

# 第19回SNWシンポジウム

## 「エネルギーミックスのあるべき姿」 再エネと原子力のベストミックス

平成30年10月13日(土)

北海道大学名誉教授

東京工業大学先導原子力研究所

特任教授 奈良林 直

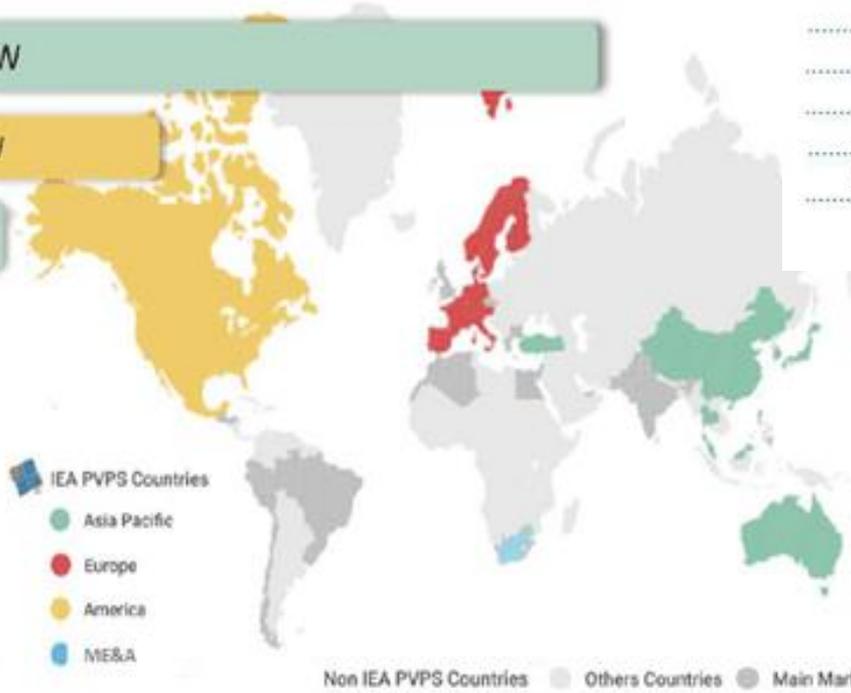
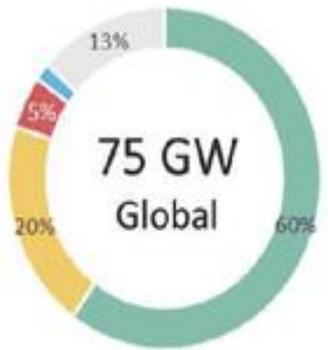
# 中国、日本、ドイツ、米国が太陽光発電大国

2017年05月11日

## 2016年の太陽光導入量

### Global PV Market 2016

#### TOP PV MARKETS 2016



#### TOP 10 COUNTRIES IN 2016 FOR CUMULATIVE INSTALLED CAPACITY

1		China	78,1 GW
2		Japan	42,8 GW
3		Germany	41,2 GW
4		USA	40,3 GW
5		Italy	19,3 GW
6		UK	11,6 GW
7		India	9 GW
8		France	7,1 GW
9		Australia	5,9 GW
10		Spain	5,5 GW

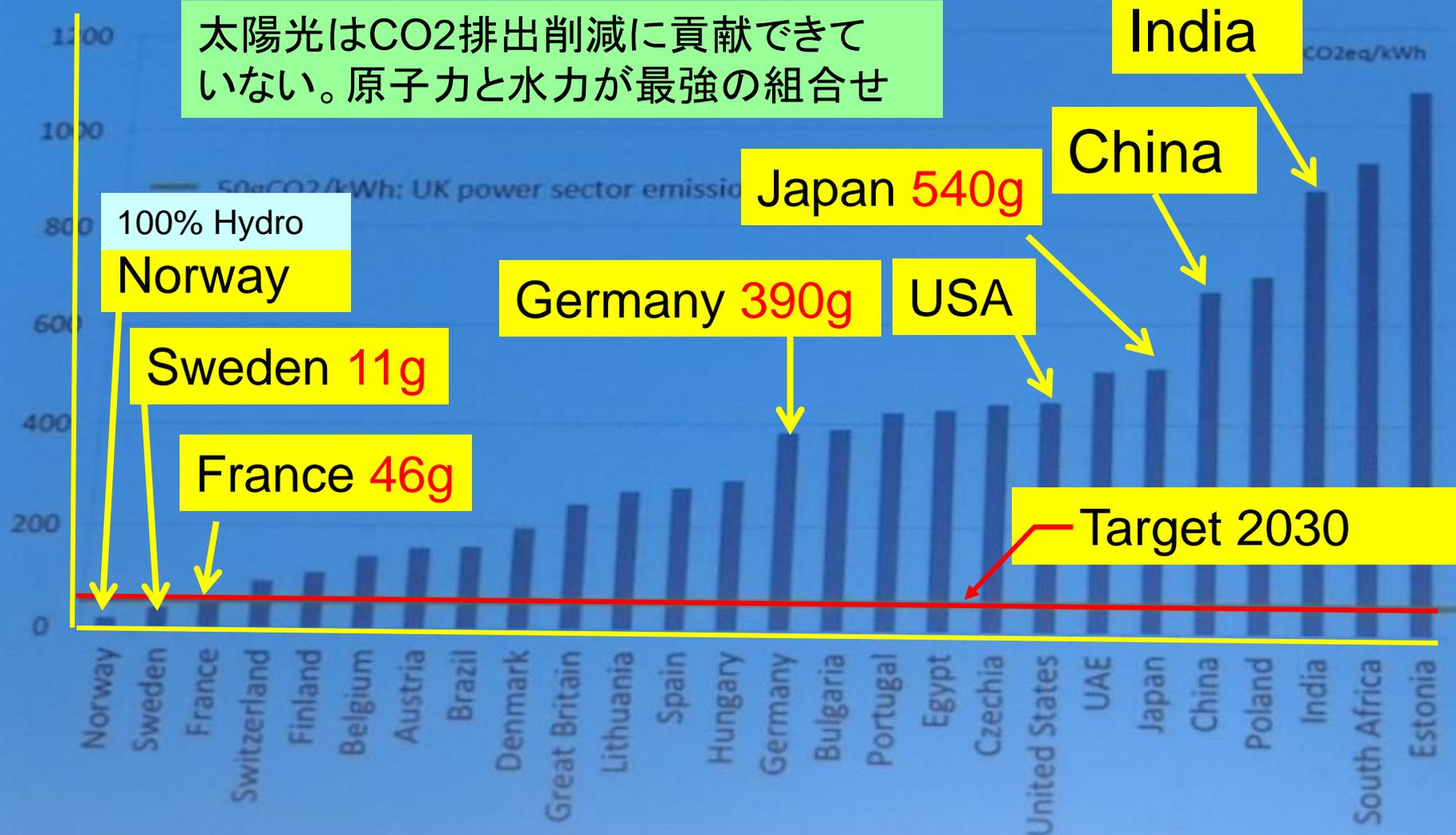
SNAPSHOT OF GLOBAL PHOTOVOLTAIC MARKETS 2016

<https://www.globalnote.jp/post-3240.html>

# CO2排出削減世界ランキング(ICON26)

Greenhouse gas emissions from electricity must be reduced

CO<sub>2</sub>-g/kWh



# 変動再エネ+火力で日独は再エネ敗戦国

EU主要国・日本のCO2排出係数と発電構成 (2015年)

スウェーデン	フランス	デンマーク	スペイン	EU平均※	ドイツ	日本
11gCO2/kWh	46gCO2/kWh	174gCO2/kWh	293gCO2/kWh	311gCO2/kWh	450gCO2/kWh	540gCO2/kWh

1kW時の電気を得るときに発生するCO2

安定  
ゼロエミ

87%	88%	15%	35%	43%	25%	12%
安定再エネ: 52% 原子力: 35%	安定再エネ: 11% 原子力: 78%	安定再エネ: 15% 原子力: 0%	安定再エネ: 14% 原子力: 21%	安定再エネ: 16% 原子力: 27%	安定再エネ: 11% 原子力: 14%	安定再エネ: 11% 原子力: 1%

変動  
再エネ

10%	5%	51%	21%	13%	18%	4%
太陽光: 0% 風力: 10%	太陽光: 1% 風力: 4%	太陽光: 2% 風力: 49%	太陽光: 3% 風力: 18%	太陽光: 3% 風力: 10%	太陽光: 6% 風力: 12%	太陽光: 3% 風力: 1%

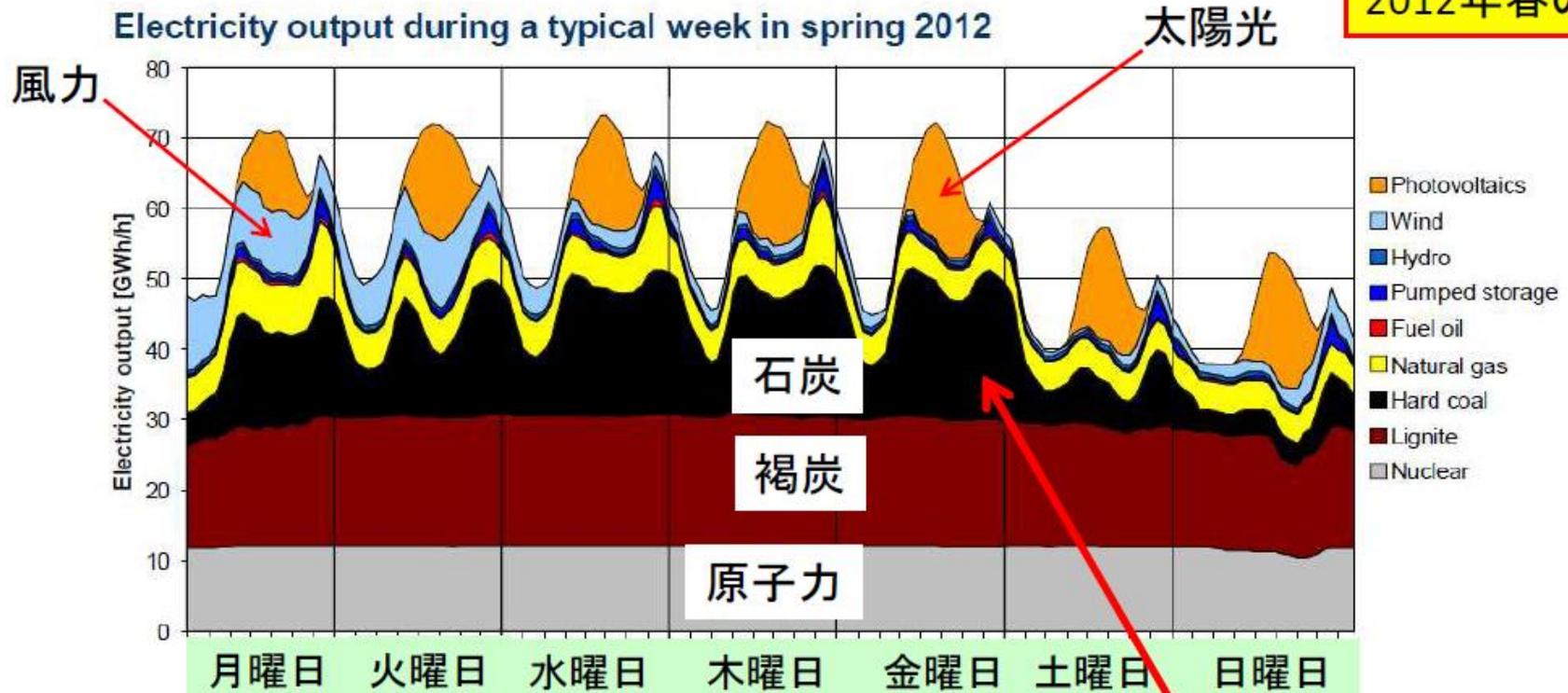
火力

2%	7%	34%	44%	44%	56%	84%
石炭: 0% ガス: 1% 石油: 1%	石炭: 2% ガス: 4% 石油: 1%	石炭: 25% ガス: 6% 石油: 4%	石炭: 19% ガス: 19% 石油: 7%	石炭: 25% ガス: 16% 石油: 3%	石炭: 44% ガス: 10% 石油: 2%	石炭: 32% ガス: 40% 石油: 12%

エネ庁日下部長官講演資料 (出所) IEA CO2 emissions from fuel combustion 2017, 総合エネルギー統計より作成

# ドイツの再生可能エネルギーは石炭火力発電に依存している。LNGへの転換も失敗。

2012年春の代表例



Consequences for short-notice dispatch of power plants:

- Several start-ups and shutdowns every day
- High load change rates
- Few hours of supply to the grid

◆ 再生エネルギーによる  
負荷変動は石炭火力  
が担っている

Data source: Information provided on the EEX transparency platform  
26.09.2013 Ways for a Generator to deal with the German "Ener..."

東大金子祥三先生講義資料より

2013.9.26 VGB CongressにおけるSTEAG社発表資料より

# 新しい石炭火力発電所の建設がEUのCO<sub>2</sub>危機

## New coal power stations threat to EU's emissions target



# グリーンエネルギー・パラドックス

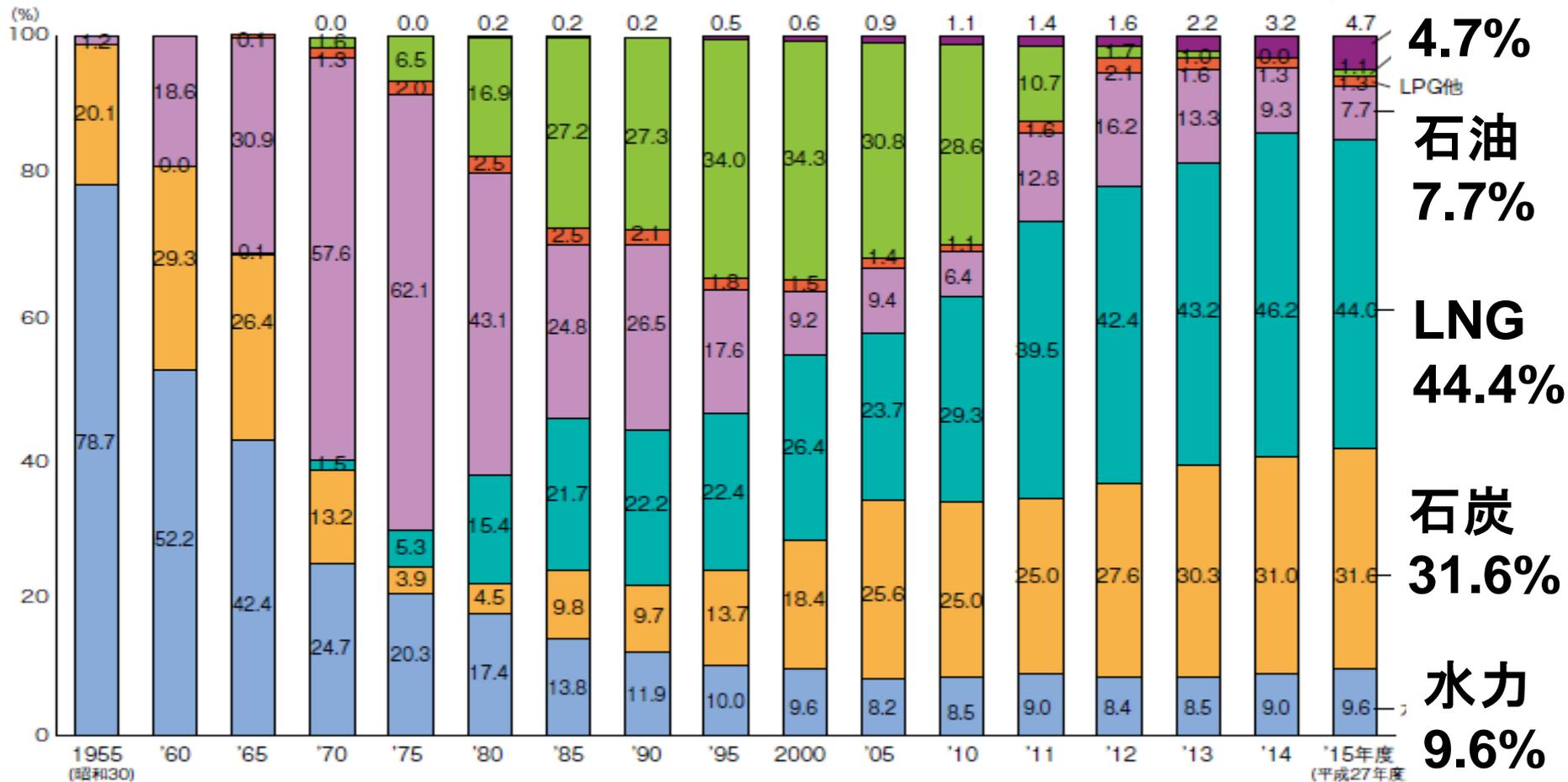
- 原発の廃止を決めたドイツでは、ここ10年で電気料金が2倍に、3%の企業が海外移転し、14%も今後海外移転を考えている。
- ドイツ企業が進出したチェコでは石炭火力発電所が急増、大気汚染



# 日本は火力が85%に。石炭火力が増加中

5月の晴天時に太陽光発電(kW)が80%に達した電力会社がある。

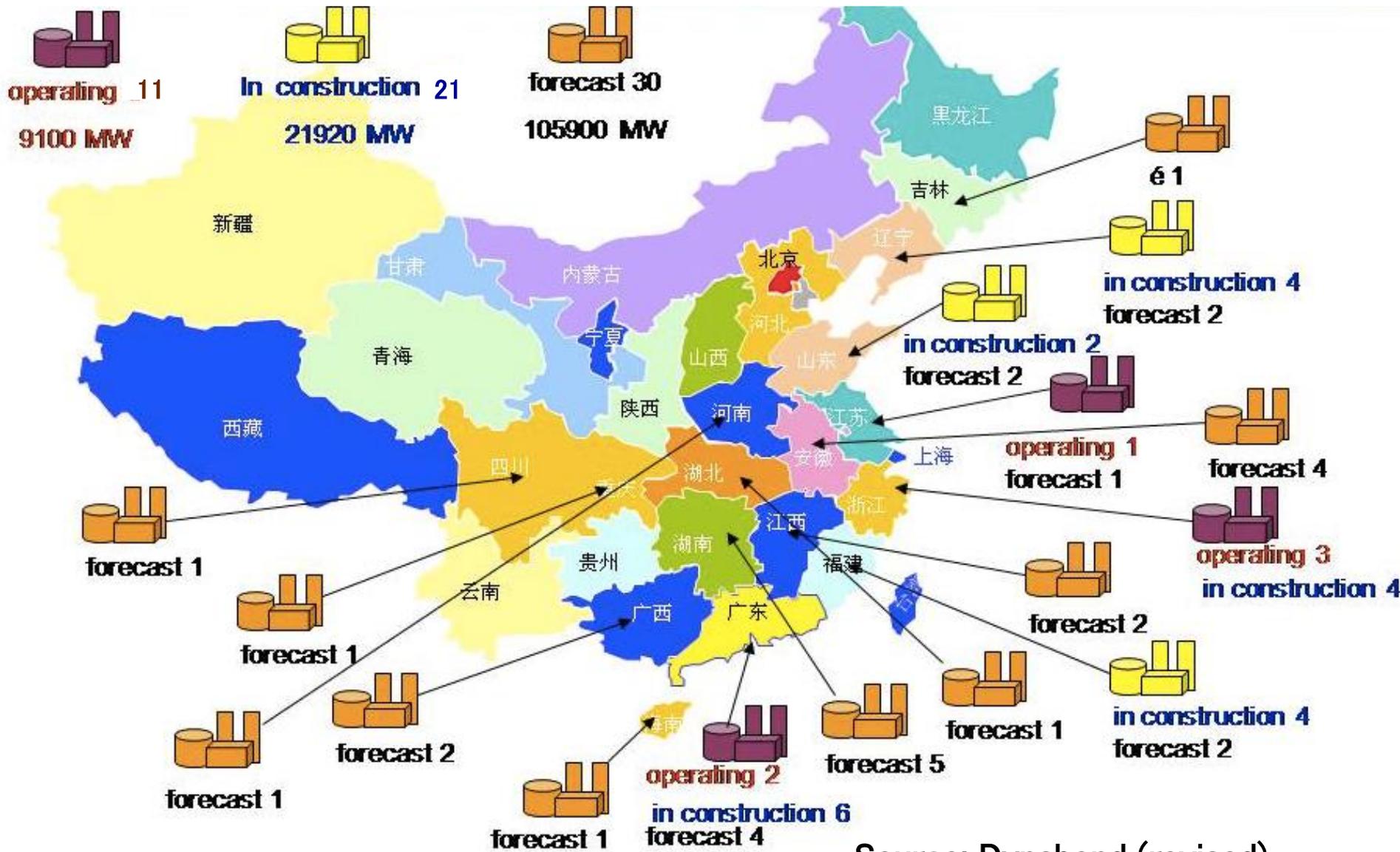
●電源別発電電力量構成比(10電力計(受電を含む))



(注) 1. 1970年度までは9電力計  
2. LPG他: LPG、その他ガス、地熱、新エネ

(出典) 電気事業連合会調べ

# 中国の原発建設計画31基→将来200基



Source: Dynabond (revised)

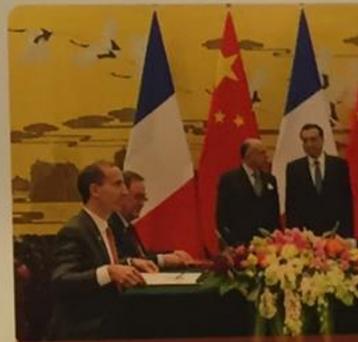
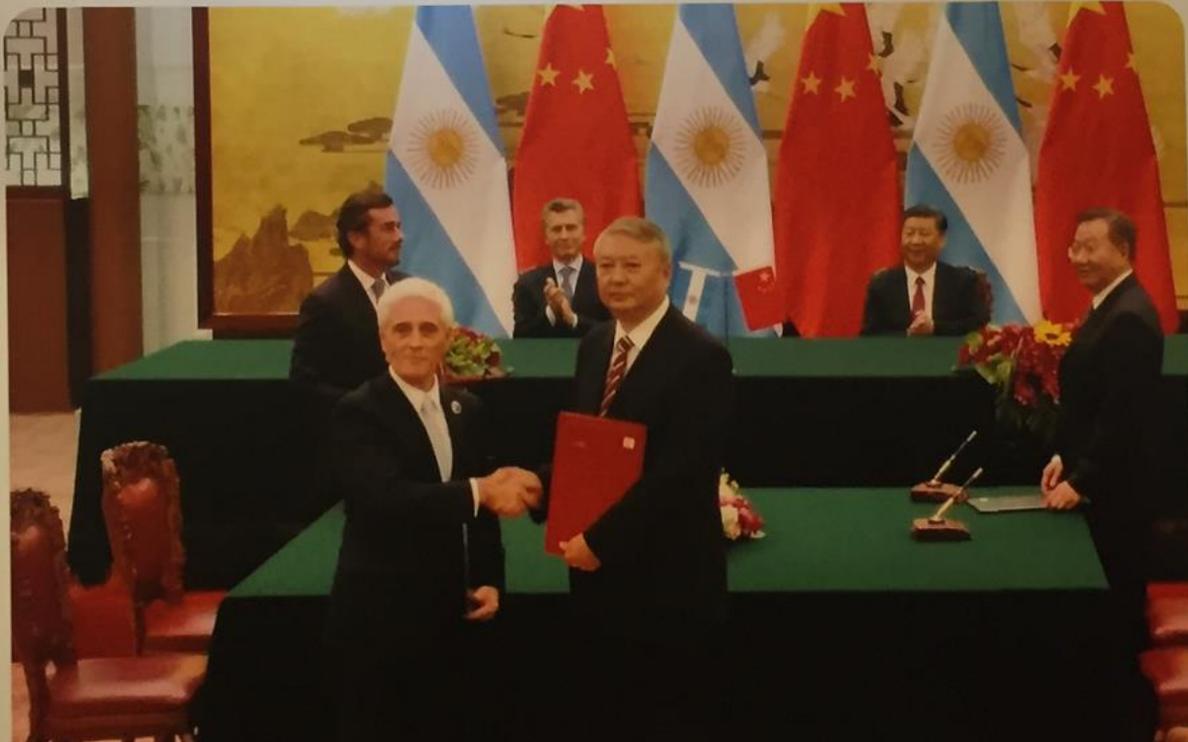
# 一帯一路のAIIBは中国の原発インフラ投資

中国核工业集团公司  
China National Nuclear Corporation

## 一帯一路 The Belt and Road

中核集团是我国唯一出口过核电站并实现批量出口的企业，已成功向7个国家出口过6台核电机组、8台研究堆或装置，并与全球40多个国家和地区建立了科技经贸关系，正在商谈核电及铀资源、核燃料、核技术应用等核工业全产业链合作。

CNNC is the only Chinese enterprise that has achieved bulk export of nuclear power plant power units and eight research reactors or facilities to seven countries. In addition, CNNC has established technological and trade relations with more than 40 countries and regions. CNNC is exploring cooperation with countries in the whole nuclear industry chain, including nuclear power, uranium resources, nuclear fuel, nuclear technology application etc.

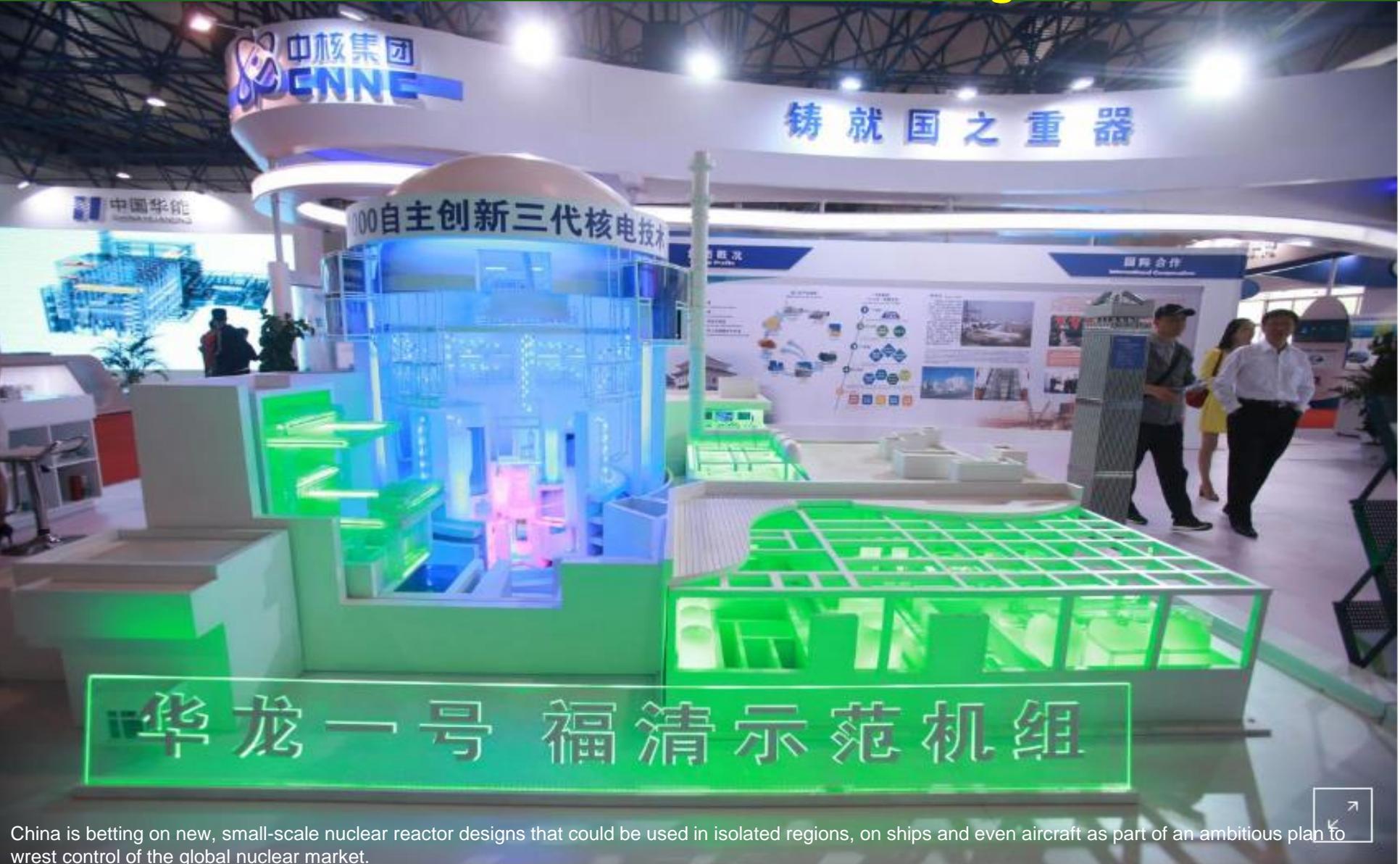


2017年2月21日，中核集团与法国新阿海铀业合作框架协议（AREVA）。

On February 21, 2017, CNNC and New AREVA signed a Framework Agreement for Industrial and Commercial Cooperation.



# Enter the Nimble Dragon: AIIBの戦略原発は華龍1号(1000MW) China looks to small reactors for nuclear edge



华龙一号 福清示范机组

China is betting on new, small-scale nuclear reactor designs that could be used in isolated regions, on ships and even aircraft as part of an ambitious plan to wrest control of the global nuclear market.

# 中国は、今年の子年末にはSMR(小型モジュール炉CAP200)の型式承認を出す

## Proposed License Structure of Small Modular Reactor in China

中广核 CGN

2

### Existing license structure

Existing law and regulations in China: "Nuclear Safety Act", "Regulations of civil nuclear installations" (HAF001), and "Application and issuance of nuclear power plants license" (HAF001/01).

- ✓ The application and issuance process is similar to 10 CFR Part 50, i.e. separate construction License (CL) and operating license (OL).
- ✓ HAF001/01 uses "nuclear power plants" in general, and has no special or specific requirements for SMR.
- ✓ HAF001/01 specifies "The valid period of nuclear power plant operating license is generally its design lifetime, and can be determined by National Nuclear Safety Administration (NNSA) in special conditions". In December 2015, NNSA issued "Policy for nuclear power plants operating license renewal". But for SMRs, due to different dates of construction and operation

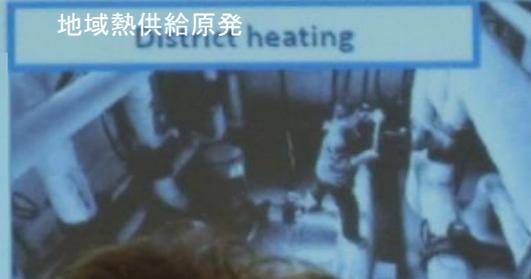
### SMR-New interest for China Nuclear Community

- 2015 — Floating SMR Development - Approved
- 2016 — SMR development strategy discussion - Completed
- Since 2016 — SMR National Technology key Project & Winter Heat Supply -Preparation

### China Energy Demand Map



中国内143地点で SMR建設開始

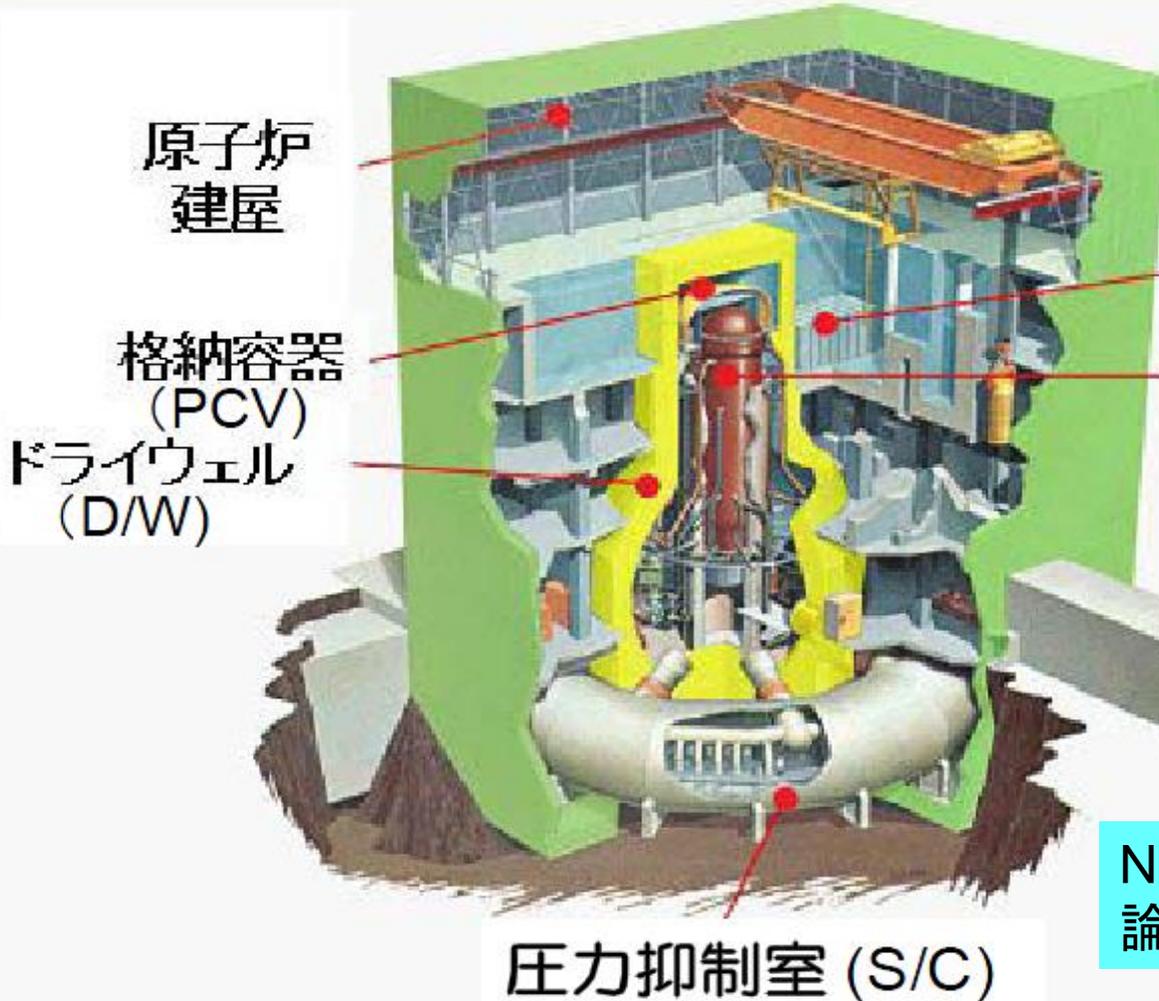


Advanced SMR Development in SNPTC/SNERDI



# 福島第1原子力発電所の地元汚染の原因

原子炉を格納する容器(図の黄色いフラスコ型の鋼鉄製の容器)が放射能(放射性物質)の漏えいを食い止めるはずでした…。しかし、

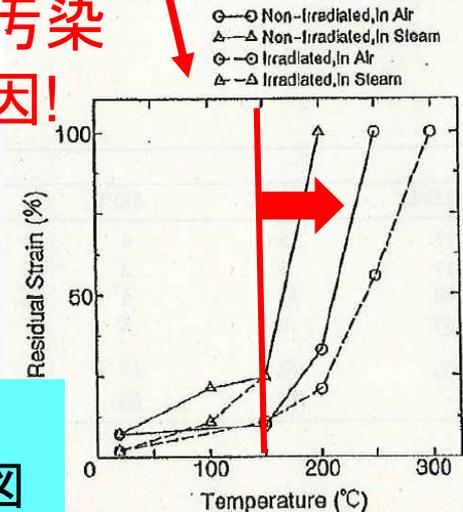


ゴムパッキングが150°C以上で弾力性なくなる

使用済燃料プール(SFP)

原子炉压力容器(RPV)

地元汚染の原因!

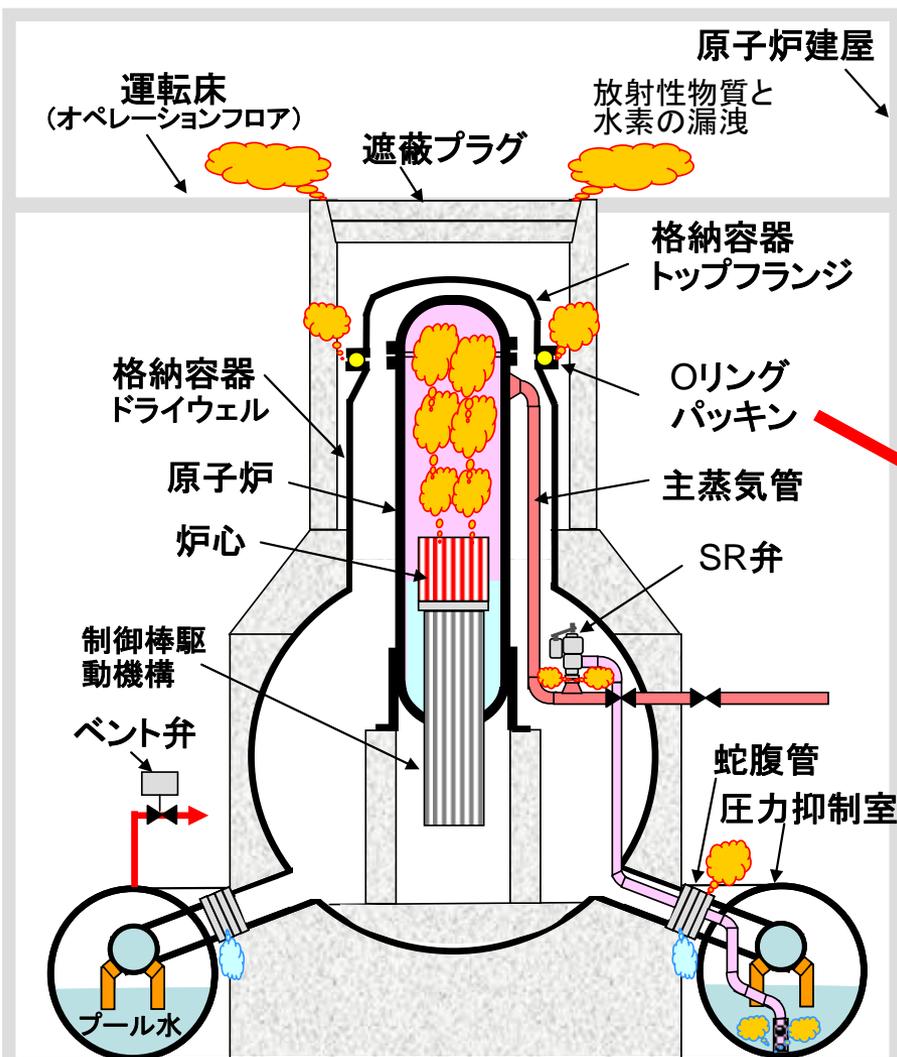


NED誌論文の図

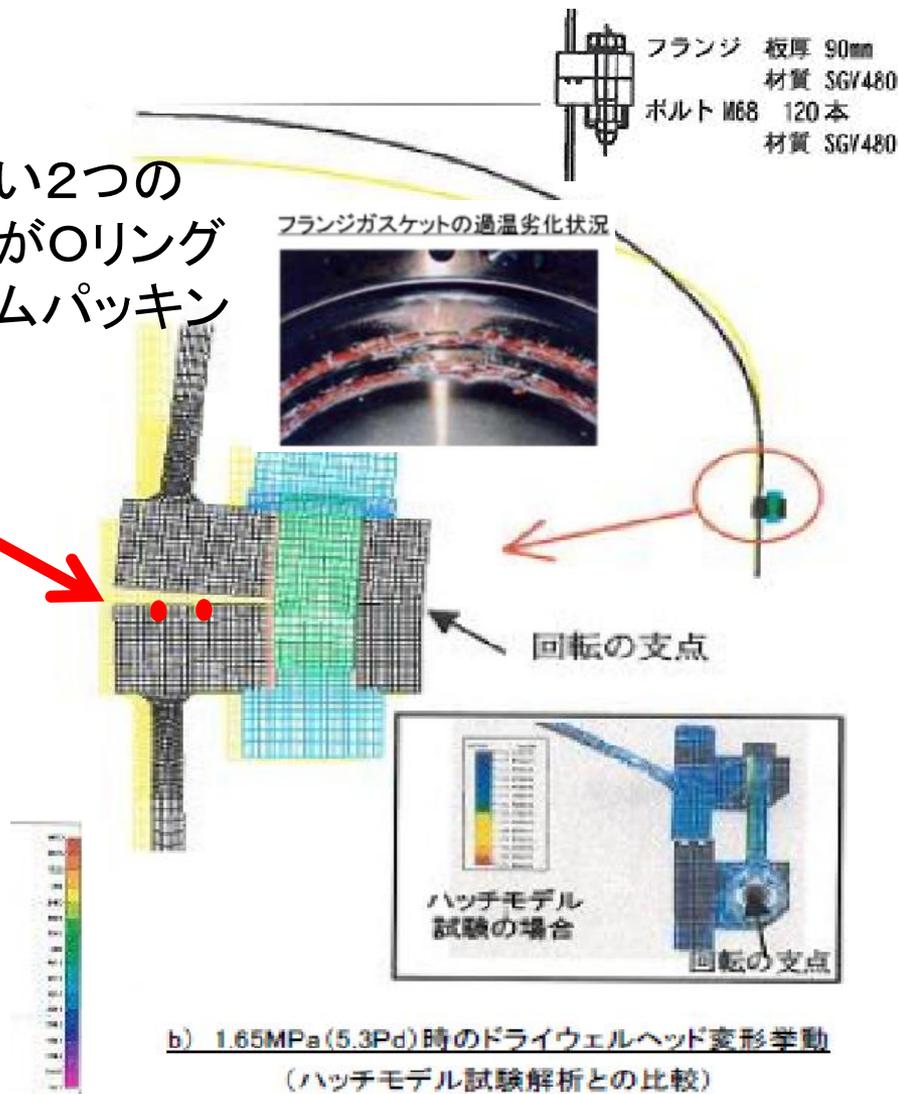
Fig. 5. Effect of temperature to residual strain.

# 格納容器の頂部のふたから漏えい

■ 格納容器の頂部(トップ)フランジの**ゴムが劣化して漏洩**



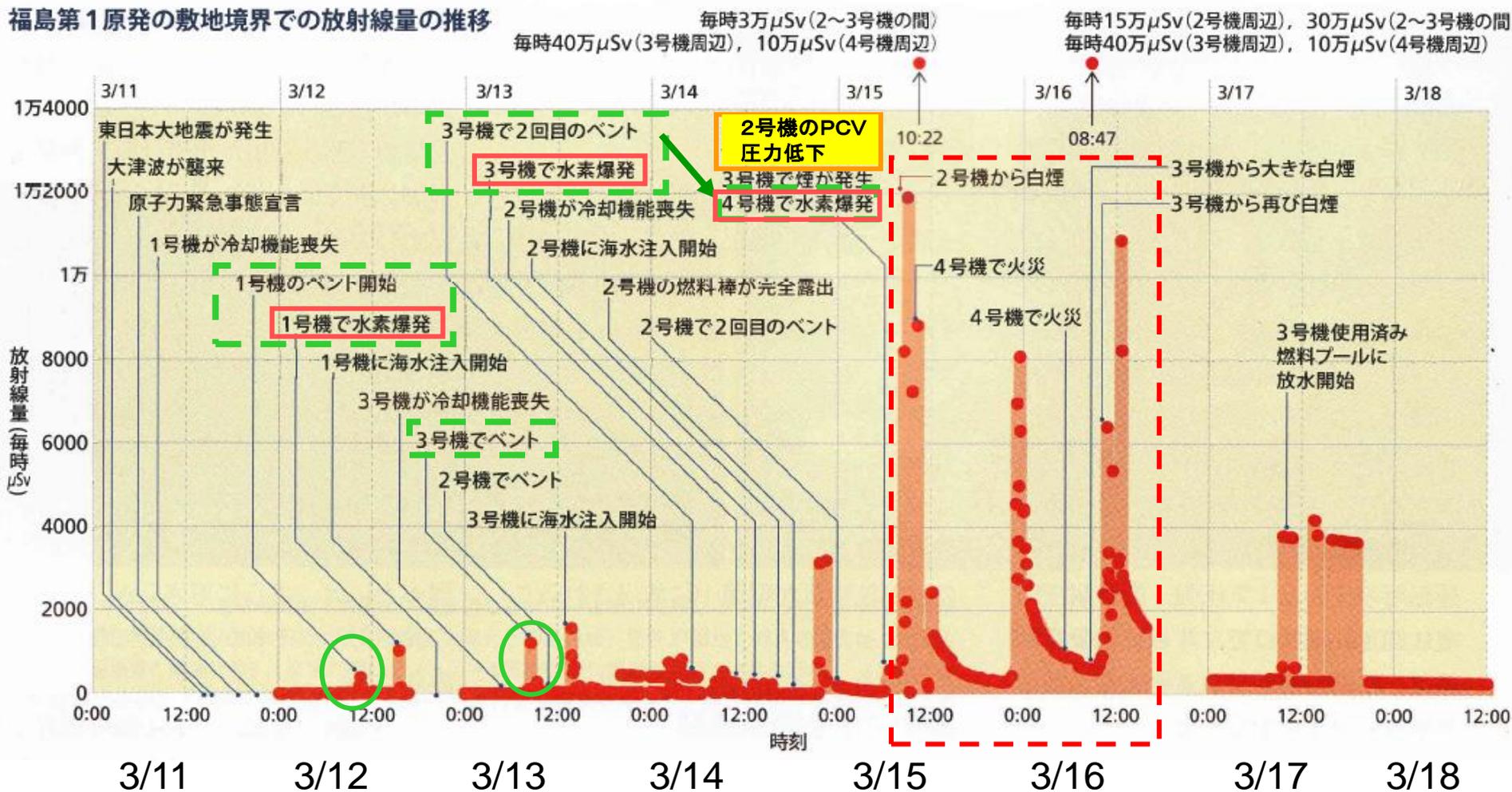
赤い2つの  
●がリング  
ゴムパッキン



# 格納容器の損傷後に放射線量率急増

## 3/15の2号機のPCV漏洩以降の放射線量率が急増

福島第1原発の敷地境界での放射線量の推移



日経サイエンス2011年7月号より

# 2号機と3号機の格納容器から直接蒸気リーク



(a) 3月13日13:00



(b) 3月15日7:00



(c) 10:00, March 16



(e) 3月15日8:58, 2号機



(d) 3月15日7:31, 3号機



(e) Unit3, 9:51, March 16

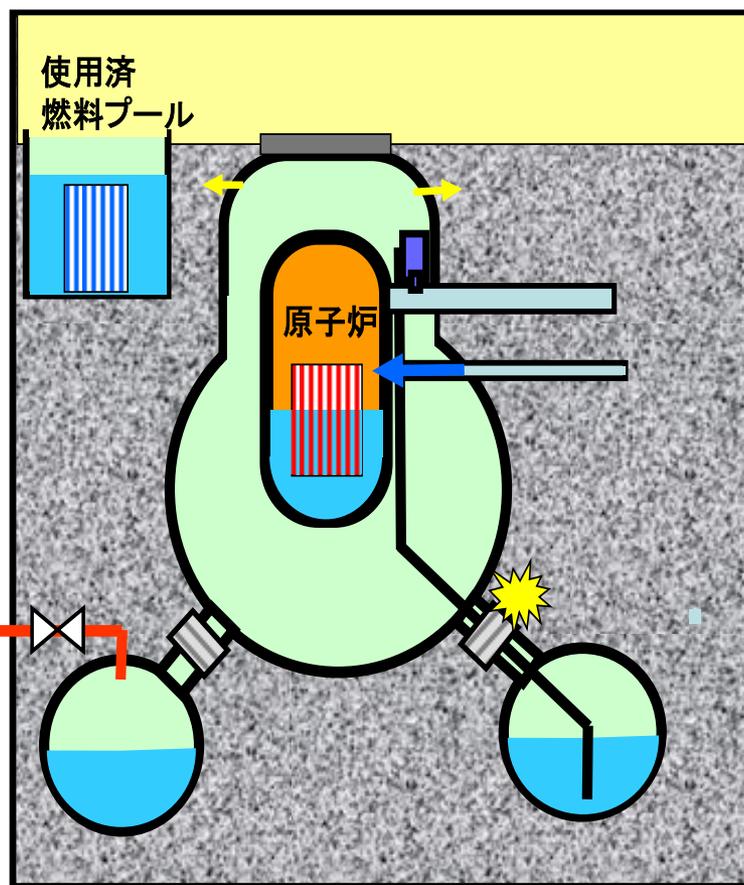
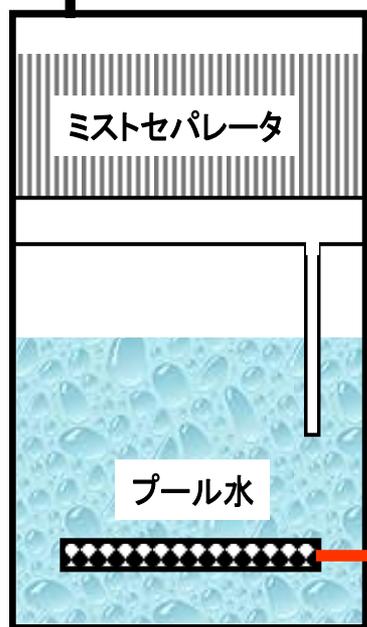
■ ベント用バルブの空気源喪失がベント不能をもたらし格納容器からの汚染された蒸気の漏えいとなった。  
→これが福島県の飯館村を汚染した原因

■ ベントを確実にすることと、格納容器のパッキン材料の改良が必要

# 抜本的対策はフィルタベントの設置

- チェルノブイリ事故の教訓:「例え事故が起こっても地元には迷惑をかけません」(フランス、ドイツ、スイス、フィンランド、スウェーデンのほぼ全ての原発に設置)
- 有機ヨウ素除去型フィルタベントの設置により、原発事故に伴う地元汚染は回避

■ ヨウ素やセシウムなどの放射能を  
1/100~1/1000  
に低減



定価 本体4,500円(税別)  
ISBN978-4-900622-61-6

# 14th International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA14)にて基調講演

Held at Cape Town,  
9-13 May 2016

世界中から被曝防止の専門家が900名が参加(4年に1回開催)



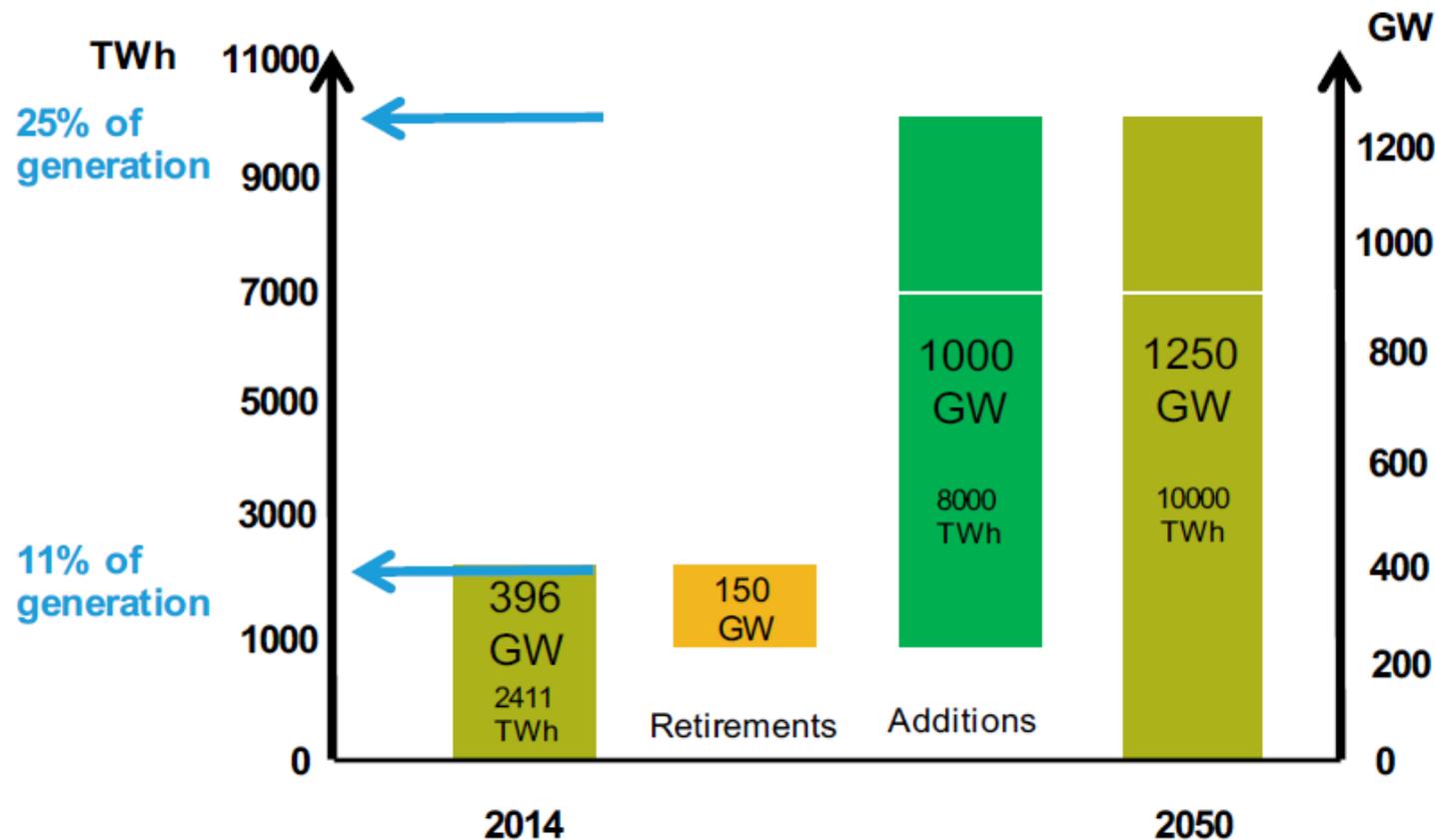
世界中の原発にフィルタベントを設置し、住民の被曝防止達成の必要性を世界に向けて情報発信



# 2050年までに、世界で約1000基の原発

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION

安全性を高めた原発＋揚水発電＋変動再エネの組み合わせ＝ゼロエミッション達成の確実な解



Source: World Nuclear Association. Growth required for nuclear energy to supply 25% of electricity in 2050 under demand forecast of two-degree scenario (see IEA, 2015, Energy Technology Perspectives 2015).

Assumption: 91% capacity factor

# 安全性を高めた原発利用の重要性

- 地球環境保全のためには、CO<sub>2</sub>排出削減が必要であるが、原発を停止した**日本**、原発を半減した**ドイツ**は共に**再エネ敗戦国**である。
- 太陽光や風力のような**変動再エネ**は、**必ず火力のバックアップが必要**で、変動再エネを増やすとCO<sub>2</sub>排出は増加する(実証された)。
- 変動再エネの電気の平準化に必要なバッテリーの設置には数百兆円のコストが必要であり、現実的ではない。
- 安全性を高めた原発の事故のリスクよりも、大停電の人命のリスクが高くなっている。北海道大停電がその例。
- 2月の豪雪のとき太陽光発電がほぼゼロになり、首都圏大停電の危機になった。病院の停電が続けば、生命維持装置、保育器や手術室の電気が止まり死者が出るリスクが高い。
- 安全性を高めた原発＋揚水発電＋変動再エネの組み合わせ＝ゼロエミッション達成の唯一確実な解。
- 我が国の**審査遅延**による**何十兆円の「つけ」**は国民が**電気代で負担**
- **2050年までに中国はじめ、世界で1000GW(1000基)の原発建設**