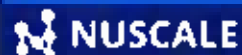


# SMRの代表例：米NUSCALE社



Benefits Technology Projects Environment Investors About US

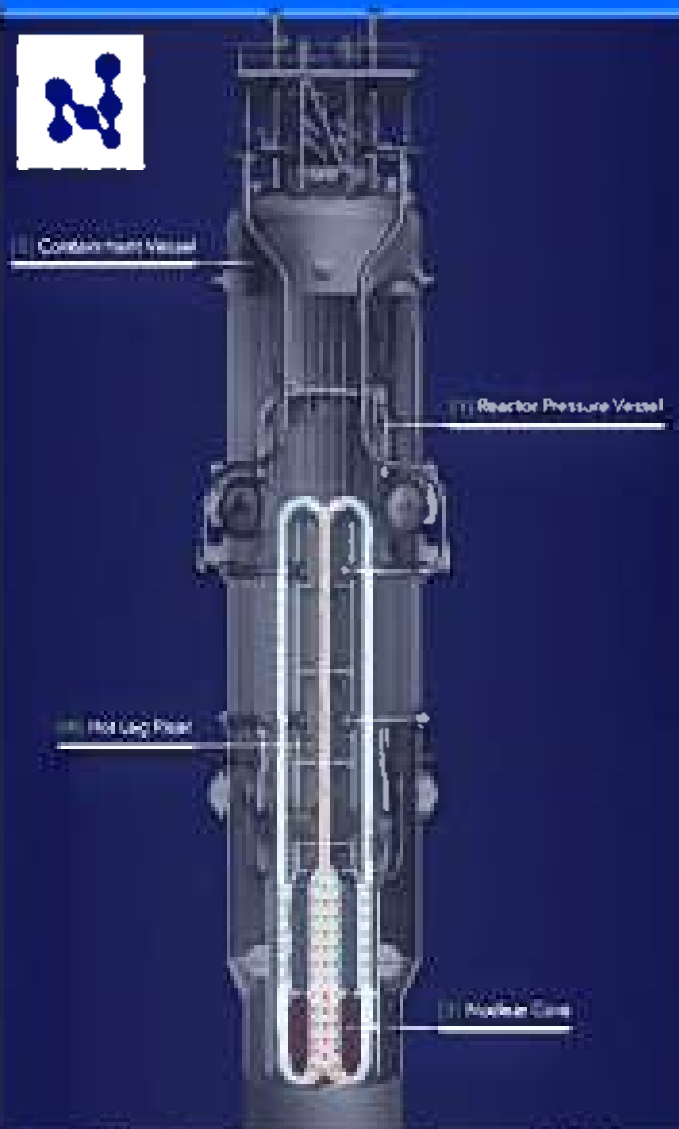


12-Module (924 MWe)	6-Module (462 MWe)	4-Module (308 MWe)
VOYGR™-12	VOYGR™-6	VOYGR™-4



<https://www.nuscalepower.com/projects>

# 米国NUSCALEの原子炉本体



FEATURES OF THE NUSCALE POWER MODULE

## 自然循環による冷却材(水)の循環

### CONDUCTION

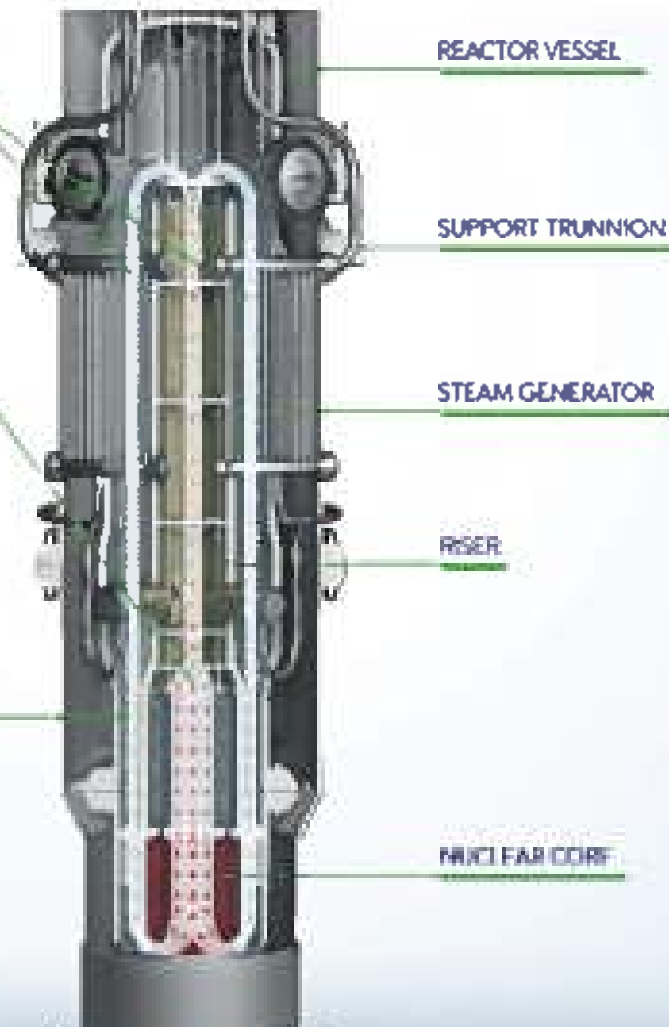
Heat is transferred from the primary coolant through the walls of the tubes in the steam generator, heating the water (secondary coolant) inside them to turn it to steam.

### CONVECTION

Energy from nuclear reaction heats the primary reactor coolant causing it to rise by convection and natural buoyancy through the riser, much like a chimney effect.

### GRAVITY

Colder (denser) primary coolant "falls" to bottom of reactor pressure vessel, cycle continues.



<https://www.youtube.com/watch?v=IP-GNwe3WEQ>

# 英国ロールス・ロイス社のSMR



Rolls-Royce SMR is a completely different way of building nuclear; factory fabricated, road transported and site assembled.

The RR SMR approach is a holistic, integrated power station and not just a nuclear reactor design.

-470 MWe output		Enhanced Gen III+ levels of safety and security
50 Hz design		1 <sup>st</sup> unit on grid early 2030s
Proven PWR Technology & Standard Fuel		Capital cost under £1.8 Bn*
Power station delivery as a turnkey project		Adaptable, multi-use power & heat output
4 yr Construction (10th unit)		LCOE £35-£50 per MWh*

Rolls Royce SMRs - Low cost, Deliverable, Investable Low Carbon Power

\* based on a 1000 MW plant with 10 units



Primary module



SFP module



Cell module



Alan WOODS

Director  
Strategy and Business Development - SMR  
Rolls-Royce plc  
United Kingdom



Rolls-Royce SMR

Economic potential and marketability



# 露ロストアトム社のSMR (5.5万kW × 2基)

2 × 55 MWe = 110 MWe

2 RITM-200N reactors



## TECHNICAL PARAMETERS

Electrical capacity	> 110 MW (2 x 55 MW)
Thermal capacity	380 MW (2 x 190 MW)
Refueling cycle	5-6 years
Design life	60 years
Availability factor	90%
Plant area	15 acres (0.06 km <sup>2</sup> )
Construction period	3 - 4 years



FLEXIBLE, TAILOR-MADE SMALL NPP SOLUTION BASED ON RITM-200N IS DESIGNED TO ADDRESS A WIDE RANGE OF CUSTOMER DEMANDS



Displacement	21 000 t
Length	140 m
Beam	30 m
Draught	5.6 m
Fuel cycle	3 years
Design life	40 years
Time to maintenance	12 years
Staff	299*

ROSATOM SMR evolution:  
from KLT-40S to RITM-200

Time proven PWR technology

Integral configuration

3<sup>rd</sup> generation

45% less in the dimensions, 35% less in the cost

> 400

years of  
successful  
operation of  
the reactors



ROSATOM: all that is nuclear



ROSATOM: unique experience and capabilities in the global energy market

35 NPP UNITS in various states

255 000 EMPLOYEES

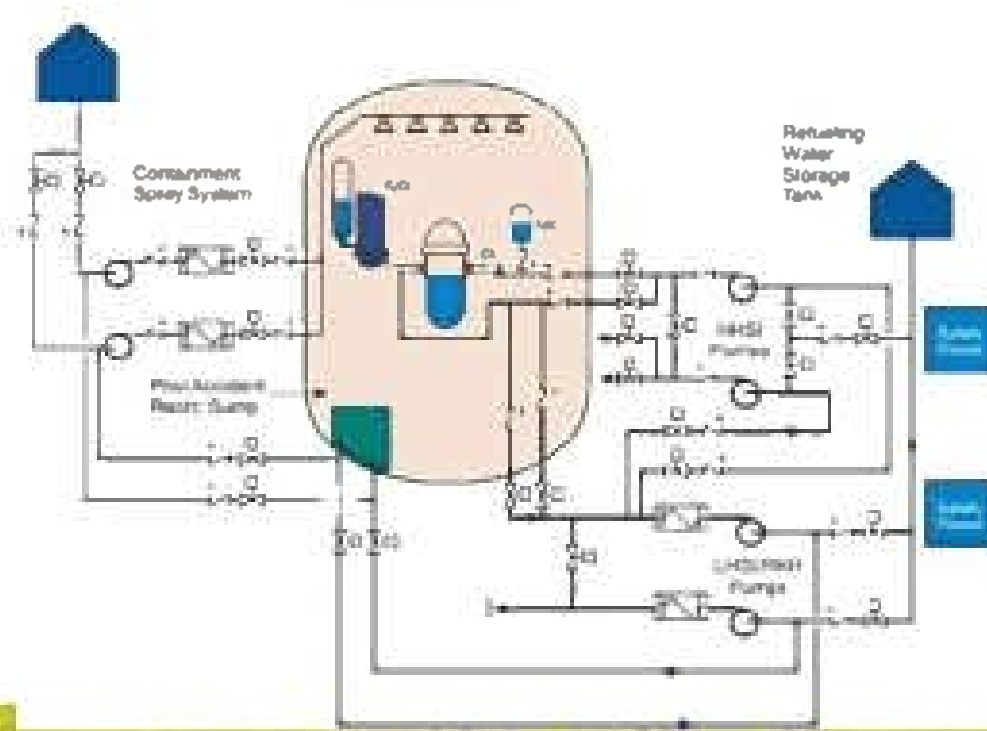
> 300 ENTERPRISES AND ORGANIZATIONS

> 50 COUNTRIES in various stages of projects

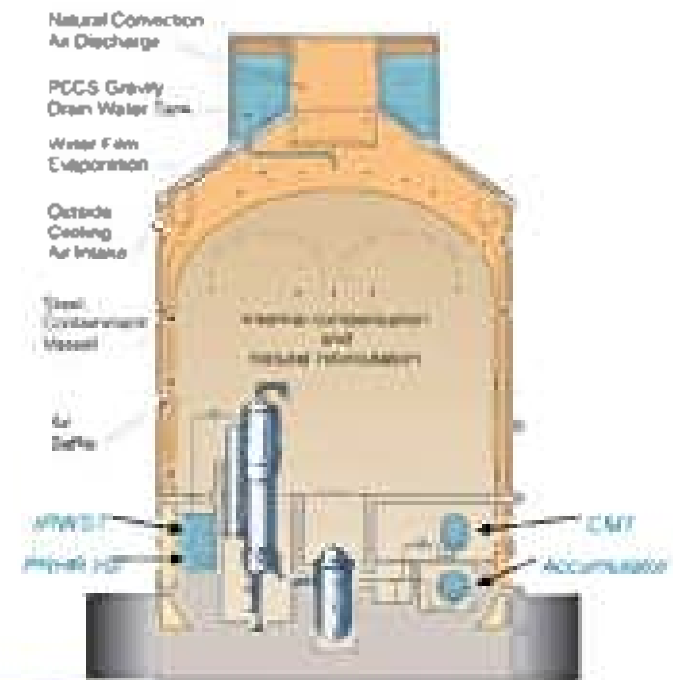
# パンプ冷却による簡素化・安全性の向上

- Simplification of safety systems eliminate the need for AC power
- Dramatically reduces building volumes

Standard PWR

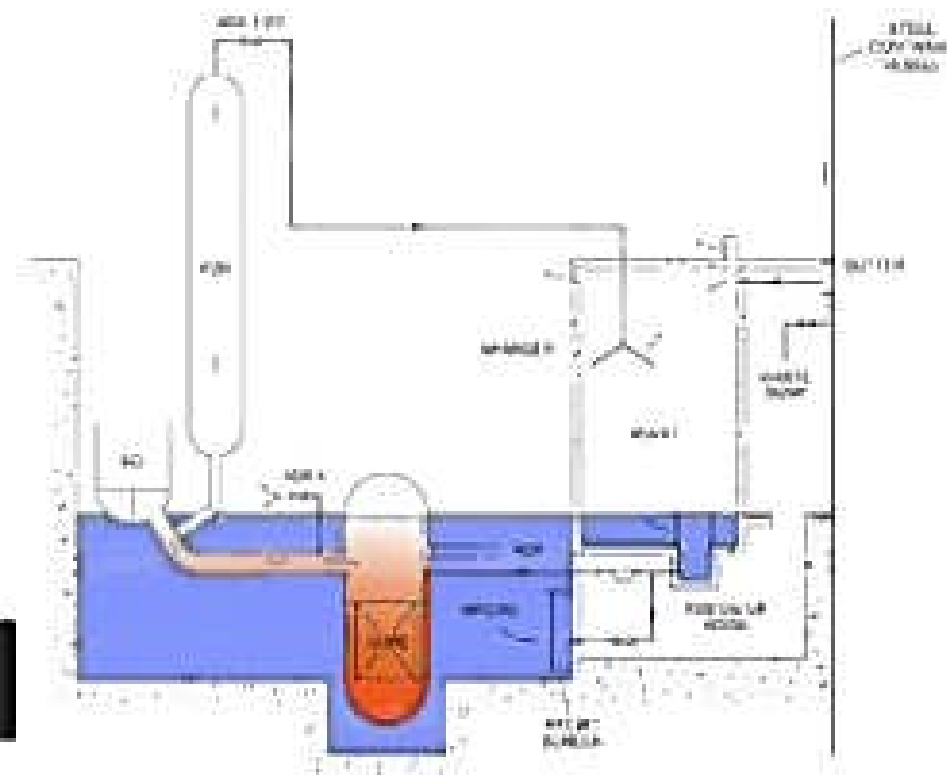
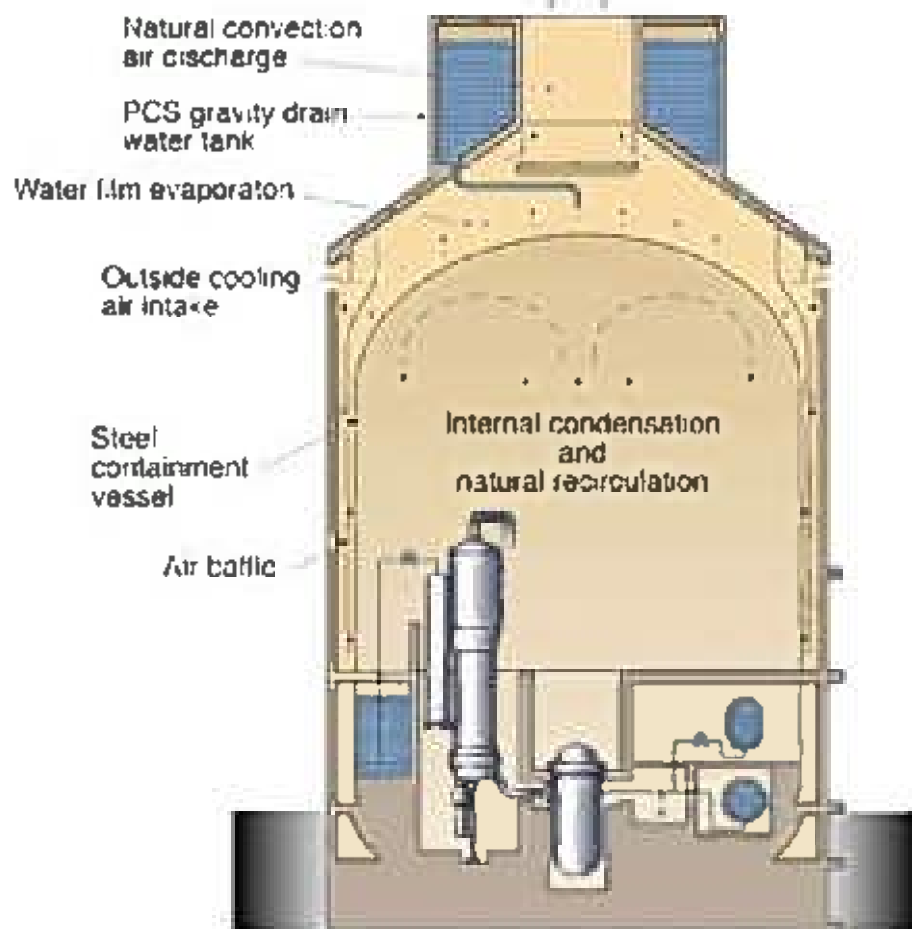


AP1000



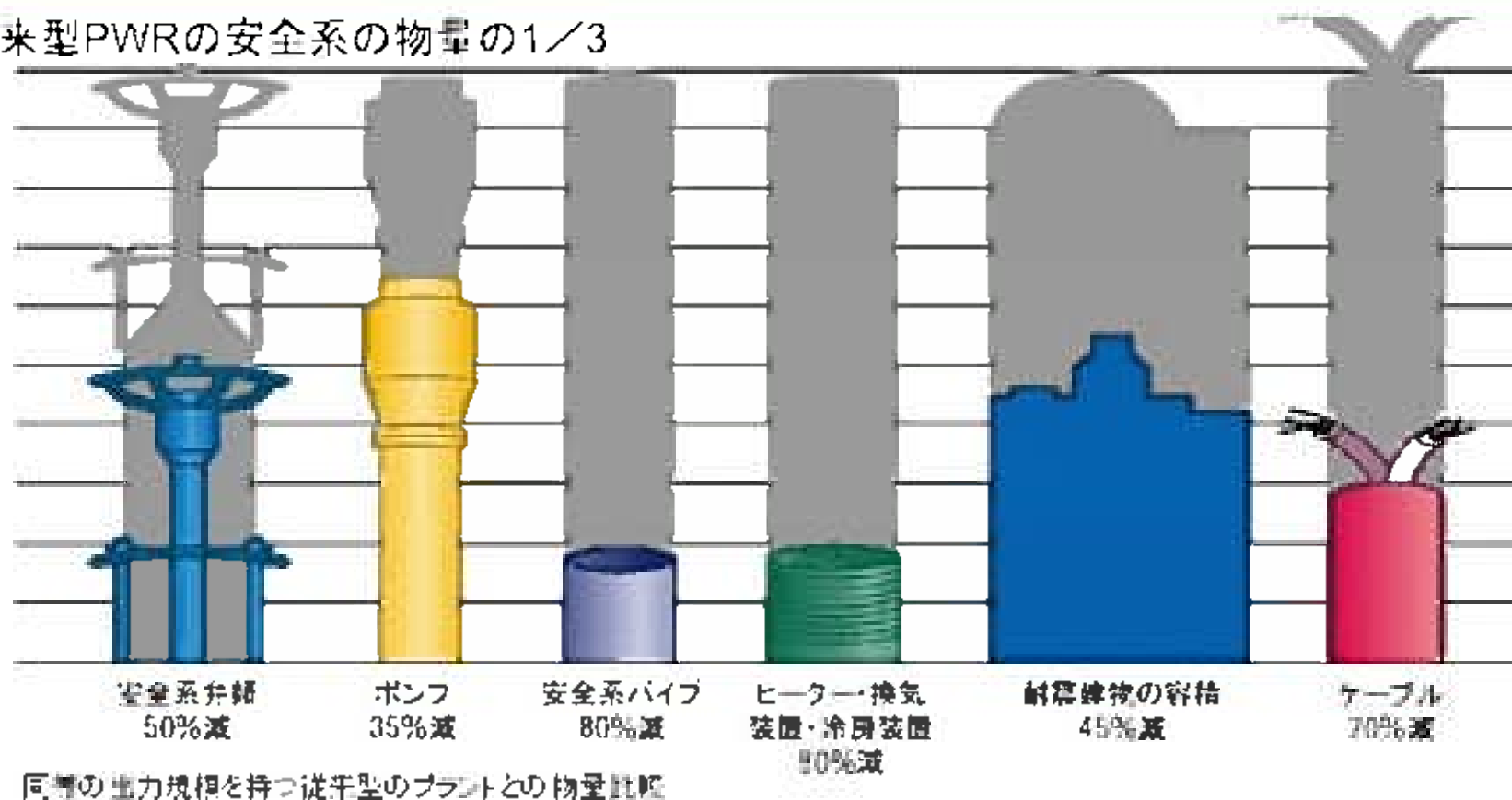
# AP1000の自然冷却システム

■ 外部注水に頼らずに、自然冷却で事故収束



# AP1000の安全系の大幅簡素化

従来型PWRの安全系の物量の1/3



下記の出所を基に作成した。

図7 AP1000の受動安全設計による機器類の物量低減

【出所】 R.A.Matzie: The AP1000 Reactor Nuclear Renaissance Option (September 26, 2003) 21/31.  
[http://www.eng.tulane.edu/FORUM\\_2003/Matzie%20Presentation.pdf](http://www.eng.tulane.edu/FORUM_2003/Matzie%20Presentation.pdf)



# 2002年に東芝で開発したSMRをIAEAに提案

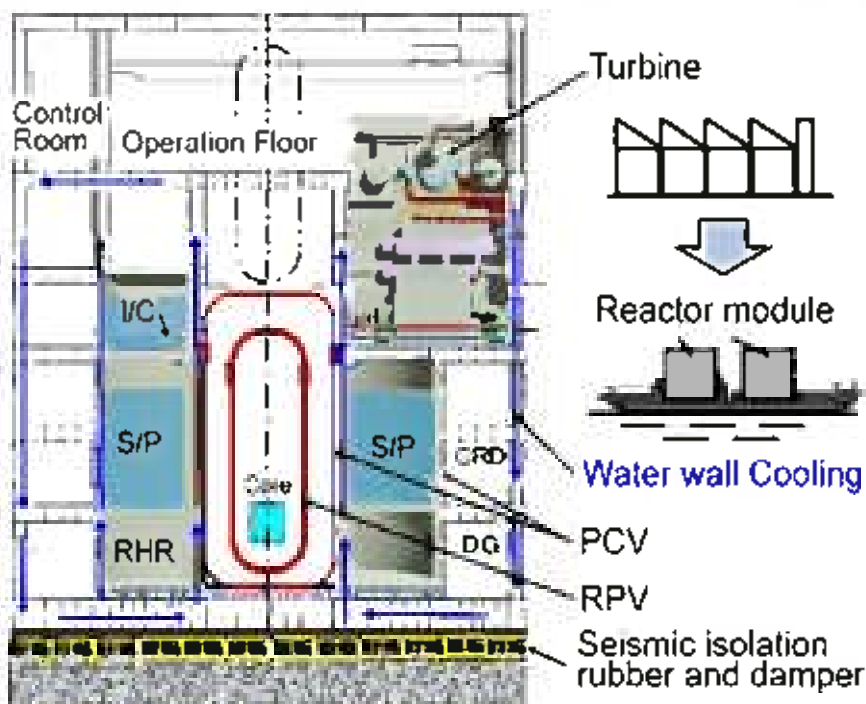
2022年5月10日  
IAEAの技術会議で提案

IAEA Technical Meeting on Codes and Standards, Design, Engineering and Manufacturing of Components for Small Modular Reactors, IC 10 May 2022 (Virtual Event - Ref. No. EVT210386)

Proposals that contribute to the innovation of SMR, such as LBB, Seismic Isolation Structures, Ship Hull Structures, and Application of General Industrial Products



- システムの簡素化: 直接サイクル / 自然循環 / 静的安全系
- 簡素化: 原子炉建屋 / タービン建屋一体化
- 高稼働率: 超長期サイクル炉心





# 東工大でSMR開発(30万kW→80万kW)

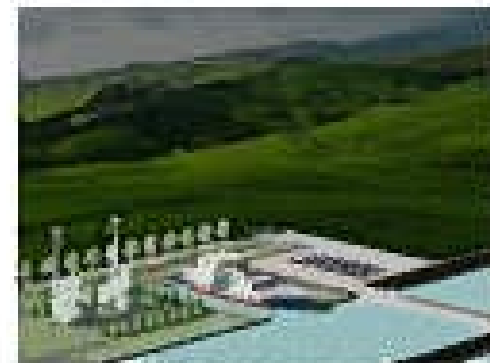
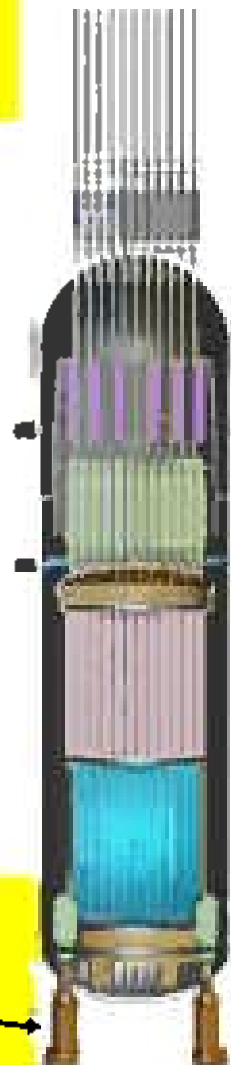
再エネと共生する負荷追従や自然冷却安全系を備えた革新型炉の開発が必要。  
20基で1000万kWの再エネ変動を補完できる



自然冷却方式・建屋免振の活用

出典 Plenary III "Integrated Energy Systems: Prof. Narabayashi  
How Nuclear, Renewables and Clean Hydrocarbons can Work Together  
to Mitigate Climate Change" October 19, Abu Dhabi, COP28 2023

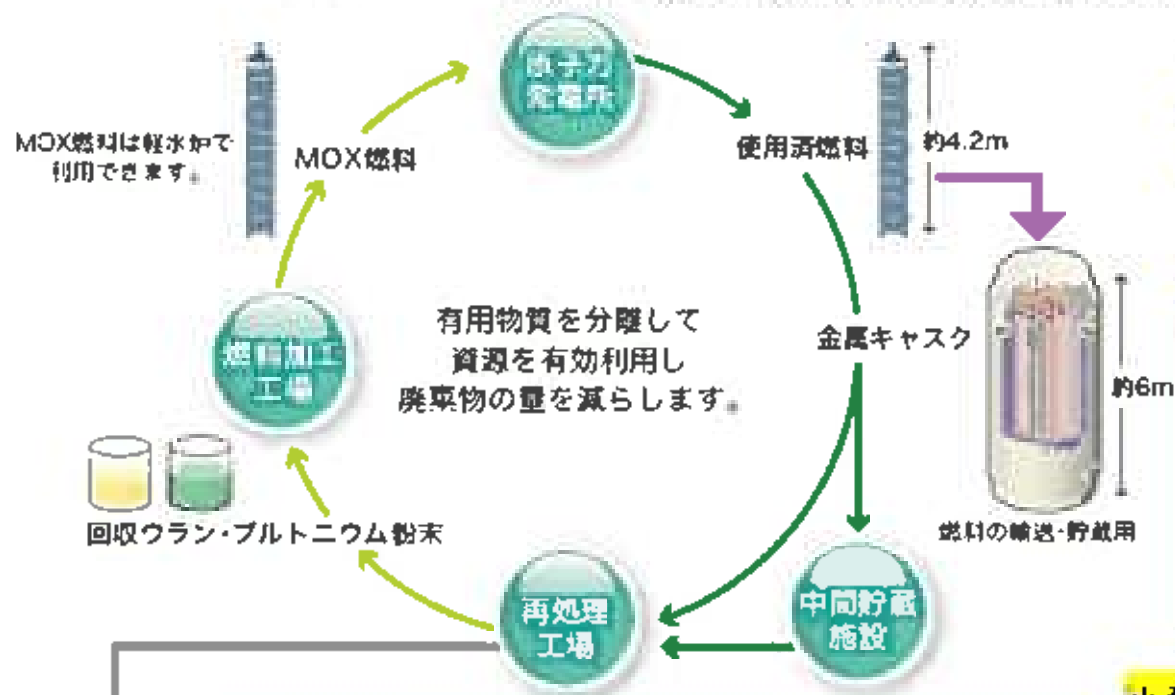
インターナル  
ポンプによる  
出力増  
30万kW  
→80万kW



工場で製造・船で運搬

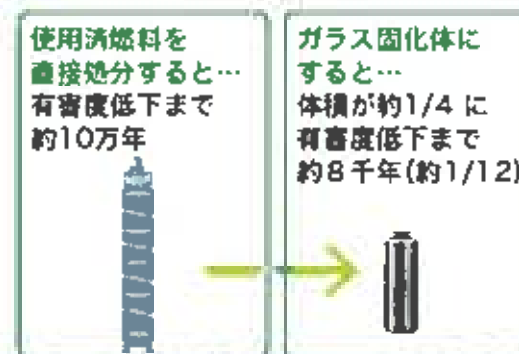
# 核燃料サイクルと地層処分、高速炉の活用

日本は、原子力発電所の使用済燃料を再処理し、回収されるウランとプルトニウムを再利用しつつ、廃棄物の発生量を抑える「核燃料サイクル」を推進しています。小型高速炉(SFR)で有害度の高い核種(MA)を焼却すると保管期間を約300年に短縮。



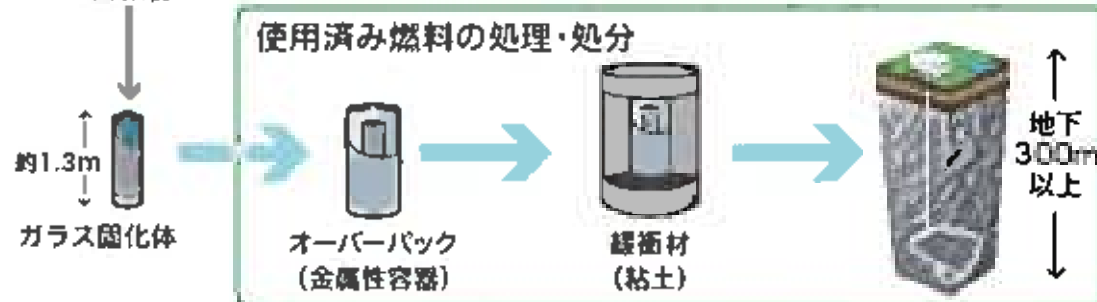
## 核燃料サイクルの3つのメリット

- 放射性廃棄物の量を減らす
- 放射性廃棄物が天然ウラン並みの有害度まで低下する期間が短くなる
- 資源の有効利用



## 小型高速炉でMA焼却すると約300年

PRISMや常陽の活用 → 地層処分場の保管期間短縮可能



資料提供: 金属キャスク図: 日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図鑑」

<https://www.jaif.or.jp/170606-a>

# まとめ

- 地球の環境危機の時代にあっては、原発を止めると人類や生物の存続にかかわる将来的な危機をもたらす。経済危機も発生する。
- 再エネと**火力発電所と組み合わせて**使うとCO2減らない。
- 現在、国際的に再生可能エネルギー（再エネ）が礼賛され、**世界中が再エネで電力の全てをまかなえるかのような錯覚に陥っている。**
- 太陽光発電の設備利用率は、高々13%しかない。
- 2050年までに電気自動車などの普及で日本の電力需要は少なくとも現在の1.5倍になるといわれている。その電力の少なくとも3分の1を供給するには、**2050年までに計24基の原発の建設が必要。**
- カーボンニュートラルは原発なしには達成できない。
- フィルターベントや各種安全対策で原発のリスクが大幅低減
- 新增設・リプレースのため安全性を高めた最新型炉の開発開始必須
- コストは建設および再稼働と廃炉合わせて**34兆円**と推定されている
- 再エネに比べ費用対効果ははるかに大きい。実現性もより確実。

# CO2回収貯留(CCS)は量的に無理

電源開発の超々臨界圧石炭火力の竹原火力発電所(60万kW)に行きました。熱効率48.9%の微粉炭火力。年間約1隻の石炭船、1回に9万t燃焼させると、 $(12+16 \times 2) / 12 = 3.66$ 倍になるので、33万tのCO<sub>2</sub>になる。石狩湾のCCSの試験に用いているCCSは石炭船1隻で満タンになる。石炭船の数だけCCSの施設が必要。量的に無理。



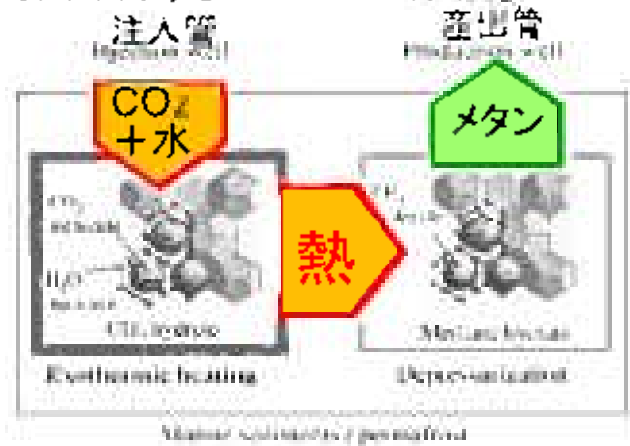
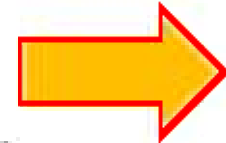
# メタンハイドレートへCO<sub>2</sub>注入貯蔵

メタンハイドレートとは、天然ガスの主成分であるメタンと水分子が低温かつ高圧状態で結晶化した氷状の物質です。火を近づけると燃えるため、「燃える氷」とも呼ばれています。メタンハイドレート1m<sup>3</sup>中に約170m<sup>3</sup>のメタンガスを取り込むことができるが、低温・高圧の状態でのみ安定的に存在できる物質であるため、極寒の凍土域や深海などのみに存在。



上野晋博より  
[https://research.jp/arc/1111/02a.jp/sochi\\_kisaku\\_nabai/01/02a-04/02a0101.html](https://research.jp/arc/1111/02a.jp/sochi_kisaku_nabai/01/02a-04/02a0101.html)

CO<sub>2</sub>がハイドレート化するときの水和熱でメタンを発生(電中研の室内実験)



電中研のCO<sub>2</sub>ハイドレート生成実験で得られたメタンとCO<sub>2</sub>の生成物とCO<sub>2</sub>生成熱とCO<sub>2</sub>の生成熱の比較。生成熱はCO<sub>2</sub>の生成熱の約2倍で、CO<sub>2</sub>の生成熱を補償する。[URL: https://www.riken.go.jp/arc/1111/02a.jp/sochi\_kisaku\_nabai/01/02a-04/02a0101.html]

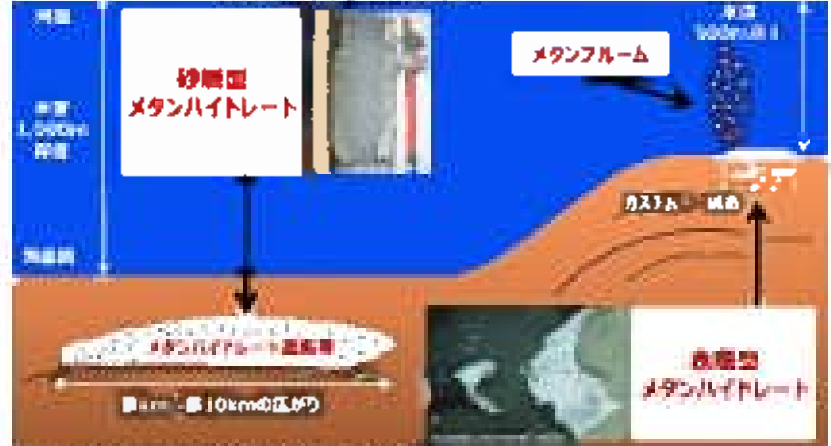


図1 電中研のCO<sub>2</sub>ハイドレート生成実験で得られたメタンとCO<sub>2</sub>の生成物とCO<sub>2</sub>の生成熱とCO<sub>2</sub>の生成熱の比較。



Fig.1 Concept of CO<sub>2</sub> sequestration in the form of gas hydrate  
 電中研, 佐藤 徹  
[https://www.riken.go.jp/arc/1111/02a.jp/sochi\\_kisaku\\_nabai/01/02a-04/02a0101.html](https://www.riken.go.jp/arc/1111/02a.jp/sochi_kisaku_nabai/01/02a-04/02a0101.html)