

第1章 小委員会14年の歩み

第1章 小委員会14年の歩み

昭和60年に社団法人日本溶接協会原子力研究委員会内に「蒸気発生器構造材料の品質向上の研究」に関する委託研究の研究機関としてFSG小委員会が発足して以来、FNC小委員会、FME小委員会と継続して、今日まで14年間にわたり高速増殖実証炉用新構造材料である改良9Cr-1Mo鋼及び高速炉構造用SUS316（通称：316FR鋼）の開発・実用化研究を推進してきた。今年、この両材料の高温構造設計方針（案）及びその材料強度基準等（案）が策定され、当初の目的を達成して小委員会活動を終了することとなった。本章では小委員会の歩みについてまとめる。

1.1 小委員会の変遷

(1) 昭和57年～昭和59年(予備検討)：電事連委託・共研「蒸気発生器用材料の研究」

高速増殖実証炉では経済性の観点から一体貫流型蒸気発生器の採用を計画し、この蒸気発生器用として高温強度並びに水・蒸気環境での耐食・耐SCC性及び製作性に優れた材料が要求された。この要求に対する材料開発・選定として電気事業連合会高速増殖炉開発準備室の参画のもと「高速炉構造新材料に関する調査研究」が委託研究及び共同研究として実施された[1-1, 1-2]。この調査研究において、一体貫流型蒸気発生器用材料として2.25Cr~Alloy800系鋼の中から基本鋼種として9Cr系鋼を選定し有力候補として提起された。

(2) 昭和60年～昭和63年(第1期研究)：FSG小委員会「蒸気発生器用材料の研究」

これを受けて、昭和60年に電気事業連合会高速増殖炉開発準備室から「蒸気発生器構造材料の品質向上の研究」に関する委託を受け（昭和60年11月以降委託元は日本原子力発電株式会社に移行）社団法人日本溶接協会原子力研究委員会内にFSG小委員会（FSG：FBR Steam Generator）を設置し研究を推進することとなった。研究の主眼は一体貫流型蒸気発生器用材料として、9Cr系鋼の中で材料及び溶接部に対して優れた成分系の材料の選定と実証炉への適当性の検討であった。昭和63年に9Cr系鋼の中から改良9Cr-1Mo鋼を候補材料に選定し、本鋼及び溶接材料の仕様提案並びに本鋼の材料強度基準化のための材料試験計画の策定がされた。

(3) 平成元年～平成4年(第2期研究)：FNC小委員会，FME小委員会

「蒸気発生器用材料の研究」「1次系材料の研究」

平成元年からは小委員会名称もFNC小委員会(FBR Nine Chromium)として改良9Cr-1Mo鋼の実用化のための研究を開始した。

翌平成2年からは蒸気発生器用材料の他に、炉容器及び1次系用新材料である高速炉構造用SUS316(通称：316FR鋼)の実用化研究も本小委員会にて推進することとなり、これに伴い小委員会名称をFME小委員会(FME：FBR Materials Evaluation)とした。

改良9Cr-1Mo鋼に関する研究では、DOE(ORNL)との共同研究が開始され、70000時間の長時間データや溶接部の強度に関する技術情報等が入手され、国内データ評価に反映された。また、薄肉板並みの強度を有する極厚鍛造材の製作方法を確立するとともに基準化に関する予備的検討を開始した。

1次系用材料の316FR鋼に関しては母材、溶接材料及び溶接継手の強度特性を把握するとともに材料仕様を提案した。

(4) 平成5年～平成7年(第3期研究)：FME小委員会

「蒸気発生器用材料の研究」「1次系材料の研究」

平成5年からは新材料の基準化及び構造設計具体化のための研究を重点化した。特に、高温構造設計で重要なクリープ疲労評価法及び溶接部強度評価法確立に必要な材料特性把握及び評価法の検討を行った。

また、改良9Cr-1Mo鋼とステンレス鋼及び316FR鋼と炭素鋼の2種類の異材継手強度特性評価に関する研究を開始した。

316FR鋼については、規格化のための課題整理と方針検討を行うとともに、米国DOE(ORNL)との委託研究を開始し、ASMEとの情報交換、日米ラウンドロビン試験、長時間データの取得が行われた。

改良9Cr-1Mo鋼については、蒸気発生器製作実用化のための課題整理を行った。

(5) 平成8年～平成10年(第4期研究)：FME小委員会

「蒸気発生器用材料の研究」「1次系材料の研究」

平成8年から3カ年は新材料の高速増殖実証炉への適用性研究の集大成としてのま

とめを行った。まず、材料強度基準策定に必要なデータの整備を行い、全日本のデータに基づいた材料強度基準（案）を策定した。また、高温構造設計のためのクリープ疲労評価法及び溶接部強度評価法をまとめるとともに、そのバックデータの整備を行った。

小委員会の歩み及び材料研究の推移を表 1-1 にまとめる。また、表 1-2 は改良 9 Cr - 1 Mo 鋼に関する研究実施項目を、表 1-3 は 3 1 6 F R 鋼に関する研究実施項目を示す。

1.2 組織及び参加機関

高速増殖炉構造材料の開発・評価を国内材料技術の総力を結集し全日本的立場から推進するとの主旨で、東京大学朝田教授を主査として、大学委員、中立委員、委託者委員、原子力ファブリケータ委員、材料メーカ委員及び事務局委員から構成される F S G 小委員会が発足された。その後、F N C、F M E 小委員会と技術開発の進展に伴ない委員構成は強化され、材料試験・評価、材料開発、製造技術、溶接技術、高速増殖炉プラント設計、構造強度設計に係る研究者・技術者の参加による全日本的技術集団としての小委員会が構成され、研究活動を推進してきた。

14 年間で小委員会に参加した各機関は次の通りである。

- 主 査 : 朝田教授 (東京大学)
- 大 学 : 東京大学, 東京工業大学, 群馬大学
- 中立研究機関 : 核燃料サイクル開発機構 (旧動力炉・核燃料開発事業団),
電力中央研究所, 金属材料技術研究所
- 委 託 者 : 日本原子力発電(株), 電気事業連合会高速増殖炉開発準備室
- ファブリケータ : (株)日立製作所, (株)東芝, 三菱重工業(株), バブコック日立(株),
石川島播磨重工業(株), 川崎重工業(株), 富士電機(株)
- 材 料 メーカ : (株)神戸製鋼所, 新日本製鐵(株), 住友金属工業(株),
日本鋼管(株), 鋼管計測(株), 川崎製鉄(株), (株)日本製鋼所,
日鐵溶接工業(株), 日本油脂(株), 日本ウェルディング・ロッド(株)
- 事 務 局 : 社団法人日本溶接協会

1.3 他研究機関との関連

本小委員会は高速増殖炉用としての新しい構造材料を対象として研究を推進してきたが、得られた研究成果は、国内外の研究機関との研究協力に負うところが少なくない。これら研究機関としては、国内では、電力中央研究所、核燃料サイクル開発機構（旧動力炉・核燃料開発事業団）、金属材料技術研究所、東京大学などで、海外では米国ORNL（国立オークリッジ研究所）である。これら関連研究機関における研究状況については第4章にて述べる。

研究協力の主たる内容としては、材料データの提供、各種評価法に関する情報提供、新材料としての規格化並びに基準化に関する技術情報提供と方向付け、長期的な研究計画策定に関する情報提供と方向付け、及びデータ処理方法に関する情報提供等である。

なお、上記の国内研究機関は本小委員会の中立委員として委員会活動を支えているが、特筆すべき主な協力内容は以下に示す通りである。

(1) 電力中央研究所

- ・改良9Cr-1Mo鋼の熱疲労特性、疲労特性データの提供
- ・316FR鋼の基準化用データの提供
- ・クリープ疲労評価法に関する情報の提供
- ・溶接部強度評価法に関する情報の提供

(2) 核燃料サイクル開発機構（旧動力炉・核燃料開発事業団）

- ・改良9Cr-1Mo鋼及び316FR鋼データベース構築のための研究計画策定における情報の提供
- ・改良9Cr-1Mo鋼及び316FR鋼の環境効果に関する情報の提供
- ・データ処理システム[SMA T]の活用による改良9Cr-1Mo鋼及び316FR鋼の基準化用データの提供
- ・クリープ、クリープ疲労の評価法に関する情報提供

(3) 金属材料技術研究所

- ・本委員会仕様による改良9Cr-1Mo鋼及び316FR鋼を対象としたクリープ及び疲労データシートの作成着手

(4) 東京大学

- ・改良 9Cr-1Mo 鋼及び 316FR 鋼のクリープ疲労評価法並びに材料データに関する情報の提供
- ・改良 9Cr-1Mo 鋼及び 316FR 鋼の環境効果に関する情報提供

(5) 米国 ORNL (国立オークリッジ研究所)

- ・改良 9Cr-1Mo 鋼は日本原子力発電 (株) 共同研究として実施
7万5千時間のクリープ破断データ, 時効データ等の入手
- ・316FR 鋼は日本原子力発電 (株) 委託研究として実施中
長時間時効データ, クリープ疲労データ等の入手
日本データの ASME への提示・日本の活動成果の ASME への紹介

1.4 研究成果の公開

研究成果の公開は計画的かつ積極的に行っており, 国内外学会発表・論文投稿, 国際会議展示の他にも, ASME の規格委員会のメンバーと, 改良 9Cr-1Mo 鋼及び 316FR 鋼の規格化に係わる日本側材料データ・情報に関する技術的議論を数回実施している。その結果は, 国内の両鋼種 of 材料強度基準化検討に反映されている。

現在までの公開論文リストは第 5 章に示す。

[参考文献]

- [1-1]馬場; “高速炉構造新材料に関する調査研究”, 火力原子力発電, Vol.36, No.1, (1985), p.45,
- [1-2]馬場; “高速炉構造新材料に関する調査研究(II)”, 火力原子力発電, Vol.37, No.6, (1986), p.64,

表 1-1 高速実証炉構造用新材料研究の歩み

年度	1982 (昭和 57)	1983 (昭和 58)	1984 (昭和 59)	1985 (昭和 60)	1986 (昭和 61)	1987 (昭和 62)	1988 (昭和 63)	1989 (平成 1)	1990 (平成 2)	1991 (平成 3)	1992 (平成 4)	1993 (平成 5)	1994 (平成 6)	1995 (平成 7)	1996 (平成 8)	1997 (平成 9)	1998 (平成 10)			
実証炉設計研究	高速増殖炉概念に関する研究		合理化設計研究			革新的技術を含めたシステム化研究		炉型評価研究	実証炉予備的概念設計研究		実証炉プラント概念設計研究		実証炉プラント最適化研究		実証炉プラント最適化研究 II					
委員会名称					F S G			FNC	F M E											
小委員会活動	一体貫流型蒸気発生器用候補材料の調査 (FPO/メカ共研)		蒸気発生器用候補材料の開発・選定研究 (改良9Cr-1Mo鋼)				改良9Cr-1Mo鋼DOE (ORNL) 共研		基準化用データの整備・基準化計画 (改良9Cr/316FR)		316FR鋼、改良9Cr-1Mo鋼 材料強度基準・強度評価法策定のためのデータ蓄積 母材・溶接部強度評価法の検討 材料強度基準化方針/基準策定							316FR鋼DOE (ORNL) 委託研究		
成果ヒックス			・SG用材：9Cr系鋼選定	・動燃データシステムSMA T利用開始			・SC材：改良9Cr鋼選定	・一次系材：316FR鋼選定	・DOE共研による改良9Cr鋼長時間データの入手	・DOE共研による強度評価法の検討		・溶接部の施工法・挙動評価着手	・材料強度基準用データ取得着手	・クリープ疲労強度評価法	・溶接部強度評価法	・DOE委託研による316FR鋼の長時間データ取得	・DDS案・解説作成 ・電共研データベース管理システム			
設計方針・基準の整備											▽ DDS(暫定案)		▽ DDS(暫定案) に対する課題整理			▽ DDS(案)				
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 原型炉設計方針 (BDS) 並の実機適用性・許認可性を有するDDS (案) の策定 </div>															高特委意見 及び設計研究からの ニーズ等を反映した改良				
	高速炉高温構造設計調査特別委員会 (高特委：日本電気協会)												高温構造設計方針評価委員会 (DDS委員会：日本溶接協会)							
高速炉関連の動き			・もんじゅ起工 ・SPX臨界						・実証炉に改良9Cr鋼の採用決定	・実証炉に316FR鋼の採用決定	・実証炉トップエントリー型の採用決定		・もんじゅ初臨界	・もんじゅ初発電	・もんじゅ漏洩事故					

表 1-2(1) 改良 9Cr-1Mo 鋼研究実施項目 (1/3)

小委員会	年度	実施項目
FSG	昭和 60 年	<ul style="list-style-type: none"> ・ SG 用材料の現状技術の調査 ・ 実証炉の SG に 9Cr 系鋼を使用する場合の問題点の摘出 ・ 9Cr 系材料の開発計画
	昭和 61 年	<ul style="list-style-type: none"> ・ 9Cr 系溶接材料に関する調査 ・ 9Cr 系鋼及び溶接材料の試験評価 ・ 9Cr 系材料データの分析検討
	昭和 62 年	<ul style="list-style-type: none"> ・ 9Cr 系溶接材料及び溶接継手の開発 ・ 9Cr 系鋼高温材料強度試験 ・ Na 及び水・蒸気環境効果調査 ・ 9Cr 系材料データの分析検討
	昭和 63 年	<ul style="list-style-type: none"> ・ 溶接材料及び溶接継手の開発 ・ 高温材料強度試験 ・ Na 及び水・蒸気環境効果の調査・検討
FNC	平成元年	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原電-DOE 共同研究「改良 9Cr 鋼の基準化に関する研究」 (昭和 63 年度より, 別途実施) からの技術情報の分析・評価 ・ 比較対照試験 DOE 情報の分析・評価のための比較対照試験計画立案
FME	平成 2 年	<ul style="list-style-type: none"> ・ DOE 技術情報の分析・評価 ・ 比較対照試験の実施 ・ 材料仕様検討

表 1-2(2) 改良 9Cr-1Mo 鋼研究実施項目 (2/3)

小委員会	年度	実施項目
FME	平成 3 年	<ul style="list-style-type: none"> ・ DOE 技術情報の分析・評価 ・ 比較対照試験の実施と比較評価 ・ 材料仕様検討
	平成 4 年	<ul style="list-style-type: none"> ・ 材料強度特性評価 ・ 材料強度基準策定用データの評価 ・ 告示化検討用データの評価 ・ ASME 動向調査
	平成 5 年	<ul style="list-style-type: none"> ・ 材料強度特性評価 <ul style="list-style-type: none"> ・ クリープ疲労評価法 ・ 長時間クリープ試験 ・ 告示化検討用データの評価 ・ ASME 動向調査 ・ 基準化における鍛鋼品の取扱い検討
	平成 6 年	<ul style="list-style-type: none"> ・ 材料特性評価試験 ・ クリープ疲労評価法の検討 ・ 溶接継手強度評価法の検討 ・ 基準化における鍛鋼品の取扱い検討 ・ ASME 動向調査
平成 7 年	<ul style="list-style-type: none"> ・ 材料特性評価試験 ・ クリープ疲労評価法の検討 ・ 溶接継手強度評価法の検討 ・ 基準化における鍛鋼品の取扱い検討 ・ ASME 動向調査 	

表 1-2(3) 改良 9 C r - 1 M o 鋼研究実施項目 (3 / 3)

小委員会	年度	実施項目
FME	平成 8 年	<ul style="list-style-type: none"> ・強度評価法の検討 ・同材継手強度評価法の検討 ・異材継手の高温強度評価試験 ・材料強度基準化に関する検討
	平成 9 年	<ul style="list-style-type: none"> ・強度評価法の検討 ・同材継手強度評価法の検討 ・異材継手の高温強度評価 ・材料強度基準化に関する検討
	平成 10 年	<ul style="list-style-type: none"> ・強度評価法の検討 ・溶接部強度評価法の検討 ・材料強度基準化に関する検討

表 1-3(1) 316FR鋼研究実施項目 (1/2)

小委員会	年度	実施項目
FME	平成2年	<ul style="list-style-type: none"> ・ 研究開発計画の策定 ・ 高温強度特性試験
	平成3年	<ul style="list-style-type: none"> ・ 母材及び溶接継手部の高温強度試験 ・ クリーブ疲労特性の評価 ・ 溶接材料の適用性の評価
	平成4年	<ul style="list-style-type: none"> ・ クリーブ疲労特性の評価 ・ 母材及び溶接継手部の高温強度特性の評価 ・ 溶接材料の適用性評価検討
	平成5年	<ul style="list-style-type: none"> ・ 材料特性評価試験 ・ 強度評価法の検討 <ul style="list-style-type: none"> ・ クリーブ疲労評価法の検討 ・ 溶接継手（同材継手）強度評価法の検討 ・ 異材継手の特性評価 ・ 材料仕様の適正化 ・ 材料強度基準化に関する検討
	平成6年	<ul style="list-style-type: none"> ・ 材料特性評価試験 ・ 強度評価法の検討 <ul style="list-style-type: none"> ・ クリーブ疲労評価法の検討 ・ 溶接継手強度評価法の検討 ・ 異材継手の特性評価 ・ 材料仕様の適正化 ・ 材料強度基準化に関する検討

表 1-3(2) 316FR鋼研究実施項目 (2/2)

小委員会	年度	実施項目
FME	平成7年	<ul style="list-style-type: none"> ・強度評価法の検討 ・継手強度評価法の検討 ・材料仕様の適正化検討 ・材料強度基準化に関する検討
	平成8年	<ul style="list-style-type: none"> ・クリープ疲労評価法の検討 ・同材継手強度評価法の検討 ・異材継手の特性評価 ・材料仕様の適正化検討 ・材料強度基準化に関する検討
	平成9年	<ul style="list-style-type: none"> ・強度評価法の検討 ・同材継手強度評価法の検討 ・異材継手の強度評価 ・材料強度基準化に関する検討
	平成10年	<ul style="list-style-type: none"> ・強度評価法の検討 ・溶接部強度評価法の検討 ・材料強度基準化に関する検討