

金研ワークショップ

「より安全な原子力技術、核融合技術に向けての材料研究の展開」

阿部弘亨
東北大金研

1. 緒言

福島第一原子力発電所の事故を受けて、現行の原子炉の高安全化のための評価や補修に係る技術開発、より安全な先進原子炉や核融合炉等の開発研究は非常に重要な意義を有する。これらの発電システムにおいて、鉄鋼材料は原子炉容器、炉内構造物、燃料被覆管、ブランケット等様々な部位で利用される基幹材料である。これら原子炉材料は主に高温高压水に曝され、また部位によっては放射線照射という特殊な条件に置かれる。このような環境では、照射損傷組織の形成に伴う硬化や脆化現象、また応力腐食割れや照射誘起応力腐食割れ現象等が発現する。そのため、適用環境下における材料劣化を明確に把握し、科学的合理性のある保守管理技術および規制評価に反映させ、将来の安全性を科学的見地から担保することは重要である。

一方、各種分析技術の向上により劣化機構解明研究は大きく進展している。その代表事例は三次元アトムプローブ、陽電子消滅法、透過電子顕微鏡等の先進実験手法であり、また、第一原理や分子動力学等の計算科学的手法である。これらにより、複雑な劣化事象を的確に解釈し、高精度に予測できるようになった。これらの科学的知見に関する我が国の研究は質、量ともに世界を先導する水準にあり、申請者の阿部、永井は、これらの手法を駆使した研究を展開しており、学会を先導し、原子力規制委員会や学協会等における各種検討会において主査や委員を務め社会的にも貢献している。従って金研は、これらの研究を俯瞰し、その知見を科学的合理性に基づいた規制に発展させることが可能な機関として位置づけられる。

そこで本共同研究の目的として、原子炉に適用される鉄鋼材料の照射効果の機構解明に係る最新研究成果を収集し、照射脆化や照射誘起応力腐食割れといった重要かつ特殊な事象についての今後の研究方向性を明らかにすることとした。

2. ワークショップの概要

11月7日(木)および8日(金)の二日間にわたって金研講堂において標記のワークショップを開催しました。原子炉圧力容器鋼照射脆化、照射誘起応力腐食割れ、核融合炉材料開発等に従事する研究者等により、25件の口頭発表ならびに12件のポスター発表がなされた。大学、研究所、規制当局、企業等からの参加者、延べ144名の参加者により活発な議論が繰り広げられ、研究領域の深化および工学研究としての発展を図ることができた。

3. ワークショップの詳細

発表プログラムを表1に示す。

講演の内容をおおよそ分類すると、原子力の安全全般にかかる講演、軽水炉圧力容器鋼の照射脆化や铸造ステンレス鋼の照射影響に関するもの、軽水炉の照射誘起応力腐食割れ事象にかかるもの、核融合炉第一壁材料(鉄鋼材料やタングステン材料)の照射影響に関するもの、およびこれらに関する基礎研究や実験技術開発に関するものに分けることができる。

まず原子力の安全全般にかかる基調講演では、山口(阪大)により原子力の安全を確保するためのリスク管理やその考え方についての講演がなされた。これは材料研究とは直接の関連はないものの、いかなるプラントにとっても材料とその劣化がリスクの要因であって、また事象を律速するものであることから、材料研究者が原子力を考える上では欠くことのできない大変重要な知見である。

軽水炉圧力容器鋼の照射脆化や铸造ステンレス鋼の照射影響に関する発表では、小岩(京大)の講演を中心として最近の照射脆化予測式の欠点やその改善方法に関する議論がなされた。渡辺(九大)は圧力容器鋼の照射組織変化に関する顕微鏡学的分析化学的研究について最近の進展を報告し、高浜(東北大)はアトムプローブ法を用い照射脆化の主たる要因である溶質原子(銅)の拡散係数を精密測定し現行予測で用いられている値とは大きく異なることを報告し、注目された。铸造ステンレス鋼に関しては、藤井(INSS)により照射効果の微視的観察結果が報告され、また松川(東北大)によ

り照射誘起相変態についてのアトムプローブ観察結果が報告された。

軽水炉の照射誘起応力腐食割れ事象にかかる発表では福谷(INSS)により最新の研究についての報告やこれまでの研究のレビューがなされた。

核融合炉第一壁材料(タングステン材料)の照射影響に関しては、長谷川(東北大)らにより核融合炉第一壁ならびにダイバータとして利用が有望視されるタングステンの中性子照射効果に関する講演があった。また W-Re 合金の中性子照射影響(福田、東北大)、W 中の水素の挙動に関する第一原理計算(大澤、九大)などの報告がなされた。

核融合炉第一壁材料(鉄鋼材料)に関しては、鵜飼(北大)により加工および熱処理した ODS 鋼の組織形成に関する詳細な報告がなされ、また谷川(JAEA)により低放射化フェライト鋼の析出物に対する照射影響について講演がなされた。また関連する基礎的研究としてフェライト系ステンレス鋼及びそのモデル合金の低照射量域における照射損傷組織の比較(義家、京大)や鉄クロム合金の相安定性と照射影響(笠田、京大)などの報告があった。

関連する基礎研究や実験技術開発については、イオン照射その場観察法に関する研究のレビューと課題整理および今後の可能性について石野(東大)の講演があった。その他にもナノインデンテーション硬さの解析法の検討(木村、京大)、原子炉を用いた低速陽電子ビーム装置の開発(京大、徐)、超微小引張試験法を用いた照射ステンレス鋼の粒界劣化の検討(三浦、INSS)、電子照射下における格子間原子集合体の一次元運動機構(佐藤、東北大)などの報告があった。超高压電子顕微鏡、加速器結合型電子顕微鏡、ナノインデンテーション、陽電子ビーム、集束イオンビーム加工装置などの先進機器を活用した新しい実験技術の開発がなされており、この分野の今後の進展が期待される発表であった。

4. まとめ

世界的に見て原子炉の設置増が見込まれており、日本は商業炉事故を経験した国として、より高度で安全な原子力技術の発展を担い、核融合技術の実現に向けた中核としての責務がある。また温暖化防止策の一つとして原子力への依存度は増加するものと考えられる。本共同研究で提案するワークショップでは、これらの社会的要請に応える材料の開発や劣化評価技術開発についての研究最前線と将来を議論した。その中で、金研におけるナノからマクロまでの種々の評価技術と規制等にかかる種々の知見と合わせ、最新の材料科学的知見に基づいて劣化機構を解明し、材料開発や規制への適用等に結びつける研究の指針を得ることができた。

また本ワークショップで対象とする、最先端のナノ解析技術を駆使した組織観察から、機械的特性評価、照射脆化の組成依存性、照射速度依存性、照射前熱処理の効果等に加えて、照射硬化に寄与する析出物や転位ループの基礎研究、第一原理計算や分子動力学等の計算機シミュレーションまで、非常に幅が広く、これらの成果や知見が一同に介し充実したワークショップであった。これらは、照射損傷の基礎学理の発展にも大きく寄与するものでもある。

今回の金研ワークショップは金属学会シンポジウム「中性子・材料科学と新しい JMTR—材料科学の発展と社会への貢献—」の後に実施された。原子力材料に関する研究者だけでなく、幅広い参加者層が集い活発かつ有益な議論がなされ、盛況であった。

5. 経費の使途

予算

旅費	819,000 円
消耗品費	97,000 円
合計	916,000 円

決算

旅費	813,550 円
消耗品費	33,244 円
合計	846,794 円

より安全な原子力技術、核融合技術に向けての材料研究の展開

11月7日(木)				場所 東北大学金属材料研究所二号館一階講堂			
開始時間	終了時間	発表	質疑	発表者	所属	題目	
13:00				阿部弘亨	東北大	開会あいさつ、趣旨説明	
座長 阿部弘亨							
13:10	13:35	0:20	0:05	小岩昌宏	京大	原子炉圧力容器の硫化予測 — JEA4201—2007をめぐって	
13:35	14:00	0:20	0:05	長谷川晃、福田誠、藪内聖皓、野上修平	東北大	タングステンの中性子照射効果に関する研究	
14:00	14:25	0:20	0:05	渡辺英雄	九大	原子炉圧力容器鋼の照射による組織・組成変化	
座長 渡辺英雄							
14:25	14:45	0:15	0:05	高濱 郁彦、他	東北大	3次元アトムプローブを用いた強磁性 α -Fe中のCuの拡散係数と固溶限の導出	
14:45	15:05	0:15	0:05	藪内聖皓、野上修平、長谷川晃	東北大	転位ループによる転位デコレーションの形成メカニズムに関する研究	
座長 石野 菜							
15:05	15:45	0:30	0:10	山口彰	阪大	原子力の安全を確保すること	
		休憩	0:10				
座長 笠田竜太							
15:55	16:15	0:15	0:05	福田誠、藪内聖皓、野上修平、長谷川晃	東北大	HFIRで中性子照射した純W及びW-Re合金の微細組織発達挙動	
16:15	16:35	0:15	0:05	鈴木知明、山口正剛、長谷川晃	JAEA	W-Re、W-Os、Mo-Re系の点欠陥第一原理計算(仮題)	
16:35	16:55	0:15	0:05	大澤一人、波多野雄治、山口正剛	九大	熱力学的モデルによるタングステン中の水素の研究	
座長 鶴岡重治							
16:55	17:15	0:15	0:05	笠田竜太、佐藤敏一、徐胤	京大	鉄クロム合金の相安定性と照射影響	
17:15	17:35	0:15	0:05	藤井克彦、福谷耕司	INSS	鋳造オーステナイトステンレス鋼の照射効果	
17:35	17:55	0:15	0:05	福谷耕司	INSS	照射ステンレス鋼の腐食挙動	
18:00		懇親会		場所 東北大学金属材料研究所二号館一階会議室		(懇親会およびポスター発表)	

11月8日(金)				場所 東北大学金属材料研究所二号館一階講堂			
開始時間	終了時間	発表	質疑	発表者	所属	題目	
9:00				場所 東北大学金属材料研究所二号館一階講堂	東北大	あいさつ、連絡事項	
座長 橋本直幸							
9:05	9:30	0:20	0:05	石野 菜	東大	イオン照射その場観察について	
9:30	9:55	0:20	0:05	木村晃彦、久保博史	京大	ナノインデンテーション硬さの解析法の検討	
9:55	10:15	0:15	0:05	徐胤、他	京大	原子炉を用いた低速陽電子ビーム装置の開発	
10:15	10:35	0:15	0:05	三浦照光、藤井克彦、福谷耕司	INSS	超微小引張試験法を用いた照射ステンレス鋼の粒界劣化の検討	
座長 木村晃彦							
10:35	11:00	0:20	0:05	橋本直幸	北大	水素吸蔵材料を用いた無電力型水素爆発防止システムの構築	
11:00	11:25	0:20	0:05	福元謙一	福井大	JMTR温度制御照射によるバナジウム合金の照射硬化挙動	
11:25	11:45	0:15	0:05	笠原茂樹 知見康弘 西山裕孝 中村武彦	JAEA	ハフニウム材料基礎特性評価	
		昼食	1:15				
座長 室賀健夫							
13:00	13:25	0:20	0:05	鶴岡重治	北大	ODSフェライト鋼の加工・再結晶に伴う集合組織の発達機構	
13:25	13:50	0:20	0:05	谷川博康	JAEA	低放射化フェライト鋼における照射下析出物挙動	
13:50	14:15	0:20	0:05	黄紹松、徐胤、佐藤敏一、○義家敏正	京大	フェライト系ステンレス鋼及びそのモデル合金の低照射量域における照射損傷組織の比較	
座長 谷川博康							
14:15	14:35	0:15	0:05	海老原健一、鈴木知明、山口正剛、西山裕孝	JAEA	不純物拡散偏析における空孔ドラッグ効果の数値的考察	
14:35	14:55	0:15	0:05	佐藤裕樹、他	東北大	電子照射下における格子間原子集合体の一次元運動機構	
14:55	15:15	0:15	0:05	松川義孝、他	東北大	原子力材料におけるG相析出物について	
15:15				永井康介	東北大	閉会挨拶	

ポスター発表			
石井大貴、笠田竜太、大畑充、安堂正巳、谷川博康	京大	低放射化フェライト鋼の高速変形挙動	
大野直子、鶴岡重治、木村晃彦、近藤創介、橋本直幸	北大	Ni基ODS合金のイオン照射影響評価	
兜森達彦、他	岩大	重イオン照射したFe-x%Cr(x=0-13)合金薄膜の磁区観察	
河瀬宇宙、福元謙一、小林壽郎、猿田晃大	福井大	温度・歪みモニタリング用FBGセンサの耐放射線特性の基礎研究	
佐藤拓也、他	岩大	熱時効した高Cr鋼の磁気特性	
中井亮介、藪内聖皓、野上修平、長谷川晃	東北大	BCC鉄中のボイドの硬化への寄与	
松永哲也	東北大	水素化したZircaloy-4の低温におけるクリープ挙動	
叶野翔、松川義孝、酒瀬川英雄、谷川博康、阿部弘亨	東北大	F82H鋼の各熱処理過程における組織形成の評価	
Li Yanfen、他	東北大	Microstructural evolution of 9Cr-ODS steel during thermalaging at 973K up tp 10,000h	
Li Feng、他	東北大	Stability of oxide particles under irradiation in ODS steels at elevated temperature	
伊藤駿、他	東北大	超微細粒材料の格子転位と粒界が室温変形に及ぼす効果	
阿部友紀、佐藤裕樹、松川義孝、松永哲也、阿部弘亨	東北大	改良型中子拡散試験法による原子燃料被覆管炉内挙動の模擬手法の開発	