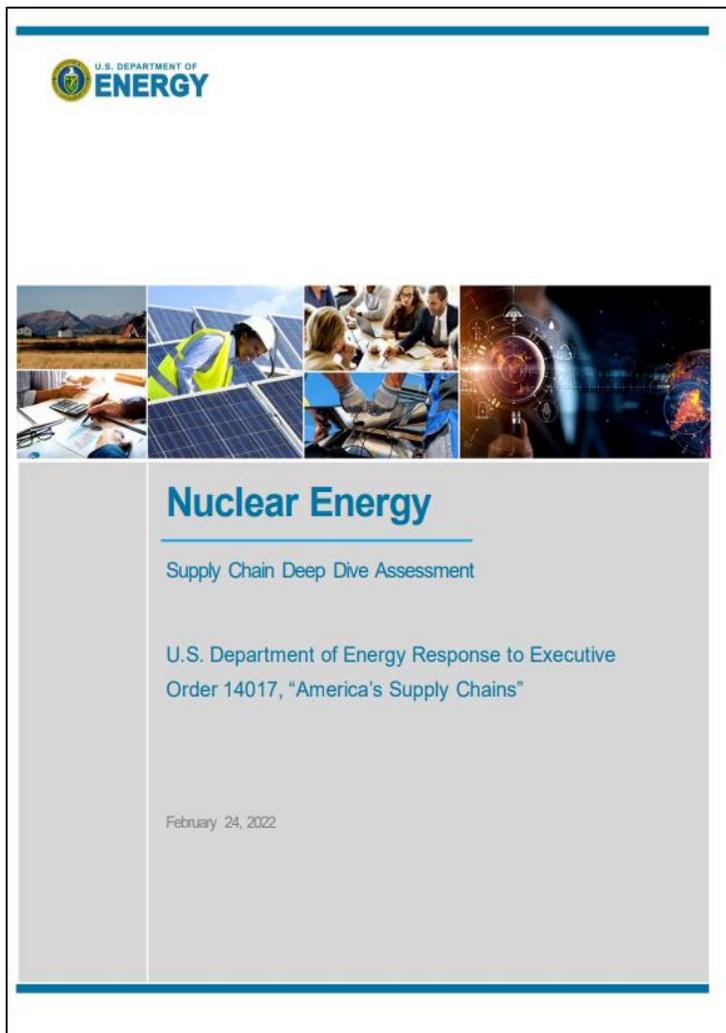




# 米国エネルギー省(DOE) 原子力エネルギー サプライチェーンの詳細評価ーポイント紹介 (2022年2月24日発表)

(一社)日本原子力産業協会  
情報・コミュニケーション部  
2022年6月

# 米国エネルギー省(DOE)「原子力エネルギーサプライチェーンの詳細評価」(2022年2月)



## 目次

### 1. 前書き

- 1.1 エネルギーシステムおよび産業基盤における原子力
  - 1.1.1 現在の米国のエネルギーシステムにおける原子力
  - 1.1.2 原子力の将来の軌道
- 1.2 原子力の市場評価
  - 1.2.1. 米国と世界の予測
  - 1.2.2. 石炭プラントの退役
  - 1.2.3. 水素製造と産業熱のための原子力

### 2. サプライチェーン・マッピング

- 2.1 技術概観
  - 2.1.1. 地域の電力グリッド向け大型炉
  - 2.1.2. 小型モジュール炉とマイクロ原子炉
- 2.2. サプライチェーン・セグメント
  - 2.2.1. 原子力プラント機器部品
  - 2.2.2. 核燃料サイクル
- 2.3. 国際競争力と外国政府の政策
  - 2.3.1. 中国
  - 2.3.2. ロシア

### 3. サプライチェーンのリスク評価

- 3.1. 米国の脆弱性
  - 3.1.1. 米国の既存の原子力発電プラントの財政的実行可能性
  - 3.1.2. ウラン
  - 3.1.3. 先進原子炉向けのHALEUサプライチェーン
  - 3.1.4. 重要鉱物
  - 3.1.5. 労働力と教育
  - 3.1.6. 認証
  - 3.1.7. 気候緩和とレジリエンス
  - 3.1.8. 国家安全保障
  - 3.1.9. サイバーセキュリティ
- 3.2. 将来見通し

### 4. 米国の機会と課題

- 4.1. 取組の優先順位化
- 4.2. 短期と長期計画策定

### 5. 結論

付録：評価表

計54頁

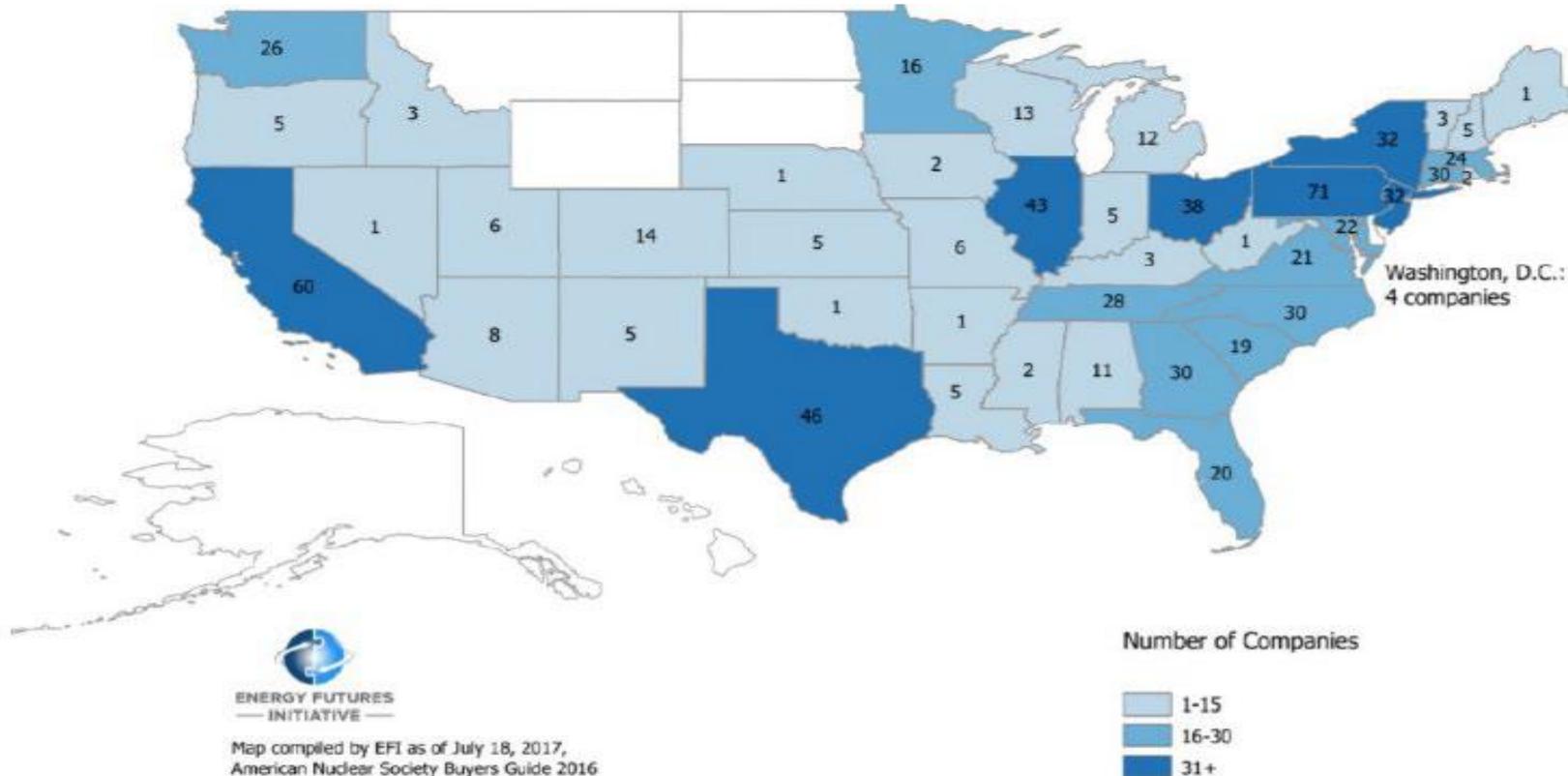
## エグゼクティブ・サマリー(仮訳)

- 米国最大のクリーン電力供給源を可能にし、約50万人の雇用を支える米国の原子力サプライチェーンは、ウランの抽出、濃縮から、プラントの建設、運転、廃炉、廃棄物管理まで、幅広い活動を網羅している。米国の原子力産業は、より広範な用途に低炭素エネルギーを提供するために、様々な冷却材、燃料、サイズ、および供給方法を備えた先進的な原子力発電所を開発、実証、展開し、今後数年間でさらに多様化する状況にある。米国の原子力産業は、輸入（特にウランや国内生産量の少ない他の投入資材）と輸出の両方を通じて、政府の厳しい政策と監督下で国際貿易に従事している。しかし、中国、ロシア、その他の世界の競争相手は現在、世界中ではるかに多くの原子力プロジェクトに関与している
- 本報告書は、大統領令14017に対応して、米国および海外における原子力エネルギーの現在と将来の潜在的な役割、原子力サプライチェーンの様々なセグメント、そして原子力部門が直面する主なリスクについて説明している。ウランの輸入などのいくつかの問題は、既存の原子炉と開発中の先進原子炉の両方に関連するが、高アッセイ低濃縮ウラン（HALEU）の生産などの他の問題は、主に先進原子炉の計画に関連する
- 原子力サプライチェーンの強さは、原子力部門の強さと成長に直結する。強力で成長する原子力部門は、強力なサプライチェーンにとって必要である。したがって、本報告書で議論するニーズ、リスク、機会、課題は、ウランや投入材料の供給の問題を超えて、原子炉運転認可の延長、電力価格の低迷やその他の要因による原子炉の閉鎖、成長の機会、国有企業との世界的な競争、政府間協定、長期的な放射性廃棄物政策、その他の相互に関連する問題への対処にまで広がっている
- 長期的には、脆弱性とリスクの多くは、クリーンな原子力エネルギーの需要を増加させる強力な市場シグナルと行動を通じて削減することができる。既存の原子力インフラは効率的に稼働し、運転コストを削減し続けているが、天然ガスの低価格化や補助金を受けた再生可能エネルギーの普及の加速、原子力発電によるクリーンな電力を一般的に正当に評価しない電力市場の構造などにより、いくつかの原子力発電所は競争の激化に直面している

# 州別の原子力サプライチェーン企業数

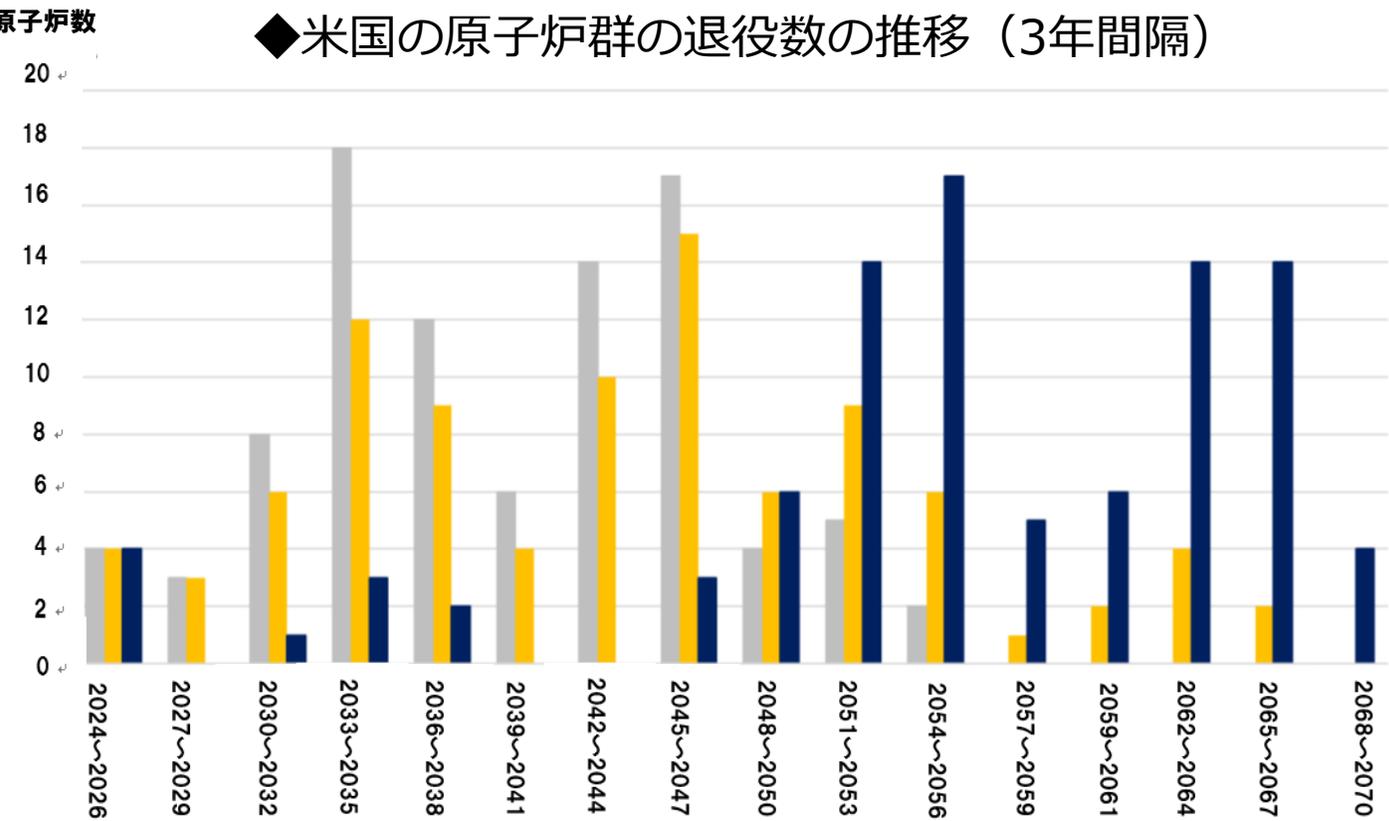
- 米国の原子力発電所での直接雇用は約70,000人で、平均賃金は時給39ドル。全国賃金の中央値の2倍。米国の原子力産業によって支えられている2次的雇用 (secondary job) を含めると、総雇用は475,000人に増加
- 原子力は、他の電源よりも多くの恒久的な地元雇用を提供し、平均賃金も高い。電力販売によって測定される原子力産業の年間生産価値は約400億ドル、連邦税と州税に年間120億ドル貢献
- 米国原子力産業評議会 (NIC) には80以上の組織 (主にベンダー) が加盟しており、原子力エネルギー協会 (NEI) には300以上の組織 (ベンダーに加えて公益事業者、大学、その他) が加盟

## ◆州別の原子力サプライチェーン企業数 (全国700社以上)



# エネルギーシステムおよび産業基盤における原子力①現在の米国のエネルギーシステムにおける原子力

- 米国の運転認可延長は現在、40年から60年までの運転認可更新とその後の60年から80年までの運転認可更新の2段階で許可されている。運転認可の更新は、事業者にとって将来の発電のための最も安価なオプション
- 現在の運転認可の状況は、40年間の運転認可を受けた原子炉8基、60年間の運転認可を受けた原子炉79基、80年間の運転認可を受けた原子炉6基。9基が原子力規制委員会に運転期間を80年にする再更新申請を積極的に実施、さらに10基が再更新計画を公表

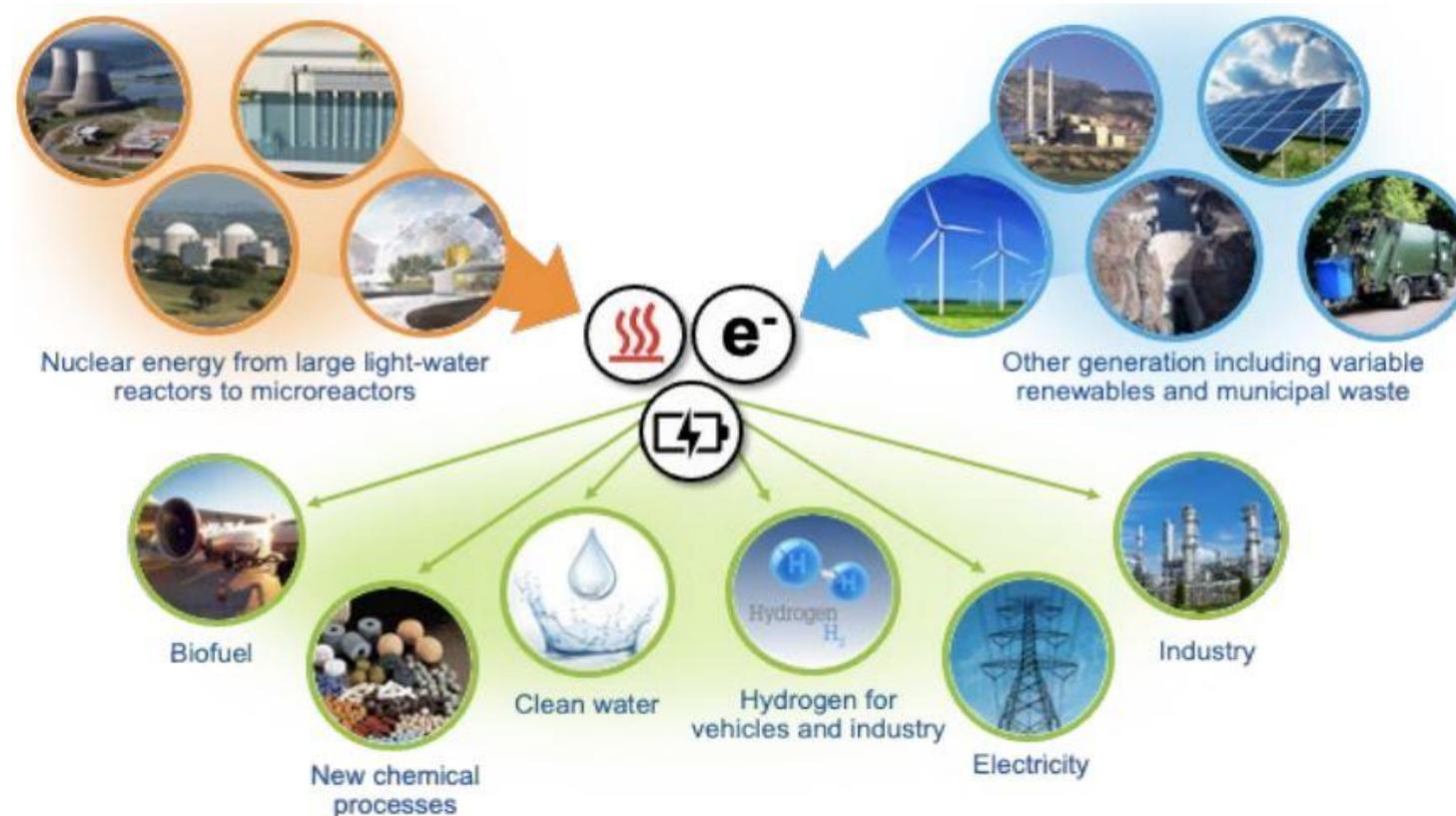


- 左図は、現在の原子炉群の退役（閉鎖）の3つの異なるシナリオを示す。
  - 1) 現在の運転認可ベースに基づく（左図灰色）
  - 2) 現在の運転認可の予想される更新に基づく（左図黄色）
  - 3) 54基の原子炉の80年運転に基づく（左図青色）
- 現在の運転認可ベースでは、運転中の原子炉の92%が2050年までに退役し、現在の運転認可の予想される更新の場合でも74%が2050年までに退役する。しかし、54基の原子炉が運転期間を80年に延長した場合、2050年までに退役する原子炉はわずか20%となる

# エネルギーシステムおよび産業基盤における原子力②原子力の将来の軌道

- 民生用原子力部門は、既存の原子炉 + 新しい先進原子炉の展開により、今後数年間で多様化する状況。多様化の一つの形態は、電力部門以外の消費者のための熱、水素、合成液体燃料、およびその他のエネルギーキャリアの生産
- 原子力の将来の多様化の第二の形態はサイズ。そして第三の形態はこれまでと違う冷却材と燃料の使用

## ◆統合エネルギーシステムにおける原子力



# 原子力の市場評価①米国と世界の予測

- 新規原子力発電所は、2030年代半ば以降まで米国内に大規模に広く展開されないと予測
- 多くの専門家は、先進的な原子炉を展開し、既存の原子炉群を可能な限り運転延長するために必要なイノベーションを奨励
- ネットゼロの未来における原子力の主な役割は、大量の出力変動性の発電源を持つ電力システムにクリーンで安定した発電能力を提供すること
- 先進原子力の展開コストは、今後のガス価格次第。ガス価格が低い場合、先進原子力が広く展開するには高価すぎる
- 米国商務省傘下の米国国際貿易局（ITA）による2017年の分析では、「世界の民生用原子力市場は今後10年間で5,000億～7,400億ドルと評価され、米国に1,000億ドル以上の輸出と数千の新規雇用を生み出す可能性がある」と推定。アイダホ国立研究所とボイシ州立大学の研究者らによる最近の報告書は、マイクロ原子炉の世界市場は2040年までに年間数百基、2050年までに数千基に達する可能性を指摘

## ◆ ネットゼロモデルによる 米国と世界の合計原子力発電設備容量（GW = 100万kW）

年	米国	世界
2030	89 – 105 GW	515 GW
2035	76 – 111 GW	–
2050	72 – 262 GW	812 GW

## ◆ 米国の民生用原子力のトップ25輸出市場 （原子力の段階的廃止政策の国も含む）

- |         |            |           |            |
|---------|------------|-----------|------------|
| 1. 英国   | 8. ポーランド   | 15. ルーマニア | 22. スウェーデン |
| 2. 中国   | 9. サウジアラビア | 16. スペイン  | 23. アルゼンチン |
| 3. インド  | 10. トルコ    | 17. スロバキア | 24. フィンランド |
| 4. UAE  | 11. カナダ    | 18. ウクライナ | 25. ドイツ    |
| 5. 日本   | 12. フランス   | 19. スイス   |            |
| 6. メキシコ | 13. 韓国     | 20. ブラジル  |            |
| 7. チェコ  | 14. 南アフリカ  | 21. ベルギー  |            |

## 原子力の市場評価②石炭プラントの退役

- 近年、市場の要因により、多くの米国の石炭火力発電所が廃止されており、この傾向は今後も続く予想。エネルギー情報局の「年次エネルギー見通し2021」の標準ケース予測は、2030年までに米国の石炭火力発電所の設備容量が1億kW近く減少すると予想
- 廃止される石炭火力発電所を原子炉に転換することは、①既存の送電接続を再利用することができる、②需要の中心地近くの同じ場所で置き換えることにより、国内の遠隔地に大規模な太陽光や風力発電所を建設する場合よりも送電線への投資が少なく済む
- 石炭火力発電所の職位と小型モジュール炉の発電所の職位には同様の技術的専門知識が必要。必要なスキルが密接にオーバーラップすることから、元石炭火力発電所の労働者を新規原子力発電所に再雇用できる可能性がある

### ◆石炭火力発電所の職位とニュースケール社の原子力（GW = 92万4,000kWe/SMR）の職位の比較

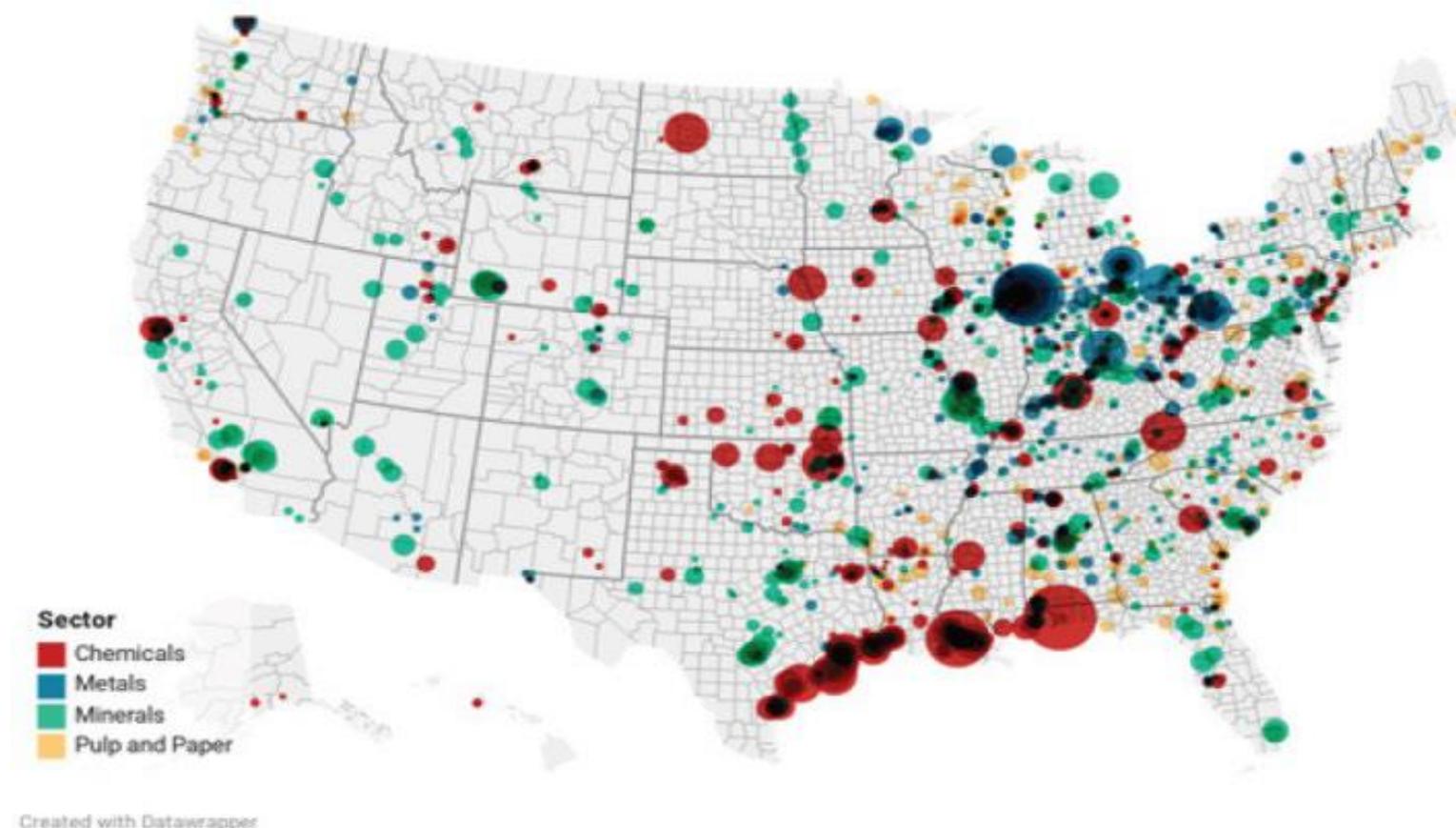
Coal Plant Position	# Dedicated Coal Positions	SMR Position	# Dedicated SMR Positions	Position Type	Degree of Retraining Required
Operations Supervisor	5	Senior Reactor Operator	5	Supervisor	High
Control Room Operator	10	Reactor Operator	15	Operator	High
Field Operator	15	Non-Licensed Operator	25	Operator	Low
Lab Operator/Chemistry/Scrubber	4	Chem Tech	14	Craft	Medium
Maintenance Supervisor	2	Maintenance Supervisor	3	Supervisor	Medium
Mechanical Craft	12	Mechanical Craft	21	Craft	Low
I&C Craft	9	I&C Craft	10	Craft	Medium
Electrician Craft	5	Electrician Craft	11	Craft	Low
Technician	11	Technician	13	Laborer	Low
Security Officer	20	Security Officer	48	Laborer	Low
<b>Sub-Total</b>	<b>93</b>		<b>165</b>		
All Other Positions	14		72	42 are O&M Support (Planners, Outage, etc.)	Medium
<b>Total On-Site Positions</b>	<b>107</b>		<b>237</b>		
Possible Centralized Positions			33		
<b>Total Positions</b>			<b>270</b>		

Sources: NuScale; ScottMadden analysis

# 原子力の市場評価③水素製造と産業熱のための原子力

- 原子力エネルギーは、電力部門以外の施設やプロセスに低炭素の熱や電力供給が可能
- さらに原子力エネルギーは、幅広い消費者のために合成炭化水素燃料、水素、アンモニア、メタノールを製造でき、石炭中の炭素をプラスチックなどの有用な製品に変換するために利用できる

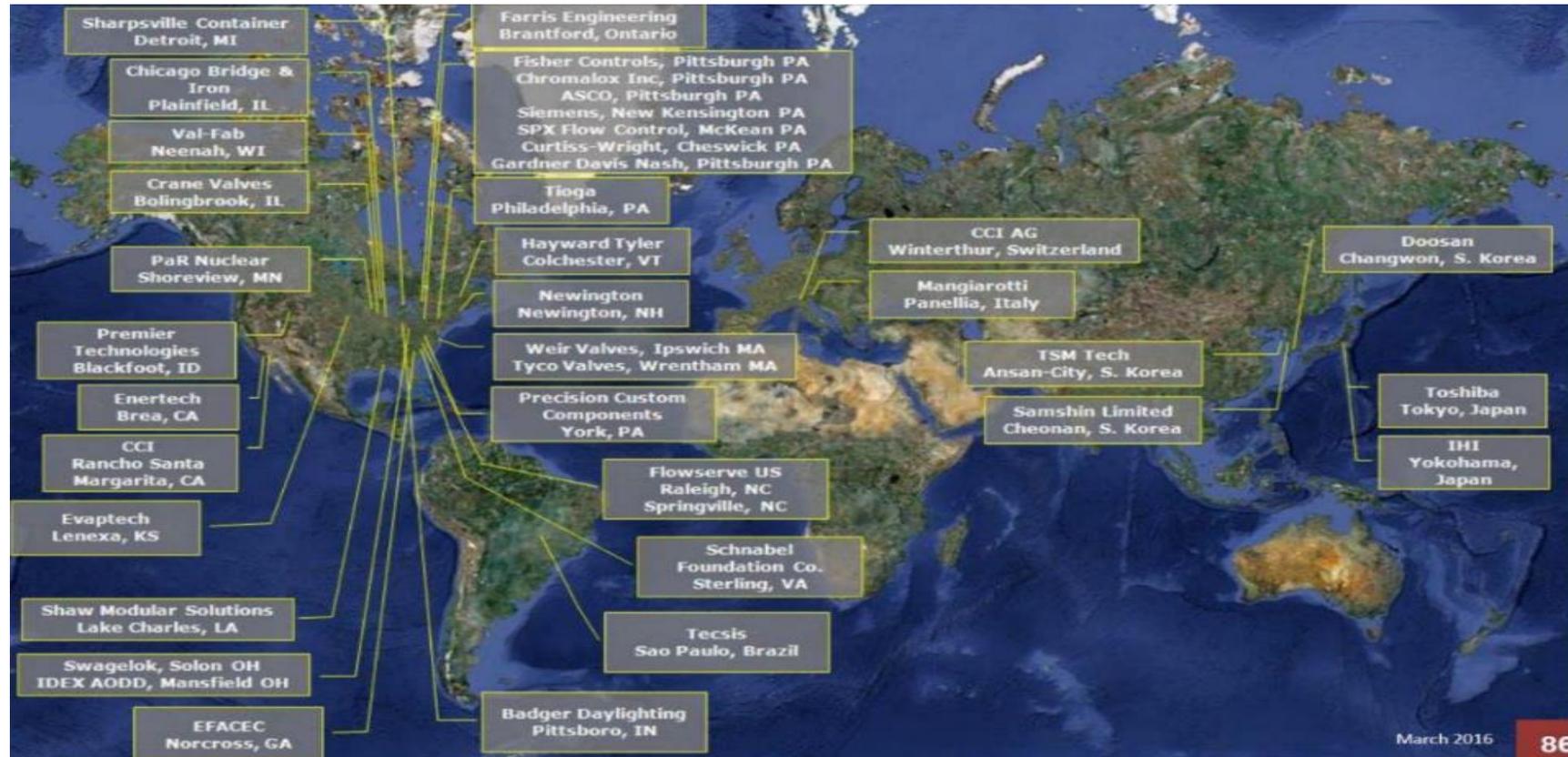
## ◆米国におけるエネルギー集約産業施設



# 技術概観①地域の電力グリッド向け大型炉

- 現在の原子力サプライチェーンは、大型のグリッド規模の原子炉をサポートすることを中心に構築され、少数の開発企業による。大型のグリッド規模の軽水炉をサポートするコンポーネントは膨大
- AP1000の場合、米国のサプライヤーが多数存在するものの、韓国、日本、イタリア、スイス、ブラジル、カナダにもサプライヤーが存在。コンポーネントの製造だけでなく、原材料を供給するサプライチェーンがあり、サプライヤーには他の多くの国々が加わっている

## ◆WH社製AP1000のグローバルサプライチェーン



## 技術概観②小型モジュール炉とマイクロ原子炉

- 小型モジュール炉（SMR）を選択する主な理由の1つは、原子炉サイトでの建設作業量を減らし、工場製造により依存すること。これにより、原子力プラントの建設が合理化し、展開コストが削減される。現在、これらの工場製造施設は存在せず、先進原子炉のサプライチェーンを開発するために確立する必要がある
- 工場製造への移行により、大型または重量部品の移動において輸送物流上の課題が増す可能性
- ほとんどのSMRは、グリッド規模の発電機として機能し、プロセス熱利用をサポートし、ゼロカーボン経済で利用するためのカーボンフリー燃料(水素またはアンモニア)の開発を支援
- マイクロ原子炉は、グリッド接続から離れたオフグリッドの場所やマイクログリッドで利用する可能性のある、開発中の別のタイプの先進原子炉。マイクロ原子炉は、工場で製造や改修を行い、燃料交換やメンテナンスも工場で行う
- マイクロ原子炉の目標は、ほぼどこにでも持ち運び可能で、一定期間自給自足できること。期間終了後、サイトから直接取り除くことが可能。すべての作業が中央施設で実施されるため、建設に必要なサイトでの作業量が限定される
- マイクロ原子炉の製造・展開のための施設はない

### ◆マイクロ原子炉の輸送オプションの例



# 異なる原子炉タイプに必要なさまざまな燃料、被覆材、構造材料の概要

炉型	冷却材	燃料	被覆材	炉内構造材料	炉外構造材料
PWR	水 (1相)	UO <sub>2</sub> 又はMOX	Zr合金	ステンレス鋼, Ni基合金	ステンレス鋼, Ni基合金
BWR	水 (2相)	UO <sub>2</sub> 又はMOX	Zr合金	ステンレス鋼, Ni基合金	ステンレス鋼, Ni基合金
SCWR (超臨界圧軽水冷却炉)	超臨界水	UO <sub>2</sub>	F-M, インカロイ ODS, インコネル	低スエリングSS, 被覆材オプションと同じ	F-M, 低合金鋼
VHTR (超高温ガス炉)	He	UO <sub>2</sub> 又はCO	SiC又はZrC被覆 および黒鉛被覆	黒鉛, PyC, SiC, ZrC; 容器: F-M	Ni基超合金, 熱障壁付きF-M, 低合金鋼
GFR (ガス冷却高速炉)	He又は超臨界CO <sub>2</sub>	MC, UO <sub>2</sub>	セラミック	耐熱金属, 合金, セラミック, ODS 容器: F-M	Ni基超合金, 熱障壁付きF-M
SFR (ナトリウム冷却高速炉)	Na	MOX, U-Pu-Zr, MC又はMN	F-M又はF-M ODS	F-Mダクト, 316SSグリッドプレート	フェライト, オーステナイト
LFR (鉛冷却高速炉)	鉛または鉛Bi	MN	高Si F-M又はODS セラミック, 又は耐熱合金	利用せず	高Siオーステナイト, セラミック, 耐熱合金
MSR (溶融塩炉)	溶融塩 (例: FLiNaK)	塩, TRISO	利用せず	セラミック, 耐熱金属, Mo, Ni基合金, 黒鉛, ハステロイン	高Mo, Ni基合金

(備考) F-M: フェライト-マルテンサイト系ステンレス鋼 (代表的に9-12%Cr)  
 ODS (Oxide Dispersion-Strengthened Steels): 酸化物分散型強化鋼 (代表的にフェライトマルテンサイト鋼)  
 MC (Mixed Carbide): 混合炭化物 (U, Pu) C

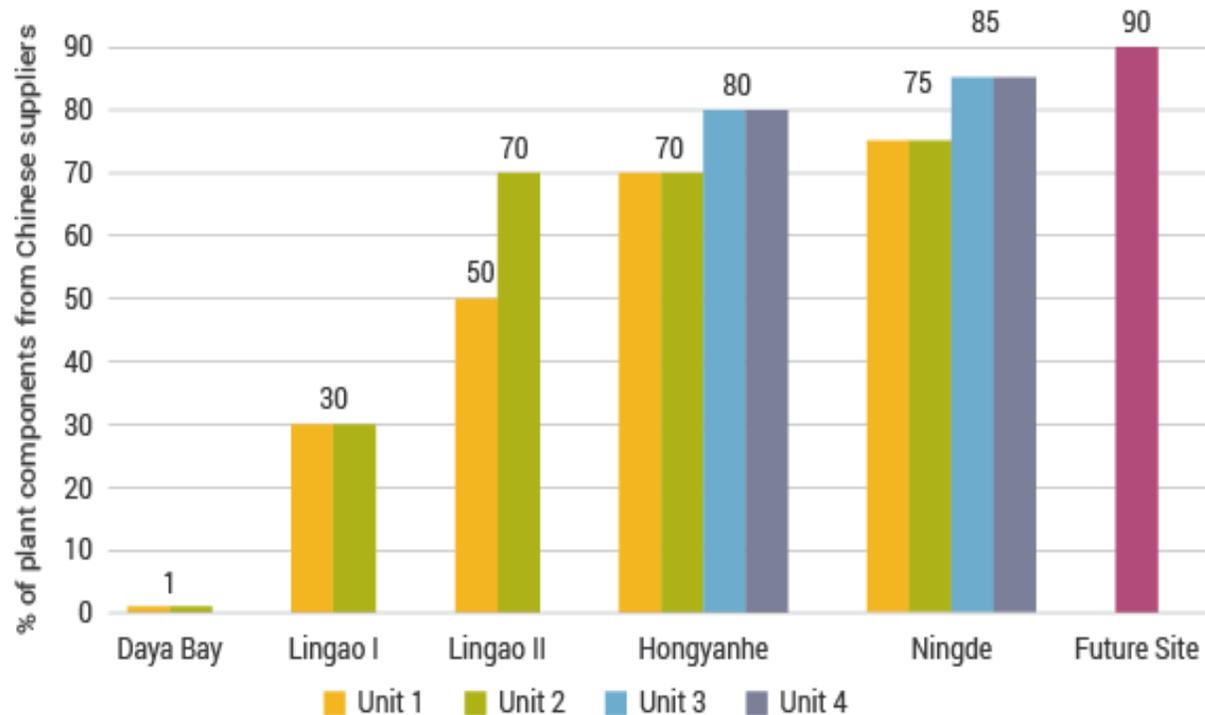
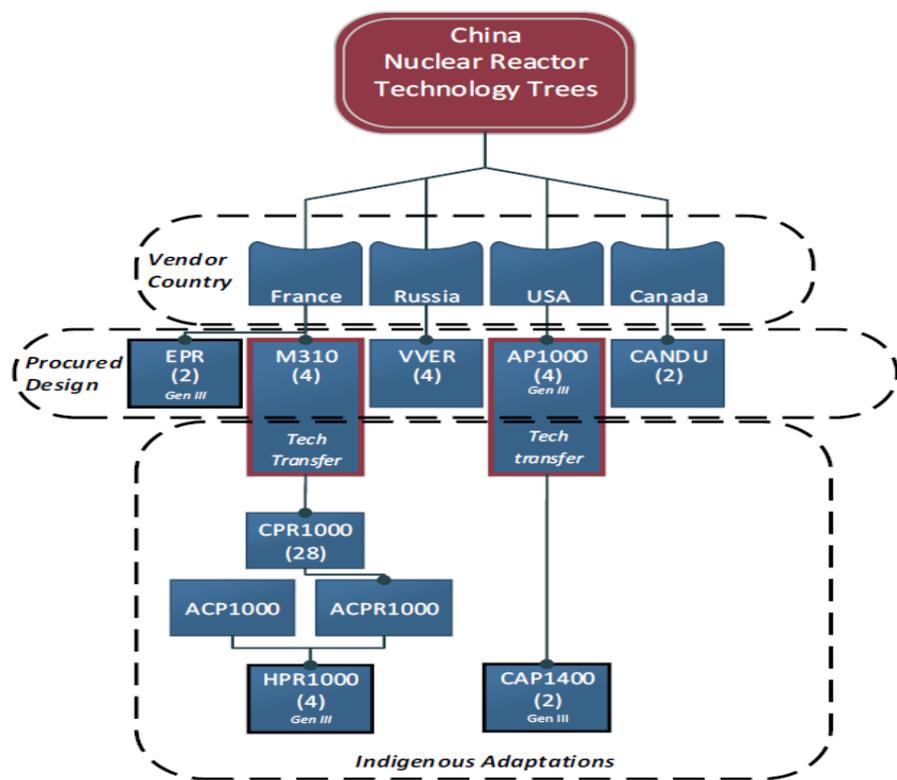
# 国際競争力と外国政府の政策① ①米国の原子力部門の強み・弱み・機会・脅威

強み	弱み
<p><b>米国原子力企業</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 確立された原子力の知識・経験</li> <li>• 強力な技術イノベーション文化</li> <li>• 高品質の製造能力</li> <li>• 原子力の建設・運転における高い安全基準</li> </ul> <p><b>米国政府</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 原子力規制の「黄金基準」(NRC)</li> <li>• 投資・R&amp;D・燃料のための強い国際関係</li> <li>• 国際開発金融公社、輸出入銀行からの支援</li> <li>• 国立研究所での世界トップレベルの研究</li> <li>• 原子力研究開発、プログラム、実証の予算</li> </ul>	<p><b>米国原子力企業</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 最近の米国原子力プロジェクトのコスト超過と建設遅延</li> <li>• バランスオブプラントと建設戦略に対する関心の低さ</li> <li>• 電力グリッドユニットを超えるビジネスモデルへの関心の低さ</li> </ul> <p><b>米国政府</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 原子力研究開発、プログラム、実証の長いリードタイム</li> <li>• 米国企業、国際顧客に対する多くの厳しい要件</li> </ul>
機会	脅威
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 世界の将来のクリーンエネルギーの成長 (特に非OECD諸国)</li> <li>• 先進的な原子力イノベーションによるコスト削減の可能性</li> <li>• 新しいエネルギー製品と対処可能な市場</li> <li>• 原子力新規導入国との長期的な関係</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 価格低下が進む他のクリーンエネルギー源との競争</li> <li>• 国有原子力企業 (特に中国やロシア) との競争</li> <li>• インフラ投資を通じた他国の影響力の増加</li> <li>• 政策や計画の変更の可能性</li> </ul>

# 国際競争力と外国政府の政策②中国

## <中国>

- 中国政府は2000年代初頭以来、長期的な産業・エネルギー戦略において原子力を優先。米国や他のベンダー国から原子炉設計を調達することにより原子力開発を進めつつ、国産技術の開発やローカリゼーション戦略を推進
- 中国の原子力拡大は、中国の一帶一路構想の不可欠な部分であり、2030年までに1,450億ドルを目標とする
- 軽水炉以外の第4世代原子炉開発（高温ガス炉、ナトリウム冷却高速炉）でも進歩



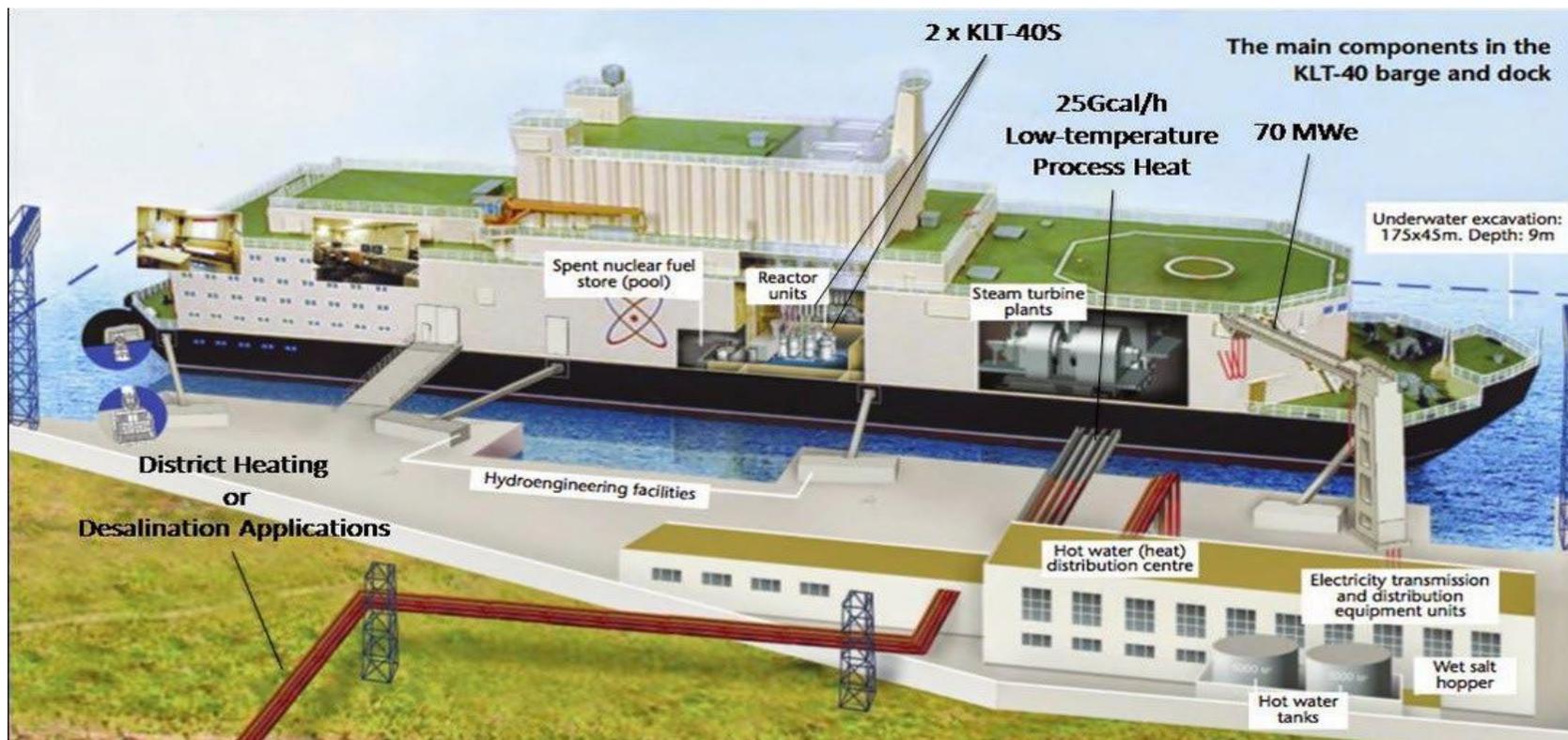
◆中国の米国などの外国の原子炉技術の適応と国産化

◆中国におけるM310とCPR1000の部品のローカリゼーションの進歩

# 国際競争力と外国政府の政策③ロシア

## <ロシア>

- 中国の原子力拡大と同様に、国家の支援と資金調達は、ロシアの原子力の世界的成長戦略の重要な要素
- 世界初の浮揚型原子力発電所により電力供給を開始（2019年～）。鉛冷却高速炉（BREST-300）や鉛ビスマス高速炉（SVBR-100）を建設中



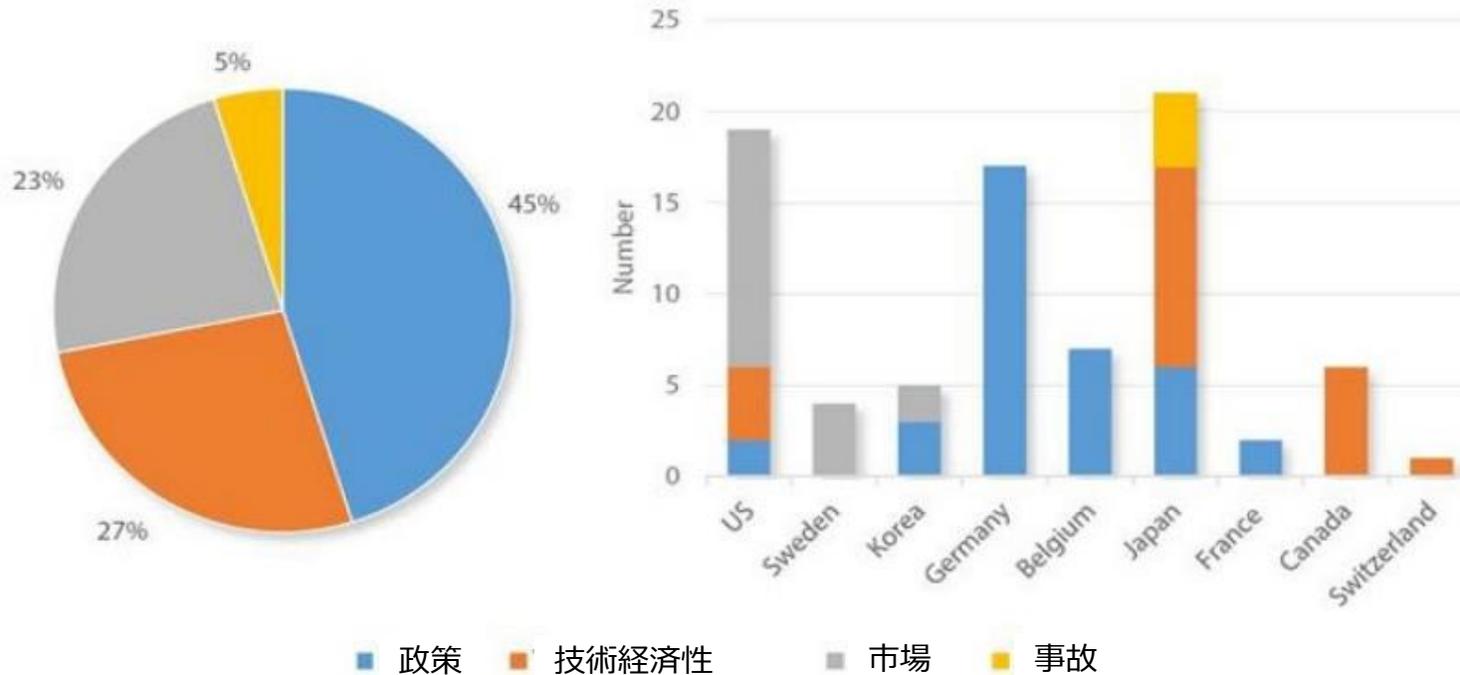
◆ロシアの浮揚型原子力発電所（KLT-40原子炉を搭載）

# 現在の大型炉と先進原子炉にとって重要なサプライチェーンの問題

	部品/製品	説明
現在の大型炉	ウラン採鉱・精錬・転換	ほとんどのウランは輸入。転換は外国の供給業者が実施
	濃縮リチウム	ほとんどのリチウムは輸入。他産業からの需要が増大。EPRIが代替供給の可能性を研究
	クロムとニッケル	現在のプラントは様々な高合金鋼部品に置き換わるだろう。したがって、ある程度の鋼部材が必要になる
先進原子炉	HALEU (5~20%に濃縮された高アッセイLEU)	ほとんどの先進原子炉は燃料にHALEUが必要
	燃料製造	米国内に先進原子炉用燃料の製造施設は限られている
	原子力級黒鉛	黒鉛は全て輸入。米国に原子力級黒鉛の供給者は存在しない
	リチウム	熔融塩炉のなかにはリチウムが必要。リチウムは輸入。他産業からのリチウム需要が増大
	リチウムと塩素の濃縮	リチウムと塩素は原子炉で使用されるために高純度に濃縮する必要がある

# 米国の脆弱性①既存米国原子力発電所の財政的実行可能性

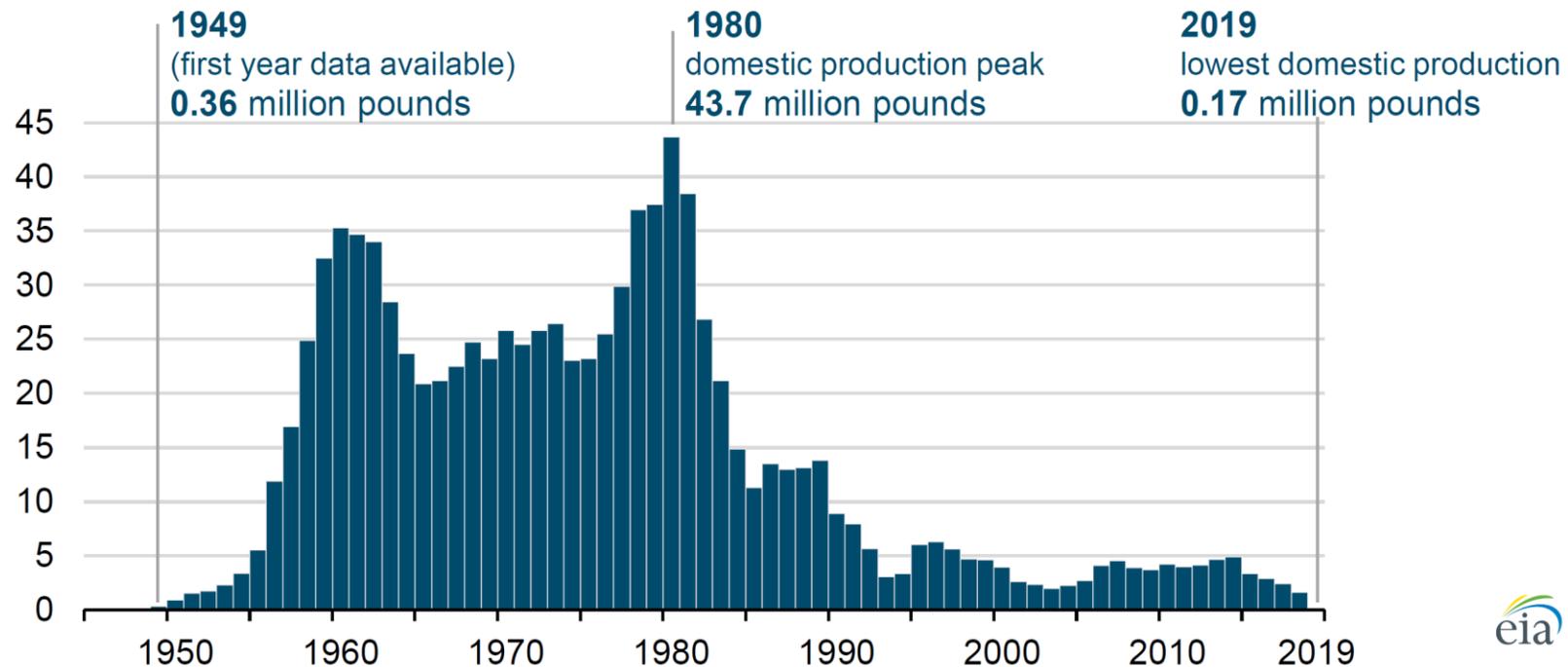
- 多くの既存原子力プラントの財政的実行可能性は、主に天然ガス価格の低さ、火力発電所の追加（概して高効率の天然ガスプラント）、および補助金を受けた再生可能エネルギーの市場浸透率の増加によって引き起こされる低い電力価格のために脅かされている
- 電力価格の低迷は、経年化した設備のメンテナンス要件や冷却水取水の生態学的影響などの政策問題と相まって、2012年以降、12基の米国の原子炉を廃止に追いやり、さらに3基の追加廃止が計画されている
- 州のなかには、実質収入がマイナスの原子力発電所に非市場の財政的補完策を導入。また、「2021年インフラ投資・雇用法」は、適格な原子力発電所の財政的実行可能性を支援するための民生用原子力クレジットプログラムのために、2022会計年度から2026会計年度までの合計60億ドルの資金調達を承認している



◆OECD諸国の原子力発電所の廃止と基数の原因（2011～2025年）

## 米国の脆弱性②ウラン

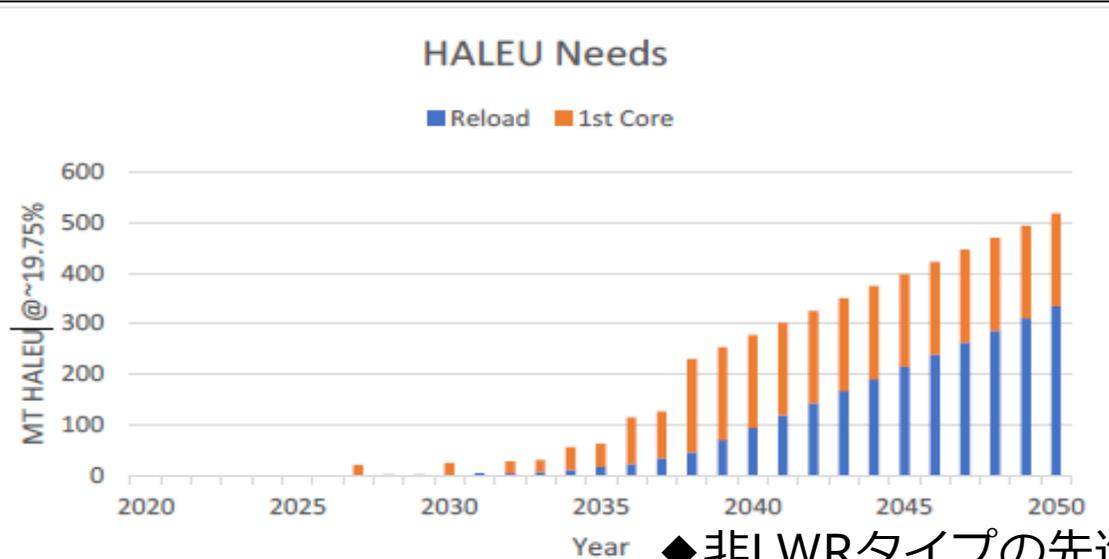
- 米国にはウラン鉱床と採鉱能力はあるが、現在の需給状況からウランを輸入する方が安価であるため、国内のウラン生産量は低い（米国は世界供給のわずか0.2%）。主にカナダ、オーストラリア、ロシア、カザフスタン、ウズベキスタンからの輸入に依存。米国にとってのリスクは、世界のウラン供給が途絶え、米国の生産能力がその途絶に十分なスピードで対処できないこと
- 現在、ウランのすべての転換は、米国唯一のサプライヤー（コンバーダイン・ハネウェルのメトロポリス工場）が2017年に工場を休業状態にした後、米国外で実施。同工場は現在、再稼働の過程にあり、2023年に稼働予定
- 濃縮は、ユレンコ（米国、英国、ドイツ、オランダ）、フランスのオラノ、ロシアのロスアトム、中国のCNNC（中国核工業集団）の4つの主要サプライヤーが支配



◆米国のウラン精鉱 ( $U_3O_8$ ) 生産の推移 (単位: 100万ポンド)

# 米国の脆弱性—③先進原子炉向けのHALEUサプライチェーン

- 多くの先進原子炉にはHALEU燃料（5～20%に濃縮された高アッセイLEU）が必要。米国は現在、HALEUの濃縮を供給する商業機能を有していない。現在、HALEUの唯一の供給者はロシアのテネックス
- DOEは現在、国内技術を使用して少量のHALEUを生産するためのコスト分担方式の実証プロジェクトを支援中
- 燃料製造施設計画は、BWXTが2020年にTRISO燃料製造施設を再開（年間100kgのTRISO燃料を生産可能）。X-エナジーとテラパワーに対するDOEのARDP（先進原子炉実証プログラム）助成金には、特定の燃料タイプ（X-エナジーの場合はTRISO, テラパワーの場合は金属燃料）の商業規模の燃料製造を立ち上げるための資金が含まれる。溶融塩炉の場合、商業規模の溶融塩燃料の製造施設を設置する必要がある。他の燃料形態も、完全生産のために商業施設が必要
- HALEUおよび溶融塩燃料の商業輸送に対処する必要がある。現在、HALEU  $UF_6$  を輸送するように設計された輸送シリンダーがあるが、限られた数量しか輸送できない。溶融塩燃料には現在、承認された輸送用コンテナがない



◆非LWRタイプの先進原子炉の2050年までのHALEU需要予測  
(2050年までに米国の総原子力発電設備容量が2億5,000万kWに増加する場合)

# 米国の脆弱性④重要鉱物

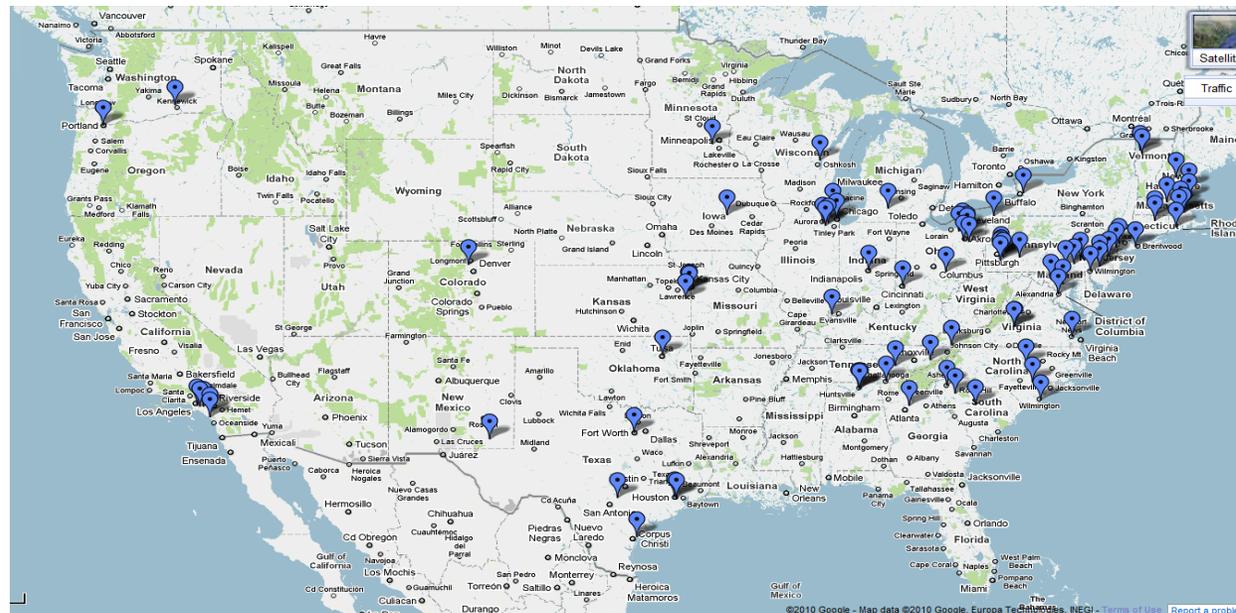
- 原子力発電所の部品の製造には、種々の重要鉱物が必要である。クロムとニッケルは、LWRと新しい先進原子炉の建設に必要な最大の鉱物の2つである。その他、リチウムはPWRの運転の維持や溶融塩炉でも必要になるほか、先進原子炉のなかには、黒鉛を減速材として必要とするものもある
- 米国の輸入依存度および供給源固有のリスクの観点から、黒鉛とイットリウム（先進原子炉の減速材として使用）は高リスクの鉱物と考えられる

## ◆米国の輸入依存度の高い原子力サプライチェーンに最も関連性の高い重要鉱物

鉱物	米国の輸入依存度	主要生産国
黒鉛	100%	中国75%
イットリウム	100%	中国99%
インジウム	100%	中国40%、韓国31%
ニオブ	100%	ブラジル88%
クロム	75%	南アフリカ/カザフスタン50%以上
リチウム	> 50%	オーストラリア58%
ニッケル	50%	インドネシア、フィリピン、ロシアで主に生産

# 米国の脆弱性—⑤労働力と教育、⑥認証

- 米国は現在、原子力産業の熟練労働力のより広範な不足に直面している。原子力分野の多くの労働者が定年を迎えており、彼らを置き換える人が少なくなっている。米国溶接協会は、米国の溶接工のほぼ半数が45歳以上であり、2024年までに30万人以上の新しい溶接工が必要になると予測。2010年の原子力製造コンソーシアムの調査によると、溶接企業の67%が米国の原子力建設の復活のための十分な溶接工を有していない。熟練労働者の不足は、将来のプラントの建設スケジュールと建設コストを増加させる
- 原子力の建設と運転のための多くの部品とプロセスには、ベンダーの認証が必要。米国機械学会（ASME）は、原子力品質保証（NQA）プログラムの下で基準を設定し、組織の厳格な監査を実施。原子力部品とサービスに対する潜在的な将来の需要と比較して、認証ベンダーの不足は、新規炉の展開を妨げ、コストを上昇させ、建設期間を長くする可能性がある



◆Nスタンプ認証の原子力ベンダー所在地

# 米国の脆弱性—⑦気候緩和とレジリエンス、⑧国家安全保障、⑨サイバーセキュリティ

- 米国では厳しい気象現象により2015年以来、停電が60%以上増加している。極寒事象はすべての発電技術に大きな混乱を引き起こす可能性がある。新しい原子力発電所は、極端な高温や低温下でも、出力減少なしで運転できるように設計されるべきであり、気候変動による将来のリスクの範囲を設計に組み込むべき。現在開発中の分散型または可搬式の原子力発電所は、将来の非常用発電に役立つ可能性がある
- 米国の民生用原子力企業は、エネルギー、防衛、国際協力の分野で国家安全保障に大きく貢献。信頼できるベースロード電源として、米国の原子力発電所は電力システムに安定性とレジリエンスを提供する。合成炭化水素燃料を製造するための原子力の将来の潜在的な使用は、米国の石油輸入依存を減らし、原子力による合成燃料製造への移行は、石油サプライチェーンが脆弱性にさらされる機会を減らすことができる可能性がある
- 米国は現在、核燃料需要のほとんどをウラン輸入に依存しているが、大規模な鉱床と高い生産水準を持つ国のなかには、米国とは緊密な同盟国であり、供給の中断（混乱）時には米国への輸出を増やす可能性がある。米国には、特定の重要鉱物とギガワット規模の原子炉圧力容器用の大型鍛造品（積層造形の進歩によって緩和できる可能性がある）を除いて、原子力発電所に必要なほぼすべてのコンポーネントを提供できる多様なサプライチェーンがある
- 米国の公益事業者、国立研究所、その他の組織のサイバーセキュリティ専門家は、既存の原子力発電所に対するサイバー攻撃を防ぎ、脆弱性を最小限に抑えた将来のシステムを設計するために現在動いている

# 原子力エネルギーの短期および長期計画の機会と課題

機 会	課 題
短期（2020年代半ばまで）	
・ HALEU, その他燃料形態の製造	将来の潜在的な需要への投資・製造レベルの整合化（新規プラントのタイミング、規模、基数に依存）
・ ARDP下での革新設計の実証	持続的な資金支援（2021年インフラ雇用法で認可済）、プロジェクトの成功実現、試験結果の成功
長期（2020年代半ば以降）	
・ 既存LWRの継続運転と運転認可の延長	将来の不利な市場環境の可能性（低い電力価格、再生可能エネルギーによる低い実質需要、低いプラント収益）
・ SMR, マイクロ原子炉、 恐らく新規大型LWRの建設・運転	さらなるR&D実証プロジェクトの必要性、コスト・スケジュール抑制、立地・許認可、HALEU・その他燃料形態の製造、労働力と規制の準備、特定部品（国内製造または輸入）、重要鉱物の供給、国の長期放射性廃棄物処分計画
・ 石炭プラントの原子力への転換	（上記と同様）
・ 原子力による炭素（特に石炭）転換	（上記と同様）
・ 原子力による熱、水素、アンモニア、合成燃料の製造	（上記と同様、様々な適用との統合）
・ SMRやマイクロ原子炉の政府調達：連邦施設、 軍事基地、移動演習、遠隔地・島嶼部 （アラスカ、プエルトリコ）、宇宙ミッションなど	（上記と同様）
・ 米国の原子力イノベーションの輸出強化	他国の国有企業との競争（特に中国、ロシア）