

超小型炉：イノベーション加速のための技術オプション

概要 / 目的:

超小型炉 (Micro-reactors) とは、送電線が無くても運転が可能な電力供給のための小型炉で、仮に障害が発生しても回復機能が強く、現在電気が届かない地域への電力供給に非常に適しています。典型的な超小型炉としては2～20 MWe規模の可動型原子炉で、工場で建設、燃料補充、組み立てが可能なものを想定しており、陸路、海路、空路での輸送が可能で、外部電源に依存せず、自然エネルギーの統合、離島モードでの運転が可能、運転員の介入を最小限にした自己制御が可能となるよう設計されています。NEI (Nuclear Energy Institute) は、超小型炉を使うことで\$0.09/kWh～\$0.33/kWhでの電力供給が可能と予想しています。本ウェビナーでは、超小型炉の設計、技術格差、及びDOEの研究開発についてご紹介しています。

講演者紹介:

Dasari V. Rao 博士は、原子力/機械工学者として、原子力施設の安全・保障措置の分野で25年の実務経験を持っています。本分野以外にも、流体力学計算、中性子・放射線工学、原子力システムのリスク評価など多様な分野での専門性を持ち合わせています。現在、ロスアラモス国立研究所の民生用原子力プログラム室長を務めており、DOEマイクロリアクタープログラムの国家技術ディレクターである Jess Gehin 博士の技術顧問や、NASAの核分裂発電プロジェクトの主任研究員も務めています。



Microreactor R&D at a Glance

❖ National Drivers

- Innovative, Affordable and Rapid
- DoD and Civilian Microgrids

❖ Nuclear Facilities and Technologies

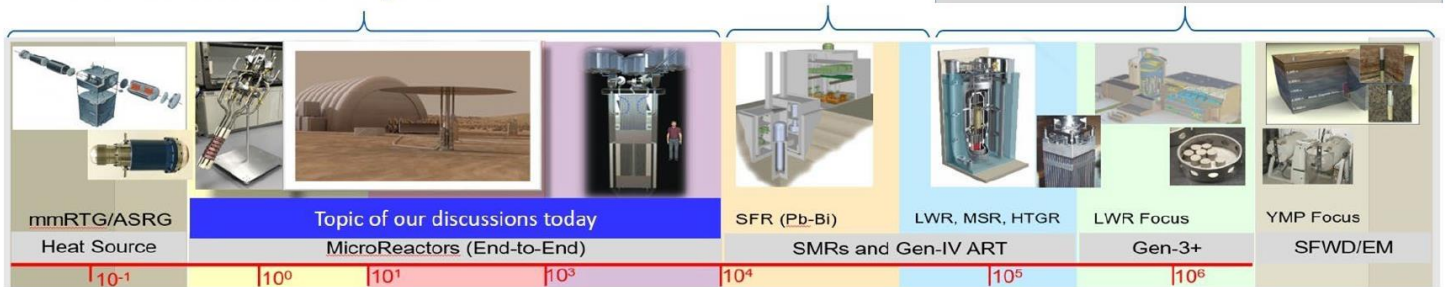
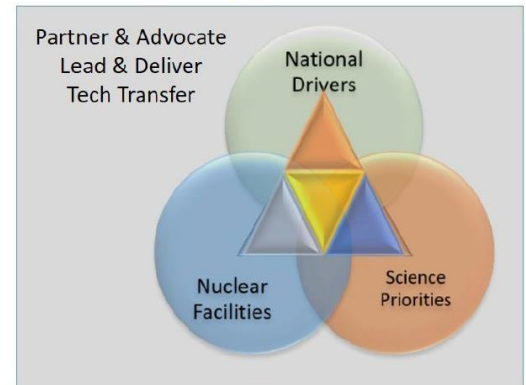
- Fuels (HALEU)
- High Temperature Moderators
- Nuclear Data

❖ Integration

- Multi-scale, nuclear validated codes
- Test Beds: EDU and NDU
- NRIC

❖ Prototypes

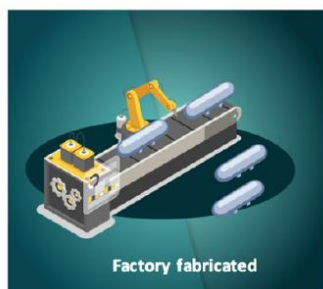
- Advanced Manufacturing
- Sensors and Structures
- Sub-scale simulation test objects



NASAの火星ミッション用に開発された放射性同位元素を用いた熱電発電機(2kWt)から、マイクロリアクター(2-20MWe)、SMR、Gen III+/IV(最大1500MWe)を通じた共通戦略がある。

これは、国家としての枢要推進分野、共通原子力施設/燃料サイクル方針/データベース、開発優先順位を用いたダイアグラムの適用であり、この戦略をマイクロリアクターに適用すると、工場生産され、輸送可能かつ自己制御性を有するマイクロリアクターという求められるシステム像が浮かび上がる。

Reimagine Nuclear Generation...



Factory fabricated

The majority of components of a microreactor are anticipated be fully assembled in a factory and shipped out to its location. This can eliminate difficulties associated with large-scale construction, reduce capital costs, and help get the reactor up and running quickly.



Transportable

Smaller unit designs can enable microreactors to be very transportable. This can make it easier for vendors to ship the entire reactor by truck, shipping vessel, airplane, or railcar.



Self-regulating

Simple and responsive design concepts can enable remote and semi-autonomous microreactor operations that may significantly reduce the number of specialized operators required on-site. In addition, microreactors plan to use utilize passive safety systems that can prevent the potential for overheating or reactor meltdown.

DOE Microreactor Program is undertaking some of the most important and challenging research and development efforts to accelerate microreactor deployments by mid-2020s

マイクロリアクターとしての枢要推進分野である

- + 革新性、開発の容易性、迅速性
- + 民生及び軍事用等特殊用途のマイクログリッド/需要との接続性

を踏まえると、キーテクノロジーは、

- + 先進製造手法、革新的計測/計装技術、新型熱除去概念を採用し、一体型の製品として工場製造を行うこと
- + 優れた出力制御性を有することにより、優れた運転性能ひいては容易な認可性をもち、グリッド安定性へ大きく貢献することであり、

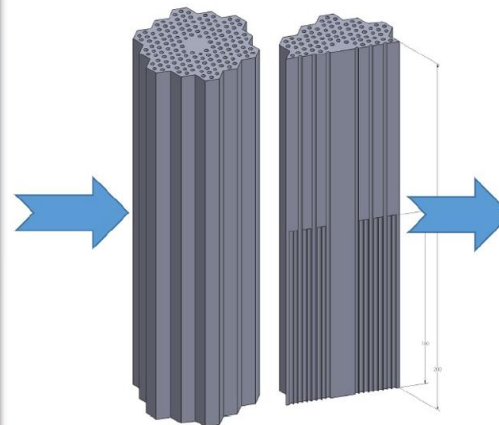
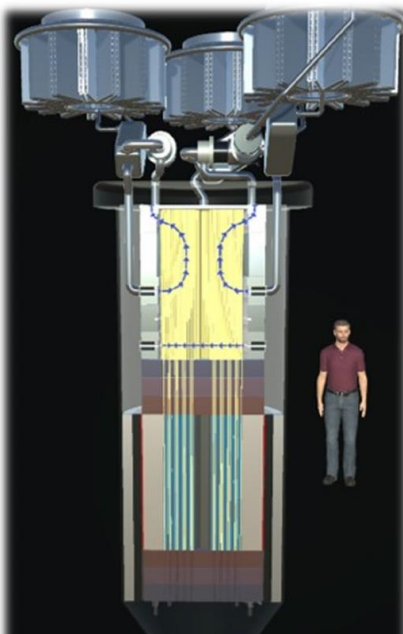
共通戦略を適用していることから、プラント概念は多様であるが、国家が支給する燃料種別を含むどのようなタイプの燃料も適用可能である。

Key Technology Enablers

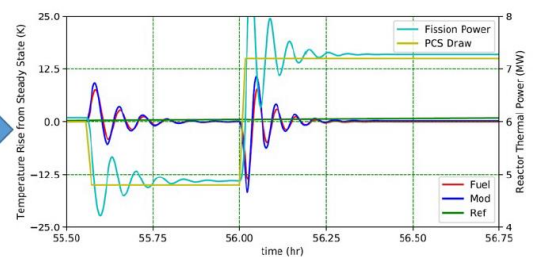
Factory Built ♦ Easy to operate ♦ Easy to license

Designs may vary, but challenges are similar.....

.... So, R&D focus is concept and technology neutral



Understanding manufacturability and licenseability



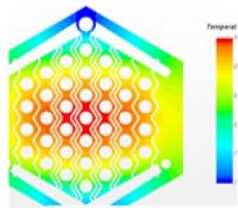
Demonstrating safety, stability and ease of operability

Typical Microreactor Design

- Reactor designs include following options:
 - HALEU Metallic, Ceramic or TRISO Fuels
 - Fast, intermediate or thermal neutron spectrum enabled by a mixture of high temperature hydrides, beryllium and graphite
 - A large reflector that also performs as a thermal sink and houses control drums
 - Heat pipe-, gas-, molten salt- cooled
 - Brayton power conversion (with or without intermediate HX)
- Structural material options include
 - Metals
 - High temperature creep-resistant steel
 - Molybdenum
 - Ceramics
 - Graphite

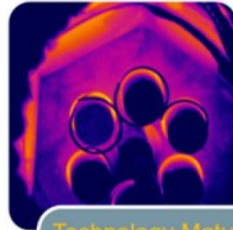


DOE Microreactor Program R&D Focus



System Integration & Analyses

- Market Research
- MR Regulatory Requirements
- Integrated M&S
- Technoeconomic Analyses



Technology Maturation

- Heat Pipes
- High Temperature Moderators
- Heat Exchangers
- Instrumentation & Sensors



Demonstration Support Capabilities

- Single Primary Heat Extraction & Removal Emulator (SPHERE)
- Microreactor AGile Non-nuclear Experimental Test-bed (MAGNET)



Nuclear Applications Demonstrations

- Hydrogen co-generation
- District heating
- Desalination
- Autonomous Operation
- Remote Monitoring

Current Technical Areas

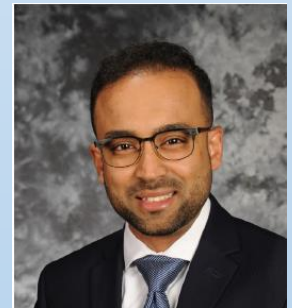
Holly Trelue 博士は、ロスアラモス国立研究所のDOE-NEマイクロリアクタープログラムの技術成熟度評価のための技術チームリーダーを務めています。

- + 候補燃料種別
 - + 候補減速材料
 - + 革新的除熱概念
 - + 計装/計測技術
- の紹介をしています。



Mr. Yasir Arafat 博士は、現在、アイダホ国立研究所のDOEマイクロリアクタープログラムの技術顧問を務めています。Westinghouse eVinci™マイクロリアクタープログラムの創設者であり、技術指導者でもありました。

2種類の実証プログラムの紹介をします。



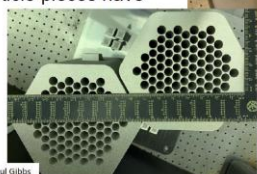
SPHERE: Single Primary Heat Extraction & Removal Emulator
MAGNET: Microreactor Agile Non-nuclear Experimental Test-bed

37 heat pipe, 54 heater test article will produce thermal output (up to ~75 kWt)

- One meter long section of core block exists in the bottom half of the article and one meter of heat exchanger in the top.
- Heat pipes span both sections to provide heat removal.
- Both additively manufactured (AM) and machined 37 heat pipe test article pieces have been fabricated.



Pictures Courtesy of Bob Reid, Thomas Foreman, Michael Brand, and Paul Gibbs



Microreactor AGile Non-nuclear Experimental Test-bed (MAGNET)

- 250 kW electrically heated Microreactor Test Bed in the System Integration Laboratory at the Energy System Laboratory (ESL)
 - Initial test article will be a 75 kW heat pipe reactor demonstration unit with 37 advanced technology high-temperature (~650°C) sodium-charged heat pipes
- Multi-lab effort
 - INL: Test platform and microreactor advanced heat exchanger
 - LANL: 75kW heat pipe reactor test article
 - ORNL: Instrumentation and sensor

