高温ガス炉用黒鉛材料に関する試験研究

日本原子力研究所における最近の研究成果

佐々木 泰一*, 奥 達雄*, 今井 久*

Research on Graphites for High-Temperature Gas-Cooled Reactor

Recent Results in JAERI

By Yasuichi SASAKI, Tatsuo OKU and Hisashi IMAI

A review of research on graphites for High-Temperature Gas-Cooled Reactor in JAERI is given. At first such problems as (1) dimensional change by irradiation, (2) thermal conductivity and coefficient of thermal expansion, (3) mechanical properties, and (4) high temperature corrosion, were pointed out and discussed associated with the core structural point of view. Secondly, recent results of graphites in JAERI are reviewed corresponding to the above problems and also future programs are described.

KEYWORDS: HTGR type reactors, graphite, radiation effects, neutron irradiation, thermal conductivity, thermal expansion, oxidation, high temperature, mechanical properties

I. ま え が き

日本原子力研究所が開発研究を進めている多目的高温ガス実験炉の炉心構造物は、反射体も含めて多量の黒鉛材料で構成されている。したがって、この実験炉の想定運転期間中の安全性を解析するには、実際に使用する黒鉛材料について炉内環境条件下での諸性質の変化を詳細に調べておくことが必要である。

本試験研究では、多目的高温ガス実験炉に最適の実用黒鉛材料の銘柄を選定するとともに、選定した黒鉛材料について同炉の設計、安全解析ならびに安全審査に必要な総合的基礎資料を用意することを目指している。このため、同炉の開発計画に沿って JMTR で高温照射試験を進めるとともに、①高温照射による寸法変化などの基礎的諸物性、②機械的諸性質、③高温腐食に関する諸現象、などについて試験研究を進めている。ここに、これまでに得た主な試験研究結果を報告する。

本試験研究に使用した黒鉛材料は、高温ガス炉用黒鉛材料のうちから実用性を精査検討して選定した石油コークス系ならびにギルソナイト系の数種の候補材料である(第1表)。

II. 多目的高温ガス炉用黒鉛材料における問題点

1. 照射による寸法変化

原子炉内の高速中性子との衝突により損傷を受けた黒鉛結晶は、*c* 軸方向に膨張し、*a* 軸方向には収縮することが知られている。したがって、実用材料の黒鉛多結晶体としても、結晶子の配向、気孔の分布および割合等に依存してバルクの寸法に変化を生じることになる。この寸法変化の程度は黒鉛材料の銘柄はもちろんのこと、照射温度あるいは照射量に大きく依存する⁽¹⁾こともまたすでにわかっている。CO₂ 冷却炉および高温ガス冷却炉用として、これまでに開発されてきた黒鉛材料の照射効果については多くの研究が行われ、とくに照射による寸法変化に関するデータは豊富である⁽¹⁾。しかしながら、従来のガス冷却炉の冷却材の出口温度は高くても AVR の 850°C どまりであったが、原研で開発研究中の多目的高温ガス実験炉の冷却材出口温度は 1,000°C である。そのため、黒鉛ブロック製燃料体および反射体の温度は最高 1,250°C まで上昇することが予想されている。1,000°~1,250°C にお

* 日本原子力研究所(Japan At. Energy Res. Inst.)
(1975年 12月18日 受理)

ける黒鉛材料の照射効果に関する研究はまだそれほど多くなく、とくに寸法変化挙動の詳細については十分なデータが得られているとはいえない。高温での寸法変化挙動は、燃料体、燃料棒、反射体等に発生する応力、ひずみおよび変形、曲がりを決定するために必要かつ重要なデータであり、炉心安全性の検討評価には欠くことのできないものである。

2. 熱伝導率, 熱膨脹係数

多目的高温ガス炉の燃料体は、燃料コンパクトとそれを充填するための黒鉛スリーブおよび燃料棒を収容するための黒鉛ブロックから構成されている。原子炉の運転中あるいは停止中、黒鉛ブロックおよび黒鉛スリーブに熱応力および照射による寸法変化に基づく照射応力が発生することはよく知られている⁽²⁾。熱応力はヤング率、熱膨脹係数、温度差に比例する。材料中の温度差は材料自身の熱伝導率に依存する。したがって、黒鉛スリーブと黒鉛ブロックの熱応力分布の時間的变化を評価し、破損の可能性がないことを確認するためには、中性子束の空間分布はもちろんのこと、熱伝導率、熱膨脹係数に関する照射温度、照射量、試験温度依存性を詳細に知ることが必要である。

3. 機械的性質

黒鉛スリーブと黒鉛ブロックに生ずる照射応力は、主として寸法変化と照射クリープに依存する⁽²⁾。したがって、照射応力は照射温度と照射量に大きく依存することになる。1,000°C以下で照射後の寸法変化に関するデータは比較的豊富であるが、1,000°C~1,300°Cの間の照射挙動については全体的に報告が少ない。一方、照射クリープに関するデータもきわめて少なく、とくに1,000°C~1,300°Cにおける照射クリープについては、費用と実験技術上の問題から、できるだけ使用予定の黒鉛銘柄についてデータをとることが望ましい。熱応力は原子炉の運転停止とともに消失するが、照射応力は停止中も存在する。照射による寸法変化と照射クリープに関するデータをもとにして、黒鉛構造物中の応力は評価できることになるが、このような応力は黒鉛構造物中において許容し得るある応力値より小さいことが要求される。種々の原因によって強度の値が大ききばらつく黒鉛の場合、この許容応力は確率論をもとにして信頼限界も含めて決定することが望ましい。また、照射により強度は増加し、破壊ひずみは減少することが知られているが、強度に及ぼす照射効果に関する情報はきわめて限られている。また、照射試験は通常小さい試料(直径5~6mm)によって行われるが、実際の黒鉛構造物はそれより10~100倍大きい

から、体積効果もまた考慮に入れることが必要となる。プラントの運転、停止の繰返しおよび地震等の振動によって黒鉛は繰返し応力を受けるので、疲労挙動も炉心構造設計における重要な性質の一つであるが、現在きわめてわずかの知見しか得られていないようである。照射効果とともに黒鉛の強度に及ぼす高温雰囲気の影響は、強度の低下をもたらす可能性があり⁽¹⁸⁾重要であると考えられるにもかかわらず、ほとんど情報がないのが現状である。

4. 高温腐食

冷却材 He 中に混入してくる腐食性不純物ガス(酸素、水蒸気、CO₂ 等)は高温、放射線照射下の環境で黒鉛構造物と反応して黒鉛のガス化腐食が進行する。この現象が過度に進展すると、黒鉛構造の機械的強度の減少や炉心部全体にわたってすき間が大きくなったり、ブロックの支持が不十分になったりするおそれがある。また、腐食による黒鉛構造物の熱伝導率や表面熱輻射率の変化および冷却材 He の流動状態の変化は、炉心における熱伝達の変化や不安定性をもたらす原因となり、炉心核特性、動特性にも影響を及ぼすことが憂慮される。これまで炭素や黒鉛のガス化腐食反応に関する研究は数多く行われてきたが、炉心環境下のように熱エネルギー以外に放射線エネルギーが重複作用して腐食を加速する場で得られた資料は少ない。また、これらの結果は黒鉛の材質や設定された腐食条件による差異が大きく、各腐食反応試験に固有のデータと理解するのが妥当である。したがって、黒鉛材料の炉内腐食評価資料として、異なる腐食環境下で得られたデータを使用する場合、慎重な配慮が必要とされるが、他方精度の高い評価を可能ならしめる豊富なデータを準備することが望まれる。

Ⅲ. 最近の研究成果の概要

供試黒鉛銘柄とその主な性質を第1表に掲げる。型込材およびH-327黒鉛については、実物大の燃料体黒鉛ブロックを製作できるだけの大きさの素材が入手可能である。これらの銘柄の中から、当初、等方性で照射による寸法収縮量の少ないことなどの理由から、ギルソナイトコークス系等方性黒鉛(IM2-24)を燃料体および反射体用の第1候補材料としていたが、ギルソナイトコークスが供給不能となって以来、現在では石油コークス系準等方性黒鉛(SM1-24)が第1候補材料に選定されている。SM1-24黒鉛は、最近入手し各種試験を始めたばかりであり、また照射データも得られていないので、ここでは主としてギルソナイトコーク

第 1 表 供試黒鉛材料の主な性質

銘 柄	成形法	見 掛 け 密 度 (g/cm^3)	(002) 面間隔 $C_0(\text{\AA})$	BAF†	ヤ ン グ 率 (10^3 kg/mm^2)	引 張 強 さ (kg/mm^2)	コ ー ク ス
IM-2	型 込	1.78	6.742	1.02	// 1.22 ⊥ 1.21	// 2.24 ⊥ 2.12	
IM 2-24	"	1.78	—	—	// 1.21 ⊥ 1.30	// 1.98 ⊥ 2.18	ギルソナイト系 等方性
IE 1-24	押 出	1.80	6.733	1.08	// 1.42 ⊥ 1.18	// 2.84 ⊥ 1.54	
7477 PT	型 込	1.74	6.723	1.04	// 0.98 ⊥ 0.99	// 2.24 ⊥ 2.07	石油系 微粒等方性
7477	"	1.76	6.734	1.04	// 1.16 ⊥ 1.16	// 2.68 ⊥ 2.07	
SM 1-24	型 込	1.77	6.735	1.05	// 0.95 ⊥ 0.99	// 1.68 ⊥ 1.53	石油系 微粒等方性
H-327	押 出	1.78	6.721	1.50	// 1.51 ⊥ 0.71	// 1.23 ⊥ 0.70	
SMG	"	1.76	6.726	1.11	// 1.08 ⊥ 0.85	// 1.68 ⊥ 0.99	針状石油系 異方性
G 163 As	"	1.77	6.723	1.18	// 1.32 ⊥ 1.19	// 1.58 ⊥ 0.98	
SEG-RM-H	"	1.71	6.723	1.68	// 1.51 ⊥ —	// 1.68 ⊥ —	

† BAF: Bacon Anisotropy Factor, //, ⊥: 型込圧と押出軸に平行と垂直方向を意味する。

ス系等方性黒鉛(IM-2), 石油コークス系微粒等方性黒鉛(7477 PT)および針状コークス系異方性黒鉛(H-327)等に関する結果を例に挙げることにする。

高温照射試験は, 原研大洗研究所材料試験炉部の協力を得て JMTR で, これまで約10本のキャプセル照射を終了した。この間800°~1,200°Cにおいて約600個の試料を $\sim 4 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2 (E > 0.18 \text{ MeV})$ まで照射し, 照射後試験を行なった。黒鉛試料の高温高照射試験はわが国では初めての経験であったが, いままでのとこ

ろ照射技術の点で大きな支障はなかった。

1. 寸法変化

第1図(a)は, ギルソナイト系等方性黒鉛の寸法変化の照射量依存性を示す⁽³⁾。照射量の増加とともに寸法が減少していくことを示している。()内の数字は照射温度である。型込材(IM-2)では異方性を認めたいが, 押出材(IE 1-24)では明瞭な異方性が認められる。寸法変化の程度は Blackstone らの結果⁽⁴⁾とよく合致している。針状石油コークス異方性黒鉛(H-

(a)ギルソナイトコークス系黒鉛

(b)石油コークス系黒鉛

第 1 図 照射による黒鉛の寸法変化⁽³⁾

327, SMG)および石油コークス系微粒等方性黒鉛(7477 PT)の寸法変化の照射量依存性を第1図(b)に示す⁽³⁾。一般に、異方性材料は照射による寸法変化が比較的大きくなる傾向にある。H-327(//)とSMG(//)では約1,000°Cで $\sim 3 \times 10^{21}$ n/cm² ($E > 0.18$ MeV)まで照射した時、 $\sim 0.4\%$ の収縮を示している。一方、垂直方向の場合その約 $\frac{1}{2}$ の収縮となった。これらの寸法変化挙動は、照射欠陥による層間隔の増加と層面方向の収縮とが黒鉛組織内気孔と相互作用した結果によるものである。照射による黒鉛結晶内層間隔の増加は結晶子を膨張させるが、結晶子の膨張は気孔体積の減少をもたらす、結局のところ低照射量($\sim 1 \times 10^{21}$ n/cm², $E > 0.18$ MeV)では、膨張として全体の変形を左右しえず、結晶子の層面方向の収縮、結晶子間の相互作用の結果生じる結晶子自身の変形および気孔構造の変化が全体の変形に大きく寄与しているものと考えられる。高温照射による黒鉛中の気孔体積の減少をIM-2黒鉛の場合について第2図⁽⁵⁾に示す。

第2図 ギルソナイト系黒鉛の気孔径分布曲線に及ぼす照射の影響⁽⁵⁾

2. 熱伝導率, 熱膨脹係数

高温照射前後のギルソナイトコークス系等方性黒鉛(IM-2)の熱膨脹係数の温度依存性を第3図⁽⁶⁾に示す。高温では、照射量の増加に伴いほぼ一定の値に達し、かつわずかに減少の傾向をもつことがわかる。

ギルソナイトコークス系等方性黒鉛(IE 1-24)と石油コークス系微粒等方性黒鉛(7477 PT, 7477)の熱伝導率の温度依存性を第4図⁽⁷⁾に示す。温度上昇とともに熱伝導率が減少していくことがわかる。

3. 機械的性質

第1表にあげた各種原子炉用黒鉛材料について、引

第3図 ギルソナイト系等方性黒鉛(IM-2)の熱膨脹係数の温度依存性と高温照射効果⁽⁶⁾

第4図 高温ガス炉用黒鉛の熱伝導率の温度依存性⁽⁷⁾

張応力-と圧縮応力-ひずみ曲線をそれぞれ第5図(a)⁽⁸⁾と(b)⁽⁹⁾に示す。引張応力-ひずみ曲線では照射前0.3%前後の破断ひずみを示したものが、770°Cで 4.5×10^{20} n/cm² (> 0.18 MeV)まで照射した場合、ヤング率と引張強さが増加し、破断ひずみは減少していることがわかる。圧縮応力-ひずみ曲線の場合、ほぼ同じ照射条件で破断ひずみは約5%から2.5%へ大きく減少している。これは圧縮応力-ひずみ特性において顕著に見られる塑性変形が、照射欠陥により強く制限を受けたことによる。

黒鉛は金属と異なり照射によってヤング率が大きく増加することは古くから知られている。IM-2黒鉛のヤング率に及ぼす高温照射の影響を第6図⁽⁸⁾に示す。照射温度が1,000°C以上になると1,000°C以下の照射効果より小さいことが認められるが、 1×10^{21} n/cm² (> 0.18 MeV)程度で約60%, 2×10^{21} n/cm² (> 0.18 MeV)以上の照射量で約20%の増加を示している。曲げ強さもヤング率とほぼ同様な傾向を示し、照射により増加する。圧縮強さと圧縮破断ひずみの照射による変化を第7図⁽⁸⁾に示す。照射により圧縮強さは増加し、 $1 \sim 2.5 \times 10^{21}$ n/cm² (> 0.18 MeV)で約10%の一定値と

(a) 引張応力-ひずみ曲線⁽⁸⁾ (b) 圧縮応力-ひずみ曲線⁽⁹⁾第5図 ギルソナイト系等方性黒鉛の
応力-ひずみ曲線 第6図 ギルソナイト系等方性黒鉛の
ヤング率の照射量依存性⁽⁸⁾

なり、 $3 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2 (>0.18 \text{ MeV})$ 以上の照射量で20%以上に増加していく傾向にあることがわかる。一方、破断ひずみは照射前の約2.8%から、 $1 \sim 3 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2 (>0.18 \text{ MeV})$ において約1.5%へ減少している。

黒鉛の破壊強度は大きなバラツキを示すため、統計

第7図 ギルソナイト系等方性黒鉛の圧縮
強さと破壊ひずみの照射量依存性⁽⁸⁾

的处理を行なって取り扱う方が合理的である。構造物のある部分にかかる応力レベルが計算により推定された場合、その部分の破壊の確率あるいは破壊しない確率は、黒鉛の破壊応力の分布を正規あるいはWeibull分布等の確率分布により処理することによって求めることができる。第8図⁽¹⁰⁾は、IM 2-24黒鉛(ギルソナイトコックス系、等方性)の破壊の確率 P_f を

$$P_f = \frac{j-0.3}{N+0.4}$$

によって表わしたときの引張強さの確率分布曲線を示している。ここで、 N は試験片の総数、 P_f は引張強さを小さい方から順に並べたとき j 番目の試験片に対応する破壊の確率を意味する。第8図には、 $200^\circ \sim 300^\circ \text{C}$ で $7.4 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2 (>0.18 \text{ MeV})$ まで照射した場合の確率分布曲線も同時に示されている。

第8図 ギルソナイトコックス系等方性
黒鉛の引張強さの確率分布曲線⁽¹⁰⁾

IM 2-24 黒鉛の照射前後の引張強さの平均値と標準偏差は、それぞれ次のようになる。

非照射材 $\sigma_t = 1.85 \pm 0.13 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$

照射材 $\sigma_t = 2.24 \pm 0.24 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$

この結果から、照射後わずかにバラツキが増加してい

ることがわかる。

破壊強度が試験片の体積に依存することはよく知られていることである。ここでは、圧縮強さの試料体積依存性の例を第9図⁽¹¹⁾に示す。体積が1.5桁増加すると約10%圧縮強さが減少することがわかる。

第9図 石油コークス系微粒等方性黒鉛の圧縮強さの体積依存性⁽¹¹⁾

一般に黒鉛のヤング率および強度は温度上昇とともに増加することが知られている。第10図⁽⁹⁾は、IM-2黒鉛の室温～1,400°Cにおけるヤング率の変化を示している。約1,000°Cまではヤング率は室温の値とほとんど変わらず、1,000°C以上において増加し、1,400°Cで約20%の増加を示した。これは他の銘柄の黒鉛についても同様であった。

第10図 ギルソナイト系等方性黒鉛のヤング率の温度依存性⁽⁹⁾

黒鉛のヤング率と引張強さは圧縮応力を付加することによって減少することが知られている⁽¹²⁾⁽¹³⁾。圧縮応力付加中あるいは付加前後のヤング率の変化は、実用上の観点からも重要な問題であると考えられる。第11図⁽¹⁴⁾に、照射前後のIM-2黒鉛のヤング率に及ぼす圧縮応力付加の影響を示す。照射前後において圧縮応力付加中のヤング率は、圧縮応力付加後のヤング率より大きな減少を示した。照射前の場合、約 $0.9\sigma_f$ の応力を加えたとき 0.78×10^3 から 0.68×10^3 kg/mm²へ約10%以上減少していることがわかる。また、照射後の

場合、応力付加前でも約35%以上ヤング率が増加し、破壊応力付近での応力付加中のヤング率は付加後のヤング率の約 1.1×10^3 から 0.9×10^3 kg/mm²へ大きく減少している。すなわち、応力付加中のヤング率は照射後とくに著しい減少を示すことは注目に値する。この傾向は他の銘柄の黒鉛についても見られた。

第11図 照射前後のギルソナイトコークス系黒鉛のヤング率に及ぼす圧縮応力付加の影響⁽¹⁴⁾

黒鉛の疲労についてはきわめて報告が少なく、有効なデータが少ないのが現状である。圧縮付加応力の繰返し数をパラメータに付加応力の大きさの関数としてヤング率を調べたものが第12図⁽¹²⁾である。繰返し数の増加に伴いヤング率は減少していくことが認められ

第12図 ギルソナイト系等方性黒鉛のヤング率に及ぼす圧縮繰返し応力の影響⁽¹²⁾

る。このことは少なくとも圧縮応力付加の繰返しにより黒鉛の内部構造に変化を生じ、ヤング率を変化させているものと考えられるので、引張強さ等の強度もヤング率と同様に变化するはずであり、統計的な取扱いも含めて今後研究を進めていくべき課題であると考えられる。

4. 高温腐食反応

高温腐食反応試験では各種の試験に着手もしくは計画しているが、ここに述べる結果は非照射下の実験室規模試験から得られたものである。

実験室規模の場合、ガラス製腐食反応試験装置を使用し、黒鉛試料(11 mm ϕ $\times$ 50 mm)についてガス全圧 1 atm, ガス流速 4~7 cm/sec, 腐食性不純物ガス濃度数千~数万 Vpm の反応条件下で腐食反応試験を進めている。第13図⁽¹⁵⁾に、反応温度 1,000°C, He 中水蒸気濃度 6,500 Vpm で得られた各種黒鉛の見掛けの腐食反応速度の時間変化を示す。中性子照射は JMTR の K10 照射孔において、温度 1,000°C で 6×10^{20} n/cm² (>0.18 MeV)まで行われた。照射後黒鉛の腐食反応速度は一般に非照射黒鉛と比較して 3~10 倍増加したが、中には 7477 のように逆に減少する黒鉛も見受けられている。

第13図 黒鉛と水蒸気の 1,000°C における反応⁽¹⁵⁾

第14図⁽¹⁶⁾は、多目的高温ガス炉心黒鉛ブロック候補材料 SM 1-24 の非照射試料について得られた水蒸気腐食反応速度の時間変化挙動である。図中の破線は試

料を加工成形後 2,000°C で焼ナマシした黒鉛について得られた結果である。非照射黒鉛の場合、SM 1-24 の水蒸気腐食反応速度は IM 2 や 7477 PT と同程度の値が得られている。

第14図 1,000°Cにおける石油コークス系準等方性黒鉛(SM 1-24)の水蒸気との反応⁽¹⁶⁾

第2表に、各種非照射黒鉛の水素による腐食反応速度を示す⁽¹⁶⁾。これらの値は温度 1,025°C, He 中の水素濃度 37,000 Vpm の反応条件下で得られたものである。水素による黒鉛の腐食反応速度は、水蒸気による腐食反応速度の $1/10^4 \sim 1/10^5$ 程度の値であり⁽¹⁶⁾、炉内条件下でも大きなトラブルの原因となる可能性は少ないだろう。

第2表 He(1 atm)中の水素による黒鉛材料の腐食反応速度⁽¹⁶⁾
(1,025°C, $P_{H_2} = 28$ atm)

Specimen	Direction	Reaction rate ($\mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{hr}) \times 10^{-2}$
A	(//)	18
B	"	8
C	"	5
IE 1-24	"	2~6
IM 2	"	8~24
IM 2-24	"	24
SE 2-24	"	2
H327	"	2
7477	"	18
7477 PT	"	5

第15図⁽¹⁷⁾に、圧縮応力を加えた後の H-327 黒鉛について測定した残留ひずみと反応活性との関係を示す。構造物として使用される以上、黒鉛にはさまざまな機械的応力が作用するものと考えられるので、化学的性質に与えるこれらの影響を検討する必要がある。

図は圧縮後いろいろな程度のひずみを残す黒鉛を空气中 430°C で腐食させ、腐食反応速度に与える残留ひずみの影響を示したものである。H-327 黒鉛の反応活性はひずみの導入で最高 4 倍程度増加したが、この増加は圧縮後試料を 2,000°C で焼ナマシした後では消滅する。

第15図 大気中腐食反応速度に及ぼす圧縮残留ひずみの影響⁽¹⁷⁾

以上の結果以外に、水蒸気および水素による腐食反応速度の温度依存性および濃度依存性、活性水素による腐食反応速度、黒鉛含有金属不純物の腐食反応速度に与える触媒効果、腐食反応の初期に観察される過渡的過程に関する実験、また腐食反応に関連性のある吸着ガスに関する研究結果も得られている。

Ⅳ. あとがき

ここには、これまでに得た主要な結果の概要を記したが、一部の内容については誌面の都合で詳細に述べることができなかったものもある。それらについては別の機会に報告する予定である。

多目的高温ガス炉の炉心に使用する黒鉛材料の銘柄選定にあたっては、経済的、製造技術的および構造安全上の観点から抽出された諸因子について数種の候補材料を検討したところ、現在、石油コークス系準等方性黒鉛(SM 1-24, 英国 AGL 社製)が第1候補材料として選ばれている。しかし、将来はわが国においても高温ガス炉用黒鉛材料が製造されることが期待される。

今後の計画では、はじめに記した目標に沿って試験

研究を継続するとともに、黒鉛ブロックおよび黒鉛スリーブの静的および動的各種(クリープ、疲労、衝撃)強度試験を実施し、さらに高温照射クリープ試験をJMTRにおいて約900°Cで行う予定である。また、照射前後の熱伝導率を室温から1,000°Cの範囲で測定できる装置の製作も進めている。高温腐食反応試験では、小試片による実験室規模を継続して照射後黒鉛のγ線照射下腐食反応へ発展させるとともに、並行して進めている中間規模試験をさらに充実させ、OGL-1等による炉内腐食試験へと順次発展させる計画である。

ここに紹介した試験研究は、原研黒鉛材料研究室員が一致協力して進めており、野村真三、黒沢 武、福田保昌、松尾秀人、衛藤基邦、斎藤 保、藤崎勝夫、藤井貴美夫、井上 孝(昭和電工、外来)の各研究員の努力と協力の成果を研究担当者がとりまとめたものである。また研究嘱託として常にご指導、ご鞭撻をいただいた野田稲吉博士および高橋洋一助教授に深甚の謝意を表する次第である。

— 参考文献 —

- (1) ENGLE, G.B., EATHERLY, W.P.: *High Temp.-High Press.*, 4, 119 (1972).
- (2) 奥 達雄, 衛藤基邦: 本誌, 16[8], 418 (1974).
- (3) 松尾秀人, 他: 本会昭50年会要旨集, E25, (1975).
- (4) BLACKSTONE, R., et al.: "Radiation Damage in Reactor Materials", vol. II, p. 543 (1969).
- (5) 佐々木泰一, 他: 未発表データ(高温ガス炉用黒鉛材料に関する試験研究).
- (6) 松尾秀人, 他: 私信(高温ガス炉用黒鉛材料に関する試験研究).
- (7) 高橋洋一, 他: 炭素, 投稿予定.
- (8) 奥 達雄, 他: 未発表データ.
- (9) 奥 達雄, 他: 第26回炭素材料研究発表会要旨集, p. 53 (1973).
- (10) 原研: 多目的高温ガス炉研究開発の現状, (1975).
- (11) 衛藤基邦, 他: 文献(3), E26.
- (12) ETO, M., OKU, T.: *J. Nucl. Mater.*, 46, 315 (1973).
- (13) OKU, T., ETO, M.: *Carbon*, 11, 639 (1973).
- (14) 原研: 多目的高温ガス炉研究開発の現状, (1974).
- (15) 野村真三, 他: 本会昭 49 分科会予稿集, B22, (1974).
- (16) IMAI, H., et al.: *Carbon*, 13, 333 (1975).
- (17) 今井 久, 他: 炭素材料学会第2回年会要旨集, p. 76 (1975).
- (18) BROCKLEHURST, J.E., et al.: *J. Nucl. Mat.*, 35, 183 (1970).