

先進的製造技術から第4世代原子炉設計者が得る チャンス

概要 / 目的:

先進炉の系統、機器、材料の設計基準を開発するためには、製造方法を理解するのみならず、通常運転状態及び事故状態時等の照射効果など供用中に影響を及ぼす要因を理解する必要があります。また、次世代原子炉の研究者や設計者は、このような性能の向上に加えて、経済競争力の観点から、実証及び商用までの時間短縮も求められています。今回は、先進的製造技術が次世代原子炉のライフサイクルに与える影響を戦略的観点から考えます。具体的には、他の大規模産業に導入されている最新技術から、第4世代原子炉システム(SFR、GFR、LFR、FSMR等)にも有効と思われる技術革新について見てみたいと思います。第4世代システム全体に有益な先進製造の相乗的アプローチ、特定の原子炉設計に必要なアプローチの実例、また付加製造による構成要素の許認可の例をご紹介します。

講演者紹介:

Dr. Isabella J. van Rooyenは物理学博士号、金属工学修士号及び経営学修士号を取得しており、米国エネルギー省 原子力エネルギー実践技術(NEET)における先進製造技術プログラムの国家技術ディレクターを務める。また彼女はアイダホ国立研究所(INL)の著名な科学スタッフであり、主任研究員(PI)として、産業界の戦略的パートナー、研究所管理の研究基金、研究所主導の研究資金、国立科学利用施設(NSUF)、原子力工学大学プログラム(NEUP)などの競争的資金による、多様な原子力利用のための研究プロジェクトを主導してきた。これらの研究プロジェクトでは、TRISO型被覆燃料粒子、統合型燃料製造プロセス、高温コンパクト熱交換器、SiC-ODS合金傾斜ナノ複合材被覆管、核分裂生成物輸送メカニズム、付加製造の適格性評価、先進的製造方法などに取り組んでいる。



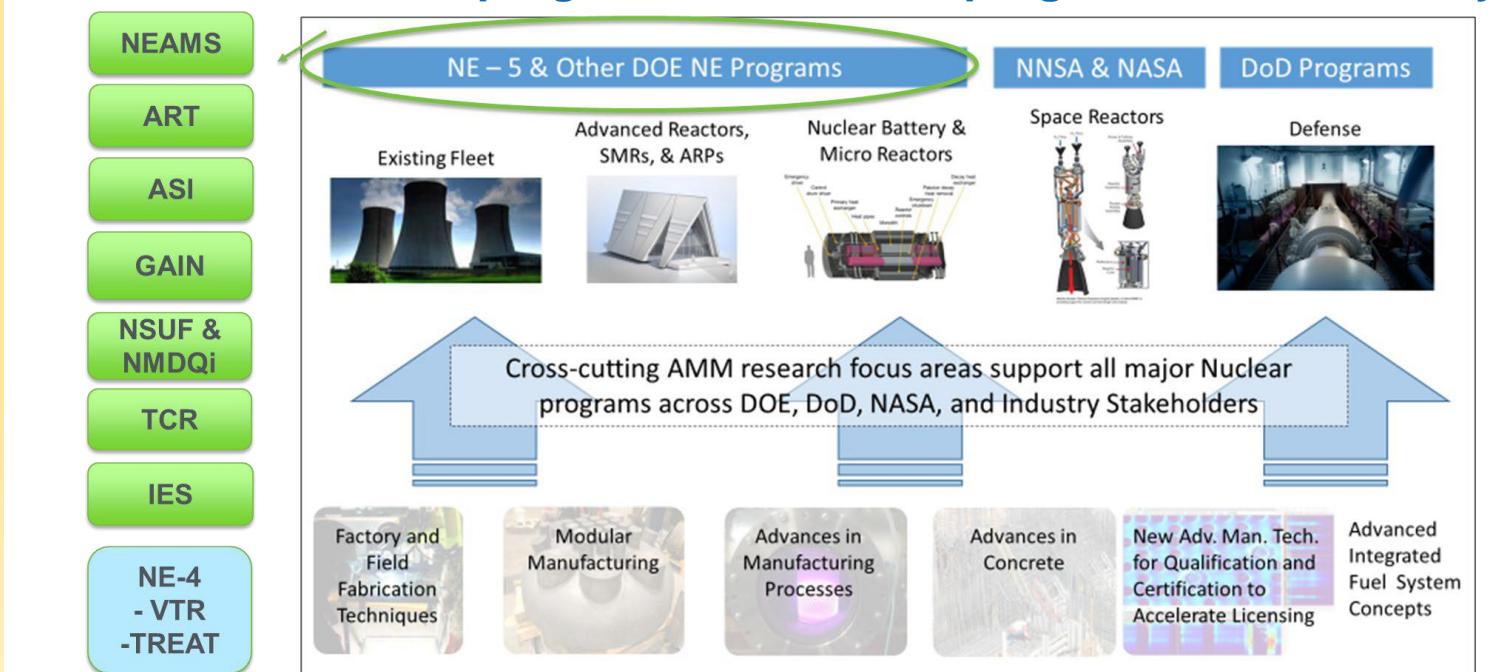
先進製造手法(AMM)に関する米国の取り組み:

原子力発電プラント機器の**製造の高速化、コスト削減、信頼性向上**を目的として、先進製造手法導入のための多様な取り組みが実施されている。

現在米国エネルギー省原子力局(DOE-NE)では、「モジュール製造」と「認可の迅速化のための認定」の枠内で先進製造技術導入のための活動が行っており、規制委員会(NRC)や米国工業会をはじめとする**ステークホルダーとの連携**を図っている。



Connections of AMM program to other R&D programs, NRC, Industry



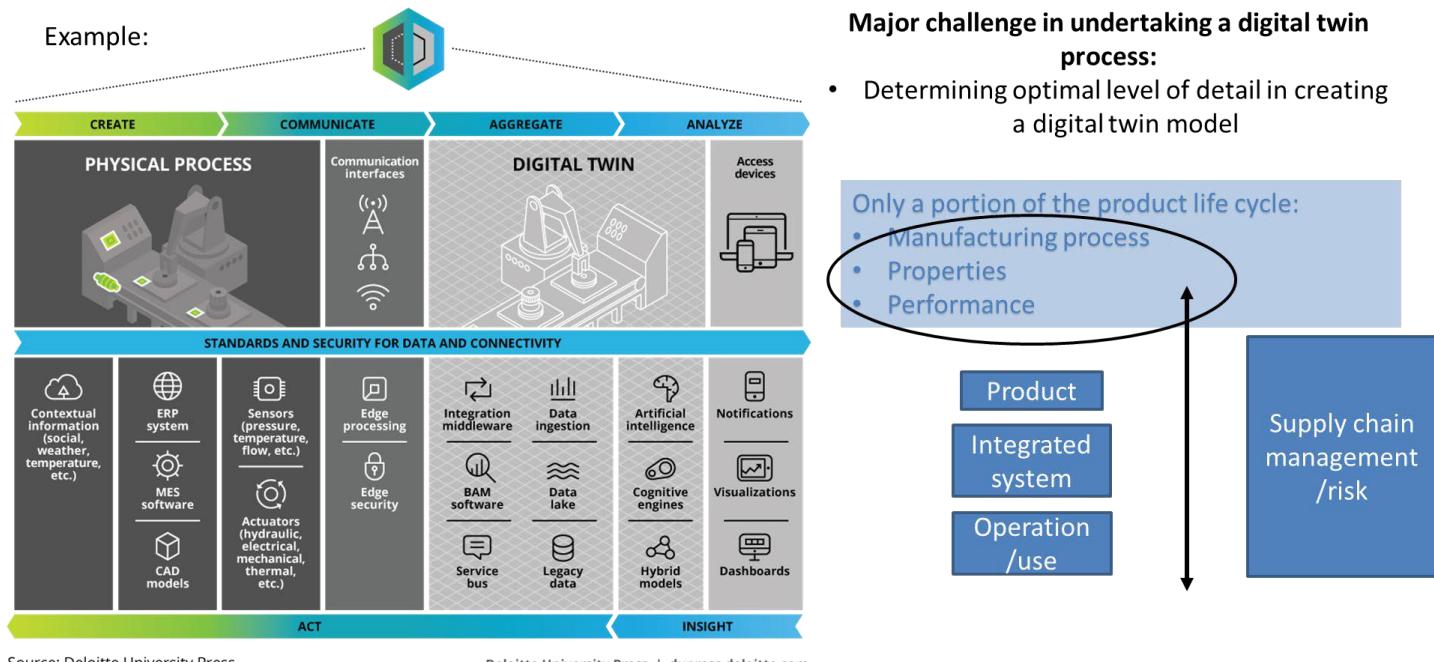
先進製造技術と材料は多岐にわたることから、個別の技術的問題の解決よりもむしろ、**技術の戦略的道筋**を明らかにすることが必要となる。

デジタルツイン:

導入に向けたいくつかの課題があるが、**デジタルツインアプローチ**は新製品の導入に必要な時間及びコストの削減に貢献しうる。

Manufacturing Process Digital-Twin Conceptual Architecture

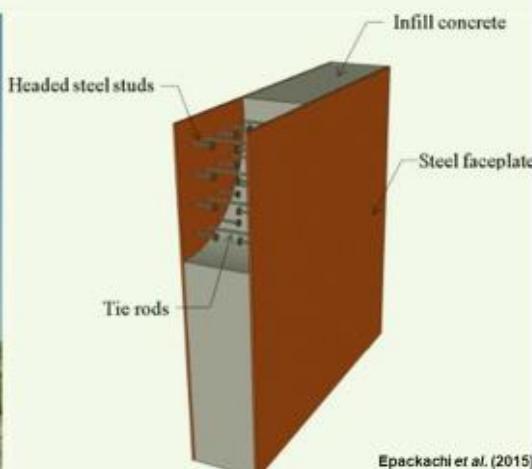
Example:



他産業との協働:

ライフサイクルコストへの影響を考えると、コンクリートを含む**土木作業への先進製造技術導入**も有用である。このため**他産業との分野横断型の活動**も、先進製造技術導入を加速しうる。

State of practice



Reinforced Concrete (RC)

Wikipedia

Steel-plate Composite (SC)

Nuclear construction

Precast Concrete

http://www.windfarmbop.com

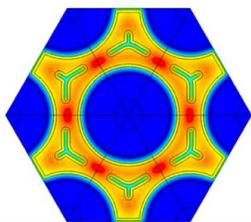
Not nuclear construction (yet)

人工知能:

オークリッジ国立研究所では、新アプローチ採用の加速に向けた変革課題炉(TCR)プログラムを実施しており、この中で付加製造(AM)と人工知能の活用を掲げている。

The Transformational Challenge Reactor Program is applying additive manufacturing (AM) and artificial intelligence (AI) to deliver a new approach

Using AI to navigate an unconstrained design space and realize superior performance



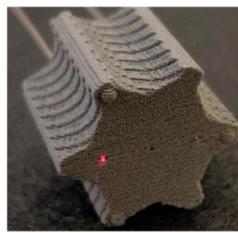
AI-informed Design

Leveraging AM to arrive at high-performance materials in complex geometries



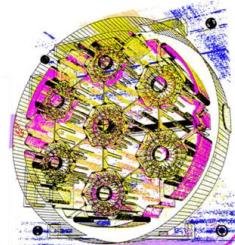
Advanced Materials

Exploiting AM to incorporate integrated and distributed sensing in critical locations



Integrated Sensing and Control

Using AI to assess critical component quality through in situ manufacturing signatures



Digital Platform

先進製造技術課題克服のために:

先進製造技術の導入にあたっては多くの課題がある。この克服のためには、実プラント環境下で用いるための製造技術と材料について広く情報を集め、共通する障害と戦略的道筋の特定を行うことが望まれる。

High Impact Materials & Manufacturing Technology Challenges

- Design approaches for manufacturing
 - More qualified materials are needed by reactor developers to allow for design flexibility and to meet performance targets.
 - Optimized process modeling and AI
 - Interface design
 - Residual stresses relationships to design features
 - Topology optimization
- Develop and qualify high strength, corrosion and radiation resistant materials for molten salt reactors
- Accelerate qualification (new paradigm?)
 - Verification of quality & validation of modeling tools: specific manufacturing process modeling
 - "New" material discovery (or is it adoption of lessons learned from other disciplines)
 - High-throughput testing and characterization
 - Verification of quality & validation of modeling tools: specific manufacturing process modeling
 - Acceptance protocols for high temperature reactor components fabricated by advanced manufacturing methods
 - Integrated shared databases
- Compact Heat Exchangers
- Large component fabrication and welding, Size limitations (Scalability – size, volume)
- Sensors:
 - Radiation tolerant sensors
 - Wireless sensors
 - Embedded
 - Miniaturization
 - Multi-properties
 - Real time
 - Integrated manufacturing processes
- Thermal barrier coatings: Interface designs to prevent scaling, functional materials, isolation