

# Stormy Energy Future and Sustainable Nuclear Power

2016-4-13 JAIF Annual Conference

Former Executive Director, IEA  
President, the Sasakawa Peace Foundation  
Nobuo TANAKA

# Sustainable Nuclear Power



● 原油安続くと中東依存が一層苛まる懸念  
 ● エネルギー安全保障と温暖化回避両立を  
 ● 日米原子力協定改定を見据え未来図描け

田中伸規 日経産業新聞編集委員

東日本大地震5周年が過ぎ、日本は震災の教訓を踏まえ、エネルギー安全保障と温暖化回避の両立を模索している。その中で、原子力発電の役割はますます重要視されている。しかし、福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、原子力発電の安全性を確保し、国民の理解を得ることが不可欠である。また、原子力発電の廃止コストを削減し、競争力のあるエネルギーとして位置づける必要がある。日米原子力協定の改定も、この観点から検討されるべきである。

## 持続可能な原子力を探れ

### 日本、米独と事情違う

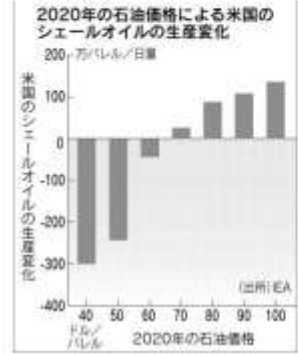
#### 原油安続いても原発必用



2011年3月11日の東日本大震災以降、日本はエネルギー安全保障と温暖化回避の両立を模索している。その中で、原子力発電の役割はますます重要視されている。しかし、福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、原子力発電の安全性を確保し、国民の理解を得ることが不可欠である。また、原子力発電の廃止コストを削減し、競争力のあるエネルギーとして位置づける必要がある。日米原子力協定の改定も、この観点から検討されるべきである。

### 大震災から5年 エネルギー政策

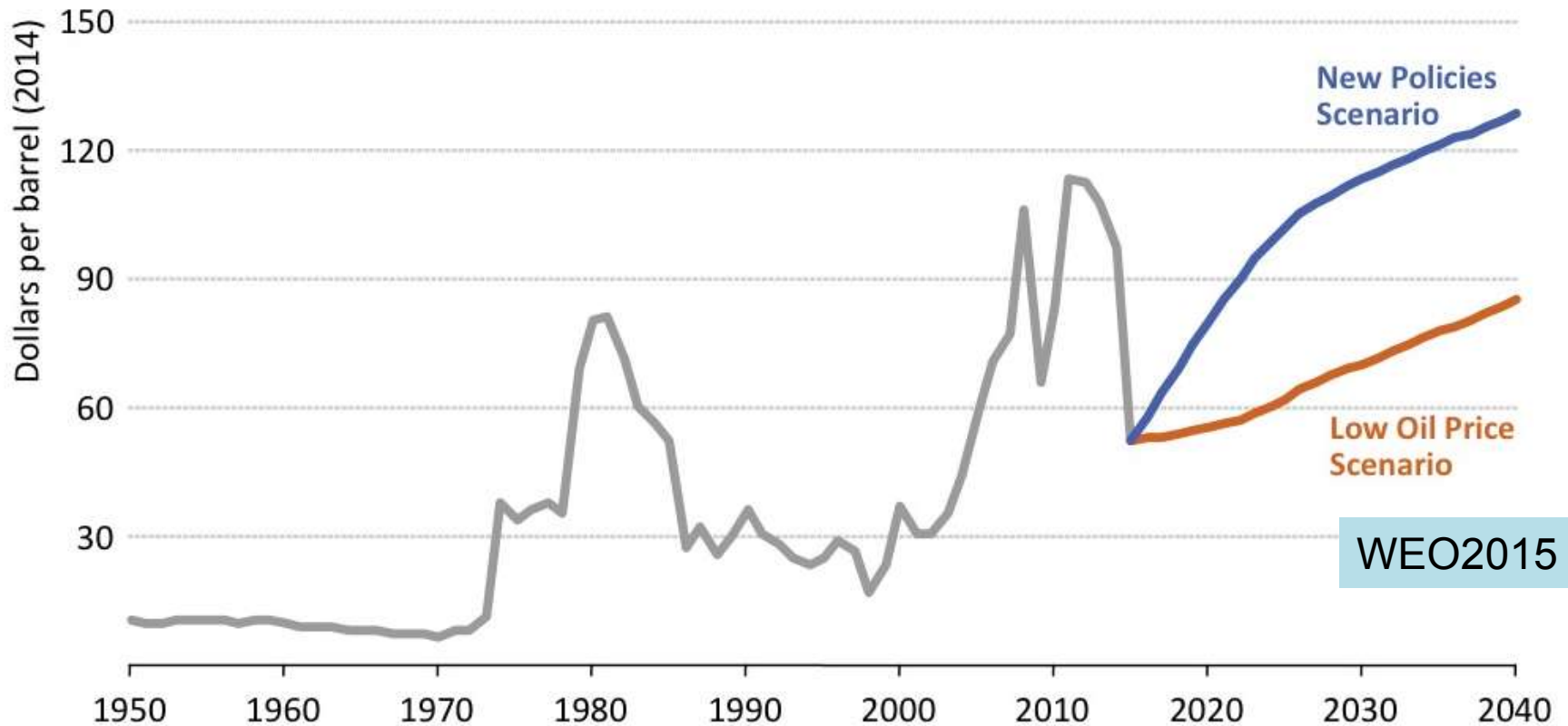
東日本大地震5周年を迎え、日本は震災の教訓を踏まえ、エネルギー安全保障と温暖化回避の両立を模索している。その中で、原子力発電の役割はますます重要視されている。しかし、福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、原子力発電の安全性を確保し、国民の理解を得ることが不可欠である。また、原子力発電の廃止コストを削減し、競争力のあるエネルギーとして位置づける必要がある。日米原子力協定の改定も、この観点から検討されるべきである。



原油安続いても原発必用。日本はエネルギー安全保障と温暖化回避の両立を模索している。その中で、原子力発電の役割はますます重要視されている。しかし、福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、原子力発電の安全性を確保し、国民の理解を得ることが不可欠である。また、原子力発電の廃止コストを削減し、競争力のあるエネルギーとして位置づける必要がある。日米原子力協定の改定も、この観点から検討されるべきである。

# Low Oil Price Scenario

**Figure 4.1** ▶ Average IEA crude oil import price by scenario



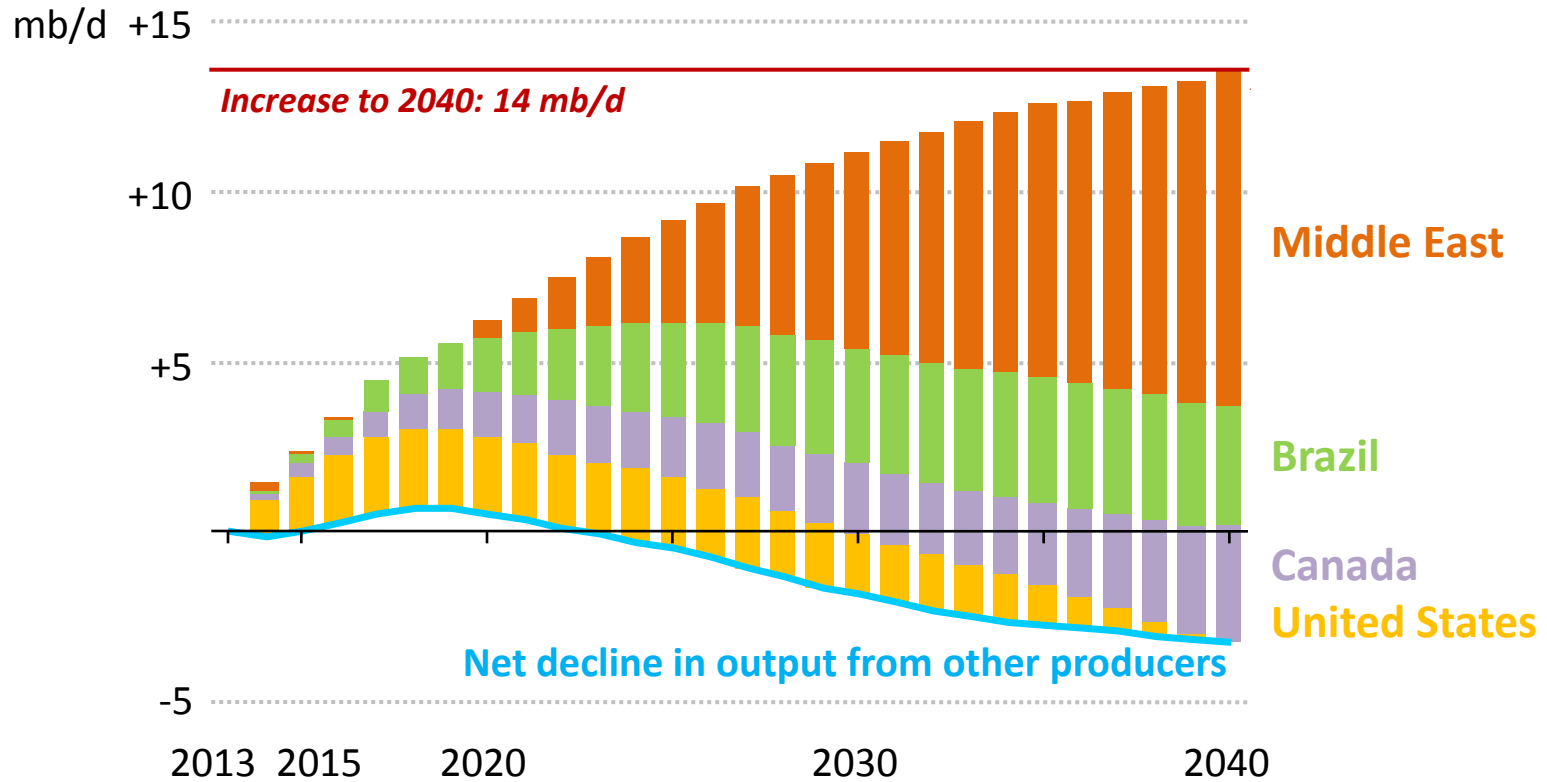
What will happen if Oil Price of \$50 per barrel continues well into 2020s?

# Instability in the Middle East a major risk to oil markets

WEO2014

Oil production growth

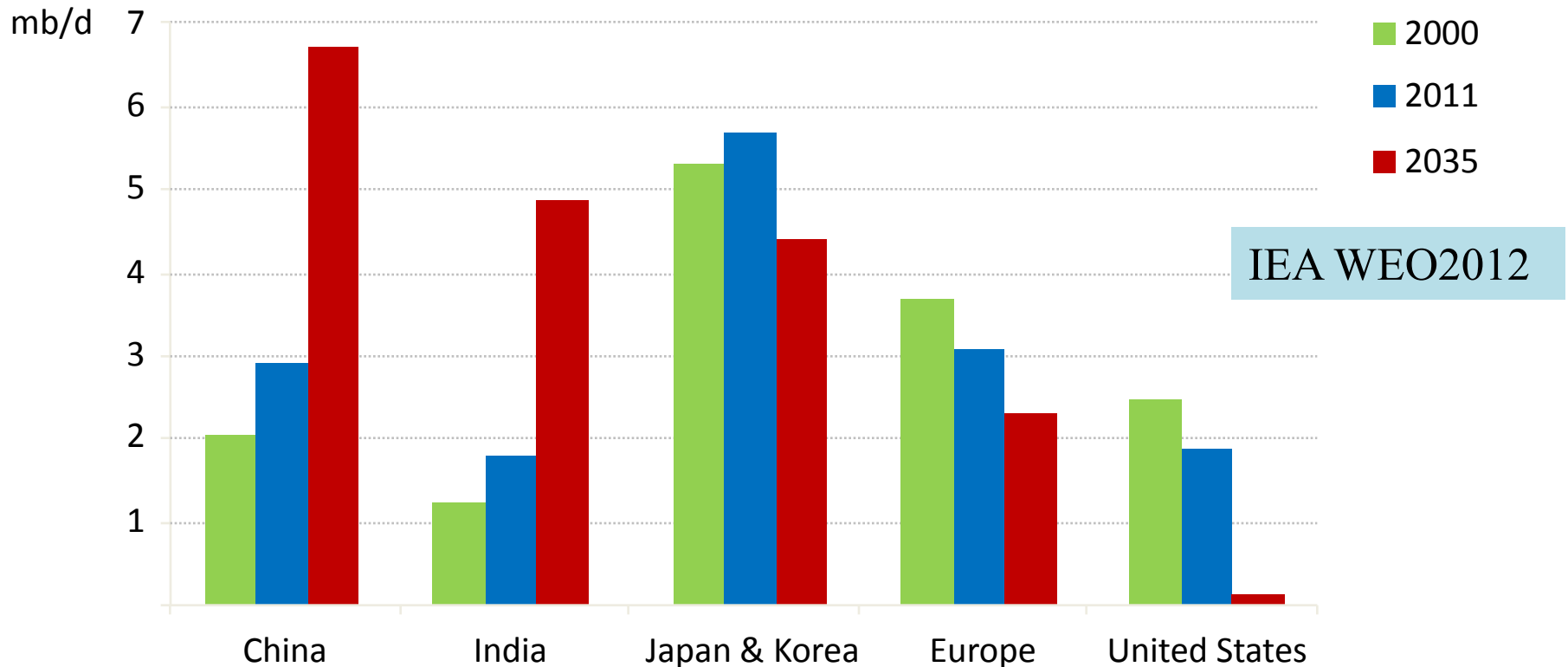
in United States, Canada, Brazil & the Middle East



*The short-term picture of a well-supplied market should not obscure future risks as demand rises to 104 mb/d & reliance grows on Iraq & the rest of the Middle East*

# North American Energy Independence and Middle East Oil to Asia: a new Energy Geopolitics

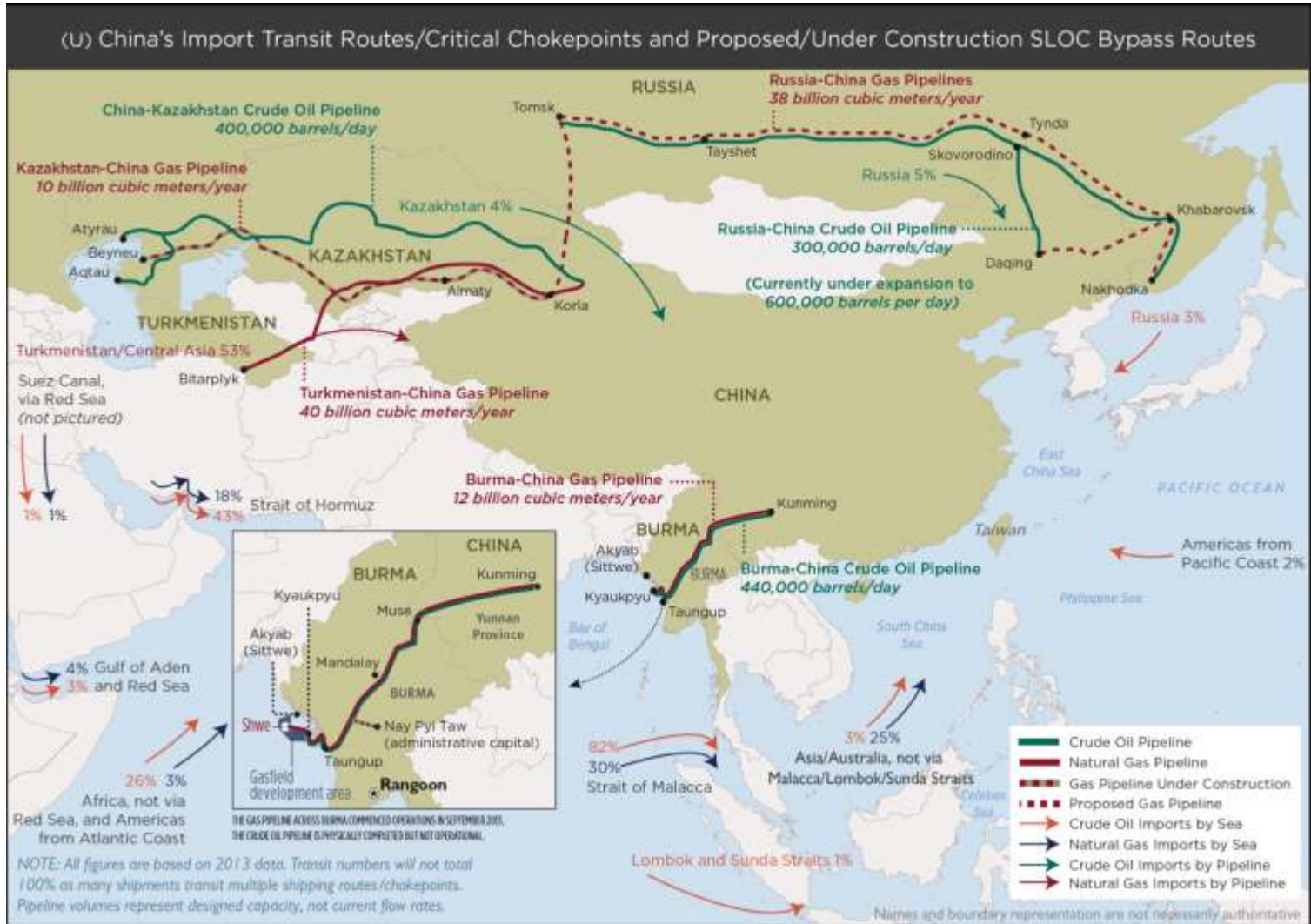
## Middle East oil export by destination



***By 2035, almost 90% of Middle Eastern oil exports go to Asia; North America's emergence as a net exporter accelerates the eastward shift in trade***

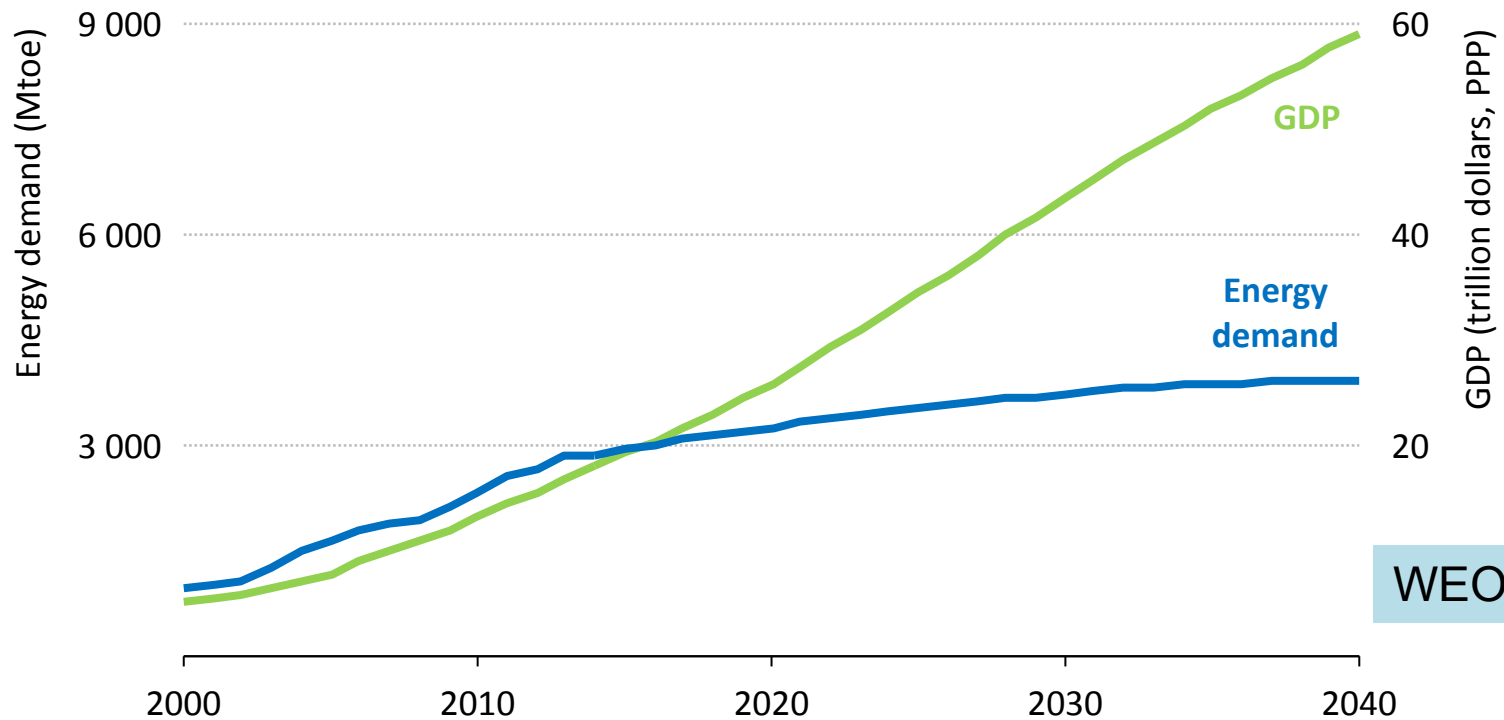


# China's Oil and Gas Import Transit Routes: One Belt and One Road (一帶一路)



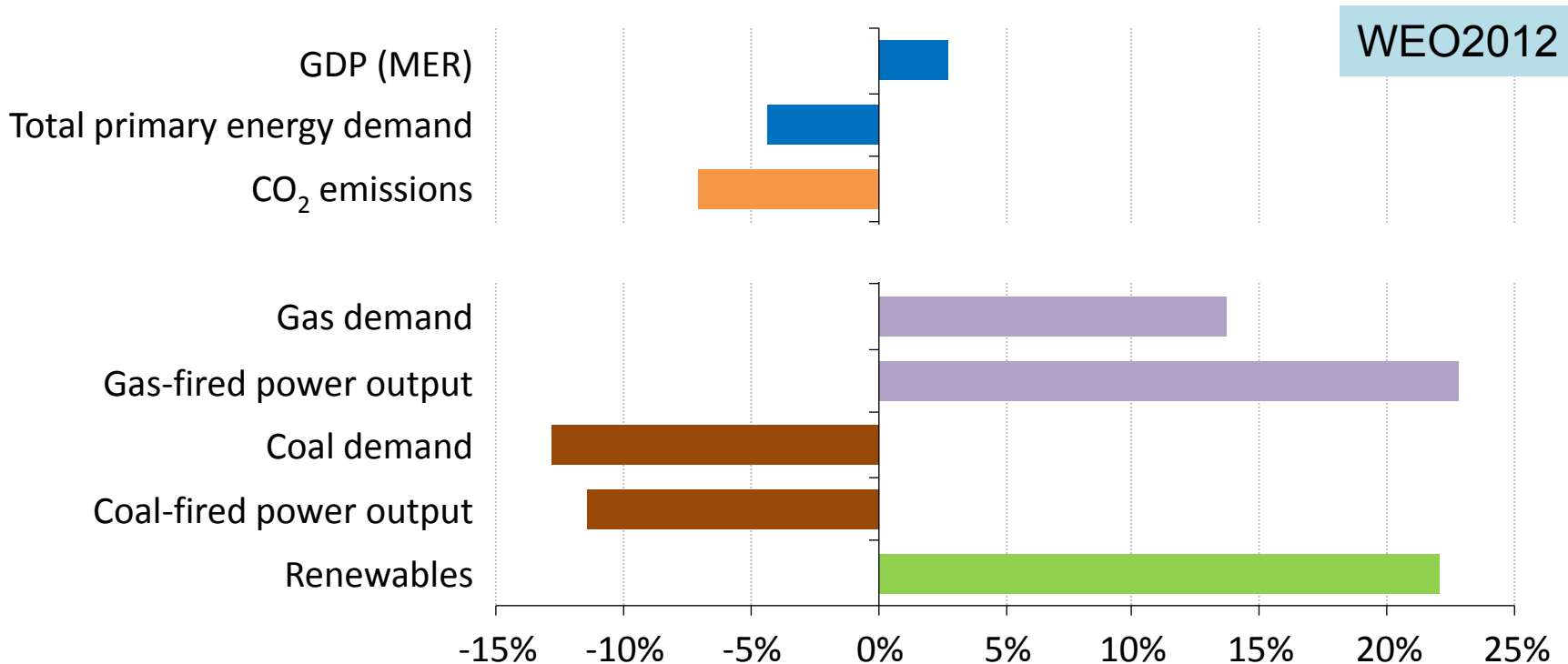
# A new chapter in China's growth story

## Energy demand in China



***Along with energy efficiency, structural shifts in China's economy favouring expansion of services, mean less energy is required to generate economic growth***

# The Shale revolution in the US achieved Win-Win-Win. Economy, Environment and Energy Security.

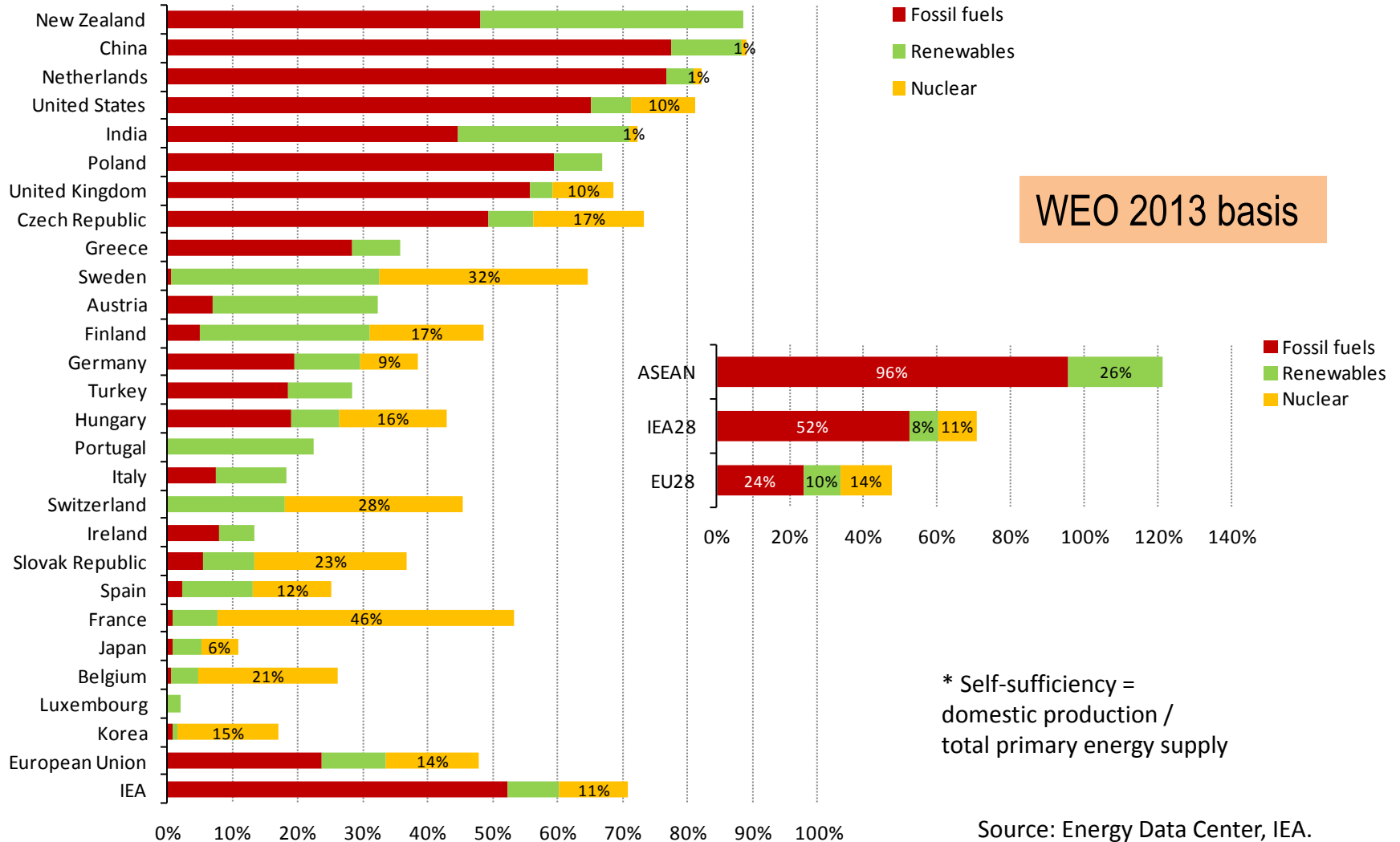


***From 2006-2011, United States CO<sub>2</sub> emissions went down by 7% due to coal-to-gas fuel switching, power generation efficiency gains & increased renewables output***



# Collective Energy Security and Sustainability by Diversity, Connectivity and Nuclear

## Energy self-sufficiency\* by fuel in 2011

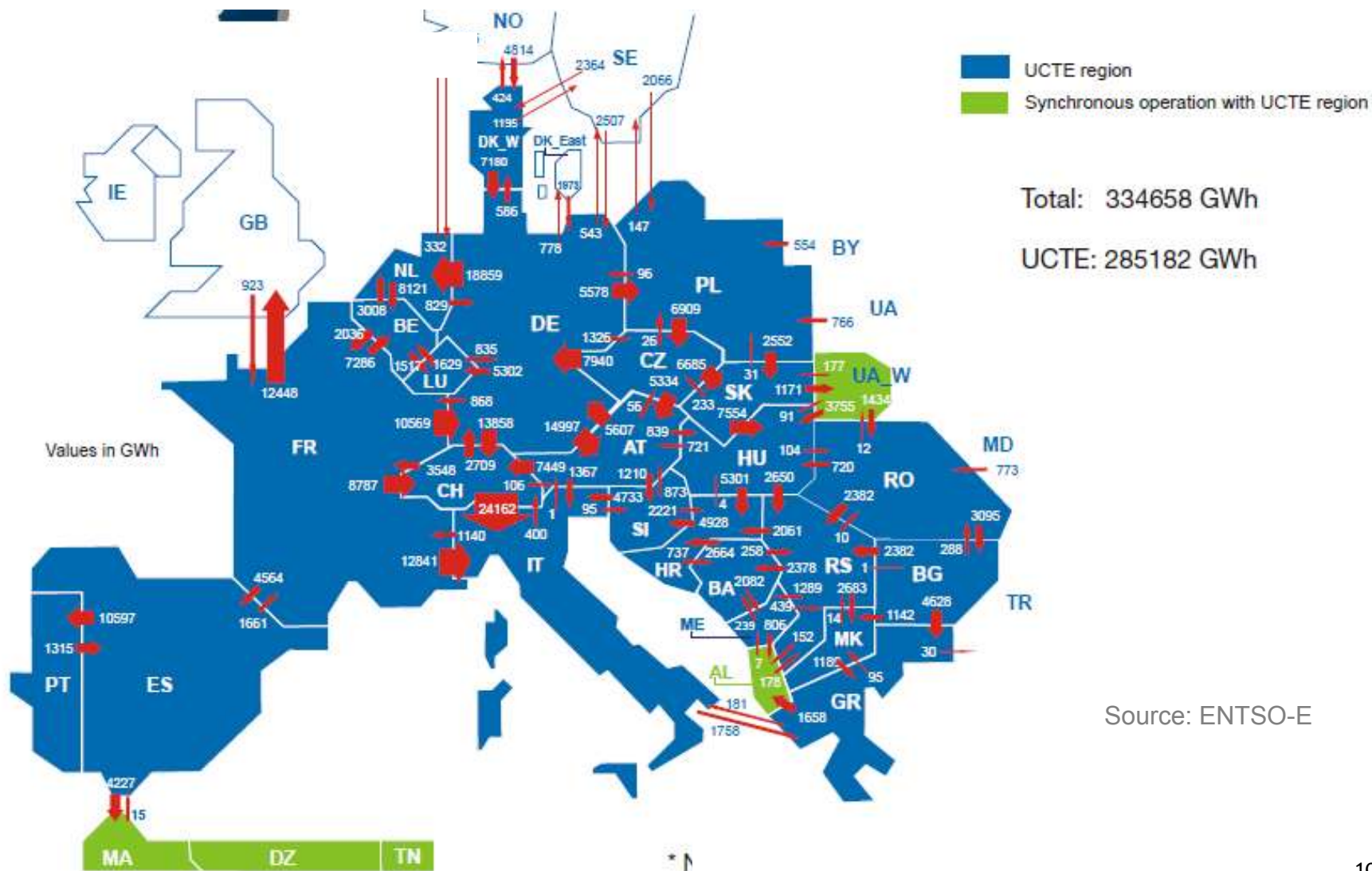


Source: Energy Data Center, IEA.

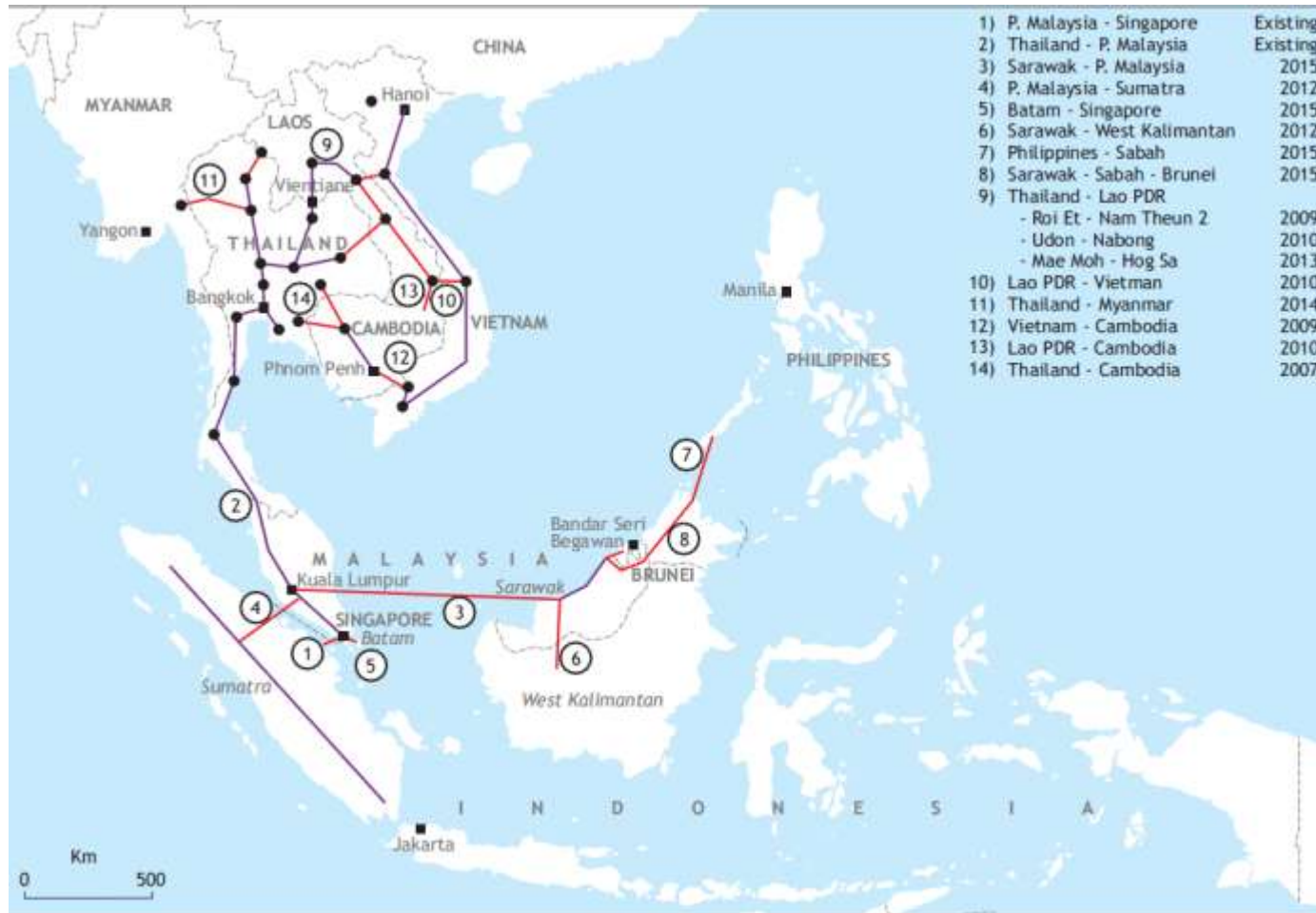
Note: Does not include fuels not in the fossil fuels, renewables and nuclear categories.

# Power Grid Connection in Europe: Collective Energy Security and Sustainability

Physical energy flows between European countries, 2008 (GWh)



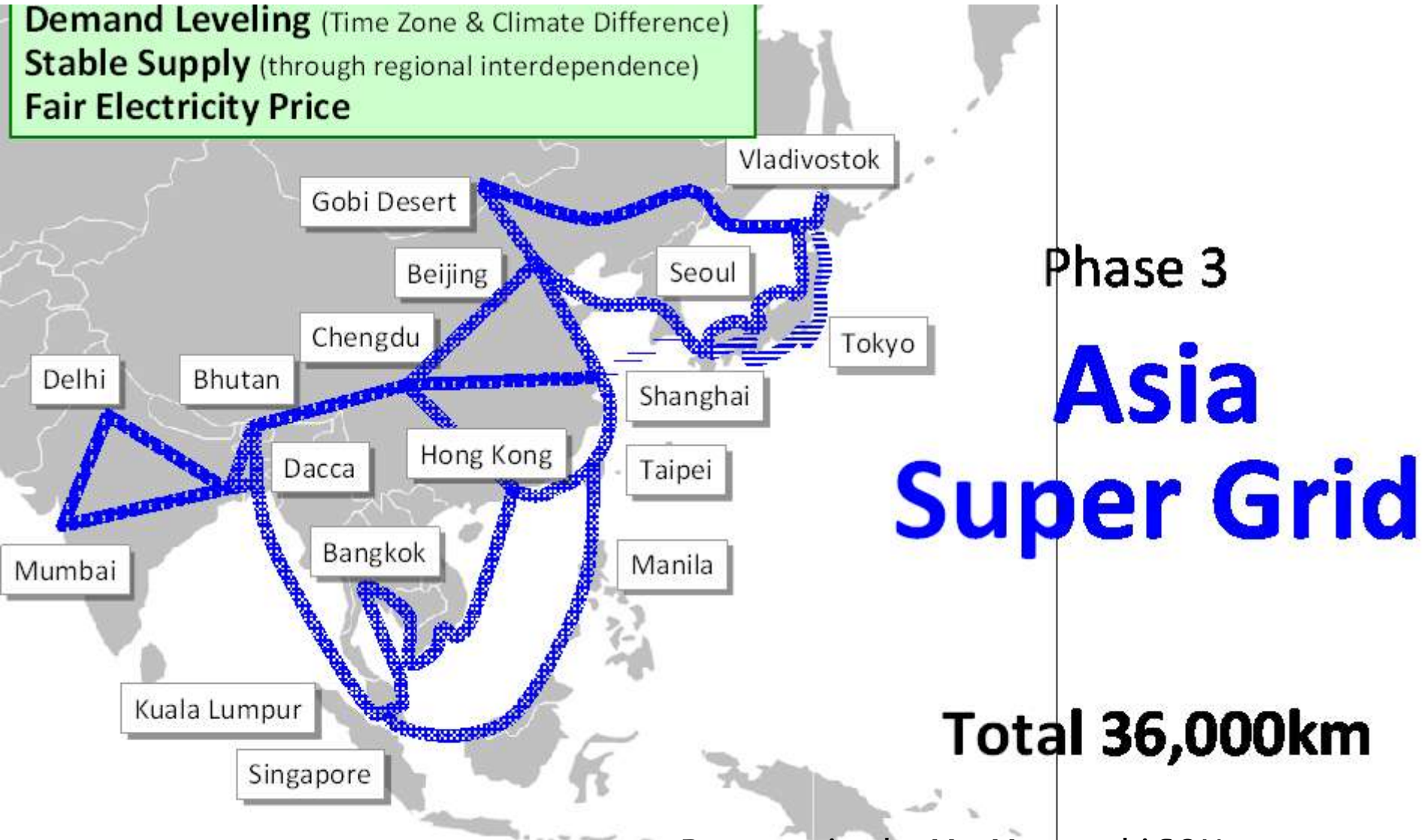
# ASEAN power grid connection



The boundaries and names shown and the designations used on maps included in this publication do not imply official endorsement or acceptance by the IEA.

# “Energy for Peace in Asia” New Vision?

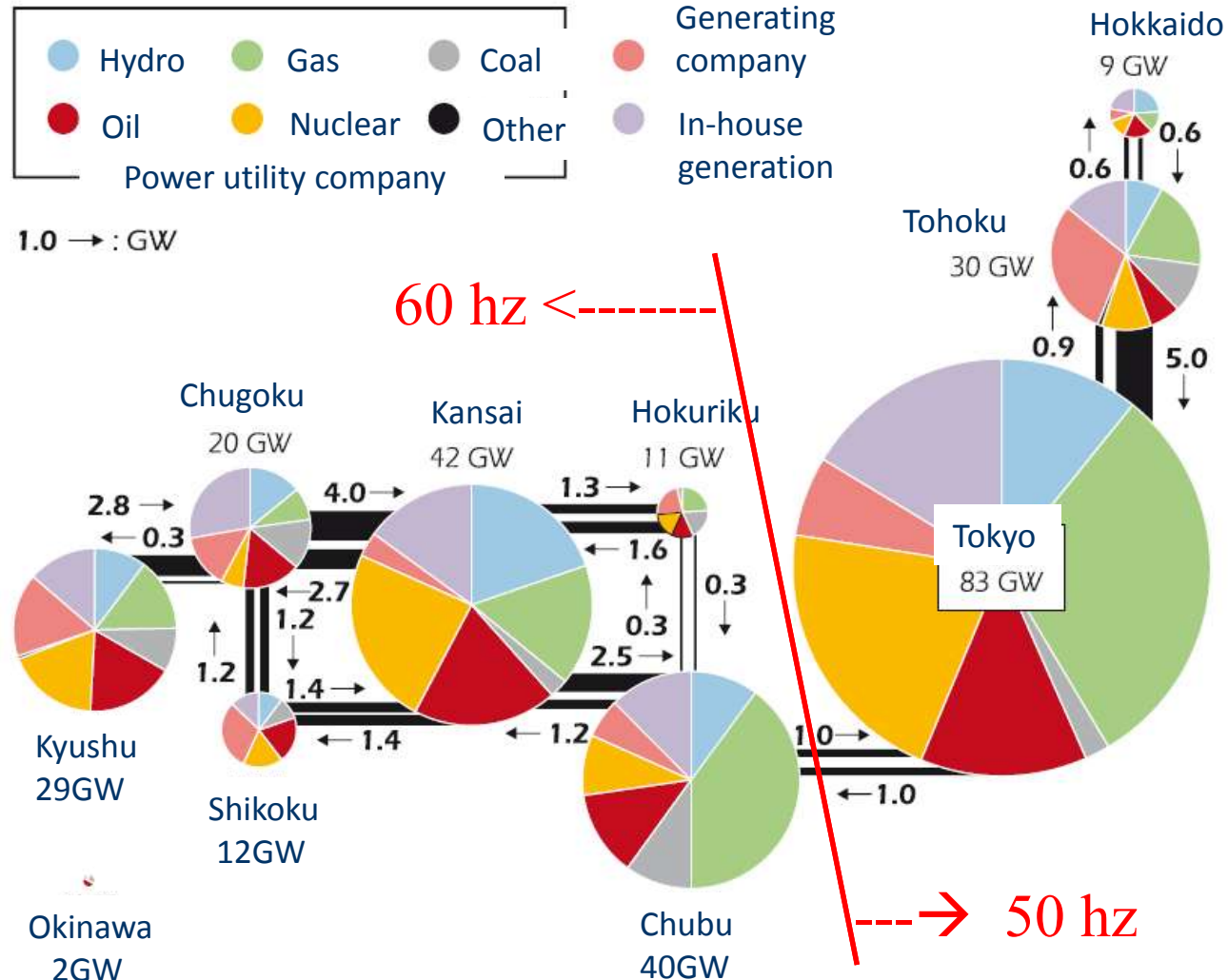
**Demand Leveling** (Time Zone & Climate Difference)  
**Stable Supply** (through regional interdependence)  
**Fair Electricity Price**



Presentation by Mr. Masayoshi SON



# Lack of Grid connectivity in Japan



Source: Agency for Natural Resources and Energy, The Federation of Electric Power Companies of Japan, Electric Power System Council of Japan, The International Energy Agency

# Sustainable Nuclear Power



# COP21 in Paris: The coverage of climate pledges is impressive, but the issue lies in future.

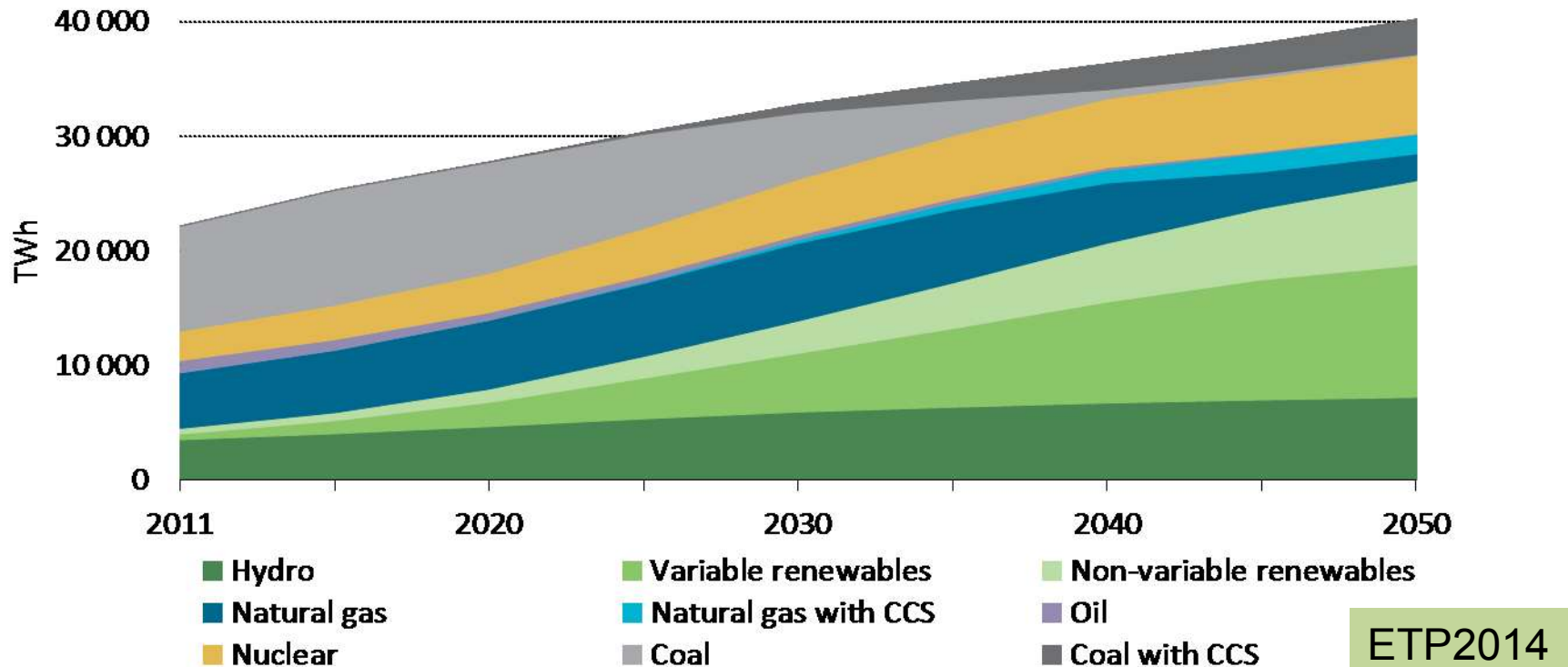


***Climate pledges for COP21 are consistent with a temperature rise of 2.7 ° C, with investment needs of \$13.5 trillion in low-carbon technologies & efficiency to 2030***

# In the long run, we need Energy Technology Revolution.

## 2DS of ETP 2014: Optimistic or Pessimistic?

It requires 23 GW Nuclear capacity additions yearly.

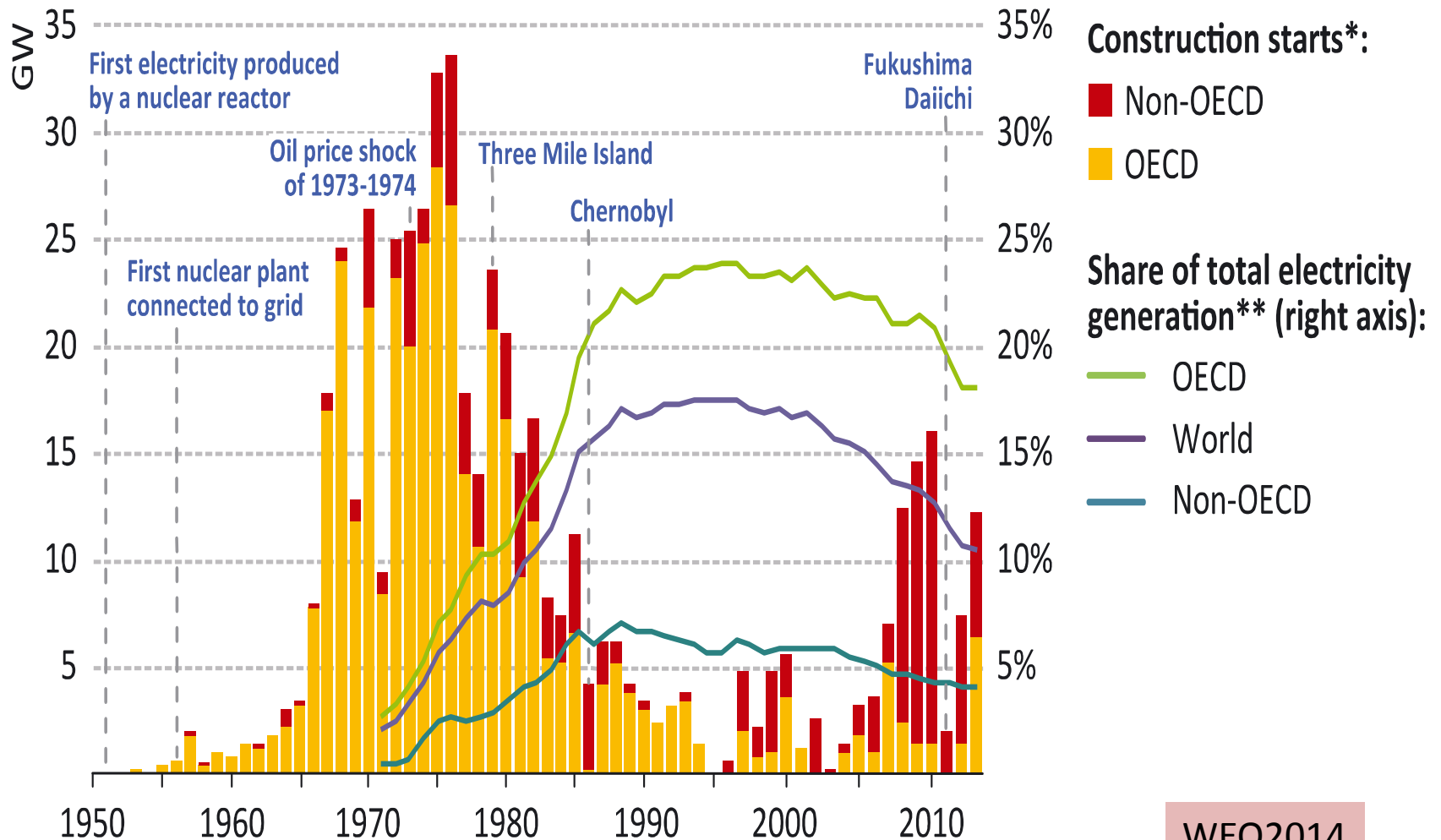


- Generation today:
  - Fossil fuels: 68%
  - Renewables: 20%
  - Nuclear: 12%



- Generation 2DS 2050:
  - Renewables: 65%
  - Fossil fuels: 20%
  - Nuclear :15%

# History of Construction of Nuclear Reactors

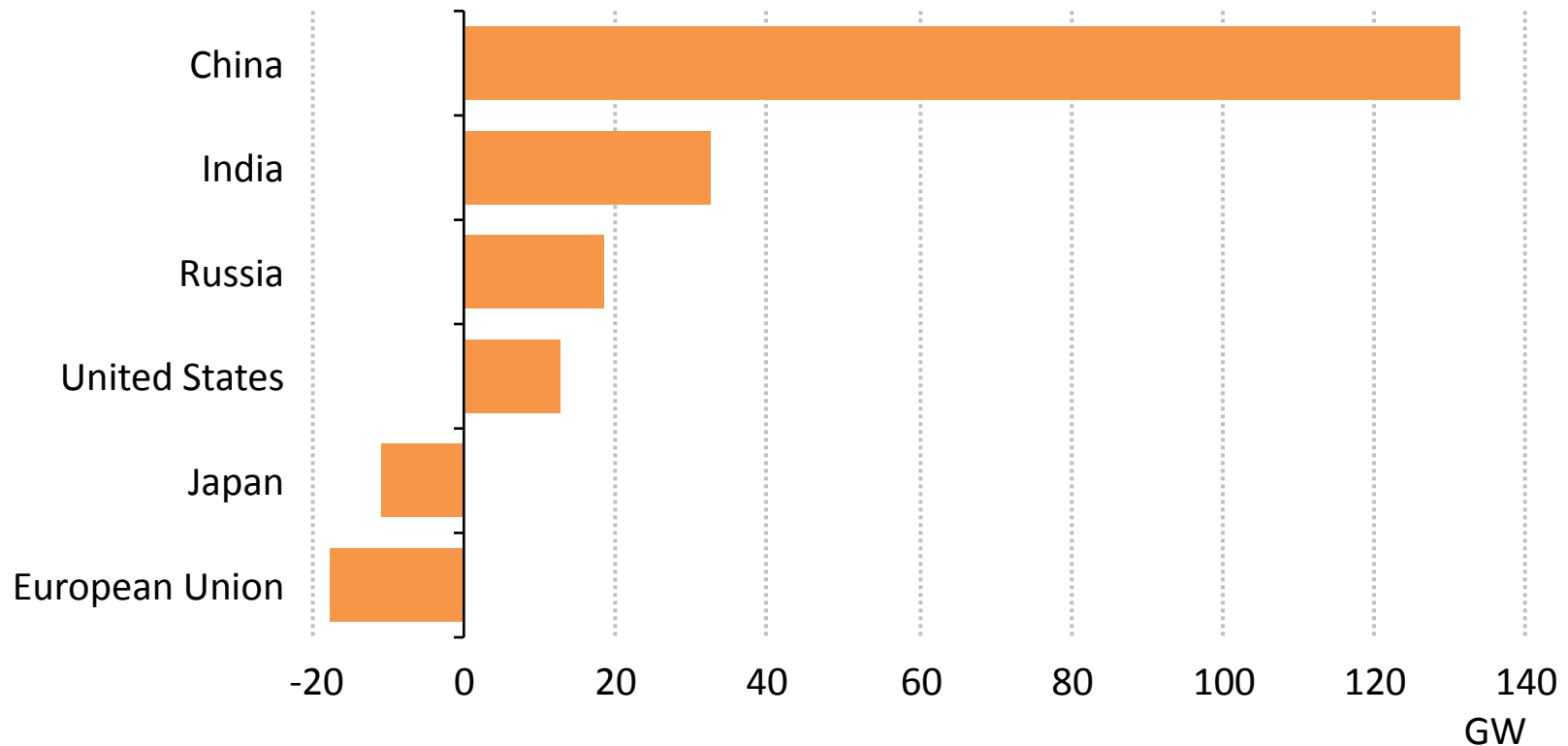


WEO2014

# Nuclear capacity grows by 60%, but no nuclear renaissance in sight

WEO2014

Net capacity change in key regions, 2013-2040



***Capacity grows by 60% to 624 GW 2040, led by China, India, Korea & Russia; yet the share of nuclear in the global power mix remains well-below its historic peak***

# Safety is still the public concern No 1 after four years : Share the Lessons of the Fukushima

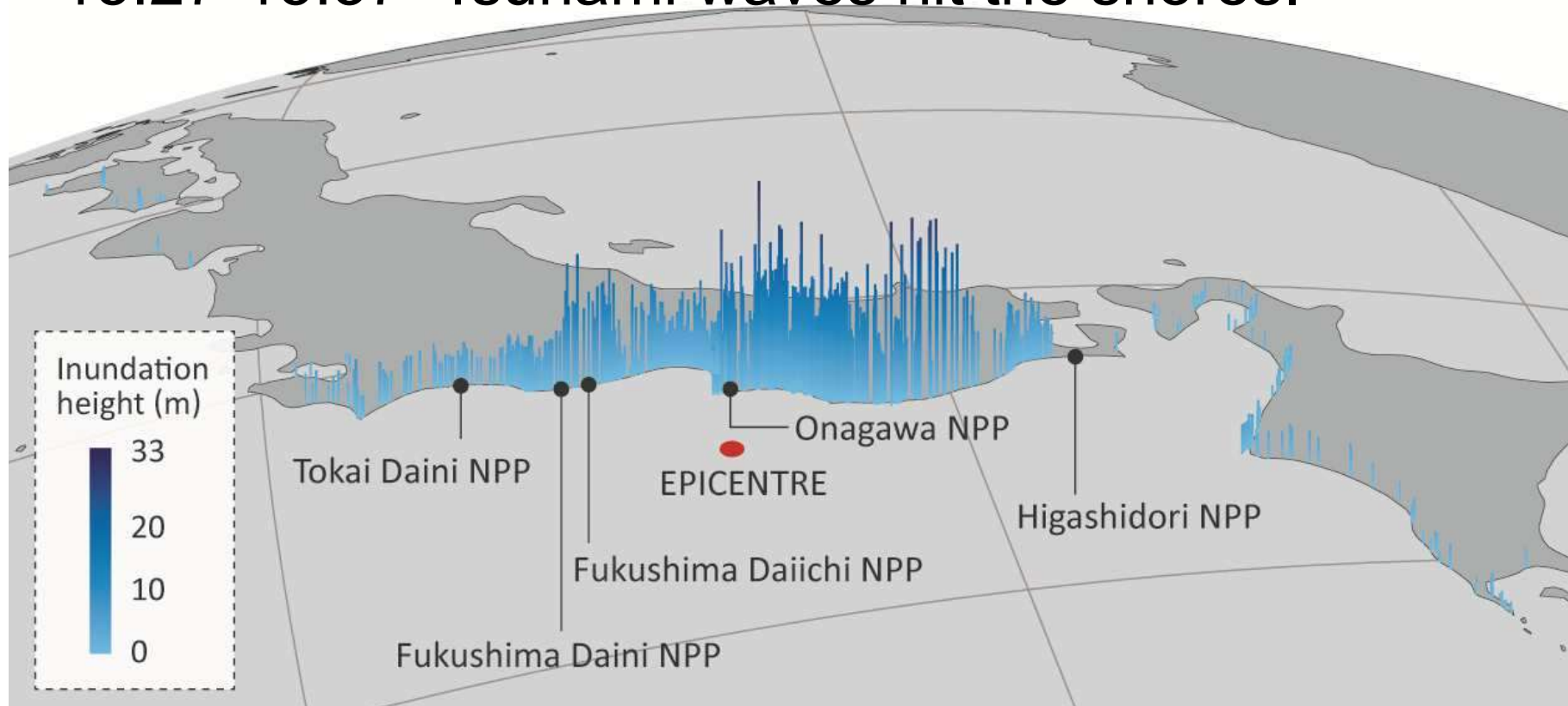
- Lessons to be Shared
  - **Think about the unthinkable**; Tsunami and Station Black Out. Large scale Blackout. Change total mind set for “Safety”.
  - Prepare for the severe accidents by defense in depth, common cause failure & compound disasters. NRC’s B-5-b clause was not accepted despite its suggestion.
  - Clarify why it happened only to Fukushima Daiichi and NOT to other sites like Fukushima Daini, Onagawa, Tokai-daini.
- Safety Principles
  - **Fukushima accident was caused by human error and should have been avoided.** (Parliament Investigation Commission report )
  - International Cooperation : A nuclear accident anywhere is an accident everywhere.
  - Independent Regulatory authority ; Transparency and Trust, “Back Fitting” of regulation
- Secured supply of Electricity
  - Power station location
  - Strengthened interconnection of grid lines
- Once disaster has happened, Recovery from disaster is at least as important as preparing for it.
  - FEMA like organization and training of the nuclear emergency staff including the self defense force ; integration of safety and security.
  - New Technology. New type of Reactors such as **Integral Fast Reactor.**

14:46, 11 March 2011

Great East Japan Earthquake

Loss of off-site power, all operating reactors automatically shut down .

15:27-15:37 Tsunami waves hit the shores.

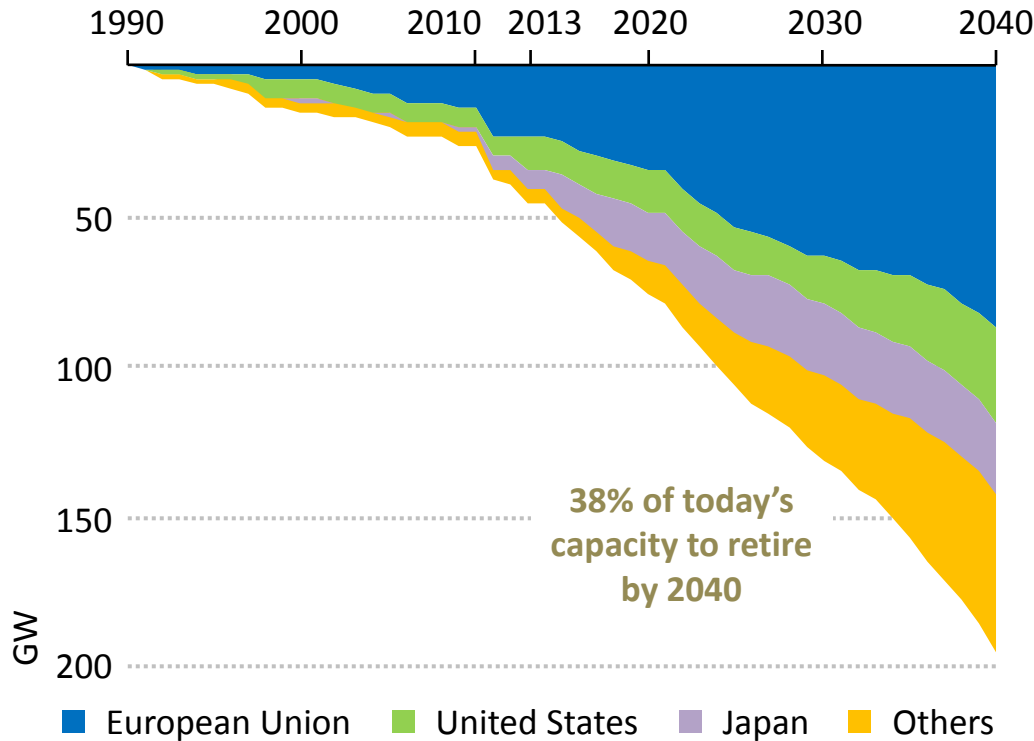




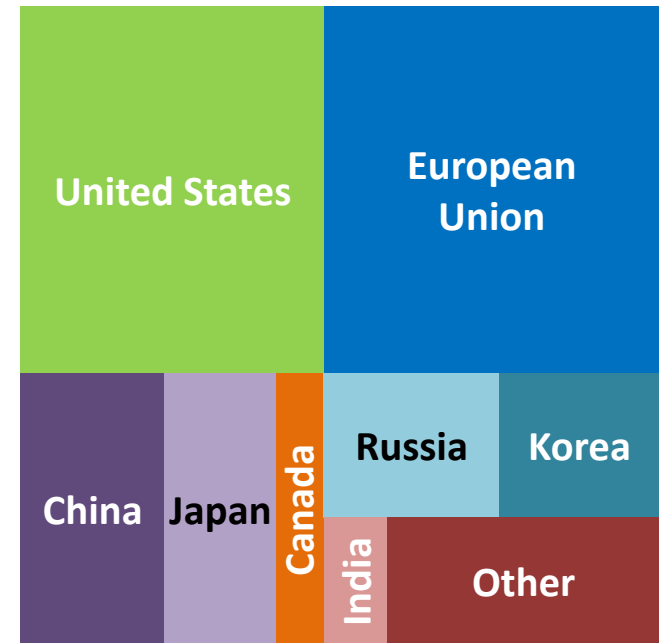
# Nuclear power: public concerns must be heard and addressed

WEO2014

Retirements of nuclear power capacity  
1990-2040



Spent nuclear fuel  
1971-2040: 705 thousand tonnes



**Key public concerns include plant operation, decommissioning & waste management; & the amount of spent fuel doubles**  
**By 2040, almost 200 reactors are retired**

# Generations of Nuclear Energy

## Generation I

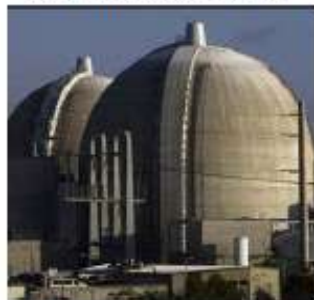
Early Prototypes



- Shippingport
- Dresden
- Magnox

## Generation II

Commercial Power



- PWRs
- BWRs
- CANDU

## Generation III

Advanced LWRs



- CANDU 6
- System 80+
- AP600

## Generation III+

Evolutionary Designs



- ABWR
- ACR1000
- AP1000
- APWR
- EPR
- ESBWR

## Generation IV

Revolutionary Designs



- Safe
- Sustainable
- Economical
- Proliferation Resistant and Physically Secure

1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030

Gen I

Gen II

Gen III

Gen III+

Gen IV



"WHEN WAS THE LAST TIME YOU SAW A DOCUMENTARY  
THAT FUNDAMENTALLY CHANGED THE WAY YOU THINK?"  
OWEN GLEIBERMAN, *ENTERTAINMENT WEEKLY*



(ACTUAL SIZE)

WHAT IF THIS CUBE COULD  
POWER YOUR ENTIRE LIFE?

FROM ACADEMY AWARD NOMINATED DIRECTOR ROBERT STONE

# PANDORA'S PROMISE

AT THE BOTTOM OF THE BOX SHE FOUND HOPE.

THE FILM WAS SHOWN IN THE MAIN THEATRE AND THE 100 SEAT THEATRE  
ACCORDING TO THE SEATING CHARTS FOR THE THEATRE. THE SEATING CHARTS  
WILL BE AVAILABLE ON THE THEATRE WEBSITE.

© 2012 SUNDANCE FILM FESTIVAL. ALL RIGHTS RESERVED. [www.pandoraspromise.com](http://www.pandoraspromise.com)



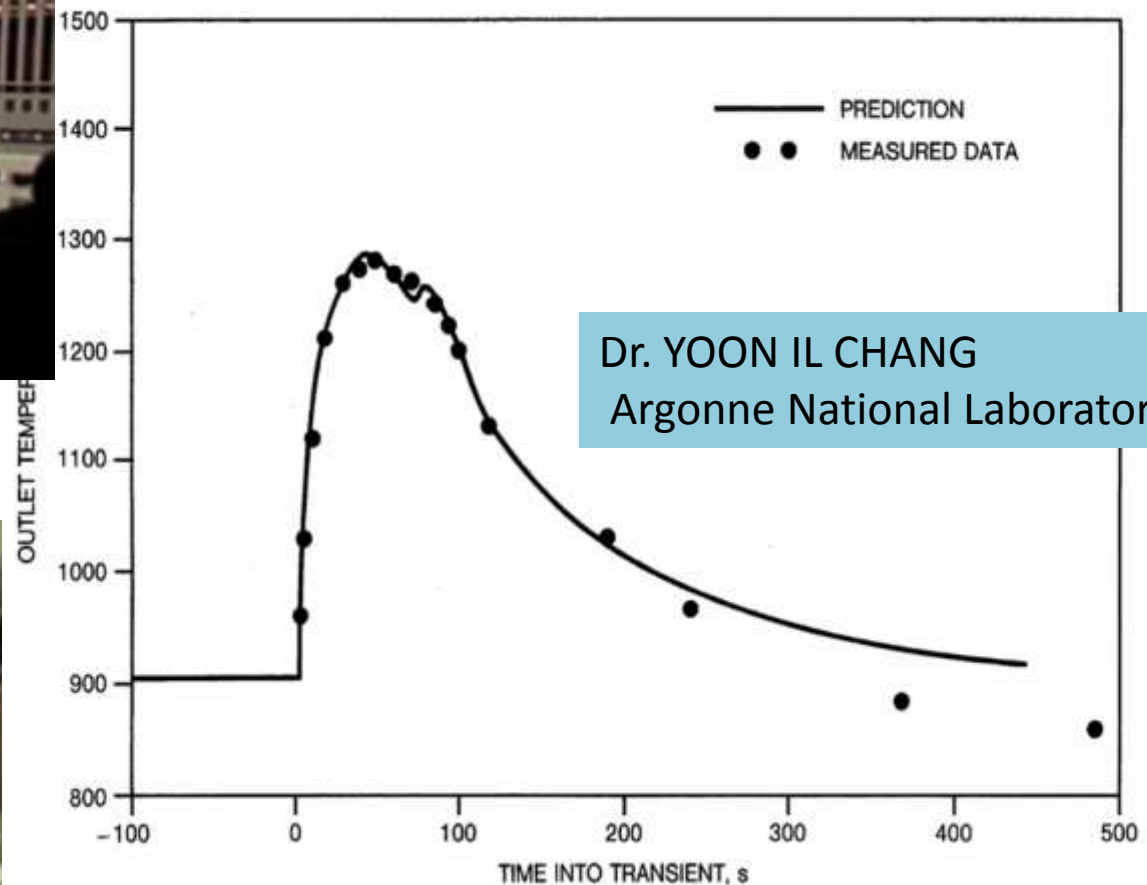
[www.pandoraspromise.com](http://www.pandoraspromise.com)



“Pandora’s Promise”, a movie directed by Robert Stone, is a documentary of environmentalists who changed their views about Nuclear Power. IFR (EBR2) story comes up as missed opportunity.

Passive Safety was proven by the 1986 Experiment very similar to the Fukushima event.

## Loss-of-Flow without Scram Test in EBR-II

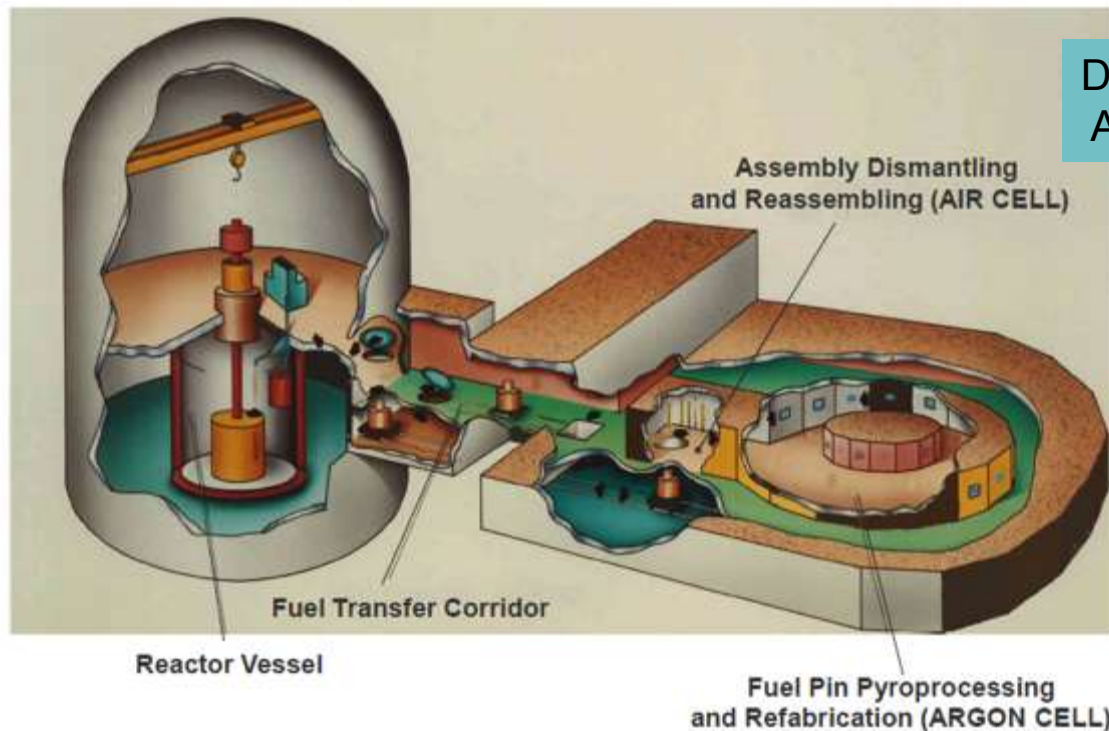


Dr. YOON IL CHANG  
Argonne National Laboratory



# Time for Safer, Proliferation resistant and Easier Waste Management Paradigm: Integral Fast Reactor and Pyroprocessing

Pyroprocessing was used to demonstrate the  
EBR-II fuel cycle closure during 1964-69



Dr. YOON IL CHANG  
Argonne National Laboratory

IFR has features as Inexhaustible Energy Supply ,Inherent Passive Safety ,Long-term Waste Management Solution , Proliferation-Resistance , Economic Fuel Cycle Closure.  
High level waste reduces radioactivity in 300 years while LWR spent fuel takes 100,000 years.

# Technical Rationale for the IFR

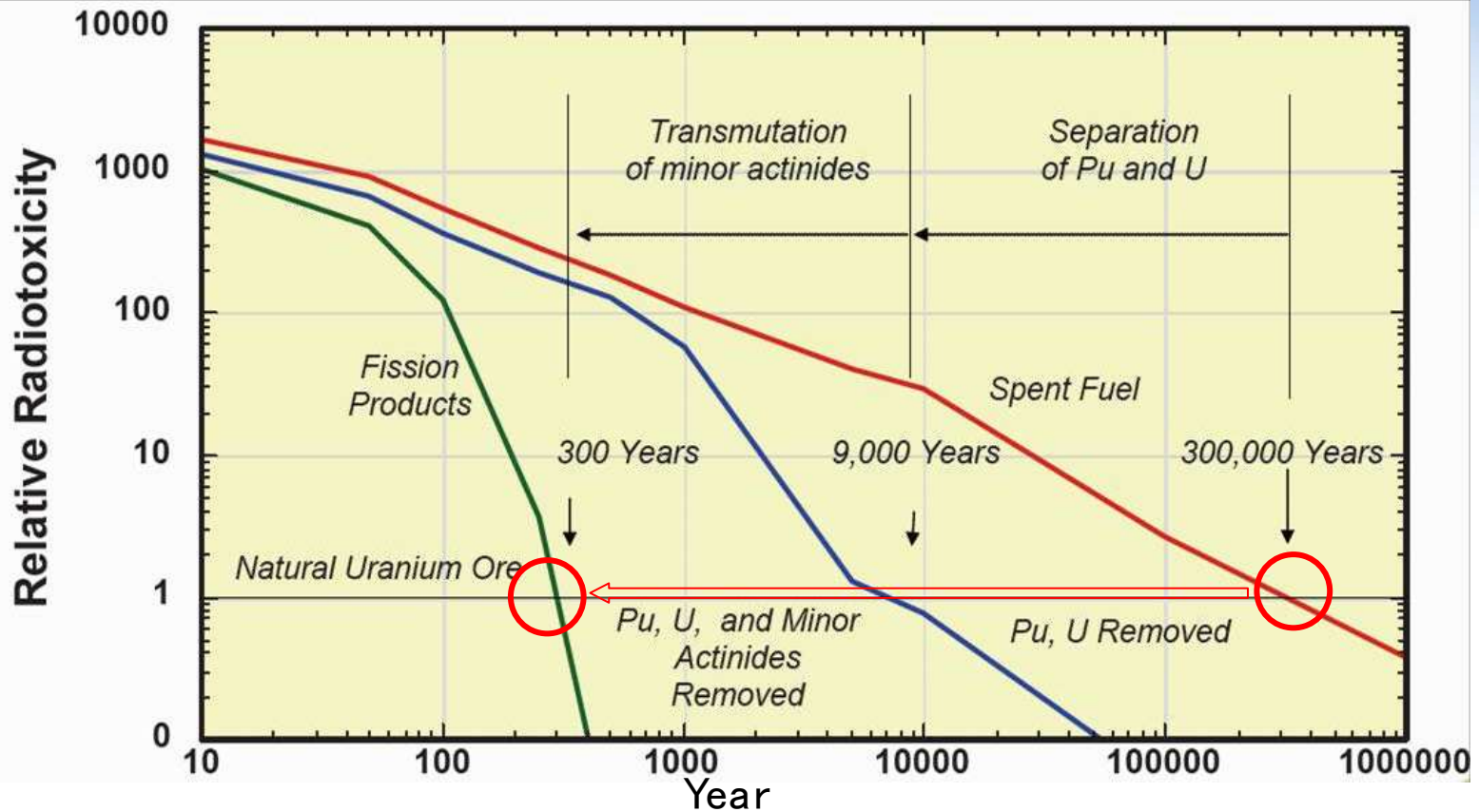
- ✓ Revolutionary improvements as a next generation nuclear concept:
  - Inexhaustible Energy Supply
  - Inherent Passive Safety
  - Long-term Waste Management Solution
  - Proliferation-Resistance
  - Economic Fuel Cycle Closure
- ✓ Metal fuel and pyroprocessing are key to achieving these revolutionary improvements.
- ✓ Implications on LWR spent fuel management

Dr. YOON IL CHANG  
Argonne National Laboratory



# Transuranic disposal issues

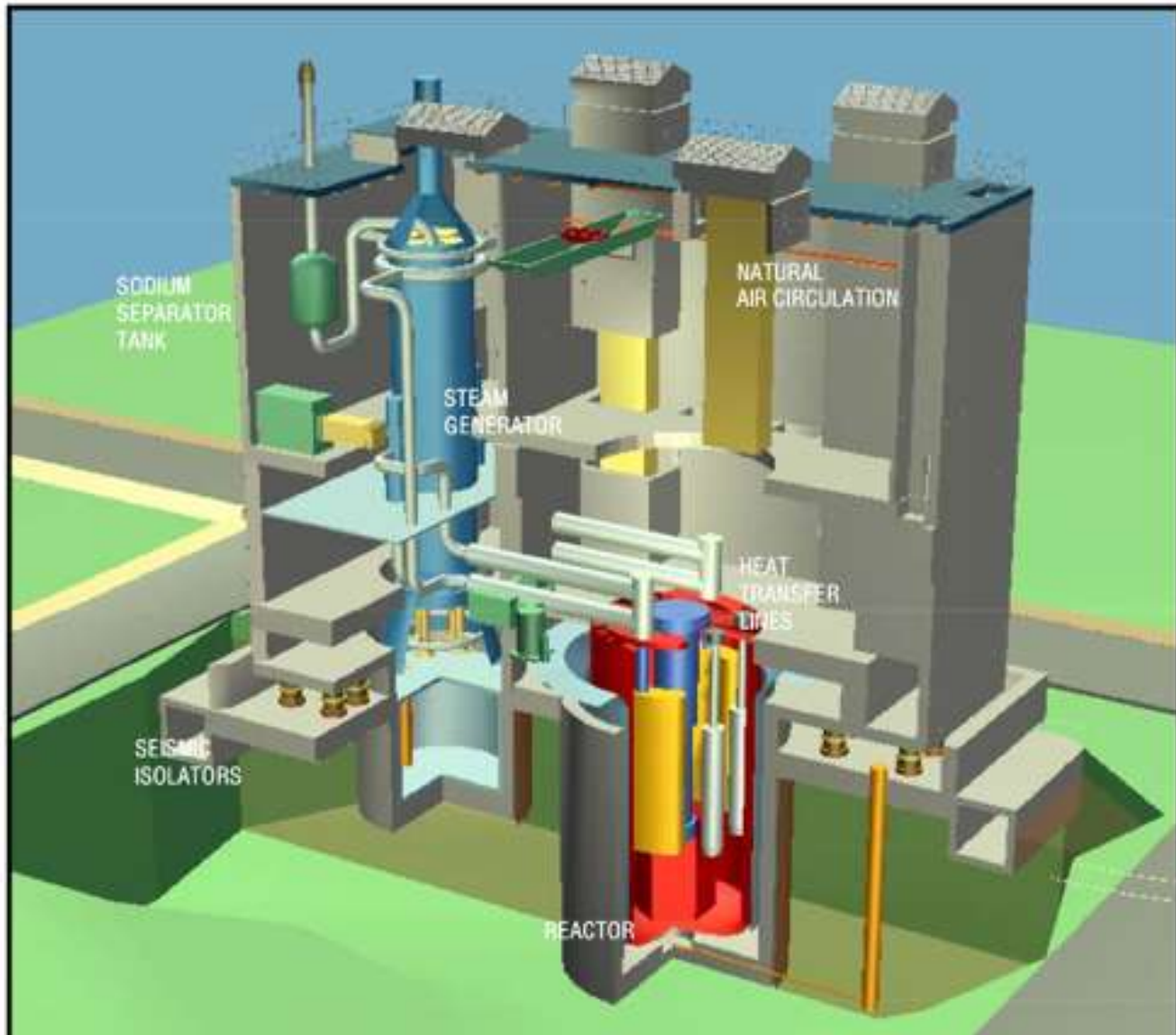
The 1% transuranic (TRU) content of nuclear fuel is responsible for 99.9% of the disposal time requirement and policy issues



**HITACHI**

Removal of uranium, plutonium, and transuranics makes a 300,000 year problem a 300 year problem

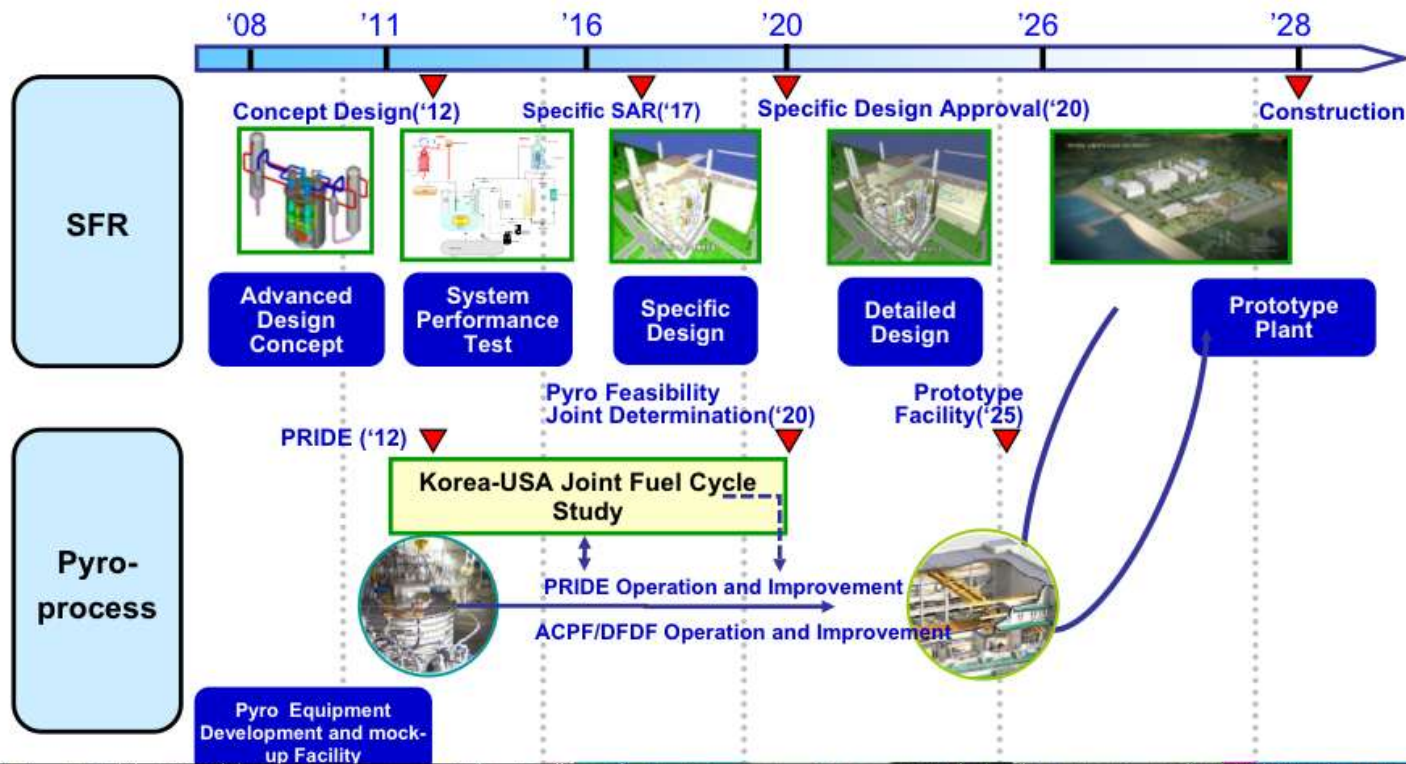
# *S-PRISM Nuclear Steam Supply System*



GE-Hitachi

Korea is eager to build fuel cycle by IFR by revising the 1-2-3 Agreement with US

## Long-term Plan for SFR and Pyroprocess



# Proposal to Demonstrate IFR and Pyroprocessing at Fukushima Daini

- Melted down fuel debris and contaminated equipments will likely stay in Fukushima, though nobody admits so.
- Pyroprocessing is the most appropriate method for treating debris.
- Pu and MA from Debris and Spent fuels be burned in IFR. Electricity is generated as by-product.
- High level waste of 300 years be stored rather than disposed geologically while decommissioning of units be cemented for years.
- Fukushima Daini (Second) Nuclear Plant of TEPCO is best located to demonstrate GE's extended S-PRISM.
- International joint project of Japan-US-Korea will provide complementing regional safeguard for global non-proliferation regime.
- Provides ground for extension of Japan-US 1-2-3 Agreement in 2018 by demonstrating complementary fuel cycle options.



# Melt-downed Debris Solution at Fukushima Daini



前国際エネルギー機関事務局長

田中 伸男

経済  
観測

東京電力福島第2原発は、事故を起こした第1原発から南に10キロのところにある。地震と津波に襲われながらも何とか持ちこたえた。建屋の中に非常用電源を設置していたことが大きい。1000年に1度の津波に耐え、事故中も第1の所員が一時避難するなど、安全な原発であることを実証したとも言える。

しかし地元では東電への信頼が失われ、第2原発も再稼働せず廃炉にすべしとの意見が多数と聞く。私は再稼働以外にももう少し違った利用方法があると思う。

それは第1原発の溶けた炉心燃料（デブリ）や使用済み核燃料を処理して廃棄物の量や毒性を減らして管理しやすくする「包括的ゴミ処理技術」の実証実験だ。

この技術は米アルゴン国立研究所で開発された。ゴミを再

## デブリ処理を福島第2原発で

2015.1.15

利用して発電する統合型高速炉の安全性は研究所による全電源喪失実験で証明されている。使用済み核燃料を再処理のために外に持ち出す必要がないので、核不拡散性でも軽水炉より優れている。放射性廃棄物の毒性は、軽水炉のように10万年ではなく300年で落ちるので、地層処分よりも貯蔵管理をしやすくなる。デブリや廃棄物、廃炉に伴う汚染機材を県外に持ち出すことへの理解を得るのは難しい。それなら第1原発の近くで安全に処理する方法を考えるべきだ。フィンランドのオルキルオト原発と隣接するオンカロ処理場のように、原発サイトごとの現地処理も検討すべし。福島第2はそのモデルになりうる。韓国もこの技術に着目し、米ゼネラル・エレクトリック（GE）が商業化を目指している。

日米韓の国際プロジェクトを福島で行えば、世界の最先端の研究者が集まり、復興を後押しするはずだ。原発事故の教訓を世界で共有することにもつながるだろう。

# Application of an IFR cycle to the existing Japanese nuclear fuel cycle

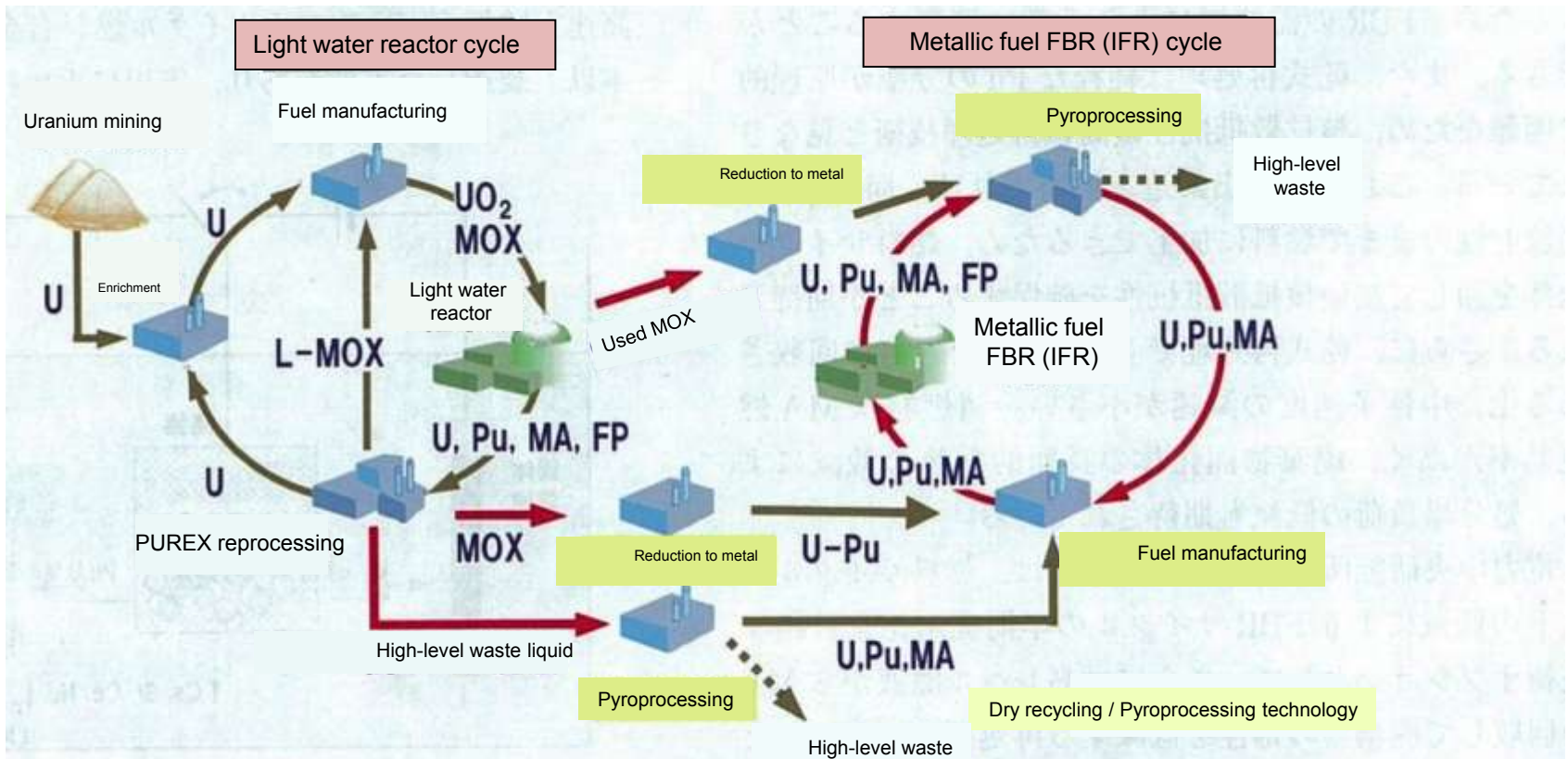


Figure 6: Fuel cycle concept using Pyroprocessing technology

( 30 ) Journal of the Atomic Energy Society of Japan Vol. 52, No. 7 (2010)

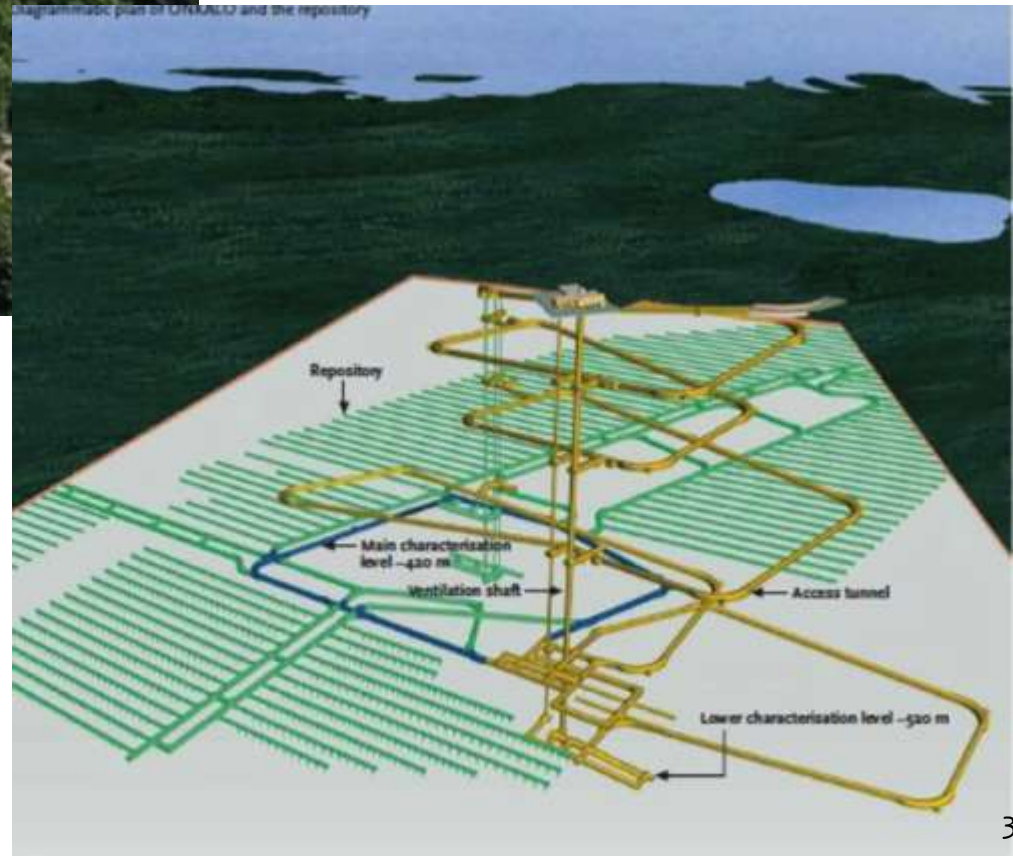


# Radioactive High-level Waste Disposal or Storage



Finland Model:  
Olkiluoto Nuclear Power  
Plant and Onkalo nuclear  
spent fuel repository

HQ of Teollisuuden Voima  
Oyj Utility which owns  
Olkiluoto Nuclear Power  
Plant exists in the Plant site.



# End Game of Fukushima

経済  
観測

田中 伸男

前国際エネルギー機関事務局長



米マンスフィールド財団が主催する日米原子力ワーキンググループのメンバーと一緒に、東京電力福島第1原発を訪問した。20<sup>キ</sup>離れた「Jヴィレッジ」で毎時0・2<sup>ギ</sup><sup>ギ</sup>側で900<sup>ギ</sup>を超えた。現場には津波でへこんだタンク、流された車両、倒れた送電塔が今でも見られる。多くの職員が汚染水の処理や漏えい防止、地下水遮蔽（しゃへい）など水にからむ難題と向き合っているが、最後に残るトリチウムを含む水の海への放出については方針が未定のまま、タンクを建てる場所がなくなりつつある。

4号機の使用済み核燃料を運び出す巨大な建屋ができ、別の保管場所に移す準備が進む。放射能と闘いながら作業をしておられる方々の苦労には頭が下がる。安倍

## 福島のエンドゲーム

2013. 10. 10

晋三首相は政府の関与を世界に公約したが、この発電所全体を最後にどういう状態にするのかは明確ではない。メンバーの米国の専門家からは「まさか、更地にして公園にしようということではないでしょうね」と言われた。そのためコストと時間は計り知れない。米国の廃炉は、燃料を取り出した後、原子炉をコンクリートで固めて管理するという。地元の理解を得るための説明も徹底して行う。

周辺の高汚染の帰還困難区域全てを年間1<sup>ギ</sup>のレベルに下げるコストは何兆円にもなるだろう。被災者が希望するなら早く土地を買い上げて生活再生を手助けする一方で、長い期間かけて放射能を下げて行くのが合理的解決策ではないか。現場を見たグループのメンバーから「外国の専門家を長期にわたって招き、助言を求めべきだ」と言われた。政府が最前線に立ち日本人皆が総力を挙げて取り組まない限り、この未曾有の危機は乗り越えられないと知った。



# Legend of Admiral Rickover: Success of LWR for nuclear submarine has crowded out Fast Reactors

©Pandora's Promise, LLC  
映像提供：フィルムヴォイス



# Legend of Admiral Rickover



前国際エネルギー機関事務局長

田中 伸男

経済  
観測

ロバート・ストーン監督のドキュメンタリー映画「パンドラの約束」に興味深い場面が出てくる。海軍士官が初の原子力潜水艦ノーチラス号の模型を前に原子力の素晴らしさを説明しているところだ。若い頃のハイマン・リッコーバー提督である。米海軍の原潜乗りで彼の名前を知らないものはいない。

加圧水型軽水炉（PWR）は、酸素を必要としない動力源として潜水艦用に開発された。蒸気発生器も乗組員を被ばくから守るための技術だ。提督は乗組員に原子炉知識の共有と安全管理を徹底した。小さくてもミスを犯したものは原潜から放逐されたという。1人の間違いが全乗組員の死に直結するからだ。これが海軍でリッコーバー提督の伝説となり、今もその安全ルールが徹底されている

## リッコーバー提督の伝説

201 2014.2.20

ると聞く。

退役した乗組員が米原子力規制委員会の委員やスタッフになり、原子力発電所にも派遣されて原子炉の安全を守っている。水を冷却材とする軽水炉は、原潜に載せるのに都合の良い技術だ。万が一の事態が起こっても海中に投棄すれば原子炉は停止するからだ。それを陸に上げれば冷却水が途絶えるリスクがあることは福島で明らかになった。軍事技術の転用として商用軽水炉の普及が急速に進んだのはリッコーバー提督の功績である。しかし軽水炉と同時に開発されていた高速炉は、原子力利用の本命と言われながら過渡的な技術のほずの軽水炉との実用化競争に敗れいまだに研究段階にある。問題は軽水炉実用化を急ぎすぎ、炉の安全性や使用済み核燃料処理などバックエンド技術が未完のまま走り始めたことだ。福島事故後の日本こそ、安全で核不拡散型かつ廃棄物処理の楽な「統合型高速炉」を平和利用の伝説にする責任があるのではないか。

# うつくしま、福島 ( Fukushima, the Beautiful)

昨日はとても勉強になりましたし、何よりも明るい気持ちになりました。福島は日本の科学技術のために使っていた場所なのですから。思いがけない傷を負ってしまった福島ですが、これからも技術者たちの挑戦を見届け、世界の技術発展と人類の未来のために使っていただく地になること、それこそが福島の前向きな選択であると感じました。

5年間悲観的な感情論を山ほど聞いて、どちらに向けて顔を上げていったらいいのか、福島の間はずっと模索してきたのだと思います。

昨夜、田中様のお話を聞いて、私は原発が街に初めてやってきた子供の頃のことを思い出しました。田中様のお話は、私にその時と同じ気持ちを思い出させるものでした。そのようなお話を聞いたのはの初めてです。ありがとうございます。

事故の前まで、福島県のキャッチコピーは、美しい島という意味で、「**うつくしま、福島**」だったのです。事故後に、そのポスターも言葉も消えました。私は科学技術に尽くすという意味で、「**つくすしま、福島**」でいいのではないかと、これは決して後ろ向きの決意ではなく、福島の誇りだと思っています。是非とも実現に向けて頑張っていたきたいし、ご協力できることがあればやらせていただければ嬉しく思います。私は身体障害者ですが、自由な時間はたくさんありますので、社会のお役に立てることがあるなら、身体が動く限り何でもやってみたいと思っています。

## Statement by Dr. Takashi NAGAI after Nagasaki atomic bomb. "How to turn the devil to the fortune."

Dr. Takashi Nagai, a Professor at Nagasaki University in 1945 when the atomic bomb was dropped, exemplifies the resilience, courage and believe in science of the Japanese people. Despite having a severed temporal artery as a result of the bomb, he went to help the victims even before going home. Once he got home, he found his house destroyed and his wife dead. He spent weeks in the hospital where he nearly died from his injuries. But just months after the atom bomb dropped, he said:

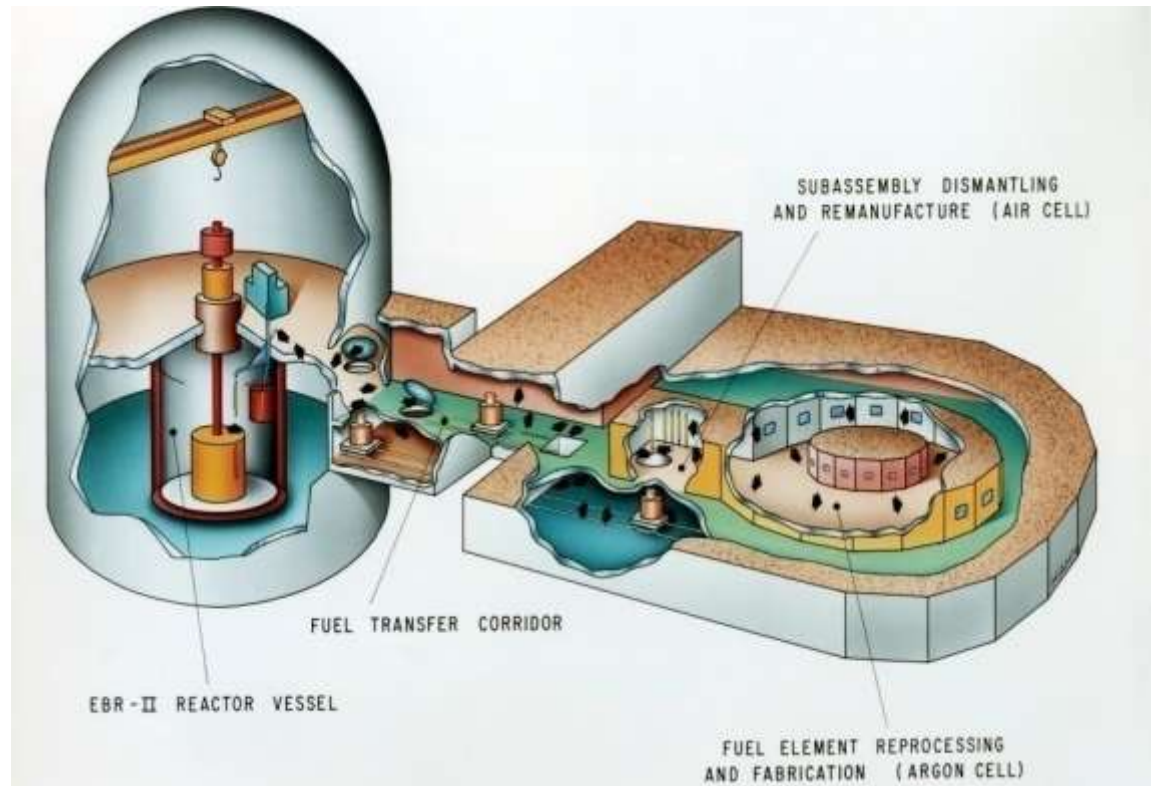


“Everything was finished. Our mother land was defeated. Our university had collapsed and classrooms were reduced to ashes. We, one by one, were wounded and fell. The houses we lived in were burned down, the clothes we wore were blown up, and our families were either dead or injured. What are we going to say? We only wish to never repeat this tragedy with the human race. **We should utilize the principle of the atomic bomb. Go forward in the research of atomic energy contributing to the progress of civilization. Devil will then be transformed to fortune.( Wazawai tenjite Fukutonasu) The world civilization will change with the utilization of atomic energy. If a new and fortunate world can be made, the souls of so many victims will rest in peace.”**



# A Means for Treating Fuel Debris Produced by the Accident at the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Stations.

- ✓ Heavy metal amount including uranium in the debris : ca. 250t, of which transuranium : ca. 1.9t
- ✓ Apply Integral Fast Reactor (IFR) concept in order to treat debris and reduce the amount of transuranium.
- ✓ Idea:
  - TRU burning by means of small fast reactor with high inherent safety (Reactor power : 190MWt)
  - Metal Fuel
  - Pyroprocessing for treatment of debris



IFR concept made of integrated reactor and fuel cycle facilities (Example of EBR-II and Fuel Cycle Facility (FCF))

(Ref.: Y. I. Chang, "Integral fast reactor – a next-generation reactor concept," in Panel on future of nuclear Great Lakes symposium on smart grid and the new energy economy, Sept. 24-26, 2012.)

# Debris Treatment Scheme and Reduction of Transuranium

In 60 years of operation of IFR, the initial 1.9 tons of transuranium in the debris can be reduced to 0.69 ton as a sum of the amount in spent fuels and in the core.

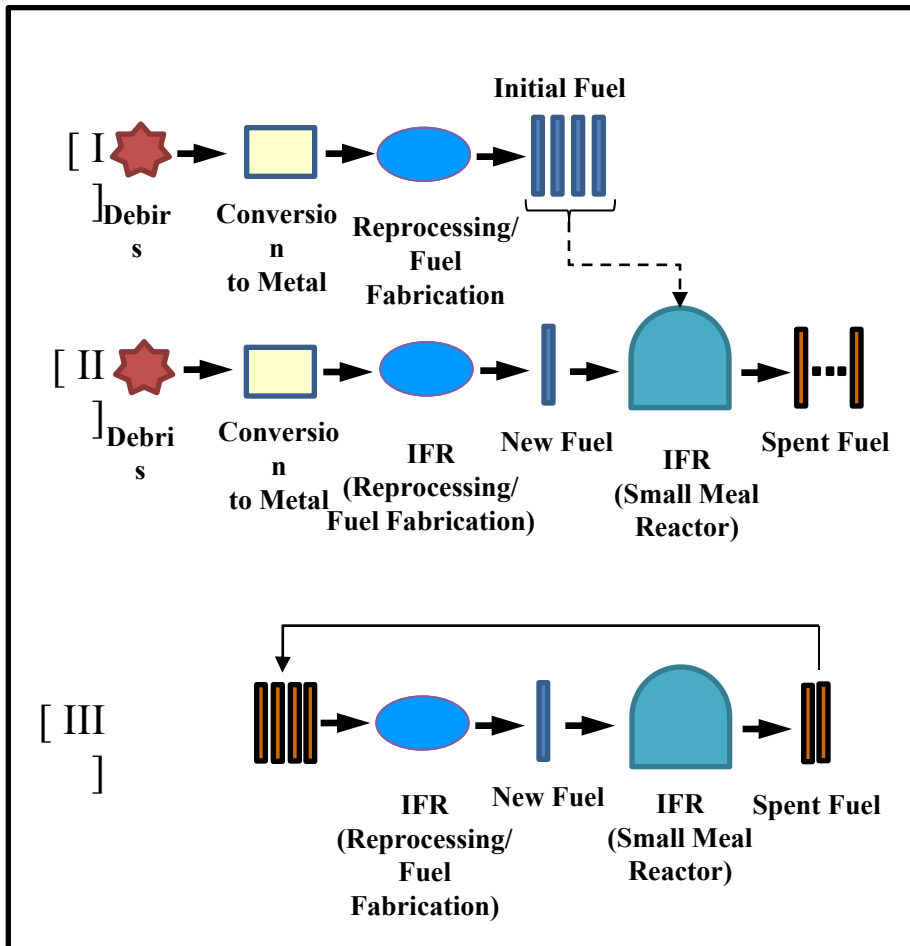
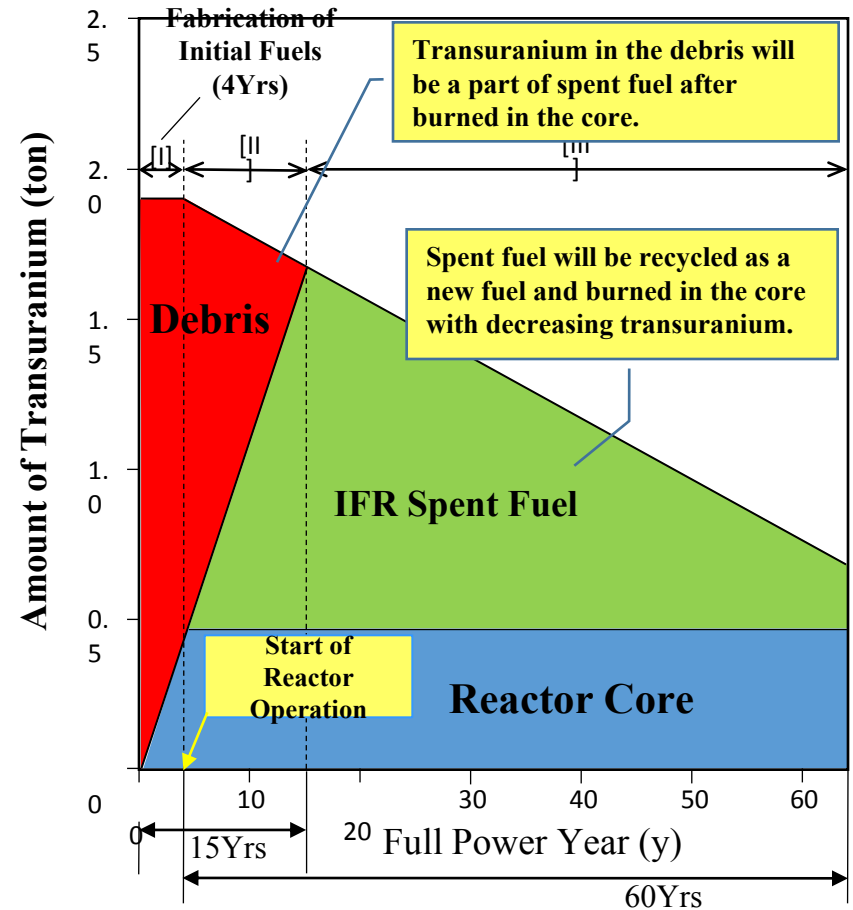


Image of debris treatment scheme



Reduction of transuranium accompanied with IFR operation