では、「弥生炉」を用いて、バック・ツー・バック (以下 BTB と略す) 核分裂検出器<sup>1,2)</sup>を用いて TRU 核種の核分裂断面積を測定し、TRU 核種の核反応断面積の精度向上を図ることを目的とした。平成 9 年度は弥生炉用に製作した BTB 核分裂検出器を用いて、グローリーホールにおいて Np-237 の核分裂断面積の再測定を行った。

### 2. 実験方法及び測定

本実験は、BTB 核分裂検出器を用いて測定を行った。BTB 核分裂検出器は、測定対象となる TRU 核種 (Np-237、Am-241、Am-243 等) と断面積の非常によくわかっている標準核種 (U-235 等) を背中合わせに装填した核分裂計数箱であり、それぞれのカウント数の比から測定対象核種の断面積を求めるものである。図 1 に BTB 検出器を示す。本検出器は直径 20mm の弥生炉グローリーホールに挿入可能なように、動燃大洗で新たに製作した小型 BTB 検出器 (直径 16mm) である。

測定は、グローリーホール中心と中心より 50mm 上、中心より 100mm 上の 3 点で行った。図 2 に弥生炉の断面図を示す。測定位置を複数点設定したのは、異なるスペクトルで断面積の評価を行うためである。測定は、それぞれの測定点で 5 回ずつ行った。また、検出効率等の違いを補正するため、試料の位置を入れ替えて (裏表を逆にして) も同数回測定している。今後の予定としては、連続エネルギーモンテカルロコード MVP<sup>3)</sup>を用いて計算したグローリーホール内の中性子エネルギースペクトルを使って評価済核データライブラリーの値を 1 群に縮約し、解析した測定結果と比較及び評価を行う。

#### 参考文献

- (1) K. Kanda et al., J. Nucl. Sci. Technol., 24, 423 (1987).
- (2) M. Baba et al., J. Nucl. Sci. Technol., 26, 11 (1989).
- (3) 森貴正、中川正幸、" MVP/GMVP 連続エネルギー法及び多群法に基づく汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード"、JAERI-Data/Code 94-007 (1994 年 8 月)

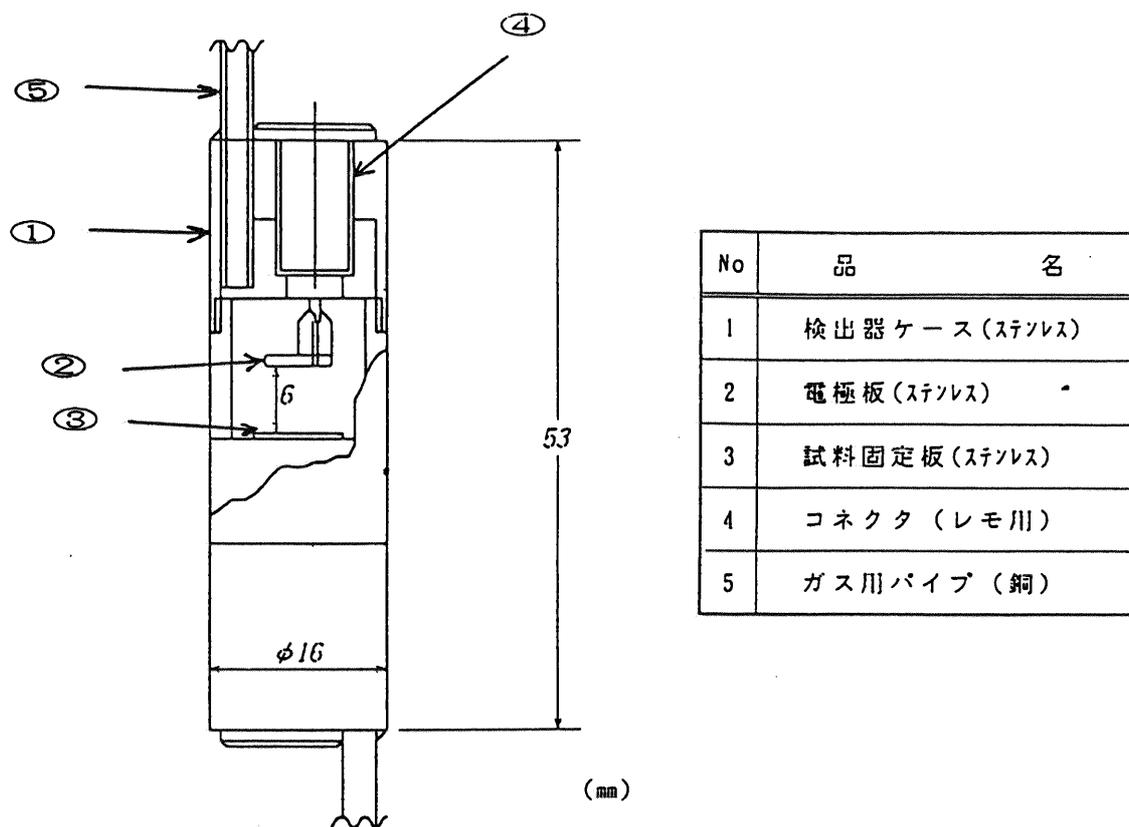
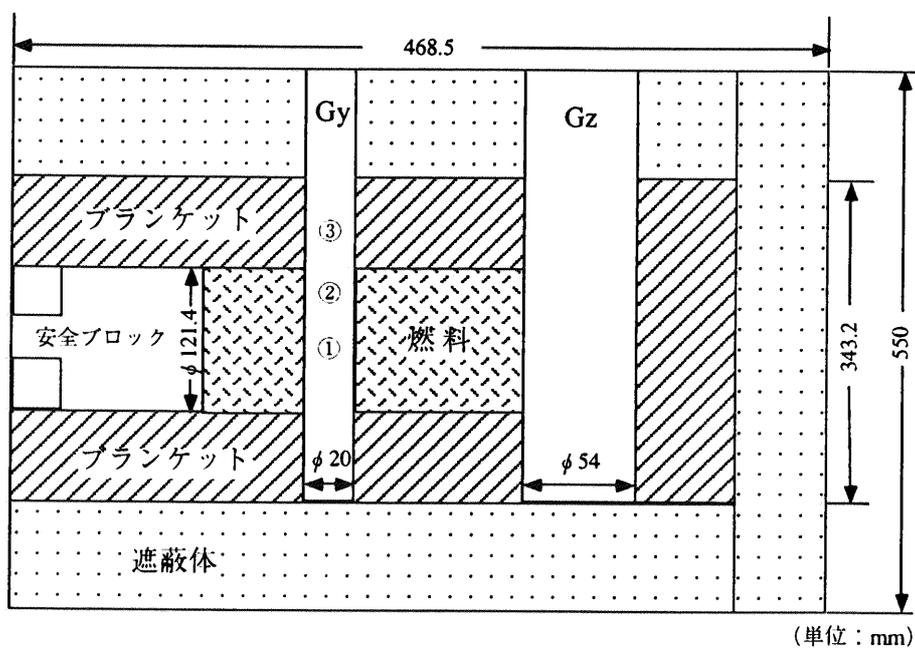


図1 .BTB 検出器の構造図



Gy: グローリーホール      Gz: グレージングホール

照射位置 ① 炉心中心 ② 50mm上 ③ 100mm上

図2 . 弥生炉の概要と照射位置

## 高純度 Ge 検出器による放射性核種の *in situ* 測定法 (現場測定) の開発に関する研究

テーマ代表者 (東大・工・原施) 越塚誠一  
 実験参加者 (島根 C.C.) 寺井邦雄  
 (東大・工・原施) 斉藤 勲、寺門 勉、仲川 勉、間淵幸雄

### I. 研究目的

弥生炉を用いた炉心冷却空気の放射化により生成した放射性核種の測定実験では、過去粒子状核種は検出されていない。揮発性核種  $^{38}\text{Cl}$ 、 $^{82}\text{Br}$  等及びガス状核種  $^{41}\text{Ar}$  が検出されている(文献 1)。検出した揮発性核種はチャコール・カートリッジで捕集できる。それら核種を濃縮して低濃度まで測定が可能である(文献 2)。放射線管理上は揮発性核種については現在までに得られたデータが利用できる。ガス状核種は現在濃縮方法がないので、弥生炉では従来約 12 リットルの容積を持つ容器に連続的に空気を流し、容器内に NaI(Tl) 検出器を差込み測定している。その時の  $\gamma$  線スペクトルから  $^{41}\text{Ar}$  の定性定量を行っている。また、 $^{19}\text{O}$ 、 $^{16}\text{N}$  等の存在も推定されるが NaI(Tl) 検出器の検出感度から定性定量は難しい。そこで、高分解能の Ge 検出器を用いた精度の良い測定が望まれる。そのため、今回高純度 Ge 検出器を用いた実験を実施した。

### II. 測定方法

炉心冷却ガス・ダストモニタ及び炉心冷却系の配置を Fig. 1. に示す。使用した検出器、機材及び実験状況の詳細は以下である。

(1) 連続的に空気を流す連結管の内径：25.4 mm。(2) 流量：310 リットル/分。(3) G-M ダストモニタろ紙：50 mm  $\phi$  固定式。(4) 外壁鉛 5 cm 厚さの容器の内容積：12 リットル。(5) ガスモニターモニタ容器の内容積：12 リットル。(6) G-M 計数管：富士通、PC-50、2.3 MeV 以上の  $\beta$  線に対する検出効率 9.2%。(7) NaI(Tl) 検出器：富士通、PS-532、(7/4)''  $\times$  2''、分解能 9%。(8) 携帯型高純度 Ge 検出器：ORTEC、GEM-35195-S、相対効率 40%、分解能 2.0 keV。

今回、上記各機器等を Fig. 1. に示す通りシリーズにセットして、実験を行った。

炉の運転条件は、2 kW 約 1 時間で、測定  $\gamma$  線エネルギーの範囲を 2 MeV と 10 MeV とに変えて、合計 2 回の運転を行った。なお、Ge 系の設置による冷却エアモニタの流量等の変化はなかった。また、配管は密閉されており、漏えいはなかった。

### III. 実験結果

2kW 運転での、炉心冷却空気の放射化により生成した放射性核種、濃度、核種の形状は文献 1、2 も参考にすると、Table 1 であった。Fig. 1. での計数時間 3,000 秒の  $\gamma$  線スペクトルを測定した。~2 MeV までの範囲では、 $^{41}\text{Ar}$  (半減期 1.83 時間) が検出された。また、バックグラウンドとして自然界に含まれる  $^{238}\text{U}$  系列、 $^{232}\text{Th}$  系列及び  $^{40}\text{K}$  も観測した。~10 MeV までの範囲では、 $^{41}\text{Ar}$  の他に  $^{16}\text{N}$  (半減期 7.13 秒) が検出された。 $^{41}\text{Ar}$  の濃度はガスモニタの値から  $1.9 \times 10^{-2} \text{ Bq/cm}^3$  であった。 $^{16}\text{N}$  は放出  $\gamma$  線エネルギーが 6.129 MeV と非常に高く、4.5 MV ダイナミトロン加速器を用い、 $^{27}\text{Al} (p, \gamma) ^{28}\text{Si}$  反応から求めた、Ge 検出

器の高エネルギー部分の効率（文献3）を使用して  $6.0 \times 10^{-3} \text{ Bq/cm}^3$  の濃度と推定された。

#### IV. まとめ

今回の実験では  $^{16}\text{N}$  の濃度（ $^{41}\text{Ar}$  に対する相対値）が過去のデータの約3倍となった。これは  $^{16}\text{N}$  の  $\gamma$  線エネルギーが高く、検出器の効率が低くなり、計数值（ピーク面積）が少なくなるための統計誤差の増加及び過去に用いた効率が低エネルギーからの外挿によったため誤差が大きかったためと推察される。今回用いた検出器の効率は過去使用したものの約3倍高く、測定値の統計誤差が少なく、9 MeV まで校正されている（文献3）ので、 $^{16}\text{N}$  の濃度は、今回の  $6.0 \times 10^{-3} \text{ Bq/cm}^3$  に修正すべきと考えられる。 $^{38}\text{Cl}$  については、過去に検出されたが、今回は効率が約3倍高いにもかかわらず検出されなかった。これは、炉内挿入物、気象条件などの差異によると思われる。

Table 1. Activity and material description of each nuclide contained in cooling air of reactor YAYOI (2 kW thermal output)

Nuclide	Activity Bq/cm <sup>3</sup>	Material description
Gross $\beta$	$< 7.4 \times 10^{-7}$	Floating dust
Br-80	$1.1 \times 10^{-5}$	Volatile
Br-82	$2.6 \times 10^{-7}$	Volatile
Cl-38	$1.1 \times 10^{-5}$	Volatile
Ar-41	$1.9 \times 10^{-2}$	Gaseous
N-16	$6.0 \times 10^{-3}$	Gaseous

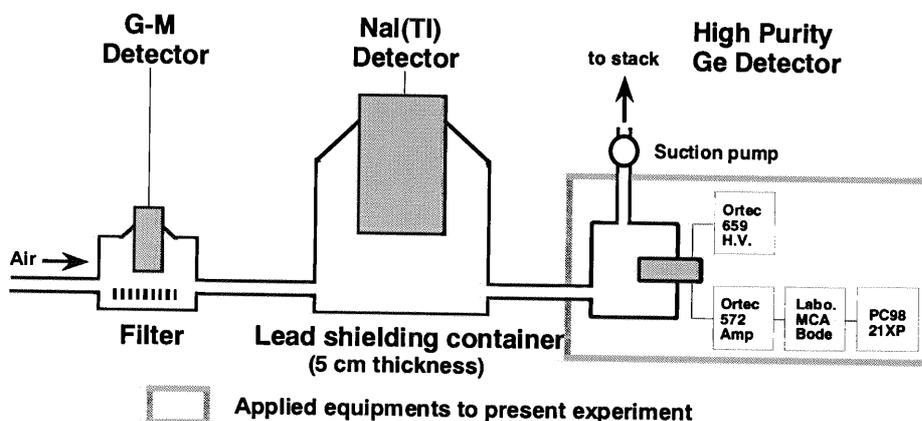


Fig. 1. Schematic diagram of coolant gas monitor

#### 参考文献

- (1) “炉心冷却空気中の放射化物の測定について”、東京大学工学部附属原子力工学研究施設、原子炉本部、部内MEMO、1986.
- (2) “「弥生」定常運転時の  $^{38}\text{Cl}$  等の放出について”、東京大学工学部附属原子力工学研究施設、原子炉本部、部内MEMO、1980.
- (3) K. Terai et al. “Efficiency Calibration of a high purity Ge Detectors”, Fast Neutron Laboratory Progress Report, Tohoku Uni. NETU-63, 22, 1995.

## 核融合炉材料と水素の相互作用に関する研究

テーマ代表者 東大院・工系 山脇道夫

実験参加者 東大院・工系 山口憲司 鈴木敦士

### 1. はじめに

核融合炉開発において、トリチウム燃料サイクルの確立は極めて重要な課題である。そのため、リチウムセラミックスブランケット内で生成した水素同位体であるトリチウムがスイープガス中に放出されるに至る各移行過程に関する研究や、照射欠陥やスイープガス中の水素または水蒸気が各移行過程に及ぼす効果に関する研究、また、Li 損失の観点から、スイープガス中でのリチウムセラミックス蒸発挙動に関する研究等が現在までに行なわれている。本研究では、高速中性子科学研究設備の一装置として導入された接触電位差法による仕事関数測定装置（高温ケルビン計）を用い、照射やスイープガスが増殖材表面に及ぼす効果をよりミクロな視点から解明することを目的としている。試料としては  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  を用い、高速中性子源炉「弥生」グレイジング・ホールにて照射を行なった。前年度までに、装置内外からのノイズを低減して高温（ $\sim 700\text{ }^\circ\text{C}$ ）での接触電位差測定を可能にし、 $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  - Pt 間接触電位差を水素導入下で測定した。今回はそれに引続き、導入水素の濃度や流量をいろいろに変化させて測定を行なった結果について報告し、雰囲気ガスが  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  表面に及ぼす効果についてより詳細に議論する。

### 2. 実験

高温ケルビン計では振動容量法に基づいて、試料と参照電極（本研究では Pt）の間の接触電位差（CPD）を測定する。加熱された  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  試料と Pt 参照電極によって Dynamic Condenser が構成され、そこから発生する交流信号を測定系において積分フィードバックシステムを用いて測定する。また、雰囲気は、He ガスと  $\text{He}+\text{H}_2$  混合ガスの流量比を調節することで制御し、Dynamic Condenser の下流側で YSZ ( $\text{Y}_2\text{O}_3$  安定化  $\text{ZrO}_2$ ) 酸素計、露点計を用いて酸素分圧、水蒸気濃度をそれぞれ測定した。なお、同様の条件下でのブランケットテスト、YSZ-Pt 間 CPD 測定、Au-Pt 間 CPD 結果より、水素導入時の参照電極の仕事関数変化はリチウム・セラミックスのそれと比較して無視し得ることを確認している。

### 3. $\text{Li}_4\text{SiO}_4$ 仕事関数に及ぼす水素導入の効果

全流量を  $100\text{cc}/\text{min.}$ 、 $200\text{cc}/\text{min.}$  としたときの CPD および酸素分圧 ( $P_{\text{O}_2}$ ) 測定結果を図 1 に示す。全流量  $100\text{cc}/\text{min.}$  で水素を導入すると、CPD には二段階の変化 A, B が見られた。合わせて  $450\text{mV}$  程度 CPD が減少した。また、水素導入を止めると、CPD は  $50\sim 100\text{mV}$  減少した後、約  $250\text{mV}$  増加し、徐々に一定値に近付いた。水素を再度導入すると、CPD 減少は一段階であった（変化 A'）。

全流量  $200\text{cc}/\text{min.}$  では、水素導入時にやはり二段階の CPD 減少 (A, B) が見られた。また、水素導入を止めたときの変化 A' についても  $100\text{cc}/\text{min.}$  の場合と類似している。しかし、この変化 A' の後、 $200\text{cc}/\text{min.}$  では CPD は徐々に上昇し（変化 B'）、初期値に近付いた。また、再度水素を導入すると、CPD 変化は二段階であった。 $300\text{cc}/\text{min.}$  の結果は  $200\text{cc}/\text{min.}$  の場合と同様であり、 $50\text{cc}/\text{min.}$  の結果は  $100\text{cc}/\text{min.}$  のそれと同様であった。

以上より、流量が大きいとき、水素導入停止時に CPD は二段階に変化する (A', B') ことがわかった。また、変化 B' が見られた場合のみ、再度水素を導入したときに CPD が二

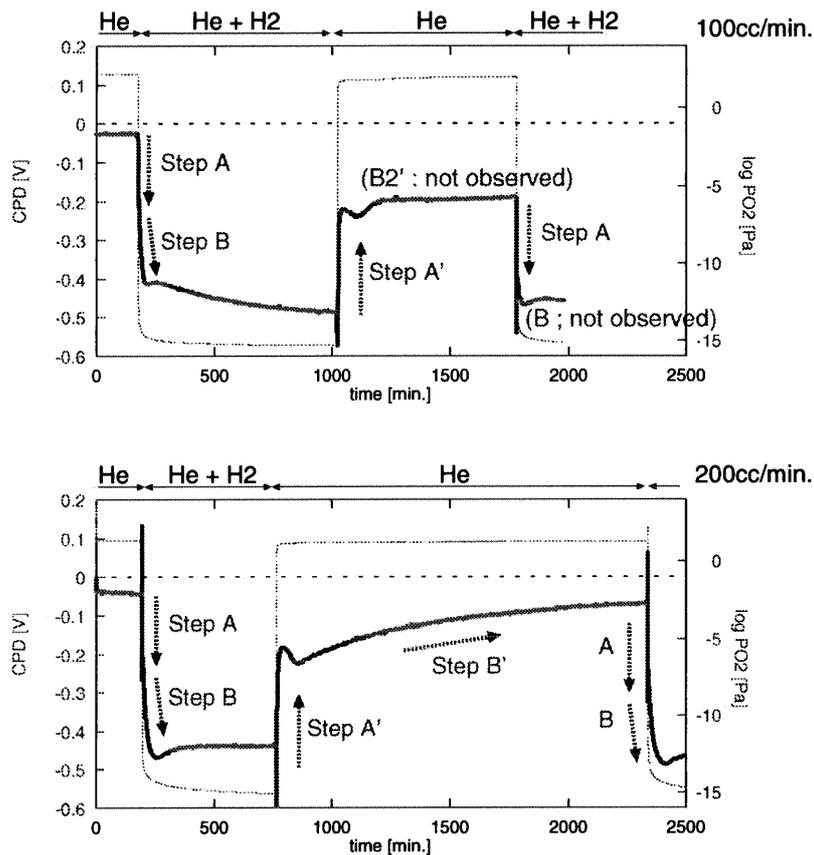


図 1:  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  - Pt 系における接触電位差 (CPD) 測定結果. (上) スイープガス全流量 100cc/min. (下) 同 200cc/min.

段階に変化しており、変化 B' が見られない場合はその後水素を導入しても変化 A のみしか見られなかった。このことから、変化 B、B' をもたらす反応は互いの逆反応であると考えられる。

変化 A、B の原因として、酸素空孔生成や気体分子の吸着・脱離が考えられる。酸素空孔の生成によって固体内にドナー準位が形成されたとき、バンドギャップ  $E_g$  に対して温度  $T$  が  $kT \ll E_g$  ( $k$  はボルツマン係数) であるならフェルミ準位は酸素分圧に対してほぼ不連続に変化すると考えられる (すなわち、仕事関数が不連続に変化する)。変化 A は、酸素分圧が約  $10^{-2}\text{Pa}$  となったときに不連続に変化することが観測されており、酸素空孔生成が原因であるということが出来る。照射効果の検出は今後の課題となるが、中性子照射によって欠陥が生成しある電子準位が形成されれば、その効果が仕事関数の変化として検出されることが期待される。また、そのとき測定される仕事関数変化の大きさが水素導入によるそれと異なった場合、欠陥の種類や価数が異なっていると考えられる。さらに、変化 B についてはその原因が水素や水蒸気の吸着・脱離であると考えられ、その素過程の同定と定量化も来年度以降の課題である。

## シンチレータ塗布・光ファイバーを用いた 熱・高速中性子束・ $\gamma$ 線強度分布測定法の開発

テーマ代表者	名大・工	原子核工学科	森千鶴夫
実験参加者	名大・工	原子核工学科	森千鶴夫、後藤淳一、山口 忍
	東大・工	原子力工学研究施設	吉井康司
	東大・工	システム量子工学専攻	高田英治

### 1. 序

光ファイバーの先端にウランあるいはトリウムを中性子コンバータとして、ZnS(Ag) シンチレータと混合し接着剤で塗布した検出器を用いて、熱中性子束分布、高速中性子束分布を迅速に測定することが可能であるかどうかを弥生炉を用いて検討することを平成7年度から行ってきた。今年度は特に、計数率が比較的高い場合においては光電子増倍管における印加電圧を低くして使用することの有効性について検討した。

### 2. 検出器の作製と測定方法

高速中性子測定用として、1MeV以上のエネルギーの中性子によって核分裂するTh-232中性子コンバータとして用いた検出器（トリウム検出器）を弥生炉のグローリー孔に挿入し、ファイバードライバーによって一定間隔毎に移動させ、それぞれの位置においてパルス波高分布を測定した。この場合においては、パルス波高の飽和を避けるために、光電子増倍管の印加電圧を定格電圧（600V）、およびそれよりも低く設定して測定した。測定後、パルス波高のデイスクリミネーションレベルをいろいろに設定して各位置毎の計数分布、即ち中性子束分布を求めた。

### 3. 測定結果

図1にトリウム検出器を用いた場合において光電子増倍管の印加電圧を600Vにして得られた各位置におけるパルス波高分布を3次元的に示す。図2には検出器が中央部にある時のパルス波高分布を示す。中央部においては束中性子強度が大で光電子増倍管の陽極付近の空間電荷効果のためパルス波高が非常に小さくなる。図1のパルス波高に対して、デイスクリミネーションレベルをいろいろなチャンネル数に設定して得た中性子束の位置分布を図3に示す。中央部においてはいかにも速中性子強度が少ないかのようになる。

図4に印加電圧を480Vにして得られたパルス波高分布を、図5に検出器が中央にある時のパルス波高分布を示す。図6には図4の波高分布における各デイスクリミネーションレベルでの中性子束の位置分布を示す。各レベルがどの場合においても分布の形は変わらない。しかも $^{238}\text{U}$ マイクロフィッションチェンバー ( $^{238}\text{U}(\text{n.f})\mu.\text{f.c}$ ) による高速中性子束分布と良く一致している。

### 4. 結び

中性子の強度が大きい場合には光電子増倍管の印加電圧を下げれば光電子増倍管の飽和を防ぐことが出来、正しい結果が得られる。このことはTh-232検出器のように核分裂を利用する検出器では、1個のパルスが大きい場合にはより重要である。

参考文献 C.Mori et al., J. Nucl. Sci. & Technol. Vol.31(3)248(1994)

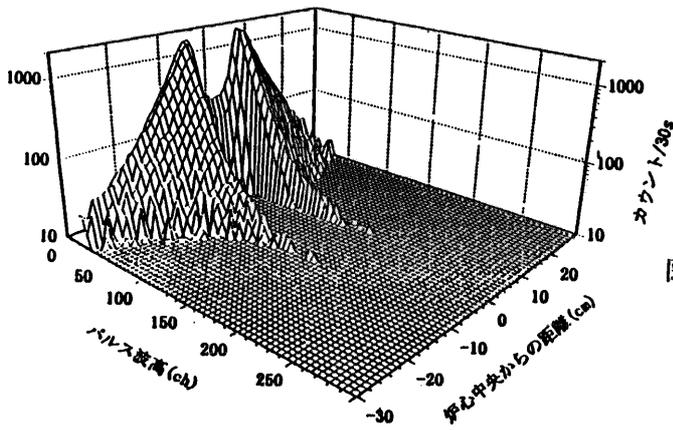


図1 トリウム検出器において  
光電子増倍管の印加電圧を  
600Vにして得た各位置にお  
けるパルス波高分布

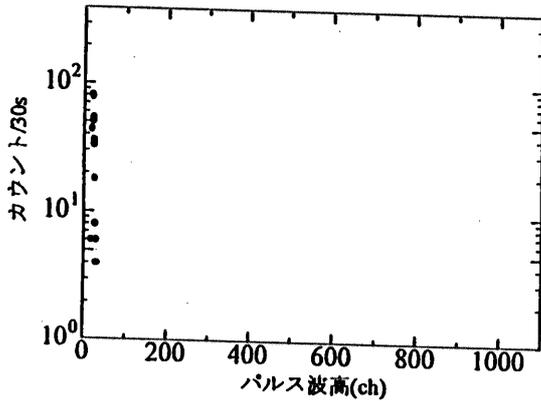


図2 図1において検出器が中央部  
にある場合のパルス波高分布

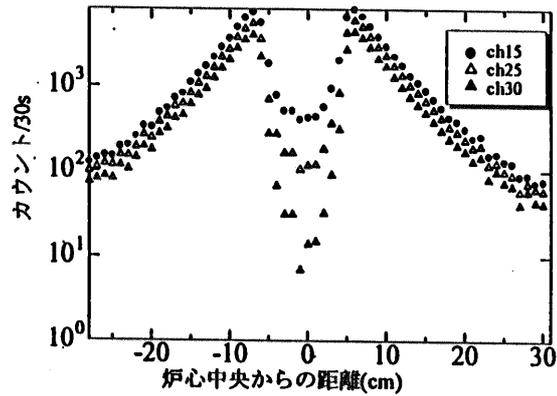


図3 図1から得た高速中性子束位置分布

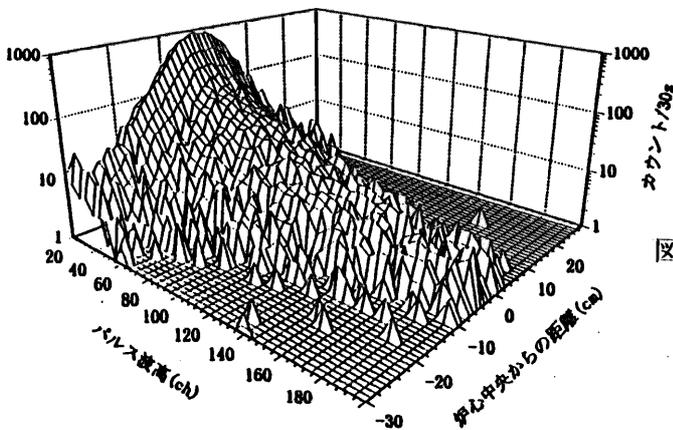


図4 印加電圧を480Vにした  
場合の各位置におけるパルス  
波高分布

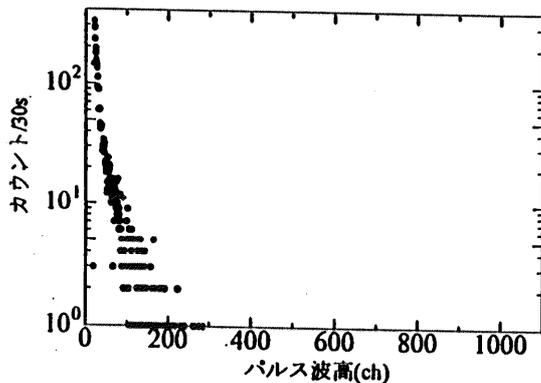


図5 図4において検出器が中央部  
にある場合のパルス波高分布

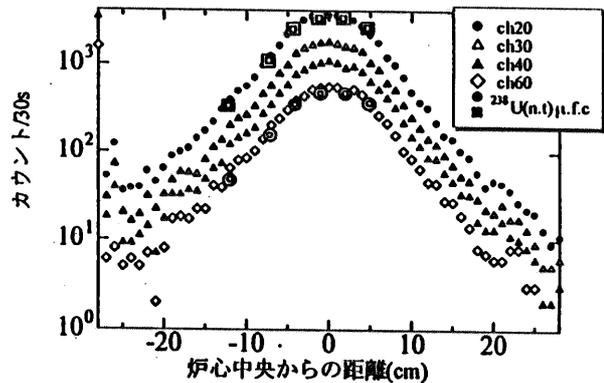


図6 図4から得た高速中性子束位置分布

## 放射性廃棄物固化体からの 照射下物質移行メカニズムに関する研究 (3)

テーマ代表者	(東大・院・工)	田中 知
実験参加者	(東大・院・工)	長崎 晋也、山口 貴行、津島 悟、福田 卓、
	(東大・工・原施)	斉藤 勲
	(京大炉)	森山 裕丈
	(北大・工)	佐藤 正知
	(東北大・工)	朽山 修
	(原研・環安部)	村岡 進

### I. 研究目的

放射性廃棄物は、ガラスあるいはセメントマトリックス中に固化された後、地層中に埋設処分される。固化体から溶出する放射性核種は、その周辺を囲む人工バリア構成材に吸着され遅延することが期待されている。この吸着能力を定量的に評価するため、これまでバッチ法などにより吸着分配係数が数多く測定されてきている。しかし、これまでの研究では、放射線場にさらされることで人工バリア構成材表面が変質し、それが吸着性能にどのような影響を及ぼすかについての研究は行われていない。

本研究では、高速中性子源「弥生」により、人工バリア構成材料の一つである粘土系鉱物に着目し、それがホウ素と中性子との反応で生じた $\alpha$ 線によって照射を受けた場合とでどのような変化があるのかを調べることを目的とした。

### II. 実験方法

人工バリアで使用されることが検討されている粘土系鉱物のベントナイトは、シリカ、アルミナ、シリカの 2:1 層状鉱物であり、特にその主成分たるモンモリロナイトはアルミナ中でのカチオン交換によって負電荷が誘起されて陽イオン交換容量を有するようになっている。

本研究では、純粋なモンモリロナイトとともに、吸着サイトにより近いシリカ中でのカチオン交換がおこっているパーミキュライトも使用し、カチオン交換がどこでおこっているのかの違いによる影響も検討することとした。

実験は、それぞれの純粋粉末試料 1 g にホウ酸を加え「弥生」の Gz 孔におい

て照射し、照射終了後取り出し、ただちに第一化学実験室内にてポリプロピレン製チューブ中の超純水中に分散させ水との飽和を実現させた。

1 ヶ月以上経過し十分に水と飽和させた後、代表的な陽イオン核分裂生成物であるストロンチウムを添加し、バッチ法にて吸着挙動の変化を測定した。吸着挙動は、粘土鉱物への吸着率として観測した。ストロンチウム濃度は、ICP（本郷設置）により測定した。

### III. 実験結果と考察

実験結果を表 1 に示す。

表 1 照射前後での Sr の吸着率 (%)

	スメクタイト		バーミキュライト	
	照射前	照射後	照射前	照射後
Run1	75	77	82	87
Run2	72	72	79	85
Run3	77	75	86	87
Run4	75	76	85	89

照射前の吸着率の違いは、これまでの本グループの研究結果と一致している。表 1 の結果から、吸着サイトから遠いアルミナ位置でカチオン交換が起こっているスメクタイトでは、照射前後での吸着率に変化はほとんど見られないのに対し、吸着サイトに近いシリカ位置での交換が起こっているバーミキュライトでは若干の吸着率の増加が見られる。これは、 $\alpha$  線の照射によって吸着サイト（とくに Si-O 六員環部）に欠陥ができ負電荷が誘起されたためと思われる。またとくにバーミキュライトでその誘起が顕著な理由は、バーミキュライトの方が、表面での非化学量論的組成ゆえ結合力がスメクタイトに比較して弱く、照射の影響を受けやすいためではないかと考えられる。

現在、表面における結合力の違いがあるのか、またそのエネルギーは  $\alpha$  線のエネルギーに比較して定量的に説明可能なものであるかを確認するために、吸着実験とともに、分子軌道法による第一原理的結合エネルギー評価を試みているところである。また、粘土系鉱物とともに重要なセメント鉱物についても、同様な表面照射効果が見られるかどうかを検討するべく準備を進めているところである。

## 弥生炉を用いたマイナーアクチニド核種の崩壊熱測定実験

テーマ代表者 (東大・工・原施) 岡 芳明  
 実験参加者 (東大・工・原施) 齊藤 勲 岡村 和夫 助川 敏男  
 貴家 憲彦 寺門 勉  
 間瀬 幸雄 仲川 勉  
 (動燃大洗) 若林 利男 大川内 靖

### 1.はじめに

核分裂生成物の崩壊に伴って放出されるエネルギー（崩壊熱）による出力は、原子炉停止後において定格の6～7%にも及び徐々に減衰しながらも長期間にわたって維持される。従って崩壊熱は原子力利用全般に対して重大な影響を及ぼすため、崩壊熱の予測精度向上は原子炉及び核燃料サイクル関連施設の安全性、信頼性及び経済性向上に密接に関係する。

現在、経済性向上のための高燃焼炉心や廃棄物量低減を目指したマイナーアクチニド(MA)入り燃料炉心の設計・検討及びアクチニドリサイクルに関連する核燃料サイクル施設の検討が進められているが、ここで新たに重視されるべきMA核種の精度良い崩壊熱測定データは、現状ではほとんど存在しない。主要Fissile核種の解析による誤差を表1に示す。MAの崩壊熱計算誤差はU-235に比べて5倍近くになるものもある。そこでアクチニドリサイクルに関わる核種の崩壊熱の予測精度向上を目標として本実験を実施する。

表1. 主なfissileにおける崩壊熱の計算誤差(%)

fissile	$\beta$	$\gamma$	$\beta + \gamma$
$^{235}\text{U(T)}$	1～6	1～6	1～6
$^{238}\text{U(F)}$	1～5	2～5	2～4
$^{239}\text{Pu(T)}$	2～12	2～13	2～7
$^{237}\text{Np(F)}$	3～12	3～9	3～9
$^{241}\text{Am(F)}$	4～13	4～20	4～13
$^{243}\text{Am(F)}$	5～13	5～16	4～12
$^{244}\text{Cm(F)}$	4～13	5～20	5～13
$^{246}\text{Cm(F)}$	5～14	6～17	5～12
$^{248}\text{Cm(F)}$	5～15	6～15	5～12

### 2.実験

本実験は過去に弥生炉にて主要アクチニド核種を対象に実施された崩壊熱測定実験<sup>(1)</sup>にならって実施した。照射位置はグレーディングホール中心とし、気送管設備を使用して炉室外で測定した。検出器としてはまず過去に使用された $\beta$ 線測定用のプラスチックシンチレーションカウンター及び $\gamma$ 線測定用のNaI(Tl)シンチレーションカウンターを使用し、 $\beta$ 線測定系の $\gamma$ 線弁別用比例計数管のみ再度製作したものを利用した。1核分裂あたりに規格化したスペクトルにエネルギーを乗じ、積分することで崩壊熱を求める。第1ステップとしては過去使用されたU-235を用いて再現実験を実施した。MAに関しては試料入手条件により流動的な面も残されるが生成量の多いNp-237, Am-241, Am-243, Cm-244を予定している。今年度はNp-237を入手し、測定した。

### 3.平成9年度の成果

本年度は、U-235とNp-237の測定を行った。U-235の測定は、過去に実施された崩壊熱測定実験<sup>(1)</sup>の再現実験であり、この結果をレファレンスとして今後のMA崩壊熱測定実験を行っていく。U-235試料は、弥生炉に保管されている過去に使用していたものを使って測定を行った。Np-237は新たに制作したものである。図1にNp-237試料を示す。純度は99.9%、重量は0.5mg（13kBq）の窒化物（NpN）である。試料は、高純度Ti板（直径15mm、厚さ0.1mm）に直径10mmの範囲で蒸着し、厚さ40 $\mu$ mのポリエチレンフィルムで密封したものである。

試料は照射用カプセルにセットし、気送管を用いた照射システムによって10秒ないし100秒照射し、照射後約8秒から測定を行った。測定は計10回実施した。表2に本年度実施した測定状況を示す。今後、測定したものをアンフォールディングコードで処理し、エネルギースペクトルを求め崩壊熱を計算する。求めた崩壊熱の結果は、評価済核データライブラリーと比較する。また、平成10年度は、Am-243を測定する予定である。

図1 .Np-237密封試料の形状

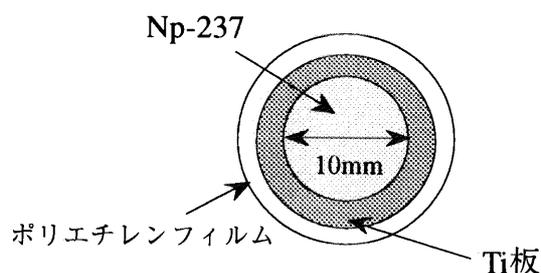


表2.平成9年度の崩壊熱測定状況

核種	測定	照射時間 (s)	炉出力 (W)	測定回数
U-235	$\beta$ 線	10	500	2
U-235	$\beta$ 線	100	500	1
U-235	$\gamma$ 線	10	500	2
U-235	$\gamma$ 線	100	500	1
Np-237	$\beta$ 線	10	1500	1
Np-237	$\beta$ 線	100	1900	1
Np-237	$\gamma$ 線	100	1900	2

#### 参考文献

(1)秋山 雅胤:高速中性子核分裂による核分裂生成物からの崩壊熱に関する研究,東大博士論文 (1982.12)

## 放射線環境下における光ファイバー分布測定法に関する研究

テーマ代表者 東大・工・システム量子 中沢 正治  
 実験参加者 東大・工・システム量子 高田 英治、 細野 米市、  
 F.B.H. Jensen、 木村 敦、 高橋 浩之

## 1. 序

光ファイバーには、形状のフレキシビリティ、高い多重化可能性、耐電磁環境性等の長所があり、通信分野において急速に導入が進められている。また、光ファイバーを使う測定技術についても研究が進められ、長距離にわたって物理量分布を連続的に測定手法等が開発されている。他方、光ファイバーには、放射線照射時に伝送損失が増加するという問題点があり、原子力プラントへの適用は進んでいない状況にある。しかしながら、光ファイバーの耐放射線性の向上に関する近年の研究の結果、従来、放射線に強いとされていた光ファイバーよりもさらに2桁以上も耐放射線性の高いものが開発されており、原子力プラントへの適用性が高まって来ているものと考えられる。

本研究においては、光ファイバーに基づく放射線や温度等の分布測定法について、中性子環境への適用性評価を行っている。昨年度までの研究により、通常に市販されている光ファイバーでは、中性子照射時の損失の蓄積効果が大きいとの結果が得られた。今年度は、現在入手可能な光ファイバーの中で、最も耐放射線性が高いレベルにあるフッ素ドープ石英コア光ファイバーに対する中性子照射時の影響を評価した。

## 2. 照射実験

Gz 孔に 30m~50m 長の紫外線硬化樹脂 (UV) 被覆フッ素ドープ石英コア光ファイバーを設置し、弥生出力:250W~1kW で照射実験を行った。(中性子束:  $1.7 \times 10^{11} [\text{n}/\text{cm}^2/\text{sec}/\text{kW}]$ 、 $\gamma$ 線量率:  $1.6 \times 10^3 [\text{Gy}(\text{SiO}_2)/\text{h}/\text{kW}]$ )

トータルの照射線量が 1573 Gy(SiO<sub>2</sub>) の時点での放射線誘起損失スペクトルを、同程度の線量率で同じ線量まで $\gamma$ 線を照射した際のスペクトルと比較して、図1に示す。また、弥生での照射における、500nmでの損失の増加特性を図2に示す。

まず、損失の波長依存性については、中性子+ $\gamma$ 線を照射した場合には、特に700nm以下の短波長領域における損失が大きくなっていることが分かる。610~630nm程度の非架橋酸素センター(NBOHC)に起因する損失に加え、500nm程度にも何らかの損失ピークが観測されている。

$\gamma$ 線照射時には、線量率が高い場合の方が、等しい線量の時点での損失が大きくなるという「線量率効果」があることが知られているが、図2の500nmにおける損失増加特性を見ると、中性子照射時にはそのような効果が見られないことが分かる。

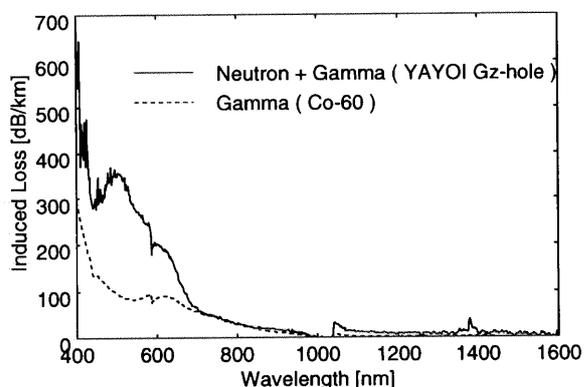


図1 フッ素ドープ光ファイバーにおける放射線誘起損失スペクトルの比較

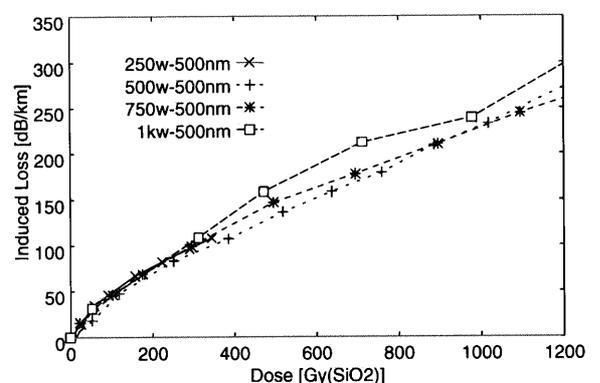


図2 フッ素ドープ光ファイバーに対する弥生での照射結果

一方、図1の800nm以上の波長域を見ると、800nm以上では中性子の有無による損失スペクトルの相違が小さいことが分かる。すなわち、800nm以上では、中性子に起因するカラーセンサーの影響が小さいことが考えられる。

実際に、照射線量と800nmにおける損失増加量の関係を表すと、図3が得られる。 $\gamma$ 線照射時と同様の損失の飽和傾向が見られている上に、出力500Wと1kWの照射時の損失の大きさが変化し、線量率効果が現れている。

これらの結果より、中性子の存在する原子炉炉心内や原子炉容器周辺でも、800nm以上の長波長領域の光を利用すれば、かなりの長期間にわたって光ファイバーを使用可能であることが期待できる。

### 3. まとめと今後の課題

耐放射線性の非常に高いフッ素ドープコア光ファイバーを用いて照射実験を行ったところ、 $\gamma$ 線による損失増加が小さかったこともあり、中性子照射時の影響をこれまでよりも明確に測定することができた。800nm以上では中性子の影響が小さいと考えられることから、高中性子束領域へ適用可能であることが期待できる。

今回の実験は全て20℃～30℃の温度で行われたものであり、原子力プラントで中性子照射量が大い場所の環境を反映していない。照射時の温度を変化させた場合の損失増加特性について評価することが必要である。

また、石英コア光ファイバーだけに限らず、中空光ファイバーやサファイア光ファイバーの特性評価を行い、これらを用いた高線量率領域用センサーシステムの開発を検討する予定である。

### 4. 研究発表

- 1) Eiji Takada, Atsushi Kimura, Fredrik B.H. Jensen and Masaharu Nakazawa, "Correction Techniques of Radiation Induced Errors for Raman Distributed Temperature Sensor and Experiment at the Experimental Fast Reactor : JOYO", to be published in Journal of Nuclear Science and Technology.

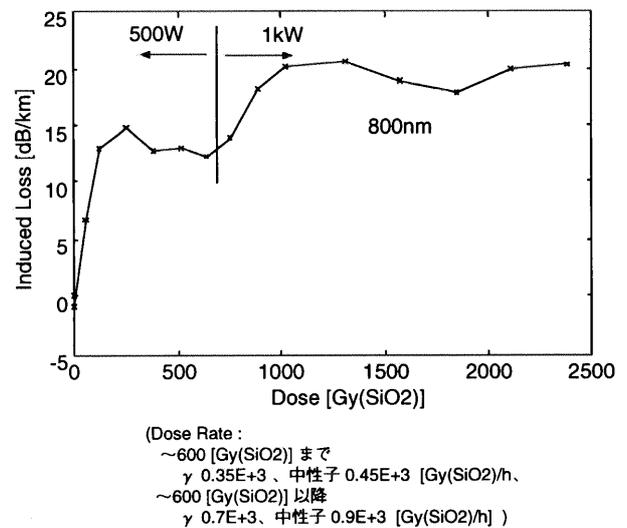


図3 フッ素ドープ光ファイバーに中性子+ $\gamma$ 線を照射した際の800nmにおける損失増加特性

## 中性子ドシメトリーの高度化研究

テーマ代表者 名大・工・原子核 井口哲夫  
実験参加者 名大・工・原子核 井口哲夫、前田茂貴  
東大・工・原施 吉井康司

## 1. はじめに

本研究では、弥生炉の標準中性子場としての特性を活かし、中性子ドシメトリー新手法の開発と高精度化のための種々の実験的研究を試みている。本稿では、動力炉・核燃料開発事業団との共同研究で実施したヘリウム蓄積型中性子フルエンスモニター（HAFM：中性子照射で試料中に生成したヘリウムを、試料溶融により質量分析器で定量する方法）の校正照射実験のうち、放射化法を用いたブランケット実験孔の中性子ドシメトリー結果について報告する。

## 2. 実験概要

本実験は、高速炉の新型中性子ドシメトリー法であるHAFM測定システムの総合的な精度評価を目的として、弥生炉のグローリー孔、ファーストコラム、ブランケット実験（BLK）孔に、天然B、93%濃縮B、Be封入Vカプセルを装荷し、所定の中性子フルエンス（検出限界のHe生成量目標値 $\sim 10^{13}$  He atoms/試料）を越えるまで積算照射を行うもので、各照射場の中性子束及び中性子スペクトルが、Fe, Co, Ni, Au,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{237}\text{Np}$ 等を用いた放射化法でモニターされた。これら照射場のうち、BLK孔は、円柱炉心を取り囲む劣化ウランブランケットの軸方向に設けられた実験孔で、試料の装荷や交換に炉心の移動が必要で手間がかかるため、長期積算照射実験に向いている。これまで濃縮Uマイクロフィッションチェンバー、放射化箔、TLD等を用いて中性子束分布や線量率分布が測定された例はあるが、中性子スペクトルの評価例はない。そこで、今回、放射化法によるBLK孔内中性子スペクトルの空間分布測定を試みた。

## 3. 実験結果と考察

まず、BLK孔軸方向の高速中性子束分布を、 $^{58}\text{Ni}(n,p)$ ,  $^{54}\text{Fe}(n,p)$ ,  $^{59}\text{Co}(n,p)$ 反応率で、また低速（熱及び熱外）中性子束分布を、 $^{59}\text{Co}(n,\gamma)$ ,  $^{58}\text{Fe}(n,\gamma)$ 反応率で測定した結果、軸方向の高速中性子束分布は、BLK孔最奥から $\sim 6\text{cm}$ で最大となっており、分布形状とも過去の測定結果とよく一致している。一方、軸方向の低速（熱及び熱外）中性子束の勾配は、高速中性子束に比べてかなり緩やかであり、特に炉心近傍の $4\sim 10\text{cm}$ 領域では、ほぼ一様と言える。ただし、BLK孔の外側領域では、重コンクリート遮蔽体等から反射された散乱中性子の寄与により、熱中性子束分布に歪みが生じている。なお、BLK孔軸方向の中性子束分布の測定は、2回行われており、反応率及び位置決めの実験誤差の範囲内で同一照射位置の測定結果の再現性が確認された。

次に、BLK孔内5点で中性子スペクトルアジャストメント（NEUPAC-JLOGコード+

JENDLドシメトリーファイル103群)を試みた結果、スペクトル形状は、主として核分裂スペクトルと非弾性散乱スペクトルの2モードで構成されており、炉心から遠ざかるにつれて、非弾性散乱モードの割合の増加していく様子が顕著に現われた。結果の一例として、BLK孔内の最大中性子束と最小中性子束の照射位置における単位炉出力当りの中性子束絶対値の評価結果を下表に、中性子スペクトル評価結果を、図1,2に示す。

因みに、BLK孔で照射した濃縮B及びBeのHAFM測定結果は、今回の中性子スペクトル評価値とHe生成断面積から計算した結果と5% (1σ) 以内で一致をみている。

BLK測定評価量	最大中性子束照射位置	最小中性子束照射位置
全中性子束 [n/cm <sup>2</sup> /s/W]	$(1.86 \pm 0.08) \times 10^8$	$(1.19 \pm 0.06) \times 10^8$
0.1MeV以上の 積算中性子束 [n/cm <sup>2</sup> /s/W]	$(1.38 \pm 0.07) \times 10^8$	$(8.15 \pm 0.47) \times 10^7$

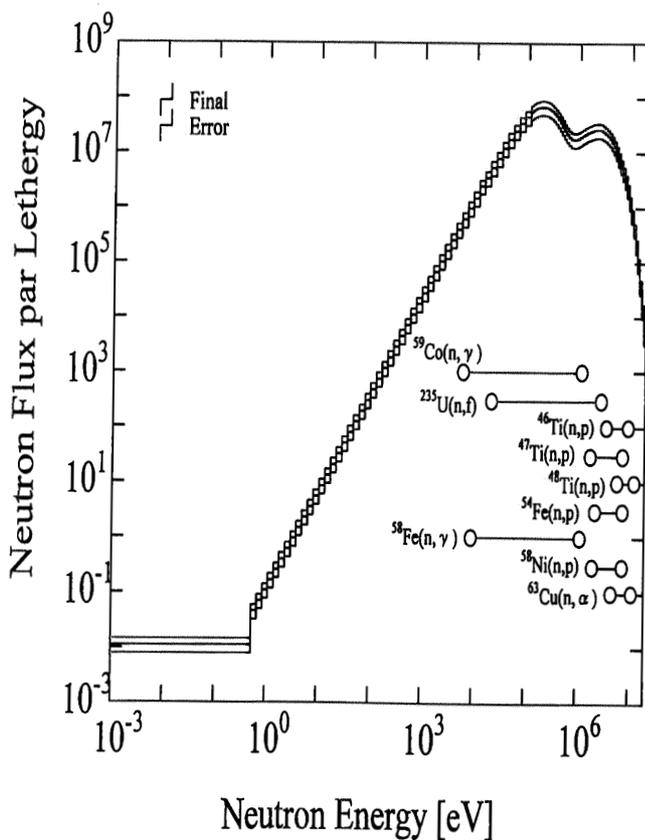


図1. BLK孔中性子スペクトル  
(最大中性子束位置)

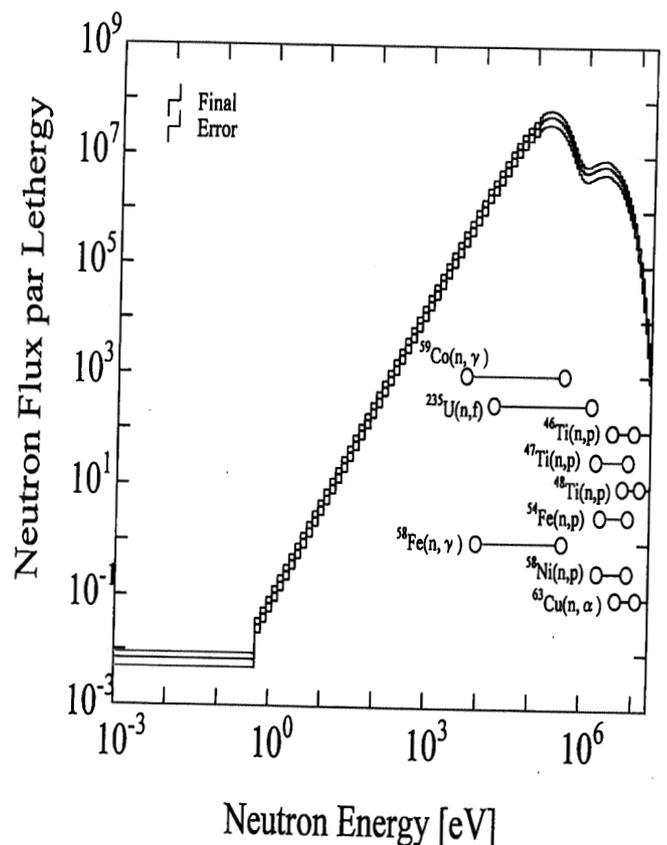


図2. BLK孔中性子スペクトル  
(最小中性子束位置)

弥生オフパイル

## 原子炉の寿命評価に関する研究

テーマ代表者	東大・工	原施	宮健三
実験参加者	東大・工	原施	上坂 充、吉田 義勝、吉井 康司、 出町 和之、アッティラ ギラーニ、 内一 哲哉、陳 振茂、羅 雲、 ポパラドゥ クリスチャン、 福崎 康博、ラバラ マイケル、 程 衛英、ミハラケ オビドゥ、 中山 匡、高瀬健太郎、 新藤 理、山田 智海
	岩手大・工	材料物性工学科	高橋 正気
	埼玉大・工	機能材料工学科	山田 興治
	職業能力開発大	電気工学科	橋本 光男

### 1. 序

昨今、原子力に対する世論状況による新規立地の困難さのため、原子力発電プラントの長期運転(長寿命化)が期待されている。このため、原子炉の運転可能期間をどのように評価するか、といったいわゆる「原子炉の寿命評価」に関する関心がますます高まってきている。原子炉の寿命評価にとって着目すべき重要な現象は、(1) 材料の劣化 (2) き裂の発生 の2つである。前者は原子炉材料の材料特性変化、後者は形状変化として分類することができる。このような背景に基づき、(1) 磁気力測定法による材料特性評価、(2) 磁気特性測定による材料の疲労損傷評価 に関する研究を実施した。

### 2. 磁気力測定法による材料特性評価

材料の機械的性質と磁氣的性質との相関関係を利用することにより、磁性材料の機械的特性を非破壊的な磁気測定による定量評価が可能となる。本研究では磁性材料の磁気開ループの磁気力を測定するための新しい計測手法を提案し、熱処理温度を変えることで磁気特性を変化させた試験片における保磁力などの磁気特性変化に対する磁気力の感度を調べることで、本手法の適用可能性の検討を行なった。また、得られた磁気力のヒステリシスカーブと磁気特性カーブとの関係を理論的に考察した。図 1 の折れ線グラフは直径 5mm、高さ 3.5mm、残留磁化 0.3 T の円筒状の SmCo 永久磁石を図中のように A533B リングの下方から上下させた場合の永久磁石-試料間距離 (d) と磁気力 (F) との関係である。また  $B-H$  関係図はこの測定プロセスにおける磁束密度と外部磁場との関係の変化を模式的に示したものである。

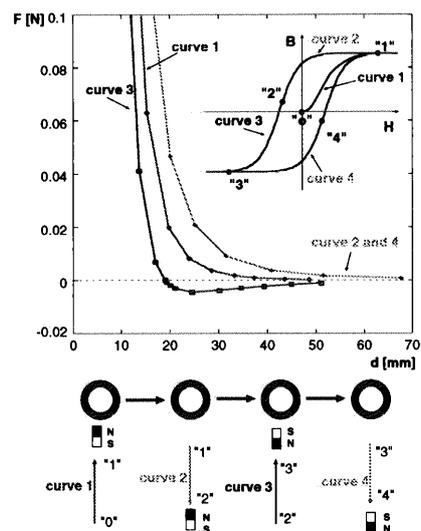


図 1：磁気力測定のプロセス

磁気ヒステリシスループの対称性により、curve 2 と curve 4 は同等である。curve 3 で点”2” から出発して保磁力  $H_c$  に達するまでのあいだ磁気力は負になり反発力として働き、保磁力  $H_c$  を過ぎると吸引力に戻る。

図 2 に、焼きなまし温度が 620、650、680 °C の A533B 試験片の、curve3 の磁気力曲線を示す。この図より、磁気力が負に最大となる  $H = H_c$  付近で、焼きなまし温度による磁気力曲線の違いが得られた。最大反発力は、焼きなまし温度が最も低い A533B-620 試験片で、最小反発力は、焼きなまし温度が最も高い A533B-680 試験片で、それぞれ観測された。これは、磁化は転位密度と析出物によって決定される磁壁の可動性に強く依存しており、焼きなまし温度が低いほど欠陥の回復が少なく、磁壁が運動しにくいためである。また焼きなまし温度が 620、650、680 °C の A533B 試験片の curve 1 と curve 2 の磁気力曲線では、焼きなまし温度による吸引力の差は観測されなかった。

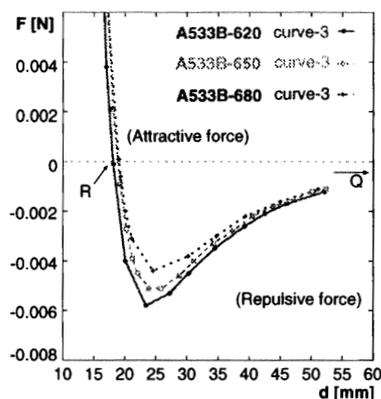


図 2：焼きなまし温度による磁気力曲線の変化 (curve 3)

### 3. 磁気特性変化に基づいた構造用鋼の疲労の非破壊評価

鉄を含む材料の磁気特性のうち磁気ヒステリシスは非常に重要であり、ここではサイクル荷重を与えた材料の疲労による材料劣化と磁気ヒステリシス特性パラメータとの関係を実験的に解析することを試みた。測定には、A533B 低合金鋼の長さ 144mm, 直径 8mm の棒状の試験片を用い、50kN 水力サーボシステムによるゼロ張力での高サイクル疲労試験を行なった。荷重はサイン波状 (周波数は約 2Hz) とし、その振幅は最大膜応力 ( $\sigma_t$ ) を 538MPa, 542MPa, 546MPa とした。また降伏を防ぐために応力値が降伏応力を越えないようにした ( $\sigma_t < \sigma_y = 560$ MPa)。また試験は室温にて行なった。磁気測定は、疲労試験を中断し負荷を除荷した後に、試験片を装置から取り外して行なった。磁気測定終了後、試験片を再び疲労試験装置に設置し、サイクル疲労試験を継続した。図 3 は、最大応力レベルが 538Mpa, 542MPa, 546Mpa の場合の疲労後の試験片における残留磁化を、疲労サイクルの関数としてプロットしたものである。カーブは起点を除いては直線状であり、起点では最大応力レベルが 538MPa と 542MPa の場合には 1.45T から 1.38T へと低下している。この後、カーブの主要な部分は傾きが負の直線状になっており、4,000,000 サイクルにおいては  $B_r = 1.2$ T となっている。このことより、残留磁化は疲労サイクルとともに減少するという知見が得られた。

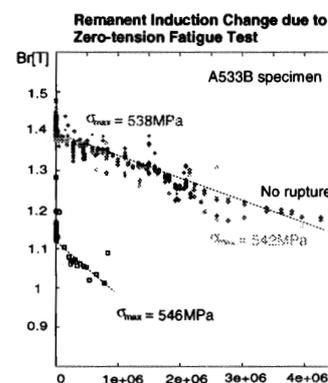


図 3：最大応力レベル=538, 542, 546MPa の場合の、残留磁化と疲労サイクル数の関係

### 4. 結論

本研究によって得られた結論を以下にまとめる。

1. 磁気力測定に基づく非破壊診断は、微弱磁場の条件下でも感度が高く、磁気非破壊診断を実用体系に適用する場合の有力な候補であると考えられる。
2. 疲労が微細構造に及ぼす微細構造変化に対して、磁気ヒステリシスカーブ、特に残留磁化の変化は非常に敏感であり、高サイクル疲労による磁性材料の微細構造変化の検出方法として非常に有効である。

## 超電導体の電磁現象

テーマ代表者	東大・工	原施	宮健三
実験参加者	東大・工	原施	上坂 充、吉田 義勝、吉井 康司、 出町 和之、アッティラ ギラーニ、 内一 哲哉、陳 振茂、羅 雲、 ポパラドゥ クリスチャン、 ラバラ マイケル、福崎 康博、 程 衛英、ミハラケ オビドゥ、 中山 匡、高瀬健太郎、 新藤 理、山田 智海
	北大・工	電気	本間 利久、植本 昌則
	東北大・工	原子核	橋爪 秀利
	東北大・工	流体科学研究所	高木 敏行
	職業能力開発大	電気工学科	橋本 光男

## 1. 序

現在、高温超電導体の実用化にとって重要な特性である不可逆磁場及び融解磁場に関する実験が盛んに行なわれている。一方、これらの特性のモデリングは臨界状態モデルや磁束フロー・クリープモデルなどの巨視的モデルでは不可能であり、より基本的な物理現象に立脚した中間視的モデルが必要とされる。そこで本研究では、中間視的モデルの1つである高温超電導体用磁束量子動力学法 (HTSC-FD 法) に着目した [1,2]。

不可逆磁場、融解磁場の評価のためには高温超電導体の磁化特性の数値解析が不可欠である。そこでまず HTSC-FD 法の改良を行ない、表面でのパンケーキ磁束 (量子) の侵入・排出を取り扱うことにより、高温超電導体の磁化の解析を可能とした。また、表面バリアモデルに基づく鏡像パンケーキ磁束、逆向きパンケーキ磁束の考慮などを初めて行なった。

この改良後の HTSC-FD 法を用いたシミュレーションを実施し、その解析結果から高温超電導体の磁化の評価を行なった。解析対象としては  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$  (Bi2212) 単結晶を用い、ピンニングセンタは重イオン照射による円柱状欠陥とし、ピンニングセンタ配置、密度を変えてシミュレーションを行ない、その結果から磁化のピンニングセンタ依存性を評価した。

## 2. 数値計算手法

酸化物高温超電導体は超電導層と絶縁層が交互に重なった結晶構造をしている。超電導層は  $\text{CuO}_2$  層であり、この層に流れる超電導電流により  $\text{CuO}_2$  層内にはパンケーキ磁束が、絶縁層には弱結合によるストリングが生成される。

今回の解析対象である Bi2212 は強い 2 次元性を有する物質であり、弱結合は十分に弱い。従ってストリングの存在は無視でき、パンケーキ磁束が  $\text{CuO}_2$  層内を 2 次元的に独立に運動するというモデリングが可能である。このようなモデルをパンケーキ磁束モデルという。

HTSC-FD 法におけるパンケーキ磁束の運動方程式は次式で定義される [1-3]。

$$\eta_f \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial t} = \sum_j \mathbf{F}_p(\mathbf{r}_{ij}^p) + \sum_{k, i \neq k} \mathbf{F}_v(\mathbf{r}_{ik}) + \mathbf{F}_M(\mathbf{r}_i) + \mathbf{F}_{SB}(\mathbf{r}_i) \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{r}_i$ は*i*番目パンケーキ磁束の位置ベクトル、 $\mathbf{r}_{ij}^p$ は*i*番目パンケーキ磁束と*j*番目ピンニングセンタとの相対位置ベクトル、 $\mathbf{r}_{ik}$ は*i*番目と*k*番目パンケーキ磁束との相対位置ベクトル、 $\eta_f$ はパンケーキ磁束中の常電導核のオーム抵抗による粘性係数である。また、 $\mathbf{F}_p$ はピンニングセンタによるピンニング力、 $\mathbf{F}_v$ はパンケーキ磁束同士の磁氣的相互作用力、 $\mathbf{F}_M$ は Meissner 磁場によるローレンツ力、 $\mathbf{F}_{SB}$ は超電導体表面をはさんで鏡像との磁氣的相互作用力である。1つのパンケーキ磁束の有効質量は十分に小さいので慣性項は無視している。また、CuO<sub>2</sub>面は*xy*面に平行とし、パンケーキ磁束としては向きが±*z* (上向き・下向き)の2種類を考える。

### 3. 数値計算結果

#### 3.1. 計算モデル

図1に本研究の解析で用いた計算モデル図を示す。解析条件としては、*y* = 0をBi2212単結晶の表面とし、*x* = 0と*x* = *L<sub>x</sub>* = 0.410μmには周期境界条件を、*y* = *L<sub>y</sub>* = 1.90μmには線対称境界条件を用いている。また本解析では5層のCuO<sub>2</sub>面のみを考慮し、*z*方向周期境界条件を適用した。ピンニングセンタは、Pbイオン照射によるCuO<sub>2</sub>面に垂直な円柱形状ピンニングセンタを用い、照射量とピンニングセンタの個数は比例するものとした。また、外部磁場はCuO<sub>2</sub>面に垂直に印加した。

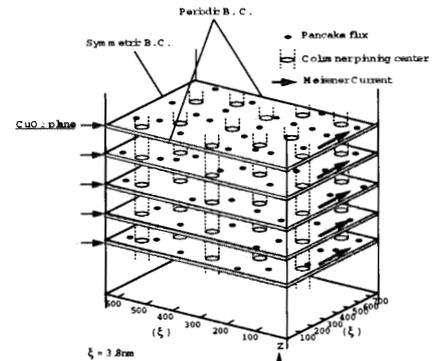


図1：数値計算モデル図

#### 3.2 臨界電流密度の数値計算結果と実験値の比較

図2はPb照射量を変化させた場合における臨界電流密度*J<sub>c</sub>*の数値計算結果と実験値の比較である。これより実験と数値解析結果の定量的な一致が確認された。よって本手法の妥当性が示された。

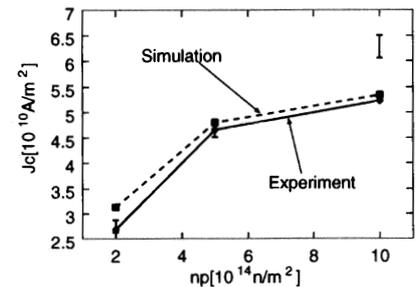


図2：臨界電流密度の照射量依存性

### 4. 結論

本研究では高温超電導体用磁束量子動力学法の改良を行ない、パンケーキ磁束生成・消滅制御、上下向きパンケーキ磁束、Meissner 磁場、の影響を考慮できるようにした。この改良後の手法を用い、ピンニングセンタの密度・配置を変えた場合の高温超電導体の臨界電流密度の重イオン照射量依存性を定量的に予測することに成功した。

### 参考文献

- [1] K. Takase, K. Demachi and K. Miya, *Cryogenics*, Vol. 38, (1998) pp. 197-203.
- [2] K. Miya, K. Demachi, K. Takase and H. Tsumori, *COMPEL*, (1998) to be published.
- [3] K. Demachi, H. Tsumori and K. Miya, *Proc. 8th Int. Work. Curr. Supercon.*, (1996) pp. 263-266.

## アクチノイド化合物・合金の高温物性及び反応性の研究

テーマ推進者 東大院・工系 山脇 道夫  
 実験参加者 東大・工 H. Suwarno、小野 双葉、山口 憲司  
 東北大・金研 山本 琢也

### 1 はじめに

ウラン-ジルコニウム (U-Zr) 合金の水素化物は、水素の効果により固有の安全性を有しており、既に TRIGA 研究炉などで使用された実績がある。一方、豊富に存在するトリウム (Th) 資源の有効利用、ならびに毒性の強い超ウラン (TRU) 元素の低減、などという観点から、U-Th 混合燃料が調べられてきた。これらの形態は、主として、酸化物、炭化物、熔融塩などであったが、トリウムは極めて安定な水素化物を生成するので、水素化物も燃料の一形態として非常に魅力的である。そこで、本研究では、TRIGA 炉での経験を発展させた U-Th-Zr 系の金属間化合物を基にする水素化物を提案し、新しい U-Th 混合燃料としての可能性を、様々な特性試験の結果より調査した。

### 2 実験方法

アーク溶解炉を用いて、U:Th:Zr = 2:1:6、1:1:4、1:2:6、1:4:10 の組成を有する純度 99.95 % 以上の U-Th-Zr 合金を作製した。各試料に対して、1173 K、 $1.2 \times 10^{-5}$  Pa の高真空下で脱ガス処理を行った後、温度 773~1173 K、水素圧力 100 kPa 以下の条件の下、水素吸収放出特性を調べた。また、1173 K にて等温脱離試験を行った。一部の試料については表面を研磨し、水素化前後の組織を走査電子顕微鏡 (SEM) で観察するとともに、X 線回折により結晶構造を調べた。さらに、温度変化時の相変態や分解反応等に伴う熱量の出入りを熱重量 (TG)-示差熱分析計 (DTA) ならびに示差走査熱量計 (DSC) で、熱拡散率をレーザーフラッシュ法で測定した。本報では、熱分析試験の結果を中心に報告する。

### 3 熱分析試験

TG-DTA 分析の結果によると、 $UTh_2Zr_6H_{15.5}$  の昇温による変化において、616 K に始まり 1116 K で終わるまで、3つの吸熱ピークが観測された。この試料では、昇温前は  $\alpha$ -U、 $ThZr_2H_{7-x}$ 、 $ZrH_{2-x}$  の3つの相が観察されたが、昇温後は  $\alpha$ -U、 $\alpha$ -Th、 $ThO_2$ 、Zr、 $\delta$ - $UZr_{2+x}$  が観察された。酸化物は、アルゴン (Ar) 雰囲気ガス中に微量ながら混入した酸素不純物の存在によるものである。図 1 は、 $U_2ThZr_6H_{13.3}$ 、 $UThZr_4H_{9.9}$ 、 $UTh_2Zr_6H_{15.2}$ 、 $UTh_4Zr_{10}H_{27}$  の各化合物に対して DSC 測定を行った結果を示したものである。低温側の幅広いピークは、 $P$  (温度) -  $C$  (濃度) -  $T$  (温度) 線図より、 $ZrH$ - $ZrH_{1.4}$  によるものであると考えられる。さらに図では、U の含有量が大きい試料 ( $U_2ThZr_6H_{13.3}$ ) では、1000 K 付近にピークが認められるが、U の含有量が小さくなるにつれこのピークは現れなくなり、替わって 1080 K 付近のピークが顕著になってくる。一方で、980 K のピークは U 含有量に対し

てほとんど影響されない。したがって、1080、980 K のピークは、それぞれ、 $\text{ThZr}_2\text{H}_{7-x}$ 、 $\text{ZrH}_{2-x}$  に基づくものであると言える。

#### 4 U-Th-Zr 合金の熱拡散率

図 2 に、U-Th-Zr 合金各種の熱拡散率の温度依存性を示す。図より、ここに示した合金のいずれにおいて 800 K 付近で急に熱拡散率が上昇し、Th の含有量が大きいほど熱拡散率が大きいことがわかる。一方、水素化物については、熱拡散率は温度とともに減少するが、 $\text{UO}_2$  よりは良好な値を示していた。また、900 K 以上では水素が解離するので、熱拡散率は増加する。

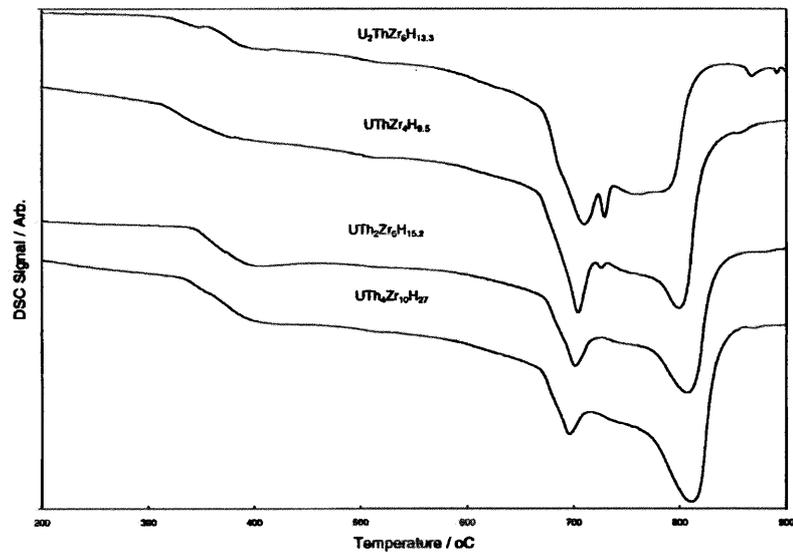


図 1:  $\text{U}_2\text{ThZr}_6\text{H}_{13.3}$ 、 $\text{UThZr}_4\text{H}_{9.9}$ 、 $\text{UTh}_2\text{Zr}_6\text{H}_{15.2}$ 、 $\text{UTh}_4\text{Zr}_{10}\text{H}_{27}$  の DSC 曲線。

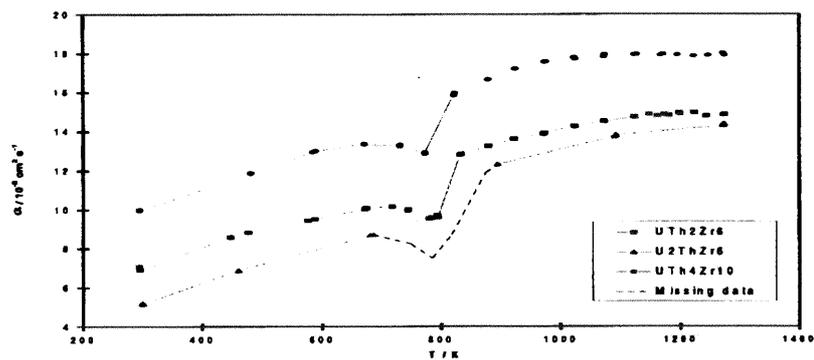


図 2:  $\text{U}_2\text{ThZr}_6$ 、 $\text{UTh}_2\text{Zr}_6$ 、 $\text{UTh}_4\text{Zr}_{10}$  合金の熱拡散率  $\alpha$ 。

## 核融合炉燃料・材料相互作用 (FFMI) に関する研究

テーマ推進者 東大院・工系 山脇 道夫  
 実験参加者 東大・工 大越 啓志郎、山口 憲司

## 1 はじめに

一般に水素同位体は金属膜を透過する。核融合炉においては、放射性同位元素であるトリチウムの漏洩といった好ましくない現象の原因となるが、一方では、プラズマ排ガスからの水素同位体の分離・精製への適用が提案されており [1]、他の産業分野でもその適用が検討されている。特に、ある特殊な条件下では、水素の透過速度が入射フラックスに匹敵するほど大きくなることもある。これを「超透過 (superpermeation)」と称している。

本研究では、新たに原子状ビーム源を既設の表面分析器付水素透過実験装置に組み込み、比較的「超透過」が実現し易いとされる Nb を対象に水素透過実験を試みた。特に今回の実験では、表面不純物組成の違いにより透過挙動に明瞭な違いが見られるという結果が得られた。

## 2 原子状ビーム源の概要

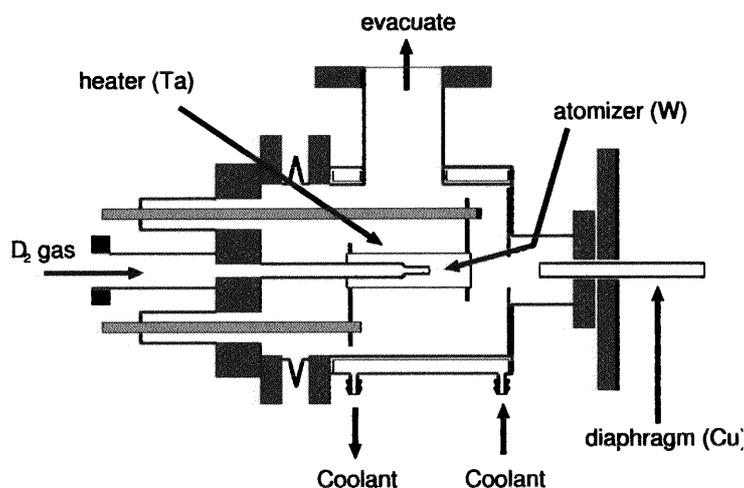


図 1: 原子状ビーム照射装置の概略。

図 1 に水素原子の注入に使用した原子状ビーム源を示す。原料ガスである重水素ガスは一定流量で W 製のノズル内を通過し、その過程で円筒状の Ta 製のヒーターで最大 2500 K 近くまで加熱される。このような高温において水素分子は原子に解離する:  $\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}(\text{g})$ 。この反応式の平衡定数を  $K_{\text{eq}}$  とすると、ある温度での解離度  $\alpha$  は、初期の水素分子の圧力  $P_{\text{H}_2}$  に依存し、

$$K_{\text{eq}} = 4\alpha^2 P_{\text{H}_2} / (1 - \alpha) \quad (1)$$

の解で与えられる。

### 3 実験結果と考察

図2ならびに3に、それぞれ、各測定温度で原子状重水素ビーム照射前後に行ったオージェ電子分光分析の結果、ならびにビーム照射による重水素の透過速度の温度依存性を示す。透過実験に供した Nb 試料は Nilaco 社製の厚さ 0.1 mm の薄膜 (公称純度; 99.9 %) で、アセトンで脱脂した後真空中にて 1050 K の高温でアニールした。

図2から分かるように、試料表面にはイオウが顕著に偏析しているが、各温度において表面元素組成はほとんど変わらない。また、図には示されていないが、数10時間以上にも及ぶビームの照射によっても、組成にはほとんど変化は認められなかった。このような場合、重水素の透過速度は、図3に示すように、ほとんど温度依存性が見られない。

これに対して、照射前の原子状ビーム源の調整が不十分の場合、照射に伴い炭素がビーム入射側表面に堆積するということが、オージェ電子分光分析によって明らかになった。このような状況下で透過実験を行った場合、今回の実験結果と比較して、特に低い温度において透過速度が著しく低下していることが図に示されている。このように温度依存性が小さいことは、「超透過」性を示す1つの根拠とされる [1]。実際、入射フラックスに対する透過速度の割合を求めてみると、0.05 程度となり、原子駆動による水素透過の場合の上限とされる 0.1 に近い値となった。

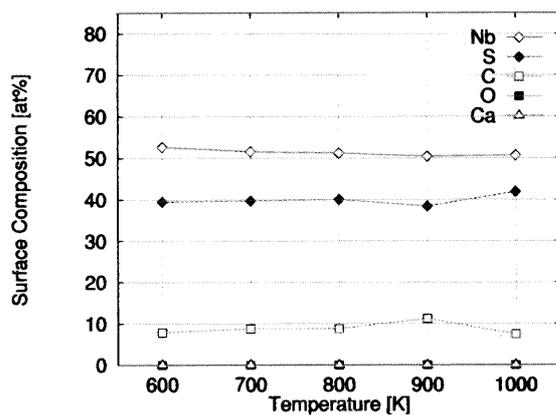


図2: 各温度における Nb 表面のオージェ電子分光分析の結果。

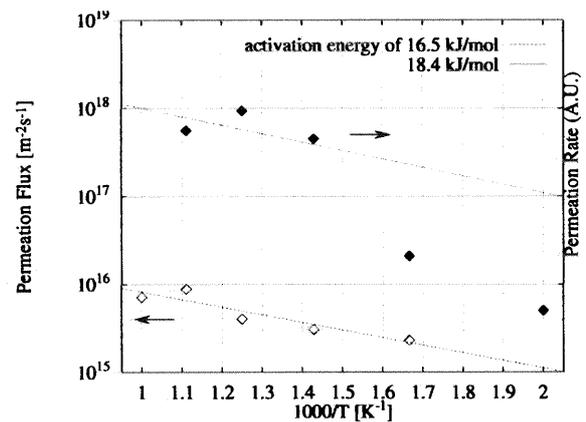


図3: 各温度における Nb からの重水素透過速度の温度依存性。

#### 参考文献

- [1] A. I. Livshits et al., J. Nucl. Mater. 196-198 (1992) 159.
- [2] A. I. Livshits et al, J. Nucl. Mater. 170 (1990) 79.

## 高速炉の熱流動

テーマ代表者 東大・工 原施 班目 春樹  
 実験参加者 東大・工 原施 岡本 孝司  
 馬場 昌法

### 緒言

高速増殖炉実証炉の設計においては、経済的観点から、システムの小型化、簡素化が検討されている。ところがシステムを小型化した場合、炉心からの十分な熱除去を行うために、冷却材を高流速で循環させることが必要となる。また、高速増殖炉は上部プレナムに自由液面を持つ。これは冷却材の膨張収縮を吸収するためと、炉内構造物を熱的に保護するためである。このように、容器内に自由液面と高速流れを持つ系においては、両者の相互作用に起因する不安定現象が発生する可能性がある。

筆者らは、側面流入、下部流出の矩形容器において、空气中に噴出した水噴流、または自由液面に沿って噴出した水噴流が自由液面下にもぐり込むような条件下で、液面および噴流が自励的に振動する現象を発見した。本研究ではこの現象の特徴について実験による検討を行う。

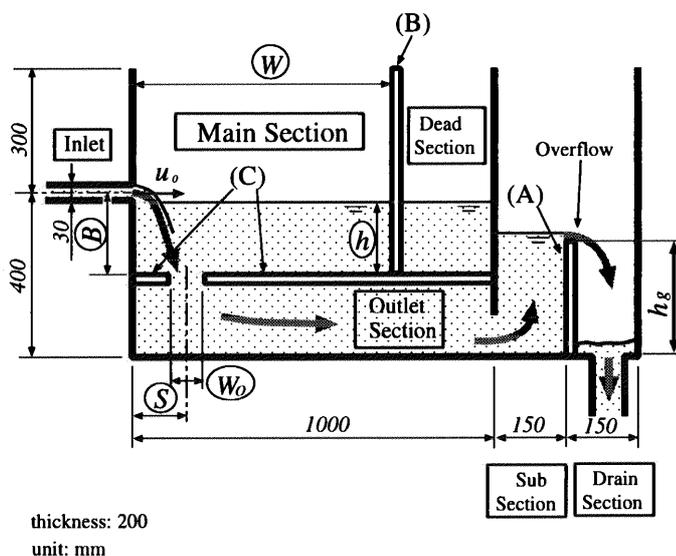


図1：実験装置

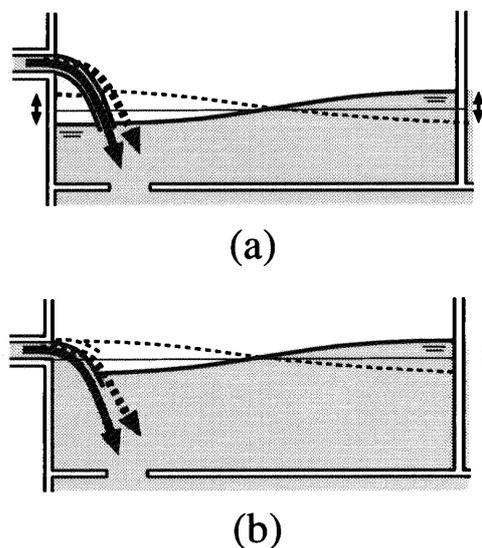


図2：もぐり込み噴流による自励スロッシング  
 (a) 噴流と液面との間に空隙がある場合 (b) 空隙がない場合

### 振動現象

本実験で用いたテストタンクは図1に示されるような直方体容器で、側面に流入口、底面に流出口を持つ。液位 $h$ はテストタンクの下流に設けられたオーバーフローゲートにより調節する。液位が流入口高さよりも低く設定された場合、容器内に流入した水は空气中を自由落下して液面に達する(図2(a))。また、液面がほぼ流入口と同じ高さにあるときには、噴流は液面に沿って噴出する(図2(b))。いずれの場合も、特定の流速、液位条件においては、噴流は液面下にもぐり込み、主流は流出口に向かう。液面下では噴流の両側に一对の循環渦を形成する。このようなフローパターンが形成される条件のうち、さらに特定の流速、液位条件下では、自由液面と噴流との相互作用により液面が振動を始め、やがて周期的なスロッシング状の液面振動へと成長する。このとき噴流の軌跡も液面の振動と同期して上下する。この現象をもぐり込み

噴流による自励スロッシングと呼ぶこととする。  
**振動数の容器幅依存性**

本実験では、自励スロッシングが発生する条件において容器幅と液面振動の振動数との関係を調べた。流入口高さ  $B$ 、流出口位置  $S$  をそれぞれ 0.20 [m]、0.15 [m] に固定、平均流入流速  $u_0$  と平均液位  $h$  を一定に保ち、容器幅  $W$  を徐々に拡大または縮小しながら容器右側壁付近の液位変動を測定し、振動数を求めた。図3に平均流入流速  $u_0=0.4$  [m/s]、平均液位  $h=0.08$  [m] の場合の容器幅  $W$  と振動数  $f$  の関係を示す。図において容器幅を拡大したときの測定点を○印、縮小したときの測定点を+印で示す。また、図中実線は、内部流れが無い場合の容器内流体の固有振動数である。測定した振動数は容器の固有振動数とよく一致している。容器幅を大きくしてゆくと理論式による曲線に沿って振動数が小さくなってゆくが、ある容器幅において振動モードが遷移し、より高次のスロッシングが発生する。逆に容器幅を小さくする場合にはより低次へのモード遷移が発生するが、モードが遷移する容器幅は容器幅を拡大する場合と一致しない。すなわちヒステリシスが存在する。これは容器幅によっては複数のモードが安定して存在できるためであると考えられる。また、この実験結果では1次から2次へのモード遷移、2次から3次への遷移がほぼ等しい振動数において発生している。同様に高次から低次へのモード遷移の振動数もほぼ一致している。図4に示すように、流速、液位を変えた同様の実験においても類似の傾向が観測された。系の中に特有の振動数を決める要素があり、これが容器内流体の固有振動に引き込まれている可能性がある。

**結論**

噴流が自由液面からもぐり込む条件において発生する自励スロッシングを発見した。その振動数は流れがない場合の容器内流体の固有振動数によく一致した。また、成長しうる振動の振動数は特定の範囲に限られ、それにより液面の振動モードが決定されることが実験的に示された。

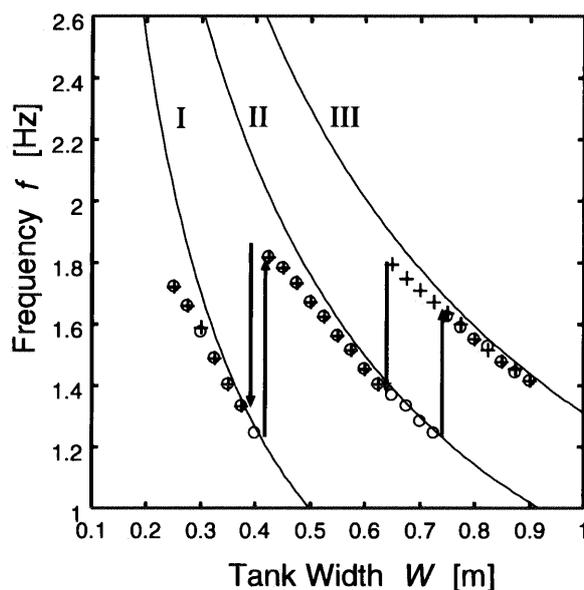


図3：振動数の容器幅依存性 ( $u_0=0.4$ [m/s],  $h=0.08$ [m])

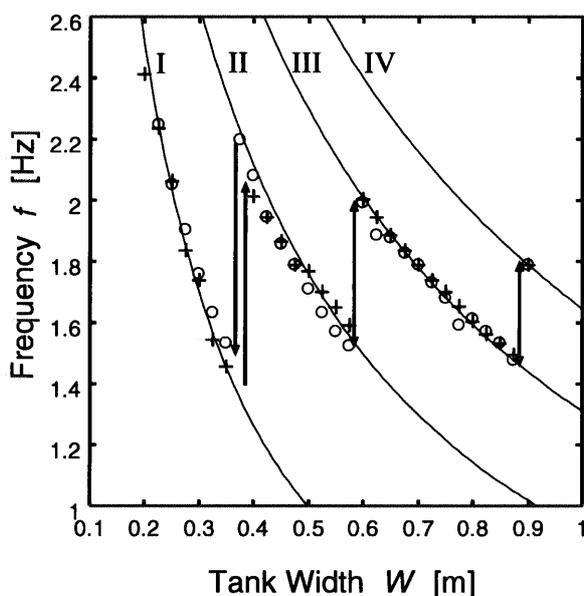


図4：振動数の容器幅依存性 ( $u_0=0.5$ [m/s],  $h=0.12$ [m])

# 超臨界圧軽水炉の設計研究

テーマ推進者 (東大・工・原施) 岡 芳明  
 実験参加者 (東大・工・原施) 越塚誠一、向原 民  
 土橋和夫、渡嘉敷幹郎

## 1. 序論

超臨界圧軽水冷却炉は超臨界圧水を冷却材とする貫流型直接サイクルの原子炉概念である。貫流型では給水ポンプによって駆動される冷却水が、再循環されることなく直接原子炉を冷却し、タービンへと向かう。従って、再循環系や気水分離器などの機器が無く、単純で簡素なシステムである。

これまでの研究では、ステンレスを被覆材とし通常運転時の最高表面温度制限を450℃として設計研究をおこなった。東京電力による簡易的な経済性評価では、原子炉系は大幅なコスト低減になるが、タービン系の物量は削減されないことがわかった。タービン系の物量削減のためには炉心出口温度を高くし、主蒸気流量を低減しなければならないが、設計制約条件の1つである最小伝熱劣化熱流束比(MDHFR)のためにこれが難しかった。

## 2. 過渡解析基準の合理化

MDHFRは、擬臨界温度付近において被覆の伝熱劣化を避けるための過渡解析基準であり、炉心流量に制限が課される。貫流型システムでは炉心流量が主蒸気流量と等しいため、MDHFRを用いる限り主蒸気流量の削減はできない。しかしながら、亜臨界圧水冷却における沸騰遷移と比較して超臨界圧水冷却における伝熱劣化現象は緩やかであり、しかも単相乱流現象として数値解析による予測が可能である。そこで、数値解析によって伝熱劣化後も含めた熱伝達率を求め、これを被覆の温度評価に用いることで、MDHFR基準をやめることとした。MDHFRを用いない場合の過渡解析基準を表1にまとめる。燃料棒の過圧破損を避けるため、採用した被覆材料の強度曲線から、被覆最高温度が基準として得られ、これが主要な制約となる。このように過渡解析基準を合理化することで、炉心流量を低減した設計が可能になった。

表1 燃料棒の破損様式と過渡解析基準

燃料状態	安全上の分類		燃料棒破損形式		
	安全レベル	安全評価の分類	機械的破損		熱的破損
			(1)燃料棒過圧破損	(2)PCI破損	(3)過熱破損
溶融	大量のFP放出	苛酷事故	破裂		最高被覆材表面温度1260℃以下 酸化15%以下
確実な破損	FP放出	設計基準事故			
系統的破損	いくらかのFP放出		変形または破損の可能性有	塑性変形1.0%以下	被覆材温度が制御温度以下
系統的破損なし	FP放出なし	過渡・通常運転	設計応力比1以下 累積疲労係数1以下		
SCFRの過渡事象判断基準			被覆管温度610℃以下	事象ごとに計算	不要
SCFR-Hの過渡事象判断基準			被覆管温度840℃以下	事象ごとに計算	不要
BWRの過渡事象判断基準			燃料ペレットが溶融しないこと	熱流束180%以下	MCPR>1.07

### 3. 高温炉の設計

被覆表面最高温度を620℃とし、MDHFRを用いずに超臨界圧軽水冷却熱中性子炉(SCLWR-H)および高速増殖炉(SCFBR-H)を設計した。炉心特性を表2に示す。どちらも1,500MWe級の大型炉となっている。SCLWR-Hでは水ロッド中の冷却材を下降流としている。この下降流の流量割合を変化させることで燃焼反応度を補償することができる。SCFBR-Hでは増殖性能を上げるため、燃料に窒化物を採用している。核分裂性Puの残存率は1.018となり、軽水冷却で増殖が可能である。

表3に高温炉、以前に設計した低温炉、ABWRの特性比較を示す。単位電気出力あたりの主蒸気流量は、低温炉ではABWRよりも大きくなっているが、高温炉では大幅に改善されていることがわかる。

### 4. まとめ

今年度は過渡解析基準の合理化をおこない、MDHFRを用いずに高温炉の設計研究をおこなった。単位電気出力あたりの主蒸気流量を大幅に削減することができ、タービン系の物量の大幅な低減が期待できる。

表2 高温超臨界圧軽水冷却炉

	SCLWR-H*1	SCFBR-H*2
熱/電気出力[MW]	3568/1570	3550/1540
熱効率[%]	44.0	43.4
運転圧力[MPa]	25	25
入口/出口温度[°C]	280/508	320/490
給水流量[kg/s]	1816	2102
単位電気出力当りの流量[kg/s/MW]	1.16	1.36
炉心有効高さ/直径[m]	4.2/3.29	3.2*3/3.63*3
燃料	UO <sub>2</sub>	MN (99% <sup>15</sup> N)
燃料棒直径/ピッチ[mm]	8.0/9.5	8.8/10.1
被覆材料/最高表面温度[°C]	Inconel/620	Inconel/620
被覆厚さ[mm]	0.40	0.52
最高線出力[W/cm]	390	400
最大/平均出力密度[W/cm <sup>3</sup> ]	499/100	407/107*3
燃料/ブランケット集合体数	211/0	216/295
燃料濃縮度(富化度)	5.31 <sup>235</sup> U%	12.0-13.3 Pu <sub>f</sub> %
平均取出し燃焼度[GWd/t]	45	37.6
冷却材密度係数[dk/k/(g/cc)]	0.4	0.014
Pu <sub>f</sub> 残存率	-	1.018

\*1 水ロッド下降流冷却 \*2 ブランケット下降流冷却 \*3 ブランケット含む

表3 プラントの特性比較

炉心	高温炉心(SCLWR-H)	低温炉心(SCLWR)*	ABWR
熱/電気出力 [MW]	3568/1570	2490/1013	3926/1356
熱効率 [%]	44.0	40.7	34.5
被覆/制限温度	Ni合金/620C	S.S./450C	Zircaloy/-
水ロッド型	下降流	上昇流	上昇流
集合体数	211	163	872
平均濃縮度 [%]	4.94	5.43	3.2
炉心高/等価直径 [m]	4.20/3.32	3.70/2.92	3.71/5.16
平均出力密度 [MW/m <sup>3</sup> ]	101	101	50.6
炉心入口/出口温度 [C]	280/508	324/397	278/287
流量 [kg/s]	1816	2314	2122
電気出力当り流量 [kg/s/MW]	1.16	2.28	1.56

\*伝熱劣化の制約あり

## 画像認識技術の応用に関する研究

テーマ推進者	東大・工・原施	岡本 孝司
実験参加者	東大・工・原施	班目 春樹、鶴 大悟、佐藤 聡、酒井 清吾 染矢 聡、佐伯 莊一、池田 耕、松山 敬介
	東大・生研	佐賀 徹雄
	動燃	大島 宏之、飯田 将雄
	関西大学	植村 知正
	福井大学	山本 富士夫

### はじめに

画像認識技術を物理量計測に応用する研究として、粒子画像流速測定法 (PIV) や画像処理による密度分布計測が行われている。

粒子画像流速測定法 (PIV; Particle Imaging Velocimetry) は、流れを微小粒子により可視化し、可視化画像を画像処理する事によって、定量的な流速分布を算出しようとするものである。従来からの熱線流速計などに比べて、流れ場全体の同時計測を高速自動化して行えるという特長を有するため、今日急速に発展普及している。世界中のさまざまな研究者により、さまざまな手法が提案され、幾つかの手法については実用化も図られている。

ところが、これらのさまざまな手法の開発は、各研究者毎に実施されており、その評価手法も各開発者独自のものとなっている。実用化を図られている汎用的な手法についても、そのシステム全体としての評価基準は無く、計測されたデータの誤差評価に対する一般的な評価データも無い。

さらに、機材ソフト一式を購入しただけでは、十分信頼度のあるデータが取れるわけではない。例えば、レーザドップラ流速計は、システムを購入すれば、若干の熟練は要するものの、簡単に精度の高い計測が可能となっている。それに対し、PIV の場合には、測定手法自体に工夫が必要である事、精密な校正を必要とする事、誤差や過誤ベクトルをユーザが評価する必要がある事、など汎用化を阻む問題が多く、一般的な計測方法が確立されているとは言いがたい。

PIV を工学的に有効な手法として確立するためには、PIV システムや手法の利点欠点を定量的に評価する指標の制定が急務となっている。PIV は流速測定のためのシステムであり、大きく分類して、可視化により画像データを取得するシステムと画像データから流速分布情報を算出するための解析システムに分類できる。本研究では、まず後者の画像データ取得後の解析システムの評価に利用することができる標準画像を構築した。

### PIV 標準画像

PIV 標準画像生成のためのベースとなる流速分布は既知である必要がある。また、より一般的な流れ場を対象とするため、3次元流であることが望ましい。この様なことから、本研究では流速分布として3次元 LES (Large Eddy Simulation) による衝突噴流場を対象とする事とした。これは、3次元的な流れ場を含むとともに、細かいスケールから大きなスケールまでの複雑な運動が含まれていると考えられるためである。

二次元噴流が平面に衝突する流れ場であり、噴流レイノルズ数 (Re) 6000 の乱流状態で

ある。解析領域は、ノズル巾を  $B$  として、 $x$  方向  $53B$ 、 $y$  方向  $10B$ 、 $z$  方向  $3.9B$  である。この領域を、 $300 \times 100 \times 34$  の不等間隔メッシュに分割し、LES を用いて 3 次元過渡解析を実施した。この時のある瞬間の流速分布をベースとし、画像データを生成した。実際の流れ場では、流速分布が時間とともに変動する。画像データ生成においても、過渡流速場を用いることが望ましいが、まず、簡単のため、瞬間値を用いることとした。

標準画像はインターネット上の WWW を用い、<http://www.vsj.or.jp/piv> において公開されている。ここでは、画像データを JAVA を用いた Animator により動画として参照することができる。さらに、FTP などを用いて、各自のコンピュータに画像データが取得できる。インターネットを用いる事で、データの配付および参照が世界規模で容易に行なう事ができる。

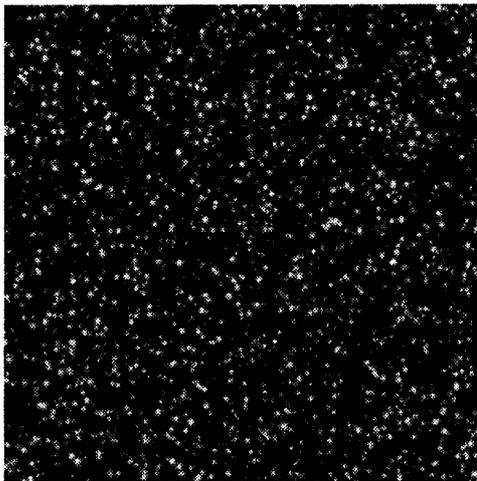
図 1 に本研究で生成した標準画像の一例を示す。実画像に近い画像データが生成できており、アルゴリズムの検証に用いることが出来る。

### 結論

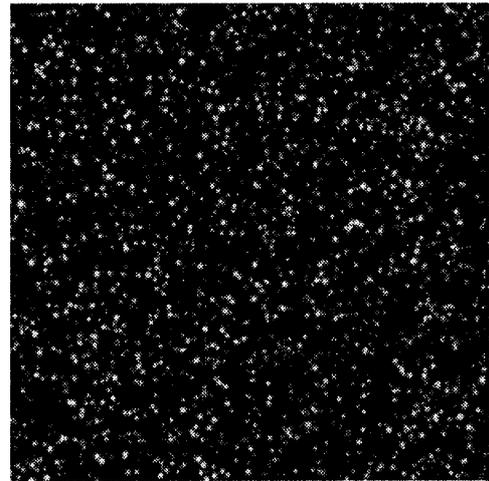
PIV のための標準画像を構築するための要件に関して考察し、標準画像を構築した。標準画像はインターネットを通じて公開され、誰でもが利用できる。今後、この画像のバージョンアップを実施するとともに解析結果評価のためのツールを整備する必要がある。

### 主要発表論文

1. Okamoto, K., Tsuru, D. and Fumizawa, M., Journal of Flow Visualization and Image Processing, Vol. 3, No. 4, (1997), pp. 253-264.
2. Okamoto, K., JSME, Int. Journal, Series B, Vol.41, No.1, (1998), pp.151-154.
3. Okamoto, K., Proc. PIV'97-Fukui, Fukui, (1997), pp.57-62.
4. Okamoto, K., Nishio, S., Kobayashi, T. and Saga, T., Proc. PIV'97-Fukui, Fukui, (1997), pp.229-236.
5. Okamoto, K., Proc. FLUCOME'97, Hayama, (1997), pp.965-970.
6. 岡本 孝司、佐賀 徹雄、西尾 茂、小林 敏雄、可視化情報学会誌、Vol.17, No.66, (1997), pp.239-244.



(a)  $t=0$



(b)  $t=1$

Fig. 1 Example of the standard image (01)

## 照射相関法の高度化

研究テーマ代表者 (東大・工) 関村 直人  
研究参加者 (東大・人工物) 岩田 修一  
(九大・応力研) 森下 和功  
(原研・東海) 鈴木 雅秀  
(東大・原総センター) 岩井 岳夫  
(東大・工) 河西 寛、荒井 良夫、与那嶺真一、中村 俊、  
山口 博英、沖田 泰良、森岡智昭

### 1. 緒言

照射量の標準単位として  $dpa$  (displacement per atom) は合理的なものであるが、照射による材料特性の変化とは直接対応するものではない。したがって原子力用材料の照射損傷を定量的に評価するためには、損傷の  $PKA$  (primary knock-on atom) エネルギー ( $E_p$ ) 依存性を詳細に解析することが必要となる。高エネルギー粒子と固体の相互作用は、極微小な領域で短時間の間に起こる現象であるため、実験的手法により調べることは困難であるが、近年のコンピュータの発達により計算機シミュレーションによる原子レベルでの解析が有効な手段となっている。現在までに2体衝突近似法や分子動力学法によって多くの金属中のカスケード損傷シミュレーションがなされてきた。今回、核融合炉材料の損傷初期過程のモデリングのため、上記手法により得られた数十ピコ秒の間に形成される点欠陥が自由点欠陥になる過程をモンテカルロ法を用いて計算し、自由点欠陥生成率、再結合確率等の  $PKA$  エネルギー依存性を定量的に評価した。

### 2. 方法

初期条件は空孔が中心部分に局在しているカスケードを模擬したものである。フレンケル対の数とカスケードの大きさは  $MD$  計算により導き出されたものを用い、 $PKA$  エネルギーに合わせて変化させた。対象として  $\alpha$ -Fe を採用し、計算は一辺  $15a_0$  から  $35a_0$  の立方体の系内で行い、方法は空孔と格子間原子 (亜鈴型) を  $W = \exp(-\Delta E/kT)$  の確率でランダムな方向に移動させるメトロポリス法を基本にしたものである。  $\Delta E$  は Finnis-Sinclair 型のポテンシャルから計算している。境界から外へ出た点欠陥を自由点欠陥としてカウントする一方で、それとは別に周期境界条件を適用し、再結合率等を求め、両者を比較検討した。

### 3. 結果

図1は再結合によるフレンケル対の減少の様子を示したものである。これは周期境界条件を適用した場合の計算であり、4種類の  $PKA$  エネルギーのカスケードを模擬したものである。  $E_p$  が  $10\text{ keV}$  と  $5\text{ keV}$  の場合、2段階の回復過程を見ることができ、これらは格子間原子と原子空孔の移動の活性化エネルギーの違いに起因しており、また移動で

きない欠陥クラスターの存在を示すものである。

図2は上と同じ条件での再結合確率のPKAエネルギー依存性を示している。絶対的な再結合の数 $N_{\text{recom}}$ は単調に増加するが、初期フレンケル対に対する割合 $N_{\text{recom}}/N_{\text{iniF-P}}$ は単調に減少している。

#### 4. 結論

単一のカスケードにより生成される点欠陥は0.1 msecまでに再結合を繰り返し、 $NRTdpa = \kappa E_p/E_d$  の十数% ( $E_p = 5 \sim 10$  keV) にまでその数を減らすことがわかった。また格子間原子クラスターの大きさは全て1 nm 以下であり、材料のマクロ特性の変化は更に長時間スケールにおけるこれらの移動、核形成、成長によって引き起こされるものであると考えられる。

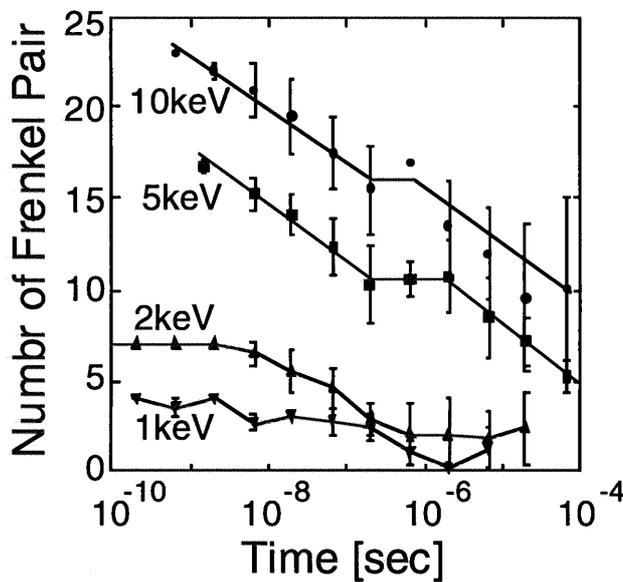


図1 様々なPKAエネルギーでの初期フレンケル対の形成から時間の関数としてフレンケル欠陥数の減少過程を示した図

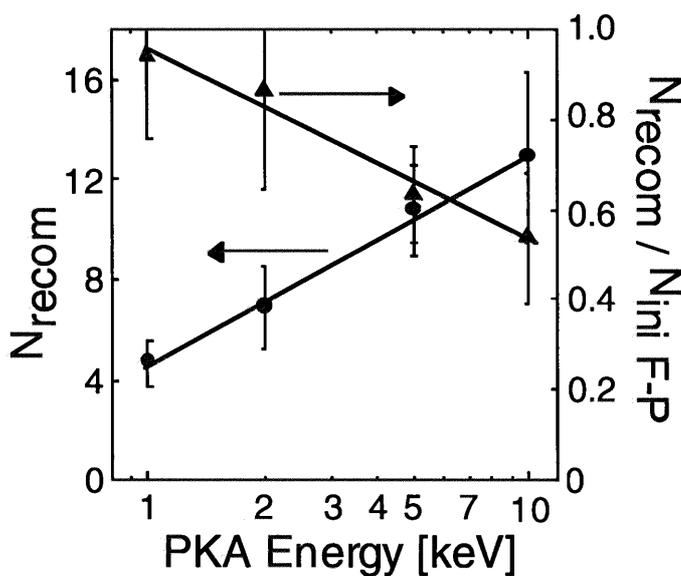


図2 フレンケル対の再結合による消滅(率)のPKAエネルギー依存性

## 高温ガス炉（HTGR）安全解析の高度化に関する研究

研究テーマ代表者 (東大・工) 班目 春樹  
 実験参加者 (東大・工) 岡本 孝司、鶴 大悟、酒井 清吾、染矢 聡、  
 (東大・工) 佐伯 壮一、ミハイ・ビストリツェアヌ、  
 (東大・工) 池田 耕、松山 敬介、富宇賀 健、馬場 昌法、  
 (東大・工) 櫻井 克己、田中 源太郎、守矢 豊、遠藤 智子  
 (原研) 文沢 元雄  
 (動燃) 飯田 将雄

### 1 序論

現在開発中の高温ガス炉は、高温での運転により高効率を目指した新型の炉である。高温ガス炉の圧力容器上部にあるスタンドパイプ破断事故は、炉の設計基準事故である [1]。この事故が起こると、まず圧力差によってヘリウムガスが圧力容器内から格納容器へと流出する。続いて、内部に残ったヘリウムと、外部の空気とが密度差によって入れ替わる。事故後すぐに大量の酸素が炉内に侵入すると、減速材である黒鉛が酸化し、事故が拡大する。そのため、高温ガス炉の安全解析のためには密度差駆動置換流における流量予測が重要である。

単一開口部に対する研究は、Epstein らなど多数行なわれている [2]。開口部が複数になると循環流路が形成され、置換流量が増大する。姜らは、図に示す 2 つの流路をもった開口部における密度差駆動置換流について実験的検討を行ない、管路網モデルに基づく、複開口部における置換流量予測式を提案している [3]。二流路が近接している場合には、上昇流と下降流との干渉が生じ、置換流量に対して大きな影響を与える。この流れには、開口部出口周辺の形状効果が大きく関与しているものと考えられる。

そこで本研究では、近接複開口部を介した浮力駆動置換流の形状効果を解明することを目的とする。上昇流と下降流との相互作用の大きさは、開口部断面の縦横の比、つまり断面アスペクト比を変更することにより、意図的に操作することが出来る。そこで、本研究では、断面アスペクト比を変えることにより、上昇流と下降流との相互作用の大きさを変化させ、それによりフローパターン、置換流量に生じる影響について実験的検討を行なう。

### 2 実験方法

本実験で用いたヘリウム-空気置換実験装置の概略図を Figure 1 に示す。本研究で対象とする開口部は、実験容器の上部に設置されている。小開口部は直方体形状をしており高さ 100[mm]、断面は  $w$ [mm]  $\times$   $d$ [mm] の矩形で、中心線上を厚さ 0.5[mm] 薄板で仕切ることにより、 $w/2$ [mm]  $\times$   $d$ [mm] の断面を持つ 2 流路となっている。開口部外壁、及び中央仕切りは透明アクリル板製である。従来の研究では、 $d/w = 1$  の体系のみで実験を行なっており、上昇流と下降流とが開口部中央仕切りによって仕切られた 2 流路各々を全体的に流れるようなフローパターンのみが観測されている。仕切り長さ  $d$  を変えることによって出口近傍における上昇流と下降流との相互作用を変化させることが出来る。本研究ではこの相互作用を増やす方向の  $d/w > 1$  で実験を行なった。実験に用いた開口部の寸法を、Table 1 に示す。

初期状態において、実験容器内をヘリウムガスで満たした状態で、開口部上部のストッパを解放すると、重力により開口部を介して容器内からヘリウムが噴出すると共に、空気が容器内に流入して置換流が生じる。この置換流の置換流量を測定すると共に、開口部周辺のフローパターンを観測する。

### 3 実験結果

6 種類の開口部を用いて、それぞれ 3 ~ 16 回実験を行い、それぞれの場合の置換流量とフローパターンを測定した。

$d/w$  が比較的小さい開口部 A1、A2 においては、同一の実験条件にもかかわらず、置換流量大と流量小の 2 つの状態が観測された。各々のフローパターンを観測したところ、いずれの場合も上下流が開口部中央の仕切りで

区切られた別々の流路を流れるフローパターン (s) であったが、置換流量大の場合はヘリウム上昇流が開口部上部にて流入空気流に引き寄せられずにまっすぐ上方へ立ち昇るパターン (s1)、置換流量小の場合は流入空気流に引き寄せられるパターン (s2) であった。

中間的な  $d/w$  を持つ開口部 A5、A10 においてもやはり、置換流量大小の2つの状態が観測された。置換流量小の場合は、上記のパターン (s2) と同様のフローパターンであった。置換流量大の場合は、上下流が仕切りにより区分されないパターン (u)、特に上下流が断面の長手方向 ( $d$  方向) の両端に分かれて流れるパターン (u1) が観測された。

$d/w$  が非常に大きく、扁平な開口部 B20 においても置換流量大小の2つの状態が観測された。置換流量大小いずれの場合もパターン (u) であり、パターン (s) は観測されなかった。流量大の場合は上記の (u1) が、流量小の場合は中央付近に下降流があり両端をヘリウム上昇流が流れるようなパターン (u2) が観測された。

$d = w = 22[\text{mm}]$ ,  $d/w = 1$  である開口部 B1 においては、観測された置換流量は1種類だけであり、そのときのフローパターンは上記の (s2) パターンであった。

以上まとめると Figure 2 に示すような4種類のフローパターンが観測された。大部分の開口部で、同一の条件で実験を行ったにもかかわらず場合によって複数のフローパターンが生じる、という現象が観測された。また、置換流量は開口部形状だけでなく、フローパターンにも依存していた。発生するフローパターンの種類は、開口部の形状に依存しており、開口部断面のアスペクト比  $d/w$  が比較的小さい体系においては上下流が別々の流路を流れる (s) パターンが、 $d/w$  が比較的大きい体系においては2流路各々を上下流が混在して流れる (u) パターンが観測された。

## 参考文献

- [1] 日本原子力研究所, 高温ガス炉, (1992), pp.27-30.
- [2] Epstein, Trans. ASME, J. Heat Transfer, 110(1988), pp.885-893.
- [3] 姜, ほか3名, 機論, 59-566, B(1993), pp.3106-3112.

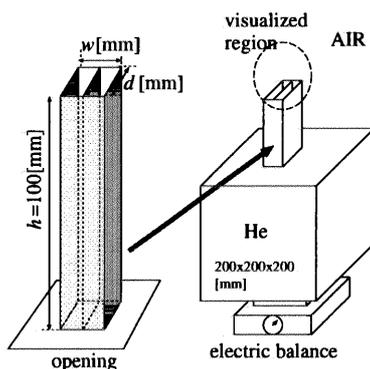


Figure 1 Experimental apparatus

Table 1 Geometry of openings

	$w$	$d$	$h$
A1	10	10	100
A2	10	20	100
A5	10	50	100
A10	10	100	100
B1	22	22	100
B5	10	50	100
B20	5	100	100

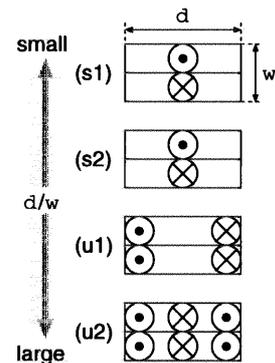


Figure 2 Observed flow patterns (Top view of openings)

## TRU 元素の地下環境移行挙動(3)

テーマ代表者	東大・院	工	田中 知
実験参加者	東大・院	工	長崎 晋也、鈴木 篤之、山口 貴行、津島 悟
	東大・工	原施	山口 憲司
	京大炉		森山 裕丈

### 1. 序

高レベル放射性廃液は、ホウケイ酸ガラスに固化された後、ベントナイトを主成分とする緩衝材によって周囲を囲み、数 100 m 以深の地層中に埋設されることが検討されている。このため、高レベル放射性廃棄物中に含まれる TRU 核種がベントナイト中をどのように移行するのかを定量的に評価する必要がある。これまではウランやプルトニウム、ネプツニウムといった重要な核種の吸着分配係数の測定が数多くなされてきたが、還元性雰囲気での吸着挙動や表面錯体モデルのようなモデル化研究は必ずしも十分に行われているとは言い難い。

そこで本研究では、4 価ネプツニウム (Np(IV)) のベントナイトへの吸着挙動をバッチ法によって測定するとともに、表面錯体モデルを適用し、その表面錯体形成の平衡定数の評価を試みた。

### 2. 実験方法

フランス CEA より購入した Np-237 溶液を Np(IV) に還元した後、十分に脱気しヒドラジンを添加した蒸留水で飽和させたベントナイトを入れたポリプロピレン溶液に添加した。NaOH 溶液で pH を pH = 5 から 10 に調整するとともに、NaClO<sub>4</sub> でイオン強度を 0.1 M に、また Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> で炭酸濃度を 0.01 M に調整した。

1 週間の接触時間の後、遠心分離によって固液を分離した後、さらに上澄み液を採取し分画分子量 10000 の限外ろ紙にて分画した。上澄み液中の Np の放射能レベルと濾液中の放射能レベルとからベントナイトへの吸着分配係数を評価した。

### 3. 結果と考察

分配係数の pH 依存性に関する実験結果を図 1 に示す。図中のプロットが実験結果である。pH が上昇するに従い分配係数も増加し、pH = 8 付近で最大となり、その後は pH の上昇に伴い減少することがわかった。

この結果を表面錯体モデルを用いてシミュレートした。使用したベントナイトは、クニミメ工業製月布産出のもので、これまで多くの研究を通してその表面吸着サイトに関する酸の吸着・脱離定数は十分に把握されている。さらに、Np(IV) の加水分解定数は PHREEQE の平衡定数データセットの利用が可能である。しかし、炭酸錯体に関する定数は不明であるため、ここでは Pu(IV) に関する炭酸錯体安定化定数を使用した。

表面錯体モデルのフィッティング結果を図 1 に実線として示す。フィッティングに使用したデータ、ならびに最適化の結果得られた表面錯体平衡定数を表 1 に示す。本研究は、Np(IV) のベントナイトへの吸着に関する初めての報告であり、かつ表面

錯体モデルを初めて適用したものである。これらの結果は、還元性が期待される地下深部におけるベントナイト中核種移行評価に重要な知見を与えるものと考えられる。

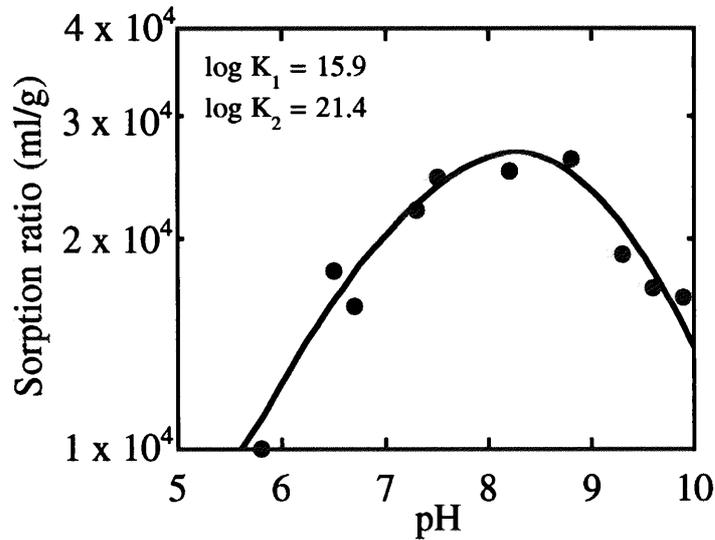


図1 Np(IV)の吸着分配係数の pH 依存性

表 1 表面錯体モデルのフィッティングに使用した表面解離定数と Np(IV)の安定化定数、ならびに Np(IV)吸着の表面錯体平衡定数

Thermodynamic data	
$\text{Np}^{4+} + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Np}(\text{OH})_2^{2+}$	$\log K = -3.0$
$\text{Np}^{4+} + 3\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Np}(\text{OH})_3^+$	$\log K = -6.0$
$\text{Np}^{4+} + 4\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Np}(\text{OH})_4$	$\log K = -9.0$
$\text{Np}^{4+} + 3\text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{Np}(\text{CO}_3)_3^{2-}$	$\log K = 42.3^*$
$\text{Np}^{4+} + 4\text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{Np}(\text{CO}_3)_4^{4-}$	$\log K = 45.0^*$
$\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$	$\log K = 10.3$
$2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$	$\log K = 16.7$
Surface complexation reactions	
$\overline{\text{SOH}} + \text{H}^+ + \text{Np}(\text{CO}_3)_3^{2-} \rightleftharpoons \overline{\text{SOH}_2\text{Np}(\text{CO}_3)_3^-}$	$\log K_1 = 15.9$
$\overline{\text{SOH}} + \text{H}^+ + \text{Np}(\text{CO}_3)_4^{4-} \rightleftharpoons \overline{\text{SOH}_2\text{Np}(\text{CO}_3)_4^{3-}}$	$\log K_2 = 21.4$
$\overline{\text{SOH}} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \overline{\text{SOH}_2^+}$	$\log K = 9.3$
$\overline{\text{SOH}} \rightleftharpoons \overline{\text{SO}^-} + \text{H}^+$	$\log K = -10.3$
$\overline{\text{SOH}} + \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \overline{\text{SOH}_2\text{CO}_3^-}$	$\log K = 18.8$
$\overline{\text{SOH}} + \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \overline{\text{SOH}_2\text{HCO}_3}$	$\log K = 15.2$

\*: Assumed to be the same value as that of Pu(IV)

# 原子炉熱出力変動吸収機構の開発研究

テーマ推進者 千葉大学 菱田 誠  
 実験参加者 九州工業大 増岡 隆士 工学院大 小泉 安朗 東亜大 岡本 芳三  
 名古屋大 森吉 泰生、田中 学 茨城大 奥 達夫、稲垣 照美  
 原研 秋野 詔夫、椎名 保顕、武田 哲明、文沢 元男、稲葉 良和  
 東大 上坂 充、吉田 義勝

## 1. 緒言

現在、エネルギーの大量消費に伴う環境汚染が問題となっている。その解決方法の一つとして排熱を一時貯蔵し、必要時に取り出す蓄熱技術の開発が重要である。本研究では、相変化時の潜熱を利用した、潜熱蓄熱を用いる。従来の相変化物質を用いた潜熱蓄熱システムにおいては、放熱時に固相が伝熱面上に発達し、伝熱性能を悪化させる。この問題を解決するためには、多孔性セラミックスに、相変化物質を浸透させた複合物を用いた蓄熱体が有効であると考えられる。それは、熔融塩を熱伝導率の高いセラミックスに浸透させることにより、セラミックスを通しての熱移動を期待することが可能となり、その結果、伝熱性能が向上するためである。本研究では最初に蓄熱体の製作方法の検討を行い、次に製作した蓄熱体の熱特性（融解熱、比熱、熱伝導率、熱拡散率）を評価することを目的とする。

## 2. 蓄熱材の選定

相変化物質には、高温域での蓄熱利用を考え、融点が $250^{\circ}\text{C}$ ～ $500^{\circ}\text{C}$ までの範囲で融解熱の大きい熔融塩を選んだ。本研究では $\text{LiF-LiOH}$ (21.3-78.7w%, 融点 $T_m=430^{\circ}\text{C}$ , 融解熱 $\Delta h_m=789\text{J/g}$ ),  $\text{LiOH-LiCl}$ (48.2-51.8w%,  $T_m=274^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta h_m=473\text{J/g}$ ),  $\text{LiCl-LiF}$ (78.8-21.2w%,  $T_m=484^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta h_m=464\text{J/g}$ )の3種類の混合塩を用いる。

セラミックスには、 $\text{MgO}$ ( $\phi=42.6\text{mm}$ ,  $t=9.9\text{mm}$ , 気孔率 $p=42.7\%$ ),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ( $\phi=43.3\text{mm}$ ,  $t=10.0\text{mm}$ ,  $p=39.4\%$ )の2種類を用いる。

## 3. 蓄熱体の製作方法

熔融塩/セラミックスの複合物の製作は、電気炉(いすず製作所, AT-E58, 使用可能温度 $250^{\circ}\text{C}$ ～ $1150^{\circ}\text{C}$ )を用いて、以下の手順で行った。

混合塩約300gをろつぽに入れ、高温雰囲気中で熔融させる。熔融塩の融点のより約 $20^{\circ}\text{C}$ 高い温度になったことを確認した後、その中に多孔性セラミックスを浸すと、熔融塩がセラミックスの気孔中に浸透する。十分に浸透した後、セラミックスを熔融塩中から取り出す。熔融塩がセラミックスの気孔中にどの程度浸透するかを調べるため、予備実験として2種類のセラミックスの充填率を測定した。充填率は、セラミックスに浸透した熔融塩の体積とセラミックスの気孔体積の比によって求めた。

## 4. 蓄熱体の熱特性の測定方法及び装置

### 4. 1 融解熱、比熱の測定

本研究では、熔融塩、及び、熔融塩をセラミックスに浸透させた蓄熱体の一部から測定試料として約10mg取り出し、融解熱、比熱を示差走査熱量計(DSC)を用いて測定する。DSCの概略図をFig. 1に示す。DSCとは、標準物質および試料の温度を一定速度で昇温、又は降温させ、標準物質と試料に加える熱量の差を温度の関数として測定する技法である。熱量の差は、両者の温度差に比例することから、温度差を測定することで融解熱、及び、比熱を求めることができる。

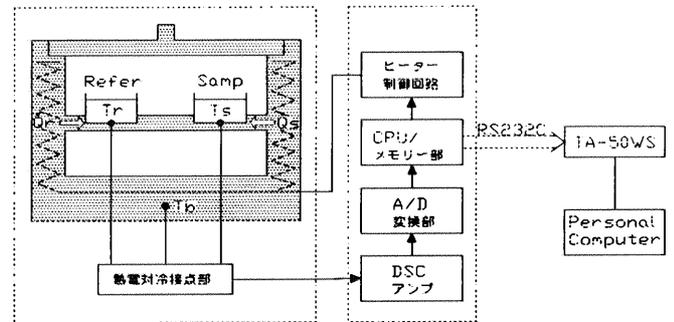


Fig. 1 DSCの概略図

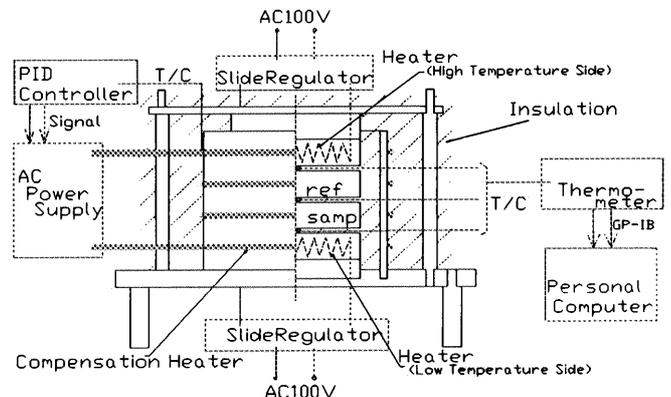


Fig. 2 熱伝導率測定装置の概略図

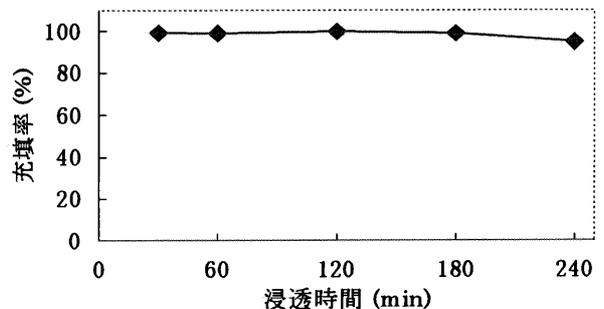


Fig. 3 MgOの浸漬時間と充填率の関係

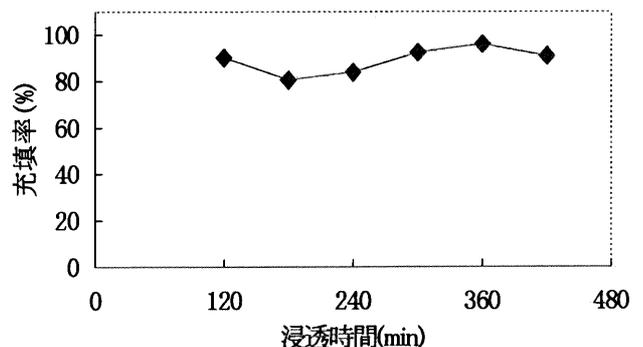


Fig. 4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の浸漬時間と充填率の関係

#### 4. 2 熱伝導率の測定

熱伝導率の測定には、比較法を用いる。比較法とは、熱伝導率が既知の標準物質(ref)を用いて、標準物質、試料(samp)のそれぞれの温度差の比と標準物質の熱伝導率から、試料の熱伝導率を求める方法である。

熱伝導率を測定する装置をFig. 2に示す。高温側、低温側ヒーター(ニクロム線)にかかる電圧をスライドレギュレーターで調整することにより、全体の温度レベルと温度差を決定する。また、円周方向への熱損失を防ぐために補償ヒーターを巻く。各部の温度を、CA熱電対で測定し、標準物質と試料における温度差を求めた。

#### 5. 結果と考察

セラミックスの熔融塩中への浸漬時間増加と、充填率の変化をFig. 3とFig. 4に示す。MgOは30分以上、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は6時間以上、熔融塩に浸すことで、十分な充填率を得ることができた。

DSCを用いた混合塩(LiOH-LiCl)、複合物(LiOH-LiCl/MgO)の融点と融解熱の測定結果を、それぞれFig. 5とFig. 6に示す。複合物の融点(256.6°C)は、混合塩の融点(270.6°C)に比べて低いことがわかる。また、混合塩が1つの融解ピークを持つのに対し、複合物は複数の融解ピークが検出された。この原因の一つとして、混合塩がセラミックスの気孔中に浸透するとき、または、気孔中で凝固するとき、混合塩の組成にばらつきが生じていることが考えられる。

次に、蓄熱体の一部を取り出し、15回の繰り返し測定を行った。その結果を、Fig. 7に示す。融点はほぼ一定値を示しているのに対して、融解熱は徐々に減少し、1サイクル目と15サイクル目を比べると、15%ほど減少している。この結果からだけでは、サイクル数を増やすと減少し続けるか、或は、一定値に落ちつくかを判断することはできない。

複合物の比熱測定結果をFig. 8に示す。図に示した複合物の計算値は、セラミックスと混合塩のそれぞれの比熱測定結果を用いて求めたものである。、計算値より測定値のほうが、全体的に比熱が小さい。

#### 6. 結言

熔融塩をセラミックス中に浸透させると、その融点や融解・凝固の特性が変化することが確認された。変化の起こる原因の一つとして、セラミックスの気孔中の熔融塩の状態、空気の状態が関係していることが考えられる。複合物の融解、凝固の特性を明確にするためには、このことを、今後さらに検討する必要がある。

また、複合物の蓄・放熱の繰り返しサイクル回数を増やし、融解熱の変化を調べ、蓄熱体としての有効性を検討する必要がある。

#### 7. 参考文献

- (1)中野 文彦ほか4名, マイクロカプセル化相変化物質スラリーの熱分析, JAERI-memo, 9, 104, 3, 1997
- (2)小沢 丈夫ほか4名, 潜熱利用蓄熱材料の予備的検討, 電子技術総合研究所彙報, 44, 11-12, 711-717, 1981

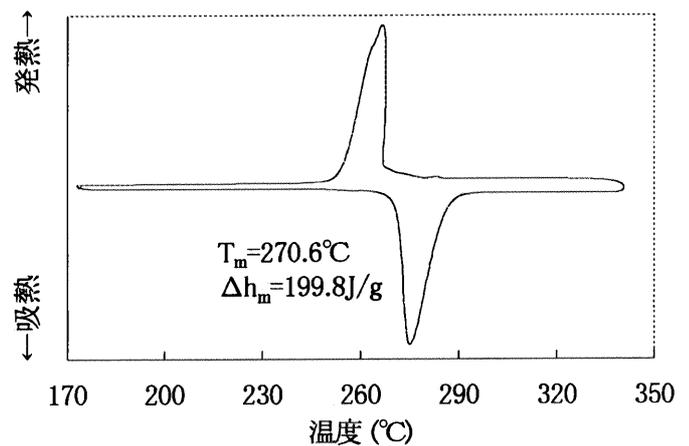


Fig. 5 熔融塩(LiOH-LiCl)のDSC曲線

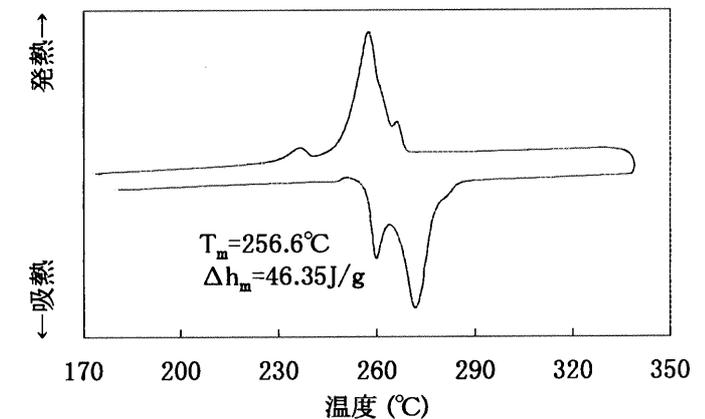


Fig. 6 複合物(LiOH-LiCl/MgO)のDSC曲線

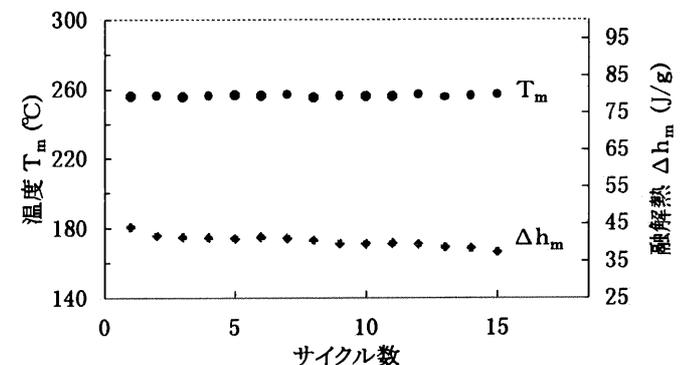


Fig. 7 繰り返し試験

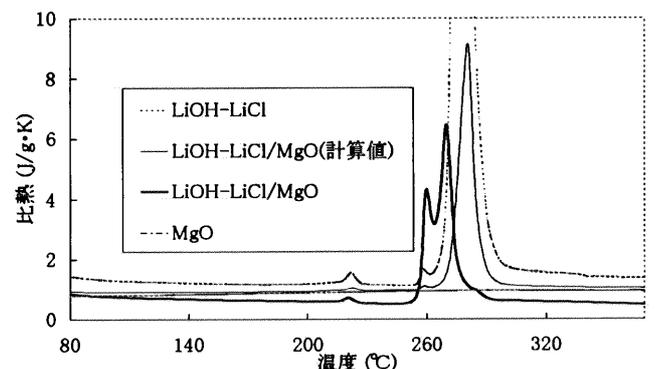


Fig. 8 複合物の比熱

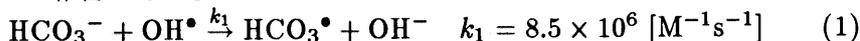
ライナック

## 水溶液の放射線効果の研究

テーマ代表者 勝村 庸介 (東大・工・原施)  
 実験参加者 左 志華, 蔡 中麗, 千歳 範寿, 吳 国忠, 浦辺 守 (東大・工・原施)

1. 目的：炭酸ラジカルの  $pK_a$  値と反応性

水溶液の放射線化学において、短寿命活性種に関する知見は、その応用分野である放射性廃棄物の地層処分、大気化学や環境科学などに基礎的かつ根本的データとして重要である。これまで、塩素オキソ酸や窒素オキソ酸、臭素オキソ酸などの水溶液についての放射線反応の研究を行ってきた。今回は、炭酸水溶液（炭酸ラジカル）に関する研究である。炭酸イオンには2種類 ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ) あり、(1)(2)式で示されるように、主に水の放射線分解生成物である  $\text{OH}^\bullet$  ラジカルによって酸化され、2種類の炭酸ラジカル ( $\text{HCO}_3^\bullet$ ,  $\text{CO}_3^{\bullet-}$ ) が生成する。これらは(3)式に示すように酸塩基平衡にあるため、存在比は  $pH$  依存となる。  $pK_a$  値には2つの報告がある。



パルスラジオリシス法を用いて炭酸ラジカルの  $pK_a$  値を決定し、 $\text{HCO}_3^\bullet$ ,  $\text{CO}_3^{\bullet-}$  それぞれの反応性を調べた。

## 2. 実験

28MeV 線型加速器 (LINAC) で、10ns (FWHM) の電子パルスを用いてパルスラジオリシス法による実験を行った。照射試料はすべて超純水 (Millipore Water) を用いて調整し、 $\text{N}_2\text{O}$ , Ar 飽和の試料についてはその各々について約20分間のバブリングを行った。また、線量測定には10mM KSCN 水溶液を用いた。これより生じる  $(\text{SCN})_2^{\bullet-}$  は、 $\text{N}_2\text{O}$  飽和溶液においては  $G_{\epsilon_{472nm}} = 51000 [\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}(100\text{eV})^{-1}] [3]$  のような強い吸収ピークを持つ (ただし、 $G$  は  $(\text{SCN})_2^{\bullet-}$  の  $G$  値)。吸収線量  $D$  [Gy] は以下の(4)式で表される。

$$D = 9.65 \times 10^6 \cdot (O.D.) / (G_{\epsilon_{472nm}} L) \quad (4)$$

## 3. 実験結果および議論

3.1 炭酸ラジカルの  $pK_a$  値

$pK_a$  測定は、2つの炭酸ラジカル  $\text{HCO}_3^\bullet$  と  $\text{CO}_3^{\bullet-}$  の、

(a) モル吸光係数の大きさの違いに着目した方法 (b) 反応性の違いに着目した方法

の2通りで行った。まず、方法(a)による吸光測定結果を示す。 $\epsilon_{\text{HCO}_3^\bullet} / \epsilon_{\text{CO}_3^{\bullet-}} = x$ , 炭酸ラジカル合計濃度を  $C_{total}$  とすれば、吸光度の合計は以下の(5)式で表される。

$$\begin{aligned} (O.D.)_{total} &= (\epsilon_{\text{HCO}_3^\bullet} \text{HCO}_3^\bullet + \epsilon_{\text{CO}_3^{\bullet-}} \text{CO}_3^{\bullet-}) L \\ &= C_{total} L \{ \epsilon_{\text{CO}_3^{\bullet-}} (x \times 10^{-pH} + K_a) \} / (10^{-pH} + K_a) \quad (5) \end{aligned}$$

$[C_{total}]$  が 0.5M, 0.9M の2つの場合の結果を図1に示す。また、これにはレーザーフォトリシス法でも  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$  を用いた吸光測定を行っており、この結果も合わせて示す。レーザーの結果では吸光度はほぼ一定であった。よって  $\epsilon_{\text{HCO}_3^\bullet} \approx \epsilon_{\text{CO}_3^{\bullet-}}$  であり、(5)式より  $pK_a$  は求めることができなかった。

次に、方法(b)での測定結果を図2に示す。 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  と  $\text{SCN}^-$  を炭酸ラジカルの反応対象物質とした。ただし  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  においては  $I = 0.5[\text{M}]$ ,  $D = 2.2[\text{krad}]$ ,  $\lambda = 600[\text{nm}]$ 、 $\text{SCN}^-$  の場合では  $I = 0.5[\text{M}]$ ,  $D = 16.1[\text{krad}]$ ,  $\lambda = 633[\text{nm}]$  であった。炭酸ラジカルの反応速度は(6)式で、反応速度定数は(7)式で表される。実験結果に対して(7)式でフィッティングを行った結果、 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  の場合では  $pK_a = 9.7$ 、 $\text{SCN}^-$  の場合では  $pK_a = 9.4$  という値を得た。

$$-d[C_{total}] / dt = k_{obs} [C_{total}] [[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} \text{ or } \text{SCN}^-] \quad (6)$$

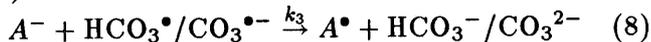
$$k_{obs} = (10^{-pH} k_{\text{HCO}_3^\bullet} + K_a k_{\text{CO}_3^{\bullet-}}) / (10^{-pH} + K_a) \quad (7)$$

3.2  $\text{HCO}_3^\bullet$ ,  $\text{CO}_3^{\bullet-}$  の反応性

上の実験より、 $pK_a$  値を挟む  $pH$  ( $\approx 8, \approx 11$ ) においては、それぞれ  $\text{HCO}_3^\bullet$ ,  $\text{CO}_3^{\bullet-}$  がほぼ存在していることがわかる。この2つの  $pH$  においていくつかのアニオンとの反応速度定数の測定を行った。反応の対象とした物質 ( $A^-$ ) には、



を用いた。反応は以下の (8) 式に示すように、 $\text{HCO}_3^\bullet, \text{CO}_3^{\bullet-}$  の  $\text{A}^-$  による還元反応である。



イオン同士の反応においてはイオン強度 ( $I[\text{M}]$ ) が反応速度に影響を与えるため、反応速度定数の比較は等しいイオン強度において行う必要がある。イオン強度による反応速度定数の補正は、以下の (9) 式に示すような、*Debye - Hückel* 理論から導出される *Brønsted - Bjerrum* 式により行う。

$$\log k = \log k_0 + 1.018 z_A z_B \sqrt{I} (1 + \sqrt{I})^{-1} \quad (9)$$

ただし、 $I = (1/2) \sum_i c_i z_i^2$ ,  $k_0$  は  $I = 0$  の時の反応速度定数であり、 $z_A, z_B$  は電荷数である。実験結果にイオン強度の補正を加えた  $\text{HCO}_3^\bullet$  および  $\text{CO}_3^{\bullet-}$  の他イオンとの反応速度定数は表 1 のようにまとめられた。文献値も加えてあるが、大部分は  $\text{pH} \approx 11$  での報告値であり、今回の  $\text{pH} \approx 8$  での報告はいずれも初めてである。文献値との比較を行うと、 $\text{SCN}^-$  以外はイオン強度を補正すればおおよそ一致する。値の大きく異なった  $\text{SCN}^-$  については、詳しい原因は今のところ判っていない。

さて、実験結果 (表 1) より  $\text{HCO}_3^\bullet$  が  $\text{CO}_3^{\bullet-}$  に比べて反応性が高いことがわかる。これは、 $\text{HCO}_3^\bullet$  の酸化還元ポテンシャルが  $\text{CO}_3^{\bullet-}$  よりも高いことによると考えられる。[4]

#### 4. 結論

- ・炭酸ラジカルにおける  $\text{pK}_a$  値の測定を行い、約  $9.5 \pm 0.2$  という値を得た。
- ・ $\text{pK}_a$  値をはさむ 2 つの  $\text{pH}$  で、炭酸ラジカルと数種類のアニオンとの反応速度定数を決定した。

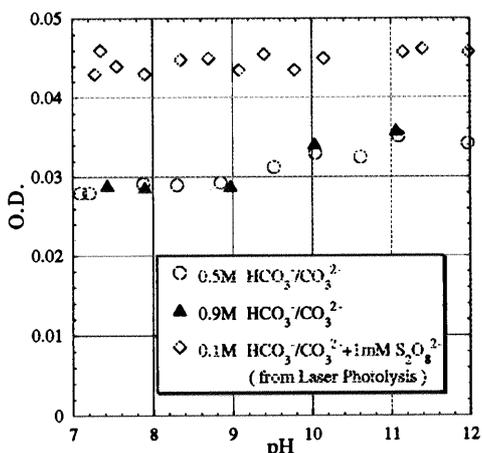


図 1: 炭酸ラジカルの吸光度の pH 依存性

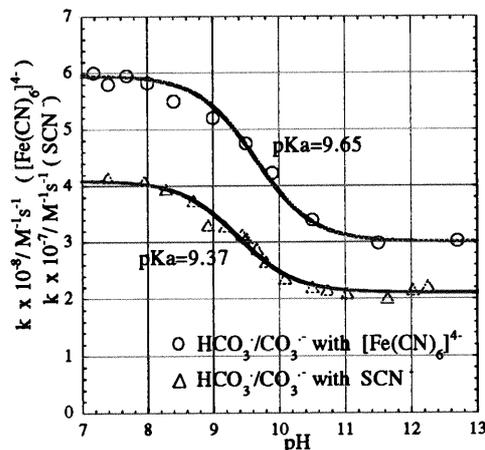


図 2: 炭酸ラジカルの反応速度の pH 依存性

表 1: 実験条件と、炭酸ラジカルの反応速度定数 ( $k \times 10^{-6} / [\text{M}^{-1} \text{s}^{-1}]$ )

species	$\lambda$ [nm]	dose [krad]	$\text{HCO}_3^\bullet$		$\text{CO}_3^{\bullet-}$		$\text{HCO}_3^\bullet$ $k_0$	$\text{CO}_3^{\bullet-}$ $k_0$	文献値	
			$I[\text{M}]$	pH	$I[\text{M}]$	pH			$k$	$I[\text{M}]$ pH
$\text{SCN}^-$	633	6.3	1.0, 8.0	1.0, 11.0	18.0	5.4	0.16 ( $I = 3.0, \text{pH} = 11.6$ ) [5]			
$\text{ClO}_2^-$	633	20.8	1.0, 8.1	0.5, 11.6	54.0	21.0	34.0 ( $I = 0.3, \text{pH} = 11.4$ ) [5]			
$\text{SO}_3^{2-}$	633	16.1	0.5, 8.3	0.5, 11.8	28.0	6.1	29.0 ( $I = 0.3, \text{pH} = 11.4$ ) [5] 13.0 ( $I = 0.0, \text{pH} = 11.0$ ) [6]			
$\text{I}^-$	633	20.8	0.5, 8.3	0.5, 11.6	230	87.0	250 ( $I = 0.3, \text{pH} = 11.4$ ) [5]			
$\text{NO}_2^-$	633	20.8	0.5, 8.3	0.5, 11.3	1.8	0.34	0.66 ( $I = 1.5, \text{pH} = 11.4$ ) [5] 0.40 ( $I = 0.0, \text{pH} = 11.0$ ) [6]			
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	600	2.2	0.5, 7.2	1.0, 13.6	580	4.7	270 ( $I = 0.2, \text{pH} = 11.6$ ) [5]			

#### 参考文献

- [1] T.E.Erikson et al., *Radiat. Phys. Chem.*, 26,197-199,(1985).
- [2] S.Chen and M.Z.Hoffman, *J. Chem. Soc. Chem. Comm.*, 991-992,(1972).
- [3] R.H.Schuler et al., *J. Phys. Chem.*, 84(16),2088-2089,(1980).
- [4] P.Wardman et al., *J. Phys. Chem. Ref. Data.*, 18,1637,(1989).
- [5] R.E.Huie. et al., *Int. J.Chem. Kinetics*, 23,541,(1991).
- [6] J.Lilie et al., *Radiat. Phys. Chem.*, 11,225,(1978).

## 高分子材料の放射線効果の研究

テーマ推進者 勝村庸介

実験担当者 千歳範壽、左志華、呉国忠、浦部守、  
渡部貴宏(東大)、濱義昌、井上憲介、鬼頭昌利(早大)、  
工藤久明、森田洋右、瀬口忠男(原研)

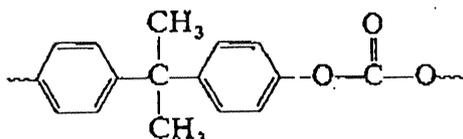
はじめに

ポリカーボネートは透明で広く用いられている高分子で、原子力分野では CR-39 で代表されるように固体飛跡検出器としても利用されている。しかし、ポリカーボネート中での放射線誘起反応については着色、機械強度変化の報告以外では、低温固体中でのラジカル同定 [1]、吸収バンド観測 [2]、照射後の熱ルミネッセンス挙動 [3] が報告されてきているものの、イオン種の挙動については明確にされていない。

本研究では、パルスラジオリシス法を用いて、溶液中に溶解したポリカーボネートを対象にイオン種の検出と挙動について検討した。

実験

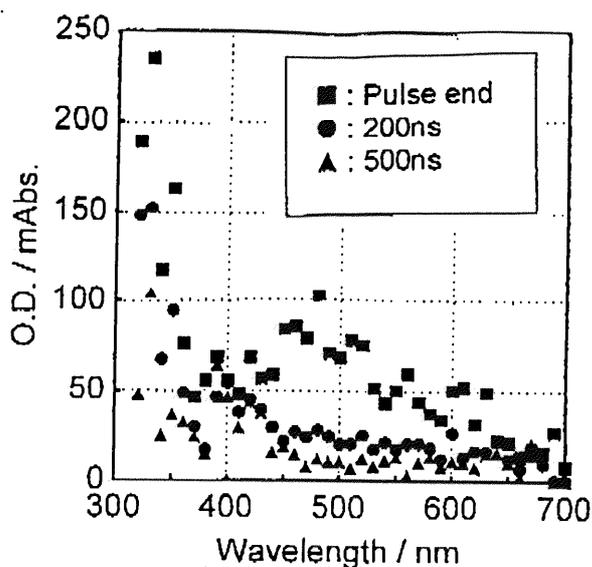
28MeV, 10 ns の電子パルスを用いた。試料はポリカーボネートの良溶媒である塩化メチレンにポリカーボネート 500 mg を 25 cc に溶解し、空気溶存系で行った。使用したポリカーボネートは poly(bisphenol - A carbonate) で分子構造は以下のとおりである。



線量測定は  $N_2O$  で飽和した 10mM, KSCN 水溶液を用い、 $G_{\epsilon 472 \text{ nm}} = 51000 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$  ( $100\text{eV}$ )<sup>-1</sup> を用いた。

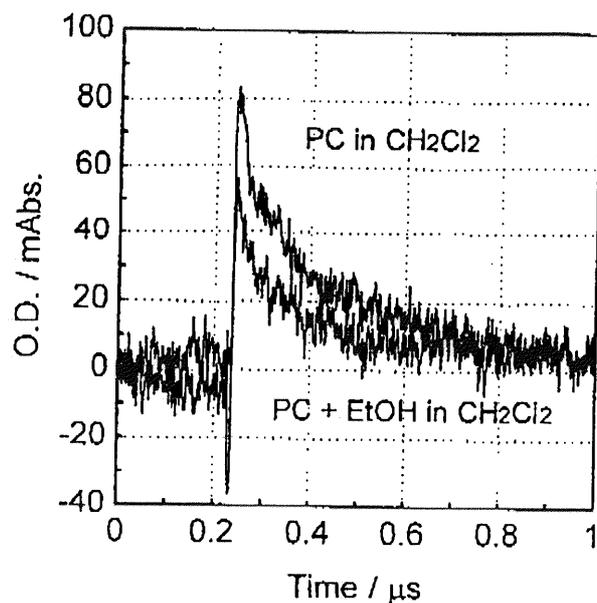
結果と議論

塩化メチレン溶液中で得られた吸収スペクトルを図 1 に示す。パルス照射直後には 450-500 nm にピークを持つ吸収極大が観測される。このピークは半減期約 100 ns 程度で急激に減衰する(図 2)。長時間スケールでは 400 nm 近辺にも吸収極大が存在するようであるが、寿命は  $\mu\text{s}$  で長寿命である。さらに 320 nm の近辺にも強いピークが存在していることがわかる。100 mM のエタノール添加系についても検討を行った結果、450-500 nm の



Absorption spectra observed in radiolysis of Poly-carbonate in CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>

図 1



Transient absorption at 470 nm in radiolysis of polycarbonate in CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>

図 2

吸収強度は減少するとともに減衰が加速される。

塩化メチレン溶液では電子が捕捉され、正イオンの観測が期待される。塩化メチレンのみの照射では 450-500 nm には吸収は出現しない。従って、450-500 nm の吸収ピークはポリカーボネートのカチオンと推定できる。低温では、電子アダクトが 415 nm にあると報告されており、この報告には矛盾しない。また、460 nm には芳香族ケトンのカチオンバンドが存在することからも、この推定を支持している。

一方、塩化物と芳香族では CT-complex を形成することが報告されている。しかし、CT-complex の寿命は  $\mu\text{s}$  で、本実験結果とは必ずしも一致していない。さらに、これを確認するための m-クレゾールを溶媒として用いた実験も行ったが、溶解度の制約のためか溶質のポリカーボネート由来と考えられる吸収バンドの観測はできなかった。

今後、この吸収バンドがカチオンか CT-complex かの判別が課題となる。

#### 参考文献

- [1] C. Darraud-Taupic *et al.*; *Polymer*, **36**, 3251-3254 (1995)
- [2] A. Torikai *et al.*; *Polymer Degradation and Stability*, **7**, 55-64 (1984)
- [3] Y. Hama *et al.*; *J. Polym. Sci. Polym. Phys. Ed.*, **12**, 1109-1115 (1974)
- [4] T. Shida and W. H. Hamill; *J. Phys. Chem.*, **88**, 3683-3689 (1966)
- [5] M. Washio *et al.*; *Radiat. Phys. Chem.*, **21**, 239-243 (1983)

## 超高速反応測定技術の開発と利用

テーマ推進者 勝村 庸介  
実験担当者 左志華, 呉国忠, 千歳 範壽, 浦辺 守  
上坂 充, 渡部 貴宏 (東大工)

## はじめに

放射線反応研究はレントゲンがX線を発見した1895年に、放射線の発見とともにスタートしたと考えることが出来る。以来、水溶液の放射線照射を中心とした研究が進められてきた。大きな発展は第二次世界対戦中で、原爆の開発に伴った研究であったとは歴史の教えるところである。この時点で放射線の引き起こす物理、化学反応の枠組が与えられたと考えてよかろう。この反応研究がさらに大きく発展するきっかけになったのは1963年のパルスラジオリシス法による水和電子の発見である。この発見に到る10年間は水の放射線分解において2種類の還元性化学種の存在を示唆する幾つかの実験結果が報告されてきており、水和電子の発見はまさにその直接的な観測であり、一方で直接測定の有効性、時間分解能実験の魅力が広く認識されることとなり、世界各地の研究所、研究室でパルスラジオリシスシステムの導入とその利用が始まった。

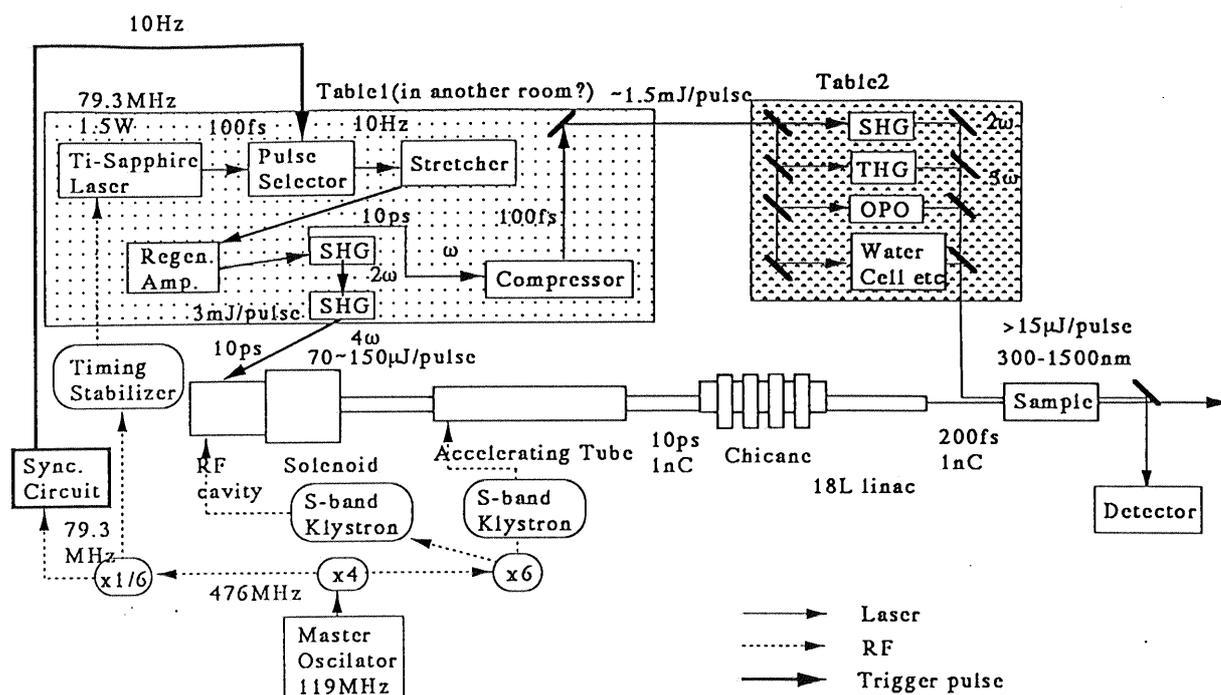
時間分解能測定は現象を時々刻々追跡できることが魅力で、当初マイクロ秒の時間スケールであった。さらに、より速く、より短い時間ではどうなっているかという研究者の欲求が、ナノ秒、そしてサブナノ秒時間領域に到達した。しかしながら、サブナノ時間領域の分解能を駆使して実験遂行が可能な施設は世界広しといえどもそう多くない。時間分解能を決定する因子は、まず、超短パルスを発生することと、そのパルスを有効に利用できる超高時間分解能をもった測定システムの2つがあり、全体としての時間分解能は最も遅い因子で決定される。

本施設のライナックは1ps以下の世界で最短の単一パルスを発生できる唯一の装置であり、磁気圧縮法により短パルスをコンスタントに発生することが可能である。本ライナックを用いて、ピコ秒、サブピコ秒の時間分解能のパルスラジオリシスシステム構築を目指すのが本研究の目的で、高時間分解能測定の概念設計と対象にしうる反応系の検討を行った。

## sub-pico 秒パルスラジオリシスシステム

時間分解能を決定する因子については既に述べたが、もう1つ忘れてならない因子はパルスと測定系のtime jitterである。ピコ秒、サブピコ秒での測定は、この時間領域で応答する光学素子はストリークカメラ以外は存在しない。ストリークカメラは発光に対しては威力を発するが、幾つかの制約から吸収測定には適当でない。このような考察から、この時間分解能の領域では、フェムト秒レーザーフォトリシスと同様にポンプ&プローブ (pump & probe) 方式が最も実現性が高いと考えられる。その際の問題もtime jitterである。最終的に本ライナックに対して最も有望な測定システムとしてはレーザーでの種パルスを用いての参照光パルスの発生方式によるポンプ&プローブ方式であると考えている。同じ種パルスからの光であれば原理的にはtime jitterはないはず

で、現行の加速器系のマイクロ波と観測用レーザーの同期よりは有利と判断される。現時点でのシステム構成を下図に示す。



現在、レーザー駆動フォトカソード方式のシステムは米国 BNL, フランスの Orsay のパリ南大学に建設中である。又、米国 ANL で同じ方式のシステムの建設準備が進められており、この分野の競争は熾烈なものがある。上記システムを実現できるよう努力が求められている。

### sub-pico 秒領域放射線反応研究

極超短時間スケールの放射線反応としては次のような課題があると考えられる。

- ①水溶液中の水和電子の生成と減衰, 収量
- ②飽和炭化水素中の正負電荷種のジェミニート再結合、励起状態ラジカルの生成と減衰
- ③ミセル、エマルジョン中の電子挙動, 生態模擬系としての電荷移動
- ④濃厚溶液中での直接効果、間接効果研究

これらの課題のうち、やはり①が、これまでの研究との関係も深く、継続性、発展性といった観点から第一に採り挙げる課題であろう。

おわりに

超高時間分解能測定システムの構築は放射線化学研究の新しいフロンティア開拓の強力な武器になることは明白であり、これは外国の研究所でも強力に推進していることから容易に理解できよう。しかし、プロジェクトの成否はこのシステム構築に要する予算獲得の問題で、比較的大きな予算的裏付けがなくては実行不可能である。この点からは平成 10 年度に向け、期待できる雰囲気となっており、本プロジェクトの早期実施を関係者は大いに期待している。

## ビーム電荷量モニターの開発

テーマ代表者 中沢正治（東大・工）

実験参加者 細野米市（東大・工）

上田 徹、吉井康司（東大・工・原施）

## 1. はじめに

東大 35MeV 電子線形加速器は、フェムト秒・ピコ秒領域の単バンチパルス電子線とナノ秒・マイクロ秒領域の多バンチビームを加速することができ、パルスラジオリシスや高速物理現象の解析をはじめとする多くの研究分野に用いられてきた。それらの実験に際しては、加速ビームの調整や実験精度向上の観点からビーム電荷量をリアルタイムで知ることが求められ、その測定に非接触型のアモルファスコアーモニターが使用されてきた。

しかし、同モニターは、加速電荷量が同一であっても、単バンチビームと多バンチビームでは、出力値が異なってしまう、という問題があった。この原因は、コアーモニターを含む測定系がピコ秒パルス電子線に対して、回路的に不完全積分をかけたことによるためであり、測定系を完全積分にすれば、単バンチビームでも多バンチビームでも、加速電荷量が同じ場合は同一出力が得られることになる。そこで筆者らは、モニター出力を電荷増幅器によって積分を行うとともに、放射線計測の手法を用いた **Beam Charge Monitor**（以下 **BCM** と略）の開発を試みた。

## 2. 実験方法および結果

**BCM** の概要を第 1 図に示す。実験では、従来よりビーム出口窓近傍に設置されているアモルファスコアーモニターをそのまま用いた。コアーモニターの出力は、電荷増幅器（ORTEC 製）を通して積分をおこなった。その出力信号は、リニアアンプで波形整形・増幅を行い、多チャンネル波高分析器で観測した。コアーモニターを通過したビームは、ビーム出口窓から空気中に出て、炭素ターゲットで止まる様にした。その時流れる炭素ターゲット電流を測定し、加速電荷量の絶対値とした。

実験は、加速電荷量  $0.3\text{nC} / \text{pulse}$  から  $1.6\text{nC} / \text{pulse}$  の間でピコ秒単バンチビームとナノ秒多バンチビームを用いて行った。測定結果を第 2 図に示す。同図丸印は、多バンチビーム時、四角印は単バンチビーム時のモニター出力をオシロスコープで読みとったものである。同図から、加速モードが違うと出力波高値が異なる事がわかる。次に同じ実験体系で第 1 図に示した **BCM** を用いて測定した結果を第 3 図に示す。同図から明らかのように、本方式は、加速モードに関係なく加速電荷量に比例した出力が得られことがわかる。

## 3. むすび

放射線計測に用いられる手法を用いて **BCM** を構成し、単バンチビームと多バンチビームを用いて測定系の特性測定をおこなった。その結果、本方式は、**BCM** として有効であることが確認された。今後は、専用の電荷増幅器やリニアアンプを開発し、さらに実用的な **BCM** をめざす所存である。

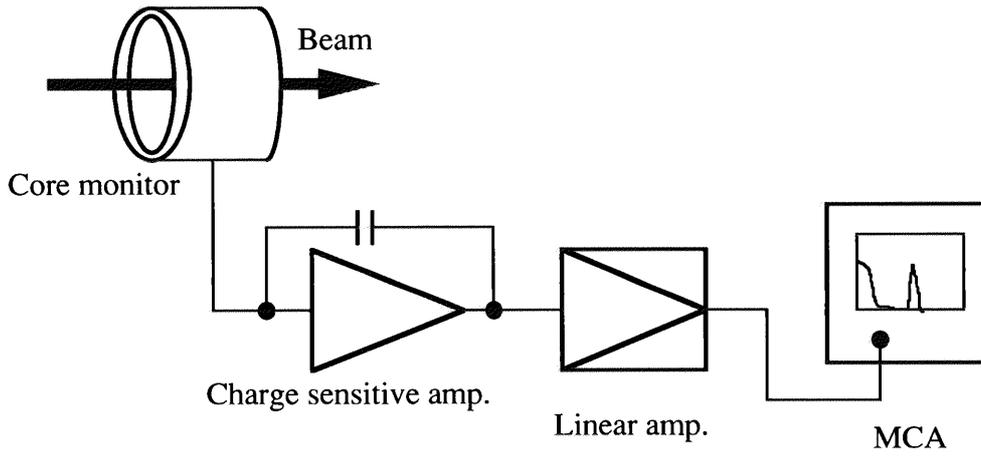


Fig.1 Schematic view of a BCM

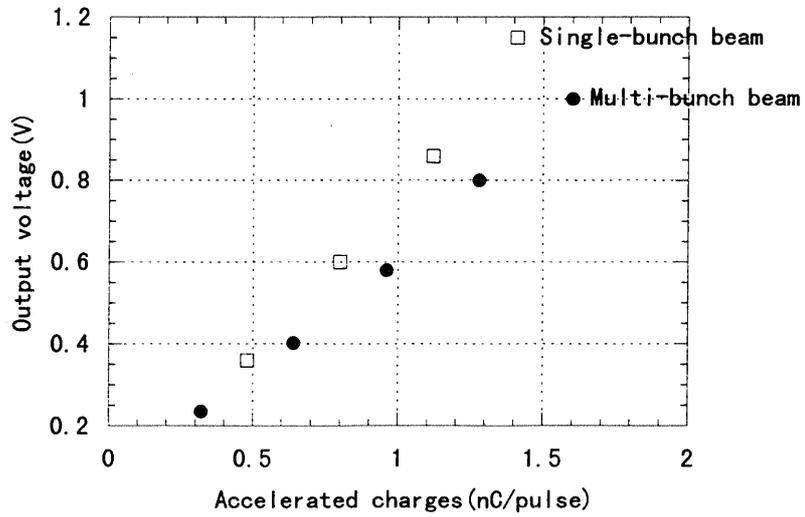


Fig. 2 Output voltage Vs. accelerated charges

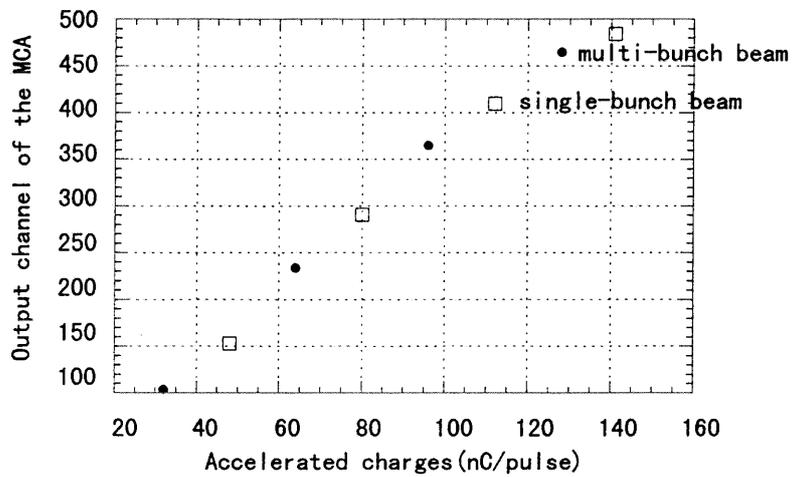


Fig. 3 Output Channel Vs. Accelerated charge

## プラズマ加速

テーマ代表者	小方 厚	(高エネ研)
実験参加者	中島 一久, 中西 弘	(高エネ研)
	出羽 英紀, 酒井 文雄, 近藤 修司, 小瀧 秀行	(原研)
	神門 正城	(京大・化研)
	上坂 充, 吉井 康司, 上田 徹, 原野 英樹, 渡部 貴宏	(東大・原施)

### 1. はじめに

平成8年度より高加速エネルギーゲインをめざしたレーザー航跡場加速実験を進めてきた。前年度までに最大電子エネルギー200 MeV を越えるレーザー航跡場に成功している[1]。平成9年度は、レーザー航跡場で加速される電子ビームの高品質化のために、電子入射系の改良を中心に行った。具体的には、高品質電子ビーム生成のためにフォトカソードRF電子銃を開発し、加速器の入射系をこれに置き換えた。また、バンチ圧縮実験、フェムト秒バンチ長計測法の開発、レーザー電子ビームトムソン散乱による超短パルスX線発生実験などレーザー/プラズマ/電子ビームの相互作用に関わるテーマの共同研究を行なった。

### 2. 高品質電子ビーム源の開発

一般にレーザー加速を行なわせるための位相空間は、空間的にも時間的にも非常に小さい。レーザー航跡場の波長は、ほぼ100  $\mu\text{m}$  程度であり、空間的広がりもレーザースポットサイズ以下である。したがってレーザー航跡場の加速位相に入射して加速するには電子ビームのバンチ長は100 fs程度、スポットサイズは10  $\mu\text{m}$  以下にしなければならない。このためには低エミッタンス電子ビーム源とバンチ圧縮が行える入射ビームラインが必要である。この電子ビーム源としてKEK/BNL/SHIによって共同開発したフォトカソードRF電子銃を導入し、18 MeV ライナックでビームテストを行い、この電子ビームを用いてシケインマグネットによるバンチ圧縮実験を行った。

フォトカソードRF電子銃は、2856 MHzの共振周波数をもつ1.6セルの加速空洞とエミッタンス補償用のソレノイド電磁石からなる。全固体YLFレーザーの4次高調波(波長263 nm)をCuカソード面に照射することにより光電子をRF空洞内に放出すると同時にRF高電場で加速する。加速電場は、RFパワー6 MWに対し、約100 MV/mとなる。図1は、照射レーザーエネルギーに対するビーム電荷

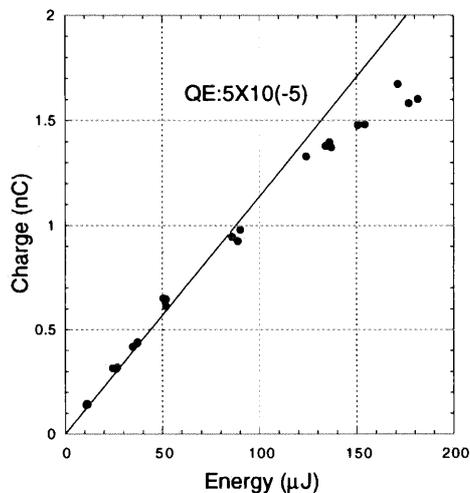


図1 レーザーのエネルギーと加速された電子の電荷量の関係

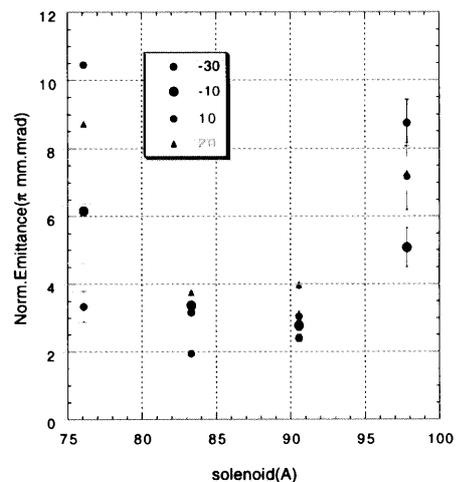


図2 フォトカソードRF電子銃によって発生する電子ビームのエミッタンス

量を表しており量子効率 $\eta$ は0.05%であった。また図2は、規格化エミッタンスをソレノイド磁場を変えて測定した結果で、最小エミッタンスは $2\pi$  mm-mradとなった[2]。

フォトカソードRF電子銃からのバンチ長は、約5 ps FWHMであるが、シケインと呼ばれる4台の双極電磁石を通すことによりエネルギー差が軌道長の差が生ずることを利用し、ライナックの加速位相を調節してバンチ長をさらに圧縮することができる。シケインによるバンチ圧縮実験では、1/10の約500 fsに圧縮することができた。

### 3. レーザートムソン散乱による超短パルスX線の発生

電子バンチ長よりも短い超短パルスレーザーと電子ビームとの $90^\circ$  トムソン散乱によって超短X線パルスを発生する方法が提案されているが、レーザー航跡場加速実験のセットアップを用いて17 MeVの電子ビームを $480\mu\text{m}$ のビームサイズに絞りピークパワー2 TW、パルス幅90 fs、波長790 nmのチタンサファイアレーザーと交差させることにより光子エネルギーが3.5 keVのX線パルスを発生させる実験を行った。X線パルス幅は、

レーザーパルスが電子ビームを横切る時間できまり1.6 psとなるはずである。レーザーと電子パルスの入射タイミングを変えX線シグナルをシンチレーションカウンターで観測したが、レーザーパルスと電子ビームのタイミングジッターにより非常に狭い範囲でしかシグナルが現れなかった[3]。

後方( $180^\circ$ ) トムソン散乱ではX線パルス長は、電子バンチ長と等しくなるので、電子バンチを圧縮することにより超短X線パルスの発生ができる。後方トムソン散乱では、散乱X線のエネルギーが $90^\circ$ 散乱に比べ2倍になり、散乱強度も大きい。また超短パルスレーザーを使う必要はなく、タイミングジッターの影響を小さくすることができる。この後方トムソン散乱による超短X線パルス

発生の実験的原理を実験をフォトカソードRF電子銃からの電子ビームをライナックで約20MeVまで加速し、バンチ圧縮シケインで1ps以下に圧縮したビームとパルス幅200 ps、エネルギー250 mJのチタンサファイアレーザー光を $10^\circ$ の角度で衝突させ、発生したX線を観測した。

図8は、レーザービームを上下に動かし、約10 keVのX線シグナルを測ったもので電子ビームのプロファイルを表している。

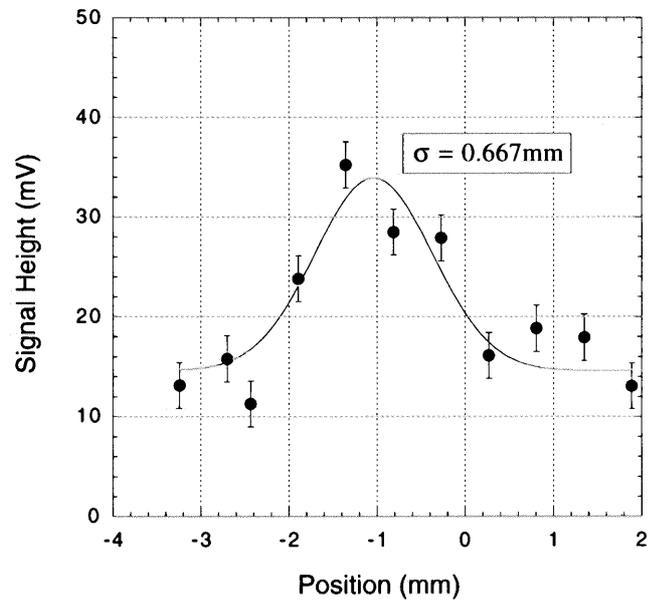


図3 レーザートムソン散乱によって観測された X 線シグナル

### 参考文献

- [1] H. Dewa et al., "Experiments of High Energy Gain Laser Wakefield Acceleration", Nucl. Instr. and Meth., Vol. A685 掲載予定.
- [2] F. Sakai et al., "Development of High Duty Operation RF Photoinjector", Proceedings of the 11th Symposium on Accelerator Science and Technology, pp. 473-475, 1997.
- [3] H. Kotaki et al., "A Short Pulse X-ray Generation via Laser Thomson Scattering on Relativistic Electron Beams", Proceedings of the 11th Symposium on Accelerator Science and Technology, pp.449-451,1997.

## 機能性材料の電子線照射効果

テーマ代表者 東大・工・総合試験所・寺井隆幸  
実験参加者 東大・工・総合試験所・小林知洋  
東大・工・システム量子・荻窪光慈

## 1 緒言

高温酸化物超伝導体は高い臨界温度を持つため、様々な分野で応用が考えられているが、実用化のためにはより高い臨界温度、臨界磁場、臨界電流密度 ( $J_c$ ) をもつものの開発が期待される。現在までの研究により、放射線照射は、超伝導体中に磁束のピンニングセンターとして機能する照射欠陥を導入することにより  $J_c$  を向上させるための有力な手法であることがわかっている。

照射欠陥の導入を  $J_c$  向上のための手法として確立するためには、放射線の種類やエネルギー、フルエンスなどのさまざまな条件について広く検討し、欠陥形状、サイズとピンニング力との関係を明らかにすることが重要である。これまでの研究により、高エネルギー電子線照射によって導入される照射欠陥は数原子からなるカスケード欠陥で、有効なピンニングセンターとして効果的に働くことが分っている。

さらに最近、熱処理によって欠陥の形状を変化させてピンニング力を向上させる研究が行なわれている。照射欠陥を形成する原子は、高温で移動し、欠陥の消滅や複合欠陥の形成を引き起こし、その結果、欠陥形状が変化する。超伝導特性は試料中の欠陥構造に大きく依存するため、照射後の熱アニールによって改良がなされる可能性がある。本グループでは、過剰な中性子照射によって  $J_c$  の劣化が始まった試料をアニールした際に、照射によって得られた最大の  $J_c$  を超えて特性が向上することを明らかにした。

本研究においてもアニール効果に着目し、高温照射を行った場合の回復・集合による照射欠陥の大きさの変化に着目し、欠陥の形状やサイズが  $J_c$  に及ぼす影響についての知見を得ることを目的とした。

## 2 実験方法

放射線照射効果を明確にするためには、特性が十分にキャラクタライズされた試料を用いることが必要である。本研究ではそのような試料として Bi-2212 単結晶試料を用いた。放射線照射効果の全体的な描像を明らかにし、総合化するために、この試料に対して高エネルギー電子線照射を行ない、臨界電流密度の変化について調べた。

### 2.1 試料作製

本研究ではフローティングゾーン法によって作製した Bi-2212 ( $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$ ) 単結晶を用いた。原料粉末  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SrCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CuO}$  を Bi:Sr:Ca:Cu=2:2:1:2 の比で混合した後、固相反応により多結晶原料棒を作製し、これより赤外線集中加熱炉にて 1 気圧酸素中で結晶成長させた。単結晶試料は切断及びへき開によって、c 軸に垂直な面が最大の面積をもつ平板状、2mm×2mm×0.1mm 程度の大きさにして照射及び測定に用いた。

### 2.2 高エネルギー電子線照射実験

電子線照射は東京大学工学部附属原子力工学研究施設の LINAC を用いて行なった。照射に用いた試料系を Fig.1 に示す。本系はステンレス製の円筒にシースヒーターを巻き、断熱材で覆ったものである。試料の加熱にはヒーターと電子線によるエネルギー付与の 2 つの熱源を用いている。温度測定は試料の裏側まで挿入されたシース熱電対によって行なった。

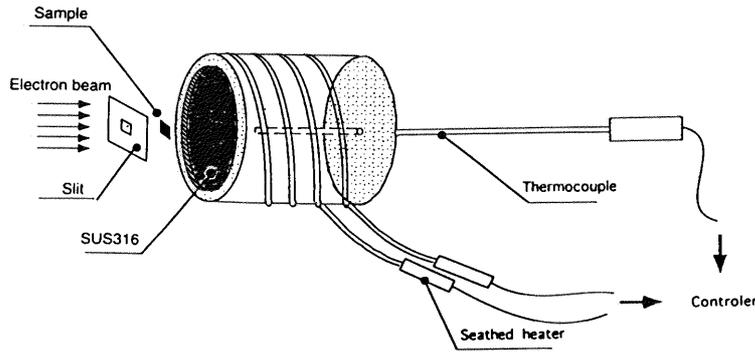


Fig.1: Schematic drawing of the system for irradiation.

### 2.3 超伝導特性実験

振動試料型磁力計 (VSM) を用いて、20, 40 及び 60K の温度にて、試料 c 軸に平行に印加した外部磁場を変化させながら磁化を測定して磁気ヒステリシス曲線を求めた。磁場の上昇時と下降時の磁化のヒステリシスの幅 ( $\Delta M$ ) に次式の拡張 Bean モデル [1] を適用することによって試料 ab 面内の臨界電流密度  $J_c$  を求めた。

$$J_c = \frac{2\Delta M}{t(1 - \frac{t}{3l})}$$

単位:  $\Delta M$  ( $\text{Am}^{-1}$ ),  $J_c$  ( $\text{Am}^{-2}$ ),  $t, l$  (m) ( $l, t$  は ab 面内の辺の長さ、 $l > t$ )

## 3 結果

室温及び高温 (523K, 673K) においてフルエンス  $1.0 \times 10^{18} \text{ e/cm}^2$  の 28MeV 電子線を照射した試料の臨界電流密度を Fig.2 に示す。高温照射実験においては、照射フルエンスの目標を、室温における最大の  $J_c$  向上を与える  $2.0 \times 10^{18} \text{ e/cm}^2$  としたが、照射に時間がかかるためマシンタイムとの兼ね合いから  $1.0 \times 10^{18} \text{ e/cm}^2$  とした。

高温照射 (523K, 673K) を行った場合、 $J_c$  値は未照射試料のそれとほぼ同等であることが観測された。このことは、673K はもとより、523K という比較的低温においても、電子線照射によって形成された欠陥が、磁束のピンニングセンターとして有効に機能する欠陥にはならず、熱アニールによってほとんど回復されてしまうことを示唆している。

今後、本試料に関しては時間をかけて照射を行ない、磁化測定を行なう予定である。

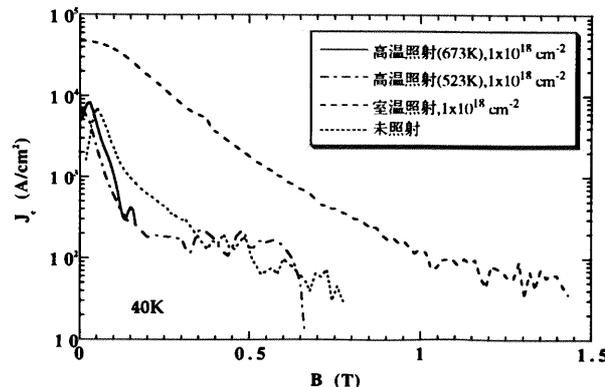


Fig.2: Critical current density of Bi-2212 specimens irradiated with 28MeV electron beam.

### 参考文献

- [1] E.M.Gyorgy et al., *Appl. Phys. Lett.* **55**, 283 (1989)

サブピコ秒領域における高濃度 Tb<sup>3+</sup>含有ガラス中での  
Tb<sup>3+</sup>間共鳴エネルギー移動についての研究

テーマ代表者 山田興治 (埼玉大・工)

実験参加者 山口克彦、早川知克、磯崎健太、ハオガン (埼玉大・工)

吉井康司、上田 徹、上坂 充 (東大・工・原施)

【目的】希土類を添加したガラス材料は光伝送系の発達にともない、ファイバー材料や発光素子への応用のために精力的に研究が行われている。添加された希土類イオンは濃度が高くなるにつれ次第にイオン間の相互作用が無視できなくなり、発光寿命や磁性状態へ強い変化を及ぼしてくることが知られている。今回測定に用いた試料は Tb イオンを 40 mol% まで添加した試料であり、従来のものより 1 桁近く高濃度な添加量になっている。このような試料では希土類イオン間の共鳴エネルギー移動がより増大し、高速な電子緩和現象が起こることが予想される。そこで本研究では電子ライナックを用い、希土類イオンからのルミネッセンスの時分解測定を行い、高濃度希土類イオン間の共鳴エネルギー移動機構を解明することを目的とする。

【実験手法】ライナックより 6.25 pps の電子線パルスを誘導してストレートビームライン上に設置されたガラス試料に照射し、励起されたガラス中の Tb イオンからのルミネッセンスを分光した後、光電子増倍管により検知しサンプリングオシロスコープを用いて時分解光強度測定を行った。分光には干渉フィルター ( $\lambda=540$  nm、 $\Delta\lambda=10$  nm) を使用した。試料は Tb イオン濃度をそれぞれ 30 mol% および 40 mol% 添加したフッ化物ガラスを用いた。また Tb イオンを 5 mol% 添加した珪酸塩ガラスを比較試料として測定した。これらの測定はすべて室温にて行われた。なお Tb イオン 30 mol% および 40 mol% 添加ガラスは(株)住田光学ガラスのご好意により提供して頂いた。

【実験結果および考察】比較試料として用いた Tb イオン 5 mol% 添加ガラスの時分解ルミネッセンスの測定結果を図 1 に示す。測定した 540 nm の波長では主に <sup>5</sup>D<sub>4</sub> から <sup>7</sup>F<sub>5</sub> への遷移が観測される。チェレンコフ光の混入によりルミネッセンスの初期状態の正確な把握は難しいが、ルミネッセンスの減衰は指数関数的であるとして寿命を求めると約 1.3 ms となる。図 2 は Tb イオン 30 mol% および 40 mol% 添加ガラスの時分解ルミネッセンスの測定結果である。同様にしてルミネッセンス寿命を求めると 30 mol% では約 80  $\mu$ s、40 mol% では約 40  $\mu$ s となり 5 mol% 添加ガラスと比較すると寿命が 2 桁近く短縮していることがわかる。またこれらの高濃度添加ガラスは初期のルミネッセンス強度が増大している。

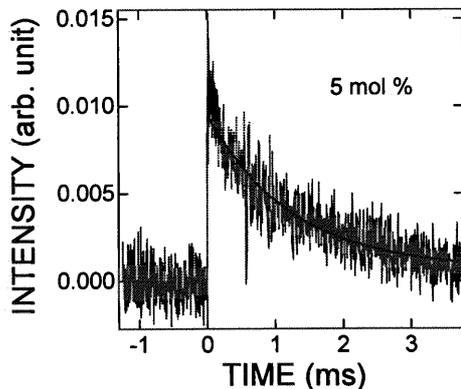


図 1

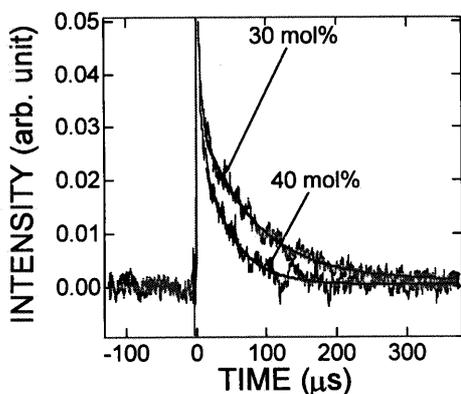


図 2

以上の結果は Tb イオン間の距離の差異に基づく共鳴エネルギー移動およびエネルギー拡散の違いによるものと考えられる。Tb イオンの平均最隣接距離は 5 mol% 添加ガラスでは 7.5 Å であるのに対し、30 mol% では 4.5 Å、40 mol% では 4.1 Å になる。電子線により励起された Tb イオンの価電子は  $^5D_3$  の状態にあると考えられるが、隣接した Tb イオンが励起されていない状態にあるときはその隣接イオンの基底状態である  $^7F_6$  との間でエネルギー移動を生じ、 $^5D_3 \rightarrow ^5D_4$  と  $^7F_6 \rightarrow ^7F_0$  という同時過程を通して  $^5D_4$  準位に電子が溜まっていく。この過程は隣接イオンとの距離が短く混成が大きいほど速いと考えられる。また Yokota らによればエネルギー拡散は隣接イオンの個数の増大に伴い増加するため隣接距離の短いものほど短寿命のルミネッセンスになる。上述の結果はこれらの重畳作用と考えられる。なお最近これらの寿命がフォトルミネッセンスからも測定されているが [2]、上記の結果ではそのいずれよりも短寿命化している。これは電子線照射により生じた熱の影響が大きいためであろうと思われる。よっ

て照射時のサンプル温度の測定を考えていかななくてはならない。今回の測定ではエネルギー移動を起こす前の  $^5D_3$  からのルミネッセンスを観測することはできなかった。この過程は 10  $\mu\text{s}$  より高速であると考えられているが [2] この時間領域ではチェレンコフ光が非常に強く、ルミネッセンスを分離することができなかったためである。しかしイオン間のエネルギー移動のメカニズムを探る上でこの初期過程は重要であり、今後実験手法を含めて検討していく。

[1] M.Yokota and O.Tanimoto, J. Phys. Soc. Jpn., 22 (1967) 779.

[2] T. Hayakawa et al., Synthetic Metals, 91 (1997) 355.

## フェムト秒ライナックのためのマシンスタディ

テーマ推進者 東大・工・原施 上坂 充

実験参加者 東大・工・原施 上坂 充、渡部貴宏、上田 徹、吉井康司、柴田裕実

## はじめに

過去より東大・原施・ライナックでは極短電子シングルパルスの発生と計測の実験を行ってきた。現在、28Lモードアーク型磁気パルス圧縮を用いてパルス幅700 fs（半値幅）、18Lモードシケイン型磁気パルス圧縮を用いて同500 fsを生成可能となり、従来より計測に利用しているフェムト秒ストリークカメラ（時間分解能200 fs）の計測限界にきている。そのため、更なる短パルスに対応した高時間分解能をもつ計測手段の開発は必須である。そこで、コヒーレント遷移放射マイケルソン干渉計の開発、作製、時間分解能評価を行った。具体的には、サブピコ秒・ピコ秒電子パルスを発生させ、フェムト秒ストリークカメラと作製したマイケルソン干渉計との計測結果を比較・検討することで、新たな計測システムの計測精度を評価した。

マイケルソン干渉計による電子パルス計測

電子ビームが誘電率のことなる領域を通過する際に、加速度がないにもかかわらず放射する。これが遷移放射（光）である。遷移放射はその発生原理上、電子ビームの形状とみなして良い形状で放射し、また広いスペクトルを持つ特徴から、電子パルス長よりも長い波長領域に高強度をもつコヒーレント成分があることが知られている。本実験において、この遷移放射のコヒーレント成分を干渉させることで、遷移放射ひいては電子ビームの時間軸形状（パルス幅）の計測を行った。誘電体

には薄いアルミミラーを用い、コヒーレント成分（遠赤外成分）の検出には極低温シリコンボロメータを用いた。また上記のような干渉法は、直接パルス幅を計測するストリークカメラとは異なり、間接的（解析的）にパルス幅を導出する。したがって、干渉法による計測結果は計測精度の評価が必須であり、本実験では従来より用いていたフェムト秒ストリークカメラによる計測結果と比較検討することで、干渉計の計測精度を評価した。

## 実験と解析

実験体系を図1に示す。サブピコ秒電子パルスをアルミミラーに入射し、そこから放射される遷移放射をマイケルソン干渉計およびフェムト秒ストリークカメラに交互に導き、それぞれでパルス計測を行った。次に、上記のように干渉法は間接的計測法のため、干渉パターンからパルス幅を導出するには複数の解析手順を踏む必要がある。解析法の概略を図2に示す。干渉パターンをフーリエ変換することでスペクトルを求め、そこからバンチ形状因子（電子パルス形状を考慮した光強度の波長依存性と1電子の発生するスペクトルとの関係）を導く。この際、絶対値が要求されるため、絶対放射強度の既知である黒体放射を利用する。また、失われたスペクトル情報を外挿によって補完する必要がある。最後にバンチ形状因子を逆フーリエ変換することで、パルス形を導く。

干渉計で得られて干渉パターンを図3に示

す。次に、干渉パターンを解析して得られたパルス波形を図4に示す。また、図4にはストリークカメラで取得した波形も示した。図4より、100 fs オーダーで一致していることがわかる。干渉法は、パルス幅よりも長い波長のコヒーレント成分を利用するため、今後パルス幅が更に短くなっていった時に、計測しやすい短波長側に計測対象がシフトするという利点をもつ。さらに、上記のように100 fs オーダーの精度をもつため、新たなパルス幅計測手法として利用できることがわかった。

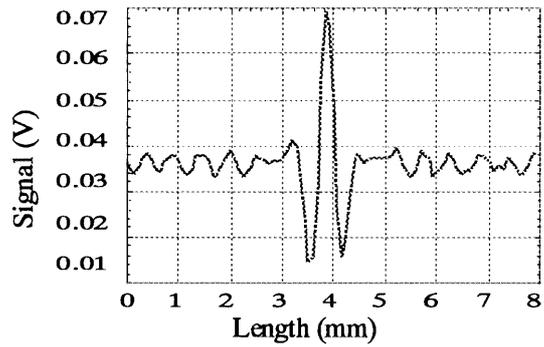


図3. 干渉パターン

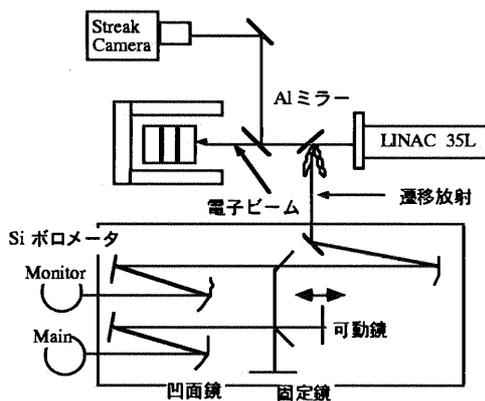


図1. 実験体系

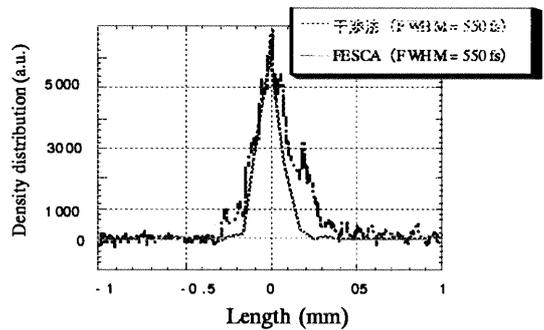
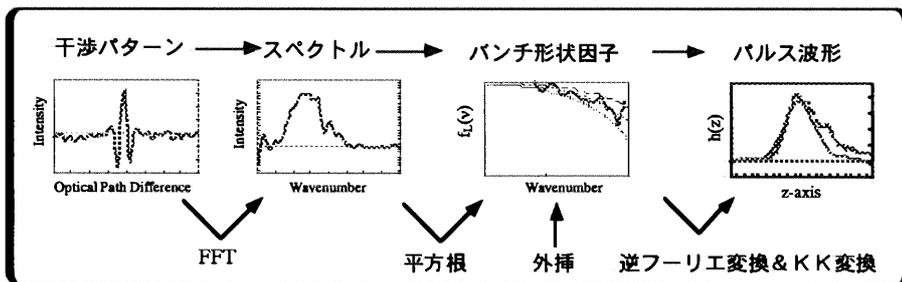


図4. 干渉計で得られたパルス幅 (550 fs) とストリークカメラで得られたパルス幅 (550 fs)。図中では両者のパルス幅に相違が見られるが、ストリークカメラによる計測誤差を評価すると一致した。



FFT

$$S(\theta) = 2\text{Re} \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{F}\{f(\omega)\} e^{-i\omega t} d\omega$$

$$f(\omega) = \mathcal{F}\{f(\omega)\}$$

$$= \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\theta) e^{i\omega t} d\theta$$

Extrapolation

$$I_{\text{max}}(\lambda) = N\lambda + (N-1)Y(\lambda)I(\lambda)$$

$$f(k) = \frac{1}{N-1} \left[ \frac{\int_{-\infty}^{\infty} S(\theta) e^{i\omega t} d\theta}{4\pi \mathcal{F}\{N\lambda(\lambda)\}} - 1 \right]$$

$$f_c = f(k) \exp(i 2\pi \cos \theta \lambda) z$$

$$f_r = f_c \exp(i 2\pi \sin \theta / \lambda) p d \phi$$

FFT<sup>-1</sup> with KK-relations

$$h(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \epsilon(\omega) \exp[i(\phi(\omega) - \omega z)] d\omega$$

$$\epsilon(\omega) = k^{1/2}$$

$$\phi(\omega) = -\frac{\omega}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\ln[\epsilon(\omega') / f(\omega')]}{\omega' - \omega} d\omega'$$

図2. 解析手法

# 弥生研究会

## 研究炉等の運転・管理及び改良に関する研究会（13）

主催代表者（東大・工・原施）岡 芳明  
幹 事 （東大・工・原施）齊藤 勲

(1) 開催日・場所：平成10年3月17日（火） 於東大・工・原施 研修室

(2) 出席者数：38名

(3) プログラム：

1. JRR-2の解体計画と現状  
（原研東海）岸本克己、原 邦男、有金賢次
2. JRR-3の耐震性について  
（原研東海）和田 茂、笠井政勝
3. 正の大きな反応度測定における修正法の提案  
（武蔵工大炉）金子義彦 （原研）長尾美春
4. 立教大学ビームポートの中性子スペクトル測定の試み  
（武蔵工大炉）堀内則量、小林佳代子 （立教大炉）原沢 進、小林久夫
5. 原子炉利用に伴う放射性同位元素の管理  
（立教大炉）原沢 進
6. 使用済燃料輸送  
（原研大洗）渡辺正男、宇井泰紀、明石一朝、佐藤 博、伊藤治彦
7. JMTR出力急昇試験設備の仕切管更新  
（原研大洗）菅野 勝、小山 昇、富田健司、中崎長三郎、荒瀬 功
8. HTTRの系統別・総合機能試験  
（原研大洗）坂場成昭、竹田武司、川崎幸三、川路 詔、伊与久達夫、  
鈴木 鉦
9. 「常陽」MK-Ⅲ用主中間熱交換器の設計及び製作  
（動燃大洗）近藤等士、川原啓孝、佐竹秀和、富田直樹

10. 高速炉用He蓄積型フルーエンスモニタの開発

(動燃大洗) 伊藤主税

11. 組織等価電離箱(対電離箱)を用いた吸収線量率測定の際の問題点

(東大炉「弥生」における熱外中性子場の開発に関連して)

(東大炉) 貴家憲彦、岡村和夫、寺門 勉、間瀬幸雄、仲川 勉、助川敏男、  
相沢長明、斉藤 勲、岡 芳明

(4) まとめ：

本研究会は、60年度より毎年継続して開催してきており、今年で13回目を迎えた。

この研究会の主旨は、我国の試験研究用原子炉施設の安全性の向上、機能改善、運転管理の効率化を企てることを目的としており、各施設での実情と経験に関する報告及び検討を通じて、目的を達成することにある。

研究会の主要テーマは、

- (1) 運転・管理上の知見と将来計画
- (2) 設備機器の改良(機能改善、性能向上、リプレース・他)
- (3) 計算機支援等による管理技術の開発
- (4) 運転・管理に伴う研究活動(特性測定・他)

とし、主として現場を預かる方たちを中心に情報交換と討議を行うことを意図している。

プログラムの項に示したように発表内容は大変充実したものとなっており、今年度も各位の協力を得て盛況裏に終了することが出来た。発表の詳細は別途UTNLレポートにとりまとめられているのでそれを参照願いたい。(UTNL-R0364)

これらのトピックスは、参加者の多くが共通に感心を抱いているものと思われ、討論は大変活発であった。

# 「核融合炉材料研究会（11）」

代表者：関村 直人  
幹 事：岩井 岳夫

開催日：平成9年8月7～8日

場 所：東京大学工学部附属原子力工学研究施設

## 1. はじめに

本研究会は、科学研究費補助金基盤研究（A）「先端光技術を用いた原子炉照射実験手法の高度化」（代表者：中澤 正治教授）の研究会と合同で、物質と高速中性子の相互作用にかかわる基礎的研究に関する討論を行うため、平成9年8月7～8日の2日間にわたり、原子力工学研究施設において、開催された。

## 2. 内容

本研究会においては、以下の4つのカテゴリーにおいて、議論が行われた。

- 1) レーザー共鳴イオン化分光法による極微量核変換物質の高感度定量
- 2) 中性子照射下の自発発光及びレーザー誘起蛍光現象
- 3) 極短パルスレーザーを用いた照射誘起現象の高時間分解検出
- 4) 光学素子を用いた原子炉照射実験の適用性評価と照射実験の高度化

この内容については、上記の科研費報告書として刊行される予定である。

## 3. プログラム

### 8月7日（木）

1:00～1:10 開会の辞 科研費代表者 中澤 正治（東大・工 システム量子）

#### I. レーザー共鳴イオン化質量分析法（座長：井口 哲夫）

1:10～1:40 「原研におけるレーザー同位体分離のための共鳴電離分光」

宮部 昌文（日本原子力研究所・東海研 同位体分離研究室）

1:40～2:10 「Xe-136二重ベータ崩壊娘核種のレーザー共鳴イオン化分光による検出」

宮島 光弘（福井大・工 応用物理学科）

2:10～2:40 「レーザー共鳴イオン化質量分析法を用いた原子炉ドシメトリー手法の開発」

井口 哲夫（名大・工 原子核）

2:40～3:00 — 休憩 —

#### II. 自発発光及びレーザー誘起蛍光現象（座長：田中 知）

3:00～3:30 「エネルギー粒子励起発光とその原因」

田辺 哲朗（名大・理工科学総合研究センター）

- 3:00～4:00 「3元系リチウムセラミックスの照射下発光測定」  
森山 裕丈、森谷 公一（京大・原子炉実験所）
- 4:00～4:30 「酸化リチウムよりの照射下発光とトリチウム放出挙動」  
Victor Grishmanov、田中 知（東大・工 システム量子）
- 4:30～5:00 「窒化物のTLと絶縁破壊現象との相関」  
Hu Qianli、田中 知（東大・工 システム量子）
- 5:00～5:30 「原子炉での照射下電気伝導特性測定」  
四竈 樹男（東北大・金研 大洗施設）

6:00～8:00 — 懇親会（東大研究員宿舎にて） —

### 8月8日（金）

III. 極短パルスレーザーを用いた高時間分解検出法（座長：上坂 充）

- 9:00～9:30 「極短波パルスレーザーを用いた種々の研究手法と照射効果研究への応用」  
田川 精一（阪大・産業科学研究所）
- 9:30～10:00 「極短電子・レーザー・X線パルスの発生と制御」  
渡部 貴宏、上坂 充（東大・工 原子力工学研究施設）
- 10:00～10:30 「レーザーフォトカソード電子銃（仮題）」  
酒井 文雄（日本原子力研究所・関西研）

10:30～10:45 — 休憩 —

IV. 照射実験の高度化（座長：関村 直人）

- 10:45～11:10 「光ファイバーの放射線照射特性と分布センシングへの適用性」  
高田 英治（東大・工 システム量子）
- 11:10～11:35 「材料照射損傷研究の展開」  
森下 和功、吉田 直亮（九大・応力研）
- 11:35～12:00 「弥生炉制御照射研究の進展と意義」  
関村 直人（東大・工 システム量子）
- 12:30～13:00 「窓材料の14MeV中性子照射実験」  
佐藤 文信、飯田 敏行（阪大・工 電子情報エネルギー）  
大山 幸夫（日本原子力研究所・東海研）
- 13:00～ 閉会の辞

13:00～14:00 — 昼食 —

14:00～ 原子力工学研究施設見学会

- ・原子炉 弥生
- ・電子線ライナック
- ・核融合炉ブランケット設計基礎実験装置
- ・重照射研究設備（原子力研究総合センター）

# 核融合炉工学研究会（10）

## 「原子炉と核融合炉の保守・保全」

代表者：原子力工学研究施設 宮 健三  
開催日時：平成10年1月27日  
開催場所：東京弥生会館  
日時：午前9時45分より

### 1. はじめに

これまでの保全の概念は、設備等の維持管理の領域に狭く限定して使われてきた嫌いがある。しかし、いわゆる「保全」を確実に実施する上で設備等の、計画、設計、建設、運転等、これまで保全の概念に含まれていなかった技術分野をも取り込んだ、総合的な設備の健全性向上技術に拡張することが必要との指摘も提案されている。さらに専門家集団による工学技術から脱却し、社会科学、人文科学の協力を得て人間性まで配慮した技術分化に発展させることが最良との考えも出ている。このような背景に基づき、本研究会では「原子炉と核融合炉の保守・保全」をテーマに取り上げ討論を行った。

### 2. 内容

午前中のセッションでは、まず保守保全の概念に関する議論がなされた。「保守・保全とは何か？」に始まり、昨今の社会状況の変化による保全の考え方の変遷について解説され、また保全研究の方向性としては、保全はライフサイクルを通しての視点から取り組むものであること、経済性を度外視した保全は今後ますます非現実的になるということなど、国際的視点・工学的常識を社会一般に理解してもらえるように論理づけていくことがポイントであることなどが確認された。次に現在の原子力プラントの保守、および今後の目標である保守の高度化について議論がなされた。またこれらの具体例として特にBWRにおけるシュラウドの交換、および炉内構造物の非破壊検査に関して、現状と今後の展望についての説明がなされた。

午後の前半のセッションでは、まずITER計画の現況を、今年7月に期限が切れる工学的設計活動(Engineering Design Activity: EDA)、および7月以降の活動計画と日本としての今後の取り組みについて報告がなされた。またブランケットやダイバータなど核融合炉構造物の遠隔保守・交換に関するこれまでの開発成果について報告と議論がされた。

後半のセッションでは、原子力圧力容器と配管についての維持規格について、国内と国外との比較という観点から説明がなされた。さらに保守・保全に関する先進的研究として、原子炉・核融合炉材料の劣化、およびプラントの異常診断技術の開発状況について報告がなされるとともに活発な議論が行われた。

なお参加者は大学関係、民間等含めて合計62名であった。本研究会の成果は

UTNL-R-0365として刊行されている。

### 3. プログラム

本研究会のプログラムを以下に記す。

- |                                   |                       |                 |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------|
| 9 : 4 5                           | 開会の辞                  | 朝田泰英 (東京大学)     |
| 1 0 : 0 0                         | 保全工学の考え方              | 織田満之 (日本原子力発電)  |
| 1 0 : 3 5                         | 原子力プラントの保守            | 辻倉米蔵 (関西電力)     |
| 1 1 : 1 0                         | BWRの炉内構造物 (シュラウド) の交換 | 武黒一郎 (東京電力)     |
| 1 1 : 4 5                         | 予知保全における非破壊探傷とき裂進展予測  | 庄子哲雄 (東北大学)     |
| ( 1 2 : 2 0 ~ 1 3 : 2 0 昼休み)      |                       |                 |
| 1 3 : 2 0                         | 国際熱核融合実験炉 ITER        | 関 昌弘 (日本原子力研究所) |
| 1 4 : 0 5                         | 核融合実験炉の遠隔保守           | 多田栄介 (日本原子力研究所) |
| ( 1 4 : 4 0 ~ 1 4 : 5 0 コーヒーブレイク) |                       |                 |
| 1 4 : 5 0                         | 圧力設備の維持規格             | 小林英男 (東京工業大学)   |
| 1 5 : 2 5                         | 構造用鋼の劣化診断             | 上坂 充 (東京大学)     |
| 1 6 : 0 0                         | ニューラルネットワークによる異常診断    | 笠井雅夫 (三菱重工業)    |
| 1 6 : 3 5                         | 核融合炉材料の照射劣化と保全        | 関村直人 (東京大学)     |
| 1 7 : 1 0                         | 総括                    | 宮 健三 (東京大学)     |
| 1 8 : 0 0                         | 懇親会                   |                 |

## 新型核燃料材料研究会 (9)

代表者： 山脇 道夫

### 1. はじめに

本研究会は、原子力の様々な分野で利用が期待される新しい種類の核燃料に関して、その開発現状や使用に伴い予想される様々な問題点を、多くの研究者に討論していただく場を提供するもので、平成元年度に第1回が開かれて以来、毎年1回ずつ開催されている。今回は、日本原子力学会「高度燃料技術」研究専門委員会、日本原子力産業会議原子動力研究会「燃料・材料グループ」定例研究会との共催で、連合シンポジウムとして開催された。

なお、当日は70名以上の出席があり、盛会であった。また、講演資料集が、間もなくUTNLレポートとして刊行される予定である。

### 2. 内容

開催日: 1998年3月23日(月); 9:45~17:10

開催地: 東京大学工学部・工学系研究科 11号館

第1セッション; FBR燃料高燃焼度化研究: 座長; 鈴木 康文氏 (日本原子力研究所)

#### 1. 高速炉用 MOX 燃料の高燃焼度下でのふるまい: 三次 武志氏 (動燃事業団)

燃料ピン束-集合体ダクト機械的相互作用、FPガス放出、燃料スエリング、過渡時燃料挙動など、高燃焼度下での高速炉用 MOX 燃料のふるまいを概説した。また、実用化段階の燃焼度は 150 Gwd/t 以上と見込まれることから、今後燃料の照射試験と同時にシミュレーション技術や燃料挙動解析コードの高度化等の研究が必要であることを述べた。

第2セッション; 水素化物燃料の開発: 座長; 塩川 佳伸氏 (東北大学)

#### 1. MA 消滅ターゲットとしてのアクチノイド水素化物燃料開発: 小無 健司氏 (東北大学)

アクチノイド水素化物を使用することにより専焼炉を必要とせず、既存の原子炉を用いて効率的な消滅処理が図れることを紹介した。炉心概念検討例では、100万kWe級高速炉1基で年間、100万kWe級軽水炉13基から発生するアクチノイドが処理できること、水素化物燃料は中性子スペクトルを軟化させるため、従来炉心に比べ原子炉の固有安全性の向上も期待できることを示した。

#### 2. Studies on Fabrication and Physico-chemical Properties of Hydride Actinide Fuels: 黄 錦 涛氏 (東京大学)

TRIGA 炉での U-Zr-H 化合物燃料の照射経験を基に、より安全性が期待される U-Th-Zr-H 化合物燃料について、熱物性測定や照射試験の結果を報告した。U-Th-Zr-H 合金は、高温領域での熱的安定性が良好なこと、 $UO_2$  に比べ熱伝導率は高く、熱膨張率はほぼ同等であること、照射により著しい機械的劣化を生じないこと等から、新型燃料として有望であることを指摘した。

第3セッション; 原子炉材料研究: 座長; 片田 康行氏 (金属材料技術研究所)

1. 軽水炉圧力容器鋼の健全性評価: 木村 晃彦 氏 (京都大学)

原子炉の長寿命化が予想されることに鑑み、圧力容器健全性評価のためのサーベイランス試験における以下の問題点を指摘するとともに、その解決に向けた研究の現状を紹介した。1) 溶接部特に熱影響部における照射脆化挙動の詳細とサーベイランス試験片採取位置の検討、2) サーベイランス試験片寸効果の解明、3)  $\gamma$  線の寄与、4) 照射脆化に及ぼす Ni 合金元素の効果、等。

2. 圧力容器鋼材の照射脆化特性—解体原子炉からの知見: 鈴木 雅秀 氏 (日本原子力研究所)

解体原子炉圧力容器の照射脆化特性評価を通して得られた知見を基に、試験片の寸法効果、照射速度効果、 $\gamma$  線効果などについて報告した。照射硬化の鋼内減衰に及ぼす照射量など機械的性質に関する検討結果を紹介する中で、圧力容器鋼材の化学成分、照射量依存性、照射場での線量などの詳細情報が得られれば、照射脆化の精度良い予測が可能なることを示した。

3. 原子力発電施設構造材の経年変化の非破壊的検出: 前田 宣喜 氏 (東京大学)

原子力発電設備用構造部材の経年変化の評価手法、および経年劣化損傷のモニタリング手法について解説した。また劣化要因として中性子照射脆化、疲労及び熱時効を取り上げ、それらの評価法を紹介した。特に熱時効による材料劣化の評価では、周波数応答解析を導入した渦電流法を用いた熱時効処理材の測定結果をもとに、本手法が将来ポータブルで簡便な熱時効評価手法になる可能性を示した。

第4セッション; 燃料サイクル技術と TRU 消滅研究: 座長; 鶴飼 重治 氏 (動燃事業団)

1. FBR 金属燃料サイクル技術の現状と課題: 常磐井 守泰 氏 (電中研)

米国 EBR-II の豊富な実績に基づき乾式再処理/金属燃料サイクルの特長を、現行の湿式ピュレックス再処理/MOX ペレット燃料サイクルと比較して論じた。金属燃料システムは原子炉の固有安全性、経済性、増殖能、核拡散抵抗性に優れており、先進リサイクルの有力な候補技術であることを示した。

2. 岩石型プルトニウム燃料・燃焼法の研究: 山下 利之 氏 (日本原子力研究所)

原子炉で使用した後、直接処分する岩石型プルトニウム燃料について、原研においてこれまで実施された燃料物質系の探索、炉物理・炉心設計検討、および照射試験結果等を総括した。NSRR パルス照射に基づく事故解析、地層処分の環境安全性、試料の製造、基礎物性、経済性評価など広い分野について、従来の MOX 燃料と比較しつつそれらの評価結果を報告した。

3. 水溶液電解法による高純度ウラン及びネプツニウム金属の調製: 塩川 佳伸 氏 (東北大学)

ウラン及びネプツニウムなどのアクチナイド金属の調製法として、従来の熔融塩電解法に比べ取り扱いが容易な、水溶液系の電位相外部領域を利用したアクチナイド・水銀合金の調製法を紹介した。この方法を用いて、これまでに高純度ウラン金属及びネプツニウム金属をそれぞれ数グラム作製している。

4. 金属テクネチウムの試料調製と特性評価: 湊 和生 氏 (日本原子力研究所)

原研で実施されている長寿命核分裂生成物であるテクネチウム (Tc)-99 の消滅処理研究の内容を紹介した。Tc-99 の消滅処理は  $(n, \gamma)$  反応で安定なルテニウムに核変換させるものである。金属 Tc 試料の調製と分析、X 線回折、熱伝導率などの特性評価、それに海外実験炉 HFR における照射試験の概要等を報告した。

## 核融合炉燃料サイクルの基礎過程 (8)

代表者： 山脇 道夫  
幹事： 山口 憲司

はじめに：

本研究会は、弥生研究会としては、1986年7月に第1回が開かれた第一壁表面現象研究会から引き続いて毎年開かれている一連の研究会の一環として位置付けられる。今回は、核融合炉材料における水素透過の問題を中心に据えつつも、現象そのものの解明からその応用に至るまで、幅広くテーマを設定してみた。

なお、本研究会の成果は「弥生研究会：第8回「核融合炉燃料サイクルの基礎過程」研究会講演資料集」(UTNL-R-0366)として刊行されている。

内容：

開催日：1998年3月3日(火)：10:00～16:00

開催地：東京大学工学部・工学系研究科 11号館

1. 核融合炉開発における水素透過—その基礎過程ならびに応用：山口 憲司 (東京大学)  
従来の水素透過に関する研究を概説し、そこでは、透過の素過程ならびに律速機構の解明、プラズマ-材料相互作用データの取得、などに重点が置かれていたと指摘した。しかし、核融合環境における様々な励起過程や照射誘起過程の存在を考慮すると、既成の理論の見直しや、超短時間レベルでの現象解明や量子化学的解明など新しい観点からの研究が必要であると訴えた。さらに、透過障壁あるいは超透過膜の実機での適用可能性について論じた。
2. タングステン中の水素同位体イオン注入透過挙動：中村 博文 氏 (日本原子力研究所)  
タングステン中の純トリチウムを含む水素同位体のイオン注入透過 (IDP) 実験を実施した。タングステン中の水素同位体の IDP は、定常状態では拡散過程に律速されているものの、過渡状態では、内部欠陥等により拡散が阻害されていると考えられた。また、トリチウムと重水素の同位体効果については、今回の実験からは顕著な差異は認められなかった。

3. 高Z金属膜(Nb)に対するイオン/原子の注入透過挙動: 大越 啓志郎 氏 (東京大学)  
原子状ビーム装置を既設の実験体系に組み込み、Nb膜に対する水素透過実験を行った。導入された水素ガスの原子化により、金属膜を介しての水素の透過が著しく増加することを確認するとともに、高温で透過速度が飽和する傾向にあることが分かった。さらに、原子駆動透過に関するモデル化の試みの一端を紹介し、表面での吸着・溶解に関するより詳細な検討が必要であると指摘した。
4. 水素透過プローブの well characterize されたプラズマ環境下における計測・診断例: 伴野 達也 氏 (東京大学)  
水素透過プローブを用いることにより ECR プラズマ中の低エネルギー中性水素原子フラックスの測定を試みた。水素原子フラックスの距離に対する依存性から、ECR プラズマが共鳴領域でシート状の水素原子源を形成していることが示唆された。さらに、その強度から、単位体積あたりの水素原子生成速度を求め、静電プローブによる計測から間接的に求められる値とほぼ一致することを確認した。
5. 超透過プローブの開発と応用: 高木 郁二 氏 (京都大学)  
プラズマ誘起透過の応用例として3つの事例が報告された。まず、透過速度を支配する拡散係数や再結合係数を評価した。従来報告例の少ない比較的低温での測定に成功した。また、比較的大型のプラズマ実験装置におけるプラズマ誘起透過挙動を観測し、活発な水素リサイクリング現象を示す結果を得た。さらに、水素原子の固体表面からの反射現象を観察し、原子のまま複数回反射する水素が多いこと、反射材の材質への依存性はむしろ低く、表面の水素被覆率に強く依存することなどが示唆された。
6. パラジウム中の軽水素・重水素相互透過: 木津 要 氏 (名古屋大学)  
パラジウム薄膜を使って、表面律速状態での軽水素・重水素相互透過実験を行った。重水素の透過は、下流側の軽水素圧力が大きくなるにつれ減少し、軽水素の圧力よりかなり小さくても透過が観測された。また、バルク中の重水素濃度比に基づいて重水素が放出されるとするモデルを構築し、実験結果を比較的良く再現することができた。軽水素の存在は、重水素の試料表面での再放出のみならず、その溶解までも抑制している可能性がある。
7. ステンレス鋼における多成分水素同位体の透過: 白石 朋史 氏 (九州大学)  
304 SS ならびに 316 SS に対して、単成分系ならびに多成分系のもとで水素透過実験を行った。まず、 $H_2$ 、 $D_2$  の単成分についての透過実験の結果から透過係数を算出し、既往の文献値と比較した。次いで  $H_2$ - $D_2$  2成分系での透過実験を行い、(1) 各成分が独立した挙動を示す場合、溶解した同位体混合系に対して、(2) 理想溶液論が適用できるとした場合、(3) 各成分の溶解量が Henry 則的に変化する場合、を想定して、それぞれについて透過速度の計算式を立て、実験結果と比較した。さらに、管内に温度分布が生じる場合の取り扱いについて論じた。

## 「放射線検出器とその応用研究会（7）」

代表者：東京大学大学院工学系研究科

高橋浩之

開催日時：平成10年1月21日～23日

場所：高エネルギー加速器研究機構

3号館セミナーホール

### 1. 目的

本研究会は、高エネルギー加速器研究機構と共同で開催を行うようになってから今年度で第7回を数えた。この間、放射線検出器に関するシンポジウムとしては、国内で最大級のものに発展し知名度も高く研究者の間に定着しつつあるものである。例年多くの研究者が集い、貴重な情報交換が行われているが、本年度は、21世紀への方向を探るものとして、特定分野に焦点をあてるのではなく、広い範囲からの講演を募り、多くのセッションを設けて活発な議論を行うことを狙い、研究会を開催した。

### 2. 今年度の内容

初日は、招待講演を含め、放射光・発光の利用・イメージングについて多くの発表があり、ポジトロンCT用の深さ方向の位置検出可能な多結晶シンチレータユニットや新しい透過型のPINフォトダイオードの開発や積分型の位置敏感型比例計数管の開発などの研究成果が報告され、特に放射線医学総合研究所からの発表が注目を集めた。招待講演には本学の中澤正治教授により、来世紀における放射線計測の展望が示された。また、初日の夕方には主として若手研究者を集めたポスターセッションが行われ、22件の発表がなされ、活発な討論がなされていた。パラメトリックX線の発生やニューラルネットによる信号波形の識別など学生主導の研究で良い成果が多く見られていた。2日目は放射線検出器の信号処理法やデータ処理に関して、講演がなされ活発な議論がなされた。2日目の午後には半導体検出器・超伝導トンネル接合検出器について5件の講演があり、TlBrなどの新しい材料の利用やNIS型の超伝導接合型検出器、ボロンをドーピングするためにCVDを利用した人工ダイヤモンド検出器の研究など優れた取り組みについて報告がなされた。特にダイヤモンド検出器は今後放射線損傷が少なく常温で使用可能な固体検出器として期待が大きい。また、固体飛跡検出器についても、原子間力顕微鏡の応用などで適用範囲が広がってきており、今後の展開が注目される。3日目は、東北大学の武部先生による気体電離による検出器について特別講演がなされた。その後、特にイメージングプレートの利用についてのセッションがもたれた。3日間で、参加者は110名以上に上り、活発な討論がなされた。以上の成果はUTNL-R-0361にまとめられている。

### 3. プログラムの概要

研究会「放射線検出器とその応用」プログラム

第1日（1月21日）

Opening Remarks (10:20-10:30)

Session-1 (10:30-12:30)

積分型位置敏感比例計数管による画像検出

法大・工 武藤彰英、長谷川賢一

放射光単色軟X線の絶対強度の計測

電総研 齋藤則生、鈴木 功

透過型PINフォトダイオードによるX線入射ビーム強度モニター

高エネ研 岸本俊二

SiO<sub>2</sub>発光と放射線計測への利用

原研、東北大・金研 A 角田恒巳、坂佐井馨、佐川 勉、四竈樹男 A、鳴井 実

A

Lunch (12:30-13:30)

Session-2(13:30-15:30)

コンプトンカメラによる 99mTc のイメージング

名大・工 A、Michigan 大 瓜谷 章 A、D. K. Wehe、G. F. Knoll、S. J. Wilderman、  
J. E. Gormley 、 J. W. Leblanc 、 N. H. Clinthorne 、

W. L. Rogers

ポジトロン CT 用 3 次元位置検出型多結晶シンチレータユニット

放医研、日立化成 A、浜松ホトニクス B 村山秀雄、石橋浩之 A、  
内田 博 B、大村知秀 B、山下貴司

B

裸のプラスチックシンチレータを用いた治療用重粒子線飛程の簡易測定法

放医研 福村明史、野田 豊、小俣 要、平岡 武、二見康之、  
松藤成弘、村上 健、金井達明

医用 X 線線量計測のためのシンチレータ・光ファイバー検出器システムの開発

名大・医 青山隆彦、小山修司、前越 久

Coffee Break (15:30-15:45)

Special Talk (15:45-16:45)

光を利用した放射線計測への展望

東大・工 中沢正治

Poster Session by Young Researchers with Wine & Cheese (17:00-19:00)

[会場：研究本館レクチャー・ホール]

自己分散サーベイシステムを目指した自走型検出器の開発

名大・工 河原林 順、小津智明、井口哲夫

ニューラルネットワークによる検出器信号波形の識別

名大・工 酒井宏隆、瓜谷 章、森千鶴夫、井口哲夫

CCD 固体撮像素子の放射線照射効果

阪大・工 谷村嘉彦、飯田敏行

イオンビーム照射実験用ビームプロファイルモニター

阪大・工 田中照也、佐藤文信、谷村嘉彦、飯田敏行

シンチレーション・ファイバーと比例蛍光を利用した液体 XeTPC の基礎開発

早大理工総研、名大 STE 研 A 寺沢和洋、神津友武、竹中 直、  
道家忠義、菊池 順、増田公明 A

アルカリハライド蛍光体の輝尽発光とそのフェーディング現象

金沢工大、石川県工試場 A 筒口善央 A、佐藤智之、宮崎誠、今井敦、  
草野英二、金原梁、南戸秀仁

TL 測定装置の高感度化

新潟大・院自、新潟大・理 A 杉山直弥、橋本哲夫 A、須貝紀之、小松康子

A

アルカリ長石からの熱ルミネッセンス特性

新潟大・院自、新潟大・理 A 坂上央存、藤田博喜 A、橋本哲夫

A

放射線誘起熱ルミネッセンスに対する水素ラジカルの影響

新潟大・院自、新潟大・理 A、京大・原子炉 B 片山 肇、西山笑子 A、  
橋本哲夫 A、長谷博友 B

超高感度 CCD カメラを用いた放射線分布の画像化(II)

東北大・CYRIC、アロカ(株) A 今井大輔、三宅正泰、星 和成 A、  
伊藤正敏、山寺 亮、中村尚司

高エネルギー中性子測定用自己 TOF 型検出器の開発

東北大・CYRIC、高エネ研 A 佐々木道也、中尾 誠、  
中村尚司、中尾徳晶 A、柴田徳思 A  
△E-E カウンターを用いた高エネルギー重イオンによる生成 2 次粒子の測定  
東北大・CYRIC、高エネ研 A、理研 B、放医研 C 黒澤忠弘、中村尚司、  
中尾徳晶 A、柴田徳思 A、上蓑義朋 B、福村明史 C、村上 健

C

高速中性子による固体内の水素分布の測定

名工研、東北大・工 A 齊藤和雄、佐藤 潤 A、馬場 護 A、  
佐波俊哉 A、名内泰志 A、山崎哲朗

A

過熱液滴型検出器の  $\gamma$  線検出感度(I)

北大・工 杉山紀幸、澤村晃子、津田修一、成田正邦  
電子線加速器によるパラメトリック X 線の発生とその特性

北大・工 田村昌也、秋本正、藤田文行、本間彰、佐藤孝一、  
谷田弘明、澤村晃子、成田正邦

光ファイバーセンサーの原子カプラントへの適用

東大・工、日立電線 A 木村 敦、J. Fredrik、高田英二、  
中沢正治、高橋浩之、山本 哲 A

$^3\text{He}$  比例計数管の  $\gamma$  線レスポンス

成蹊大、電総研 A 橋本広伸、河田 燕、武田直人 A、工藤勝久

A

BaF<sub>2</sub> シンチレータの 20MeV 以下のエネルギー領域での粒子弁別特性

東北大・工、原研・高崎 A 名内泰志、馬場 護、布富智也、  
松山成男、鈴木敬典、平川直弘、田中 進 A

放射性同位元素を用いた短パルス化低速陽電子ビームの開発

総研大、高エネ研 A、東学大 B、東大・原総セ C 濱田栄作、大島永康、  
鈴木健訓 A、近藤健次郎 A、金沢育三 B、伊藤泰男 C

徳島大におけるアンチコンプトン型 Ge-NaI 検出器システム

徳島大・総合科学 堀川拓也、宮本 諭、伏見賢一、中山信太郎、桑折範彦

第 2 日 (1 月 22 日)

Session-3(9:30-12:00)

放射線デジタル信号処理へのスペライン関数の適用

東大・工 倉橋智彦、高橋浩之、中沢正治

放射線検出器解能の情報論的考察 — プラズマ論断用中性子検出器を例として —

東北大・工 岩崎 信

数え落とし補正の厳密解

茨城医療大 加藤和明

二重ベータ崩壊用マルチワイヤーチェンバーの電氣的張力測定

高エネ研、林栄精器(株) 小濱太郎、石原信弘、竹田 繁、大熊弘男、近野和夫

金の転換電子メスバウアー分光法用

滋賀医大、ミュンヘン工科大 福村和子、小林隆幸、A. Kyek、F. E. Wagner

Lunch (12:00-13:00)

Session-4 (13:00-15:30)

TlBr 放射線検出器の評価

東北工大 庄司忠良、人見啓太郎、村山智彦、末広輝男、平館幸男

超伝導トンネル接合検出器の開発と可能性

新日鐵・先端研 倉門雅彦

常伝導体-絶縁体-超伝導体トンネル接合間のフォノンカップリング

京大・工 A、Cambridge 大 神野郁夫 A、G. Bumell、M. G. Blamire  
表面障壁型シリコン半導体検出器の低エネルギーイオン応答

阪大・工 佐藤文信、折田宏重、飯田敏行  
人工ダイヤモンド放射線検出器出力信号の解析とボロンドープ

CVD ダイヤモンド層による分極現象の抑制

原研 金子純一、片桐政樹、池田裕二郎、西谷健夫

Coffee Break (15:30-15:45)

Session-5 (15:45-17:45)

CR-39 プラスチックによる高放射線量測定を試み

高エネ研 俵 裕子

原子間力顕微鏡による CR-39 上のエッチピット定量解析と線量測定への応用

放医研、日大・生産工 A、早大・理工総研 B、東大・工 C、東邦大・理 D  
安田仲宏、山本幹男、小倉紘一 A、金井達明、石博信人、喜屋武篤史 B、道家忠義 B、  
雨宮邦招 C、高橋浩之 C、中沢正治 C、西田高士 D

ガンマ線による石英の酸素空格子の生成

阪大・理 豊田 新、池谷元伺

乳酸リチウムを用いた高感度 ESR 線量計素子の開発

阪大・理 H. M. Gamel、池谷元伺、豊田 新

Welcome Party (17:50-19:30) [会場：職員会館 2F 大集会室]

第 3 日 (1 月 23 日)

Invited Talk (9:45-10:45)

気体電離とその基礎 - 気体中のイオンの挙動 -

東北大・工 武部雅汎

Coffee Break (10:45-11:00)

Session-6 (11:00-13:00)

イメージングプレートのフェーディングと Afterglow 特性

金沢大・工 稲部勝幸、中村昭一、木村 拓

中性子検出用イメージングプレートの特性

立大・原研 小林久夫

イメージングプレートを用いた岩石の自然放射能の分布計測

東北大・工 土屋範芳、晴山美保子、武部雅汎

イメージングプレートの重イオンに対する応答と LET 効果

東北大・工、原研・高崎 A 阿部 健、小嶋拓治 A、鈴谷卓之、村上泰朗、齊藤 究、  
藤健太郎、酒井卓郎 A、武部雅汎

Closing Remarks (13:00-13:15)

# 「原子力分野における流体関連振動研究会（7）」

代表者：班目春樹

幹事：岡本孝司

開催日：平成9年8月25日、26日

場所：研究施設研修室

## I. はじめに

流れにより励起される振動は原子力分野のみならず土木や機械、航空、船舶海洋などさまざまな分野で問題となっている。流れを支配する方程式の非線形性ゆえに思いもよらぬ体系で振動が発生することがあり、トラブルを引き起こす。学問的にも今後大きな発展が期待される領域である。そこで、軽水炉や高速炉で話題になった現象を中心テーマとして弥生研究会を開催してきており、本年度は第7回にあたる。

## II. 内容

今回は2つのテーマ、「流れによる液面の振動」と「流体-構造物連成振動の数値解析」に焦点を絞った。前者はFBR実証炉の開発で問題となった現象で、ここ数年の研究の結果、実際のプラントではどのような現象に注意しなければならないかが明らかとなり、実機の設計条件がその発生条件から十分離れていることを確認した段階にある。したがって、総まとめという意味も含めて研究の現状のレビューを実施した。後者は今後ますます盛んになるであろう数値解析技術についてである。数値解析技術は急速な発展をとげ、ややもすると完全なシミュレーションが可能となったかのような錯覚を与える。しかし実際にはまだまだ多くの単純化を必要としている。流体側の解析において構造物との境界条件はどのように扱われているのか、位置とともにその移動速度や加速度も考慮されているのか、どこまで考慮すべきなのか、といった観点からの議論も実施した。それとともに、航空や船舶海洋などの分野での最先端の状況の解説も行われ、お互いに得るところが大きかった。

本研究会の出席者は70名で、活発な討論が行われた。

## III. 成果の刊行

本研究会の成果は「原子力分野における流体関連振動研究会(VII)報告者」(UTNL-R-0356)として既に刊行されている。

#### IV. プログラム

8月25日(月)

10:10~10:15	挨拶	班目(東大)
——流れにより励起される液面振動——		
10:15~10:55	流れによる液面自励振動	班目(東大)
10:55~11:40	高速炉上部プレナム液面の振動	若松(東芝)
11:40~12:25	多液面の安定性解析	白石(三菱)
13:20~14:05	多重ループ系の流動不安定現象	岩壺(神戸大)
14:05~14:50	流動のある容器内スロッシング	金子(東大)
15:00~15:40	水平噴流で励起されるスロッシングの数値解析と発生機構の考察	佐伯(東大)
15:40~16:20	ジェットフラッタと垂直噴流励起スロッシングの数値解析	飯田(動燃)
16:20~17:00	流れにより励起されるマンメータ振動の数値解析	深谷(日立)
17:30~19:30	懇親会(東大研究員宿舎にて)	

8月26日(火)

——流体-構造物連成振動の数値解析——		
9:00~10:00	航空機のフラッタ現象の数値解析	中道(航技研)
10:00~10:50	メガフロートプロジェクトと流体連成振動の数値解析	影本(東大)
11:00~11:40	インライン振動の数値解析	山口(動燃)
11:40~12:10	空力弾性問題の数値解析(1)	岡島(金沢大)
13:00~13:30	インライン振動について	Zdravkovich (Univ. of Salford)
13:30~14:10	空力弾性問題の数値解析(2)	田村(東工大)
14:10~14:50	管群の流力弾性振動の数値解析	市岡(三菱)
15:00~15:40	乱流場における流体-構造物連成振動解析	定岡(日立)
15:40~16:20	2次元剛体の流れ誘起振動の数値解析	中山(中央大)
16:20~16:30	挨拶	

## 新型炉研究会（7）

代表者： 岡 芳明

幹 事： 越塚誠一

開催日： 平成10年1月14日

場 所： 東京大学工学部8号館81号室

### I. はじめに

軽水炉技術の着実な発展と将来への展望を議論すべく、第7回新型炉研究会は、軽水炉のタービン系や安全系の合理化に有効と思われる「スチームインジェクタの研究開発」、AP-600の大出力版である「単純化PWR」の講演に加えて、「超臨界圧軽水冷却炉」関連のテーマを集めて開催した。

### II. 内容

東芝の奈良林氏からは、スチームインジェクタの開発状況についての講演があった。スチームインジェクタとは、蒸気と水の直接接触に伴う凝縮の力を利用したポンプであり、電源が不要でかつ回転部もない。また、直接接触型の加熱器としての機能もあるので、ABWRの給水系への適用が検討されている。小型であること、保守が容易であることから、プラントの合理化が期待できる。原電の田畑氏からは単純化PWRの開発について紹介があった。米国のAP600で採用されているような静的システムを積極的に評価し、さらに経済性向上のために出力の増加、鋼製原子炉建屋の採用、機器や設備の簡素化などによって現行軽水炉よりもコストを下げることもできると見積もっている。続いて、東京大学の岡先生により、過去の超臨界圧炉および水蒸気冷却高速炉のレビューがあった。過去の超臨界圧炉では、いずれも炉心構成やプラントシステムが複雑であり、単純な貫流型システムを採用している火力のようなものとはなっていない。また、水蒸気冷却高速炉では、炉心入口から冷却材として水蒸気が必要なためシステムが複雑になっている。越塚からは、東京大学における超臨界圧軽水冷却炉の研究の進展状況について報告があった。経済性からは炉心の出力規模の増加と主蒸気流量の低減が効果的であることがわかり、大型で高温の炉心を設計している。特に、超臨界圧水の熱伝達率を数値シミュレーションによって評価することで、伝熱劣化熱流束比(MDHFR)制限をはずすことができる。これによって高温化ができ、主蒸気流量を低減することができる。最後に三重大学の水野先生より超臨界圧水の化学的性質について紹介された。誘電率や解離度は常温での値から大きく変化すること、固体や気体の溶解度も大きく異なることなどが説明された。

出席者は約60名であった。

### III. 成果の刊行

本研究会の成果は「新型炉研究会（第7回）」(UTNL-R-0363)として既に刊行されている。

### IV. プログラム

- |               |  |
|---------------|--|
| 11:00 - 12:00 | 奈良林 直（東芝）<br>「スチームインジェクタの次世代炉への適用」     |
| 12:00 - 13:00 | 休憩                                     |
| 13:00 - 14:00 | 田畑 広明（日本原子力発電）<br>「単純化PWRの安全性と経済性の特質」  |
| 14:00 - 14:45 | 岡 芳明（東京大学）<br>「過去の水蒸気冷却炉、超臨界圧水冷却炉の研究例」 |
| 14:45 - 15:00 | 休憩                                     |
| 15:00 - 16:15 | 越塚 誠一、 岡 芳明（東京大学）<br>「超臨界圧軽水冷却炉の研究の進展」 |
| 16:15 - 17:00 | 水野 孝之（三重大学）<br>「超臨界圧水条件下での水化学」         |

## ライナックの技術と応用に関する研究会（7）

代表者：上坂 充

幹事：渡部 貴宏

開催日時：平成10年3月19、20日

場所：東京大学工学部11号館1階講堂

### 1、目的

本研究会は「ライナックの技術と応用」に関するもので、今回で7回目であり、直線加速器の基礎技術の開発並びにその応用に的を絞り、特にフェムト秒ライナック・レーザーおよびフェムト秒量子ビームの応用に関する議論を行うことを目的としている。平成9年度は粒子ビーム/レーザー/プラズマの相互作用とその応用にスポットをあてて、開催した。

### 2、内容（以下において、敬称を省略した。）

19件の講演と川崎先生による特別講演があり、参加者は54名であった。

岡本、片山のビーム冷却の講演で、2個の原子でも結晶をつくれるかという議論があった。その講演の後、香取は2個の原子がイオントラップ中で相対位置をかえない写真を提示した。この結果から、トラップで冷却されたイオンこそ究極のイオン源という感想を与え、クリスタルビームの研究にはずみをつけたと思われる。秋根は、医療用の線形加速器の仕様として、パルス幅数マイクロ秒、繰り返し300pps、平均ビーム電流40-120  $\mu$  Aの小型陽子加速器の開発が急務と示した。小方、西田の報告のように古典的方法によらない陽子加速はまだアイデア段階であるが、ERAの経験が川崎からあった。いまの技術を持ってすればERA(電子の速度をイオンに与えるというアイデア)の実現の可能性は十分あるとのことだった。熊田は、冠状動脈のコントラストの良いx線写真を撮るための光源として、レーザー放射光発生のための小型電子リングの設計を報告した。レーザーの反復使用、または蓄積使用に対する一つの技術的な裏付けを藤田が示した。こうした技術は横谷が紹介したガンマコライダーにおいても重要と思われる。広瀬の講演は、コンプトン散乱関連でJLC用の変極陽電子源と、ポジトロニウムの冷却に関した。レーザーあるいはマイクロ波のチャネリングに関する講演は近藤、小山、伊藤の3件があった。2日目の午前中は、中島によるKEK-JAERI-東大のレーザー航跡場加速実験、上坂による東大工学部原子力工学施設のライナックにおける実験、遠藤によるフェムト秒プロジェクトにおける超短x線パルス発生のためのレーザーRF銃の紹介、北川グループ(森,辻,浅津)による阪大レーザー研におけるレーザー航跡場加速実験の準備が紹介された。最後の自由討論ではまず鎌田によるKEK-ATFにおけるSASE計画の紹介、遠藤により広島大学の新設学科(先端物質科学研究科)の紹介、広瀬から1999年に都立大でコンプトン散乱を主題とする国際会議の開催計画が紹介された。

弥生研究会プログラム  
粒子ビーム/レーザー/プラズマの相互作用とその応用  
1998年3月19-20日(木-金)

19日(木) (13:00~17:30)

- 13:00~13:30 「レーザービームの蓄積(仮題)」 藤田雅之(レーザー総研)  
13:30~14:00 「都立大における粒子ビーム/レーザーの相互作用の研究(仮題)」 広瀬立成(都立大)  
14:00~14:30 「レーザー放射光電子リングラテイスの検討」 熊田雅之(放医研)  
14:30~15:00 「ガンマ・ガンマ・コライダー」 横谷 馨(KEK)  
15:00~15:30 「レーザーチャンネルング」 近藤公伯(筑波大TARA)  
15:30~16:00 「高強度レーザーパルスのプラズマ中伝播実験」 小山和義(電総研)  
16:00~16:30 「クリスタルビーム」 岡本宏巳(京大化研)  
16:30~17:00 「ビーム冷却(仮題)」 片山武司(東大核研セ)  
17:00~17:30 「イオントラップにおける冷却過程(仮題)」 香取秀俊(東大工物工)

19日(木)夜

- 18:00より懇親会。東大キャンパス内、山上会館1階ラウンジ「ハーモニー」

20日(金) (9:00~13:00)

- 9:00~9:30 「KEK/東大工原施/原研関西研レーザー加速共同研究(仮題)」 中島一久(KEK)  
9:30~10:00 「フェムト秒量子ビームの発生と応用」 上坂 充(東大工原施)  
10:00~10:30 「RFガンとその光源開発」 遠藤 彰(SHI)  
10:30~11:00 「レーザー/プラズマによるイオン加速」 小方 厚(KEK), 西田 靖(宇都宮大)  
11:00~11:30 「高出力マイクロ波による過密度プラズマ中の電磁波導波」 伊藤弘昭(宇都宮大)  
11:30~11:45 「60TW 超短パルスレーザーとプラズマの相互作用"ターゲットからの散乱光"  
森 道明(阪大レーザー研)  
11:45~12:00 「レーザー加速用同期電子ビーム源の開発」 辻 宰司(阪大レーザー研)  
12:00~12:15 「高密度ガスバフの開発」 浅津久興(阪大レーザー研)  
12:15~12:30 「60テラワット超高強度レーザーによる粒子加速研究計画」 北川米喜(阪大レーザー研)  
12:30~13:00 「超小型加速器への期待」 秋根康之(筑波大陽子線医学)

20日(金) (14:00~17:00)

自由討論

話題提供：鎌田 進(KEK), 広瀬立成(都立大理), 遠藤一太(広大理), 小方 厚(KEK)

- 研究テーマの組織化
- 今後の研究会

## 新型炉研究会（6）

代表者： 岡 芳明

幹 事： 越塚誠一

開催日： 平成9年7月8日

場 所： 日本原子力産業会議第1、2会議室

### I. はじめに

高速増殖炉開発は逆風の中にあるが、資源小国の日本にとって長期的にはその意義は変わらない。第6回新型炉研究会は、日本原子力産業会議の高速炉システム研究会・炉心分科会との共催で、大学の研究者がそれぞれ独自に行なっている高速炉関係の研究を集めて発表していただいた。

### II. 内容

阪大の竹田先生より、マイナーアクチニド(MA)の消滅に関して、熱中性子炉2種類および高速炉2種類の性能比較について発表があり、金属燃料鉛冷却高速炉が最適であることが述べられた。東工大の関本先生からは、鉛および鉛ビスマスを冷却材とする長寿命小型炉の概念が示された。この炉は、先進国で製作した後に発展途上国に輸送し、運転終了後は再び先進国に返送するというものである。東北大学の岩崎先生からは、原研の高速炉臨界実験装置(FCA)を用いて、水素を添加した高速炉心ではナトリウムボイド反応度係数が、より負になることが実験により確認されたとの報告があった。また、水素化ジルコニウムピンを含む金属燃料高速炉心の核設計例も示された。東京大学の岡先生は、超臨界圧軽水冷却炉について、熱中性子炉および高速炉の炉心設計、安全系の設計と安全解析、確率論的安全評価、経済性の検討などについて紹介された。

参加者は約50名であった。

### III. 成果の刊行

本研究会の成果は「新型炉研究会（第6回）」(UTNL-R-0355)として既に刊行されている。

#### IV. プログラム

- 13:30 - 14:20 竹田 敏一 (大阪大学)  
「MA消滅のための原子炉」
- 14:20 - 15:10 関本 博 (東京工業大学)  
「鉛および鉛ビスマス冷却小型安全炉」
- 15:10 - 15:20 休憩
- 15:20 - 16:10 岩崎 智彦 (東北大学)  
「水素添加による金属燃料高速増殖炉の反応度係数の向上」
- 16:10 - 17:00 岡 芳明 (東京大学)  
「超臨界圧軽水冷却高速炉」

# 「粒子画像流速測定法研究会 (V)」

代表者: 川橋 正昭  
幹 事: 佐賀 徹雄  
岡本 孝司

開催日: 平成9年12月4日  
場 所: ホテル・アウイーナ大阪

## I. はじめに

近年のコンピュータハードウェアの進歩によって、画像処理技術を応用した各種計測手法が考案されている。これらのうちでも、流れにトレーサを混入し可視化したものを画像処理することによって流速を算出しようとする「粒子画像流速測定法」は、様々な角度から研究が進められ、多くの成功を修めている。この手法は、同時に多点の流速を容易に計測できることから、複雑な流れの状況を把握するために重要な要素技術となってきている。このようなことから、5年前から粒子画像流速測定法の応用、新手法等に関して討論を行なうため、弥生研究会を開催して来ている。

本年度は、第5回として平成9年12月9日に、大阪に於いて可視化情報計測研究会および、PIV 標準化・実用化研究会との共催という形で開催した。

## II. 内容

本研究会においては、粒子画像流速測定法に関して、ホログラム応用計測、新しい可視化計測手法の開発、PIV手法応用などのテーマに関して、6件の話題提供を行なうとともに、近年注目されている非線形光学の基礎に関して特別講演を行い、活発な討論を行なうことができた。

まず、午前中のセッションでは、医療などの様々な分野へのPIVの応用に関する報告があった。2次元画像を解析することで、流速だけでなく画像に記録される様々な情報を定量化する試みが推進されている。さらに、3次元計測への応用に関しても現在の最新のデータに基づく報告がなされた。

引続き、PIV計測手法の高精度化、もしくは多次元化への応用に対する基礎的な報告があった。中でも、画像を回転させることにより奥行き方向の位置の情報を精度良く2次元画像上に定量化する手法について、さまざまな議論があった。

最後のセッションでは、数値解析とPIV計測との融合に関連した報告があった。計測ではどうしても情報の欠落部が生ずる。一方、計算ではカオティックな実現象を追うことは原理的に困難である。この2つの手法を融合させ、計測における粒子追跡精度向上のため解析を援用するという方向性に関して様々な議論がなされた。大阪での開催であったが、日本各地からPIV研究の研究者が集まり、活発な討論がなされた。

なお、本研究会の出席者は67名であった。

### III. 成果の刊行

本研究会の成果は「粒子画像流速測定法研究会 (V) 報告書」(UTNL-R-0359) として既に刊行されている。

### IV. プログラム

- |             |   |                     |
|-------------|---|---------------------|
| 9:30– 9:40  | あいさつ  | 川橋 正昭               |
|             | <i>session 1</i>  | 座長 近江 和生            |
| 9:40–10:30  | 可視化情報計測の医用生体工学への<br>応用  | 中田 雅子<br>(循環器病センター) |
| 10:30–11:20 | 二色 LIF による水温度場の三次元計測  | 榊原 潤<br>(筑波大学)      |
| 11:20–12:10 | Steps toward validating PIV data<br>by Ultrasound Doppler Velocimetry | 徳広 明<br>(動燃)        |
|             | 昼食  |                     |
|             | <i>session 2</i>  | 座長 西尾 茂             |
| 13:10–14:00 | 空間フィルター法による粒子画像流速<br>測定について   | 加藤 泰生<br>(山口大学)     |
| 14:00–14:50 | バイアス法による三次元流れ場の計測   | 川末 紀功仁<br>(佐世保高専)   |
|             | <i>session 3</i>  | 座長 佐賀 徹雄            |
| 15:00–15:50 | NS 方程式を使った PIV データの<br>時間的・空間的補間法                                     | 小河原 加久治<br>(北海道大学)  |
| 15:50–16:40 | Hybrid PTV-CFD: 実験と計算の融合  | 江藤 剛治<br>(近畿大学)     |

# 高エネルギー粒子照射による材料物性の変化と制御に関する研究会（2）

代表者 東京大学工学部附属総合試験所  
寺井隆幸

開催日時 平成10年1月30日

開催場所 常陽芸文センター

## 1. 目的

原子力用・核融合炉用・宇宙用などのいろいろな機能性材料に対する放射線照射効果やイオン注入による新物質合成・機能改質などの観点から、高エネルギー粒子照射による材料物性の変化や制御に関する関心が高まっている。本研究会は、これらに関心を持つ研究者同志が一堂に会し、最新の研究成果や情報を交換するとともに、今後の研究の展開や協力研究の可能性などについて議論することを目的として開催されているものである。平成9年度は、日本原子力学会「セラミックス系新素材の高温照射試験計画」特別専門委員会との合同研究会として開催され、参加者は28名であった。

## 2. 内容

### 1) 日本原子力研究所高温工学試験研究炉の現状と照射試験計画

石原正博（日本原子力研究所・大洗研究所）

現在日本原子力研究所大洗研究所に建設中の高温工学試験研究炉（HTTR）の現状と照射試験計画の概要が説明された。HTTRは平成10年度中に臨界の予定であるが、出力上昇試験の後、平成13年度から定格運転に入る。HTTRでは、HTTR高度化のための照射試験研究と先端的基礎研究が予定されており、特に後者については、現在そのための予備試験が行われている。

### 2) 高温酸化物超伝導体の照射による特性改良の研究

寺井隆幸（東京大学・工学部）

高温酸化物超伝導体は従来型超伝導体に比べて臨界温度が高く、実用化が期待されているが、高温・高磁場中における臨界電流密度の低下が問題点であるとされている。臨界電流密度を向上させるために、（1）超伝導体の組織制御、（2）磁束ピン止め中心の導入などが試験されているが、特に放射線照射は超伝導体中に極めて強力な磁束ピン止め中心を導入するための有力な手段であると考えられる。これまでに放射線照射による高温酸化物超伝導体の物性変化や構造変化が調べられており、照射種や照射量、エネルギーなどの照射条件の違いによって、照射効果が大きく異なることが報告されている。特に、中性子照射は、放射化というデメリットはあるものの、特にバルク試料に対してかなり有力な手段となりうるということが結論づけられた。また、照射温度や照射後アニールの重要性があわせて指摘された。

### 3) 高温用半導体の中性子転換ドーピングの研究

伊藤久義（日本原子力研究所・高崎研究所）

SiC半導体は、そのさまざまな特長から電力用ハイパワーデバイス、高周波デバイス、超高集積デバイス等への応用が考えられている。そのためには、SiC半導体の電気伝導率を、バルク全体に、かつ高精度で制御することが重要であり、そのための方法として中性子転換ドーピング（NTD）法が検討されている。SiCのNTDでは、Siの場合と同じく熱中性照射による電気伝導率制御が可能であると思われるが、その際に発生する照射欠陥の除去が重要な検討課題である。これまでの試験結果から、中性子照射を800℃以上の高温で行うことにより、SiCにおける照射欠陥の発生が抑制されること、および照射後残留欠陥の除去も容易になることが明らかになっている。

#### 4) 耐熱セラミックス複合材料の照射損傷機構に関する研究

荒井長利（日本原子力研究所・大洗研究所）

1000～1500℃の照射試験用構造要素を最終目標の開発製品とし、材料のマクロ的等方性が期待できるものを対象として研究を行っている。具体的には、粒子分散強化型複合材料および短繊維強化型複合材料を取り上げ、中性子高温照射条件下における各種物性値の変化や集合組織の変化および両者の関係を明らかにする事を目的に研究を行っている。本研究はHTTRにおける照射試験も計画しており、無負荷試験片の特性試験・高温照射クリーブ試験・構造要素モデルの照射下熱粘弾性挙動試験をその課題として考えている。

#### 5) 高温高熱伝導性カーボンアロイほかの照射効果

奥達夫（茨城大学・工学部）

C/C コンポジットに銅と微量の第3元素を含浸させた炭素材料（一種のカーボンアロイ）は、1000℃までの高温で炭素材料よりも大きな熱伝導率を与える。本研究では、新素材としての上記のカーボンアロイを含めた材料を400～1000℃で照射し、熱伝導特性・力学特性などと微細組織の変化の関係を明らかにし、両者の関係を体系化することを目的としている。具体的な対象材料は、銅含浸微粒等方性黒鉛、銅含浸 C/C コンポジット、シリコン含浸炭素材料、等方性黒鉛/銅接合材、C/C コンポジット/銅接合材、銅含浸黒鉛/銅接合材である。

#### 6) SiC/SiC 複合材料およびコーティング材の高温照射効果に関する研究

矢野豊彦（東京工業大学・原子炉工学研究所）

極低放射化核融合炉構造材料として有望視されている炭化ケイ素系長繊維強化複合材料（SiC/SiC）やトリチウム透過バリアー絶縁性機能薄膜として期待されているセラミックスコーティングについては、高温領域における特性評価や対中性子照射損傷性の評価が重要である。また、これらの材料においては、セラミックスが脆性材料であることから、その機械的健全性に評価がきわめて重要である。

#### 7) セラミックスの超塑性に関する中性子照射効果の研究

本橋嘉信（茨城大学・工学部）

ごく最近数種類のセラミックスにおいて見いだされた超塑性は、セラミックスを、超塑性発現条件下で塑性加工を行うことにより、最終製品形状やそれに近い形状にまで加工できる可能性を与えるものであることから、現在強い関心を集めている。セラミックスの超塑性現象を原子力分野へ応用するためには超塑性セラミックス材料の照射効果を調べる必要があるため、そのための研究計画を構築することが必要である。

#### 8) 材料の微視構造モデルによる変形・破壊のシミュレーション

北村隆行（京都大学・工学部）

近年の計算機能力の発展に伴って、変形や破壊の計算機シミュレーションの研究が盛んになってきた。これらのシミュレーションは、これまで主に均質体を対象として行われてきたが、変形・破壊現象は材料の微細組織に敏感であるため、精密な解析を行うためにその効果を取り込んだモデルが必要になってきた。微細構造を取り込んだシミュレーションは力学的な捉え方の相違によって、(1)連続体におけるモデル化、(2)原子・分子のモデル化の2種類に分けることができる。サイズの両者の境界がどこにあるのかは明確ではないが、両者を階層的に結びつけた解析法も模索されている。

# 弥生研究会：「放射線効果の解明と応用」第1回 HIMAC 小型リングワークショップ

世話人：勝村庸介、小川雅生、服部俊幸  
野田耕司、山田 聰、村上 健

開催日：平成9年9月8日

場所：放射線医学総合研究所重粒子線棟会議室

## 1. はじめに

近年の加速器技術の進歩にともない、高速粒子線は工業・医療など多くの分野で利用されるようになってきた。特に重粒子線については高密度励起効果が注目され、将来、広く利用されることが期待されている。放射線医学総合研究所では1994年に重粒子線加速器 HIMAC が運転を開始し、がんの治療試験や基礎科学の研究に利用されてきた。現在はこの HIMAC のビームは治療を主目的に供給されているが、一方で、加速器工学の研究と基礎実験への幅広いビーム供給をめざして、新たに小型のシンクロトロンを建設することが計画されている。計画自体は設計、検討が始まったばかりであるが、完成時に最大限に利用するためには、この段階から加速器側の条件とビーム利用側の要望をふまえて意見交換することが重要である。そのための議論の場として、平成9年9月8日に放射線医学総合研究所でこのワークショップが開かれた。当日は、加速器工学、原子核物理、放射線化学など幅広い分野の研究者32名が参加し、発表・討論が行われた。

## 2. 内容

まず初めに、小型リング(S-Ring)の目標性能・設計についての発表があった。S-RingではHからXeまでのイオン種を最大50MeV/n(Hについては192MeV)までで変化させること、高強度・低エミッタンスのビーム、バンチ化によるナノ秒パルスを生じさせることをめざしている。そのためにビーム加減速、入出射、電子冷却装置をシンクロトロン内に設けるが、現在の建屋の中に建設するために約9m×8mという空間的制限にいかにかめめるかが大きなポイントとなった。この発表に続いて加速器設計への提案や構成装置、構造材に関する研究の紹介があった。

その後、放射線化学、材料物性、原子物理、原子核物理などについての研究計画が10件発表された。小型リングのビームで注目されている点としては、短パルス化によって時間分解能をもつ測定が可能なこと、ビーム強度が高いので高密度でエネルギー放出ができること、粒子のエネルギーを容易に変えられることなどが挙げられる。いくつかある特徴に対して着眼点を変えることによって、さまざまな研究に利用できることが紹介された。

## 3. 成果

本研究会の成果は「HIMAC 小型リングワークショップ報告書」(NIRS-HIMAC-017)として既に刊行されている。

## 4. プログラム

平成9年9月8日(月)

- 初めに 放医研 山田 聰 10:00 - 10:05
- 1 HIMAC 小型リング計画 放医研 野田耕司 10:05 - 10:35
- 2 無同調型加速空洞の開発 阪大 RCNP 佐藤健次 10:35 - 11:00
- 3 冷却リングラティスに関する考察 京大化研 野田 章 11:00 - 11:20
- 4 高周波四重極電場を用いたベータトロン振動数制御の研究 阪大 遠藤卓行 11:20 - 11:40
- 5 SQUID を用いた高精度ビーム強度モニター 阪大 RCNP 畑中吉治 11:40 - 12:00
- 6 小型シンクロトロン放射光施設 姫路工大 宮本修治 12:00 - 12:10
- 7 2階建て8の字型シンクロトロンによる高エネルギークラスター生成断面積の測定実験と C<sub>60</sub> 等クラスターイオン加速 東工大 服部俊幸 12:10 - 12:30
- 昼休み 12:30 - 13:30
- 8 HIMAC 小型リングへの期待-TARN II での経験に基づいて 東大 CNS 田辺徹美 13:30 - 14:00
- 9 短パルスイオンビームの水溶液照射効果研究への期待 東大工 勝村庸介 14:00 - 14:25
- 10 イオンパルスラジオリシスによる高分子固体内の反応過程の解明 早稲田大 浜 義昌 14:25 - 14:50
- 11 液体炭化水素のイオンビームパルスラジオリシス 東大工 千歳範壽 14:50 - 15:00
- 12 イオントラック内でのラジカル再結合速度 北大工 小泉 均 15:00 - 15:15
- 13 短パルスイオンビームと短パルスレーザーの複合応用 東大原総セ 柴田裕実 15:15 - 15:40
- 休憩 15:40 - 16:00
- 14 高温・高密度エネルギー状態を探る 東工大 小川雅生 16:00 - 16:25
- 15 スパッタリング・原子変位過程における電子励起効果 姫路工大 寺澤倫孝 16:25 - 16:35
- 16 短パルスイオンビームの原子、分子実験への応用 東大総文 東 俊行 16:35 - 17:00
- 17 短パルスイオンビームの原子核実験への応用 九大理 郷農靖之、森川恒安 17:00 - 17:20
- 18 小型リングによる原子核実験及びビーム輸送系、及び実験室に関する討議 放医研 村上 健 17:20 - 17:40
- 懇親会 17:40 -

# 「第1回 核エネルギーシンポジウム」

代表者: 宮 健三

幹 事: 岡本 孝司

開催日: 平成9年6月13日

場 所: 東京大学 山上会館

## I. はじめに

東京大学工学部附属原子力工学研究施設は、昭和42年に設置されて以来、原子炉「弥生」を中心とした核エネルギー学、量子工学、原子力システム工学に関する研究を推進して来た。21世紀を間近にひかえ、将来におけるエネルギー問題を解決する手段として、核分裂、核融合を中心とした、核エネルギーの展望に関してシンポジウムを開催した。

ITER 理事会議長の吉川 允二 先生の基調講演に始まり、核エネルギー学の新しい展開を図る事を目的とした、下記プログラムに示すような講演を行うとともに、ディスカッションを行った。

あわせて、当施設の研究成果を振り返り、新しい発展のための基礎を築くため、当施設で実施されている全国共同利用研究ならびに、施設内各部門における研究成果の発表をポスターセッション形式で実施した。

## II. プログラム

10:00-10:10	施設長挨拶	岡村 甫 (東京大学 工学系研究科長)
	特別講演	
10:10-11:30	核融合炉実験炉"ITER"の 現状と展望	吉川 允二 (ITER 理事会議長)
	ポスターセッション	
11:30-13:30	共同利用および施設各部門の研究成果 (小会議室およびロビー)	
	オーラルセッション	
13:30-14:20	ビームの新世界: フェムト秒電子・レーザ	上坂 充 (東京大学 助教授)
14:20-15:10	原子力のルネッサンス: 原子力モデリング工学	班目 春樹 (東京大学 教授)
15:20-16:10	神々の恩寵: 高温超電導と核融合	宮 健三 (東京大学 教授)
16:10-17:00	ミクロを拓く: 高速中性子科学	関村 直人 (東京大学 助教授)
17:30-	懇親会 山上会館食堂	

### III. ポスターセッションプログラム

1. レーザー共鳴イオン化分光法を用いた微量核変換生成物検出法の開発と応用  
井口哲夫、渡辺賢一、佐藤泰\*、中沢正治\* (名大・工、\* 東大・工)
2. 放射線環境下における光ファイバー分布測定法に関する研究  
高田英治、細野米市、高橋浩之、中沢正治 (東大・工)
3. 半導体に対する高速中性子照射効果  
木村逸郎、神野郁夫、金澤哲、石井淳也、神谷考司\*、岡田守民\*\*、岡芳明\*\*\*、齊藤勲\*\*\* (京大・工 (\* 現在、科技厅)、\*\* 京大・原子炉実験所、\*\*\* 東大・工)
4. 固体増殖材料よりのトリチウム回収-照射効果と表面反応  
田中知、Victor Gvishorarov、谷口正樹 (東大・工)
5. プラズマ材料相互作用における表面不純物の効果  
大越 啓志郎、山口 憲司、山脇 道夫 (東大・工)
6. 水素貯蔵材料としてのウラン合金・化合物の水素吸収放出特性に関する研究  
伊藤 洋、山口 憲司、小野 双葉、山脇 道夫 (東大・工)
7. 地層中におけるアクチニド擬似コロイド形成の影響  
長崎晋也、田中知、鈴木篤之 (東大・工)
8. 弥生炉を用いたMA核分裂断面積の測定  
大川内靖、大木繁夫、若林利男、山脇道夫\*、山口憲司\* (動燃・大洗、\* 東大・工)
9. Redox Reactions of Oxychlorides in Aqueous Solutions Related to the HLW Repository by Laser Photolysis and Pulse Radiolysis  
Zhihua Zuo, Yosuke Katsumura, Norihisa Chitose, Kohichi Dohi, Kiyotaka Ueda and Kenkichi Ishigure (東大・工)
10. 高エネルギー利得レーザー航跡場加速  
神門正城 (京大・化学研究所)
11. コヒーレント遷移放射干渉法による電子ビーム評価  
渡部貴宏、吉井康司、原野英樹、上田徹、上坂充、柴田行男\*、伊師君弘\*、小野修一\*、井上雄太\*、佐々木理志\*、池沢幹彦\*、近藤修司\*\*、酒井文雄\*\*、神門正城\*\*、小瀧秀行\*\*、出羽英樹\*\*、中島一久\*\* (東大・工、\* 東北大、\*\* 原研)
12. Sバンドライナックのフェムト秒化  
木下健一、上坂充、上田徹、吉井康司、原野英樹、小滝秀行\*、出羽英紀\*、近藤修司\*、酒井文雄\*、中島一久\*\*、神門正城\*\*\* (東大・工、\* 原研、\*\* KEK, 原研、\*\*\* 京大, 原研)
13. 超臨界圧軽水冷却炉の設計研究  
岡芳明、越塚誠一、向原民、木藤和明、土橋和夫、中塚亨、渡嘉敷幹郎 (東大・工)
14. 高温超電導体のトカマクプラズマ不安定性改善への応用  
内一哲哉、山田智海、福崎康博、吉田義勝、宮健三 (東大・工)
15. 高温超電導体中の磁束量子ダイナミクス  
出町和之、高瀬健太郎、宮健三 (東大・工)
16. 渦電流探傷法による蒸気発生管欠陥の形状同定  
陳振茂、吉田義勝、宮健三 (東大・工)
17. ホログラムによる3次元密度及び流速の同時計測  
池田耕、岡本孝司、班目春樹 (東大・工)
18. 仮想粒子を用いた連続体の数値シミュレーション法の開発  
越塚誠一、岡芳明、尹漢榮、池田博和、近澤佳隆、太田光二 (東大・工)
19. 数値シミュレーションを用いた自動スロッシング発生機構についての考察  
佐伯壮一、岡本孝司、班目春樹 (東大・工)
20. くぼみ渦周りの流れ場に関する研究  
酒井清吾、班目春樹、岡本孝司 (東大・工)
21. 複開口部を介した浮力駆動置換流  
鶴大悟、岡本孝司、班目春樹、文沢元雄\* (東大・工、\* 原研)

平成9年度施設内行事一覧

月 日	行 事 内 容
9年 4月 1日	勝村庸介教授システム量子工学より配置換え 金沢信一事務官茨城大学より転入 佐藤潔事務官茨城大学より転入 原野英樹技官採用 出町和之助手採用 向原民助手採用
25日	原子炉管理運営委員会原子炉部会
5月21日	第99回核融合炉ブランケット設計基礎実験装置運営委員会
23日	放射線安全管理委員会
23日	防火・災害対策合同委員会
6月13日	弥生研究会「第1回核エネルギーシンポジウム」
7月 8日	弥生研究会「新型炉研究会」
31日	柴田直子事務補佐員退職
8月7~8日	弥生研究会「核融合炉材料研究会」
18日	浅野めぐみ事務補佐員採用
25~26日	弥生研究会「原子力分野における流体関連振動研究会」
9月 8日	弥生研究会「放射線効果の解明と応用」
10日	原子炉実験計画委員会
12日	重照射棟設備安全管理委員会
26日	ライナック実験計画委員会
10月 7日	第93回原子力工学研究施設運営委員会
11月 5日	第100回核融合炉ブランケット基礎実験装置運営委員会
7日	防火・災害対策合同委員会
28日	根本昭次郎臨時用務員退職
12月 4日	弥生研究会「粒子画像流速測定法研究会」
10年 1月14日	弥生研究会「新型炉研究会」
21~23日	弥生研究会「放射線検出器とその応用研究会」
27日	弥生研究会「核融合炉工学研究会」
2月12日	原子炉管理運営委員会
13日	原子炉実験計画委員会
13日	ライナック実験計画委員会
19日	協議員会

月 日	行 事 内 容
10年 3月 3日	弥生研究会「核融合炉燃料サイクルの基礎過程」
11日	第94回原子力工学研究施設運営委員会
17日	弥生研究会「研究炉等の運転・管理及び改良に関する研究会」
18日	第101回核融合炉ブランケット基礎実験装置運営委員会
19~20日	弥生研究会「粒子ビーム／レーザー／プラズマの相互作用とその応用」
20日	保安に係る教育の実施
23日	弥生研究会「新型核燃料研究会」
31日	吉田義勝助教授退職
	渡部明彦技術補佐員退職
	大井香代子事務補佐員退職
	鈴木ひかり事務補佐員退職
	阿部さやか事務補佐員退職
	今橋由紀事務補佐員退職

東京大学工学部附属原子力工学研究施設  
協 議 員 会 協 議 員 名 簿

平成9年7月1日現在

(協議員)

教 授	岡村 甫	(原子力工学研究施設長 )	( 8. 4. 1~ )
”	宮 健三	(原子力工学研究施設教授 )	(58.11.16~ )
”	岡 芳明	(原子力工学研究施設教授、運営委員会 委員長)	( 1. 7. 1~ )
”	班目 春樹	(原子力工学研究施設教授、核融合炉 フロンティア設計基礎実験装置運営委員会委員長)	( 2.11. 1~ )
”	勝村 庸介	(原子力工学研究施設教授 )	( 9. 4. 1~ )
”	田中 知	(システム量子工学科学科長)	( 9. 4. 1~10. 3.31)
”	笠木 伸英	(施設長が委嘱した者 )	( 9. 4. 1~11. 3.31)
”	御園生 誠	( “ )	( 9. 4. 1~11. 3.31)
”	中島 尚正	( “ )	( 8. 4. 1~10. 3.31)

(幹 事)

事 務 部 長 柚原 義久

(事 務)

総 務 課 長 有岡 雅明

原施事務主任 大津 勝美

運 営 委 員 会 委 員 名 簿

平成9年度

区 分	所 属 機 関	官 職	氏 名	名 称	委 嘱 期 間
		施 設 長	岡 村 甫		
3-1	東大(工)産業機械工学専攻	教 授	中 島 尚正	委員	9.4.1~11.3.31
"	" (工)システム量子工学専攻	"	近 藤 駿介	"	8.4.1~10.3.31
"	" (工)化学生命工学専攻	"	堀 江 一之	"	9.4.1~11.3.31
3-2	" 原子力工学研究施設	"	宮 健三	"	58.11.16~
"	" "	"	岡 芳明	委員長	62.4.1~
"	" "	"	班 目 春樹	委員	1.7.1~
"	" "	"	勝 村 庸介	"	9.4.1~
3-3	" 物性研究所	"	藤 井 保彦	"	8.4.1~10.3.31
"	" (医)放射線研究施設	"	篠 原 邦夫	"	9.4.1~11.3.31
3-4	" (工)システム量子工学専攻	"	中 沢 正治	"	9.4.1~11.3.31
3-5	" (工)システム量子工学専攻	"	山 脇 道夫	"	9.4.1~11.3.31
"	名大・理工科学総合研究センター	"	田 辺 哲朗	"	9.4.1~11.3.31
"	京 大・原子炉実験所	"	宇 津 呂 雄彦	"	8.4.1~10.3.31
"	北大(工)量子エネルギー工専攻	"	成 田 正邦	"	9.4.1~11.3.31
"	京大(工)原子核工学専攻	"	木 村 逸郎	"	8.4.1~10.3.31
"	九大(工)応用原子核工学専攻	"	古 屋 廣高	"	8.4.1~10.3.31
"	高エネルギー加速器研究機構	"	中 原 和夫	"	8.4.1~10.3.31
"	日本原子力研究所	東海所長	斉 藤 伸三	"	9.4.1~11.3.31
8	東大(工)事務部	総務課長	有 岡 雅明	幹事	
"	" 原子力工学研究施設	助 教 授	岡 本 孝司	"	
"	" "	"	山 口 憲司	"	
"	" "	事務主任	大 津 勝美	事務	

原子炉実験計画委員会委員名簿

平成9年4月現在

氏名	官職	機関名	委嘱期間
鬼柳善明	教授	北海道大学(工)量子工機工学	9.4.1~10.3.31
武部雅汎	教授	東北大学(工)地球工学専攻	9.4.15~10.3.31
井関道夫	助教授	名古屋大学(工)原子核工学	9.4.1~10.3.31
飯田敏行	教授	大阪大学(工)電子情報工機工学	〃
田川精一	教授	大阪大学産業科学研究所	〃
川端祐司	助教授	京都大学原子炉実験所	〃
原沢進	教授	立教大学原子力研究所	〃
神永文人	教授	茨城大学(工)機械工学科	9.4.8~10.3.31
寺井隆幸	助教授	東京大学(工)総合試験所	9.4.1~10.3.31
中沢正治	教授	東京大学大学院工学系研究科	〃
田中知	教授	〃	〃
関村直人	助教授	〃	〃
宮健三	教授	東京大学(工)原子力工学研究施設	〃
岡芳明	〃	〃	〃
班目春樹	〃	〃	〃
勝村庸介	〃	〃	〃
上坂充	助教授	〃	〃
越塚誠一	〃	〃	〃
岡本孝司	〃	〃	〃
山口憲司	〃	〃	〃
吉田義勝	〃	〃	〃
斎藤勲	助手	〃	〃
小野双葉	〃	〃	〃
吉井康司	〃	〃	〃
鶴大悟	〃	〃	〃
渡部貴宏	〃	〃	〃
出町和之	〃	〃	〃
向原民	〃	〃	9.4.16~10.3.31
大津勝美	委員長	〃	9.4.1~10.3.31

ライナック実験計画委員会委員名簿

平成9年4月現在

氏名	官職	機関名	委嘱期間
小山田 正 幸	助教授	東北大学(理)原子核理学研究施設	8.4. 1~10.3.31
沢 村 貞 史	教 授	北海道大学(工)量子エネルギー工学専攻	8.4.10~10.3.31
小 林 仁	教 授	高エネルギー加速器研究機構	8.4. 1~10.3.31
峰 原 英 介	室 長	日本原子力研究所 東海研究所	8.5.24~10.3.31
山 崎 鉄 夫	部 長	電子技術総合研究所	8.4. 1~10.3.31
田 川 精 一	教 授	大阪大学産業科学研究所	〃
井 口 哲 夫	教 授	名古屋大学(工)原子核工学科	8.5. 8~10.3.31
柴 田 裕 実	助教授	東京大学原子力研究総合センター	8.4. 1~10.3.31
山 下 俊	講 師	東京大学(工)化学生命工学専攻	〃
寺 井 隆 幸	助教授	東京大学(工)総合試験所	〃
中 沢 正 治	教 授	東京大学(工)システム量子工学専攻	〃
田 中 知	〃	〃	〃
大 橋 弘 忠	助教授	〃	〃
関 村 直 人	〃	〃	〃
宮 健 三	教 授	東京大学(工)原子力工学研究施設	〃
岡 芳 明	〃	〃	〃
班 目 春 樹	〃	〃	〃
勝 村 庸 介	〃	〃	9.4. 1~ 10.3.31
上 坂 充	助教授	〃	8.4. 1~ 10.3.31
越 塚 誠 一	〃	〃	〃
岡 本 孝 司	〃	〃	〃
山 口 憲 司	〃	〃	〃
吉 田 義 勝	〃	〃	〃
斉 藤 勲	助 手	〃	〃
小 野 双 葉	〃	〃	〃
吉 井 康 司	〃	〃	〃
鶴 大 悟	〃	〃	〃
渡 部 貴 宏	〃	〃	8.6.16~ 10.3.31
出 町 和 之	〃	〃	9.4. 1~ 10.3.31
向 原 民	〃	〃	9.4.16~ 10.3.31
大 津 勝 美	事務主任	〃	9.4. 1~ 10.3.31

# 平成9年度

## 弥生施設共同利用実験題目別実験担当者名簿

原子力工学研究施設

平成9年度 弥生施設利用実験一覽表

受付実験番号	実 験 課 題	申 請 者	テ-マ推進者	施設内幹事	実 験 担 当 者	備 考
09K-1	固体増殖材料よりのトリチウム放射挙動と照射効果	田中 知	田中 知	山口 憲司	<京大・原子炉> 森山 裕文(教授) <原研> 河村 弘(主任職員) 野田 健治(主任研究員) ガイットール・グリフマツ(リサーチフロ-) <静岡大・理学部> 奥野 健二(教授) <東大・工・総試> 寺井 隆幸(助教授) <東大・工・システム量子> 田中 知(教授) 野田 哲二(教授) 大津 繁樹(講師) 米岡 俊明(助手) 大森 ルミ(技官) 谷口 正樹(D-2) 鈴木 晶大(D-1) 胡 全利(D-1) 鎮守 浩史(D-1) 野木 直行(D-1) 柿内 宏憲(M-1) 萩窪 光慈(M-1) 岩井田武史(M-1) 木村 治之(M-1) <東大・工・原施設> 山口 憲司(助教授) 小野 双葉(助手)	
09K-2	弥生特性測定	岡 芳明	岡 芳明	齊藤 勲	<京大・放生研> 佐々木 正夫(教授) <京大・工・原子核> 木村 逸郎(教授)	

平成9年度 弥生施設利用実験一覽表

受付実験番号	実験課題	申請者	テーマ推進者	施設内幹事	実験担当者	備考	
					<東大・工・原施> 岡 芳明 (教授) 斎藤 勲 (助手) 向原 民 (助手) 貴家 謙彦 (技官) 寺門 勉 (技官) 木藤 和明 (D-3) 太田 光二 (M-2)	越塚 誠一 (助教授) 岡村 和夫 (助手) 助川 敏男 (技官) 間瀬 幸雄 (技官) 仲川 勉 (技官) 尹 漢榮 (D-1) 関根 瑞恵 (M-1)	
09K-3	高速中性子を用いたラジオグラフィ	藤根 成勲	藤根 成勲	吉井 康司	<京大・原子炉> 藤根 成勲 (助手) <京大・中性子科学> 米田 憲司 (助手) <立教大・原研> 小林 久夫 (教授) <名大・工・IHP> 玉置 昌義 (助教授) 舟橋 隆之 (D-2) <武工大・原研> 相沢 乙彦 (教授) <鳥取大・工> 林 農 (教授)	大久保興平 (技官) 西口 誠 (D-1) 松本 哲男 (助教授)	

平成9年度 弥生施設利用実験一覽表

受付実験番号	実験課題	申請者	テーマ推進者	施設内幹事	実験担当者	備考
09K-4	機能性材料の中性子照射効果	寺井 隆幸	寺井 隆幸	山口 憲司	<東京学芸大> 鎌田 正裕 (助教授) <原研・東海> 松林 政仁 (研究員) <東大・工・システム量子> 中沢 正治 (教授) <東大・工・原施> 吉井 康司 (助手)	
		寺井 隆幸	寺井 隆幸	山口 憲司	<原研> ガイト-ル・グリシュマ77 (リキ-チ710-) <東大・工・総試> 寺井 隆幸 (助教授) 小林 知洋 (助手) <東大・工・システム量子> 田中 知 (教授) 大津 繁樹 (講師) 米岡 俊明 (助手) 大森 ルミ (技官) 山口 貴行 (D-3) 谷口 正樹 (D-2) 角 泰孝 (D-2) 細矢 雄司 (D-2) 野木 直行 (D-1) 鈴木 晶大 (D-1) 鎮守 浩史 (D-1) 津守 秀明 (M-2) 小林 一樹 (M-2) 満山 孝明 (M-2) 荻窪 光慈 (M-1) 小林 浩之 (M-1) 岩井田 武史 (M-1) 柿内 宏憲 (M-1) <東大・工・原施> 山口 憲司 (助教授) 小野 双葉 (助手)	

平成 9 年 度 弥 生 施 設 利 用 実 験 一 覧 表

受付実験番号	実 験 課 題	申 請 者	テ ー マ 推 進 者	施 設 内 幹 事	実 験 担 当 者	備 考	
09K-5	半導体に対する高速中性子照射効果	木村 逸郎	木村 逸郎	齊藤 勲	<京大・工・原子核> 木村 逸郎 (教授) 金澤 哲 (助手) 梶居 裕二 (M-1) <東大・工・原施> 岡 芳明 (教授) 岡村 和夫 (助手) 間瀬 幸雄 (技官)	神野 郁夫 (講師) 石井 淳也 (M-2) 齊藤 勲 (助手) 貴家 憲彦 (技官) 仲川 勉 (技官)	
09K-6	欠陥探傷への高速中性子ラジオグラフィの応用	宮 健三	宮 健三	吉井 康司	<神大・工・機械> 竹中 信幸 (助教授) 水端 稔 (M-1) <東大・工・原施> 宮 健三 (教授) 吉井 康司 (助手) 中山 匡 (M-2) 木下 健一 (M-2)	浅野 等 (助手) 上坂 充 (助教授) 三ヶ林 洋行 (D-1) 高瀬 健太郎 (M-2) 山田 智海 (M-1)	

平成9年度 弥生施設利用実験一覽表

受付実験番号	実験課題	申請者	テーマ推進者	施設内幹事	実験担当者	備考
09K-7	材料の中性子照射損傷基礎過程	関村 直人	関村 直人	岩井 岳夫	<p>&lt;東北大・金研&gt;                      四竈 樹男 (助教授)                      &lt;広島大・工&gt;                      下村 義治 (教授) 福島 博 (助手)                      &lt;東海大・工・原子力&gt;                      石野 栞 (教授)                      &lt;九州大・工・応用原子核&gt;                      木下 智見 (教授) 森下 和功 (助手)                      &lt;筑波大・物質工学系&gt;                      上殿 明良 (講師)                      &lt;京大・原子炉&gt;                      義家 敏正 (教授)                      &lt;広島工大&gt;                      桐谷 道雄 (教授)                      &lt;東大・人工物センター&gt;                      岩田 修一 (教授)                      &lt;東大・工・システム量子&gt;                      関村 直人 (助教授) 河西 寛 (助手)                      荒井 良夫 (技官) 与那嶺真一 (D-1)                      山口 博英 (M-2) 中村 俊 (M-2)                      森岡 智昭 (M-1)                      &lt;東大・原総センター&gt;                      岩井 岳夫 (助手)                      &lt;東大・工・原施&gt;                      山口 憲司 (助教授) 吉井 康司 (助手)</p>	

平成 9 年 度 弥 生 施 設 利 用 実 験 一 覧 表

受付実験番号	実 験 課 題	申 請 者	テ ー マ 推 進 者	施 設 内 幹 事	実 験 担 当 者	備 考	
09K-8	ブラズマ対向材料(PFM)に対する 中性子照射効果	田 辺 哲 朗	田 辺 哲 朗	山 口 謙 司	<名大・理工科学> 田 辺 哲 朗 (教 授) 吉 田 朋 子 (助 手) <名大・工・原子核> 大 森 章 弘 (M-2) 小 林 由 美 子 (M-1) <近大・理工・原子炉> 渥 美 寿 雄 (講 師) <東大・工・システム量子> 田 中 知 (教 授) <東大・工・原施> 山 口 謙 司 (助 教 授) 宮 内 克 己 (M-2)	武 藤 俊 介 (助 教 授) 竹 内 稔 (M-2) 酒 井 幹 夫 (M-1) 小 野 双 葉 (助 手) 尾 上 修 (M-1)	

平成 9 年 度 弥 生 施 設 利 用 実 験 一 覧 表

受付実験番号	実 験 課 題	申 請 者	テ ー マ 推 進 者	施 設 内 幹 事	実 験 担 当 者	備 考
09K-9	バック・ツォーバック(BTB)核分裂検出器を用いたTRU核種の核断面積の測定	山脇 道夫	山脇 道夫	山口 憲司	<動燃・大洗> 若林 利男(室長) 石川 真(主任) 杉野 和輝(研究員) 日向野直美(係員) 大川内 靖(係員) <東大・工・システム量子> 田中 知(教授) 山脇 道夫(教授) <東大・工・原施> 山口 憲司(助教授) 齊藤 勲(助手) 岡村 和夫(助手) 貫家 憲彦(技官) 寺門 勉(技官) 仲川 勉(技官) 間瀬 幸雄(技官)	
09K-10	高純度Ge検出器による放射性核種のin-situ測定法(現場測定)の開発に関する研究	寺井 邦雄	越塚 誠一	齊藤 勲	<島根C.C.> 寺井 邦雄(主任) <東大・工・原施> 越塚 誠一(助教授) 齊藤 勲(助手) 寺門 勉(技官) 間瀬 幸雄(技官) 仲川 勉(技官)	

平成9年度 弥生施設利用実験一覽表

受付実験番号	実験課題	申請者	テーマ推進者	施設内幹事	実験担当者	備考	
09K-111	核融合炉材料と水素の相互作用に関する研究	山脇 道夫	山脇 道夫	小野 双葉	<p>&lt;名大・結晶材料&gt;            森田 健治(教授)            &lt;名大・理工科学&gt;            田辺 哲朗(教授)            &lt;原研・那珂&gt;            小原 祥裕(正職員)            &lt;原研・東海&gt;            野田 健治(正職員)            &lt;原研・大洗&gt;            荒井 長利(室長)            &lt;東北大・金研&gt;            山本 琢也(助手)            &lt;東大・工・システム&gt;            田中 知(教授)            黄 錦寿(非常職員)            &lt;東大・工・総試&gt;            寺井 隆幸(助教授)            &lt;東大・工・原施&gt;            山口 憲司(助教授)            小野 双葉(助手)            スズキ・ハチ (D-3)            鈴木 敦士(D-2)            宮内 克己(M-2)            尾上 修(M-1)            フット・リストット(M-1)</p>	<p>パンドラルコ・ワシリー(特設職員)            八巻 大樹(研究員)            山脇 道夫(教授)            伊藤 洋(D-3)            松山 征嗣(D-3)            大越啓志郎(D-1)            松浦 文生(M-2)            利根川雅久(M-1)</p>	

平成 9 年 度 弥 生 施 設 利 用 実 験 一 一 覧 表

受付実験番号	実 験 課 題	申 請 者	テ ー マ 推 進 者	施 設 内 幹 事	実 験 担 当 者	備 考
09K-12	シンチレータ-塗布・光ファイバーを用いた中性子束・ $\gamma$ 線強度分布測定法の開発	森 千鶴夫	森 千鶴夫	吉井 康司	<名大・工・原子核> 森 千鶴夫 (教授) 瓜谷 章 (助手) 鈴木 智博 (D-3) 後藤 淳一 (M-2) 山口 忍 (M-1) <東大・工・システム> 中沢 正治 (教授) 高田 英治 (助手) <東大・工・原施> 吉井 康司 (助手)	
09K-13	放射性廃棄物固化体からの照射下物質移行メカニズムに関する実験(3)	長崎 晋也	田中 知	齋 藤 敷	<京大・原子炉> 森山 裕丈 (教授) <北大・工・原子> 佐藤 正知 (助教授) <東北大・工・原子核> 杉山 修 (助教授) <原研・環境安全> 村岡 進 (室長) <東大・工・システム> 田中 知 (教授) 長崎 晋也 (助教授) 山口 貴行 (D-3) 津島 悟 (D-2) 福田 卓 (M-2)	

平成9年度 弥生施設利用実験一覽表

受付実験番号	実 験 課 題	申 請 者	テ-マ推進者	施設内幹事	実 験 担 当 者	備 考	
09K-14	弥生がを用いたマイナー-アークチニド核種の崩壊熱測定実験	岡 芳明	岡 芳明	齊藤 勲	<p>&lt;東大・工・原施&gt; 齊藤 勲 (助手)</p> <p>&lt;動燃・大洗&gt; 若林 利男 (室長) 杉野 和輝 (研究員) 大川内 靖 (研究員) &lt;東大・工・原施&gt; 岡 芳明 (教授) 岡村 和夫 (助手) 貴家 憲彦 (技官) 間瀬 幸雄 (技官) 中塚 亨 (D-2) 近澤 佳隆 (M-2)</p>	<p>石川 真 (室長)</p> <p>横山 賢治 (係員)</p> <p>齊藤 勲 (助手)</p> <p>助川 敏男 (技官)</p> <p>寺門 勉 (技官)</p> <p>仲川 勉 (技官)</p> <p>土橋 和夫 (D-2)</p> <p>清水 信行 (M-1)</p>	

平成 9 年 度 弥 生 施 設 利 用 実 験 一 覧 表

受付実験番号	実 験 課 題	申 請 者	テ ー マ 推 進 者	施 設 内 幹 事	実 験 担 当 者	備 考
09K-15	放射線環境下における光ファイバー分布測定法に関する研究	中沢 正治	中沢 正治	吉井 康司	< 原研 > 角田 恒巳 (課長) 山岸 秀志 (研究員) < 東大・工・システム工 > 中沢 正治 (教授) 高田 英治 (助手) 浮辺 雅宏 (D-3) シルキヤ、フレイトイ (D-3) 佐藤 泰 (D-1) 小田切 庸正 (M-2) 渡辺 敬仁 (M-2) 宮下 英尚 (M-1) ハツチ、マツス (研究生) < 東大・工・原研 > 吉井 康司 (助手)	
09K-16	中性子ドシメトリの高度化研究	井口 哲夫	井口 哲夫	吉井 康司	< 名大・工・原子核 > 井口 哲夫 (教授) 河原林 順 (助手) 岩谷 和己 (D-1) 渡辺 賢一 (M-2) 後藤 淳一 (M-2) 早海 賢 (M-1) 柴田 泰成 (M-1)	山根 義宏 (助教授) 伊藤 只行 (助手) 酒井 宏隆 (D-1) 古橋 貴之 (M-2) 今井 富康 (M-1) 前田 茂樹 (M-1)

平成 9 年 度 弥 生 施 設 利 用 実 験 一 覧 表

受付実験番号	実 験 課 題	申 請 者	テ ー マ 推 進 者	施 設 内 幹 事	実 験 担 当 者	備 考
					< 動燃 > 青山 卓史 (研究員) 伊藤 主統 (研究員) < 東大・工・システム量子 > 高田 英治 (助手) 佐藤 泰 (D-1) < 東大・工・原施 > 吉井 康司 (助手)	

平成9年度 弥生施設利用実験一覧表

受付実験番号	実験題目	申請者	テーマ推進者	施設内幹事	実 験 担 当 者	備 考	
09F-1	原子炉の寿命評価に関する研究	吉田 義勝	宮 健三	吉田 義勝	<岩手大・工> 高橋 生氣 (教授) <埼玉大・工> 山田 興治 (教授) <職業能力開発大> 橋本 光男 (教授) <九州大・応用力学> 森下 和功 (助手) <東大・工・原施> 宮 健三 (教授) 吉田 義勝 (助教授) 助川 敏男 (技官) 内 一 哲哉 (D-3) 陳 振茂 (D-3) 萩・ラトリ・クリスチャン (D-2) 程 英衛 (D-1) 中山 匡 (M-2) 山田 智海 (M-1)	上坂 充 (助教授) 吉井 康司 (助手) ロ・リンス・オ-ブリー- (協力職員) マツダ・キリニ (D-3) 羅 雲 (D-3) 福崎 康博 (D-1) 高瀬 健太郎 (M-2) 木下 健一 (M-2) 進藤 理 (M-1)	



平成9年度 弥生施設利用実験一覽表

受付実験番号	実験題目	申請者	テーマ推進者	施設内幹事	実験担当者	備考
09F-3	アクリルニド化合物・合金の高温物性及び反応性の研究	山脇 道夫	山脇 道夫	小野 双葉	<p>&lt;名大・工・原子核&gt;                      辻 利秀(教授) 松井 恒雄(教授)                      &lt;原研・大洗&gt;                      鈴木 康文(室長) 荒井 長利(室長)                      &lt;東北大・素材研&gt;                      藤野 威男(教授)                      &lt;九州大・工・応用原子核&gt;                      古屋 廣高(教授)                      &lt;東北大・金研&gt;                      山本 琢也(助手)                      &lt;原子燃料工業&gt;                      白濱 貴義(兼職員)                      &lt;東大・工・システム量子&gt;                      田中 知(教授) 山脇 道夫(教授)                      長崎 晋也(助教授) 黄 錦涛(兼職員)                      &lt;東大・工・原研&gt;                      山口 憲司(助教授) 小野 双葉(助手)                      スズキ・ハチ 伊藤 洋(D-3)                      鈴木 敦士(D-2) 和根川雅久(M-1)</p>	

平成9年度 弥生施設利用実験一覽表

受付実験番号	実験題目	申請者	テーマ推進者	施設内幹事	実験担当者	備考
09F-4	核融合炉燃料-材料相互作用 (FFMI)に関する研究	山脇 道夫	山脇 道夫	小野 双葉	<p>&lt;京大・工&gt;</p> <p>高木 郁二(助教授)</p> <p>&lt;原研・東海&gt;</p> <p>野田 健治(主任)</p> <p>&lt;原研・那珂&gt;</p> <p>小原 洋裕(主任)</p> <p>&lt;名大・理工科学&gt;</p> <p>田辺 哲朗(教授)</p> <p>&lt;名大・結晶材料&gt;</p> <p>森田 健治(教授)</p> <p>&lt;核融合科学研究所&gt;</p> <p>室賀 健夫(教授)</p> <p>&lt;東大・工・システム工学&gt;</p> <p>田中 知(教授) 山脇 道夫(教授)</p> <p>&lt;東大・工・総試&gt;</p> <p>寺井 隆幸(助教授)</p> <p>&lt;東大・工・原研&gt;</p> <p>山口 憲司(助教授) 小野 双葉(助手)</p> <p>松山 征嗣(D-3) 鈴木 敏士(D-2)</p> <p>大越啓志郎(D-1) 松浦 文生(M-2)</p> <p>宮内 克己(M-2) 利根川雅久(M-1)</p> <p>尾上 修(M-1) 777F・777Gト(M-1)</p>	

平成9年度 弥生施設利用実験一覧表

受付実験番号	実験題目	申請者 班目	推薦者 班目	施設内幹事 鶴	実験担当者	備考
09F-5	高速炉の熱流動	班目 春樹	班目 春樹	鶴 大悟	<筑波大・構造> 成合 英樹(教授) <東工大・原子炉> 井上 晃(教授) <東北大・工> 戸田 三郎(教授) <東北大・流体研> 谷 順二(教授) <広島大・工> 菊地 義雄(教授) <東理大> 原 文雄(教授) <神戸大・工> 岩壺 卓三(教授) <三重大・工> 社河内敏彦(教授) <横浜国大・工> 亀本 喬司(教授) <阪大・工> 宮崎 慶次(教授) <金沢大・工> 岡島 厚(教授) <北大・工> 杉山 憲一郎(助教授) <動燃> 飯田 将雄(研究員)	

平成9年度 弥生施設利用実験一覽表

受付実験番号	実験題目	申請者	テーマ推進者	施設内幹事	実験者	担当者	備考
					<p>&lt;東大・工・原施&gt;            班目 春樹(教授)            鶴 大悟(助手)            染矢 聡(D-3)            山口・ヒストリカル(D-1)            松山 敬介(D-1)            馬場 昌法(M-2)            田中源太郎(M-1)            柳尾 明洋(M-1)</p>	岡本 孝司(助教授) 酒井 清吾(D-3) 佐伯 壮一(D-2) 池田 耕(D-1) 富宇賀 健(M-2) 桜井 克己(M-1) 守矢 豊(M-1)	
09F-6	超臨界正軽水炉の設計研究	越塚 誠一	岡 芳明	越塚 誠一	<p>&lt;原研・東海&gt;            中川 正幸(室長)            &lt;東大・工・原施&gt;            岡 芳明(教授)            向原 民(助手)            岡村 和夫(助手)            渡嘉敷幹郎(M-2)</p>	秋本 肇(室長) 越塚 誠一(助教授) 斉藤 勲(助手) 池田 博和(D-1) 関根 瑞恵(M-1)	

平成9年度 弥生施設利用実験一覽表

受付実験番号	実験題目	申請者	テーマ推進者	施設内幹事	実験担当者	備考	
09F-7	画像認識技術の応用に関する研究	岡本 孝司	岡本 孝司	鶴 大悟	< 動燃 > 大島 宏之 (研究員) < 関西大 > 植村 知正 (教授) < 福井大 > 山本富士夫 (教授) < 千葉大 > 尾松 孝茂 (助教授) < 大阪府立大 > 西尾 茂 (助教授) < 茨城高専 > 清水 勲 (教授) < 東大・生研 > 小林 敬雄 (教授) < 東大・工・原施 > 班目 春樹 (教授) 鶴 大悟 (助手) 染矢 聡 (D-3) ESTRI7x73:in4 (D-1) 松山 敬介 (D-1) 馬場 昌法 (M-2) 田中源太郎 (M-1) 柳尾 朋洋 (M-1)	佐賀 徹雄 (助手) 岡本 孝司 (助教授) 酒井 清吾 (D-3) 佐伯 壮一 (D-2) 池田 耕 (D-1) 富宇賀 健 (M-2) 桜井 克己 (M-1) 守矢 豊 (M-1) 遠藤 智子 (研究員)	

平成9年度 弥生施設利用実験一覧表

受付実験番号	実験題目	申請者	テーマ推進者	施設内幹事	実験担当	備考
09F-08	照射相関法の高度化に関する研究	関村 直人	関村 直人	岩井 岳夫	<筑波大・物質工学> 上殿 明良 (講師) <東海大・工・原子力> 石野 棗 (教授) <原研・安全工学部> 鈴木 雅秀 (副班長) <九州大・応用力学> 森下 和功 (助手) <東大・人工物> 岩田 修一 (教授) <東大・原総センター> 伊藤 泰男 (助教授) 岩井 岳夫 (助手) <東大・工・システム工学> 関村 直人 (助教授) 河西 寛 (助手) 荒井 良夫 (技官) 与那嶺真一 (D-1) 山口 博英 (M-2) 中村 俊 (M-2) 森岡 智昭 (M-1)	

平成9年度 弥生施設利用実験一覽表

受付実験番号	実験題目	申請者	テーマ推進者	施設内幹事	実験担当者	備考	
09F-9	高温ガス炉(H T G R)安全解析の高度化に関する研究	岡本 孝司	班目 春樹	鶴 大悟	< 原研 > 文沢 元雄 (副班長) < 動燃 > 飯田 将雄 (研究員) < 東大・工・原施 > 班目 春樹 (教授) 鶴 大悟 (助手) 染矢 聡 (D-3) 松山 敬介 (D-1) 馬場 昌法 (M-2) 田中源太郎 (M-1) 柳尾 朋洋 (M-1)	岡本 孝司 (助教授) 酒井 清吾 (D-3) 佐伯 壯一 (D-2) 池田 耕 (D-1) 富宇賀 健 (M-2) 桜井 克己 (M-1) 守矢 豊 (M-1)	
09F-10	T R U 元素の地下環境中移行挙動 (3)	長崎 晋也	田中 知	山口 憲司	< 京大・原子炉 > 森山 祐丈 (教授) < 東大・工・システム工学 > 田中 知 (教授) 長崎 晋也 (助教授) 津島 悟 (D-2) 木村 浩 (M-1) 佛坂 裕泰 (M-1) < 東大・工・原施 > 山口 憲司 (助教授)	鈴木 篤之 (教授) 山口 貴行 (D-3) 福田 卓 (M-2) 中田弘太郎 (M-1)	

平成9年度 弥生施設利用実験一覽表

受付実験番号	実験題目	申請者	推薦者	施設内幹事	実験担当	備考
09F-11	原子炉熱出力変動吸収機構の 開発研究	菱田 誠	菱田 誠	上坂 充	実 験 担 当 者 <九州工業大・機械> 増岡 隆士 (教授) <工学院大・機械> 小泉 安朗 (教授) <東亜大・組織工学> 岡本 芳三 (教授) <名大> 久木田 豊 (教授) <千葉大・機械> 菱田 誠 (教授) <茨大・機械> 神永 文人 (教授) 稲垣 照美 (助教授) <原研・大洗> 秋野 詔夫 (室長) 日野 竜太郎 (主任職員) 文沢 元男 (副主任職員) <原研・東海> 衛藤 基邦 (室長) <東大・工・原施> 上坂 充 (助教授)	森吉 泰生 (助教授) 奥 達夫 (教授) 椎名 保顕 (主任職員) 武田 哲明 (副主任職員) 瀧塚 貴和 (室長) 吉田 義勝 (助教授)

平成9年度 弥生施設利用実験一覽表

受付実験番号	実験課題	申請者	テーマ推進者	施設内幹事	実験担当者	備考
09L-1	水溶液の放射線効果の研究	勝村 庸介	勝村 庸介	渡部 貴宏	<p>&lt; 原研・燃料研究部 &gt; 白石 浩二 (室長) 永石 隆二 (研究員) &lt; 産業創造研究所 &gt; 堂前 雅史 (研究員) &lt; 東大・工・システム量子 &gt; 石博 顕吉 (教授) 広石 大介 (助手) 松浦 千尋 (助手) 浅井 圭介 (助手) 渡辺 崇 (D-3) 呉 国忠 (D-2) 千歳 範壽 (D-2) 左 志華 (D-2) 八巻 徹也 (D-2) 吉川 大士 (M-2) 中柴 行雄 (M-2) 山崎 和彦 (M-2) 堀内 祥平 (M-1) 浦邊 守 (M-1) &lt; 東大・原総センター &gt; 柴田 裕実 (助教授) &lt; 東大・工・原施 &gt; 勝村 庸介 (教授) 上坂 充 (助教授) 渡部 貴宏 (助手)</p>	

平成9年度 弥生施設利用実験一覧表

受付実験番号	実験課題	申請者	テーマ推進者	施設内幹事	実験担当	備考
09L-2	高分子材料の放射線効果の研究	勝村 庸介	勝村 庸介	渡部 貴宏	<p>&lt;早大・理総研&gt;                      浜 義昌(教授)</p> <p>&lt;早大・理工・応用物理&gt;                      井上 恵介(M-1) 鬼頭 昌利(M-1)</p> <p>&lt;原研・高崎&gt;                      瀬口 忠男(室長) 森田 洋右(室長)</p> <p>工藤 久明(研究員)</p> <p>&lt;産業創造研究所&gt;                      堂前 雅史(研究員)</p> <p>&lt;東大・工・システム量子&gt;                      石樽 顕吉(教授) 松浦 千尋(助手)</p> <p>広石 大介(助手) 浅井 圭介(助手)</p> <p>死・ハナ-キ(個人助成員) 渡辺 崇(D-3)</p> <p>千歳 範壽(D-2) 呉 国忠(D-2)</p> <p>八巻 徹也(D-2) 左 志華(D-2)</p> <p>山崎 和彦(M-2) 中柴 行雄(M-2)</p> <p>吉川 大士(M-2) 浦邊 守(M-1)</p> <p>堀内 祥平(M-1)</p> <p>&lt;東大・原総センター&gt;                      柴田 裕実(助教授)</p> <p>&lt;東大・工・原施&gt;                      勝村 庸介(教授) 渡部 貴宏(助手)</p>	

平成9年度 弥生施設利用実験--一覧表

受付実験番号	実験課題	申請者	テーマ推進者	施設内幹事	実験担当者	備考
09L-3	超高速度応用測定技術の開発と利用	勝村 庸介	勝村 庸介	渡部 貴宏	< 原研・燃料研究部 > 白石 浩二 (室長) 永石 隆二 (研究員) < 産業創造研究所 > 堂前 雅史 (研究員) < 東大・工・システム課 > 石神 顕吉 (教授) 松浦 千尋 (助手) 広石 大介 (助手) 浅井 圭介 (助手) 元・< 船大 > (船大特務職員) 渡辺 崇 (D-3) 千歳 範壽 (D-2) 呉 國忠 (D-2) 八巻 徹也 (D-2) 左 志華 (D-2) 山崎 和彦 (M-2) 中柴 行雄 (M-2) 吉川 大士 (M-2) 浦邊 守 (M-1) 堀内 祥平 (M-1) < 東大・原総センター > 柴田 裕実 (助教授) < 東大・工・原施 > 勝村 庸介 (助教授) 上坂 充 (助教授) 渡部 貴宏 (助手) 木村 健一 (M-2)	

平成9年度 弥生施設利用実験一覽表

受付実験番号	実験課題	申請者	テーマ推進者	施設内幹事	実験担当者	備考
09L-4	フェムト秒パルス電子線 モニターの開発	中沢 正治	中沢 正治	上塚 充	<東大・工・システム量子> 中沢 正治 (教授) 高橋 浩之 (助教) 佐藤 泰 (D-1) 高田 英治 (助手) 細野 米市 (技官) 小田切 庸正 (M-2) 浮辺 雅宏 (D-3) エンペーン・ワカヤマ (D-3) 倉橋 智彦 (D-2) 佐藤 泰 (D-1) 福田 大治 (D-1) 中村 龍也 (M-1) 渡辺 敬仁 (M-2) 木村 敦 (M-1) 木村 敦 (M-1) 大関 明樹 (M-1) <東大・工・原施> 上坂 充 (助教) 上田 徹 (技官) 木下 健一 (M-2) 山田 智海 (M-1)	

平成9年度 弥生施設利用実験一覽表

受付実験番号	実験課題	申請者	テーマ推進者	施設内幹事	実験担当者	備考
09L-5	プラズマ加速	小方厚	小方厚	原野英樹	<高エネ研> 小方厚(教授) 中西弘(助教授) <高エネ研・原研関西研> 中島一久(助教授) <原研・東海> 小滝秀行(研究員) 安恵栄(博士課程) 出羽英紀(博士課程) 酒井文雄(博士課程) <原研・関西研> 近藤修司(研究員) 細貝知直(博士課程) 金沢修平(技術員) <東北大・科学計測> 池沢幹彦(教授) 柴田行男(助手) 伊師君弘(助手) 小野修一(D-1) 井上雄太(M-2) 佐々木理志(M-1) <東北大・工・応用物理> 近藤泰洋(教授) 吉松俊英(M-1) <京大化研> 神門正城(D-3) <東大・原総センター> 柴田裕実(助教授) <東大・工・原研> 上坂充(助教授) 吉井康司(助手) 渡部貴宏(助手) 原野英樹(技官) 上田徹(技官) 木下健一(M-2) 山田智海(M-1)	

平成9年度 弥生施設利用実験一覽表

受付実験番号	実験課題	申請者	テーマ推進者	施設内幹事	実験担当者	備考
09L-6	機能性材料の電子線照射効果	寺井 隆幸	寺井 隆幸	山口 憲司	< 原研・東海 > ガラガラ・ガラスマ77 (リチウム) > < 東大・工・総試 > 寺井 隆幸 (助教) 小林 知洋 (助手) < 東大・工・システム量子 > 田中 知 (教授) 大津 繁樹 (講師) 米岡 俊明 (助手) 大森 ルミ (技官) 谷口 正樹 (D-2) 山口 貴行 (D-3) 細谷 雄司 (D-2) 角 泰孝 (D-2) 野木 直行 (D-1) 鈴木 晶大 (D-1) 満山 孝明 (M-2) 小林 一樹 (M-2) 津守 秀明 (M-2) 岩井田武志 (M-1) 荻窪 光慈 (M-1) 柿内 宏憲 (M-1) 小林 浩之 (M-1) < 東大・工・原施 > 山口 憲司 (助教) 小野 双葉 (助手)	
09L-7	サブピコ秒領域における高濃度 Tb <sup>3+</sup> 含有ガラス中での Tb <sup>3+</sup> 間共鳴エネルギー移動についての研究	山田 興治	山田 興治	上坂 充	< 埼玉大・工・機能材料 > 山田 興治 (教授) 山口 克彦 (助手) 早川 知克 (D-3) 佐藤 康一 (D-3) 小細 明 (D-3) 庄子 真一 (D-2) 相原 聡 (D-1) 多田 健一 (M-2) 磯崎 賢太 (M-1) ハオ・ガン (研究生) < 東大・工・原施 > 上坂 充 (助教)	