

将来のエネルギー市場における 先進型原子炉技術とその役割の展望

アンリ・パイレール

OECD/NEA 原子力技術開発・経済部門副部長

henri.paillere@oecd.org

第52回原産年次大会
セッション2：革新的技術の開発展望

概要

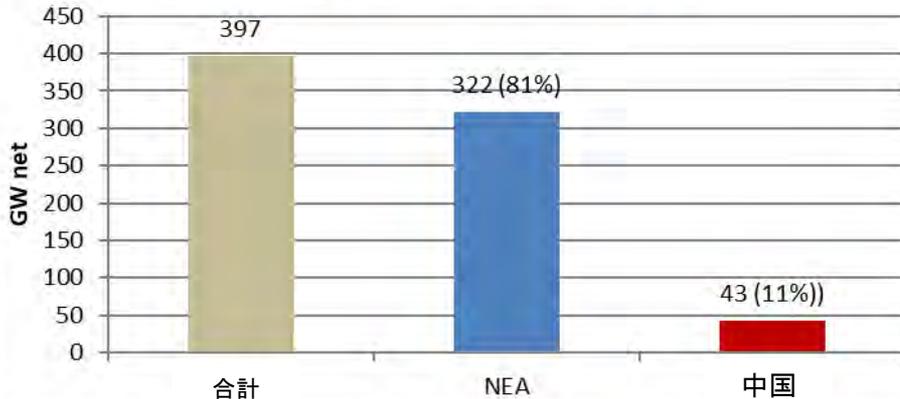
- OECD／NEA
- 現在の原子力エネルギー
- 将来の低炭素電力システム
- 先進型原子炉技術、柔軟性、技術革新
- 結論
- 本日のパネルディスカッション



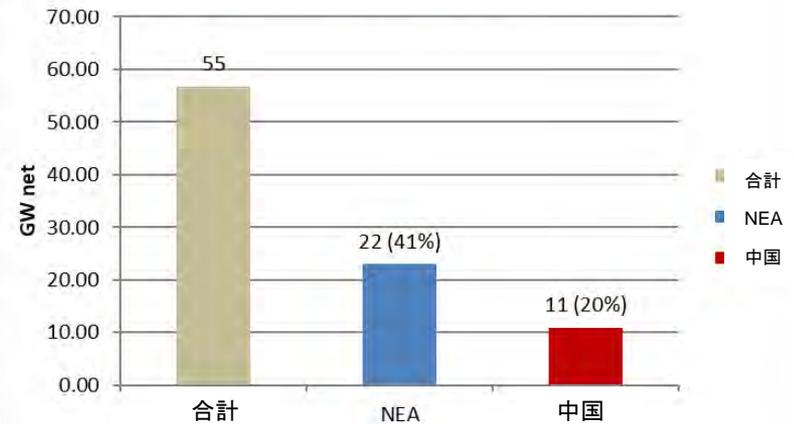
OECD/NEA:

- 8つの常設技術委員会
- 75の専門調査委員会と専門家グループ
- 24の国際的合共同プロジェクト
- 事務局職員：～125人
- 技術事務局：MDEP、GIF、IFNEC

発電設備容量
IAEA/PRIS (2019年3月)

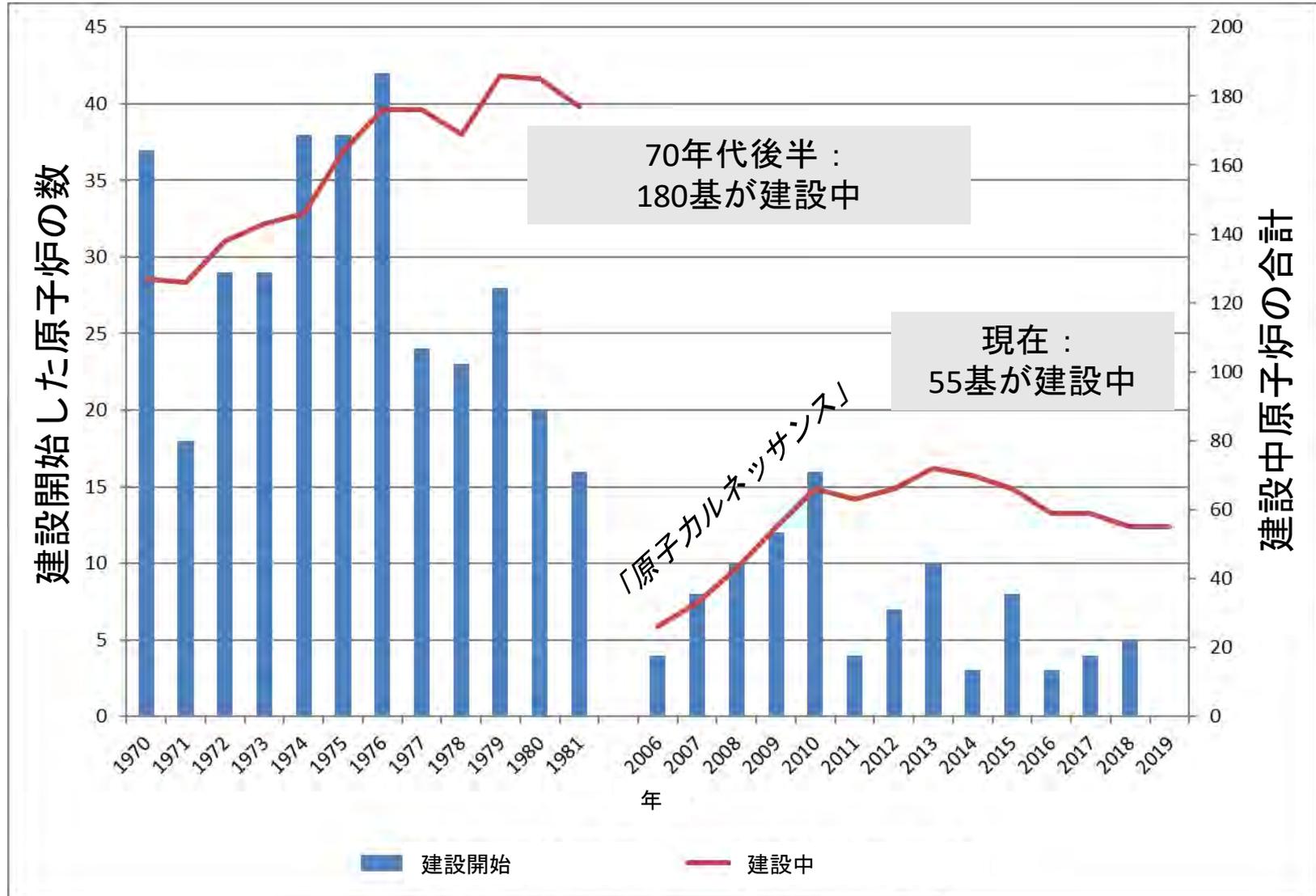


建設中発電設備容量
IAEA/PRIS (2019年3月)

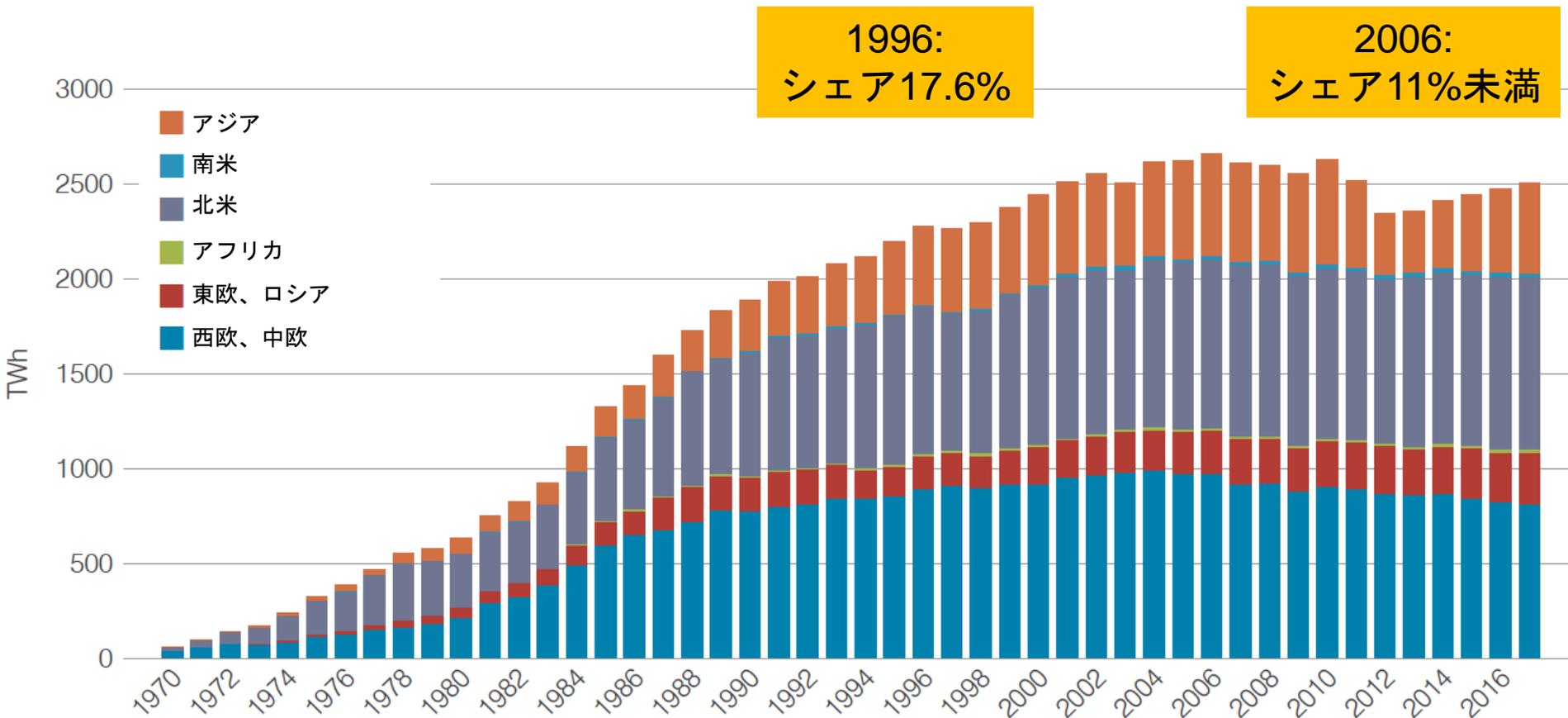


世界の発電設備容量の81% - 建設中発電設備容量の41%

原子炉建設—これまでとの比較



原子力発電量

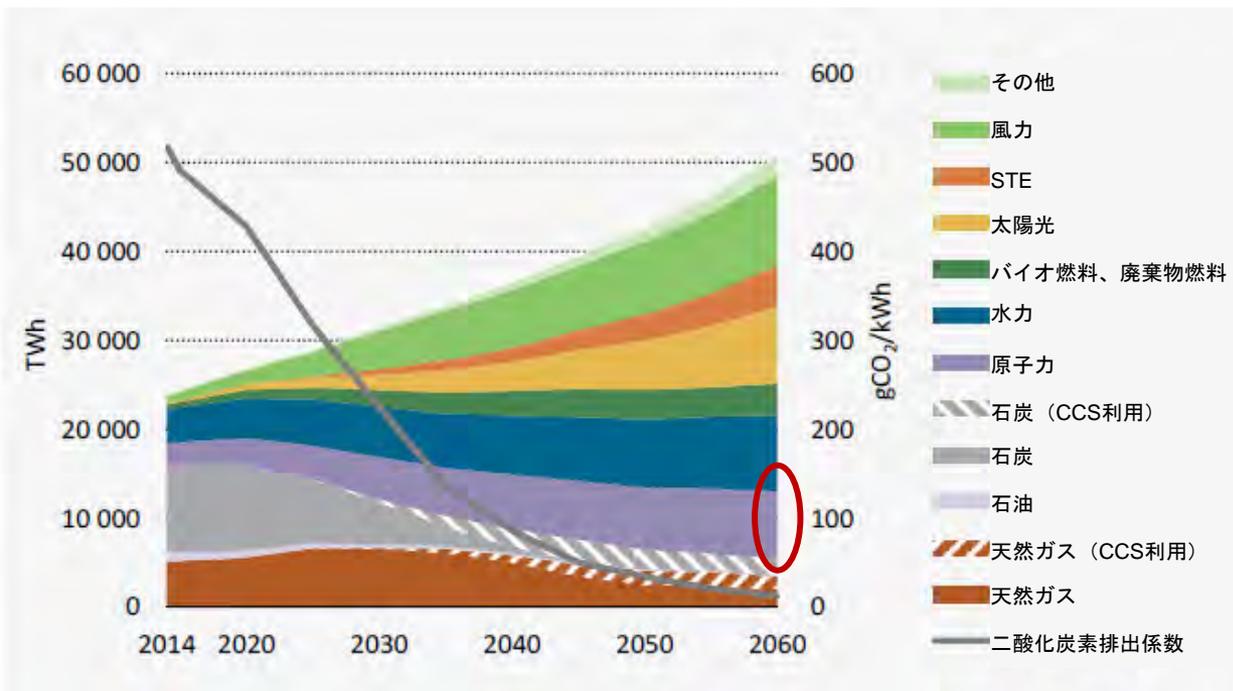


Source: World Nuclear Association and IAEA Power Reactor Information Service (PRIS)

Source: IAEA/PRIS, figure from WNA

将来の低炭素電力システムとは

IEAの予測では、「気温上昇2°C未満に抑える」という目標の達成に向けて原子力発電の割合が増加する（10%→16%）だけでなく、再生可能エネルギーも大幅に増加。その一方で、石炭と石油による発電が完全に終了し、天然ガスの劇的な減少、CCSの利用が展開。



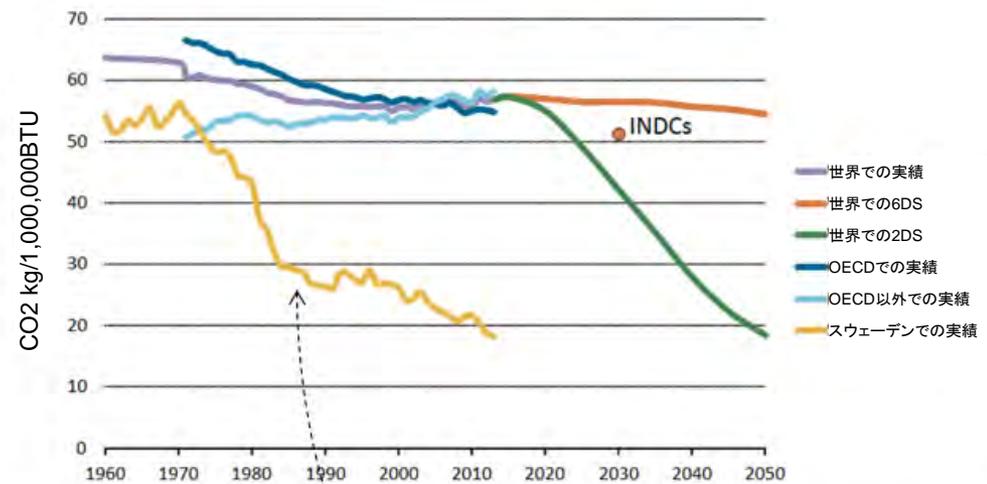
原子力及び（その他のベースロード電源）は、大きなシェアを占める変動性の再生可能エネルギーと共存する必要がある。

Source: IEA Energy Technology Perspectives, 2017 – (2 degree scenario (2DS))

再生可能エネルギー 67%（風力/太陽光 30%を含む）
原子力 16%

脱炭素化を支援する政策

- 多くの国々において、GHG低減目標よりも特定技術の利用目標達成に方針の目が向いていることが多い。
 - 政策の「技術的中立性」→現政策の有効性は？
- 原子力を支援するメカニズムはほとんどない(長期運転、新規建設)
- これまでの歴史から、原子力は炭素強度を低減する上で非常に効果的な技術であることが証明されている

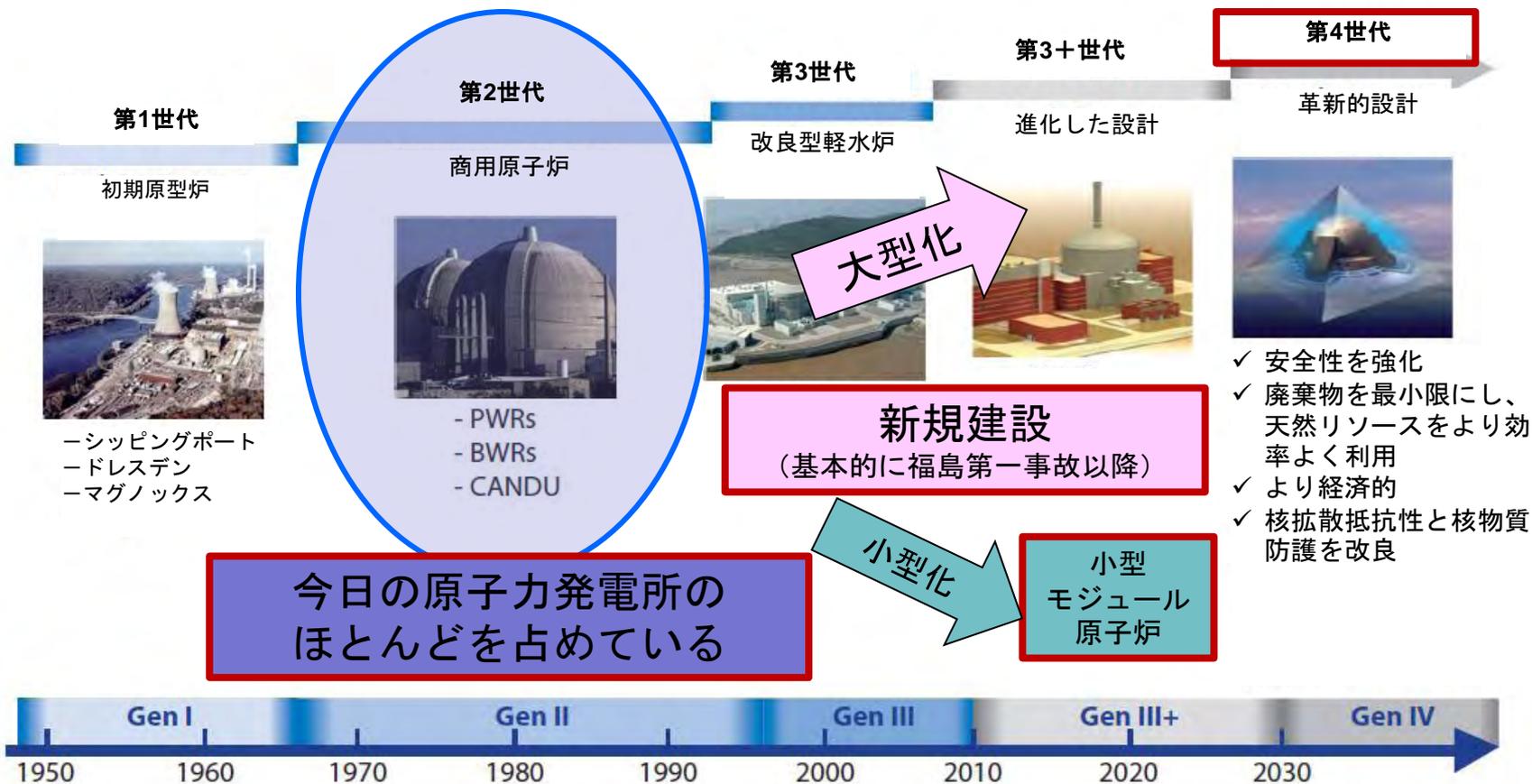


IEA, ETP(2016)

スウェーデンにおける
原子力発電利用
(1971-1985)
~11 GWe(0.8 GW/年)

フランスにおける
PWR原子炉利用
(1977-1999)
~63 GWe(2.9 GW/年)

原子炉：第1世代～第4世代



進化した第3世代/第3+世代 ... コスト超過、建設遅延...

Westinghouse Files for Bankruptcy, in Blow to Nuclear Power

By DIANE CARDWELL and JONATHAN SOBLE MARCH 29, 2017



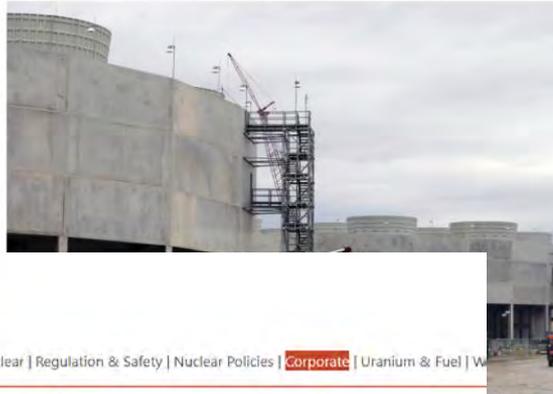
RELATED COVERAGE
Corpor. Spree.

The New York Times

CLIMATE

U.S. Nuclear Comeback Stalls as Two Reactors Are Abandoned

By BRAD PLUMER JULY 31, 2017



wnn
world nuclear news

Energy & Environment | New Nuclear | Regulation & Safety | Nuclear Policies | Corporate | Uranium & Fuel | W

Court approves Westinghouse reorganisation plan

28 March 2018

Westinghouse Electric Company's reorganisation plan - including its sale to Brookfield - has been approved by the US Bankruptcy Court. Westinghouse said the court's approval of the plan is a "significant milestone in the company's strategic restructuring".

Hinkley Point C is £1.5bn over budget and a year behind schedule, EDF admits

Cost of controversial nuclear power plant in Somerset has risen to £20.3bn and delayed by 15 months, says French energy firm



Flamanville: EDF annonce un nouveau retard dans la construction de l'EPR

Par Nicolas Orliac | Mis à jour le 25/07/2018 à 14:35 / Publié le 25/07/2018 à 11:34



EPR de Flamanville : la cuve obtient la validation de l'ASN

VERONIQUE LE BILLON - ANNE TETZ | Le 26/06 à 06:00 - Mis à jour à 13:01



le sûreté nucléaire demande le début du couvercle d'ici à 2024. fichait sa « grande », salue « une très bonne



EDF board approves buying 75.5 percent of Areva NP by end 2017 - sources

Geert De Clercq

3 MIN READ

PARIS (Reuters) - The board of French state-owned utility EDF has given final approval for the acquisition of a 75.5 percent stake in Areva NP, the nuclear reactor construction unit of fellow state-owned nuclear group Areva, by year-end, three sources said.

一部の初号機で
コスト超過と建設遅延が
発生
—原子力産業再編

進化した第3世代/第3十世代 ... 2018年の明るい進展

Energy & Environment | **New Nuclear** | Regulation & Safety | Nuclear Policies | Corporate | Uranium &

First AP1000 unit begins generating power

02 July 2018

Unit 1 of the Sanmen nuclear power plant in China has been connected to the grid, becoming the world's first AP1000 to achieve grid connection and power generation. The milestone came just one day after Taishan 1, also in China, became the first EPR to reach the same milestone.



Sanmen units 1 and 2 (Image: CNNC)

Sanmen 1 v June, Westi Technology announced. "Sanmen 1" grid and ha

More progress for China's Hualong One technology

2 February 2018

[Print](#) [Email](#)



The reactor pressure vessel has been installed at China's demonstration Hualong One nuclear reactor, Fuqing 5, under construction at in Fujian province.

China National Nuclear Corporation (CNNC) said Fuqing 5 is expected to start up and begin commercial operation in 2019 or 2020. Installation of the RPV marks the completion of the installation of the unit's main components, CNNC said.

The Hualong One reactor pressure vessel was designed by China Nuclear Power Research and Design Institute and manufactured by China First Heavy Machinery.

The three steam generators and pump casings were installed earlier in January. Two demonstration Hualong One units are being built at Fuqing 5&6. The

Hualong One (HPR1000), an indigenous 1100MWe, three-loop pressurised water reactor, incorporates elements of CNNC's ACP1000 and China General Nuclear's (CGN's) reactor designs. Construction of two Hualong One units is also underway at CGN's Fangchenggang in Guangxi province. Those units, based on CGN's ACP1000+ design, are also expected to start up in 2019 and 2020.

Related Stories

- China's Taishan 1 reactor connected to grid
- Chinese AP1000s pass commissioning milestones
- Fuel loading under way at Chinese AP1000
- Hot testing of Sanmen 2 AP1000 completed

WNA Links

- Sanmen 1
- Advanced Nuclear Power Reactors
- Nuclear Power China

Related Links

U.A.E. Completes First of Four Korean-Built Nuclear Reactors

By Bruce Stanley and Heesu Lee

March 26, 2018, 4:14 PM GMT+2 Updated on March 27,



- Barakah Unit 1 to load fuel in May: Korean energy ministry
- Reactor is Arab world's first; Saudis also want atomic plants



Leningrad II-1 starts pilot operation

09 March 2018

Russia has today connected unit 1 of the Leningrad Phase II nuclear power plant to the grid and it has started producing its first power, state nuclear corporation Rosatom has announced. The VVER 1200 reactor was brought to the minimum controllable power level on 6 February.



Leningrad-II unit 1 (Image: Rosatom)

Chinese EPR connected

2 July 2018

[Print](#) [Email](#)



[Hinkley Point C] project as a whole," he said.

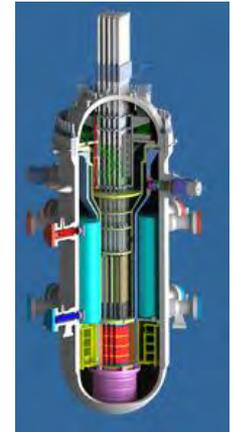
Unit 1 of China's Taishan nuclear plant in Guangdong province was connected to the on 29 June, becoming the world's first EPR to achieve grid connection and power generation, China General Nuclear International (CGN) and EDF Group announced. Taishan 1 is expected to enter commercial operation later this year.

Zheng Dongshan, CEO of CGN UK described the grid connection of the new Taishan 1 reactor as "a major step forward in China," but also noted the significance for the UK, where EPR technology will be used at both Hinkley Point C and Sizewell C.

"The fact that an EPR power station has been linked to the electricity network for the first time reinforces our strong confidence in this reactor technology and in the

小型モジュール原子炉 ニッチ市場にとどまらない

ベンダー	国	設計	タイプ	ネット出力 (MW)	運転中*	建設中*
Babcock & Wilcox	米国	mPower	PWR	180	0	0
CNEA	アルゼンチン	CAREM-25	PWR	25	0	1
CNEC	中国	HTR-PM	HTR	210	0	2基
CNNC	中国	ACP-100	PWR	100	0	0
KAERI	韓国	SMART	PWR	110	0	0
NuScale	米国	NuScale SMR	PWR	45	0	0
OKBM	ロシア	KLT-40S	浮揚式 PWR	2x35	0	ツインユニット (バージ搭載)



*: As of 31 December 2014.

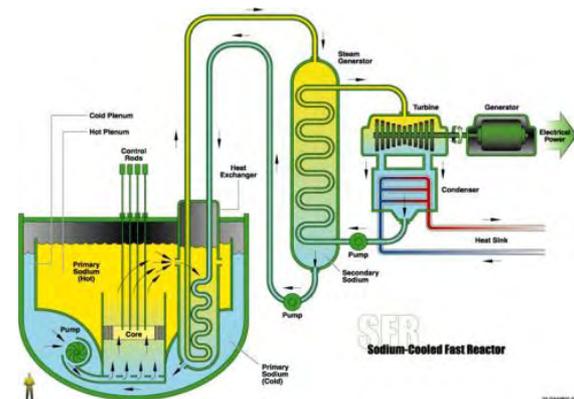
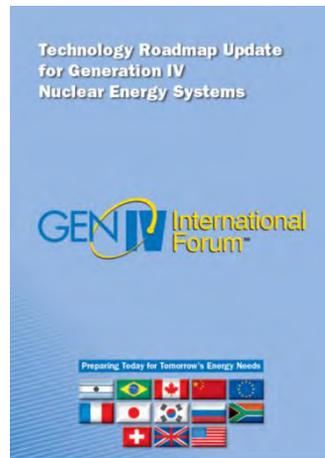
NRCにて米国NuScale社の
設計認証作業を実施中

カナダで世界初の5MWマイクロ
リアクターの許認可申請

KLT-40sで燃料装荷完了、起動試験中



第4世代の技術



国際協力フレームワークで開発中の6つの設計

- 「高速炉」
 - ナトリウム冷却高速炉 (SFR)
 - 鉛冷却高速炉 (LFR)
 - ガス冷却高速炉 (GFR)
- 「熱中性子炉」
 - 超臨界圧軽水冷却炉 (SCWR)
 - 超高温原子炉 (VHTR)
- 「熱中性子炉/高速炉」
 - 熔融塩原子炉 (MSR)

目標

- 持続可能性
- 経済性
- 安全性と信頼性
- 核拡散抵抗性と核物質防護

現在のR&Dレベルでは (GIF)、これらの技術の幾つかのプロトタイプが2030~2040年で計画されている。LWRのさらなる進展と並行して、**2040年以降に商用化**。

「第4世代」の原子炉システム：運転中、建設中、建設地選定中



柔軟性:原子力の役割(1)

- 将来の発電システムには、発電所、送電網、エネルギー貯蔵を含めた柔軟性が必要である(IEAの分析)
- ガスは(出力)変動性の再生可能エネルギーの「生まれながらのパートナー」と良く言われる。ガスは柔軟ではあるが、低炭素電源ではない。
- 今日の原子炉群は、既に柔軟性を発揮している(フランス、ドイツ、米国)「柔軟な運転」: 負荷追従運転、周波数対応

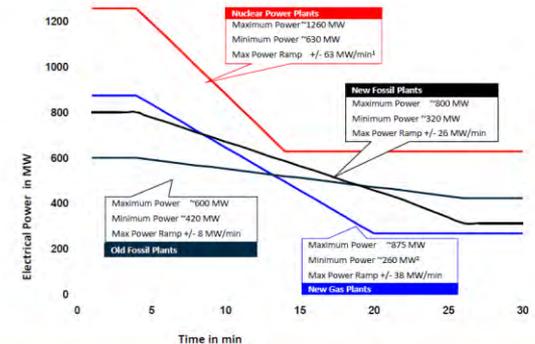
EDF原子炉出力の設計値と実績値(900 MWのCPYと1,300 MW)



- 1日あたり2度の変化
- 最大出力の20%まで降下
- 最少出力と最大出力の間は30分
- 周波数制御

EDF (S. Feutry)

出力ランプ

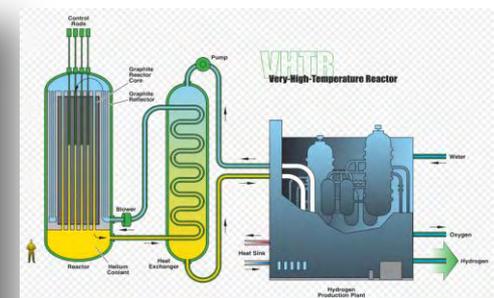
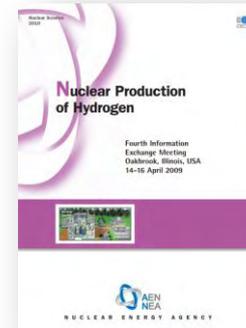


原子力発電所は送電網の最も柔軟なプラントに属している。

PreussenElektra (D. Janin)

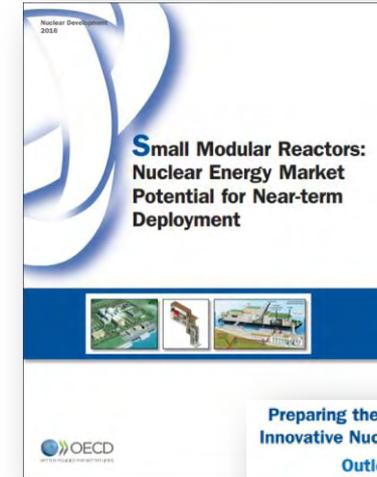
柔軟性：原子力の役割(2)

- 原子力のエネルギーシステムの柔軟性への更なる貢献
 - 有名な例: Swiss Hydroはフランスから安い夜間の原子力を購入して揚水し、その水力発電を日中に売却している(しかしながら、現在の電力市場状況からこのモデルは難しい)。
- 非発電分野での低炭素化に貢献
 - 地域熱供給: ベツナウ発電所(スイス)は35年以上、地元へ熱および温水を供給
 - 脱塩: 原子力の熱と電力を使用できるエネルギー集約型プロセス
 - 産業界へのプロセス用熱供給
 - 水素製造(燃料、貯蔵)
- ハイブリッドエネルギーシステム



技術革新

- 先進型原子炉
 - 小型モジュール原子炉:
 - 配備の柔軟性(規模、立地)
 - 運転上の柔軟性向上
 - 第4世代原子炉(軽水冷却でないSMRを含む)
 - 燃料の柔軟性(燃料のオープンサイクル・クローズドサイクル、U、Th)
 - 高温、効率性向上
 - 電力市場と非電力市場の両方がターゲット
- 原子力: 低炭素の電気源であり熱源(競争相手も少ないーCCS、バイオマス)
- 柔軟性: 将来の電力とエネルギーシステムにおけるカギ
- NICE Futureイニシアチブ: 様々なクリーンエネルギーの特性について話し合う重要なフォーラム



原子力の技術革新によるクリーンエネルギーの未来 – NICE Future



Countries Launch a Nuclear Innovation Initiative under the Clean Energy Ministerial

24 May 2018

- 革新的エネルギーシステムとその使用に関する技術の評価
- 将来のエネルギー選択における政策策定者およびステークホルダーの関与
- 査定、市場構造、資金調達能力
- クリーンなエネルギーシステム全体における原子力エネルギーの役割についてのコミュニケーション



Photos courtesy of Third Way

PARTICIPATING COUNTRIES



PARTNERS

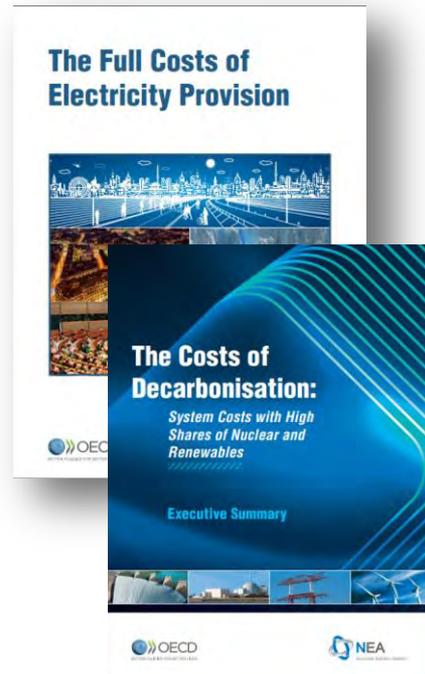


結論

- 現在の原子炉（群）では世界の電力の約10%を供給しており、第2位の低炭素電力供給源である。原子炉（群）の高経年化と長期運転が今後の重大問題
- 世界の電力の15%～16%を発電するため、既存原子炉（群）に替えて新規原子力発電所を配備するには、大規模な投資だけではなく、安定的かつ（原子力推進に）好意的な政策、業界の「優れた」製品、公衆からの支援も必要となる。
- 革新が必要な理由：
 - 第3世代/第3+世代炉のコスト削減
 - SMRと第4世代原子炉を成功させる（費用、製造可能性、柔軟性）
 - 非発電分野（プロセス用熱源、水素、脱塩など）への原子力エネルギー利用を商業規模で実証する

さらに詳細には・・・

- NEA報告書：
 - [IEA/NEA原子力技術ロードマップ](#)
 - [電力供給の全コスト](#)
 - [脱炭素化のコスト：原子力と再生可能エネルギーの割合が大きい場合のシステムの費用](#)
- 第4世代原子力システムに関する国際フォーラム：
 - [第4回シンポジウム](#) (2018年10月)
 - 発行予定のR&D展望 www.gen-4.org
- 国際原子力エネルギー協カフレームワーク (IFNEC) www.ifnec.org
 - [原子力エネルギーが直面している課題と機会に関するIFNEC/NICE Future会議](#) (2018年11月)
 - SMRと先進型原子炉に関する国際サミット(米国ワシントン、2019年11月14日～15日)





本日のパネル： 「革新的技術の開発展望」

- マリリン・クレイ（米国原子力学会ANS 副会長）
- ガレス・ヘドック（英国国立原子力研究所NNL 科学技術部長）
- ピョートル・ゼレノフ（ロスアトムJSCサイエンス・イノベーション社 国際コミュニケーション・ビジネス開発部長）
- 松野 大輔（経済産業省 資源エネルギー庁 原子力政策課長）