

革新的原子炉の研究開発

日本原子力研究所

小 川 益 郎

2002.1.10

1. 革新的原子炉の条件

エネルギー資源の脆弱な我が国にとって、長期にわたり安定したエネルギー源を確保することは、国の基盤を支え、社会経済、国民生活の持続的発展を維持するために必要不可欠である。そのため、科学技術基本計画においては、エネルギー分野を国の基盤を支える重要課題として位置付け、原子力エネルギーについては、

- エネルギー分野では、地球環境保全や効率化の要請に対応しつつ、安全で安定したエネルギー需給構造の実現を目指す。具体的には、新エネルギー技術、省エネルギー・エネルギー利用高度化技術、核融合技術、次世代の革新的原子力技術等が挙げられる。

として、次世代の革新的原子力技術を掲げている。

また、我が国の原子力利用の基本的考え方を定める原子力長期計画においては、原子力を国の基幹エネルギーとして位置付け、その中で、

- 核融合や革新的な原子炉の研究開発は、将来のエネルギーの安定供給の選択肢を与え、経済、社会のニーズに応えるもの、
- 21世紀を展望すると、次世代軽水炉とともに、高い経済性と安全性を持ち、熱利用等の多様なエネルギー供給や原子炉利用の普及に適した革新的な原子炉が期待される、

として、革新的な原子炉への期待を述べている。

したがって、革新的原子炉は、

- (1) 地球環境保全、効率化等の経済・社会のニーズに応えることができ、かつ、エネルギー安定供給の選択肢を与える原子力システム、
- (2) 高い経済性と安全性を持ち、かつ、熱利用等の多様なエネルギーの供給に適した原子力システム、

であることが求められる。

2. 研究開発の現状と課題

日本原子力研究所（以下、原研）は、革新的原子炉として求められている原子力システムのうち、「地球環境保全、効率化等の経済・社会のニーズに応えることができ、かつ、エネルギー安定供給の選択肢を与える原子力システム」として、

- 軽水炉の技術を活用しプルトニウムの有効利用を図る「低減速スペクトル炉」

- 高レベル放射性廃棄物の核変換処理を目的とする「加速器駆動核変換炉」の研究開発を進めている。

また、「高い経済性と安全性を持ち、かつ、熱利用等の多様なエネルギーの供給に適した原子力システム」として、

- 固有の安全性、熱利用、需要地近接立地が可能な「高温ガス炉」
- 需要地近接立地が可能な「分散型小型炉」

の研究開発を進めている。

原研が進めている革新的原子炉の研究開発の現状と課題は以下のとおりである。

2. 1 低減速スペクトル炉（図1）

（1）開発の意義

低減速スペクトル炉は、これまでに我が国が培ってきた軽水炉技術を基盤に、プルトニウムの有効利用を目指す増殖炉であり、2020年以降に、分裂性プルトニウム蓄積量、並びに使用済み燃料の蓄積量を低減することにより当面の核燃料サイクル上の課題に対処するとともに、エネルギー安定供給の選択肢を与えることを目標としている。

（2）現 状

これまでに、高い転換比と負のボイド係数を有する複数の炉心概念を創出するとともに、小規模試験体による限界熱流束実験を実施して熱的な性能を達成できる見通しを得ている。原子炉システムについては、大型炉の場合と受動安全性を具備した中型炉の場合について検討した。また、導入シナリオの検討、経済性評価等を実施している。

（3）展望と課題

今後は、熱的及び核的な性能を確認するための大規模熱流動実験及び臨界実験を実施するとともに、高い転換比や負のボイド係数などの炉心特性を確認するための試験を実施する計画である。また、経済性を一層向上させるため、現行軽水炉の2倍程度（100GWd/t）の高燃焼度化が可能な燃料被覆管の開発、及び低コスト燃料再処理技術の開発を行う予定である。

本研究開発は、日本原子力発電㈱との共同研究（1998年度～）、「FBR実用化戦略調査研究」に関する核燃料サイクル開発機構との協力（1999年度～）、及び経済産業省の「革新的実用原子力技術開発提案公募事業」での技術開発（2000年度～）の中で、産業界、研究開発機関、大学等との連携のもとに進めている。

なお、低減速スペクトル炉は、これまでに蓄積された軽水炉技術を基盤にしているため、短い期間と安い開発コストで実現が可能である。

2. 2 加速器駆動核変換炉（図2）

（1）開発の意義

加速器駆動核変換炉は、放射性廃棄物の放射性毒性が消滅するために必要な期間を、数万

年の単位から、地層の安定性、容器の健全性等を経験的に保証できる数百年の単位に短縮することにより、地球環境への負荷を大幅に低減することを目指している。

（２）現 状

原研では、高レベル廃棄物中で長期にわたって放射性毒性を支配するマイナーアクチノイド（Np、Am、Cm）を効率よく核変換できるシステムとして、加速器駆動核変換炉を提案し、これまでに、超伝導線形加速器、核破砕ターゲット、ビーム窓、未臨界炉心等の各構成要素について、研究開発を進めている。また、マイナーアクチノイドの安定性等の観点で優れた特徴を持つ窒化物燃料の研究開発も並行して進めている。

（３）展望と課題

今後は、大強度陽子加速器計画の中で、核変換実験施設等により、核データ、未臨界炉物理、材料工学、核破砕ターゲット技術、システム制御技術等に関する研究開発を行い、加速器駆動核変換炉の研究開発を進める予定である。また、燃料の研究開発では、燃料の照射を国内外の試験炉で実施し、燃料製造技術、照射挙動データ、照射後処理技術等に関する基礎的なデータを蓄積していく計画である。我が国のエネルギー政策及び廃棄物処分に関する今後の展開を踏まえ、2015 年頃までを目標に、核変換実験施設等における基礎的な研究開発を経て、将来の加速器駆動核変換実験炉（熱出力数十 MW）の設計・建設に必要な技術を蓄積する計画である。

２．３ 高温ガス炉（図 3， 4）

（１）開発の意義

高温ガス炉は、炉心溶融が起きない設計が可能である等の優れた固有の安全性と 1000℃に近い高温が得られるという特徴を活かし、発電用のみならず熱利用のための原子力システムとして、原子力エネルギーの有効利用、高い経済性及び需要地近接立地の実現を目指すものである。特に熱利用については、我が国の 1 次エネルギーの約 55%を占める熱利用分が化石燃料によって賄われている状況を踏まえ、化石燃料に代替する熱源としての原子力利用の実現を目指している。

（２）現 状

これまでに、高温ガス炉の技術基盤の確立と技術の高度化を図り、高温工学に関する先端的基础研究を行うことを目的に、高温工学試験研究炉（HTTR）を建設、1998 年 11 月に初臨界を達成、2001 年 12 月に原子炉出口ガス温度約 850℃で 30 MW の全出力運転に成功している。また、熱利用については、HTTR を利用する水素製造システムのための技術開発として、水蒸気改質法による水素製造設備の 1/30 規模模擬試験装置を建設し、2001 年 12 月から各種の性能試験を開始している。水から水素を製造する熱化学法 IS プロセスについては、小規模試験装置で連続水素発生試験に成功している。

（３）展望と課題

今後は、原子炉出口ガス温度の最高値約 950℃での高温試験運転を実施するとともに、高

高温ガス炉の優れた安全性を実証するための各種の試験を行い、高温ガス炉の技術基盤を確立するとともに、燃料等の技術の高度化に関する研究開発を行う予定である。また、熱利用に関しては、HTTR に接続して水素製造試験を行う計画である。長期的には、U・Pu 系燃料等を用いた増殖炉としての研究開発、優れた安全性を発展させた究極の超安全炉としての研究開発等に進むことが考えられる。

なお、HTTR の建設・安定運転により得られる高温ガス炉の技術基盤に関する諸データは、世界的に発電用高温ガス炉の実用化が検討されている中、国際的にも関心が高く、今後国際的な枠組みでの協力等を行う。

2. 4 分散型小型炉（図 5）

（1）開発の意義

分散型小型炉は、船用炉の技術開発を通して蓄積された一体型軽水炉の技術に基づく小型炉で、熱供給専用、または小規模発電用に使用する小型炉として、地域やビルの熱利用と電力供給を行い、需要地に近接して立地することを目指している。

（2）現 状

これまでに、千人規模のオフィスビルへの熱供給を目的とし、ビルの地下室に設置する熱出力 1MW の超小型炉、および地域熱供給用として人口 10 万人規模の地域熱供給用に、都市の大深度地下（深度約 50 m）に立地する熱出力 100MW の原子炉概念検討を行っている。また、熱供給システム概念、地下立地上の安全性、建設コスト等について検討を行い、技術的及び経済的な成立性の見通しを得ている。

（3）展望と課題

今後は、熱利用システムとして空調・給湯の他に、浄水、海水脱塩システム等の検討を行う計画である。なお、これらの分散型小型炉は、離島や地域を対象とした小規模発電／熱供給システムとしても期待できる。

なお、オフィスビル等で利用する分散型小型炉が、既に実用化されている化石燃料を使用するコジェネシステムの代替システムとして受容されるためには、システムとして高い安全性・利便性、放射性廃棄物問題等の社会的受容性に加え、経済性のさらなる向上を図る必要がある。

3. 研究開発の進め方

（1）基本戦略の構築

我が国において、革新的原子炉の研究開発を進めるにあたっては、予算、施設、人員等の限られた資源の中で、最も効果的、効率的に研究開発を進めるための戦略が必要である。

具体的には、現在、研究開発機関、産業界、大学等で研究開発が行われている革新的原子炉や概念のみが提示されている革新的原子炉について、社会の要請や国のエネルギー戦略への対応を勘案し、それぞれのメリット、デメリットを評価した上で、資源の投資、スケジ

ユールの策定等、今後の研究開発計画を総合的に策定することが求められる。そのためには、短期目標(～10 年)、中期目標(10～30 年)、長期目標(30 年～)に分け、それぞれの目標に適合する革新的原子炉の研究開発を効率的に進めることが重要である。

(2) メリット、デメリットの評価

原研が研究開発を進めている革新的原子炉(低減速スペクトル炉、加速器駆動核変換炉、高温ガス炉、分散型小型炉)を例にとって、メリットとデメリットをまとめると以下のようになる。

- 低減速スペクトル炉
 - 実用化時期： 2020 年以降
 - メリット： 軽水炉技術を活用するため、短い期間と安い開発コストで実現が可能
 - デメリット： 経済性の一層の向上
- 加速器駆動核変換炉
 - 実用化時期： 2030 年以降
 - メリット： 放射性廃棄物量の管理期間の大幅な短縮が可能、地球環境負荷の低減
 - デメリット： 技術開発課題が多い、研究開発期間が長い、経済性に課題
- 高温ガス炉
 - 実用化時期： 2010 年頃(発電用)、2020 年以降(熱利用)
 - メリット： 固有の安全性、熱利用が可能
 - デメリット： 熱利用の技術開発が必要
- 分散型小型炉
 - 実用化時期： 2010 年まで
 - メリット： 軽水炉技術に基づくため技術開発期間が短い。
 - デメリット： 需要地近接立地についての社会的受容性

(3) 研究開発の効率的進展

革新的原子炉のメリット・デメリットの評価に加えて、下記の視点からの評価を加えた総合的な評価を行い、研究開発の効率的進展を図る必要がある。

- 社会、経済のニーズがあるか。
- 開発に伴うリスクの回避、急速な技術の進展等に対応するため、
 - 柔軟性が確保されるか。
 - 選択肢が確保されるか。
- 社会から受容されるか。

原研が研究開発を進めている革新的原子炉を実用化までの期間で分類すると、短期に実用化が可能な原子炉が分散型小型炉、中期に実用化が可能な原子炉が低減速スペクトル炉及び高温ガス炉、実用化までの期間が長期にわたる炉が加速器駆動核変換炉である。(図 6)

4. まとめ

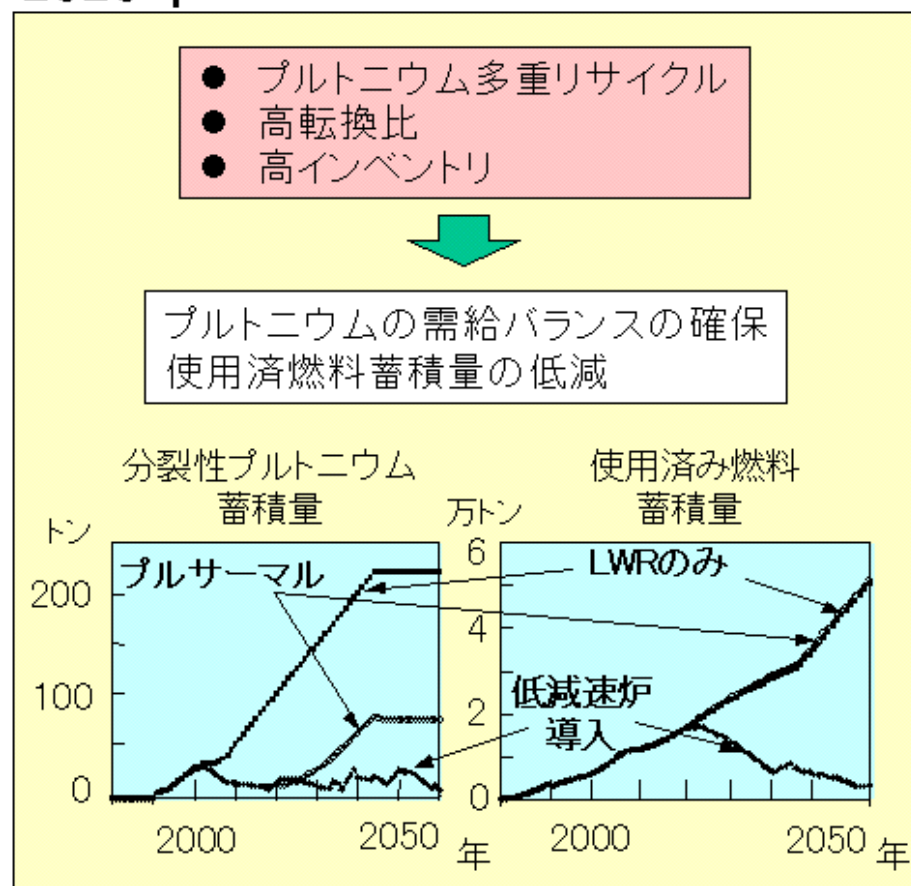
原研では、革新的原子炉の条件に適合する原子力システムとして、低減速スペクトル炉、加速器駆動核変換炉、高温ガス炉、分散型小型炉の研究開発を進めている。研究開発を進めるにあたっては、それぞれのメリット、デメリットを評価するとともに、社会、経済のニーズ等を勘案し、研究開発の効率的進展を図っている。

我が国の革新的原子炉の研究開発を進めるにあたっては、研究開発機関、産業界、大学等で進められている革新的原子炉の研究開発についても、メリット、デメリットを評価するとともに、社会、経済のニーズ等を勘案した総合評価を行い、資源の配分等、研究開発の効率的進展を図る必要がある。なお、研究開発の実施にあたっては、産・官・学の協力、国際的な協力を有効に活用することが望ましい。

以上

図1 低減速スペクトル炉 —軽水炉技術活用とプルトニウム有効利用—

2020年～



2050年～

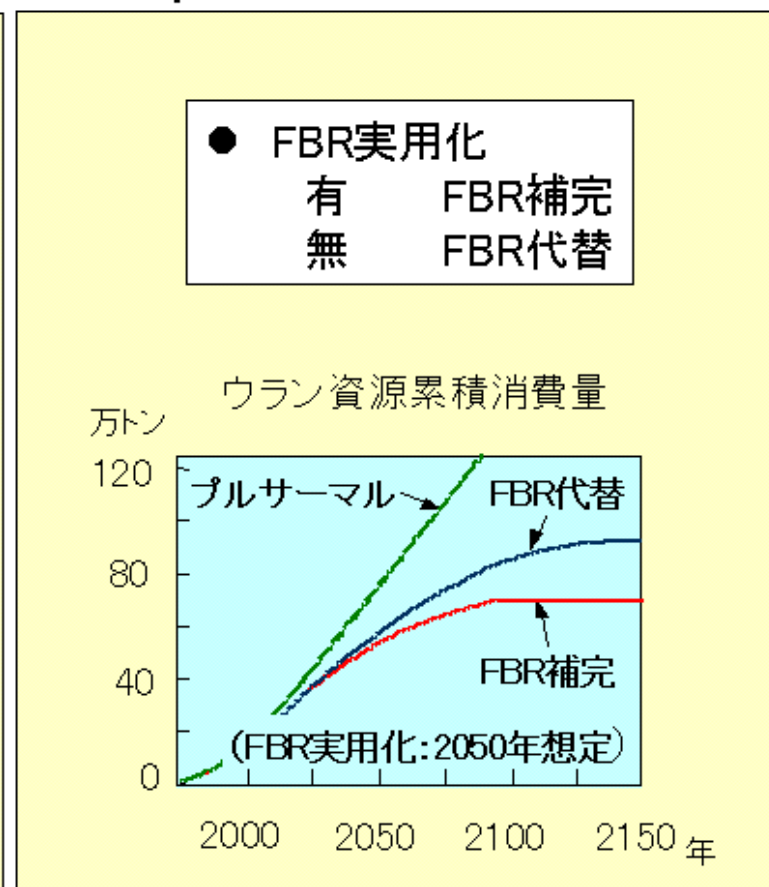
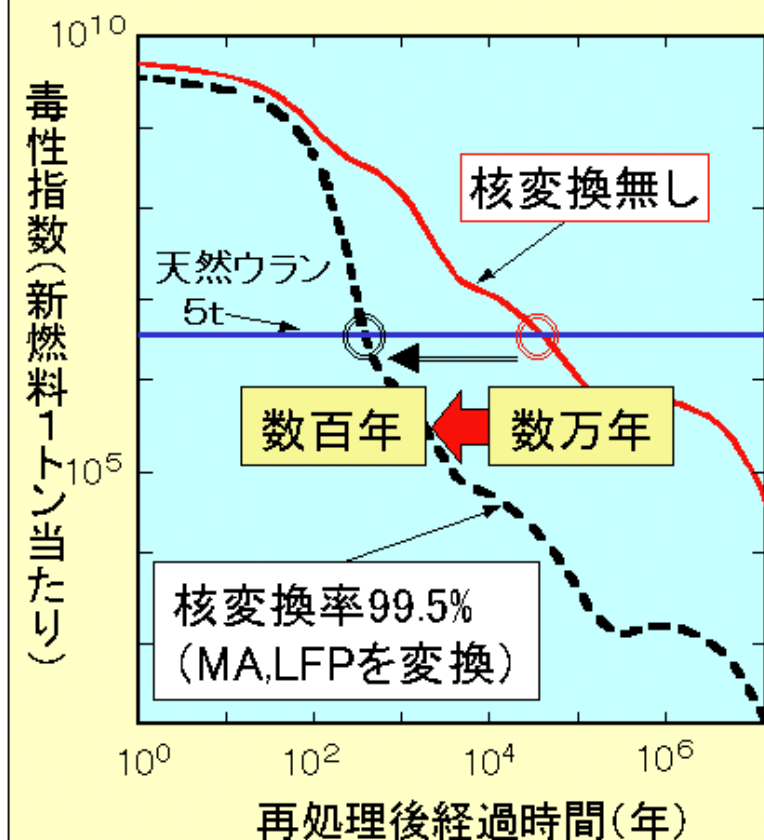


図2 加速器駆動核変換炉

放射性毒性の時間変化



目的

高レベル廃棄物の核変換処理
放射性毒性を数万年から数百年
に低減

核変換実験施設(例)

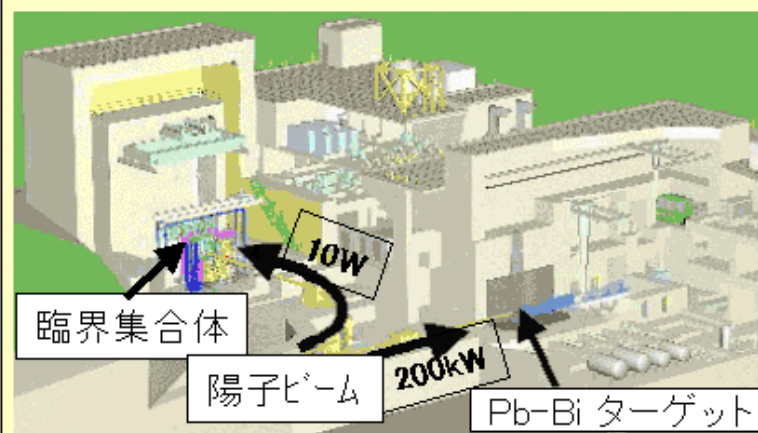
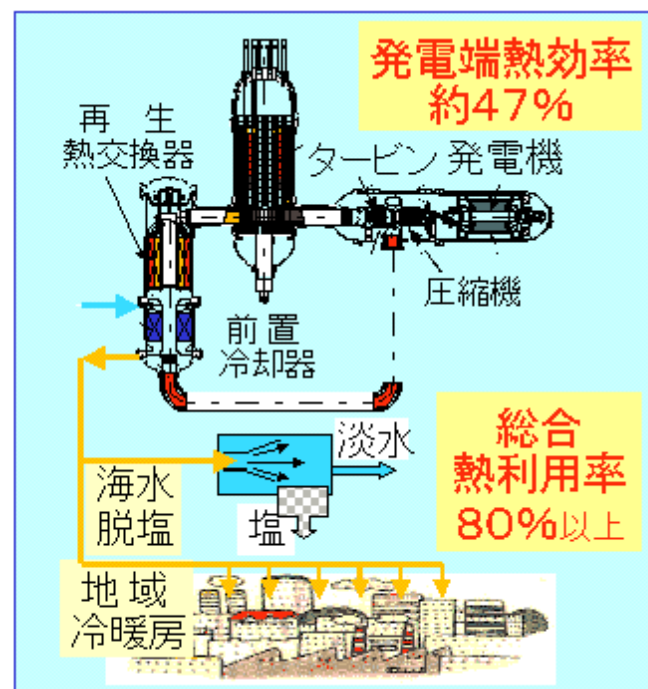


図3 高温ガス炉 ー固有の安全性、熱利用、需要地近接立地が可能ー

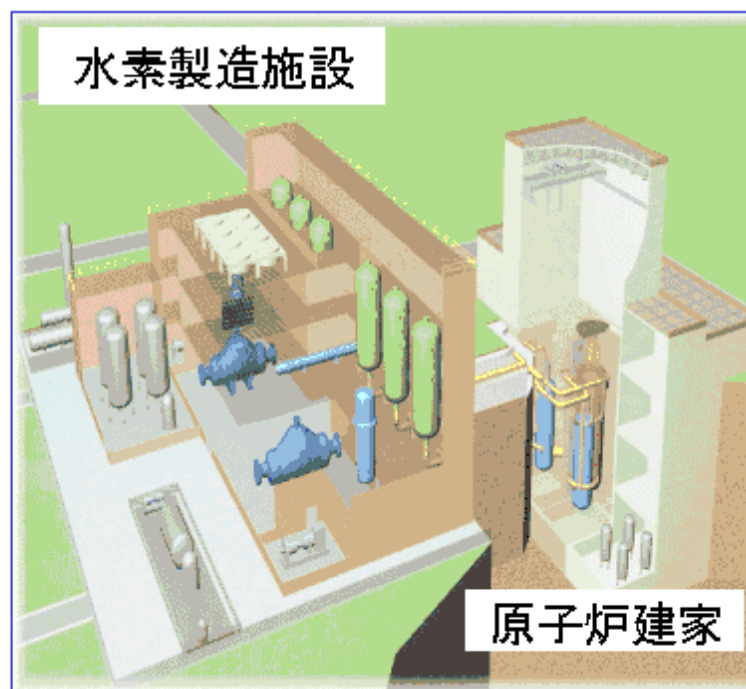
2010年～

高効率発電(例)



2020年～

多様な熱利用、水素製造(例)



2030年～

熱利用高度化、
多様な燃料利用
・U/Pu
等

超安全炉、
他

図4 HTTRの概要

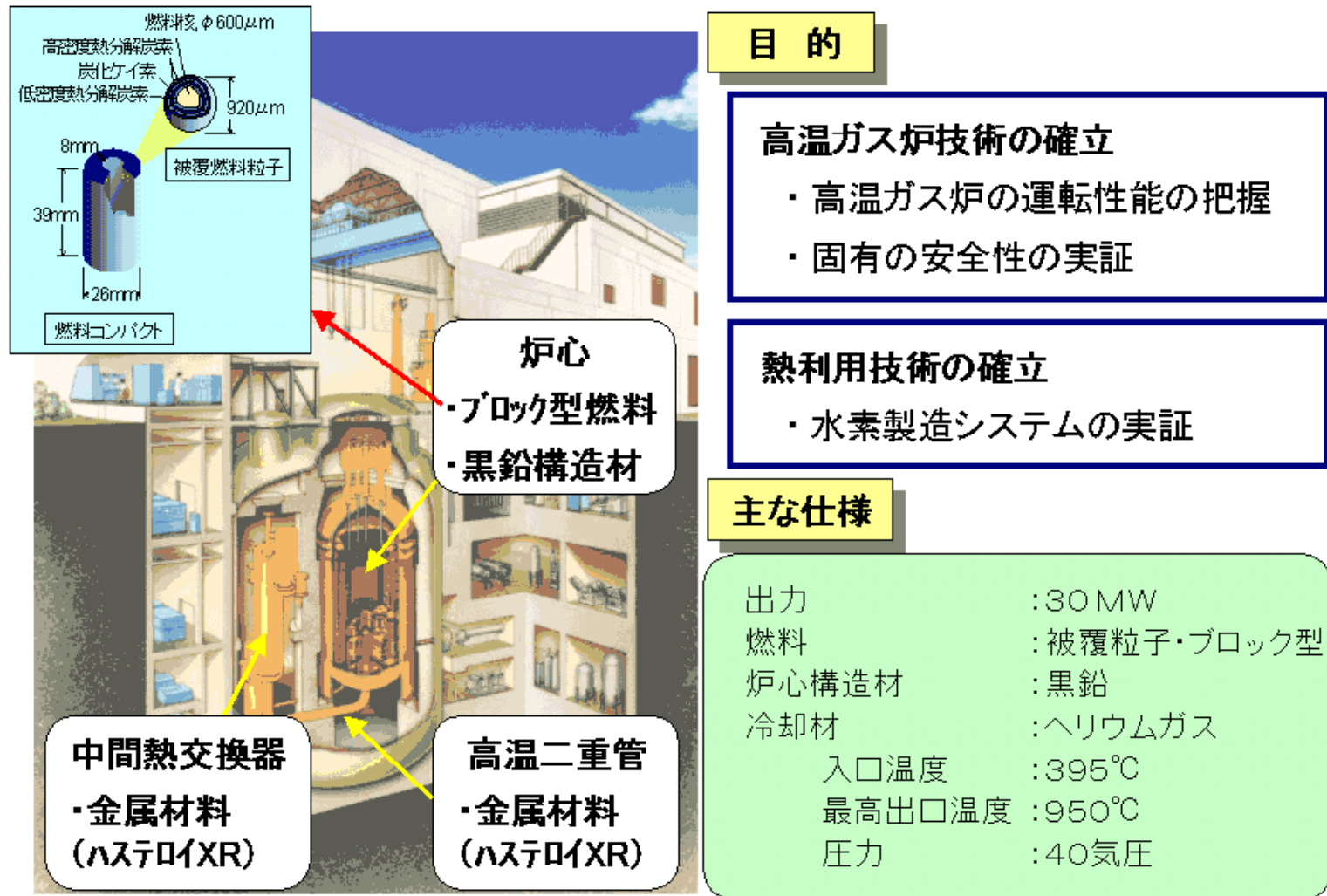


図5 分散型小型炉 ー需要地近接立地が可能ー

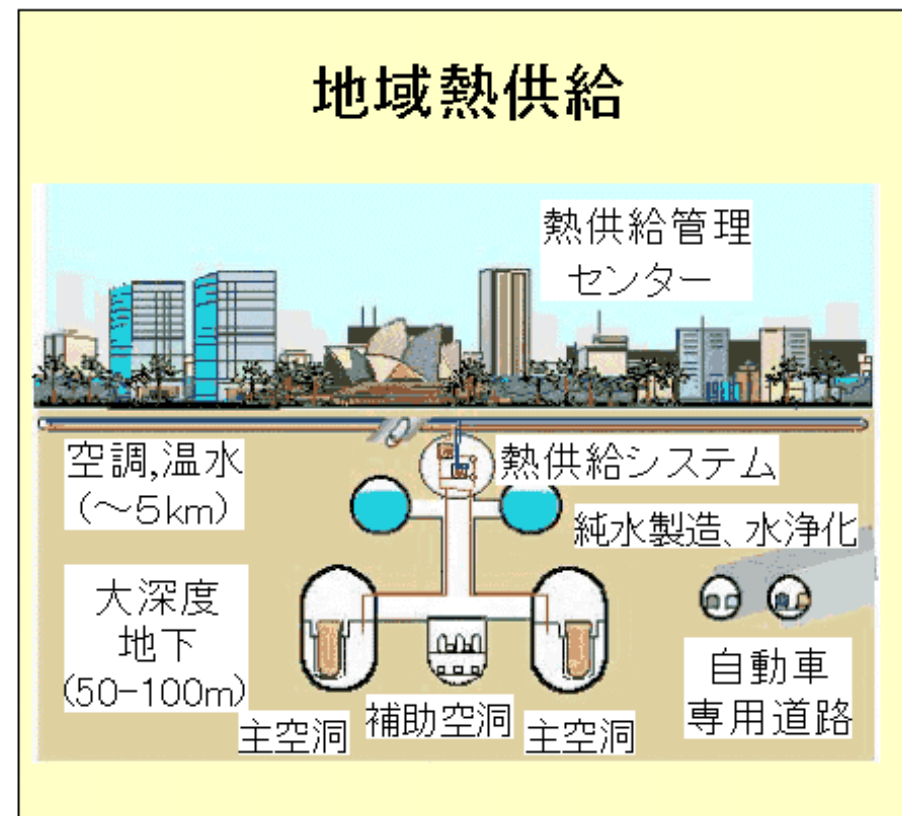
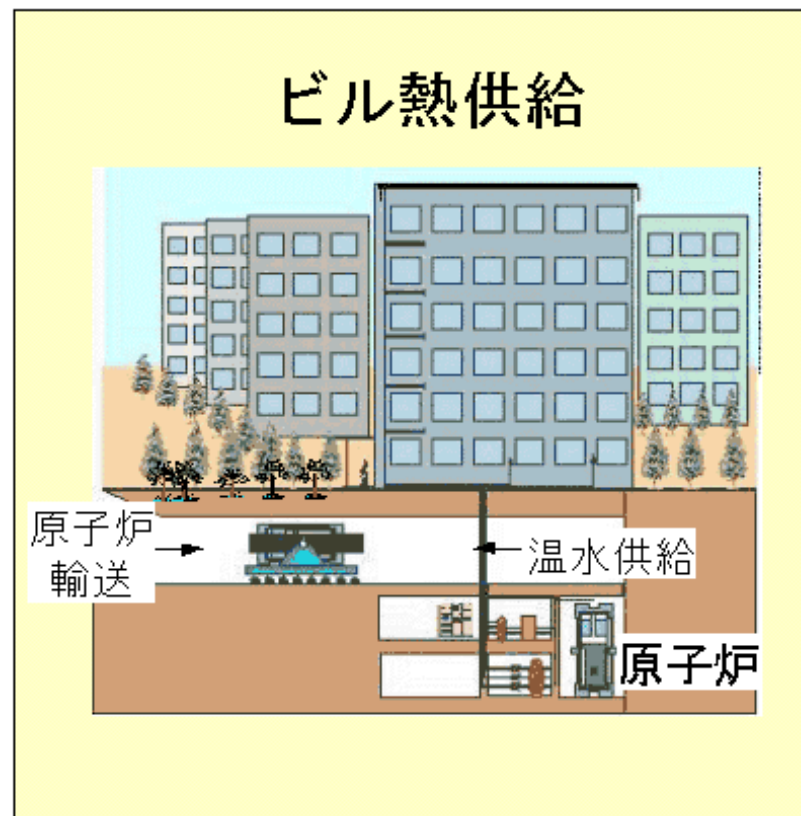


図6 目標とする実用化時期

実用化時期	短期 (～10年)	中期 (10～30年)	長期 (30年～)
低減速 スペクトル炉			
加速器駆動 核変換炉			
高温ガス炉			
分散型小型炉			