

【部門構成員】

教授：長谷川 雅幸、 助教授：永井 康介、 助手：唐 政、井上 耕二、畠山 賢彦、
研究支援者：佐々木 文子、 その他（技術補佐員 1名、 事務補佐員 2名）

【研究成果】

本部門関連の中期目標・中期計画は

(1) ナノ材料科学的手法による高経年化軽水炉の安全確保のための研究を進める、
(2) 原研-サイクル機構、物材機構や欧米原子力研究機関との共同研究を推進する
である。(1)の点に関しては以下を行った。

- (a) 陽電子消滅法のさらなる発展・開発、例えば原子炉芯シュラウド・ステンレス鋼の応力腐食割れ (SCC) に関わる表面近傍欠陥検出を目指した低速陽電子ビーム装置、Fe 中の Cu ナノ析出物の数密度解析などを行えると期待されるデジタルオシロスコープを用いた新たな陽電子寿命—運動量相関装置の設置・開発などを行った。
- (b) さらに物材機構の宝野和博と3次元アトムプローブ (3D-AP) 共同研究 (物材機構の装置を大洗センター放射線管理区域に設置)を開始し、陽電子消滅および3D-APそれぞれがナノ材料学実験法として最先端であるばかりでなく両方法を同時に適用できるという世界でもユニークな研究 (Ref. 1, 2) センターを構築した。

これらおよび従来の研究実績を基に、

- (i) 物材機構：3D-AP、
(ii) 原研：圧力容器 (RPV) 鋼の照射脆化、シュラウドの応力腐食割れ (SCC) 研究、
(iii) ベルギー原子力研究所 (SCKCEN)：実機監視試験片についての研究、若手研究者の受け入れ、
(iv) 米国カリフォルニア大サンタバーバラ校 (UCSB)：圧力容器鋼のナノ材料解析、
(v) 米国バークレイ校 (UCB)：陽電子消滅法による圧力容器鋼のナノ材料解析、
(vi) 米国オークリッジ国立研：Fe 中ナノ析出物やナノボイドと転位の相互作用解析、
(vii) デンマーク・リソ国立研：Fe など金属中のナノボイド解析、
などとの共同研究を強力に推進している。

これらから、東海1号炉 (コルダーホール炉、約5年前に停止・廃炉) やベルギーDoel (加圧水型炉) 実機監視試験片の解析を行い、従来の研究では分からなかった新たな知見を得た (東海1号炉監視試験片の結果については現在 Phys. Rev. Lett. に投稿中)。尚、稼働中原子炉の実記監視試験片が大学での基礎研究に供されるのは、我が国では初めてである (日米では皆無、ヨーロッパでも殆ど無い)。これは我々の研究成果が高く評価された結果と自負している。

さらに最先端のナノ材料科学手法としての陽電子消滅法の発展を目的として、固体中の陽電子状態の新たな理論計算法の開発を行った。その例として Si や SiO₂ 結晶中の陽電子と多電子系の効果を正しく取り入れた理論 (GW 多体問題解析法や Ps に対する Bethe-Salpeter 方程式解析法) (Ref. 3 および Phys. Rev. Lett. 投稿中論文) 開発を行った。さらに陽電子寿命およびおよび2次元角相関法を用いて種々のガラスおよびモデルガラス (SiO₂-B₂O₃ や SiO₂-Na₂ など) 中の構造空隙の系統的研究を行

い、放射性廃棄物の長期保存に関わるナノボイドの基礎研究を行った (Ref.5)。

1. Y. Nagai, T. Toyama, Z. Tang, M. Hasegawa, T. Ohkubo, K. Hono
"Embedded Ultrafine Clusters Investigation by Coincidence Doppler Broadening Spectroscopy",
Mater. Sci. Forum, 445-446 (2004) 11-15.
2. T. Toyama, Y. Nagai, Z. Tang, H. Hasegawa, T. Ohkubo, K. Hono
"Irradiation-Induced Defects and Cu Precipitates in Ternary Fe-Based Model Alloys for Nuclear Reactor Pressure Vessel Steels Studied by Positron Annihilation and 3D Atom Probe",
Mater. Sci. Forum, 445-446 (2004) 195-197.
3. Z. Tang, M. Hasegawa, Y. Nagai, M. Saito
"First-Principle Calculation of Positron Annihilation Characteristic in Solids: From Positron to Positronium",
Mater. Sci. Forum, 445-446 (2004) 390-394.
4. K. Inoue, Y. Sasaki, Y. Nagai, H. Ohkubo, Z. Tang and M. Hasegawa
"Structural Subnanovoids in Silica-Based Glasses Probed by Positronium",
Mater. Sci. Forum, 445-446 (2004) 304-306.
5. T. Honma, S. Yanagita, K. Hono, Y. Nagai and Y. Hasegawa
"Coincidence Doppler broadening and 3DAP study of the pre-precipitation stage of an Al-Li-Cu-Mg-Ag alloy",
Acta Mater., 52 (2004) 1997-2003

【研究計画】

現在稼働中の高経年化原子炉材料の安全性に関して問題とされている圧力容器 (RPV) 鋼などの照射脆化の機構をナノ材料学的見地から明らかにするとともに、その結果が劣化・脆化予測の問題に反映されるように努力する。そのために、単純なモデル合金のみならずより複雑な実機材料の解析についても積極的に研究を推進させる。また関連分野において指導的な研究を行っている内外の研究グループと密接な研究連携・交流を持つことによって、研究の発展を図る。また上記のためのナノ材料学実験および理論計算法の開発を行うとともに、それらを一般の金属材料、放射性廃棄物を念頭に置いたガラス材料、放射線下で導入される欠陥が問題となる半導体材料 (Si や SiC など) にも積極的に応用する。以下に主な具体的研究課題を記す。

- (i) 原子炉 RPV 鋼のモデル合金：従来の単純な Fe-Cu モデル合金およびそれに Mn, Ni, P などの第 3 元素を加えた複雑なモデル合金での熱時効や照射によるナノ析出物や欠陥形成過程の解明、
- (ii) 実機監視試験片または実機相当などの条件で照射された RPV 鋼：それらで実際に起こっているナノ材料過程の解明と脆化予測への提案
- (iii) 上記を実現するための先端の実験 (陽電子消滅、3 次元アトムプローブなど) および計算機シミュレーション法の開発とそれらのシュラウド・ステンレス鋼の応力腐食割れ、鉄鋼やアルミ合金などの金属材料、ガラスや半導体材料への応用