

## II . 調 査 概 要

原子力機器・宇宙機器等々放射線環境下での設備・施設に使用される機器・材料に対する耐放射線性データベースの構築に必要な基礎調査を行なうために、巻末に示す『耐放射線性機器・材料データベース研究委員会』を組織し、幹事会を3回開催し、調査課題（研究会講演演題）と調査の適任者（講演者）の検討と選定を行ない、おおよそ2ヶ月に1回の研究会を行なった。研究会では各方面の機器・材料の耐放射線性の試験研究について、発表・討議・討論を行なった。このうちの1回は当協会が主催する『第6回放射線利用総合シンポジウム』に参加することで代行した。演台総数は15件であった。これらに関係分野別に分類した件数は次の通りである。

1. 原子力発電・燃料再処理関係材料に関するもの	3件
2. 宇宙環境関係材料に関するもの	4件
3. 材料の電子線照射効果・線量分布に関するもの	2件
4. 生物・医学関係	2件
5. その他	4件

(照射装置、イオンビーム技術、若狭湾エネルギー研究センター、エネルギー事情)

これらについて、以下に講演概要を示す。なお、シンポジウムの講演本文は別に資料集としてまとめたので本報告書では省略した。

### 1. 原子力発電・燃料再処理関係材料に関するもの

#### 1) イオン照射損傷における電子励起効果

姫路工業大学 工学部

寺澤 倫孝

金属に高エネルギー粒子を照射すると結晶格子点から原子の弾き出しが起こり、格子欠陥（格子間原子と空格子点）が生成される。また、生成された格子間原子の一部は、照射粒子から伝達されたエネルギーにより空格子点と再結合し消滅する。この現象はアニーリングと呼ばれる。金属における弾き出しや照射アニーリングは専ら照射粒子との核的弾性衝突によって起こされ、そこでは照射イオンによる電子励起は無視できると考えられてきた。これは、一般に電子励起過程で格子原子へエネルギーおよび運動量を与え、直接弾き出しを起こすことは少なく、特に金属では自由電子間の緩和が極めて早く起こるからである。最近、電子励起過程が原子の弾き出しおよび照射損傷に顕著な効果を示すことが判かってきた。本講演では、電子励起による照射アニーリング、格子欠陥の生成、酸化物超伝体の欠陥生成およびスパッタリングにおける電子励起効果について紹介された。

(第63回 研究会 平成8年12月12日)

#### 2) 原子炉構造材料の放射線に関わる劣化と損傷 ---特に炉内における複合環境効果について---

日本原子力研究所 東海研究所

塚田 隆

軽水炉を初めとする各種原子炉に用いられる構造材料（主にステンレス鋼及び低合金鋼）は中性子及

びガンマ線に曝されるため一般の工業プラントとは異なる劣化・損傷を生じる。現実に軽水炉で発生した問題の多くは材料の損傷に起因する。ここでは、原研における原子炉材料材料研究、特に講演者が行なっている炉内放射線・高温水の複合環境下での材料損傷研究を中心に関連する研究課題と状況について紹介された。

(第65回 研究会 平成9年2月13日)

### 3) 高エネルギー粒子による材料の照射損傷構造の研究

京都大学 原子炉実験所

義家 敏正

高エネルギー粒子を材料に照射すると、材料中に欠陥が導入され、その物性に変化を引き起こす。これらの構造及び物性の研究は、原子炉材料等の耐照射材料の開発、あるいは照射効果を積極的に利用して新しい性質をもつ材料の開発を目的として長年行なわれている。本講演では主に照射による欠陥構造についての最近の研究を紹介された。

(第65回 研究会 平成9年2月13日)

## 2. 宇宙環境関係材料に関するもの

### 4) 宇宙用太陽電池の構造と放射線（陽子、電子）照射効果

宇宙開発事業団 筑波宇宙センター

久松 正

単結晶シリコン太陽電池は信頼性が高く、低価格であり、宇宙用太陽電池として衛星への搭載実績が最も大きい。このためさらに変換効率・耐放射線性の改善、軽量化、大面積化が検討されている。

ETS-VIの不具合をきっかけとして、高線領域（1MeV 電子線： $1 \times 10^{17} \text{e/cm}^2$  付近）でセルの特異な劣化現象が認められた。劣化したセルの特性解析及び劣化メカニズムの解析が行なわれているが、生成された多くの照射欠陥が少数キャリアトラップ、多数キャリアトラップとして働くことが確認された。

(第61回 研究会 平成8年8月23日)

### 5) 半導体デバイスの耐放射線性試験 --- GaAs素子のガンマ線照射効果

大阪府立大学 先端科学研究所

藤野 隆弘

宇宙開発あるいは原子力関連施設等における半導体の耐放射線性はきわめて重要な問題である。市販の素子中で最も放射線の耐性が高いと思われるGaAs系の素子に関するガンマ線照射効果の実測データから $10^5 \sim 10^6 \text{Gy}$ の被曝量まで使用可能であることを示した。

また、さらに高い耐放射線性を得るための理論および試作素子の結果について、実例を示し $10^7 \text{Gy}$ の耐性の可能性を示した。

(第62回 研究会 平成8年10月7日)

## 6) 重粒子イオンと Beam Blanking SEMとのSEUの比較

宇宙開発事業団 筑波宇宙センター 阿久津亮夫

NASDA認定部品の64kbitSRAMについて、走査形電子顕微鏡によるBeam Blanking (BBSEM)を用いてソフトウェアを測定し、その場所を特定した。BBSEMと重粒子イオンによる試験結果から、ビーム電流および重粒子イオンビームの線エネルギー付与(LET)とシングルイベント(SEU)の発生断面積との関係をそれぞれ求めて比較した。その結果、BBSEM電流と重粒子イオンのLETとの間に比例関係があることが分かった。

本講演ではBeam Blanking SEM装置、SEUが起こっている顕微鏡写真等も紹介された。この成果は平成8年夏のNSRECにて発表された。

(第63回 研究会 平成8年12月12日)

## 7) ここまで来た日本の宇宙開発

宇宙開発事業団 筑波宇宙センター 菊山紀彦

8月17日、種子島宇宙センターからH-IIロケット4号機で打ち上げられた地球観測衛星「みどり」は搭載した8種類のセンサーで宇宙から地球の砂漠、熱帯雨林、オゾン層などを観測し、地球環境の保全に役立っている。

また昨年1月、スペースシャトルに搭乗した若田光一宇宙飛行士は、一昨年3月にH-IIロケット3号機で打ち上げられた人工衛星『SFU』を回収した。

このような精緻なランデブー&ドッキングの技術は21世紀初頭の完成をめざす国際宇宙ステーションの建造にも活かされ、ここでも若田宇宙飛行士は重要な役割を果たすと期待されている。

宇宙ステーションに日本が提供する実験室『JEM』の製作が進むのと並行して、筑波宇宙センターでは宇宙ステーションで活動する宇宙飛行士を訓練する施設や、宇宙ステーションを地上から管制・運用する施設が完成し、運用がはじまっている。

昨年2月には超高速再突入実験機『HYFLEX』の実験が行なわれ、引き続きオーストラリアで行なわれた自動着陸実験機『ALFLEX』の実験も順調に終了し、地上と宇宙を往復する無人の再利用型宇宙往還機『HOPE』の開発も着々と進んでいる。

(第64回 研究会 平成9年1月29日『放射線利用総合フォーラム』と合同開催)

## 3. 材料の電子線照射効果・線量分布に関するもの

### 8) 超高圧電子顕微鏡による電子線照射効果の研究

大阪大学 超高圧電子顕微鏡センター 森博太郎

阪大の3MV電子顕微鏡は試料の透過能力が大きく、100kVのものに比ベ十数倍厚い試料の観察が可能であり、電子の波長が短いので分解能が向上する。また試料構成原子の弾き出しとその観察が同時にできる利点がある。その上、試料への単位時間・面積当たりの電子線照射量が桁違に大きい。

これを利用して高速電子と物質との相互作用を観察しながら調査し、材質改善や微細加工の研究へと

拡大可能である。この講演では次のような研究成果の一部が紹介された。

- ① LSI材料への応用として、複合化された多層構造試料の透過観察、構造解析、シリコン基板とタングステン配線とのコンタクト部分の断面観察、シリコン基板へのタングステン食込量の評価、LSIのアルミ配線が通電で断線や内部にボイドが発生する様子(エレクトロマイグレーション)の観察
- ② 電子照射効果を用いた非平衡相の生成条件に関する研究
- ③ 金属・半導体・セラミックス・高分子など新素材の研究
- ④ 異種原子の固体内注入

(第61回 研究会 平成8年8月23日)

#### 9) 電子線照射における線量分布の簡易計算コードについて

大阪府立大学 先端科学研究所 多幡 達夫

電子線の照射利用が増大してきている中で、試料中の吸収線量を正確に評価することが重要な課題になっている。かなり以前からモンテカルロ法、輸送方程式を用いる法、半実験式による方法が検討されてきている。半実験式法が最も実用的であるところから、加速電圧、加速管内電流、有効照射面積、コンベア速度等のパラメータから吸収線量を評価する計算式を開発し、実験値と比較しながら、物質中の電子線のエネルギー変化、後方散乱の寄与等を考慮して、多重層を照射した場合の深さ方向の吸収線量分布を評価できる計算式を完成させた。

(第62回 研究会 平成8年10月7日)

### 4. 生物・医学関係

#### 10) 機能している脳の生化学イメージング

財団法人 大阪バイオサイエンス研究所 渡辺 恭良

PETを用いて、脳の活動部位や、様々な神経伝達系のニューロトランスミッターやその受容体の様態を計測することが可能になった。精神神経疾患でも、病状の把握や治療効果に関し、PETによる研究成果が有用な情報を提供している。一方、分子生物学的研究の進展により受容体の多くのサブタイプが実体をともなって明らかになり、それぞれに特異的に作用する化合物もみいだされ、一部はPET用に標識されたものもある。しかし、PET用ポジロン標識化合物の開発とその評価は不十分で、多数の基礎研究が必要である。

本講演では、PETによるニューロトランスミッターや受容体の計測の現況をレビューし、我々の科学技術振興事業団・国際共同研究プロジェクトを中心に、新規ポジロン標識化合物のデザイン・開発・評価の実際について触れ、PETの有利な部分を生かすため、マルチトレーサーPET研究や他の技術との複合的研究の進展を紹介する。さらに、PETによる疾患のニューロトランスミッター・受容体の研究の先進例について概説し、最終的に我々が目的とする患者自身の病態の個性を捉え、個々の病状の治療に反映させるためデータベース作りを含め研究の道筋を述べる。

(第64回 研究会 平成9年1月29日『放射線利用総合ポッド』と合同開催)

## 11) 食中毒菌の放射線による殺菌

日本原子力研究所 高崎研究所 伊藤 均

わが国の食中毒はここ数年、従来の腸炎ビブリオ菌が中心だったのに対し、サルモネラ菌や病原大腸菌による食中毒が急増している。これらの食中毒は海外で多発しており、今後とも新手の食中毒の多発が予想される。病原大腸菌はO-157以外にも多種類が知られており、放射線による殺菌線量は一般の非病原大腸菌と大差がない。

大腸菌の殺菌線量はサルモネラ菌など多くの食中毒菌より少なく、鶏肉などでは1 kGy でも十分に殺菌され、10℃以下の低温貯蔵と組み合わせれば6日以上にわたり増殖が抑制される。腸炎ビブリオ菌などは大腸菌より少ない線量で殺菌できる。細菌性の食中毒に対し、カビ毒による中毒は殺菌剤と同様に急性ではないが発ガン性のあるものがある。カビ毒は放射線に対し著しく安定であるが、カビ毒を産生する糸状菌は乾燥食品の腐敗菌であり1～5 kGy で殺菌でき、20℃以下の貯蔵と組み合わせれば0.2～0.5 kGyでも糸状菌の発生を抑制できる。

(第64回 研究会 平成9年1月29日『放射線利用総合フォーラム』と合同開催)

## 5. その他

### 12) 暮らしに役立つ放射線装置の産業利用と放射線装置の進歩

日新ハイボルテージ株式会社 水澤 健一

放射線は、その放射線の性質に従っていろんな形で暮らしに役立ち、溶け込んでいる。放射線を発生する装置が材料の付加価値を上げるために、産業用として初めて利用されたのが電子線発生装置である。

電子線発生装置は、電線・発泡ポリエチレン・自動車タイヤ・食肉包装フィルム等プラスチックの改質、フロッピーディスク・離形紙等塗布剤の硬化、医療器具の滅菌や殺菌、ボイラーの排煙の浄化と多岐にわたって利用され、装置自体も利用分野に応じた対応をとってきた。

近年、イオンビームについてもLSIの製造用として半導体産業に数多く用いられている以外に、分析用や医療用としての用途も広がってきており、これらの用途についても装置自体の対応がなされている。

(第64回 研究会 平成9年1月29日『放射線利用総合フォーラム』と合同開催)

### 13) イオンビーム技術の現状と将来展望

株式会社イオン工学研究所 高木 俊宜

極低エネルギー(約100eV以下)による蒸着、結晶成長、多層膜形成;低エネルギー(数十eV～数千eV)によるエッチング、ミーリングなど微細加工技術;低・高・超高エネルギー(数百eV～数MeV)によるイオンビームモデフィケーション(半導体pn層制御、無機・有機の表面物性制御、ミキシング)など、殆ど熱擾乱エネルギーに相当する0.01eV程度から数MeVまで、電流はpAからアンペア級まで、ビーム径は1μm径のようなFIBから60～80cm径の大口径まで利用範囲は多彩である。

原子状、分子状、クラスターのイオン、多価イオン、負イオンなど各種イオンが利用され、イオン種

は無機から有機まで多種多様である。基板の形状も固体（無機、有機）、粒状物質、粉末、さらには複雑形状面の裏表の同時処理技術など、最近のイオンビーム技術の進展は目覚ましい。

(第64回 研究会 平成9年1月29日『放射線利用総合シンポジウム』と合同開催)

#### 14) 若狭湾エネルギー研究センター構想

財) 若狭湾エネルギー研究センター 垣花秀武

若狭湾エネルギー研究センターは、1994年9月1日国の許可を得て発足した「地域型研究機関」である。若狭湾地域の特性を十分に活かし、人間の存在自体（精神も物質も）を豊かに安全にするような研究開発、また地元の福祉、学術、産業へ貢献するとともに、地域並びに国内外の人々の多様な交流の拠点を形成することを目指している。なお、施設の建設、整備については、福井県が1998年を目標に敦賀市長谷地区で進めており、完成後は当財団が運営に当たる。

(第64回 研究会 平成9年1月29日『放射線利用総合シンポジウム』と合同開催)

#### 15) 我が国におけるエネルギー事情と原子力

大阪大学 工学部

宮崎慶次

最近のアジアの石油消費増大や中東情勢の現実を認識しつつ、資源小国の我が国は、適度な経済成長、資源とエネルギー源確保、地球規模の環境問題の調和を図らねばならない。エネルギーのベストミックスの観点を踏まえて、化石燃料、太陽などの自然エネルギー、核融合を含めた原子力などの将来性について考える。

原子力発電の安全確保は異常や事故を防止する予防保全と万一の事故を想定して影響緩和を図る深層防護が基本である。日本の既存炉は、「世界がこれから新設する炉に対する国際的な目標」を既に越す高い水準にある。一方、他のエネルギー源にも相当のリスクやマイナス要因があることを冷静に考えるべきである。

(第64回 研究会 平成9年1月29日『放射線利用総合シンポジウム』と合同開催)