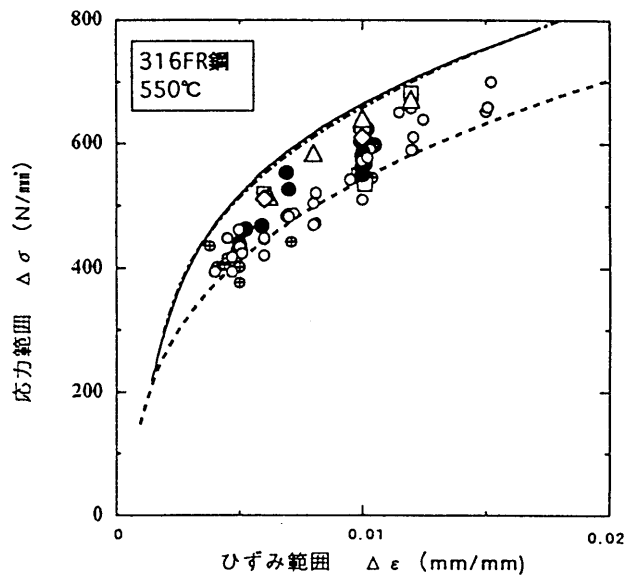
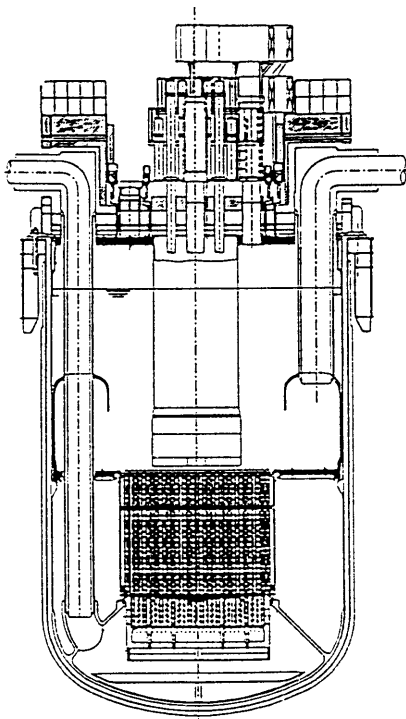


明日のエネルギーの礎に

—高速炉新材料の実用化に向けて—

FBR



1999年5月

社団法人 日本溶接協会
原子力研究委員会
FME小委員会

表紙デザイン

川崎 信史

(日本原子力発電株式会社)

目 次

まえがき	・・・・・・・・・・	i
序 文	・・・・・・・・・・	ii
(社) 日本溶接協会 専務理事	森 直道	
主査挨拶	・・・・・・・・・・	iii
(社) 日本溶接協会		
原子力研究委員会 FME小委員会 主査	朝田 泰英	
委託者挨拶	・・・・・・・・・・	iv
日本原子力発電(株) 研究開発本部 高速炉開発部部長	植田 正弘	
第1章 小委員会14年の歩み	・・・・・・・・・・	1-1
第2章 研究計画の設定経緯	・・・・・・・・・・	2-1
2. 1 改良9Cr-1Mo鋼	・・・・・・・・・・	2.1-1
2.1.1 対象材料選定経緯	・・・・・・・・・・	2.1-1
2.1.2 対象材料の特徴	・・・・・・・・・・	2.1-4
2.1.3 試験計画の設定	・・・・・・・・・・	2.1-6
2. 2 316FR鋼	・・・・・・・・・・	2.2-1
2.2.1 対象材料選定経緯	・・・・・・・・・・	2.2-1
2.2.2 対象材料の特徴	・・・・・・・・・・	2.2-3
2.2.3 試験計画の設定	・・・・・・・・・・	2.2-5
第3章 新材料の強度基準及び強度評価法	・・・・・・・・・・	3-1
3. 1 材料仕様	・・・・・・・・・・	3.1-1
3. 2 強度基準値	・・・・・・・・・・	3.2-1
3. 3 挙動関係式	・・・・・・・・・・	3.3-1
3. 4 挙動関係式とデータの関係	・・・・・・・・・・	3.4-1
3. 5 クリープ疲労評価法	・・・・・・・・・・	3.5-1
3. 6 溶接部強度評価法	・・・・・・・・・・	3.6-1
第4章 研究成果の概要		
4. 1 改良9Cr-1Mo鋼	・・・・・・・・・・	4.1.1-1
4.1.1 材料仕様	・・・・・・・・・・	4.1.1-1
4.1.2 母材高温強度データの取得・蓄積状況	・・・・・・・・・・	4.1.2-1
4.1.3 溶接部高温強度データの取得・蓄積状況	・・・・・・・・・・	4.1.3-1

4.1.4	母材強度評価法	.....	4.1.4-1
4.1.5	溶接部強度評価法	.....	4.1.5-1
4.1.6	長時間健全性	.....	4.1.6-1
4.1.7	環境効果	.....	4.1.7-1
4.1.8	規格・基準化	.....	4.1.8-1
4.1.9	関連機関における改良9Cr-1Mo鋼の研究開発	.....	4.1.9-1
4. 2	316FR鋼	.....	4.2.1-1
4.2.1	材料仕様	.....	4.2.1-1
4.2.2	母材高温強度データの取得・蓄積状況	.....	4.2.2-1
4.2.3	溶接部高温強度データの取得・蓄積状況	.....	4.2.3-1
4.2.4	母材強度評価法	.....	4.2.4-1
4.2.5	溶接部強度評価法	.....	4.2.5-1
4.2.6	長時間健全性	.....	4.2.6-1
4.2.7	環境効果	.....	4.2.7-1
4.2.8	規格・基準化	.....	4.2.8-1
4.2.9	関連機関における316FR鋼の研究開発	.....	4.2.9-1
4. 3	異材継手	.....	4.3-1
4.3.1	316FR鋼/SGV410鋼	.....	4.3-1
4.3.2	改良9Cr-1Mo鋼/SUS304鋼	.....	4.3-2
4. 4	その他	.....	4.4.1-1
4.4.1	インコネル718	.....	4.4.1-1
4.4.2	SGV410鋼	.....	4.4.2-1
4. 5	DOE (ORNL) との研究協力	.....	4.5.1-1
4.5.1	改良9Cr-1Mo鋼	.....	4.5.1-1
4.5.2	316FR鋼	.....	4.5.2-1
4. 6	その他研究活動	.....	4.6.1-1
4.6.1	316FR鋼のASME規格化提案	.....	4.6.1-1
4.6.2	改良9Cr-1Mo鋼の破壊靱性	.....	4.6.2-1
4.6.3	改良9Cr-1Mo鋼の余寿命評価法	.....	4.6.3-1
第5章	研究成果報告書及び外部発表論文リスト	.....	5.1-1
5. 1	研究成果報告書	.....	5.1-1
5. 2	外部発表論文リスト	.....	5.2-1
第6章	付録	.....	6.1-1
6. 1	小委員会歴代委員名簿	.....	6.1-1

編集後記・編集委員

まえがき

世界の人口増加とともに、経済の発展と生活水準の向上に必要なエネルギーが大量に消費されるようになってきました。したがって、エネルギーをいかに長期的に安定供給するかが重要であります。

しかし、現在電力供給の主力である石油、石炭等の化石燃料は埋蔵量が有限であるので、これらへの依存度を減らしエネルギー源の多様化を図る必要があります。また化石燃料は、燃焼により炭酸ガスを排出して地球温暖化をもたらし、環境の悪化を引き起こすとされています。

これらエネルギー源の多様化、地球環境保全を達成する有力な選択肢として、原子力発電の推進が考えられ、現在発電の主力となっている軽水炉に続き、より有効にウラン資源を利用できる可能性を有する高速増殖炉を開発することが計画されています。

実証炉に向けた開発については、全国9電力会社及び電源開発株式会社の委託を受け、日本原子力発電株式会社が主体となって、核燃料サイクル開発機構（旧動力炉・核燃料開発事業団）、（財）電力中央研究所、日本原子力研究所などとの緊密な協力のもと、官民一体となって取り組んできています。

高速増殖炉の実用化に当たっての課題の1つとして、経済性の向上があり、プラント熱効率の観点から、原子炉出口温度を550℃として高温化を図っており、これを実現するため、1次系主要構造材料に従来のSUS316に比べ、高温でのクリープ強度と延性を増した高速炉構造用SUS316（316FR鋼）を採用しました。また、蒸気発生器の伝熱管材料には、高温水環境、高温クリープ領域での使用を考え、耐力力腐食割れ及び高温強度に優れた改良9Cr-1Mo鋼を選定しました。

本冊子では、上記材料開発に当たり、まず評価・検討した委員会活動の歩みを辿り（第1章）、次に設計からの要求を踏まえた試験計画の設定（第2章）、策定した材料強度基準値、主クリープ破断関係式、最適疲労破損式などの材料挙動を表す関係式（第3章）、基準値策定時の技術的バックデータ（第4章）について集大成しました。なお、基準値策定に際しては上記機関のほか、科学技術庁金属材料技術研究所より試験データの提示を受け、効率的な研究推進に努めました。

本稿が関係者以外にも広く読まれ、14年間にわたり積み上げた高速増殖炉用材料開発の理解の一助になることを望みます。

「序 文」

(社) 日本溶接協会

専務理事

森 直 道

昭和 60 年に(社)日本溶接協会 原子力研究委員会に、高速増殖実証炉用新材料研究を目的とした委託研究の場として F S G 小委員会が発足し、その後 F N C 小委員会、F M E 小委員会と引継がれてきた小委員会はその目的を十分に達成し、平成 10 年をもって 14 年間の研究活動を終了することになりました。研究の終了に当たり 14 年間の活動成果を本小冊子として発刊されますことは、誠にご同慶に存じます。

顧みますと、蒸気発生器用構造材料としての改良 9 C r - 1 M o 鋼とその溶接技術の開発を F S G 小委員会で、その後 F N C 小委員会として継続し、さらに炉容器及び 1 次系材料として 3 1 6 F R 鋼とその溶接技術の開発を目的とした F M E 小委員会と発展し、一貫して高速増殖炉構造材料とその溶接技術の開発に多大な成果を挙げて参りました。その成果は、委託者である電気事業連合会並びに日本原子力発電株式会社のご期待に十分に答えると共に国際的にも高い評価が得られております。

これはひとえに、委託者の長期的視点に立った適切なお指導、主査である東京大学教授朝田先生の豊かな人間性と卓越したご指導、さらに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等のご協力のもとに、原子力プラントメーカー、材料メーカー、溶接材料メーカーによる全日本的な研究集団が組織され、我が国エネルギー政策の根幹である高速増殖炉開発に向けての関係者全員の情熱と英知とを結集させた賜であると言えましょう。

また、本小委員会は技術の伝承に配慮され、若手研究者の参画による積極的な世代交代を推進され、常に活力ある技術集団の結集維持を図ってこられたのも特筆すべきことであり、今後の研究活動の範となるものと確信しております。溶接協会としてこのような研究の場を提供出来たことを誠に喜ばしくまた誇りに存ずる次第であります。

最後に、14 年間の活動をまとめた本小冊子が広く活用され、この研究成果が 2 1 世紀に建設予定の高速増殖炉実証炉に開花具現されることを、併せて構造材料技術及び溶接技術の一層の発展を祈念し、ご挨拶といたします。

「主 査 挨 拶」

東京大学 大学院 工学系研究科

機械工学専攻 教授

朝 田 泰 英

FME小委員会はその目的を十二分に達成し、平成10年度をもって活動を終了することになりました。顧みますと、昭和60年にFSG小委員会として発足し、高速増殖実証炉蒸気発生器用材料としての改良9Cr鋼適用性検討を開始し、その後、FNC小委員会に発展して大規模な試験研究を行い、更に、316FR鋼の炉容器材料としての適用性検討を含めた試験研究を行うFME小委員会に発展し、今日に到りました。この14年間の活動を一言で表せば、これらの材料が高速増殖実証炉で支障無く使用できることを多くの裏付けデータを用意して実証し、使用に際しての基準を確立したことです。

この間、先行する米国オークリッジ国立研究所との緊密な研究協力体制を確立し、また、米国機械学会ボイラー圧力容器規格委員会の高温設計小委員会(ASME SGETD)に多くの情報を提供して国際協力を果たす等、国際的にも幅広い活動を行って、真の意味で高速増殖炉構造材料の開発研究と関連技術での日本の中心として活動する事ができました。

この様に有効な活動が出来ましたのは、委託者である電気事業連合会、並びに、日本原子力発電株式会社の御高配によるところが多大でありました。同時に、歴代委員各位、幹事各位の熱意と努力の賜物であったと考えます。また、委員として材料開発、評価、設計、溶接技術等の多くの専門家が参加され、自由な環境で意見と情報の交換を行うことが出来たことも、成功の一因でありましょう。

技術面での成果もさることながら、この小委員会の場が技術の伝承と若手技術者の育成にも大きな役割を果たしてきたことを指摘する事ができます。高速増殖炉計画の様に息の長い仕事は一世代の技術者集団で成就する事は出来ません。経験を伝え生かしつつ、そこに新しい考えを入れて常に発展していく事が必要です。その意味で、小委員会は終了したのではなく次の世代に技術開発を託して更なる発展を遂げたと言うべきでありましょう。

14年間主査を務めさせて頂き一時代を画する技術活動に参加出来たことは、私にとりましても望外の喜びであります。御指導ご尽力頂いた関係者の皆様に心から御礼申し上げ、併せて、高速増殖実証炉と材料構造技術の一層の発展を願って、主査挨拶に換えさせて頂きます。

「委託者挨拶」

日本原子力発電(株) 研究開発本部

高速炉開発部長

植 田 正 弘

多くの技術の中でも材料技術は、産業を支える最重要な技術の1つであります。たとえば、現在の技術革新を象徴するコンピュータは、人類が半導体という新しい材料を自在に使いこなすことで発展しました。

日本原子力発電(株)は電力9社と電源開発からの委託を受けて昭和60年から高速増殖実証炉の開発を進めていますが、この実証炉では、高速増殖炉の実用化を展望した経済性向上をねらって、もんじゅに比べ原子炉出口温度を高くして熱効率を上げ、もんじゅでは蒸発器と過熱器に分離していた蒸気発生器を一体貫流型としています。その結果、厳しい性能要求を満足する新しい材料を開発する必要が生じたので、材料研究に優れた実績をお持ちの(社)日本溶接協会殿にこの仕事を願うこととしました。

昭和60年に最初の研究である「蒸気発生器構造材の品質向上の研究」がスタートし、日本溶接協会にFSG小委員会が設けられました。その後、委員会の名称はFNC小委員会からFME小委員会と変遷しましたが、一貫して材料分野における日本の最高の英知を結集した活発な活動を続けてきました。その結果、従来のオーステナイト系ステンレス鋼に比し格段に高温強度に優れた316FR鋼と、高温強度と水蒸気中耐SCC性に優れた改良9Cr鋼を実証炉に適用できる見通しが示されました。また、本小委員会では信頼性の高い材料試験データが取得され、データの深い分析評価を通じてこれら新材料の基準化に大きな寄与をしています。委託者として望みうる最高の成果だと感謝いたしております。

日本原子力発電(株)は、実証炉に適用する高温構造設計方針(案)をFME小委員会の活動成果を始め技術の進歩を反映した合理的なものとするため、(社)日本溶接協会殿に願うしてDDS委員会を設けております。関係の方々には引続き暖かいご支援をお願いする次第です。

末筆になりましたが、本小委員会の14年間の活動に注がれた関係各位の多大なるご尽力に心からの感謝を申し上げますとともに、皆様の今後のますますのご活躍を祈念いたしております。