113. 大型構造機器実証試験装置(HENDEL)の概要と建設

下村 寛昭*, 田中 利幸*, 高瀬 和之*, 国富 一彦*,
稲垣 嘉之*, 丸山 創*, 井沢 直樹*, 飯野 徳栄**

(1983年 8月5日 受理)

Construction of Helium Engineering Demonstration Loop (HENDEL) for VHTR

By Hiroaki SHIMOMURA, Toshiyuki TANAKA,
Kazuyuki TAKASE, Kazuhiko KUNITOMI, Yoshiaki INAGAKI,
So MARUYAMA, Naoki IZAWA and Tokuei IINO

The helium engineering demonstration loop (HENDEL) at Japan Atomic Energy Research Institute is so designed as a large-scale model test facility for the demonstrative operation of high-temperature components for the experimental very high-temperature gas-cooled reactor (VHTR). It required 5yr for the design and construction and its initial operation was begun in February 1982, and full power was reached at the middle of March of the same year. Here full power corresponds to the operation of the facility at the maximum helium gas temperature of 1,000°C.

This report describes the general outline of the HENDEL and mentions technical problems with the loop systems and components under helium and high-temperature conditions.

KEYWORDS: VHTR type reactors, helium gas loop, large-scale components, very high temperature, overviews, construction, technical problems, design, reactor components, helium, reactor engineering

1. 緒 言

多目的高温ガス炉は、約1,000°Cの高温Heガスを取り出すことを目的として開発が進められているものであり、単に発電だけでなく、水蒸気改質反応による炭化水素の分解や、石炭液化、水素製造等の熱源として利用することが可能である。このような発電以外の目的、特に化学反応を利用した2次エネルギーの製造に用いられる多目的高温ガス炉(VHTR)の開発の第1段階として、実験炉の建設が計画されている。

実験炉を構成する黒鉛ブロック燃料体、高温炉床構造物、炉心拘束機構、中間熱交換器、配管、弁等はあらかじめ、各種の解析、計算、基礎実験、部分模型試験等の結果を反映させて、設計が進められるが、実験炉への組み込みに先立って、その機能、強度特性などの総合性能および安全性の確認を行うために、大規模モデルによる実験炉実機条件下での試験を行うことが必要であ

る。大型構造機器実証試験ループ(HENDEL; Helium Engineering Demonstration Loop)は、このような目的を達成するために建設したものである⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

HENDELは、マザーループ(M)**、アダプタセクション(A)および試験部(T)からなる。これらのうち、本体部であるM+Aループ**は、試験部に最高1,000°C、4MPaのHeガスを供給する装置であり、1982年2月下旬から、温度1,000°Cで180h、延べ600hの総合機能試験を終え、3月下旬完成した。以後、試験運転を行い、主要構成機器およびループ全体性能の特性試験を実施している。一方、M+Aループと接続する試験部のうち、燃料体スタック実証試験部(T₁)**について

* 日本原子力研究所(Japan At. Energy Res. Inst.)

** 川崎重工業(株)(Kawasaki Heavy Ind., Ltd.)

** マザーループは、マザー第1ループ(M₁)とマザー第2ループ(M₂)とからなり、アダプタセクション(A)を含めて、M+Aループと呼ぶ。

** 試験部Tの一番目という意味でT₁と以下呼ぶ。

では、1983年3月試運転を終え、1チャンネル試験装置および多チャンネル試験装置を用いた伝熱と流動の試験を開始した。炉内構造物実証試験部(T_2)を中心とした他試験部についても、設計製作および技術的検討を進めている。

本報は、全体システムの概要として、HENDEL 計画の概要および M+A ループの建設経過、特に直面した技術的課題について述べたものであり、別途報告する特性試験報告の序論となるものである⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

II. HENDEL 計画の概要

多目的高温ガス実験炉は、約 $1,000^{\circ}\text{C}$ という極めて高い原子炉冷却材出口温度の達成を目指しており、黒鉛ブロック燃料体、高温炉床構造物、中間熱交換器、配管、弁等実績がなく実証試験を必要とする構造物を有している。HENDEL は、これら各種基礎試験および部分模倣試験、解析等を基に設計された大型高温構造機器の性能、健全性を実証するために建設されたものである。本体部である M+A ループは、大型構造機器を試験するため、実験炉の炉心冷却系 1 ループの $\frac{1}{2}$ 流量 (4 kg/s) で最高 $1,000^{\circ}\text{C}$ 、 4.0 MPa という高温、高圧の He ガスを循環することのできる世界最大規模の試験

装置である。

HENDEL では、次に示す構造物の試験を計画している。Fig. 1 に、実験炉と試験計画の関連を示す。

- (1) 燃料体スタック実証試験(T_1)
- (2) 炉内構造物実証試験(T_2)
- (3) 大流量実証試験(T_3)
- (4) 高温機器実証試験(T_4)

このほか、将来 HENDEL を用いて熱利用系の実証試験が行えるように、調査・検討が進められている。

1. ループ構成

M+A ループは、マザー(M_1 および M_2 ループ)とアダプタ(A ループ)および共通補助系(I_n , M_p , M_u , U_o 系)に分けられる。共通補助系と M_1 ループの運転により T_1 試験を、 M_2 ループの運転により T_3 試験を、 M_2 +A ループの運転により T_2 , T_4 試験が行えるようになっている。

Fig. 2 に全体系統図を、Table 1 にループの主要仕様を、Table 2 に主要機器の仕様を示す。

(1) M_1 ループ

M_1 ループは、 T_1 試験部に He ガスを供給する設備であり、実験炉の炉心を構成する黒鉛ブロック燃料体の伝熱と流動の試験を実施するためのループである。流量は $3\sim 400\text{ g/s}$ の範囲を必要とするため、 M_1 ループでは $25\sim 400\text{ g/s}$ の範囲で制御し、小流量域は T_1 試験部で制御するように計画されている。温度、圧力条件は、加熱器 H_1 出口で最高 450°C 、 4.0 MPa である。

Fig. 1 Schematic flow diagram of experimental VHTR and its connection with HENDEL test sections

Table 1 Specifications of HENDEL M+A section

Test section	M ₁	M ₂ +A			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	
Operation mode	M ₁ -I	M ₂ -I	M ₂ -II	M ₂ -I	M ₂ -II
Inlet temperature of test section(°C)	400	400	880	400	1,000
Pressure (MPa)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
He gas flow rate (kg/s)	0.01~0.04	0.4~4.0	0.4~4.0	0.4~4.0	0.2~2.8
Heater power (kW)					
H ₁	max. 160	—	—	—	—
H ₂	—	max. 2,000	—	max. 2,000	max. 2,000
H ₃₁	—	—	max. 4,700	—	max. 4,700
H ₃₂	—	—	max. 4,360	—	max. 4,360

Table 2 Specifications of main components

Item	Blower		Heater				Cooler			
	B ₁	B ₂	H ₁	H ₂	H ₃₁	H ₃₂	C ₁	C ₂	C ₃₁	C ₃₂
Type	Vertical impeller shaft, gas bearing		Resistively heated tubular elements				Shell and tube, segmental baffle			
Fluid	He gas	He gas	He gas	He gas	He gas	He gas	He/Water	He/Water	He/pres-surized water	He/Water
Flow rate (kg/s)	0.4	4.0	0.4	4.0	2.8 (4.0 max)	2.8 (4.0 max)	0.4/2.1	4.0/28.0	4.0/26.67	4.0/41.5
Pressure(inlet/outlet) (MPa)	4.0/4.2	4.0/4.1	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0/0.4	4.0/0.4	4.0/3.7	4.0/0.4
Temperature(inlet/outlet)(°C)	380/400	380/400	323/400	304/400	397/720	700/1,000	395/313	400/288	873/550	550/383
Pressurized water temp. (inlet/outlet) (°C)	—	—	—	—	—	—	—	—	50/110	—
Power (kW)	150	250	10~160	50~2,000	300~4,700	250~4,360	170	2,300	6,700	3,500
Element material	—	—	Incoloy 800H	Incoloy 800H	Incoloy 800H	Graphite	STB 35S	STBA 22 S	STBA 22 S	STB 35 S
Vessel dimension (φ×L)	—	—	1,280 × 5,750	1,610 × 7,720	2,370 × 11,940	1,685 × 9,075	265 × 2,700	920 × 4,300	2,010 × 9,150	920 × 6,240

Fig. 2 Schematic flow diagram of HENDEL

(2) M₂+A ループ

M₂+A ループは、将来建設が予定されているT₂, T₃, T₄ 試験部に He ガスを供給する設備である。そのため試験目的に応じてループの組合せにより、3つの異なったモードで運転できるように設計されている。

1つのモードは循環機B₂₁, B₂₂で昇圧されたHeガスを加熱器H₂で最高430°Cに加熱し、試験部に供給して冷却器C₂を経て循環機に戻るライン(M₂-Iモード)で構成される。別のモードでは循環機B₂₃で昇圧されたHeガスを加熱器H₃₁, H₃₂で1,000°Cに加熱し、試

験部に供給し、冷却器C₃₁, C₃₂で除熱されて循環機に戻るライン(M₂-IIモード)で構成されている。さらに弁の切替えにより、循環機B₂₁, B₂₂で昇圧されたHeガスを加熱器H₂, H₃₁, H₃₂で加熱し、試験部に供給して、冷却器C₃₁, C₃₂で除熱されて循環機に戻る一巡ループ(M₂-IIIモード)の構成も可能である。

(3) 共通補助系

(1) 計測制御系(I_n): 総合的な運転、監視、制御および起動、停止などシーケンス操作の容易性や柔軟性を増やすため、マイクロプロセッサによる分散型計装およびプロセス計算機による集中監視制御システムを結合したハイパーキーシステム(階層構成)を採用して運転の自動化を図った。さらに、機器の操作は集中CRTシーケンスコンソール、分散型CRTオペレータコンソール、または分散型計装システム停止時に安全保護動作を確実に実行するため設置したバックアップ計器およびバックアップスイッチで中央制御室から行えるように配慮した。

(2) 精製系(M_p): 精製系は、M+A ループおよび各試験部のHeガスを精製するために設置したもので、使用圧力4.0MPa、最大流量100g/sで設計されている。

開始され、約10ヵ月の工期で完工した。1981年12月より系統別試験、1982年2月末から3月末にかけて総合機能試験を実施し、Heガス温度1,000°Cで180 h、延べ600 hの試運転を行なった。その後、主要構成機器およびループ全体性能確認の特性試験を実施している。

Ⅳ. 主要構成機器の構造

1. 加熱器(H₁, H₂, H₃₁, H₃₂)

加熱器は、試験部で必要とする温度までHeガスを加熱する装置である。Fig. 3(a)に加熱器H₁の、Fig. 3(b)に加熱器H₃₂の断面図を示す。

加熱器H₁は、インコロイ800H製の伝熱管(外径27.2mm×厚さ3.5mm×長さ2,840mm(有効発熱長2,048mm)×15本)を使用し、3相交流直接通電加熱を行なった。Heガスは伝熱管内を上向きに流れる。伝熱管の電力供給用電極は、高温時における絶縁抵抗の低下を防ぐため電極内部を水で冷却する水冷電極を使用した。

加熱器H₃₂は、黒鉛製伝熱管(外径70mm×厚さ14mm×長さ4,450mm(有効発熱長3,800mm)×36本)を採用した。基本構成は、加熱器H₁と同様であるが、

圧力容器は内部断熱および水冷ジャケットによる外部冷却方式とした。

2. 循環機(B₁, B₂)

試験部へHeガスを循環するため循環機を設置する。Fig. 4(a), (b)に循環機の構造図を示す。上部ケーシングにHeガスの吸入口と吐出口があり、吸込口より渦形室に入ったHeガスは、内部にある羽根車の回転に伴って渦形室内を一周して吐出口より流出する。また本機内部には、冷却用のHeガスが循環されて電動機、軸受等を冷却している。回転軸は中空であり、上部には圧縮機の羽根車(循環機B₁は再生式、B₂は遠心式)が、中央部には電動機の回転子(ロータ)が、下部には内部冷却用循環翼が取り付けられている。

3. 冷却器(C₁, C₂, C₃₁, C₃₂)

加熱器および試験部で加熱されたHeガスを循環機作動温度まで冷却するため、冷却器を設置する。

Fig. 5(a), (b)に冷却器C₁, C₂の、Fig. 6に冷却器C₃₁の構造図を示す。

冷却器C₃₁以外の冷却器は、シェル・アンド・チューブ切り欠きパッフル形の熱交換器であり、伝熱管内を冷却水が流れる構成となっている。

Fig. 3(a), (b) Structural drawing of heater H₁ and H₃₂

Fig. 4(a), (b) Structural drawing of blower B₁ and B₂ Fig. 5(a), (b) Structural drawing of cooler C₁ and C₂

Fig. 6 Structural drawing of cooler C₃₁

冷却器 C₃₁ は、シェル・アンド・チューブ、ステップアップバッフル型熱交換器であり、伝熱管外に高温 He ガス、管内には加圧冷却水が流れる構成となっている。圧力容器は内部断熱および水冷ジャケットによる外部冷却方式である。

V. 計測制御

1. 構成

計測制御系^⑥は、分散型計装システムと集中監視制御システムに大別される。その構成と機能を次に示す。

(1) 分散型計装システム

本システムは、プロセスと直結して PID 制御、ON-OFF 制御等を実行するマイクロプロセッサ、各制御対象プロセス量を監視するオペレータ・コンソールおよび出力印字装置より構成され、プロセス状態の把握、修正変更、機器の ON-OFF などの操作が可能である。

(2) 集中監視制御システム

本システムは、分散型計装システムに対する指令やプロセス量の収集等を行う小型計算機、シーケンスの選択・実行を行うシーケンスコンソールおよび出力印字装置より構成され、初期設定したシーケンスに従いループを自動的に運転する。さらに外部計算機へのデータ送信機能を有する。

2. 制御方法

加熱器の出口温度は、加熱器の入力電力をサイリスタ制御装置で調節して設定温度に保持する。循環機入口温度は、冷却器入口流量調節弁と冷却器バイパス流

量調節弁の操作により一定に保つ。

加熱器の出口圧力は、He ガス供給・回収弁を操作して制御する。He ガス流量の制御は、循環機回転数制御および循環機バイパス配管流量調節弁(M₁ ループは主配管流量調節弁も併用)の操作により行う。

Ⅶ. 建設時に直面した技術的な課題

建設を行なった過程で設計、据付工事、現地試験等について直面した技術的な課題について述べる。

1. 大容量加熱器(H₃₂)(Fig. 3(b)参照)

交換熱量 4,360 kW, He ガス温度 1,000°C の大容量加熱器であり、直管式黒鉛発熱体を 3 相交流直接通電加熱方式とし、700°C の He ガスを下方から上昇させ 1,000°C まで加熱するものである。発熱体および接続部品は高温になるため黒鉛としたが、製造過程の改善を行なって特性値のバラツキの少ない素材(外径 90 mm × 長さ 4,450 mm × 厚さ 25 mm)を選定した。また、接続部品の接触部形状については、部品試作を行い健全性の確認を行うとともに、He ガス雰囲気 1,000°C で接触抵抗、絶縁抵抗、熱膨脹差吸収対策、金属との両立性等の確性試験を実施して決定した。また、発熱体(36 本)は上中下部管板で支持固定しているが、接触部はすべてチタ化ホウ素、アルミナにより絶縁している。しかしながら、高温部支持絶縁材は 1,300°C 程度の He ガス雰囲気で使用されるため、体積固有抵抗が 10⁸ Ω・cm 程度に低下して大地間の絶縁抵抗が数 10 kΩ となるので、中性点を抵抗接地して地絡電流を監視している。容器を貫通する電極管台は渦電流損により発熱するので、電極部は水冷するとともにフランジ部材質に非磁性体であるステンレス鋼を採用した。

2. 循環機(B₁, B₂)(Fig. 4(a), (b)参照)

系統が単純で、不純物の混入がなく、また外部漏洩が少ない構造の密閉動圧ガス軸受形の循環機を採用した。循環機 B₁ は再生型のインペラ、B₂ は遠心型のインペラを装備し、シャフト径 160 mm でかつ 12,000 rpm と世界最大級(循環機 B₂ 出力 270 kW)のものである。製作段階で動的バランステスト等を入念に行なって、不釣り合い力をプリロードの 20% 以内に調整している。軸が熱変形して動的バランスが安定しないため、安定化熱処理をしたり、さらにモータ回転子構造の改良を行い組立手順を変更した。また循環機入口 He ガス温度は、ベアリングおよび電動機巻線温度制限(130°C)から 400°C に制限している。

3. 内部断熱配管(Fig. 7 参照)

耐熱合金を用いたライナ管で He ガス流路を形成し、

Fig. 7 Schematic view of cross section of hot gas duct

ライナ管と耐圧管との間にセラミックファイバー系断熱材を充填している。断熱材はHeガスの対流を防ぐため半径方向に2~3層とし、各層はステンレス鋼箔で仕切られている。断熱層は復元性に富む材質を選定し、充填率が一定になるよう施工を行なっている。ライナ管と耐圧管との熱膨脹差を吸収するため、ライナ管は軸方向に分割され、互いにスライドジョイントで接続されている。スライド部はジルコニア(ZrO_2)を溶射して融着を防止している。ライナ管と耐圧管との間はスタッドあるいは仕切り板で位置決めされ、仕切り板は断熱材中の透過バイパス流れを防ぐために設けられており、形状は熱変形の吸収し易いV字形となっている。

このような考え方に基づき設計した内部断熱配管

は、製作性および断熱層内の自然対流、スタッド、仕切り板によるホットスポット発生の有無を確認するため、一部試作を行い、試験ループにより特性を確認し、実機の製作を実施した。

4. 冷却器(C_{a1})(Fig. 6 参照)

1,000°Cの高温Heガスを冷却するHeガス/水冷却器である。伝熱管は断熱層を持った内胴の中に配置され、吊下げ構造となっている。沸騰防止のため約3.5MPaに加圧された冷却水は、下部管寄せにより各伝熱管に分配され、管内を上向きに流れて加熱され、上部管寄せを通り容器外の水/水冷却器を介して熱交換される。1,000°CのHeガスは容器上側部より連絡管を介して中間胴内へ流入し、管の外側をステップごとに円周方向に流れ、さらに下方に流れて水冷され、下部管寄せ部から上方へ中間胴と容器間の環状流れを流れ、上側部より550°Cとなって流出する。容器は内部断熱材を施工して外部水冷とし、耐圧容器温度は低温に保った。

伝熱部は直交流となるステップアップバッフル型とし、高温摺動部はジルコニア(ZrO_2)を溶射した。連絡管はベローズを水平、垂直各部に設置し、容器と冷却部の熱膨脹差を吸収した。また上部バッフルは熱応力低減のため外周部に切欠きを設けた。中間胴内流動試験を $1/2$ スケールモデルで実施して流動状況を確認した。モデル試験の結果、管群部の各段の入口や出口部分で胴側の流れに渦の発生が見られたが、伝熱部の健全性および性能に対する影響は小さいことを確認している。

5. He 技術

M+A ループは長期間所定の温度、圧力、流量、高純

Table 5 Test conditions

Test condition	Blower		Test section		Flow passage	Operation mode
	He gas flow rate (kg/s)	Outlet temp. (°C)	Pressure drop (MPa)	Temperature (°C)		
M ₁ -1	0.4	~325		400(H ₁ outlet)	B ₁ →H ₁ →C ₁ →B ₁	M ₁ -I
M ₁ -2	0.4	400	0.12	400(T ₁ inlet)	B ₁ →H ₁ →(T ₁)→C ₁ →B ₁	
M ₁ -3	0.12	(He gas flow rate)		400(T ₁ inlet)	B ₁ →H ₁ →(T ₁)→C ₁ →B ₁	
			0.01 kg/s			
M ₂ -1	4.0	~304		400(H ₂ outlet)	B ₂₁ →B ₂₂ →H ₂ →C ₂ →B ₂₁	M ₂ -I
M ₂ -2	4.0	400	0.10	400(T ₂ inlet)	B ₂₁ →B ₂₂ →H ₂ →(T ₂)→C ₂ →B ₂₁	
M ₂ -3	1.2	(He gas flow rate)		400(T ₂ inlet)	B ₂₁ →B ₂₂ →H ₂ →(T ₂)→C ₂ →B ₂₁	
			0.4 kg/s			
M ₂ -4	4.0	400		880(H ₂ outlet)	B ₂₁ →B ₂₂ →H ₂ →H ₃₁ →H ₃₂ →C ₃₁ →C ₃₂ →B ₂₁	M ₂ -II
M ₂ -5	2.8	400	0.10	1,000(H ₂ outlet)	B ₂₁ →B ₂₂ →H ₂ →H ₃₁ →H ₃₂ →(T ₂)→C ₃₁ →C ₃₂ →B ₂₁	
M ₂ -6	1.2	(He gas flow rate)		1,000(H ₂ outlet)	B ₂₁ →B ₂₂ →H ₂ →H ₃₁ →H ₃₂ →(T ₂)→C ₃₁ →C ₃₂ →B ₂₁	
			0.4 kg/s			
M ₂ -7	2.8	400	0.05	1,000(H ₂ outlet)	B ₂₂ →H ₃₁ →H ₃₂ →(T ₂)→C ₃₁ →C ₃₂ →B ₂₂	M ₂ -III

Fig. 8 Operating history of M+A loop (Feb. 25~Mar. 29, 1982)

Table 6 Problems with loop systems and components

Problem items	Remarks	Action taken
Leakage from flanges	During pressure proof test, leakage was observed from flanges.	Some flanges were seal-welded and reassembled. No leakage.
Delay of main blower installation	Main blowers were imported from France. Nine months' delayed owing to dynamic balancing and on-site assembling troubles.	Installation and functional test procedures were changed due to 3 months' delay.
Response period of instrumentation system	Instrumentation system is completely computerized. System response to key-in and interlocking signals is slow.	Computer program improvements were made by adding some hardwares.
Oil ingress of compressor system	The first was due to malfunction of oil pump control system. The second was partly due to vacuum sweeping for He gas supply.	Compressor and connected system were cleaned.
Abnormal pressure rise of CuO beds	CuO beds absorbing moisture gave abnormal pressure rise. Nominal flow rate failed to be obtained.	CuO catalysts were all taken out and dried to purge absorbed gases.
Malfunctions of pressure control system	Some false designs caused malfunction of pressure control system.	Pressure reducing valves were replaced with alternatively designed ones.
Electrical insulation loss of heaters	Electrical insulation of heaters was deteriorated in high-temperature operation. Accumulation of ferrimagnetism dust on the insulation was one of the reasons.	Some measures to reduce leakage current were taken. For instance, taking off the dust.
Voltage distortion caused by SCR systems	Higher harmonics currents of SCR systems must have been reduced.	Higher harmonics filters had been installed.
Interlocking signals during rated operation	Rapid increase of impurities, burnout of thermocouples and prediction of high temperature made the operation suspended.	Phenomena had been reassessed.

度の He ガスを連続的に試験部に供給し、回収する機能が要求されている。したがって、機器、計装等は十分実績があり、信頼性の高いものを使用している。また現地工事においては、溶接後の熱処理を不活性ガス雰囲気中で実施する等、清浄度維持、酸化防止等の品質管理面に細心の注意を払った。さらに本ループの各機器は将来粉塵の混入を極端に嫌う試験部が接続されること、ガス循環機もまた粉塵の混入をきらいなこと等から加熱器ヒータエレメントの組込み等はビニール囲いの中で行うなど、防塵には注意を払った。また、各機器および配管は保管中、輸送中に汚染、破損等のないよう堅固な梱包を行うとともに、湿気を嫌う製品についてはビニールシート等で密閉して乾燥剤を封入し、錆の発生を防止した。

圧力容器フランジ部パッキン材料として、渦巻きガasket(グラファイト+SUS)または金属 O リング(発条内蔵)を使用して気密性確保に努めた。電極、熱電対耐圧容器貫通部は、バイトン、テフロン等をシーラントとし、フランジ、キャップ等ヘネジ込みを行うようにした。配管フランジ部はシール溶接を行なった。発信器周りの導圧配管の接続は、溶接あるいはスウェーじロックとし、ドレン弁については先端盲栓ネジ込みとした。弁型式として、ベローズシール弁バックアップグランド付きを採用した。気密性確保に以上のような最大限の努力をしたが、精製系の再生、分析、真空引き操作、安全弁等からの He ガス放出を含む He ガス漏洩量は、1%/d 程度となっている。特に、往復動式圧縮機周りは最高15 MPa の高圧であり、継手、圧力計、カバー等の取付け部も多く、漏洩しやすい箇所も多く、さらに改善が必要と思われる。

精製系により He ガス中の不純物ガス除去を行なっているが、運転開始直後は H_2 , CO 濃度が 1.5~28.3, 0.6~5.2 ppm と高く、還元性雰囲気であったが、運転時間の経過とともに 0.6~3.7, 0.2~3.6 ppm と低下し安定してきている。他方、 O_2 , CO_2 は 0.2~0.5, 0.1~1.0 ppm と変わらず、 H_2O は検出限界(0.01 ppm)以下である。運転開始直後、遊離鉄粉あるいは構造材等の錆が剝離し、水蒸気との反応により生成したと考えられる四三酸化鉄(Fe_3O_4)がフィルタに捕集されたが、運転時間の経過とともに減少した。

なお、不純物ガス濃度は、自動ガスクロマトグラフ、酸素計、水分計で測定しており、昇温過程で濃度が急上昇した場合、昇温を停止し精製運転を行い、精製完了次等昇温を再開している。この昇温制限値は、 H_2O は 400°C で 1.5 ppm 以下、 O_2 は 500°C で 1.5 ppm 以下と

している。

Ⅶ. 運転経過と性能

1981年12月からの系統別試験に続いて、1982年2月24日より総合機能試験を開始した。試験条件は、Table 5 に示す。各試験モードは、同時刻内に並列に運転を行なったが、プロセス計算機の運転管理プログラムの立案に当たっては、このことに十分留意して設計したので運転は順調に行われた。Fig. 8 に、総合機能試験の運転実績を示す。

M_1 ループは、 M_1-1 ~ M_1-3 条件の運転、 M_2+A ループは M_2-1 ~ M_2-7 条件の運転を行い、ループ性能および各構成機器の性能を試験した。

試運転期間中、①不純物ガス(水分濃度)の異常上昇、②熱電対のバーンアウト等により、昇温は中断されたが、これらは初期故障であり、後半には安定した運転をすることができた。循環機、加熱器、冷却器等の主要構成機器の性能は各運転条件に対し、すべて性能を満足しており、高温断熱配管も構造上問題となるホットスポットもなく、満足できるものである。

ループの特性については、その後実施した特性試験運転の結果も含めて別報で報告する⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

Ⅷ. あとがき

多目的高温ガス実験炉の建設のための試設計が開始されて以来14年が経過し、日本原子力研究所では小型・大型高温 He ガスループ(SGL, HTGL)、大洗炉内ガスループ1号(UGL-1)等各種試験設備による開発試験が進められてきた。Table 6 に HENDEL M+A ループの建設中に直面した問題を示すが、これらの解決についてはこれら過去のループ建設の際に得られた技術の蓄積が大いに役立った。今後さらに計画されている各種試験部、実験炉の建設においても、これらの経験と蓄積された技術が生かされるものと期待している。

最後に、HENDEL M+A ループの建設に参加、協力頂いた関係各位に感謝の意を表する。

—参考文献—

- (1) 原研: 多目的高温ガス炉研究開発の現状, (1976~82).
- (2) ISHIKAWA, H., et al.: Current status of VHTR development in Japan, ASME 81-WA/NE-9, (1981).
- (3) 田中利幸, 他: 原子力学会昭57分科会予稿集, B29, (1982).
- (4) 田中利幸, 他: 大型構造機器実証試験装置(HENDEL), マザー第1ヘリウムループの特性試験, 原子力誌, 掲載予定.
- (5) 田中利幸, 他: 大型構造機器実証試験装置(HENDEL), マザー第2ループとアダプターループの特性試験, 同上.
- (6) 井沢直樹, 他: 原子力学会昭57分科会予稿集, B33, (1982).