

課題目標・目的及び研究成果

1. 当初の目的・目標	鉛ビスマス冷却炉の成立性を決める構造材料の耐食保護皮膜の健全性・密着性を検査評価するため、鉛ビスマス環境下で、耐食保護皮膜の付着力評価の行えるレーザー衝撃式の試験技術の開発を行うことを目標とする。 本事業は、平成18年度から平成20年度までの3年間の計画とし、鉛ビスマス冷却炉の成立性を決める構造材料の耐食保護皮膜の健全性・密着性を検査評価するため、鉛ビスマスに接する環境下で、耐食保護皮膜の付着力の評価が行えるレーザー衝撃式の新しい試験技術の開発を行うことを目的とし、衝撃波による皮膜界面の応力評価、レーザー衝撃試験装置の作製、および液体金属中での評価を行う。初年度においては、衝撃波による皮膜界面の応力評価とレーザー衝撃試験装置の設計・作製を行う。第2年度以降に主に行う液体金属に面する試験片での測定実験に用いる試験片形状と液体金属用ポット型チャンバーの作製に必要な知見を得る。第2年度においては液体金属を用いる測定実験を実施する。最初にビスマススズ共晶合金を用いた試験を行ない、液体金属を用いる測定技術を確認し、続いて鉛-ビスマス共晶合金を用いた測定実験を行う。第3年度においては、測定された皮膜付着力を従来の測定技術や計算による評価法と比較し、本測定技術の有効性を確認する。以上により、耐食技術の向上に有用な耐食性保護皮膜の健全性・密着性に関する知見が得られ、鉛ビスマス冷却型高速炉システムの実現に貢献すると期待できる。
2. 研究成果	【事業項目1】 衝撃波による皮膜界面の応力評価 想定した革新的原子力システムである鉛ビスマス冷却炉における耐食性皮膜付着力の評価をレーザー衝撃試験により行うため、有限要素法計算モデルの作成を行い、衝撃波伝播と応力の計算を行った。 想定して得られた成果:測定試験片の形状や対象とする皮膜について検討し、測定対象とする炭素鋼とマグネタイトの物性値を用いて衝撃による2mm厚の円盤状試験片の変位応答を有限要素法計算により得た。 【事業項目2】 レーザー衝撃試験装置の設計・作製 想定した革新的原子力システムである鉛ビスマス冷却炉における耐食性皮膜付着力の評価をレーザー衝撃試験により行うため、装置の設計・作製を行った。Nd:YAGレーザーを用いた衝撃力を負荷する装置と応力評価のために試験片の表面変位速度を測定するレーザー干渉計を設置した。本手法は想定した革新的原子力システムに限定することなく皮膜付着力の評価に適用することが可能である。 レーザー衝撃試験法はレーザー発明当初から検討されたアイデアであるが定量的な手法として確立したのは近年である。しかしながら、定量

	性に関する要素過程、すなわち、衝撃力の発生機構（レーザーと基板材料との相互作用など）、発生応力波の伝搬過程（吸収や発散、反射など）、皮膜の性状（亀裂等の微小欠陥分布、破壊強度分布など）、について詳しく検討した結果、測定手法としては不十分な点についての改善項目が明確になった。これらの要素過程の評価を逐一検討し、測定技術としての完成度を高めてゆくよう展開を図っている。 【事業項目3】 液体金属中での表面変位速度の測定 想定した革新的原子力システムである鉛ビスマス冷却炉における耐食性皮膜付着力の評価をレーザー衝撃試験により行い、鉛ビスマスに面する皮膜の付着力測定を炭素鋼上のマグネタイトに対して適用した。 想定して得られた成果：表面変位速度は、レーザー衝撃試験により得られる応力評価に必要であるので、干渉計や圧電素子による測定を行った。最大表面変位速度はレーザー照射のエネルギーの平方根とほぼ比例関係にあることがわかった。表面変位速度は、レーザー衝撃試験により得られる応力評価に必要であるので、干渉計や圧電素子による測定を行った。最大表面変位速度はレーザー照射のエネルギーの平方根とほぼ比例関係にあることがわかった。また、種々の環境下における皮膜付着力の測定手法としての展開が考えられ、手法の見通しが得られた。 皮膜付着力の系統的な解釈には表面変位速度の評価が重要であり、表面変位速度測定のための干渉計の高度化を進めている。 【事業項目4】 液体金属に面する皮膜の付着力の測定及び付着力評価試験技術の検討 想定した革新的原子力システムである鉛ビスマス冷却炉における耐食性皮膜付着力の評価をレーザー衝撃試験により行い、鉛ビスマスに面する皮膜の付着力測定を炭素鋼上のマグネタイトに対して適用した結果について、押し込み試験による評価や計算による評価と合わせ検討した。 炭素鋼とマグネタイトとの付着力についてレーザー衝撃試験を用いることにより約50MPaという値を導出した。炭素鋼の降伏応力が約200MPa程度であることと比較すると皮膜の剥離に要する応力は小さい。 鉛ビスマス冷却型高速炉で想定される耐食性皮膜の作製方法とは異なる条件であるので直接の議論はできないが、設計許容応力に対して比較した検討が可能となると考えられる。これまで測定例のない酸化皮膜の引張応力条件での付着力が得られた。さらに、皮膜付着力を測定し、定量的な値を得たことは新たな研究の展開が考えられる成果である。 異なる原子力システムを含む種々の分野における皮膜の付着強度は、工学的な観点から定量的な測定が必要とされていると考えている。本手法
--	---

	は耐食性あるいは耐熱性、絶縁性などの機能性皮膜の力学的な健全性の評価にとって重要な知見を与えるものである。種々の分野の皮膜への展開が想定される。 【事業全体】 鉛ビスマス冷却炉における耐食性皮膜の付着力についての評価を行い、一定の定量的な値を導出したことは従来にない、新しい知見である。本評価が適切であるかについては、今後のほかの研究との比較によりのみ検証できるものである。レーザー衝撃を用いる皮膜付着力評価手法は、レーザーの発明当初からあるものであるが、手法を実際の材料評価として適用することにより、評価手法の改善あるいは改良点が明瞭になる。本事業の成果は、革新的原子力システムとしての鉛ビスマス炉の成立性に重要な耐食性皮膜の開発への成果であるとともに、適用範囲が広いレーザー衝撃を利用する評価手法の新しい展開へも重要なステップを得たことも成果であると考えられる。 【得られた成果の外部発表】 1. 日本原子力学会「2009年春の年会」口頭発表：「原子力システムにおける耐食性皮膜付着力の試験技術の開発」佐藤 学 2. 16th APS Topical Conference on Shock Compression of Condensed Matter (June 28- July 3, 2009, Nashville, Tennessee), Poster presentation: “Measurement of adhesion strength of solid-state diffusion bonding between nickel and copper by means of laser shock spallation method”, M. Satou, H. Akamatsu, A. Hasegawa 3. 日本原子力学会「2009年秋の大会」口頭発表：「高温環境下における耐食性酸化皮膜の剥離強度評価」佐藤 学 4. 2009 MRS Fall Meeting (November 30 - December 4, 2009, Boston, Massachusetts), Poster presentation: “Evaluation of adhesive strength of corrosion-resistance layer on structure materials at elevated temperatures.”, M. Satou
--	--