

鉛ビスマス冷却材の実用化

研究領域: (V)エネルギー

研究代表者: 原子炉工学研究所

教授 関本 博

Tel 03-5734-3066, Fax 03-5734-2959, e-mail hsekimot@nr.titech.ac.jp

1

研究組織

研究代表者の氏名、所属

教授 関本 博(原子炉工学研究所)

研究分担者の氏名、所属

高橋 実(原子炉工学研究所)

井頭 政之(原子炉工学研究所)

矢野 豊彦(原子炉工学研究所)

小原 徹(原子炉工学研究所)

井上 剛良(大学院理工学研究科、機械物理工学専攻)

2

研究の目指すもの

(1) 鉛ビスマス冷却材の特長と問題点

鉛ビスマスはナトリウムと比べ化学的に安定で、融点はほぼ同じであるにもかかわらず沸点は高く、またボイド係数を負の方にシフトさせることが可能なことから、これを冷却材として用いることにより固有安全性を高めた熱効率の高い高速炉の設計が可能となる。

特に離島や開発途上国向け原子炉として、また電力以外の利用でこれからの需要が期待される**小型炉**においてはナトリウム冷却に比べ中性子経済性に優れ、増殖性が良くなるとともにボイド係数もより改善される。

また放射性廃棄物の消滅への利用が期待されている**加速器未臨界炉**においても、スポレーション反応による発生中性子数が多く、ターゲット及び冷却材として期待されている。

しかし、**技術的問題**として腐食性とポロニウム(Po)生成の問題をかかえている。



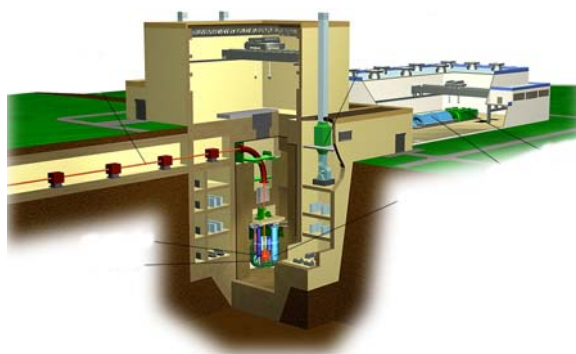
長寿命小型安全炉LSPR

(東工大,Artech,三菱重工設計)

加速器駆動未臨界炉

(原研計画)

強力な中性子源により放射性廃棄物を消滅する。



(2)鉛系冷却材研究の現状と東工大

鉛ビスマス冷却材研究の現在の隆盛は研究責任者がその重要性を指摘し、軍事的にはあったが鉛ビスマスの使用経験を有していた**ロシア**がそれに同調したことから始まる。この経緯については鉛ビスマスの重要性とともに解説記事(関本「注目を集めてきた鉛系冷却材」原子力eye, 9月号, pp. 70-75(1999))に書かれている。

この解説記事が出た時点では、ロシアの先駆的な研究はあったが、日本で東工大の我々のグループが強い関心をもっている以外は世界においてそれほど大きな動きは無いはずであった。ところが、現在では

アメリカにおいて

ロスアラモス研究所でいくつかのループができ運転されている。

アイダホ研究所、MIT、ネバダ大学等で多くの実験研究が開始された。

カリフォルニア大学やMITで設計研究が盛ん。

NERIやGEN4でも検討が行われている。

ヨーロッパにおいて

ノーベル賞受賞者ルビアが鉛を冷却材として加速器未臨界炉を推進している。

他の国でも同様の研究が盛ん。

特にスイスPSIが中心になって行われている国際共同研究MEGAPIEやベルギーのMIRRAHAは有名。

カールスルーエ研究所では鉛ビスマス研究所(Lead-Bismuth Laboratory)ができた。

といった具合で予想外の進展を見せている。(韓国等でも動きが盛ん)

日本においても東工大、原研、三井造船でループが作られ、ポロニウム実験も東工大で開始され、学会に専門委員会も作られた。なんらかのこ入れがあれば、かなり大きなセンターのようなものが設立可能と考えている。

(2)イノベーション研究推進体「鉛ビスマス冷却材の実用化」における課題設定

今までの研究代表者等の研究で、鉛ビスマスを使った小型高速炉や加速器ターゲットシステムを実現するには、材料の腐食特性を検討することが重要で、特に酸素濃度コントロールに関して研究する必要があることが明らかになった。

鉛ビスマス冷却炉の安全性に関しては優れた結果がでつつある。経済性まで考慮すると、まだ充分満足すべき設計は提案されておらず、新しいアイデアを入れた設計研究が重要である。鉛ビスマスの大きな自然循環力を用いて機器の簡素化を図ることが可能である。東工大では蒸気を利用したリフトポンプについて検討しており、有望な結果がえられそうである。

ビスマスが中性子を吸収することによって発生するポロニウムはアルファ放射体で人体が摂取すると極めて危険なものであり、この振舞の研究が不可欠である。

3

具体的な研究内容

- ◆ 鉛ビスマスを用いた小型原子炉の革新的な設計を行い、その諸特性を明らかにする。
- ◆ いくつかの材料の腐食特性を検討する。特に酸素濃度コントロールに関して研究し、設計範囲を明らかにするとともに、優れた材料と酸素濃度コントロール法を見出す。
- ◆ 熱流動特性、特に気泡を入れた場合の二相流特性について研究し、リフトポンプの可能性、SGリークの解析及び鉛ビスマスターゲットの密度減少効果の検討(陽子ビームを深くまで入れるため)に反映させる。
- ◆ ポロニウムの生成率、鉛ビスマスからの放出率を明らかにし、事故時のPoの影響を評価できるようにする。
- ◆ ポロニウムの各種材料への吸脱着特性に関して研究し、事故時及びその後の除染作業に必要なデータを得る。



原子炉工学研究所 教授 関本 博

専門分野: 原子カシステム、原子炉設計、放射線計測
キーワード: 鉛ビスマス冷却材、長寿命小型高速炉、加速器駆動未臨界炉、ポロニウム
homepage: <http://www.nr.titech.ac.jp/~hsekimot>

1

研究内容を目指すもの

1. 長寿命、小型、安全、シンプル、可搬型で核拡散抵抗性を有する原子炉

原子力界では、行き詰まった立地問題の解決や海外への進出を目指して、今盛んに小型炉の議論が行われている。この場合、メンテナンスフリーの長寿命炉であれば更に都合がよい。ここでは長寿命、小型、安全、シンプル、可搬型で核拡散抵抗性を有する原子炉の実現を目指して研究している。

長寿命、小型、安全、シンプル、可搬型で核拡散抵抗性を有する原子炉を目指すといったわけだが、の中には御互いの相性が良いのと悪いのとがある。例えば可搬型にしようすると、小型にせざるを得ないわけで、小型と可搬型は大略同じことと考えられる。このような観点からこれらの条件を調べていくと、長寿命と小型といったところが設計上基本となることがわかる。このような炉は中性子経済が極めて優れている必要がある。このため鉛ビスマス冷却高速炉を利用してこのような炉の設計を試みる。

2. CANDLE燃焼の鉛ビスマス冷却大型高速炉への適用

CANDLE燃焼とは図1に示すように、制御棒等の動的制御機器に頼らずに燃焼とともに燃料の各核種数密度分布や出力分布の形を一定にしたまま、燃焼領域が炉心軸方向に移動していく燃焼であり、多くの長所を有している。

例えば、燃焼余剰反応度が無いため、シム制御棒が不要である。燃焼を通じて反応度係数とか最高出力密度といった炉特性が変化しないので、原子炉の運転が極めて容易になる。また設計においても複雑な時間変化を考える必要がなく、最適な設計を得ることが容易となる。取替え新燃料の無限中性子増倍係数が1以下となるので、輸送や貯蔵で臨界安全管理が容易である。

この燃焼方法を中性子経済に優れた高速炉に適用すると、初期炉心がうまく出来れば(濃縮ウランで可能)後は劣化ウランか天然ウランだけで半永久的に運転を続けることができ、しかもこの劣化ウランまたは天然ウランの40%(軽水炉では1%以下)を利用できることが判った。

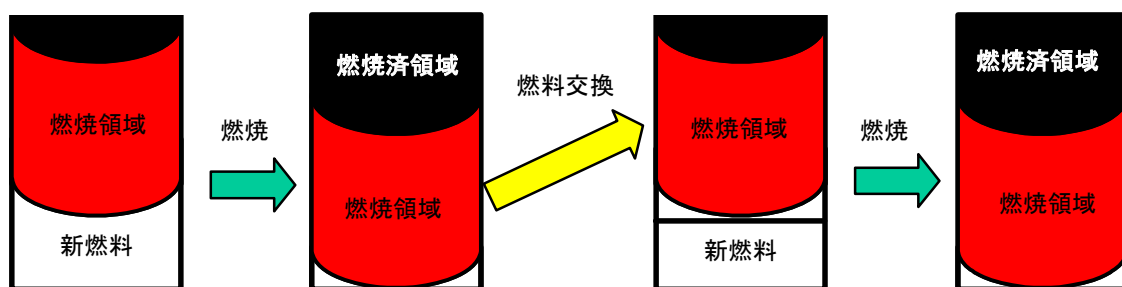


図1 CANDLE燃焼

3. 鉛ビスマスの中性子照射により引き起こされるポロニウム汚染

鉛ビスマス冷却材の中性子照射により、ポロニウムが大量に生成される。冷却材漏洩事故時や冷却材引き抜き時におけるポロニウムの除染は重要な問題である。ポロニウムの蒸発吸着及び固体中での振る舞いはよくわかっておらず、安全対策を立てるのが困難な状況にある。本研究でこれらを明らかにする。

2 最近の研究のテーマ

1. LSPRの設計研究

鉛ビスマス共融合金 (LBE)冷却高速炉LSPR (LBE-Cooled Long-Life Safe Simple Small Portable Proliferation-Resistant Reactor)の設計を行い、改善を行ってきている。現在の設計出力は150 MWt (53MWe)としている。

最初の設計では、炉心中心に劣化ウランを装荷し、外側にプルトニウムを装荷することにより、燃焼による余剰反応度の減少を小さくし、炉心寿命を長くしている。原子炉寿命を12年として、寿命中の最大の余剰反応度は0.25\$程度であり、いかなる事故においても即発臨界になる可能性はない。長寿命炉は炉心出力密度を低くせざるを得ない場合が多いが、ここでは60MW/m³となっており、鉛ビスマスの冷却能力及び経済性の観点からも適当な値となっている。現在はCANDLE燃焼の適用を検討している。

冷却材密度反応度係数を負にすることができ、他の特性とあいまって、スクラムやバックアップポンプが働かなくても冷却能力喪失事故(ULOF)、制御棒跳出事故(UTOP)、2次冷却能力喪失事故(ULOHS)といった事故のいずれか、あるいはすべてが同時におこっても安全であることが示された。

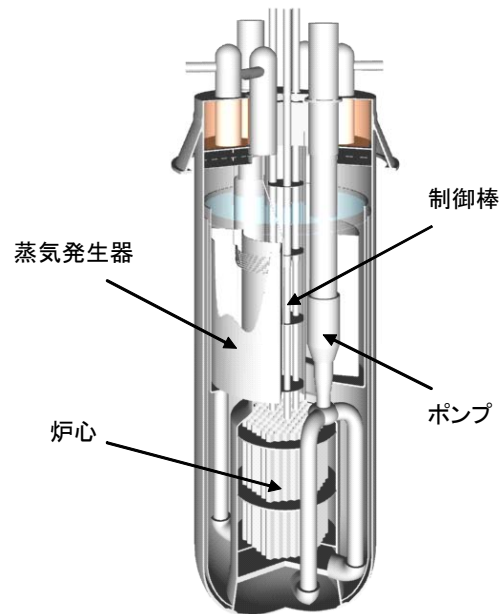


図1. LSPRの概念図

2. CANDLE燃焼のLBE冷却高速炉への適用

CANDLE燃焼のLBE冷却高速炉(3GW熱出力)への適用性が確かめられた。燃料に関しては酸化物、窒化物、金属の3種類について検討された。酸化物燃料での実現は困難と判断されたが、他の燃料では可能と判断された。

このような原子炉が実現すると、取替え燃料としては劣化ウランだけでよく、それも40%も燃焼する。即ち、既にある劣化ウランを使うだけで、濃縮や再処理を必要とせず1000年近くの長期にわたって原子力を利用できることになる。

表1. CANDLE燃焼炉の特性

燃料	金属	窒化物	酸化物
実効中性子増倍係数	1.015	0.99	0.926
燃焼領域移動速度 (cm/秒)	1.2×10^{-7}	1.1×10^{-7}	1.5×10^{-7}
取出し平均燃焼度 (GWd/t)	426	445	452

3 研究推進体に関連する業績、プロジェクトなど

論文: H. Sekimoto and Zaki S., "Design Study of Lead- and Lead-Bismuth-Cooled Small Long-Life Nuclear Power Reactors Using Metallic and Nitride Fuel," Nucl. Technol., 109[3], pp. 307-313 (1995) など約200件

特許: 特許第3433230号, 原子炉の炉心およびその炉心における核燃料物質の取替方法, 平成15年5月30日

公募研究:

原子力基礎研究制度(日本原子力研究所)平成10-12年度「中性子照射により生成する鉛・ビスマス合金中

のポロニウムの挙動に関する研究」(代表者: 関本)

科研費基盤研究(A)平成11-13年度「研究課題名: 鉛及び鉛ビスマス冷却材を用いた高速炉及び加速器ターゲットに関する研究」(代表者: 関本)

原子力基礎研究制度(日本原子力研究所)平成13-15年度「CANDLE燃焼方式の種々の原子炉への適応に関する研究」(代表者: 関本)

文科省革新的原子力システム技術開発、平成14-16年度「Pb-Bi冷却直接接触沸騰水型小型高速炉に関する技術開発」(代表者: 高橋)

受賞: 第36回日本原子力学会賞, 学術業績賞, 平成16年1月



原子炉工学研究所 エネルギー工学部門 助教授 高橋 実

専門分野: 液体金属、熱流動、材料腐食、高速増殖炉・核融合炉、熱工学
キーワード: 鉛ビスマス、酸素センサー、腐食
homepage: <http://www.nr.titech.ac.jp/~mtakahas/homej.html>

1 研究内容と目指すもの

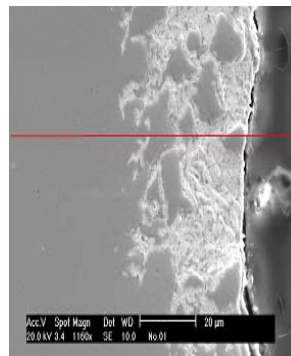
鉛ビスマス冷却型高速増殖炉と加速器駆動未臨界核変換炉を実現するため、高温で流動する鉛ビスマスに対して耐腐食性の良好な鉄鋼材料を開発する。また、腐食抑制のために重要な鉛ビスマス中の酸素ポテンシャルの制御方法と酸素センサーを開発する。

2 研究推進体に関連する最近の研究のテーマ

将来の高速増殖炉として鉛ビスマスを冷却材に用いた新しい中小型の高速炉が有望です。この原子炉の特長は冷却材にナトリウムを使わないため、蒸気発生器で水や水蒸気と触れても激しい化学反応の心配がないことです。また、現在の軽水炉から発生する高レベル放射性廃棄物の処分量を5分の1まで減らすため、消滅処理を行う加速器駆動未臨界核変換炉(ADS)の開発研究が欧米や日本で活発に行われていますが、この加速器のターゲット材にも鉛ビスマスが使われます。この鉛ビスマスが長期間の運転で、高速増殖炉の炉心材料や構造材料、ADSの加速器ビーム窓材料を腐食させないようにするため、鉛ビスマスに対して耐腐食性の良好な鉄鋼材料を開発しています。

鉛ビスマス冷却材の実用化I – 耐腐食材料の開発

本研究室では、高速炉の安全性研究のため1975年より鉛ビスマス系重金属の流動伝熱試験を行い、その後、核融合炉のブランケット冷却技術開発のためリチウムの流動試験も行い、液体金属の流動に関する数々の研究成果を得ました。この過程で得られた液体金属流動技術をもとに、1999年に日本では初めて本格的な鉛ビスマス材料腐食試験ループを製作しました。そして、将来の高速炉や加速器駆動核変換炉の冷却材・ターゲット材候補である鉛ビスマスと共存性の良好な鉄鋼材料を開発するための材料腐食試験を開始しました。耐腐食鉄鋼材料として構成元素のクロム、微量の珪素、アルミニウムが腐食抑制に効果的であることを実証する試験を進めています。



流動鉛ビスマスによる材料腐食試験後の鋼材SCM420の電子顕微鏡による断面写真

腐食の原理は、鉄鋼材料中の鉄、クロム、ニッケル等が鉛ビスマス中への溶出することと、鉛ビスマスが材料の粒界へ侵食することです。また、鉛ビスマスは重い液体であるため、高流速の流れにより材料が削られるエロージョンという問題もあります。鉛ビスマス中の酸素が材料表面の構成元素と反応して酸化膜を形成すると、溶出や侵食が抑制され、腐食が抑えられると期待されます。

鉛ビスマス冷却材の実用化II – 酸素センサーの開発

鉄鋼材料の鉛ビスマスによる腐食を抑制するには、鉛ビスマス中の酸素ポテンシャルを適切に制御することが必要です。この制御方法として、アルゴン、水素、水蒸気の混合ガスを鉛ビスマス中に吹き込む方法を選び、鉛ビスマスループに実際に用いて腐食抑制効果があるかどうか調べています。また、この酸素ポテンシャルを測定するため、酸素センサーを鉛ビスマス中に挿入しています。この酸素センサーはジルコニア系固体電解質でできており、酸素ポテンシャルに応じて変わる起電力を測定するものです。新しい酸素センサーを開発し、その性能を調べています。

鉛ビスマス溶解・腐食挙動 – 分子動力学法シミュレーションコードの開発

鉛ビスマスが固体材料やナトリウム等の他の液体金属と相互作用し、溶解・拡散、侵食が起こる機構を解明するため、計算機によってシミュレーションするコードを開発しています。このコードでは、分子間ポテンシャルに化学反応の効果を検討した分子動力学法シミュレーションを用いています。

3 研究推進体に関連する業績、プロジェクトなど

- 論文: M. Takahashi, et al., "Experimental Study on Flow Technology and Steel Corrosion of Lead Bismuth," Proc. of 10th Int. Conf. Nucl. Eng., April 14-18, Arlington, Virginia, USA, ICONE10-22226, 2002 など
- 特許: 鉛ビスマス循環ループ(特開2001-272493), 熔融金属の酸素濃度測定装置(特願2001-267949), など3件
- プロジェクト参画: 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究(核燃料サイクル開発機構)平成13年度～平成14年度, 核変換実験施設・分離変換技術(日本原子力研究所)平成14年度～平成17年度



原子炉工学研究所
物質工学部門
助教授 井頭 政之

専門分野: 中性子物理、原子核物理、物質変換工学、核データ評価
キーワード: 中性子核反応、核反応断面積、ビスマス、ポロニウム
homepage: <http://www.nr.titech.ac.jp/~iga>

1 研究内容を目指すもの

高速増殖炉等の鉛ビスマス冷却材中では、ビスマスの中性子吸収反応によって α 放射核であるPo-210及びBi-210mが生成される。これらの α 放射核の生成量評価のために必要な中性子核データを精度良く得るため、実験及び理論の両面から研究を行う。

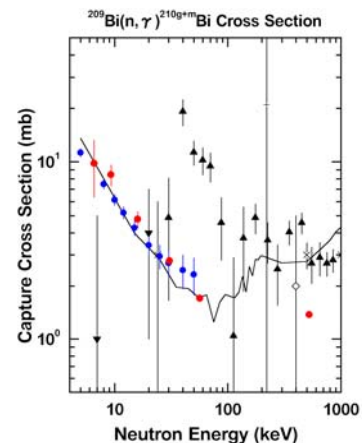
2 研究推進体に関連する最近の研究のテーマ

半減期140日の α 放射核Po-210はBi-209(n, γ)Bi-210g(β 崩壊:半減期5日)Po-210の中性子捕獲反応及び β 崩壊で生成され、半減期300万年の α 放射核Bi-210mはBi-209(n, γ)Bi-210mの中性子捕獲反応で生成されます。従って、それぞれの中性子捕獲反応断面積を精度良く得ることが本研究の具体的内容です。我々は、Bi-209(n, γ)Bi-210g反応断面積については、放射化法によってPo-210からの α 線を検出することによって測定を行っています。Bi-209(n, γ)Bi-210m反応断面積については、先ず、Bi-209(n, γ)Bi-210g+m反応断面積を即発 γ 線測定法によって測定し、これから前述の放射化法で求めた断面積を差し引くことによって求めています。

即発 γ 線測定法によるBi-209(n, γ)Bi-210g+m反応断面積の測定

本研究室では現在、原子炉工学研究所に設置されているペレトロン加速器と高効率 γ 線検出装置を用いて、Bi-210(n, γ)Bi-210g+m反応断面積を測定しています。ペレトロン加速器については我々自身で整備・調整を絶えず行っており、現在の性能は導入当初と比べて2倍以上であり、中性子発生用小型加速器としては世界的にユニークなものです。また、高効率 γ 線検出装置は我々の高速中性子実験ノウハウを全て取り入れて設計・製作したもので、中性子捕獲実験におけるその性能は世界最高水準のものです。

本研究で測定された結果を図に赤丸で示します。図中の曲線は我が国の評価済み核データライブラリJENDL-3.2に格納されているデータです。図から分かるようにJENDL-3.2のデータは、60keV以下の入射中性子エネルギー領域では我々の測定値とほぼ一致していますが、500keVにおいては我々の測定結果よりも2倍も大きくなっています。尚、青丸で示したデータはヨーロッパの研究所で最近測定した結果で、我々と測定方法が異なるにもかかわらず、50keV以下で良く一致しています。黒印のデータは他の測定結果で、バラツキが大きい、即ち精度が悪いことが分かります。



放射化法によるBi-209(n, γ)Bi-210g反応断面積の測定

本研究室では、上記のペレトロン加速器と鉛ビスマス冷却材関連研究のために導入した α 線測定装置を用いて、放射化法によってPo-210生成断面積、即ちBi-209(n, γ)Bi-210g反応断面積の測定を行っています。放射化法の場合、普通は放射化された試料からの γ 線を測定しますが、Bi-210gの β 崩壊に起因しての γ 線は放出されないため、難しい α 線の測定を行っています。このような事情から未だ最終結果が得られていませんが、暫定的な結果はこれまでの評価値と大きく異なる興味深いものです。

3 研究推進体に関連する業績、プロジェクトなど

論文: M. Igashira *et al.*, "Measurement of the $^{209}\text{Bi}(n,\gamma)^{210}\text{gBi}$ Cross Sections at 30 and 520 keV", Proc. The Korean Nuclear Society Spring Meeting, Japan-Korea Joint Session, Cheju, Korea (2001).

プロジェクト参画: 中性子照射により生成する鉛・ビスマス合金中のポロニウムの挙動に関する研究(日本原子力研究所)平成10年～平成12年度

受賞: 手島記念研究賞(研究論文賞)(1997)



大学院理工学研究科 原子核工学専攻
原子炉工学研究所 物質工学部門 過酷環境材料工学分野
教授 矢野 豊彦

専門分野: 過酷環境材料工学、セラミックス、中性子照射損傷、欠陥と固体物性
キーワード: 原子炉・核融合炉材料、過酷環境下の材料物性、電子顕微鏡
homepage: <http://www.nr.titech.ac.jp/~tyano/>

1 研究内容を目指すもの

中性子照射による材料物性変化を、主として導入される構造欠陥との関連で明らかにしている。その研究を通じて、放射線や超高温、高熱勾配下、腐食性環境など過酷環境に対する耐性の高い材料を開発する。また、照射効果を利用して新規機能性材料を開発する。さらに、単独の物質では得られない特性を得るための複合材料の開発を行っている。

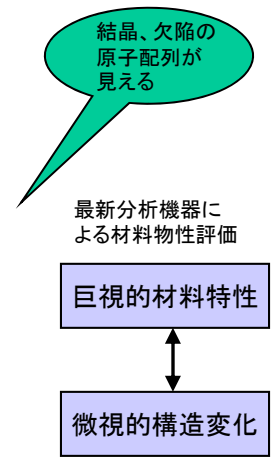
2 研究推進体に関連する最近の研究のテーマ

高速炉や核融合炉では、材料は軽水炉に比べてより過酷な中性子照射を受け、熱勾配、冷却材と構造材料の化学的な両立性が問題となる。従って、材料の照射下での安定性に対してはより高い要求がされている。特に、核融合炉に於いては、中性子のエネルギーが極めて高く、また、軽水炉に於いては使用されなかった各種材料の適用が必須である。本研究室では、高速炉及び核融合炉に於いて使用される各種材料の放射線損傷の実験的研究を進めてきた。

核融合炉用セラミックスの中性子照射損傷の解析

本研究室では、高温ガス炉の燃料被覆や原子炉の燃料温度のモニター、核融合炉の第一壁に使われる炭化ケイ素や窒化ケイ素、核融合炉の絶縁材料として利用されるアルミナや窒化アルミニウム、スピネルセラミックス、高周波伝播性の優れたダイヤモンドなど各種セラミックスの中性子照射損傷を、高分解能電子顕微鏡を用いて解析し、その構造を明らかにするとともに、種々の物理的特性変化を解明してきた。さらに、それらの欠陥の熱による回復過程を解明することで、欠陥の安定性や、生成条件を明らかにしてきた。

C4C4E6E6E6 EECY8BCEC3C3C3C3 C0AA
AgQuocTimeyAnsh@9gIEC0AA
AgPhoto - JPEGAhnl.EVEqE0E8E6C00Kovq-C4B



耐過酷環境先進構造材料開発

中性子を重照射した窒化ケイ素の高分解能電子顕微鏡写真

宇宙・航空機用エンジン、高効率ガスタービンエンジン材料など、耐熱合金でも適用が難しい超高温・腐食性環境で使用可能な材料はセラミックスである。しかしながら、セラミックスは本質的に脆性であり、構造材料としての適用は困難であった。我々は、セラミックス繊維を利用することで、脆性破壊を起こさない全セラミックス複合材料を開発してきた。宇宙あるいは真空下で使用可能な炭化ケイ素繊維強化複合材料、及び酸化雰囲気でも使用可能な酸化物繊維強化酸化物基複合材料などである。

3 研究推進体に関連する業績、プロジェクトなど

論文: M. Akiyoshi, T. Yano and M. L. Jenkins, "A Structural Model of Defects in β -Si₃N₄ Produced by Neutron-Irradiation", Philos. Mag. A, 81[3], 683-697 (2001).

T. Yano, K. Ichikawa, M. Akiyoshi and Y. Tachi, "Neutron Irradiation Damage in Aluminum Oxide and Nitride Ceramics up to a Fluence of 4.2×10^{26} n/m²", J. Nuclear Materials, 283-287, 947-951 (2000).

K. Yoshida, M. Imai and T. Yano, "Improvement of Mechanical Properties of Hot-Pressed Silicon Carbide Fiber-Reinforced Silicon Carbide Composites by Polycarbosilane-Impregnation Method", Composite Science and Technology, 61[9], 1323-1329 (2001). など130件以上

受賞: 原子力学会論文賞(1994)、セラミックス協会学術賞(2002)など



原子炉工学研究所 物質工学部門
助手 小原 徹

専門分野: 原子炉物理学、原子炉設計、原子炉システム安全
キーワード: 鉛ビスマス、ポロニウム、放射能汚染除去
homepage: <http://www.nr.titech.ac.jp/~hsekimoto/>

1

研究内容と目指すもの

高速炉や加速器駆動未臨界核変換炉などの原子炉システムでの鉛ビスマス合金の利用を実用化するため、放射性物質ポロニウムの除去のための技術を開発する。

2

研究推進体に関連する最近の研究のテーマ

原子炉システムでの鉛ビスマス利用の実用化



大学院理工学研究科
機械物理工学専攻 熱流体科学講座 ミクロ輸送学分野
教授 井上 剛良

専門分野: 熱工学、分子熱工学、マイクロスケール熱工学、宇宙熱工学
キーワード: 熱物性、半導体製造プロセス、熱電変換
homepage:

1 研究内容を目指すもの

半導体製造プロセスやナノテクノロジーにおける熱問題には、従来のマクロスケールの熱工学では対応できなくなっています。このため分子論や量子論をも取り入れた新しい熱工学の分野を確立し、最先端分野における熱問題の解決に寄与することを目指しています。

2 研究推進体に関連する最近の研究のテーマ

薄膜型Bi-Te系熱電素子の作成とその応用

Bi-Te系熱電素子は室温付近が作動温度領域であり、電子部品冷却や恒湿装置、低温排熱利用発電などの用途に使用されています。従来は、一方方向性凝固法や焼結法などにより素子を作成していましたが、薄膜技術の進歩とともに、薄膜型熱電素子の作成も行われてきており、微小温度センサーなどへの応用も考えられています。このように薄膜型熱電素子には多くの利点が考えられますが、優れた性質の薄膜型素子を作成する手法は十分には確立されていません。本研究室では、薄膜の結晶性や成分とゼーベック係数の関係を実験的に調べ、優れた薄膜型Bi-Te系熱電素子の開発を行っています。

シミュレーションによる熱物性の算出方法の確立

現在は工学の多くの分野においてコンピューターシミュレーションが有力な研究手法になっていますが、熱物性分野では、現在でも高精度計測がほとんど唯一の研究手法であり、分子動力学などのシミュレーションはまだ有力な手法とは見なされていません。この原因として、分子間ポテンシャルの精度が十分でないことと多体間相互作用を適切に取り入れてないことが考えられます。本研究室では、分子軌道法(MO)を用いて分子間ポテンシャルを求めるとともに、分子動力学法(MD)による熱物性の算出を行い、MDの結果をMOにフィードバックさせることにより、より高精度に熱物性を求める手法の開発を行っています。これにより、計測が困難な放射性物質の物性予測が可能となることが考えられます。また、異種分子間の相互作用が解明できるようになり、界面近傍の特異な現象を予測できるようになると考えられます。

USJ製造技術の開発

CPUの集積度はますます大きくなってきており、現在の線幅は0.13 μm となっています。数年後には、0.1 μm 以下となることを目指してさまざまな技術の開発が行われています。さらに集積度を上げて高速なCPUを作成するためには、線幅を小さくするだけでなく接合部の深さも小さくすることが求められています。30nm以下の極浅接合(Ultra Shallow Junction; USJ)の形成がここ3~4年の目標ですが、どのようにすればこの接合を作成できるのかまだわかっていません。本研究室では、レーザーパルスを用いた急速加熱とアニーリングを用いてこの極浅接合を形成することを考え、シミュレーションによる解析を行っています。

3 研究推進体に関連する業績、プロジェクトなど

論文: T. Inoue, K. Miyazaki, "Molecular Deposition and Thermoelectric Evaluation of Bismuth Telluride Films."
Thermal Sciences and Engineering, Vol. 7, No. 6, pp.95-101, 1999 など
受賞: 日本伝熱学会学術賞(2000)など