



NuScale's SMR Development

2nd Advanced Reactor Working Group

Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan

May 19, 2022

Dr. Jose Reyes

Co-founder and Chief Technology Officer

Acknowledgement and Disclaimer

This material is based upon work supported by the Department of Energy under Award Number DE-NE0008928.

This presentation was prepared as an account of work sponsored by an agency of the United States (U.S.) Government. Neither the U.S. Government nor any agency thereof, nor any of their employees, makes any warranty, express or implied, or assumes any legal liability or responsibility for the accuracy, completeness, or usefulness of any information, apparatus, product, or process disclosed, or represents that its use would not infringe privately owned rights. Reference herein to any specific commercial product, process, or service by trade name, trademark, manufacturer, or otherwise does not necessarily constitute or imply its endorsement, recommendation, or favoring by the U.S. Government or any agency thereof. The views and opinions of authors expressed herein do not necessarily state or reflect those of the U.S. Government or any agency thereof.

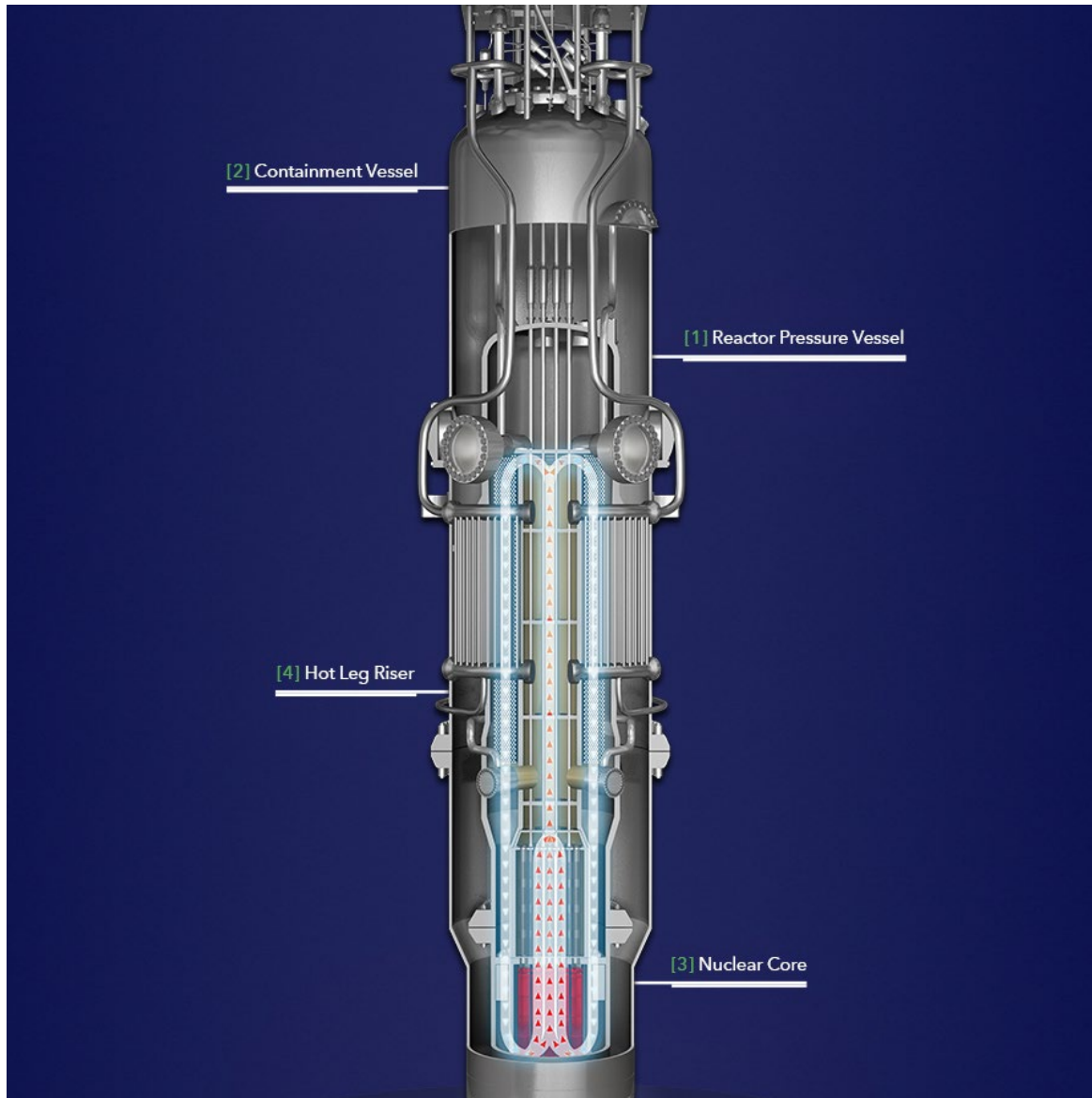


Who is NuScale Power?

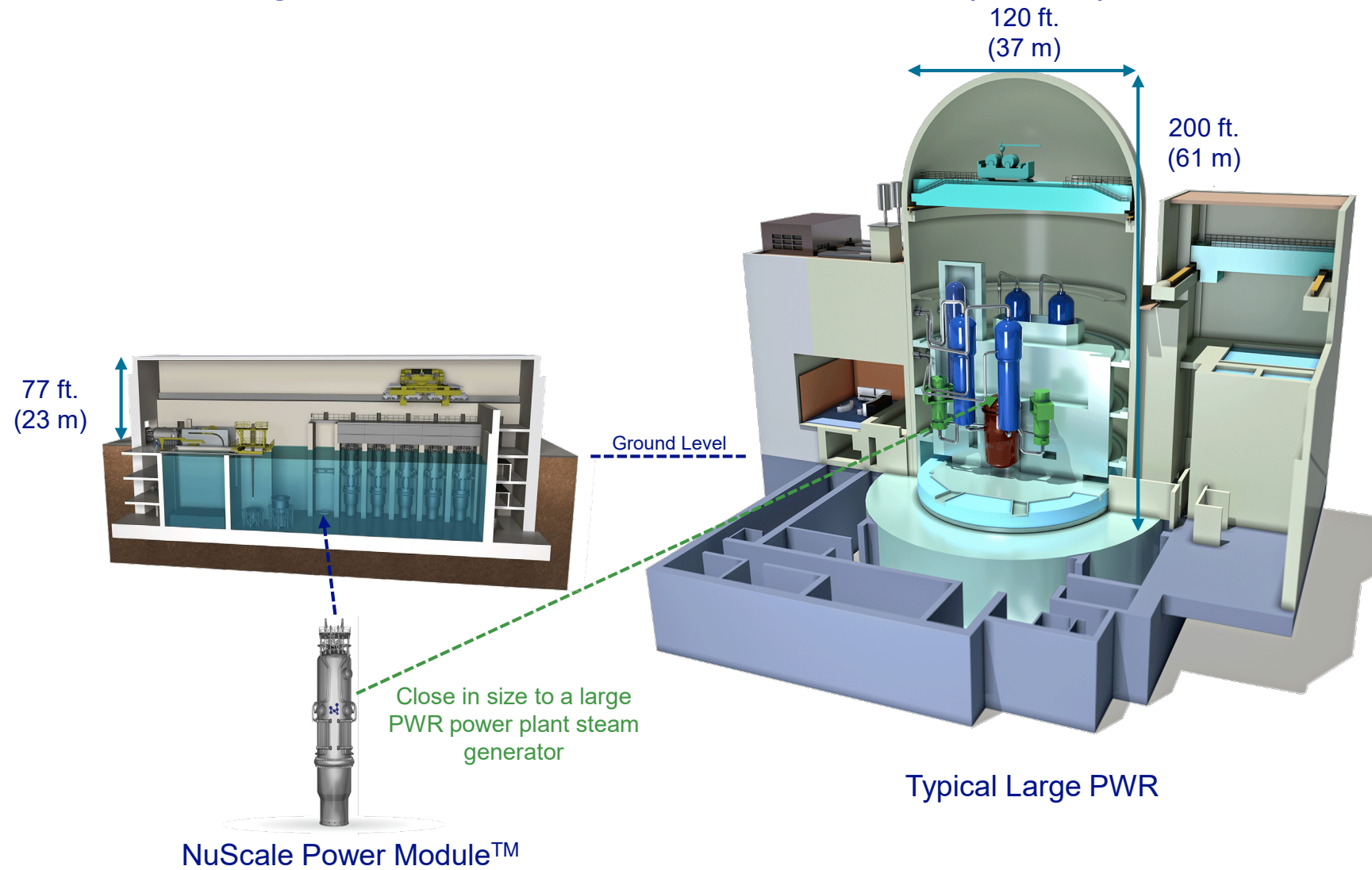
- NuScale Power Corporation is a public company trading on the New York Stock Exchange (NYSE) under the ticker symbols “SMR” and “SMR WS”.
- NuScale Power was formed in 2007 for the sole purpose of completing the design and commercializing a small modular reactor (SMR) – the NuScale Power Module.™
- Initial concept was in development and testing since the 2000 U.S. Department of Energy (DOE) MASLWR program.
- Fluor, global engineering and construction company, became lead investor in 2011
- 2013 - NuScale won a competitive U.S. DOE Funding Opportunity for matching funds, and has been awarded over \$400M in DOE funding since then.
- >500 employees in 5 offices in the U.S. and 1 office in the U.K.
- NuScale valued at \$1.9 B and merged with Spring Valley on May 2, 2022.
- **Investors include JGC, IHI and JBIC**
- 634 patents granted or pending in 18 countries; ASME N-Stamp.
- First project in Idaho (2029 COD); MOU’s with several potential customers worldwide.
 - Potential projects being pursued in U.S., UK, Canada, eastern Europe, Middle East, southeast Asia, and Africa.

Core Technology: NuScale Power Module

- A NuScale Power Module™ (NPM) includes the reactor vessel, steam generators, pressurizer, and containment in an integral package
- Simple design that eliminates reactor coolant pumps, large bore piping and other systems and components found in large conventional reactors
- Each module produces 250 MWt up to 77 MWe
 - Small enough to be factory built for easy transport and installation
 - Dedicated power conversion system for flexible, independent operation
 - Incrementally added to match load growth
 - 12 module plant – up to 924 MWe gross
 - 6 module plant – up to 462 MWe gross
 - 4 module plant – up to 308 MWe gross

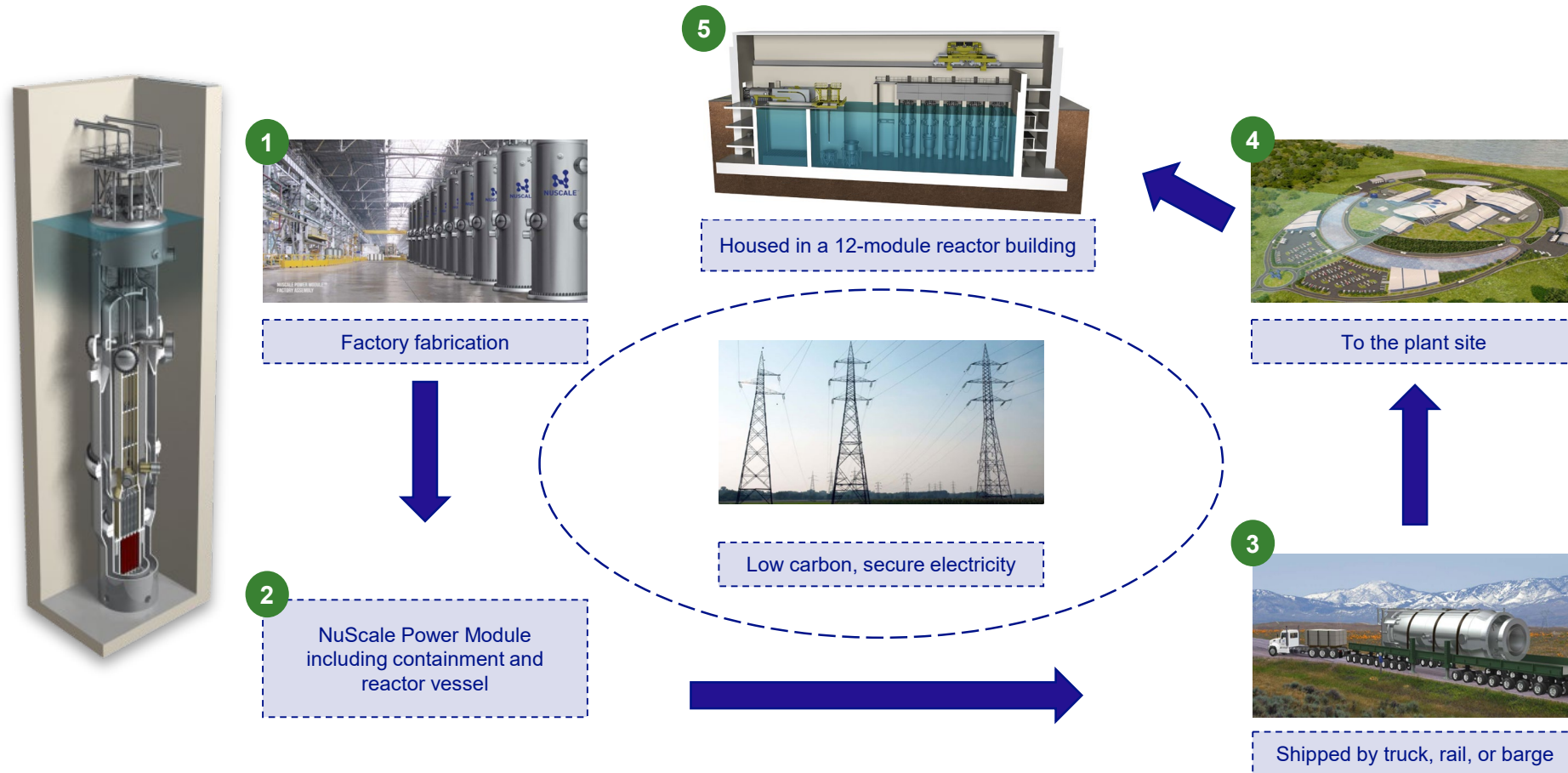


Comparison to a Large Pressurized Water Reactor (PWR)



A New Approach to Construction and Operation

NuScale has revolutionized the nuclear supply chain with modular manufacturing of NPM units in-house that are shipped to sites



Providing Identical Technology for Every Implementation

6-module plant

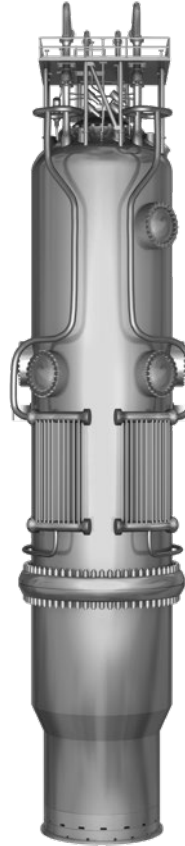


462 MWe (gross)

4-module plant

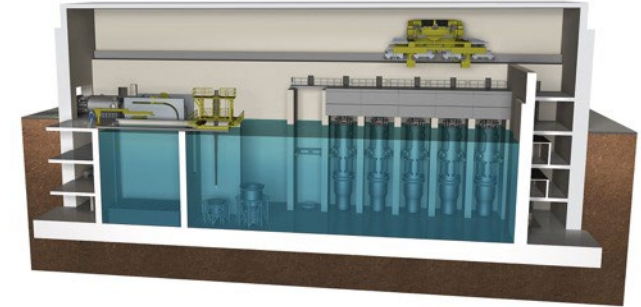


308 MWe (gross)



**NuScale Power Module™
77 MWe (gross)**

12-module plant



924 MWe (gross)

- Flexibility in size and cost advantages, with the same operational flexibility and unparalleled safety case.
- Each module feeds one turbine generator train, eliminating single-shaft risk.
- Demonstrated resiliency for every configuration (black-start, island-mode, seismically robust, cyber secure, etc.)

Simplicity Enhances Safety

Natural Convection for Cooling

- Passively safe - cooling water circulates through the nuclear core by natural convection eliminating the need for pumps.

Seismically Robust

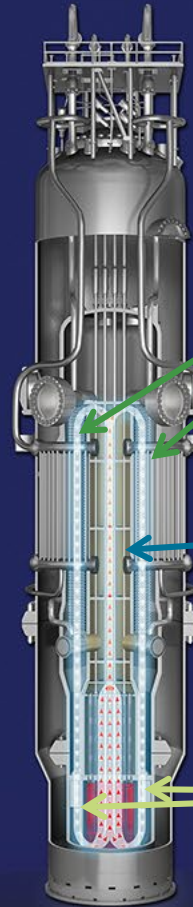
- System submerged in a below-grade pool of water in an earthquake and aircraft impact resistant building.

Simple and Small

- Reactor core is 1/20th the size of large reactor cores.
- Integrated reactor design - no large-break loss-of-coolant accidents.

Defense-in-Depth

- Multiple additional barriers to protect against the release of radiation to the environment.

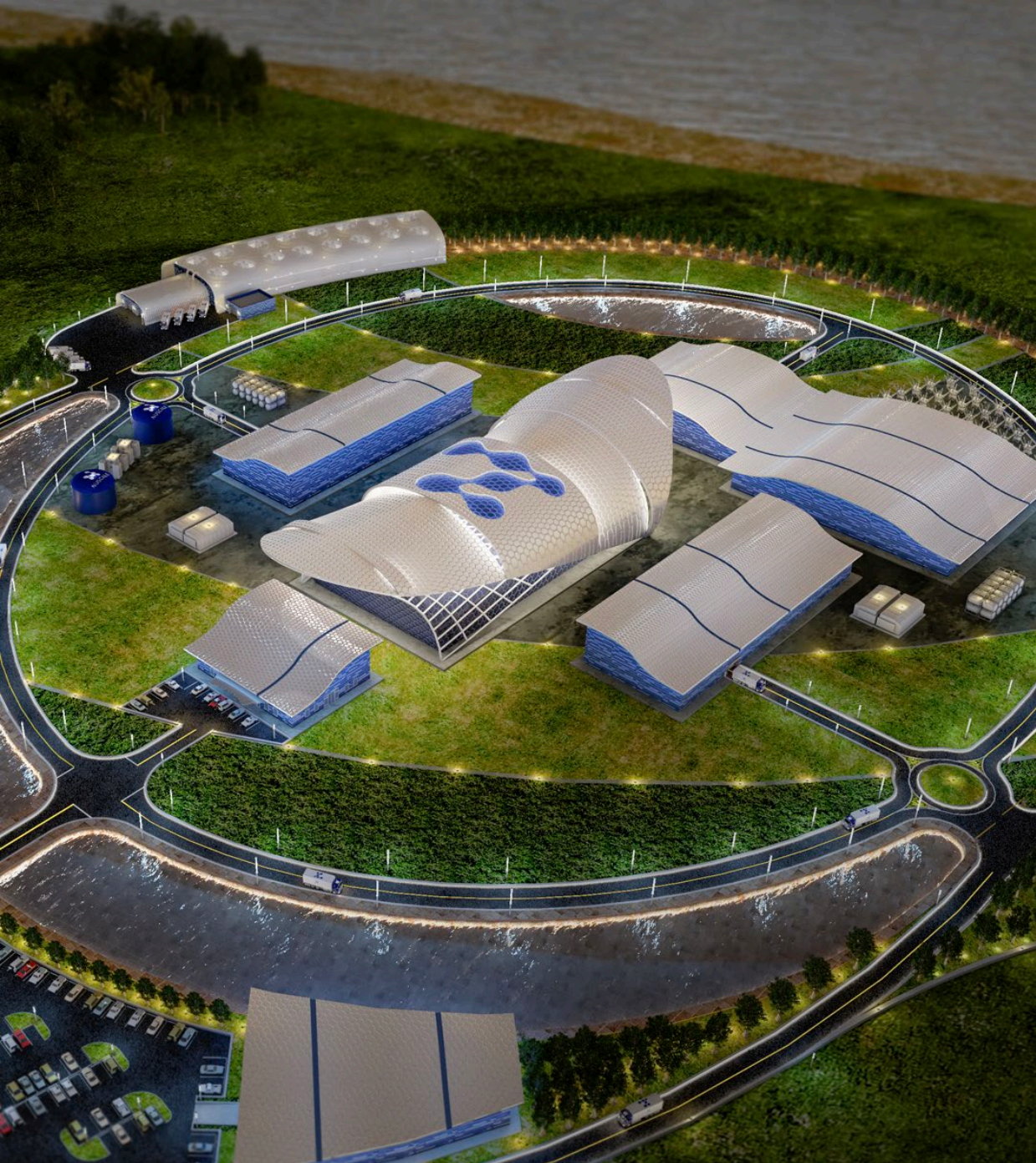


Conduction – the water heated by the nuclear reaction (primary water) transfers its heat through the walls of the tubes in the steam generator, heating the water inside the tubes (secondary water) and turning it to steam. This heat transfer cools the primary water.

Convection – energy from the nuclear reaction heats the primary water causing it to rise by convection and buoyancy through the riser, much like a chimney effect

Gravity / Buoyancy – colder (denser) primary water “falls” to bottom of reactor pressure vessel, and the natural circulation cycle continues

No Design Basis Events cause core uncovering or require Operator Action



Only SMR Approved by the NRC

- No operator action, or AC/DC power needed to shut down reactors and no need to add water to keep reactors cool for an unlimited time.
- No connection to the grid required for safety.
 - Permits siting at “end of line”; distributed generation applications, coal plant repowering; and for district heating.
- Island mode operation
 - **Regulations permits “off-grid” operation -** A very important feature for providing reliable power and process heat to industrial applications.
- Black-start capability
- Three modes of load following
- First responder power for severe weather events.
- Capable of achieving site boundary EPZ.

Artistic concept of the NuScale Power Plant

Why was NuScale Successful in getting USNRC Design Approval?

- Early Interactions with the U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC)
 - NuScale started formal Pre-Application Review with the NRC in 2008 including public meetings.
- NRC performed a Regulatory Gap Analysis
- NRC developed Design-Specific Review Standard for the NuScale SMR design. ADAMS Accession Number: ML15355A295, August 5, 2016
 - Provided the NRC staff with well-defined criteria for the safety evaluation of the NuScale SMR design.
 - Provided NuScale with expectations of what information needed to be included in the Design Certification Application
 - Enabled NuScale to produce a high quality Design Certification Application that was docketed in 90 days.

DCA Preparation and Review

- Design Certification Application (DCA) completed in December 2016.
- Docketed and review commenced by U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) in March 2017.
- NuScale received standard design approval in September 2020.

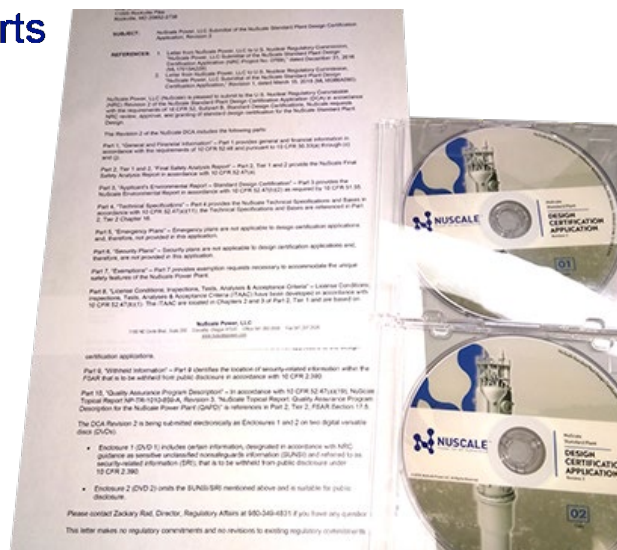


DCA Statistics

- 12,000+ pages
- >2 million labor hours
- >50 supplier/partners
- 14 Topical Reports
- >800 people
- Over \$500M

DCA Review Statistics

- 42 month review
- ~2 Million pages of supporting information
- > \$70M in NRC fees
- > \$200M NuScale in-house costs



**NuScale Power
Makes History
as the First Ever Small
Modular Reactor to
Receive U.S. Nuclear
Regulatory Commission
Design Approval.**



Technology Validation

- NuScale Integral System Test (NIST-1) facility located at Oregon State University in Corvallis, Oregon
- Critical Heat Flux testing at Stern Laboratories in Hamilton, Ontario Canada
- Helical Coil Steam Generator testing at SIET SpA in Piacenza, Italy
- Fuels Mechanical Testing at AREVA's Richland Test Facility (RTF) in Richland, WA, USA
- Critical Heat Flux testing at AREVA's KATHY loop in Karlstein, Germany
- Control Rod Assembly (CRA) drop / shaft alignment testing at AREVA's KOPRA facility in Erlangen, Germany
- Steam Generator Flow Induced Vibration (FIV) testing at SIET SpA in Piacenza, Italy
- Steam Generator Inlet Flow Restrictor Test at Alden Laboratory, Holden, MA, USA
- ECCS Valve Proof of Concept and Demonstration Tests, Target Rock, NY, USA

A New Level of Plant Resiliency

Climate Adaptation



Black-Start and Island Mode Following Loss of Offsite Power

A single module can be Black-Started and can power the entire plant in case of loss of the grid; no operator or computer actions, AC/DC power or additional water required to keep the reactors safe.



First Responder Power

On loss of the offsite grid, through variable (0% to 100%) steam bypass, all 12 modules can remain at power and be available to provide electricity to the grid as soon as the grid is restored.



Resilience to Natural Events

Reactor modules and fuel pool located below grade in a Seismic Category 1 Building

- Capable of withstanding a Fukushima type seismic event.
- Capable of withstanding hurricanes, tornados, and floods.



Resilience to Aircraft Impact

Reactor building is able to withstand aircraft impact as specified by the NRC aircraft impact rule.



Cybersecurity

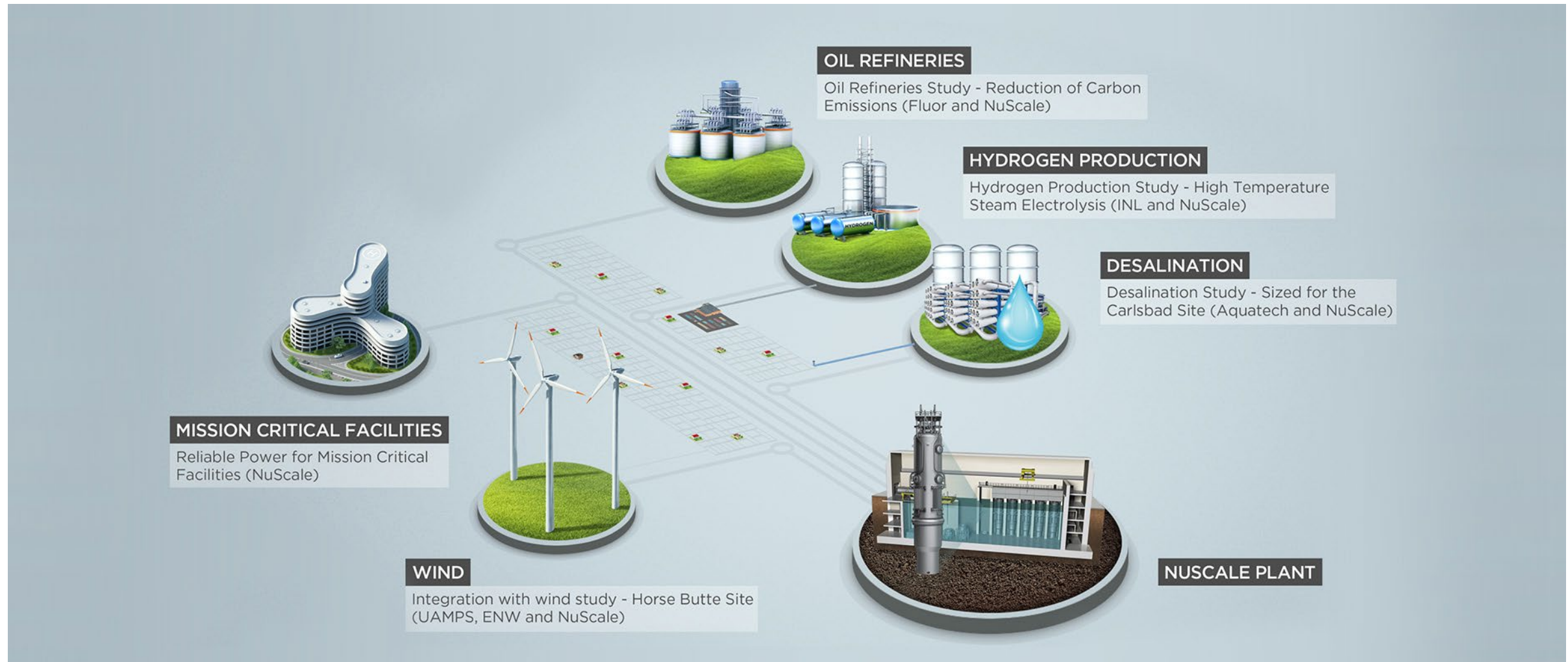
Module and plant protection systems are non-microprocessor based using field programmable gate arrays that do not use software and are therefore not vulnerable to internet cyber-attacks.



Electromagnetic Pulse (EMP/GMD)

Resilience to solar-induced geomagnetic disturbances (GMDs) and electromagnetic pulse (EMP) events beyond current nuclear fleet.

Beyond Baseload Electricity



Reports for associated technical studies are available at: www.nuscalepower.com/technology/technical-publications



NUSCALE™
Power for all humankind

Dr. Jose Reyes
Co-founder & Chief Technology Officer
jreyes@nuscalepower.com

仮訳



NuScaleのSMR開発

第2回革新炉ワーキンググループ
経済産業省 2022年5月19日

ホセ・レイエス博士
共同創業者兼最高技術責任者

謝辞と免責事項

本資料は、米国エネルギー省の支援（補助金番号：DE- NE0008928）を受けた作業の成果に基づいている。

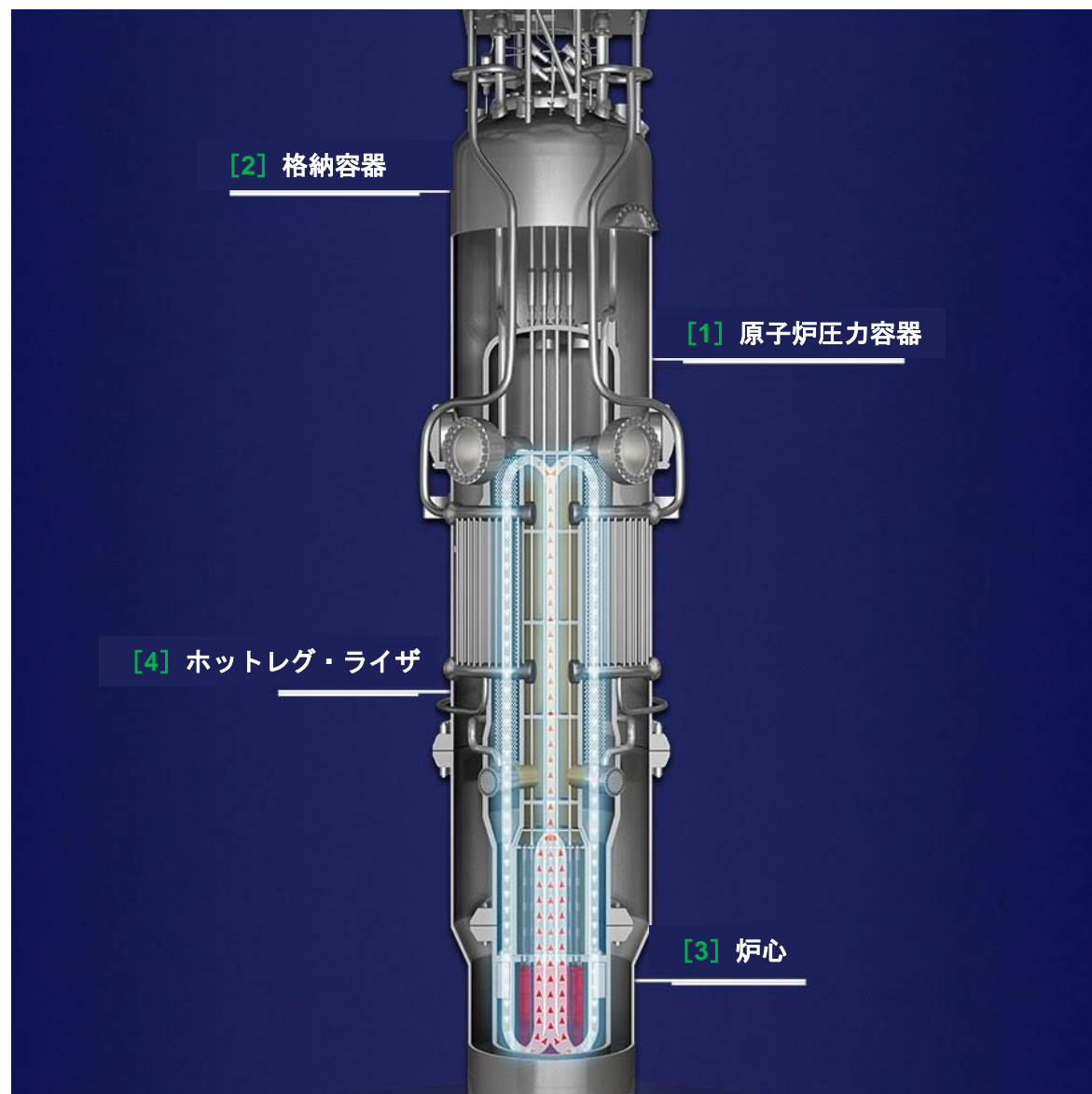
このプレゼンテーションは、米国政府機関によって支援された作業の記録として作成されている。米国政府、その機関、およびその職員のいずれも、開示された情報、装置、製品、またはプロセスの正確性、完全性、または有用性について、明示または黙示を問わずいかなる保証も行わず、いかなる法的責任も負わないものとし、その使用が私的所有権の侵害とならないことを表明するものでない。本書で特定の商用製品、プロセス、またはサービスを商号、商標、製造業者、またはその他の方法で参照することは、必ずしも米国政府またはその機関による承認、推奨、または優遇を意味するものではない。本書に記載された著者の見解や意見は、必ずしも米国政府またはその機関の見解や意見を表明または反映したものではない。



NuScale Powerとは？

- NuScale Power社は、ニューヨーク証券取引所（NYSE）で「SMR」および「SMR WS」のティッカーシンボルにより取引されている公開企業。
- NuScale Power社は、小型モジュール式原子炉（SMR）であるNuScale Power Module™の設計を完了し、商業化することのみを目的として、2007年に設立。
- 初期コンセプトは、2000年の米国エネルギー省（DOE）のMASLWR（マルチアプリケーション小型軽水炉）計画から開発・試験を実施。
- 2011年、世界的なエンジニアリング・建設会社であるFluorが主要投資家となる
- 2013年 - NuScale は、マッチングファンドのための競争的な米国DOE Funding Opportunityを獲得し、これまでに、\$4億以上の資金を獲得。
- 米国5拠点、英国1拠点で500人以上の従業員が在籍。
- NuScaleは\$19億と評価され、2022年5月2日にSpring Valleyと合併。
- 出資者には日揮HD、IHI、JBICを含む。
- 18カ国で634件の特許を取得または申請中；ASME N-Stamp。
- アイダホ州で最初のプロジェクト（2029年運開予定）が計画され、世界各国の潜在顧客の数社と覚書を締結。

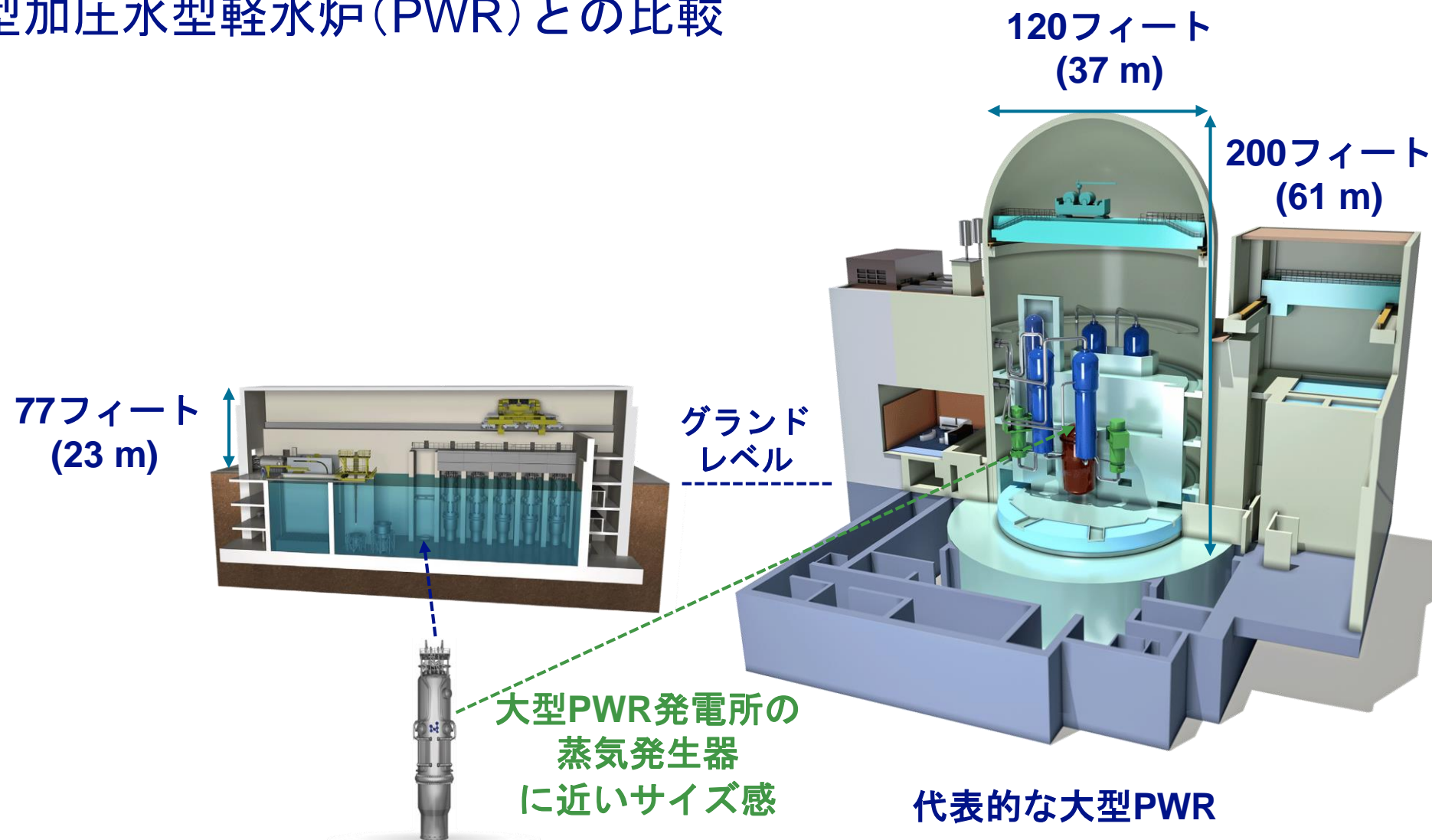
→米国、英国、カナダ、東欧、中東、東南アジア、アフリカでプロジェクトを推進中。



コアテクノロジー: NuScale Power Module

- NuScale Power Module™ (NPM) には、原子炉容器、蒸気発生器、加圧器、格納容器が一つのパッケージとして含まれる。
- 従来の大型原子炉にあった原子炉冷却材ポンプ、大口径配管、その他の系統・機器を排除したシンプルな設計。
- 各モジュールは250MWt（最大77MWe）を生成
 - 工場で組み立てられるほど小型で、輸送や設置が簡単
 - 個々のモジュール専用の発電システムにより柔軟な独立運用を実現
 - 負荷の増加に合わせて増設
 - 12モジュールプラント - 最大924MWe（グロス）
 - 6モジュールプラント - 最大462MWe（グロス）
 - 4モジュールプラント - 最大308MWe（グロス）

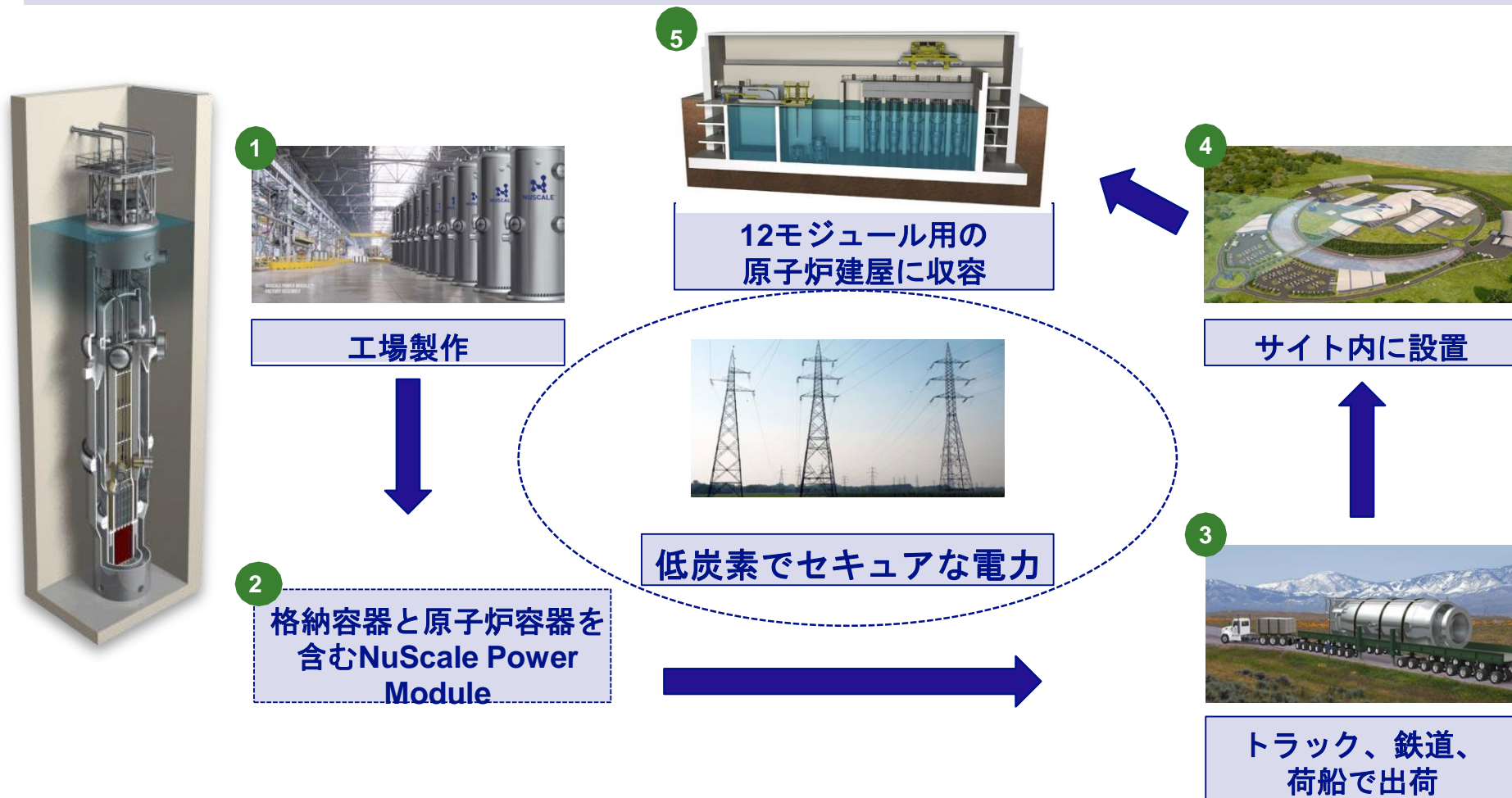
大型加圧水型軽水炉(PWR)との比較



NuScale Power Module™

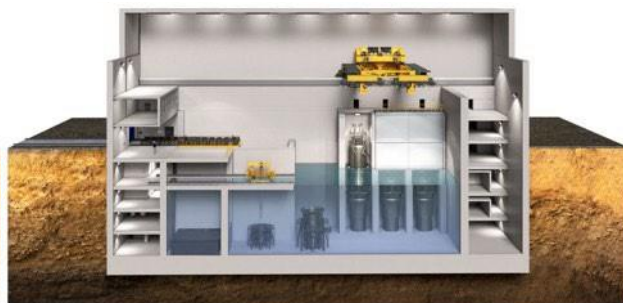
建設・運転の新しいアプローチ

NuScaleは、NPMユニットを自社でモジュール製造してサイトに出荷することで、原子力のサプライチェーンに革命を起こしている



異なる実装(モジュール数)に同一の技術を提供

6モジュール発電所



462 MWe (グロス)

4モジュール発電所

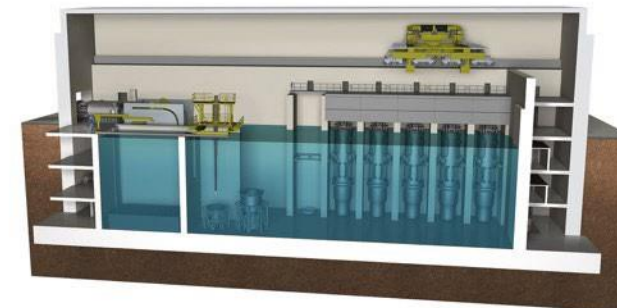


308 MWe (グロス)



NuScale Power Module™
77 MWe (グロス)

12モジュール発電所



924 MWe (合計)

- 運用の柔軟性と比類なき安全性はそのままに、サイズの柔軟性とコストメリットを実現。
- 1つのモジュールが1つのタービン発電機に蒸気供給するため、1つの軸へのリスク集中を排除。
- 様々な条件で実証されたレジリエンス（ブラックスタート、アイランドモード、耐震性、耐サイバー攻撃 等）。

安全性を高めるシンプルさ

自然対流による冷却

- ・ パッシブセーフ - 冷却水は自然対流によって炉心内を循環するため、ポンプを必要としない。

耐震性

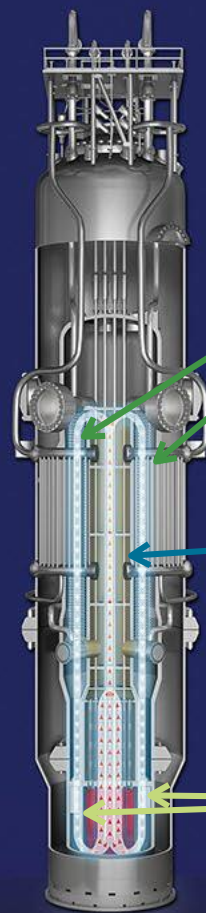
- ・ 地震や航空機の衝撃に強い建屋の地階部分のプールにモジュールを配置。

シンプル&スモール

- ・ 炉心は大型炉心の1/20。
- ・ 統合された原子炉設計 - 大破断冷却材喪失事故を排除。

深層防護

- ・ 環境への放射性物質の放出を防ぐために、追加の複数のバリアを設置。

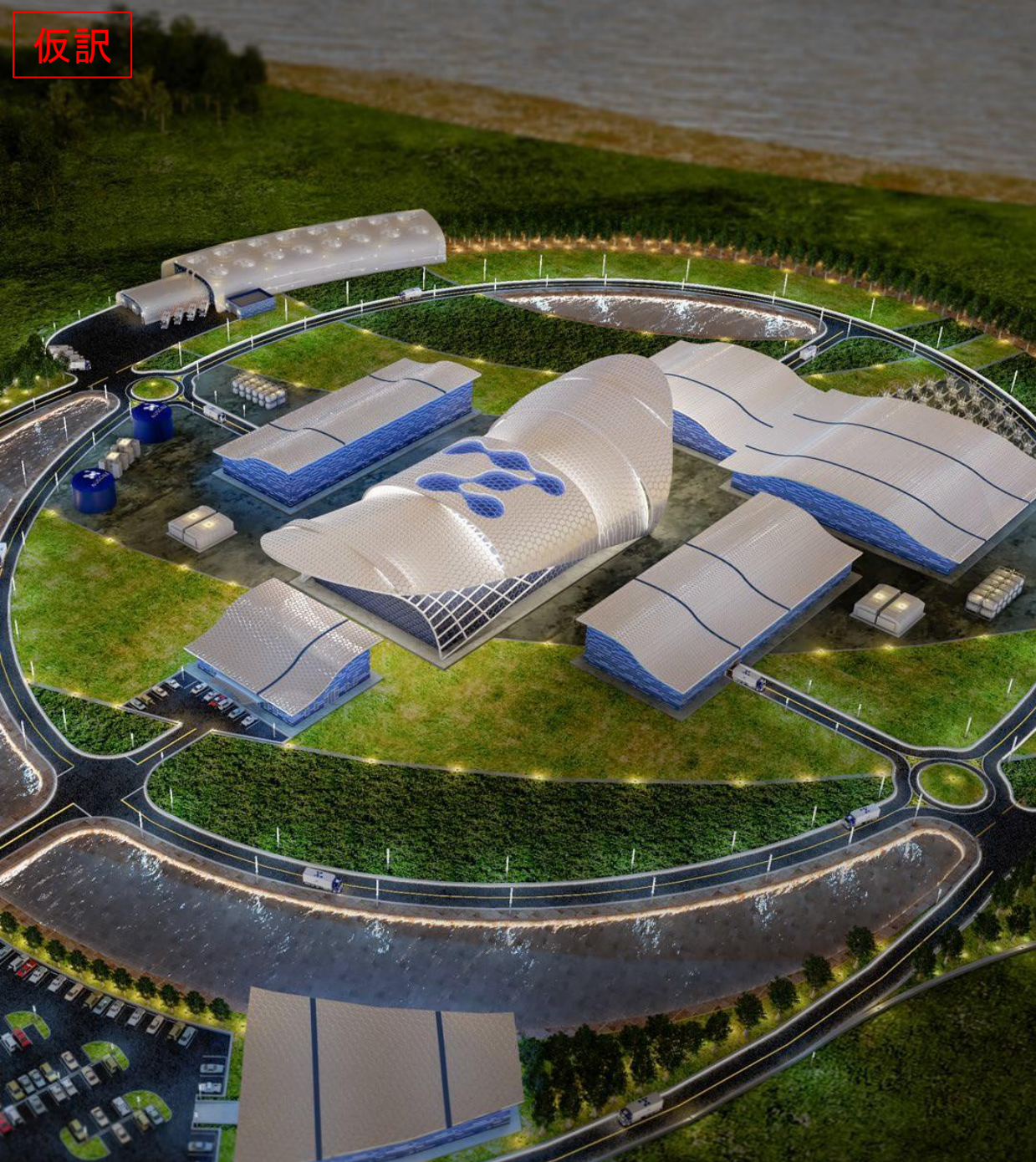


熱伝導 - 核反応で温められた水（一次系）は、その熱を蒸気発生器の管の壁を通して伝え、管の中の水（二次系）を加熱して蒸気に変える。この熱伝導によって一次系が冷やされる。

対流 - 核反応によるエネルギーが一次冷却材を加熱、対流と浮力によってライザ内を上昇させる、煙突効果のようなもの。

重力/浮力 - より冷たい（高密度な）一次系冷却材が原子炉圧力容器の底に「落下」し、自然循環サイクルを継続。

設計基準事象が炉心露出を引き起こさない、あるいは運転員操作を必要としない。



NuScale発電所のアートコンセプト

NRCで認可された唯一のSMR

- 原子炉停止に、運転員操作やAC/DC電源が不要であり、原子炉の長期冷却に、原子炉への注水が不要。
- 安全のための外部電源への接続が不要。
 - 送電端での設置が可能、分散型発電への適用、石炭発電所の転換、地域暖房用途。
- アイランドモード運転
 - 規制側は「オフグリッド」運転を認める。産業用途に対して信頼性の高い電力とプロセス熱を供給するために非常に重要な特徴
- ブラックスタート機能
- 負荷追従の3つのモード
- 自然災害時の緊急対応要員向けの電力
- サイト境界でのEPZ設定が実現可能。

なぜNuScaleはUSNRCの設計認可に成功したのか？

- 米国原子力規制委員会(NRC)との初期段階での議論
 - NuScaleは、2008年にNRCとの間で公開会議を含む正式な申請前審査を開始。
- NRCは規制ギャップ分析を実施
- NRCはNuScale SMR設計のための炉型固有の審査基準を作成。
ADAMS（NRCの文書管理システム）の登録番号ML15355A295, 2016年8月5日付け
 - NuScale SMR設計の安全評価について、NRCスタッフに明確に定義された基準を提供。
 - 設計認証申請書にどのような情報を記載する必要があるか、NuScaleへの期待事項を伝達。
 - NuScaleは、高品質の設計認証申請書を作成し、90日間でのNRCによる登録を達成。

DCAの準備とレビュー

- 2016年12月、設計認証申請（DCA）完了。
- 2017年3月、米国原子力規制委員会（NRC）により申請の登録が完了し、審査が開始。
- 2020年9月にNuScaleは標準設計認可を取得。

DCA申請書のデータ

- 12,000ページ以上
- 200万作業時間
- 50以上のサブライバパートナー
- トータルレポート：14件
- 800人以上
- \$5億以上

DCAの審査データ

- 審査期間：42カ月
- 約200万ページのサポート文書
- NRCの審査料金：\$7,000万以上
- NuScaleの費用：\$2億以上



NuScale Powerは
小型モジュール炉
として初めて米国
原子力規制委員会
の設計認可を取得
し、歴史的偉業を
達成。

技術検証

- オレゴン州コーバリスのオレゴン州立大学内にあるNuScale統合系統試験（NIST-1）施設
- カナダ・オンタリオ州ハミルトンにあるスターン研究所における臨界熱流束試験
- イタリア・ピアチェンツァのSIET SpAにおける螺旋コイル式蒸気発生器の試験
- 米国ワシントン州リッチランドにあるAREVAのリッチランド試験施設（RTF）での燃料の機械的特性試験
- ドイツ・カールシュタインにあるAREVAのKATHYループでの臨界熱流束試験
- ドイツ・エアランゲンのAREVA社KOPRA施設での、制御棒アセンブリ（CRA）の落下／シャフトアライメント試験
- イタリア・ピアチェンツァのSIET SpAにおける蒸気発生器の流体励起振動（FIV）試験
- 米国マサチューセッツ州ホールデンのオールデン研究所における蒸気発生器入口流量制限器試験
- 米国ニューヨーク州のターゲットロックにおけるECCS弁の概念実証と実証試験



新しいレベルのプラント・レジリエンス

気候変動への適応



外部電力喪失時のブラックスタート とアイランドモード

外部電源喪失時に単一のモジュールをブラックスタートさせ、プラント全体に給電可能。原子炉の安全性維持のために、運転員やコンピューターの操作、AC/DC電源、給水不要。



緊急対応要員向けの電力

外部電源網の喪失時も、蒸気バイパス（0%～100%）の活用により、12基の全てのモジュールの出力を維持し、外部電源網が復旧次第、電力を供給することが可能。



自然現象への耐性

原子炉モジュールと燃料プールは、耐震力テゴリー1の建物の地下に設置。
- 福島のような地震に耐える。
- ハリケーン、竜巻、洪水に耐える。



航空機衝突への耐性

原子炉建屋は、NRCの航空機衝突規則に規定された航空機衝突に耐えることが可能。



サイバーセキュリティ

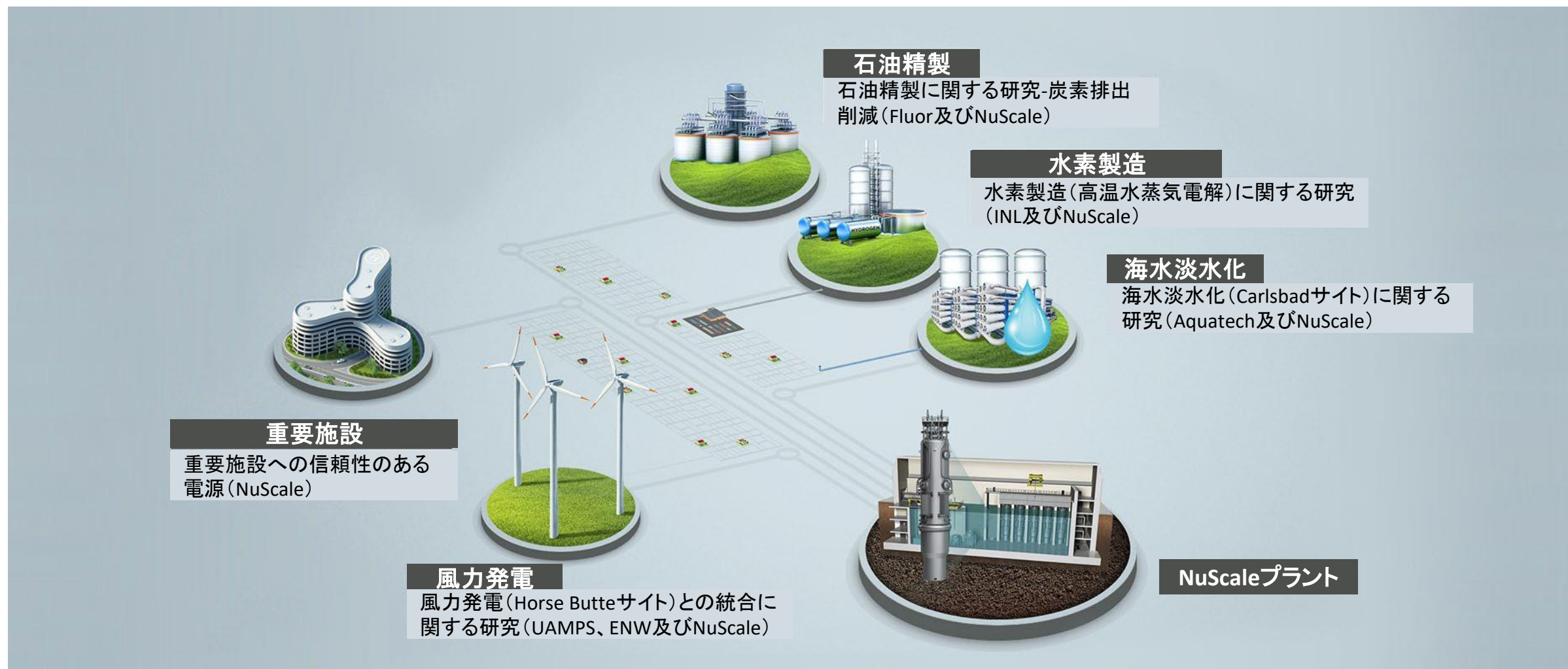
モジュールやプラント保護系は、ソフトウェアを使用しないFPGAを用いたノンマイクロプロセッサ方式であるため、インターネットによるサイバー攻撃に対して脆弱ではない。



電磁パルス(EMP/GMD)

太陽による地磁気擾乱（GMD）および電磁パルス（EMP）事象に対して、既設の原子力発電所を超える耐性を有する。

ベースロード電源以外の用途



関連する技術報告書は、www.nuscalepower.com/technology/technical-publications で閲覧可能。

仮訳



NUSCALE™
Power for all humankind

ホセ・レイエス博士
共同創業者兼最高技術責任者
ireyes@nuscalepower.com