講演

高温ガス炉ガスタービンシステムの概要と予備的経済性評価*

(日本原子力発電機) 土 江 保 男

はじめに

最近、南アフリカ共和国(南ア)や米国、ロシア(米・露)では、そのシステムが持つ「固有の安全性」を徹底的に追求し、逆にそれを「経済性」の追求に最大限活用した、「小型で、安全で、熱効率がよく、しかも安価なガスタービン方式高温ガス炉」の実用化開発プロジェクトが進められている。さらに欧・米やアジアの多くの機関が技術協力や資本参加の形でそれらを積極的に支持する動きが見られており、世界における今後の原子力開発の方向性の一端をうかがわせるものとして注目される。

以下に、このような高温ガス炉の一般的な特徴、最近の実用炉設計の特徴と狙い、実用炉開発の状況、開発推進機関並びに欧米機関や日本原子力発電機(原電)による経済性評価につき、概要を紹介する。

1. 高温ガス炉の特徴

(1) 一般的な特徴⁽¹⁾

高温ガス炉は1960～80年代にかけて、欧・米で、実験炉、原型炉が開発されたが、それらの一般的な特徴は下記の通りである。

燃料としてウラン(U)、プルトニウム(Pu)、またはトリウム(Th)の酸化物あるいは炭化物(炭化シリコン等で多重被覆されている)が、減速材として黒鉛が用いられる等、炉心の大部分が耐熱性、熱慣性の大きいセラミックスで構成され、また冷却材として化学的に不活性なヘリウム(He)ガスが使用されている。

また、炉心の出力密度が軽水炉に比べ低く抑えてあり、また上記のように熱慣性が大きいので、炉心の温度変化が緩慢で、崩壊熱も炉壁を通じて輻射等の自然の原理で除去されるよう設計されている。このため炉心から大量の放射能が放出される事故がなく、安全性が高い。

ただし当時の設計では、蒸気タービン方式であり、また経済性の向上のためにプラントを大型化してそのスケールメリットを追求しており、熱効率も出力密度の抑制も実際には中途半端であった。

さらに、前記のように、資源の豊富なTh燃料も使用可能であることから、エネルギーセキュリティの観点から魅力があり、また非再処理(ワンススルー)オプションも可能であり、柔軟で多様な燃料サイクルが組めるのも大きな特徴といえる。

(2) 最近のガスタービン方式実用炉プラントの特徴と狙い

さて最近の実用炉設計では、上記のような一般的な特徴を維持しつつも、特に安全性と熱利用効率を徹底的に合理化し、経済性を追求している。

まず「安全性」については、冷却材が減圧しかつ制御系が働かない過酷事故時においても、炉心の最高到達温度が燃料健全性限界値(実際には保守的に設定した設計値)以下に収まるように出力密度を厳しく抑制(軽水炉の約1/10)することにより、燃料破損や炉心熔融の可能性を確実に排除している。ここで、出力密度の抑制は、一方で圧力容器寸法の製作上の制約もあり、必然的にプラント出力の小型化を意味し、一般には経済的にデメリットとされるが、南ア等の設計では、その確実化した安全性を大きな武器にして、燃料以外の大半のプラント構成機器を非原子力級化する等、大胆な合理化を試みている。

具体的には、緊急炉心冷却装置(ECCS)等の工学的安全系や格納容器を削除し、システムの単純化、小型モジュール化、量産化、国際入札による機器の調達、現地工事や建設期間の最小化、さらには初期投資の最小化、需要地近接立地等の諸効果の重量により、小型化に伴う経済的デメリットを打ち消している。

次に「熱利用効率」の向上であるが、1,000℃に近い高温の核熱が得られるので、Heガスタービンと結んでブレイトンサイクルを組み、その結果、熱効率が、ランキンサイクルである軽水炉や蒸気タービン高温ガス炉がそれぞれ33～34%、36～37%程度であるのに対し、45%程度と極めて高くとれる。

また高温から低温域までの幅広い熱利用が可能であり、水素製造、還元法製鉄、石炭のガス化・液化、重油の改質、化学プロセス、熱電併給(コジェネ)、海水脱塩、農業利用等、先進国と途上国を合わせた世界の、今日的あるいは将来的なニーズに応えられる。ここで熱電併給の場合、総合熱利用効率は最大で70%以上にも達する。

またこれらにより、発電主体のこれまでの原子力利用に

Briefing and Preliminary Economic Evaluations of Gas Turbine HTGR System : Yasuo TSUCHIE.

* 本稿は、2000年3月29日、日本原子力学会「2000年春の年会」における総合報告「原子力エネルギーの多角的利用、高温ガス炉の展開」の草稿に補筆したものである。

(2000年6月21日 受理)

比べ、上記のような多面的な需要の掘り起こしができ、その分、化石燃料を使わなくて済むことから、地球環境負荷の低減の観点からも歓迎される。

2. 高温ガス炉の最近の開発状況

(1) 試験研究炉の建設と研究

現在、第1表のように、日本原子力研究所(原研)の「高温工学試験研究炉(High Temperature Engineering and Test Reactor: HTTR)」と中国清華大学の「高温ガス試験炉(High Temperature Test Reactor: HTR-10)」の建設とそれによる研究のプロジェクトが進捗している。

このうち原研HTTRは現状、世界唯一の高温ガス炉である。現在、出力上昇試験の段階であるが、並行して、水素製造技術やHeガスタービン技術等の高度化研究、実用化向けの要素技術開発、並びに高温下材料照射等の革新的研究の計画が進められている。

また中国HTR-10では、高度技術(ハイテク)開発国家重大プロジェクトの一つとして建設が進められ、現在、蒸気タービンと結合させる第1フェーズ建設の終盤段階にあるが、引き続きガスタービンと結合させてガスサイクル並びに蒸気・ガス複合サイクルの試験を行う第2フェーズ構想もある。また並行して、石炭ガス化・液化、海水脱塩等の多目的の基礎研究も行われている。

(2) 実用炉開発プロジェクト^{2)~(4)}

一方、第2表のように、南アの国営電力ESKOMが「ペブルベッドモジュール炉(Pebble Bed Modular Reactor: PBMR)」を、また米国GAとロシア原子力省MINATOM

が「ガスタービンモジュールHe冷却炉(Gas Turbine Modular Helium Reactor: GT-MHR)」を高温ガス炉実用炉プロジェクトとして鋭意推進している。

これらはいずれもHeガスタービン方式による100~300 MWe級の小型モジュール炉概念によるものであり、「発電」または「核兵器解体プルトニウムの焼却処理」(将来的には「熱利用」も含む)を目的として、それぞれ1993年頃から予備的検討、また1995年頃からプラント概念設計が開始され、現在は詳細設計段階に入っている。

これらはまた、前述のように、安全性と経済性を同時に確保し、単純でコンパクト、しかも「原型炉」、「実証炉」、「商業第1号炉」を兼ねた第1モジュールプラントの運用をそれぞれ2005~10年頃に予定しており、従来の軽水炉や高速炉に比べ圧倒的に短い期間で実用化しようとしている。

実用発電プラントの概念例(南アPBMR; 100 MWe級/モジュール)を第1図に示すが、直接サイクルのガスタービン方式のプラントであり、2次系がなく事実上、炉心系、並びにガスタービン、発電機等を含む動力変換系、Heタンク、使用済み燃料貯蔵タンクのための構成といつてよく、極めて単純でコンパクトな発電モジュールとなっている。

実際のプラントは、需要の大きさと時期に応じて、このモジュールを1~数10基程度並べて構成される。また大需要の場合、10基を1ユニットとして数ユニットを並べる構成もあり得る。

なおこのほかに、オランダNRG Petten研究所が「熱電併給(コジェネ)高温ガス炉(Advanced Atomic Cogener-

第1表 最近の高温ガス炉試験研究炉プロジェクト一覧(2000年6月現在)

プロジェクト名	推進国(機関)	目的 (燃料形態)	出力 (MWt/MWe)	現状 運開目標等
高温工学試験研究炉 (HTTR)	日本(原研)	安全性実証, 高度化, 革 新技術開発 (UO ₂)	30/—	臨界: 1998年 出力上昇試験中 運開: 2001年
高温試験炉 (HTR-10)	中国(清華大)	原子力多目的利用 (UO ₂)	10/—	建設終盤 臨界: 2000年末頃

第2表 最近の高温ガス炉実用炉プロジェクト一覧(2000年6月現在)

プロジェクト名	推進国(機関) <協力国>	目的 (燃料形態)	出力 (MWt/MWe)	現状 運開目標等
ペブルベッド モジュール炉 (PBMR)	南ア(ESKOM) <英(BNFL 他), 仏, 米, 中, 露, 他>	発電	265/114	詳細建設中 運開予定: 2005年
ガスタービン モジュールHe炉 (GT-MHR)	米(GA) 露(MINATOM) <米(DOE), 仏(Framatome), 日(富士電機)>	<当面> 核兵器解体Pu焼却+発電 (PuO ₂) <将来> 発電+熱利用 (UO ₂)	600/280	詳細建設中 運開予定: 2009年
アカシア (ACACIA)	オランダ(NRG Petten)	熱電併給(コジェネ) (UO ₂)	12/13.6	プラント概念設計, 経済性検討中

- Key:
- 1 - reactor vessel
 - 2 - reactor vessel support
 - 3 - control rod drive mechanisms
 - 4 - fuel
 - 5 - defuelling device
 - 6 - spent fuel storage vessels
 - 7 - reactor pit cooling water tanks
 - 8 - vessel seismic support
 - 9 - graphite balls
 - 10 - small absorber spheres system
 - 11 - pressure boundary system
 - 12 - HP turbo-compressor
 - 13 - LP turbo-compressor
 - 14 - power turbine
 - 15 - recuperator
 - 16 - pre-cooler
 - 17 - inter-cooler
 - 18 - defuelling system
 - 19 - PCU seismic supports
 - 20 - helium storage tanks
 - 21 - spent fuel heat exchanger
 - 22 - generator
 - 23 - main carrier beam
 - 24 - main overhead crane

第 1 図 実用高温ガス炉プラント概念例(PBMR) (出典: ESKOM)

ator for Industrial Applications: ACACIA)のプラント概念と経済性の検討を進めている。出力はPBMR等よりさらに小さくなるが、欧州でニーズのある熱電併給であり、これも高温ガス炉の特徴を生かした開発の一つの方向性を示唆するものとして、別途注目される。

このように現在、具体的な実用炉プロジェクトが進められており、原子力開発の新しい展開として、世界レベルで注目を浴びている。すなわち、

- 欧州(英国, フランス, ドイツ, オランダ等のメーカー, 研究所, 官庁, ECグループ)
- 米国(電力, 研究所, 大学, 学会, 投資家等)
- アジアほか(インドネシア, 中国グループ, ロシアグループ)

等が、ESKOMの呼び掛けに応じて、これらのプロジェクトやアプローチに関心を示し、その技術性、経済性、あるいは世界や自国での市場展開性の評価を開始するとともに、技術協力、資本参加等の形でこれらに合流し始めている。

我が国でも最近、原子力長期計画(長計)の改定審議、日本原子力産業会議、大学、学会での次世代炉開発に関する検討会等において、中小型炉、分散型電源、需要地近接炉、エネルギー利用効率の向上、炉型、立地、燃料サイクルの多様化等の観点で各種の検討が始まっており、本件小型モ

ジュール高温ガス炉もその具体的対象に含まれている。

米・露のGT-MHRプロジェクトについては、我が国の産業界からは富士電機㈱が途中から参加しており、さらに最近では、科学技術庁による資金的、技術的貢献の意向が報じられている。

一方、南アのPBMRプロジェクトについては、1997年にESKOMの訪問を受けた日本原子力発電㈱(原電)、一部電力、原研、メーカー数社が「日本グループ」を形成し、1998年8月に高温ガス炉技術協力に関する覚書きを結んで以来、定期的に情報交換を行ってきたが、技術参加や資金参加等の関係はまだ報じられていない。

しかし我が国には、被覆粒子燃料や高品質黒鉛の設計、製造、照射等の技術経験、実績があり、またHTTRの設計、許認可、プラントの建設と運転、研究開発と現段階では世界唯一の生きた高温ガス炉技術インフラを所有しており、今後それらを生かした実質的な協力関係が成立する可能性も十分あると考えられる。

これから、我が国の長計での同炉の位置付けや商業的な動きが国際的に注目されている。

3. ガスタービン方式小型高温ガス炉の技術と予備的経済性評価

(1) 技術と経済性

前述した被覆粒子燃料、黒鉛、He冷却、固有安全性、並び

に「蒸気タービン間接サイクル方式」等の高温ガス炉プラントの基本技術は、1960～80年代に欧・米で開発済みである。ただしその当時、蒸気発生器の細管損傷に起因する炉心への湿分侵入、反応度添加等を多数経験したことから、最近の南アや米・露の実用炉プロジェクトでは、その種のトラブルの可能性を回避し、合わせて熱効率をさらに向上させる観点から、「He ガスタービン直接サイクル方式」の採用が望ましいとし、後者の方式を採用するに至っている。

なお、中国の HTR-10 では、前述のように、蒸気サイクルとガスサイクルの開発・実証を行う計画であり、以前の欧・米の設計と最近の南ア等の実用化設計の間を補完する形で進められているといえる。

南アや米・露の実用炉プロジェクトでは、前述の通り、固有の安全性を確実化し、それにより単純化、小型モジュール化、量産化、需要地近接立地等々、あらゆる「コストダウン重畳効果」を追求し、下記のような経済性が達成可能と公表しつつ、計画を鋭意推進している。

このような実用高温ガス炉の経済性につき、プロジェクト推進機関自身による評価、並びに欧州、米国、および原発が独立に行った概略的あるいは予備的な評価例があるので、以下に紹介する。またそれらの相互比較を第3表に示す。

(2) プロジェクト推進機関による経済性評価^{(2)～(4)}

PBMR や GT-MHR を推進している南ア、米・露は、開発費については両プロジェクト間で燃料の素性や形態が異なること等からかなりの差が見られるものの、建設単価が 83～1,070\$/kWe、発電単価が 1.3～2.8¢/kWh とはほぼ同様な評価(一部は目標)値を示している。これは炉心、プラントの設計や経済性の基本概念が両者はほぼ同様であるためと推定される。

(3) PBMR におけるコストダウンの要因と方策^{(2)～(4)}

ESKOM のこれまでの説明を総合すると、PBMR における小型化のスケールデメリットを打ち消すことのできるコストダウンの要因と方策は、以下の通りである。

第3表 最近の実用高温ガス炉経済性評価例一覧(2000年6月現在)

評価実施国 (機関)	南アフリカ 国営電力 (ESKOM)	ロシア原子力省 (MINATOM)	日本 (原 電)	米国マサチュ セッツ工大 (MIT)	オランダ 経済省 (MEA)	欧州高温ガス炉 グループ (INNOHTR)
評価対象	PBMR	GT-MHR	PBMR, GT-MHR	MPBR ¹⁾	PBMR	PBMR
開発費(M\$)	80	320	—	—	—	—
建設単価 (\$/kWe)	1,040 FOAK 880 NOAK	1,070 FOAK 露物価ベース 830 NOAK 露物価ベース	①南ア仕様、国際 調達、税金考慮 1,200～1,300 ②国内物価ベース、国内調達 (ケース1) 2,100 ③仕様を一部 LWR 並みに戻 す(ケース2) 2,200 ④(参考)仕様を すべて LWR 並 みに戻す(ケー ス3) 2,500	—	—	2,000～2,700 NOAK
発電単価 (¢/kWh)	1.6～208 プラント寿命 評価に依存 1.3 長期目標	2.2 FOAK 露物価ベース 1.3 NOAK 露物価ベース	—	3.3 ²⁾ NOAK	2～3 NOAK	4.3 NOAK
発電単価 備考 (¢/kWh)	南アの既存の大 型 PWR : 1.2 (最近)～1.5 (数年前) 石炭火力 : 0.7 (新鋭)～1.5 (老朽)	—	—	天然ガス 火力 : 3.4 AP600 : 3.6 ABWR : 3.8	大型 LWR : 3.88	現在運転中の 大型 PWR の単 価に近い(現在 設計中の PWR の目標値 : 3)

¹⁾ MPBR (Modular Pebble Bed Reactor) : 南ア PBMR ベースにしたプラント概念

²⁾ MPBR の発電単価内訳 : 資本費 76%, 運転保守費 11%, 燃料費 12%, デコミ費 2 %

- ・南アでは、国営電力がこれらを開発、推進しており、建設費等に税金や金利は含めていない。
- ・南アは人件費(開発費、エンジニアリング費等)が安い。
- ・基本的に欧州(特にドイツ)や米国での既存技術を採用し、開発ステップも大幅に圧縮している(時間と費用も大幅に圧縮)。
- ・固有安全性の確実化により、下記のような各種のコストダウン効果が生まれる。
 - FP閉込機能(confinement)は必要だが、ECCSなど工学的安全系は不要で、格納容器(containment vessel)も不要、また安全関連のPA追加コストが最小化する。
 - 燃料以外の機器・部材は基本的に非原子力級化でき(火力プラント並みでよい)、その大半は工場で生産し、かつ発電所建設サイト受渡し条件下の国際競争入札方式が採用でき、また現地では基本的にそれらを据え付けるのみなので、工事量も最少化できる。
 - システムを単純化、小型モジュール化しており、量産・習熟効果が期待でき、建設期間の短縮が図れ、また初期投資や建中利子が低減する。
 - 燃料の高燃焼度化やワンスルーサイクルが採用でき、システムが簡素のため廃止措置も簡単で、またプラント運転中に燃料交換(オンロード燃交)ができる。
 - 安全炉につき需要地近接立地が可能である(送電費が大幅に低減できる)。
- ・小型モジュール炉であり、電力や熱の需要に応じて、モジュールの数、スケジュール等が調整し易く、据付け計画が柔軟に組める。
- ・第1モジュールプラントの設計は必ずしも最適化されていないが、それ以降は先行モジュールの運転経験や実績を反映させながら、10モジュール単位での設計改良等を順次、計画的に行える。

(4) 原電による経済性評価¹⁾

ESKOMやMINATOMが国際会議等(口頭報告を含む)で報告した概略的情報を総合し、それらを参考にして、小型モジュール型高温ガス炉プラントにつき、原電が独自にかつ予備的に行った経済性評価の結果は、以下の通りである。

- ・南アPBMRに関して、
 - 南アは、同国で運転中の軽水炉(PWR)や火力との同一条件下で経済性を比較し、かつ他の要素も加味した上で当該小型高温ガス炉を選択している。
 - Heガスタービンを中心とする動力変換系以外は、基本的に既存技術を採用しているので、開発費が比較的小さくて済む(改良や最適化は、技術性と経済性の基本的な実証がなされた後に、随時行える)。
 - 複数モジュールでプラントを構成したPBMRとコストベースの明らかな米国の標準的大型PWRとを比較分析したところ、単位出力当たりの総合建屋容積がほ

ぼ同一であることが示された(PBMRでは出力密度を抑制しているために、小出力の割には原子炉容器は肥大化するものの、他方、PWRでは不可欠の蒸気発生器は不要で、動力変換系や配管系も極めて簡素で小さく、したがってプラント建屋の総合容積では相殺)。

- PBMRを南ア以外(例えば日本)で建設すると仮定した場合の建設単価は、第3表と第2図のように、機器グレード分類の考え方や物価の内外差等に依存して、南アの1.2~2.2倍程度に膨らむが、それでも安く、大型軽水炉等、他プラントとの競合性はあるといえる。

なお参考ケースとして、高温ガス炉の特徴を生かす仕様をすべて軽水炉並みにしてみると2.5倍程度になることもわかった。

ここで、大型軽水炉の実績値は2,000~3,000\$/kWeであり、また現在開発中の新型軽水炉の目標は~2,000\$/kWe以下程度と見られている。

- ①南ア仕様、国際調達、ただし税金等を考慮：1.2~1.3倍
- ②機器を国際入札でなく、その国の物価ベースで国内調達(国によるが最大で3倍程度の差が出る)(ケース1)：2.1倍
- ③仕様を一部軽水炉並みに戻す(ケース2)：2.2倍
(参考)仕様をすべて軽水炉並みに戻す(ケース3)：2.5倍

第2図 実用高温ガス炉建設費評価例(出典：ESKOM, 原電)

- ・米・露のGT-MHRの経済性も、単位出力当たりの物量比較結果から、PBMRとはほぼ同一と見られる。
- ・小型炉であり、初期投資が少ない。また建設期間が約2年と短いので建中利子負担も極めて小さい。
- ・建設単価の約70%が直接費、また発電単価に資本費が占める割合も約70%程度であり、発電単価にはプラント稼働率が大きく影響することがわかる(今後、第1モジュールプラントでの運転実証がキー)。
- ・安全炉であり、需要地近接立地が可能で、送電費は大幅に低減する(特に熱利用の場合には、需要地近接立地は必須)。
- ・大量発注、工場での一定品質生産、量産・習熟、国際競争入札等によるコスト低減効果は大きい(同一出力需要に対し、例えば1,000 MWe×10基より100 MWe×100基の方が、明らかにその効果は大)。
- ・PBMR等の設計は、現状では最適化されておらず、したがって第1モジュールプラントの建設、運転実証の後、固有の安全性が確保できる範囲でのモジュール出力の増加(その範囲内では当然、スケールメリットあり)、あるいは機器設計の改良等の更なるコスト低減余地がある。
- ・これから、小型モジュール高温ガス炉は、大型軽水炉や複合火力との競合ポテンシャルはある。
- ・また熱利用も含めた原子力需要の大きな掘起こし効果等も、コストに換算しにくい、総合的に付加して評価されるべき、と考える。

(5) 欧米機関による経済性評価⁴⁾

最近、欧米の大学、政府機関等がそれぞれ独自に行って公表したPBMR同種炉の経済性評価でも、前記の原電評価と同様の結果を示している。すなわち、評価項目、適用基準レベル、建設想定国の物価レベル等の条件(ただしその詳細は示されていない)により、2～3倍の範囲で数値は変動するものの、既存の大型軽水炉や火力等との競合ポテンシャルは十分あり、魅力的、また更なるコスト低減の余地もある、と評価している。

4. 課 題

このような小型モジュール型の高温ガス炉を実用化していくには、下記のような課題がある。ただしそれらは、日中の試験炉や南ア、米・露の実用炉プロジェクト、並びに今後の密接な国際協力展開の中で、解決の努力がなされるものと見られる。

(1) 国際的に共通の課題

- ・直接サイクルHeガスタービンシステム技術の開発、実証
 - Heガスタービン(縦型または横型の設計選択等)
 - レキュペレータ(ガス/ガス熱交換器)
 - 磁気軸受、スラスト軸受
- ・高温工学の実証

- 高温下のシステム、材料の寿命、稼働率、信頼性の実証等

- ・小型モジュール高温ガス炉の国際安全基準の整備
 - 燃料の炉内長期健全性の実証、格納容器不要設計シナリオの再確認等
 - 現在、南アと日本グループが、前記の情報交換の一環として、国際安全基準案の共同作成作業について合意中、またIAEAベースでそれらの作業の必要性、具体策等につき議論を開始中

(2) 我が国で実用化を進める場合の課題

我が国がこれらを実用化していく場合には、上記に加えて、下記の対応が必要である。

- ・高温ガス炉、安全炉に関する許認可体系、安全基準の整備(上記の国際安全基準の整備と連動)
- ・ワンスルーを含む複数の燃料サイクルオプションの認知
- ・耐震性評価等

5. ま と め

高温ガス炉は、以前は、その経済性にやや難点ありとされていたが、最近、南アや米・露等が実用化を進めている「小型モジュール・Heガスタービン高温ガス炉」システムは、固有の安全性の確実化とそれを土台にした各種の合理化により、コストダウン効果を創出しており、大型軽水炉や火力等と経済的に競合できるポテンシャルを示している。今後、同ガスタービンを含む動力変換システムの開発、並びに第1モジュールプラントの建設と運転により、このシステムが5～10年程度で一通り実証されることが期待され、すでに欧、米、アジアを含む多くの国や機関が関与しつつある。

このシステムは、その高い熱効率、幅広い熱利用性等から、原子力需要を大きく開拓できる可能性も秘めており、地球規模のエネルギー、食料、水、環境問題等の解決に向けた有力かつ貴重な方策の一つになり得る。また、軽水炉、高速炉を含む「次世代炉」、「中小型炉」の開発ニーズ、シーズの議論にも急発展する可能性もある。

我が国は、これらを踏まえて、実用化に向けた開発を進めるべきかの判断をしっかりと、かつ急いで行う必要があると考える。

— 参 考 文 献 —

- (1) 土江保男：原子力学会「2000秋の大会」シンポジウム講演「小型原子炉の新たな展開」、最近の高温ガス炉開発の動向と視点、1999年9月10日、新潟工大。
- (2) IAEA HTGR TCM, Nov.97, Petten, Netherlands.
- (3) IAEA HTGR TCM, Nov.98, Beijing, China.
- (4) Helium Gas Turbine HTGR Workshop, Dec. 1999, Palo Alto, Calif., 他。