

最新世界情勢とエネルギー安全保障

福島事故後の原子力の役割を考える

2014年3月7日

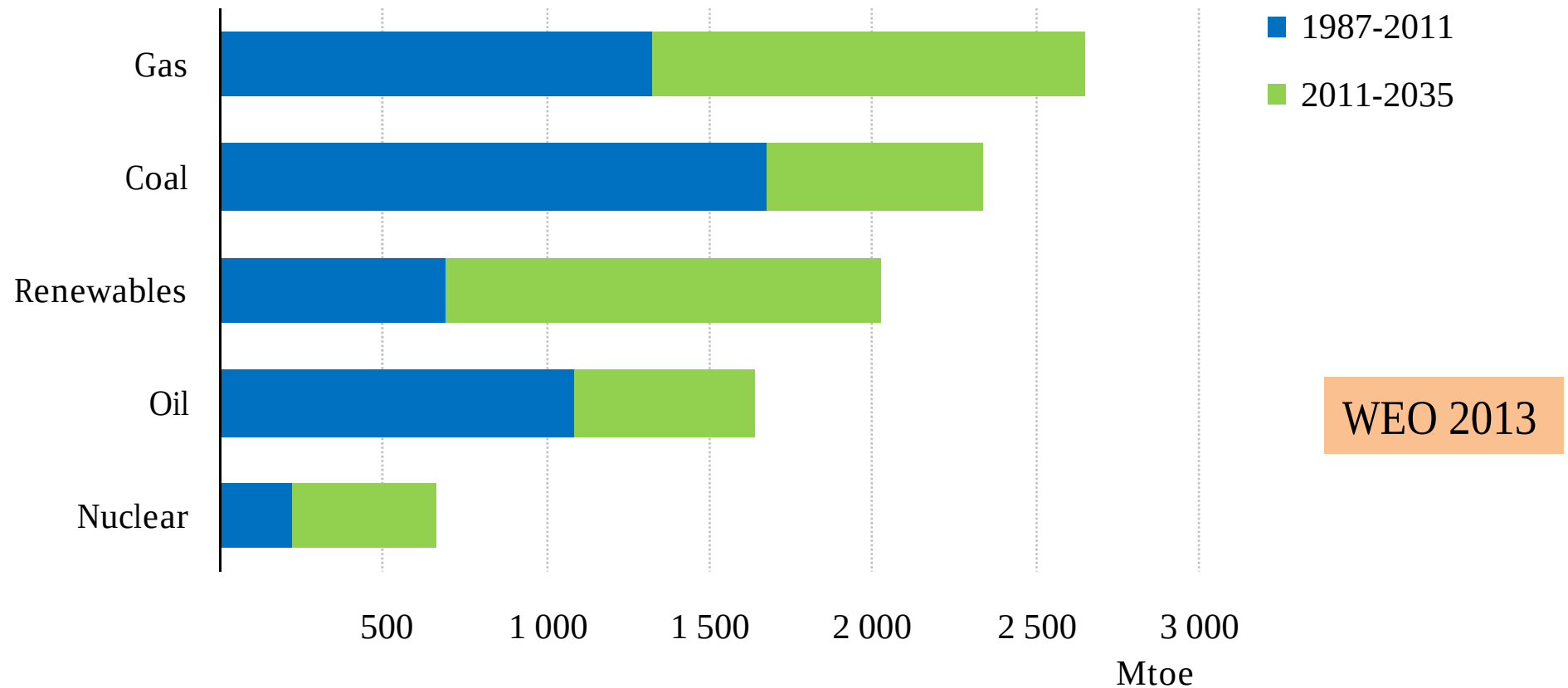
国際エネルギー機関 前事務局長

東京大学 教授

日本エネルギー経済研究所 特別顧問 田中伸男

ポスト福島でも原子力は使われる

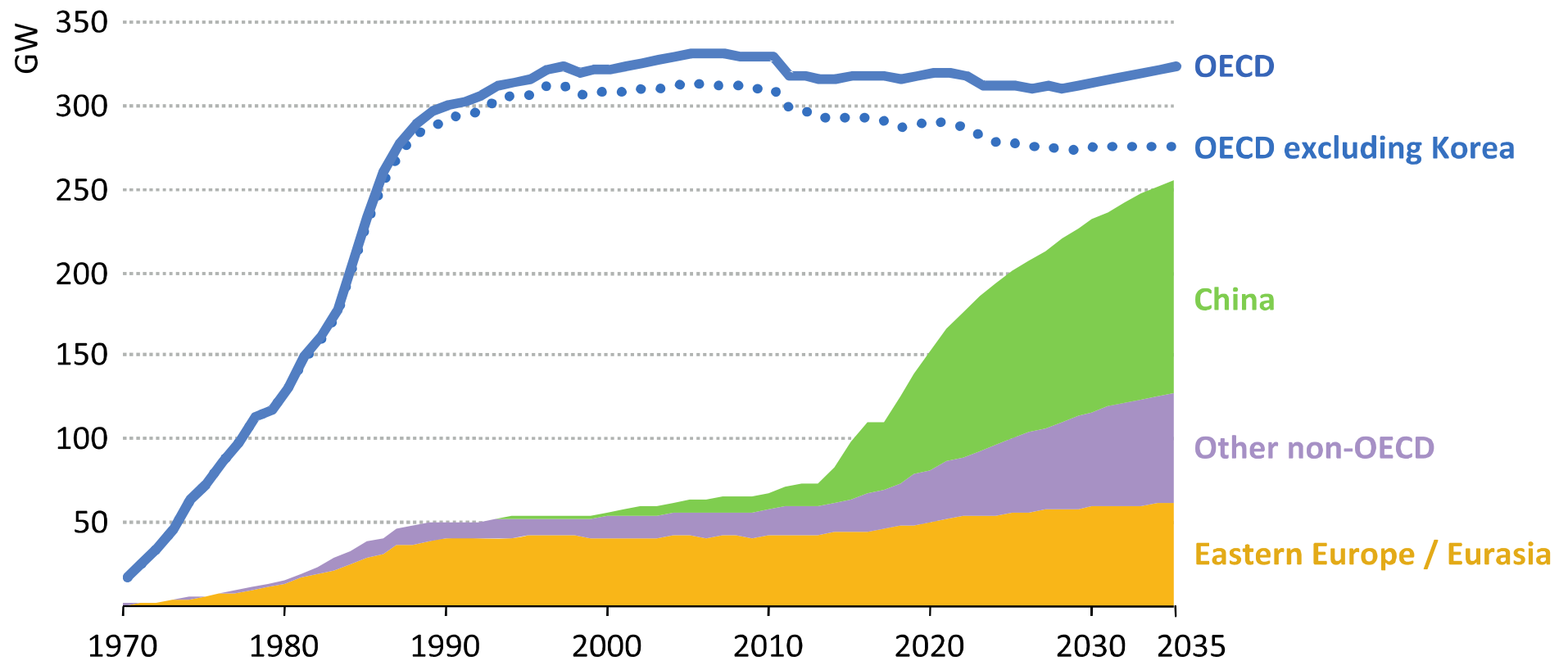
Growth in total primary energy demand



化石燃料依存度は過去25年間約82%。再生可能エネルギーと原子力が大幅に伸びても化石燃料依存度は2035年に75%にしか下らない。

原子力の未来

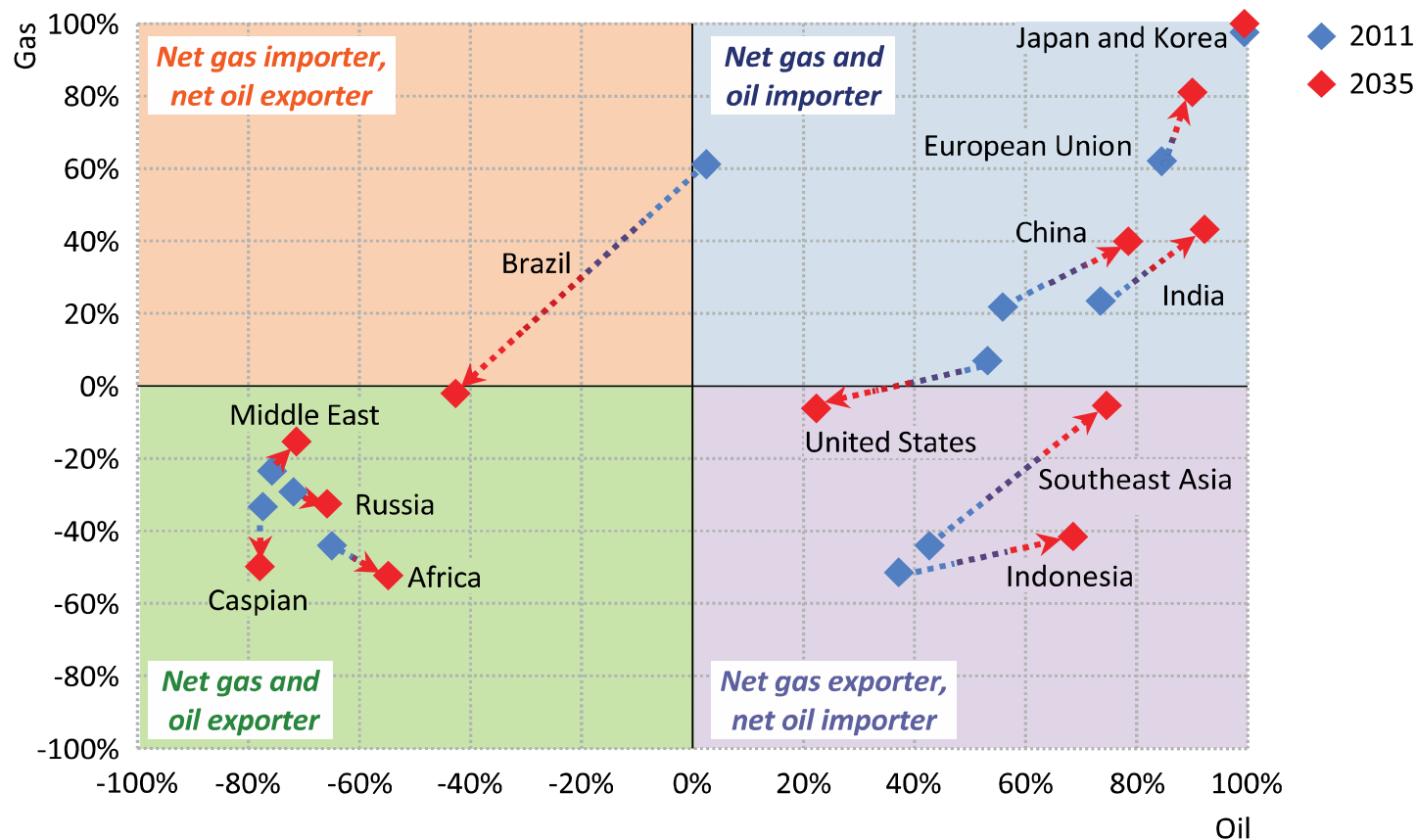
Figure 5.12 ▷ Nuclear power installed capacity by region in the New Policies Scenario



WEO 2013

シェール革命の結果、米国とブラジルの一人勝ち？

Figure 2.12 ▶ Net oil and gas import/export shares in selected regions in the New Policies Scenario



WEO2013

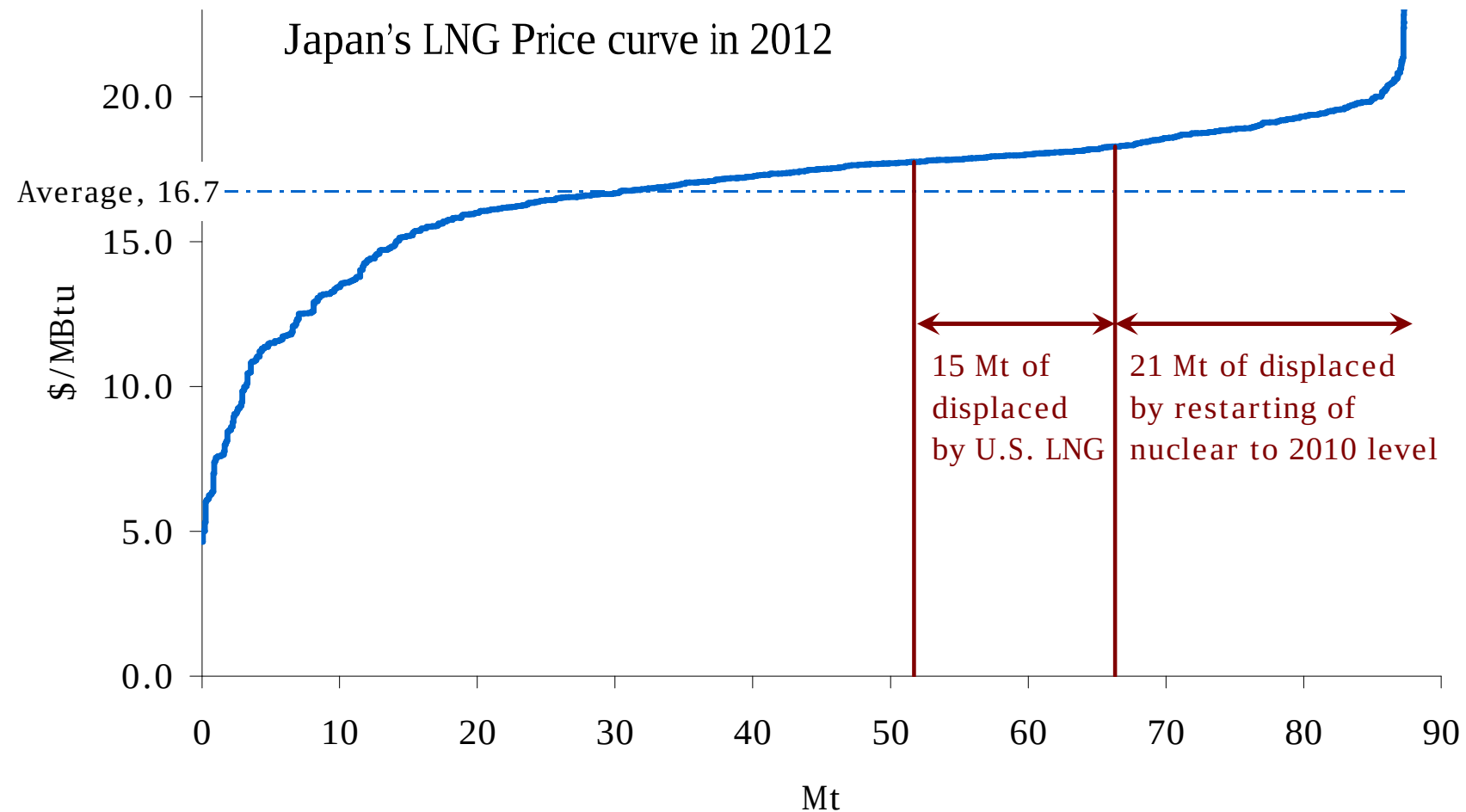
Notes: Import shares for each fuel are calculated as net imports divided by primary demand. Export shares are calculated as net exports divided by production. A negative number indicates net exports. Southeast Asia, i.e. the ASEAN region, includes Indonesia.

中国の石油・ガス輸入ルート



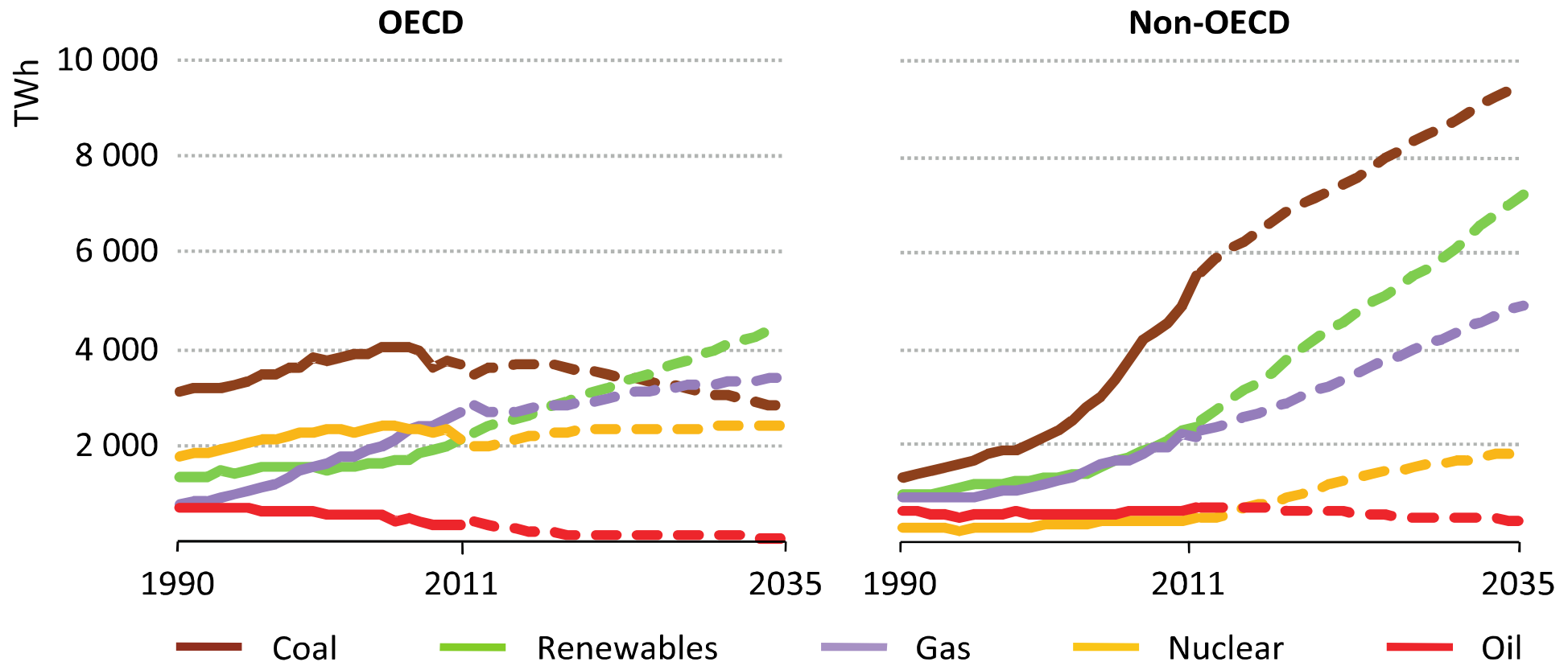
米国防省 China
Report 2013

原発再稼働と米国産LNGが 日本のガス価格に与える影響



世界の電力需要は70%伸びる。 OECDでは再生可能エネルギーが、途上国では石炭が牽引。

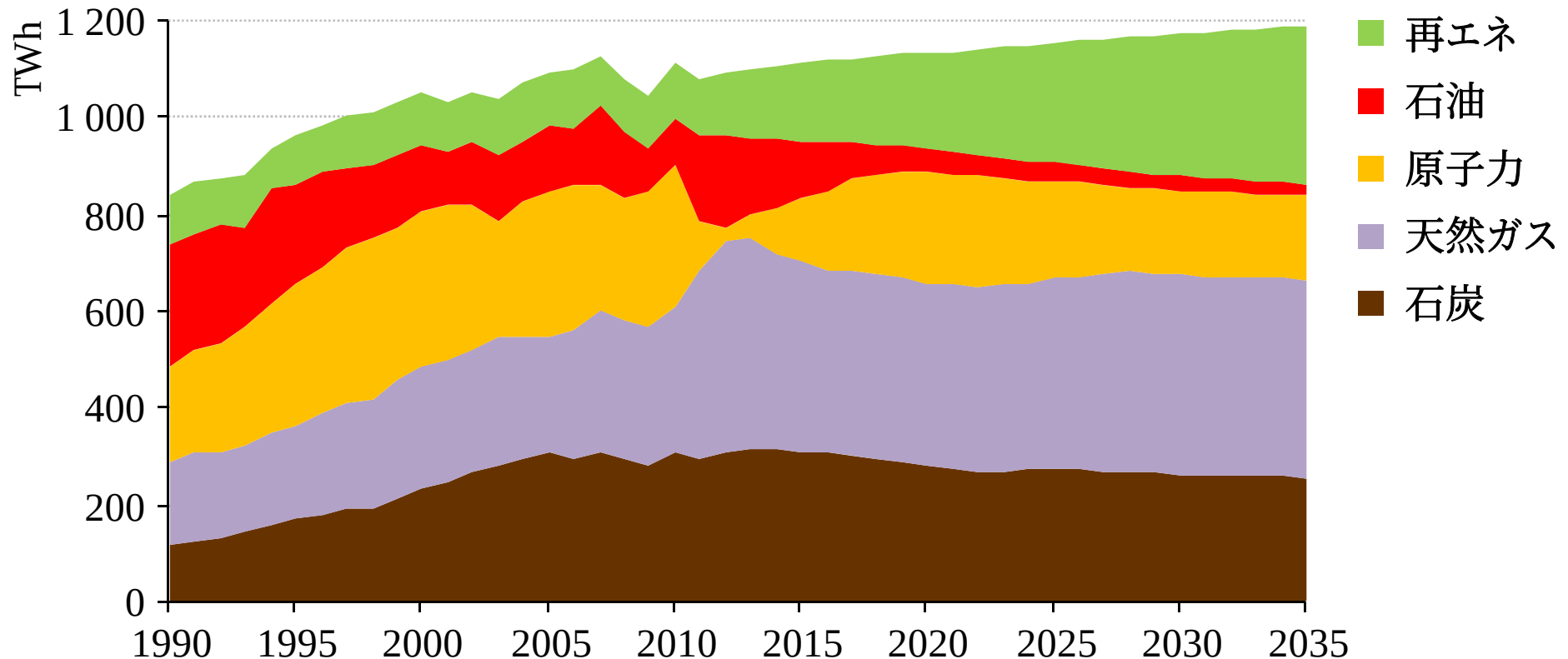
Figure 5.3 ▶ Electricity generation by source in the New Policies Scenario



日本の電源構成: 再生可能エネルギーとエネルギー効率化が主導

日本の電源構成

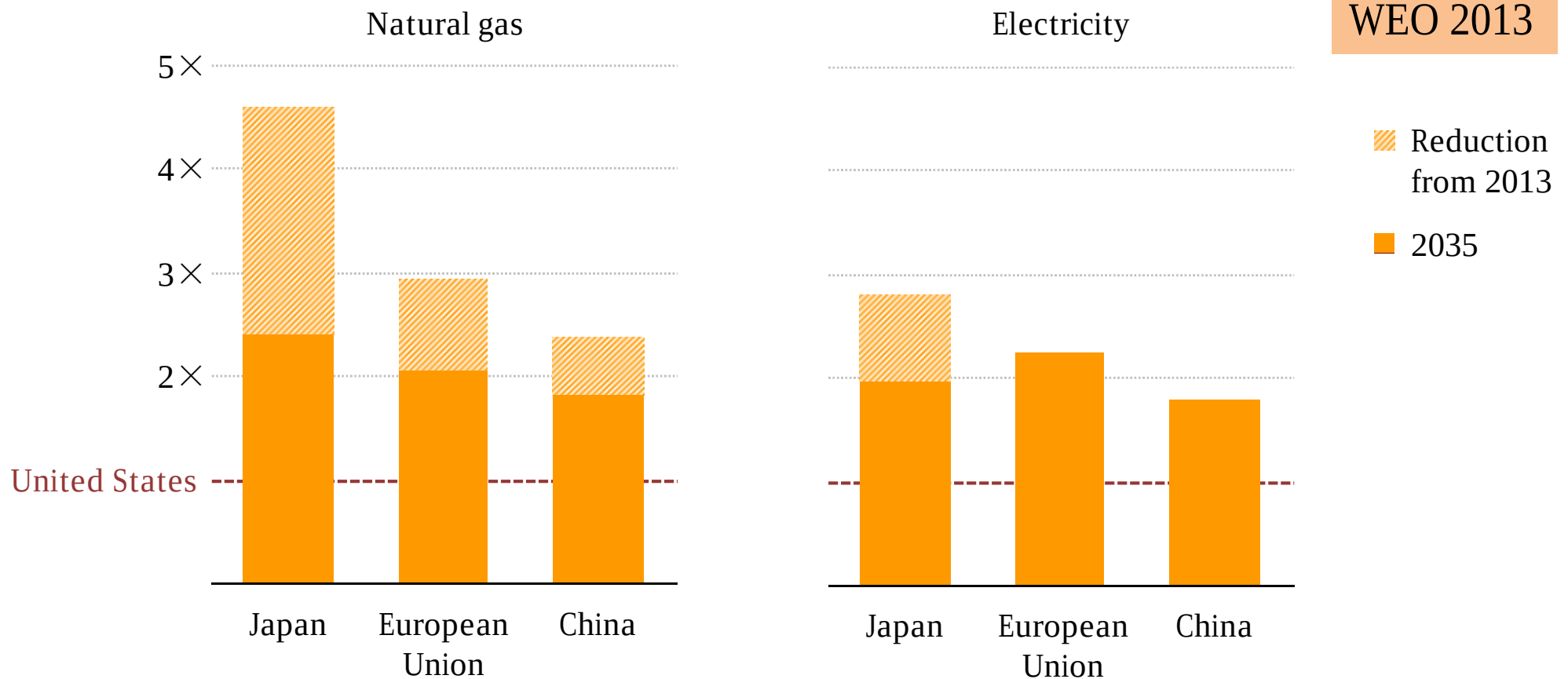
IEA WEO 2012



原子力は2020年までに20%に回復するが、その後2035年に15%まで減少。
その穴を埋めるのは、再生可能エネルギー（水力含む）の
3倍増、LNGの引き続き高い輸入依存、そしてエネルギー効率化

競争力に差をつけるエネルギーコスト

Ratio of industrial energy prices relative to the United States

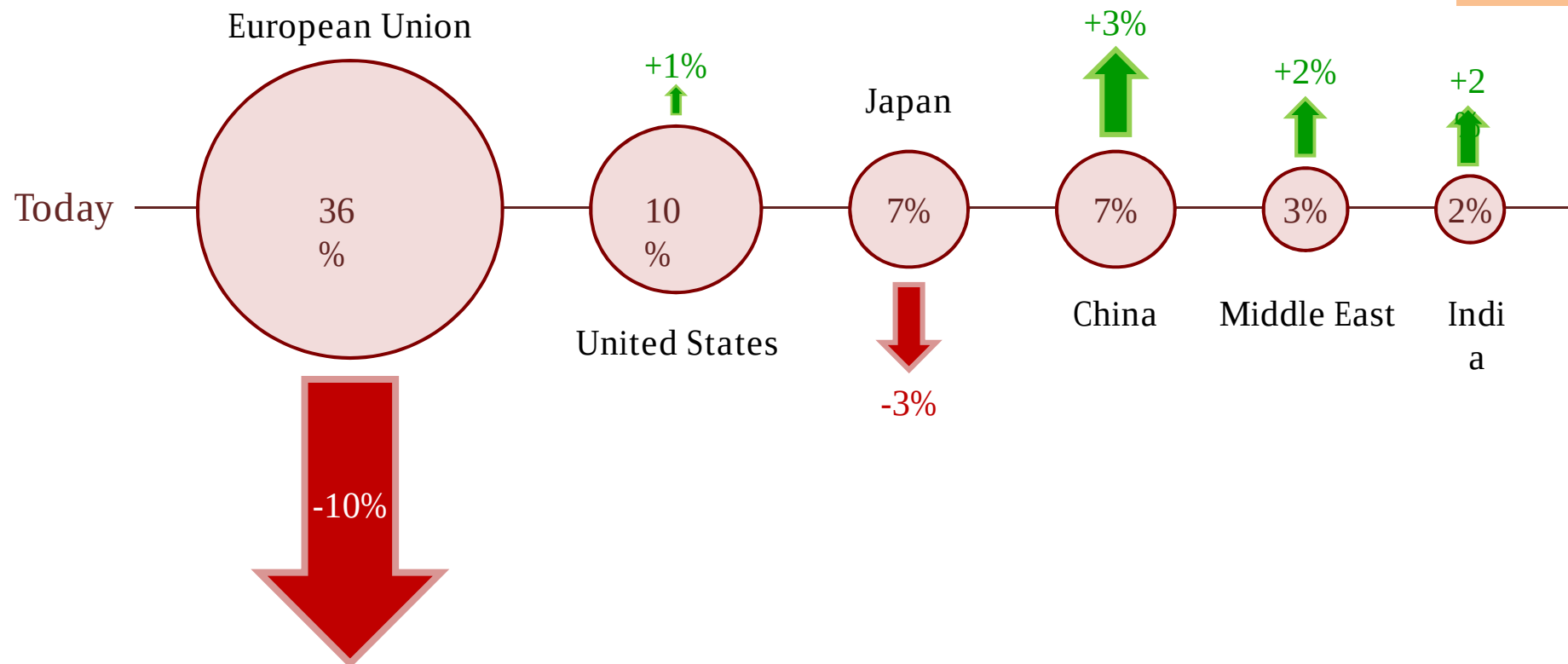


天然ガス価格の大きな価格差は多少修正されるが、
米国が一人、ガスと電力コストで優位に立ち続ける。

エネルギーコストと輸出競争力

エネルギー多消費型製造業製品の輸出マーケットシェア

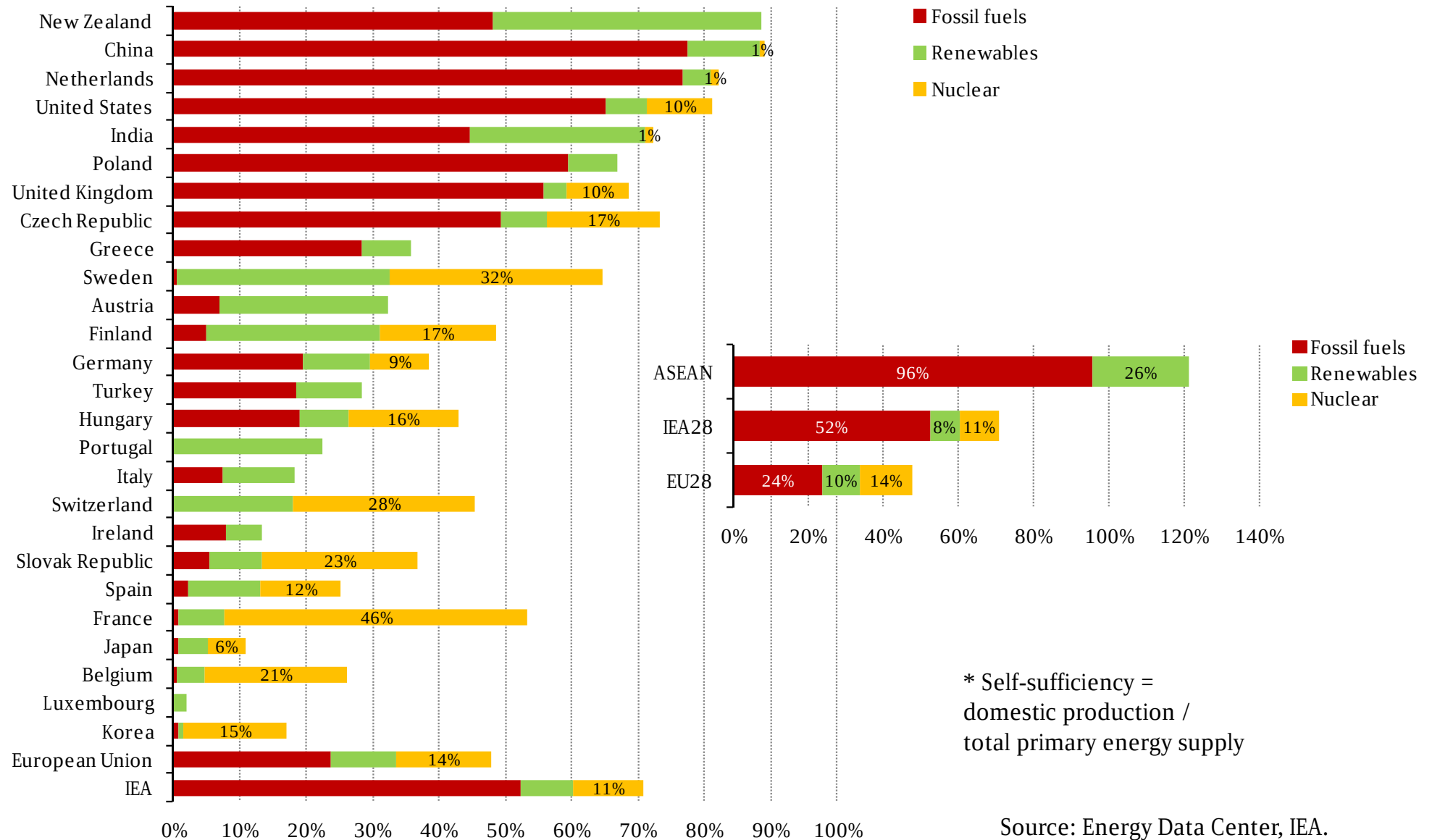
WEO 2013



米国と新興国が輸出製品市場を拡大。
日本と欧州はエネルギー多消費型製造業の輸出市場を大幅に失う。

エネルギー安全保障＝多様性＋連係＋原子力

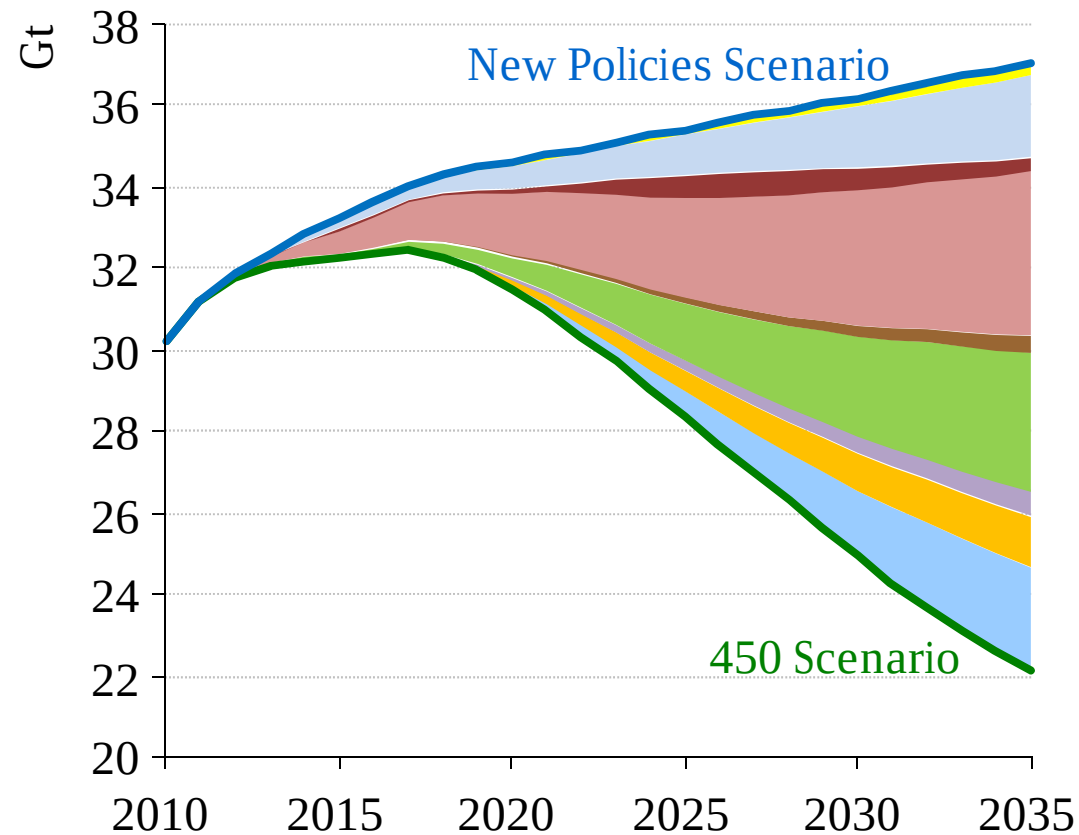
2011年自給率とエネルギーミックス



Source: Energy Data Center, IEA.

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

2050年CO₂排出半減＝世紀末大気温上昇を2度℃に抑制するシナリオ（450 ppmシナリオ）

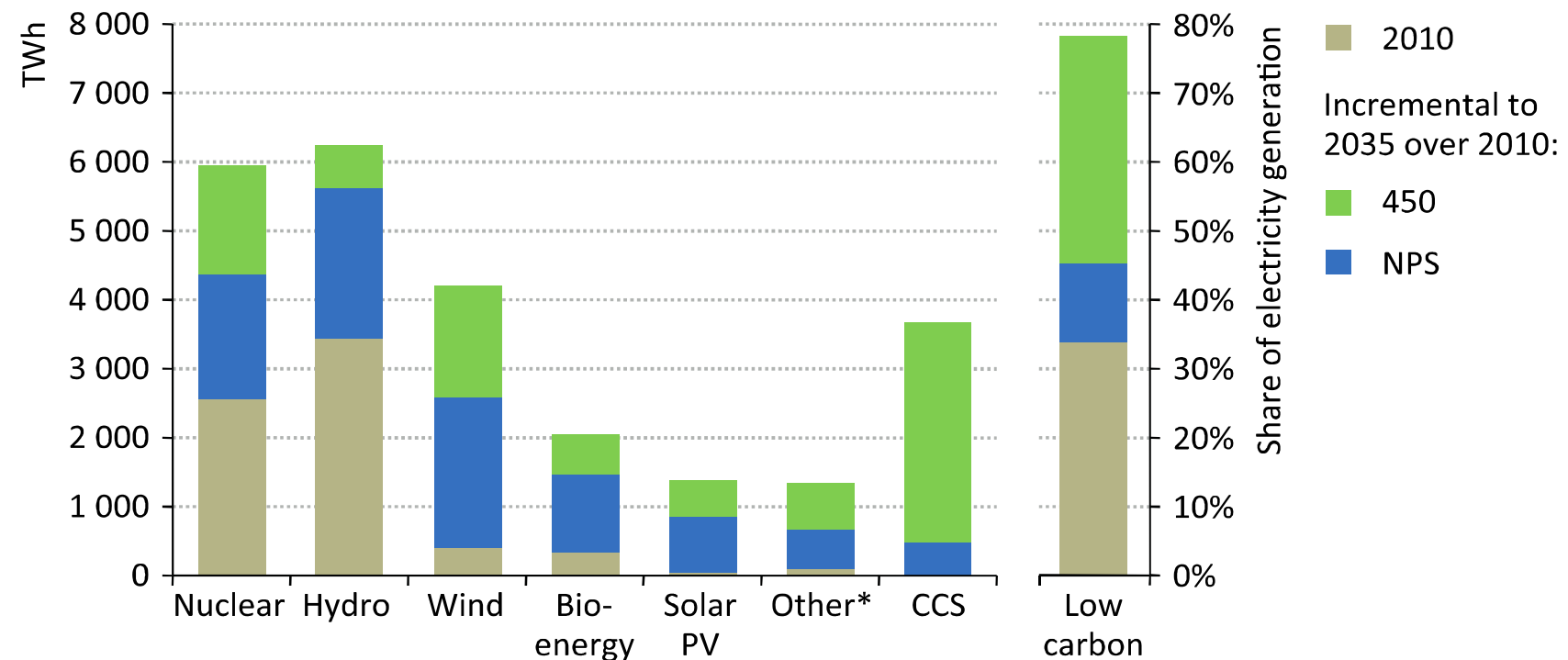


CO ₂ abatement	2020	2035
Activity	2%	2%
End-use efficiency	18%	13%
Power plant efficiency	3%	2%
Electricity savings	50%	27%
Fuel and technology switching in end-uses	2%	3%
Renewables	15%	23%
Biofuels	2%	4%
Nuclear	5%	8%
CCS	4%	17%
Total (Gt CO₂)	3.1	15.0

WEO 2012

Energy efficiency reduces CO₂ emissions by 2.2 Gt in 2020 & 6.4 Gt in 2035, but efficiency's share in CO₂ abatement falls by 2035 as renewables & CCS are used more

Figure 8.6 ▶ Electricity generation from low-carbon technologies and share by scenario, 2010 and 2035



* Other includes geothermal, concentrating solar power and marine.

Note: 450 = 450 Scenario; NPS = New Policies Scenario.

IEA WEO2012

Can we build 16 GW of nuclear power plants a year?
 + Can we build 60 GW of wind power plants a year? (2010 = 198 GW)
 + Can we build 50 GW of Solar PV capacities a year? (2010 = 38GW)
 And CO₂ price will be more than \$120 per ton.

今求められている原子力政策とは？

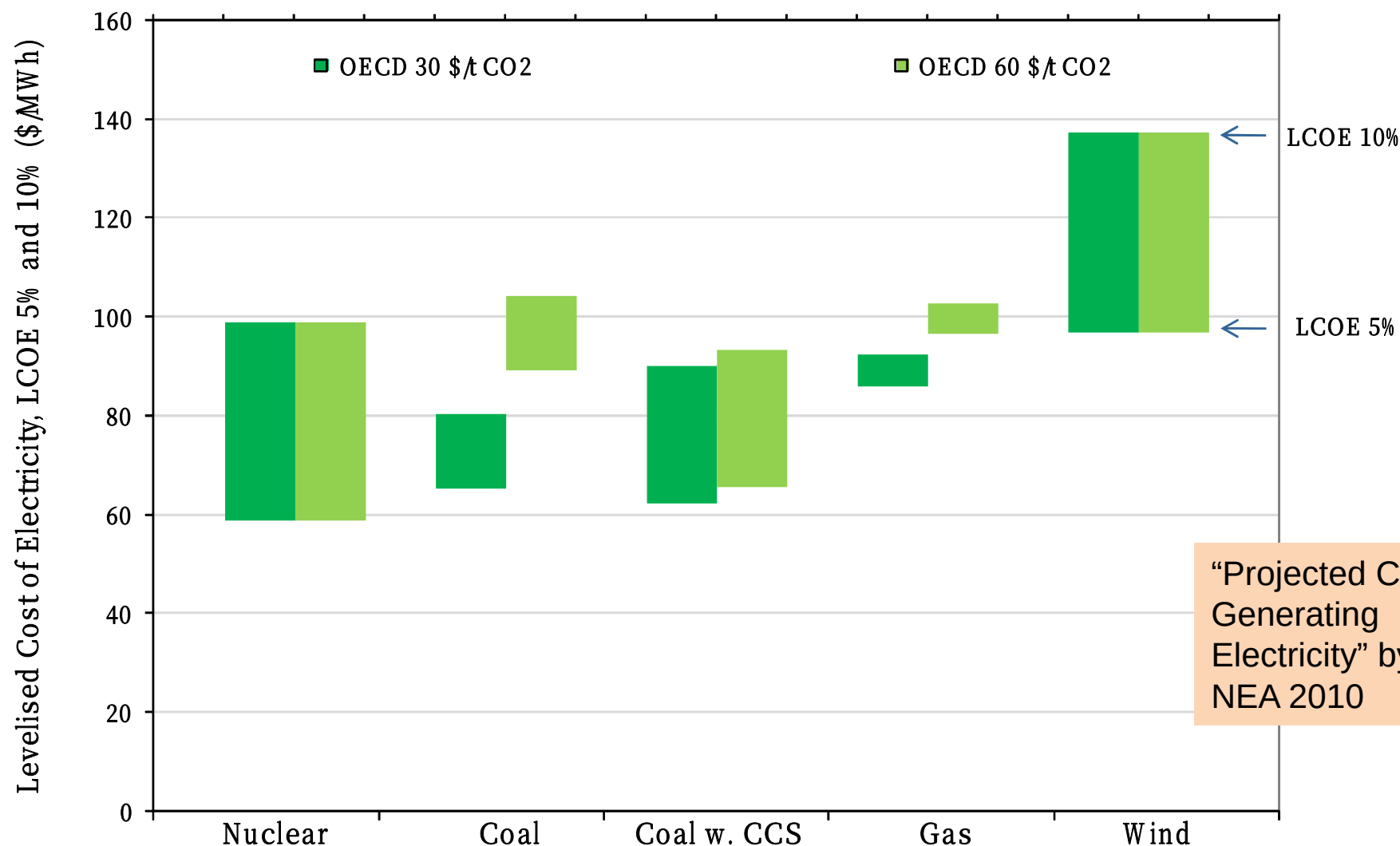
グローバルな視点からの一試案

福島第一原発事故の教訓

- 国際的に共有すべき原則的教訓
 - 安全文化の確立。 想定外のものを想定する。（津波、全電源喪失、テロ、大規模電源喪失）
 - 過酷事故に対する深層防護、同一事象による危機（common cause failure）、複合災害などへの準備。 安全に加えテロ対策への重点化。（NRCのB5b条項問題の反省）
 - なぜ他の発電所（福島第二、女川、東海第二）で防げた事故が、福島第一発電所で防げなかったのかを明らかにすべし。 その条件を満たす原子炉を再稼動。
- 安全性を確立する措置
 - 「人災であり、防げたはず。」（畑村政府事故調委員長、 国会事故調報告 ）
 - NRC, IAEA などとの国際協力。 共同委員会によるピアレビューなど。 国際的サイクルメカニズム。 失われた信頼回復措置。（安心対策）
 - 安全の科学的判断のためのNRC型独立規制委員会の必要性。（安全対策）
 - 安全規制の透明性、プライオリティ付け、バックフィットなど。
- 電力供給の安定性確立
 - 発電所の分散と集中のバランス
 - 系統線連携強化、50Hz・60Hz問題、国際関係
- それでも災害が起こってしまったからの回復措置
 - 米国で同じことが起こったらどうだったのか？ FEMA型緊急時対応組織。 専門スタッフの訓練育成。 原子力技術への自衛隊の参加。 現場力。 スマートメーターによる停電回避。

電力発電コスト比較

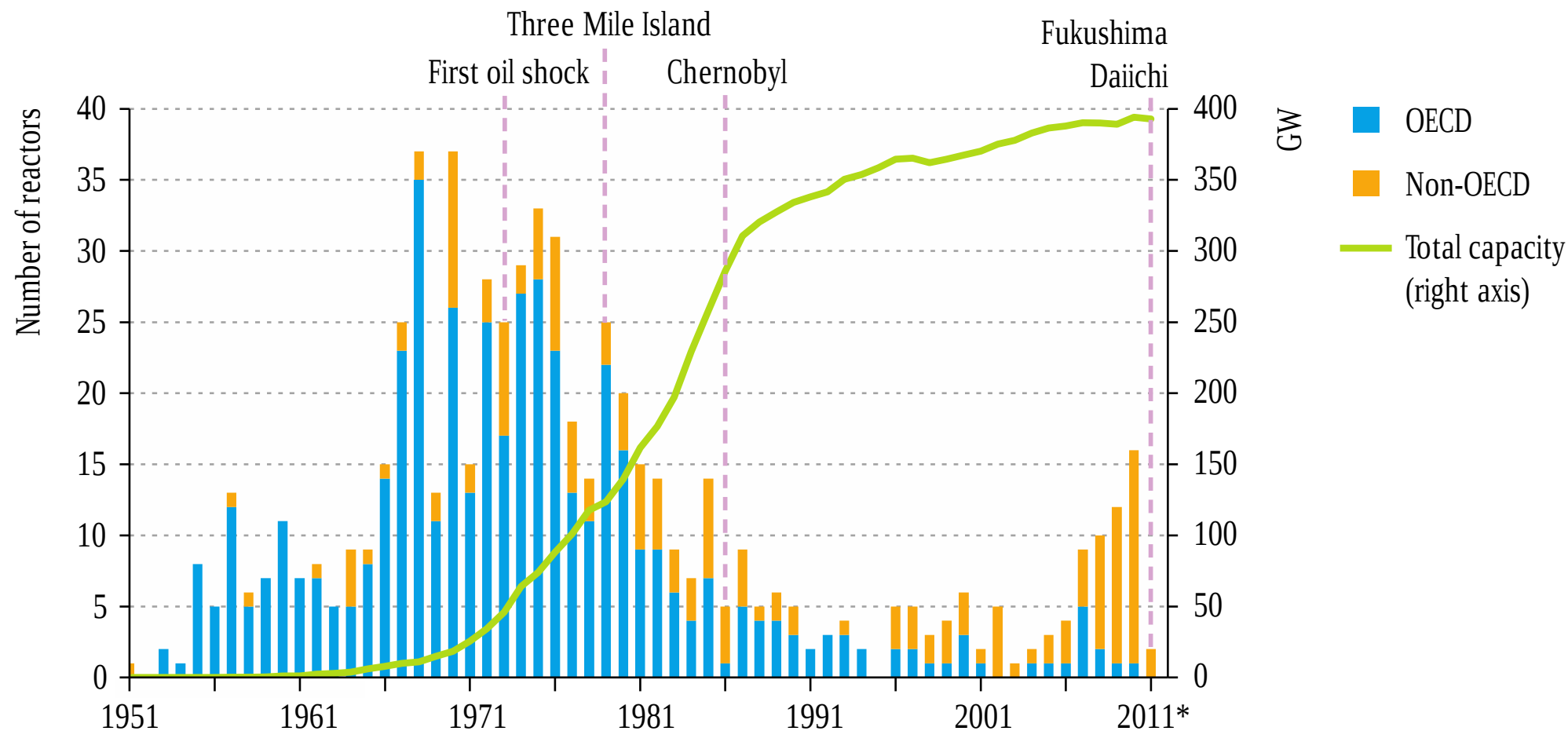
CO2価格と割引率による優位度の変化



To bolster competitiveness of low-carbon technologies such as nuclear, renewables and CCS, we need strong government action to lower the cost of financing and a significant CO2 price signal to be internalised in power markets.

原子炉建設の歴史

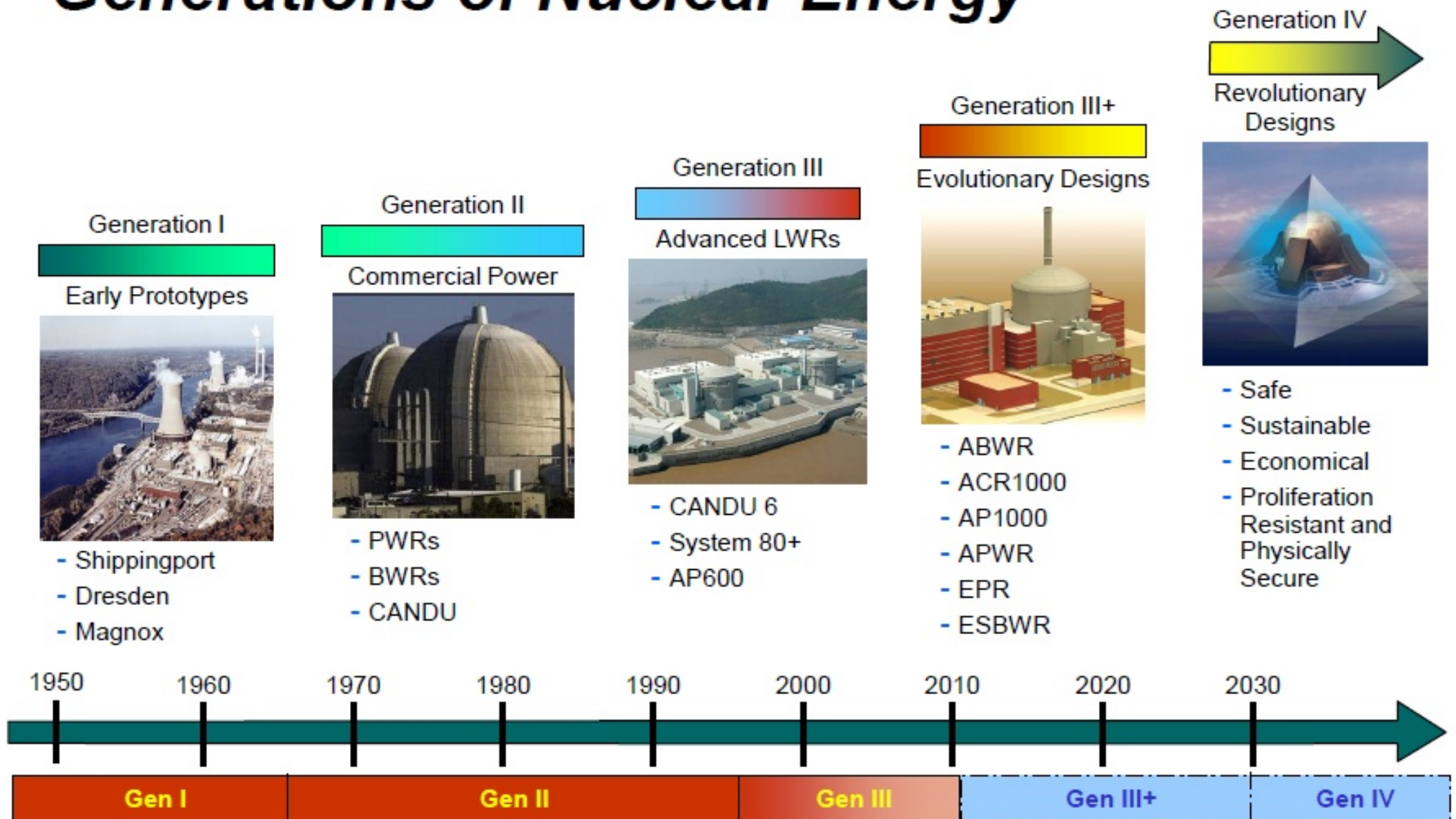
Figure 12.1 • Nuclear reactor construction starts, 1951-2011



*Data as of 31 Aug 2011.

IEA WEO 2011

Generations of Nuclear Energy



WHAT IF THIS CUBE COULD
POWER YOUR ENTIRE LIFE?

PANDORA'S PROMISE

Vulcan www.vulcan.com **IMPACT PARTNERS**

www.pandoraspromise.com

パンドラの約束



前国際エネルギー機関事務局長

田中 伸男

経済
観測

パンドラが箱を開けると中にゼウスが閉じ込めた人間の不幸の種が全て飛び出してしまった。慌てて蓋（ふた）を閉めたが後の祭り、箱の底に残ったのは希望だけだった。

ロバート・ストーン監督の映画「パンドラの約束」が最近、米CNNで全米に流された。地球温暖化を防ぎつつ途上国の成長を実現するための希望として、原子力が環境派の人にも受け入れられるというお話だが、そこで切り札として登場するのが統合型高速炉（IFR）である。確かにこの炉が東京電力福島第1原発に導入されていたら、あの事故は防げたはずだ。

米アルゴンヌ国立研究所は1986年4月、IFRの原型炉「EBR2」で「フルパワーでの稼働時における緊急停止措置（スクラム）なしの全電源喪失」という

パンドラの約束

2013. 11. 21

過酷事故を想定した実験を行った。

福島事故では、地震直後にスクラムが起動したが、その後の津波による全電源喪失に対応できずメルトダウンが起こった。アルゴンヌの実験では電源喪失後、急速に炉内温度が急上昇したがすぐに下がりはじめ、炉は自動停止した。人の手は何も借りずに。核反応が暴走して過熱すると自動的に運転が止まる受動的な安全装置を備えているためだ。

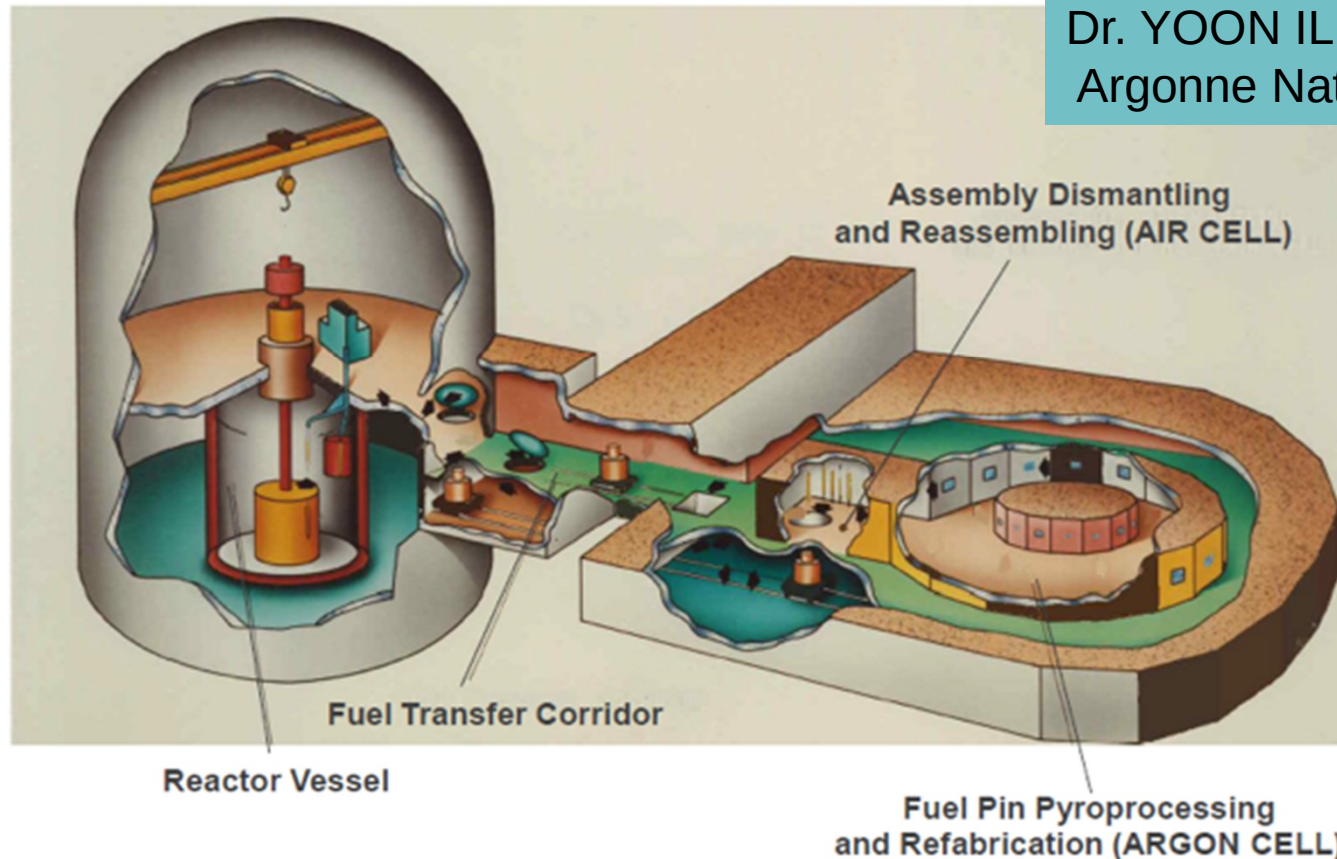
さらにこの炉には再処理施設が統合されている。使用済み核燃料を再処理のために炉外に持ち出したり、貯蔵したりする必要がない。最後に高レベル廃棄物が出るが、この放射能が天然ウラン並みに下がるのは軽水炉の数十万年より短い300年。廃棄物処理ははるかに簡単だ。

原子力はトイレなきマンションで廃棄物を捨てる場所がないからやめるべきだという人がいるが、それはこの技術への無知からくる発言だ。パンドラの箱には希望をもたらす技術が残っている。

統合型高速炉 (Integral Fast Reactor) と 電解型乾式再処理 (Pyroprocessing)

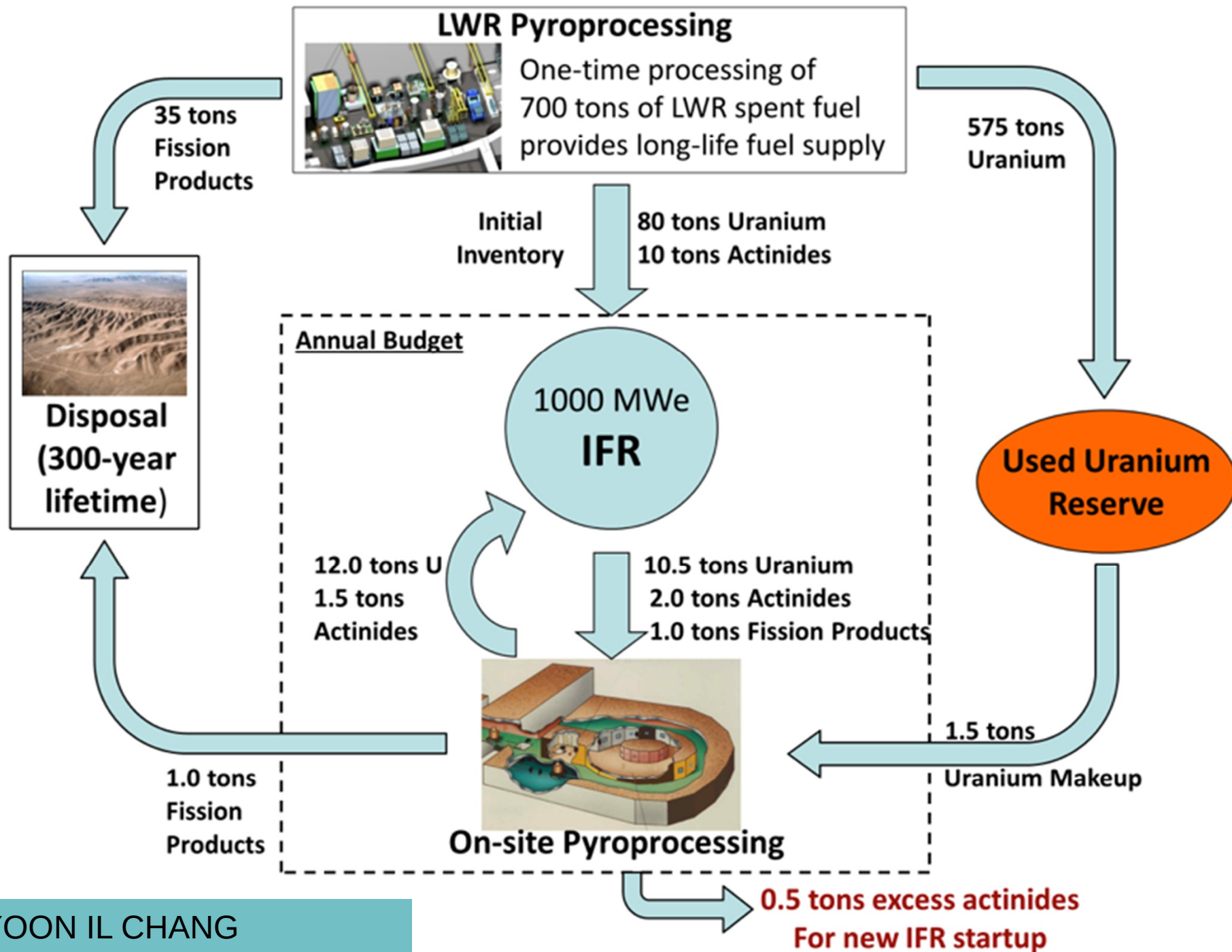
Pyroprocessing was used to demonstrate the
EBR-II fuel cycle closure during 1964-69

Dr. YOON IL CHANG
Argonne National Laboratory

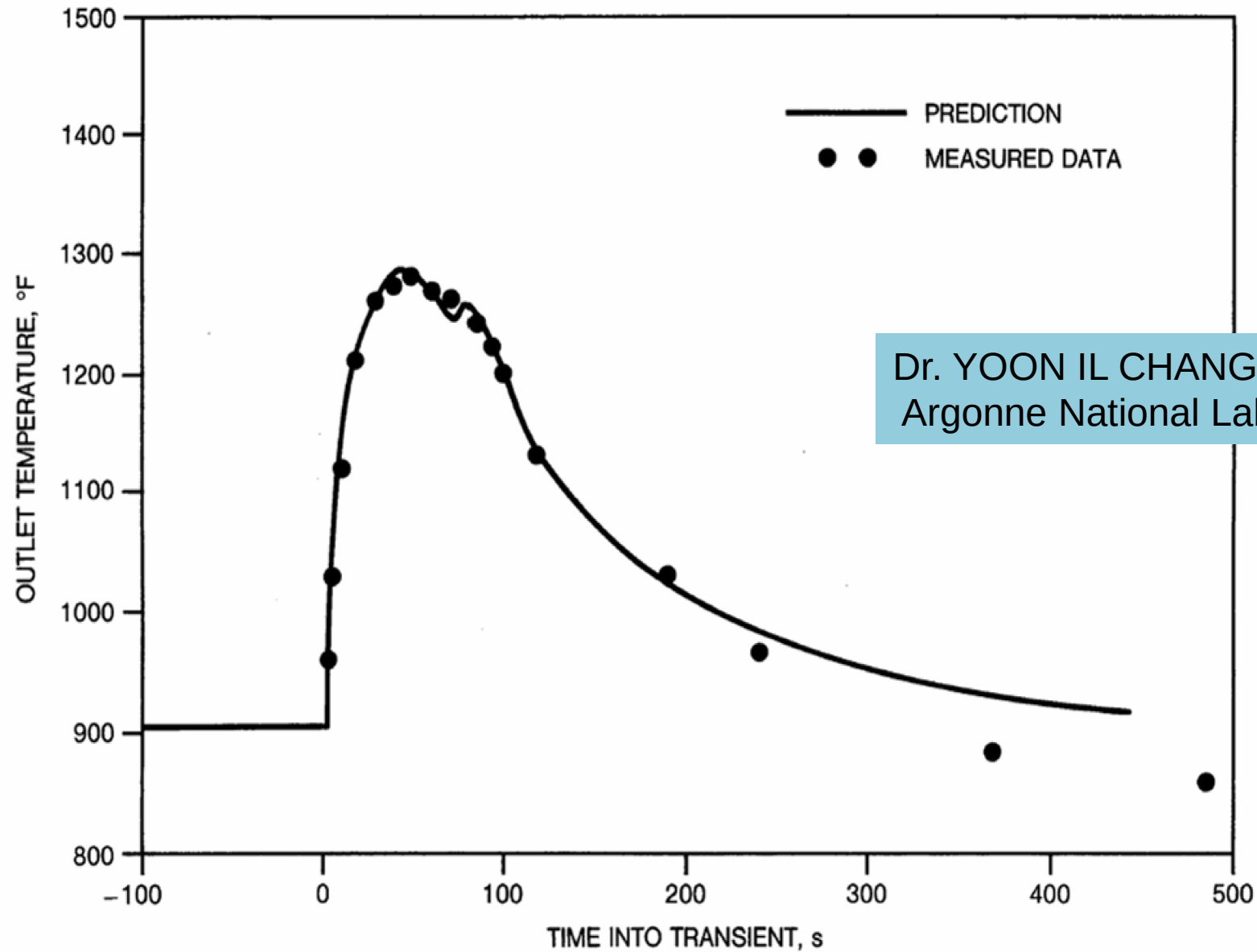


IFR has features as Inexhaustible Energy Supply ,Inherent Passive Safety ,Long-term Waste Management Solution , Proliferation-Resistance , Economic Fuel Cycle Closure.

高レベル廃棄物の放射能レベルは300年で天然ウラン並みに減少



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



Dr. YOON IL CHANG
Argonne National Laboratory

安全かつ核不拡散性が高く、廃棄物処理の楽な原子炉を求めて

経済 観測

田中 伸男

前国際エネルギー機関事務局長



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

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業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期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、安全で核不拡散性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。

©Pandora's Promise, LLC
映像提供：フィルムヴォイス



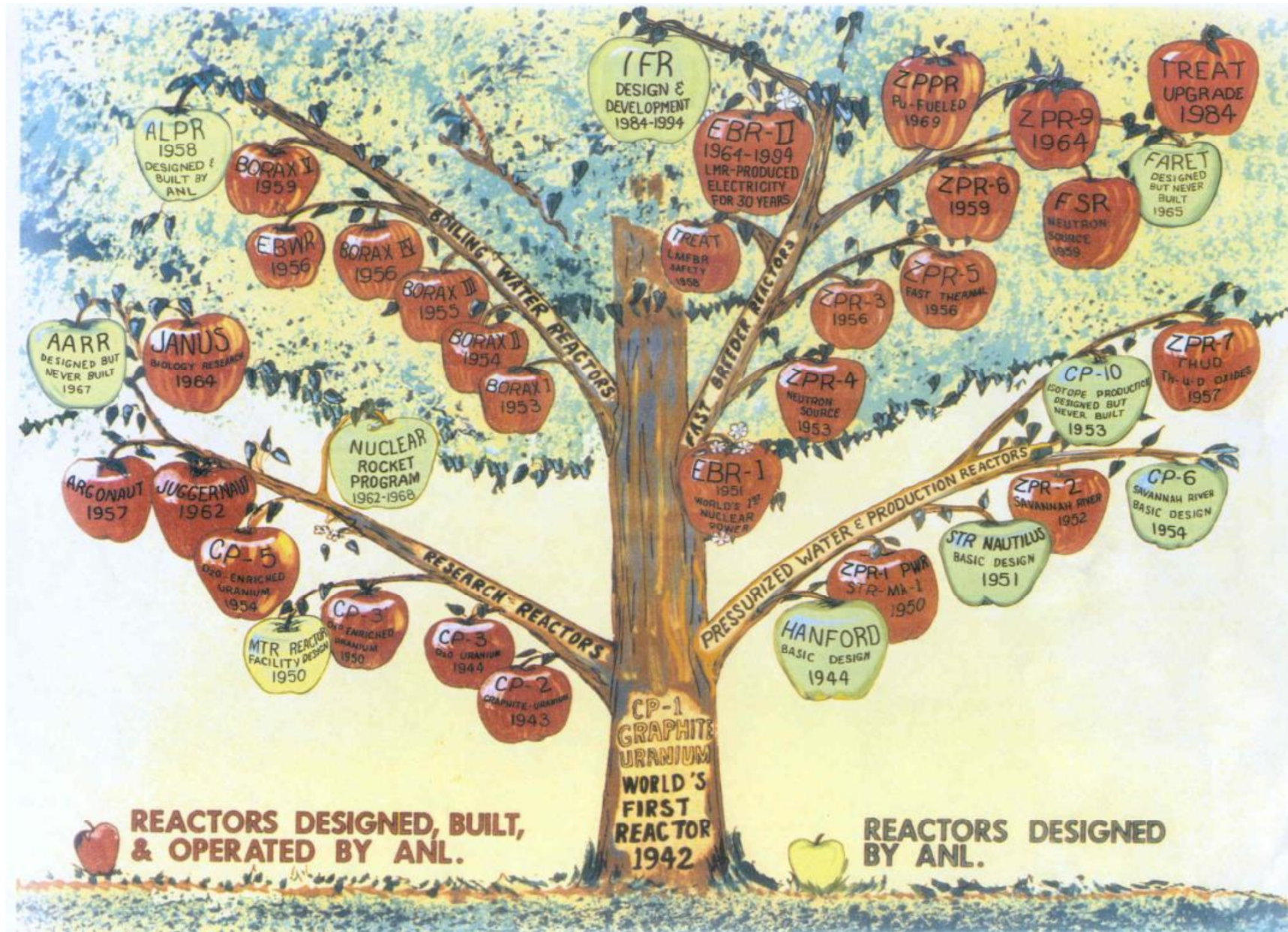
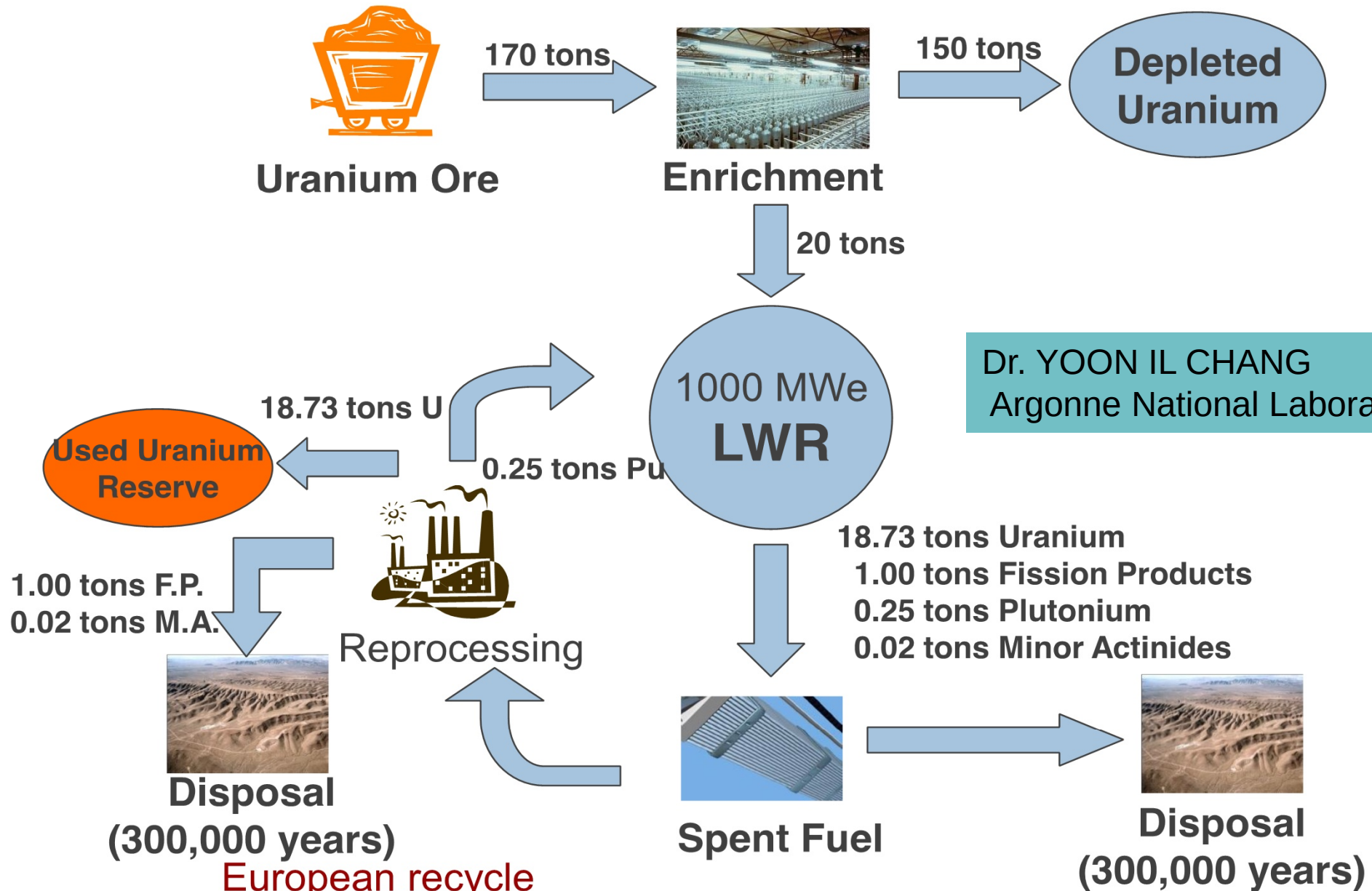


Figure 1-8. Reactors developed by Argonne

Uranium utilization is <1% in LWR



Dr. YOON IL CHANG
Argonne National Laboratory

European recycle

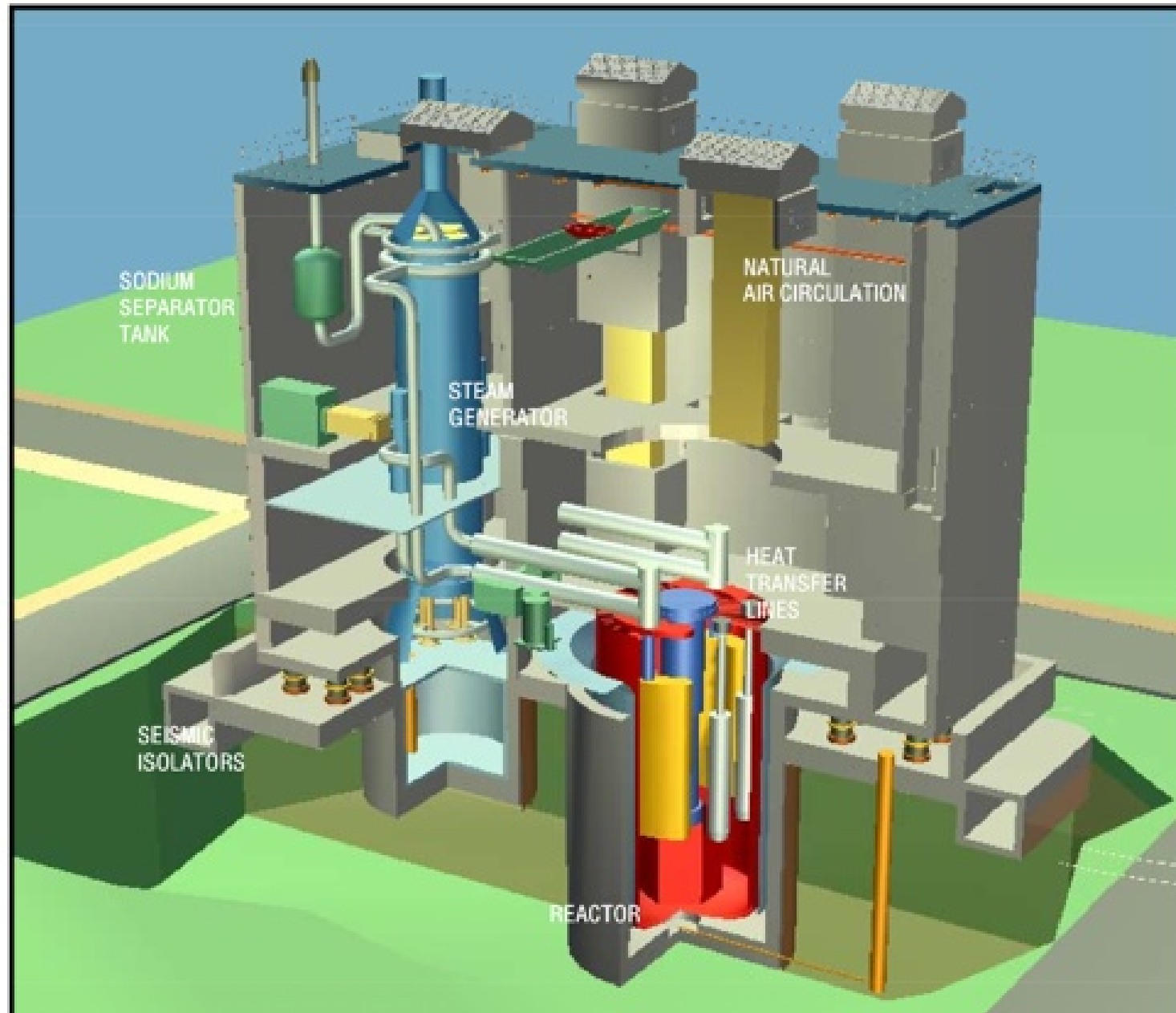
- Saves 15% uranium
- But no reduction in waste life

Direct disposal is the current U.S. policy

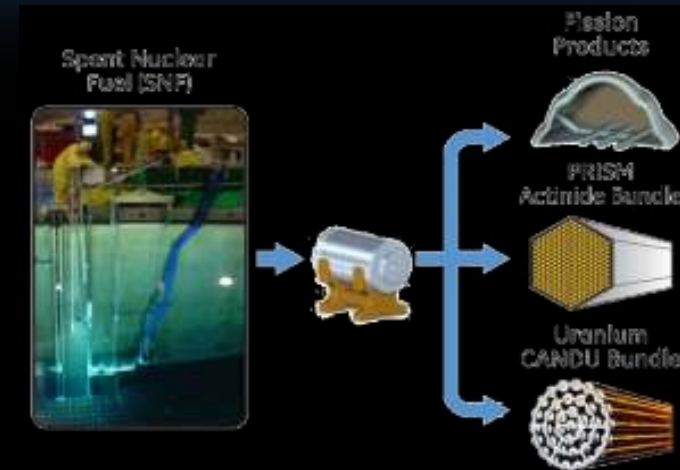
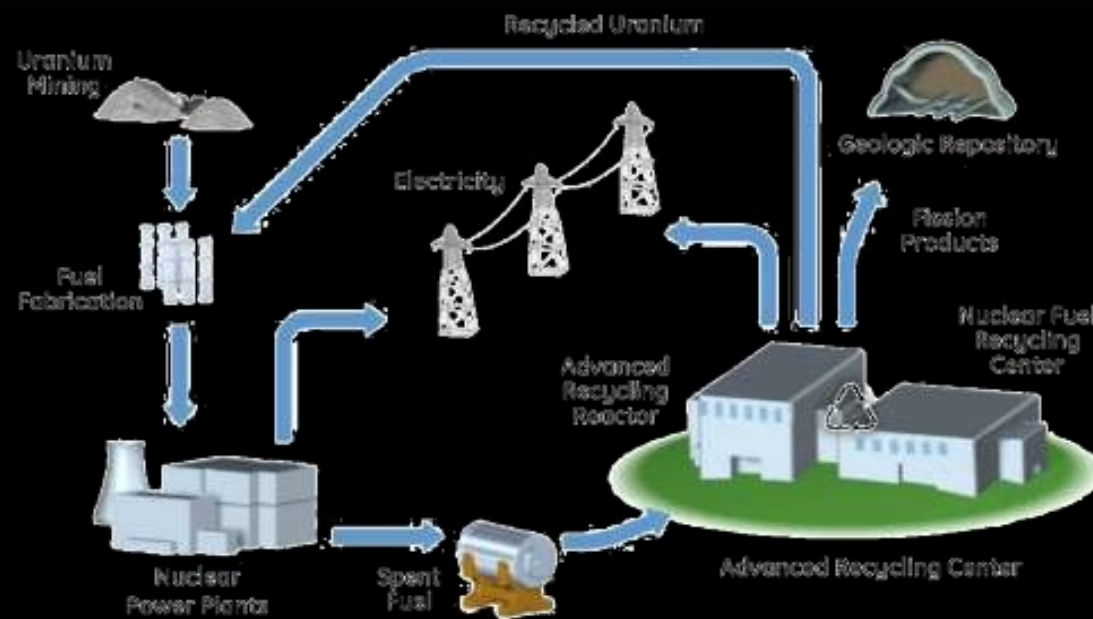
日本も乾式再処理開発に参加

- ✓ Central Research Institute of Electric Power industry (CRIEPI): \$20 million cost sharing signed in July 1989.
- ✓ CRIEPI and Japan Atomic Power Company jointly representing Federation of Electric Power Companies (FEPC): Additional \$20 million added in October 1992.
- ✓ Tokyo, Kansai, and Chubu Electric Power Companies: \$6 million for LWR feasibility study signed in July 1992.
- ✓ Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation (PNC): \$60 million cost sharing program agreed to in February 1994, but canceled by DOE.
- ✓ These joint programs ended when the IFR Program was terminated in October 1994.

S-PRISM Nuclear Steam Supply System



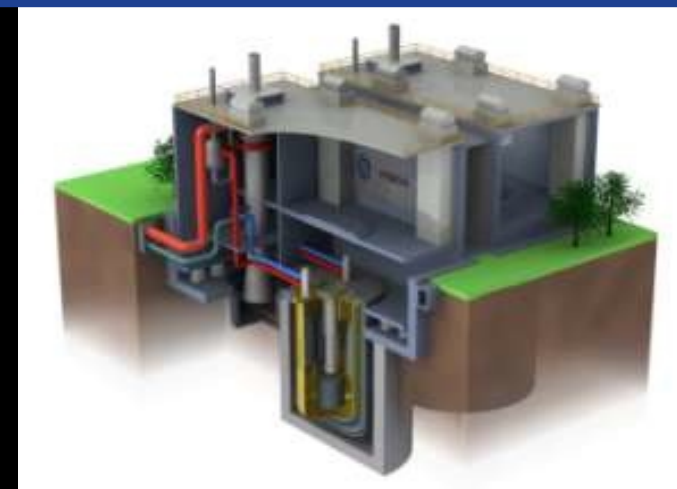
Extending PRISM...recycling used LW R fuel closes the nuclear fuel cycle with two technologies ...



NFRC - Electrometallurgical

Benefits include:

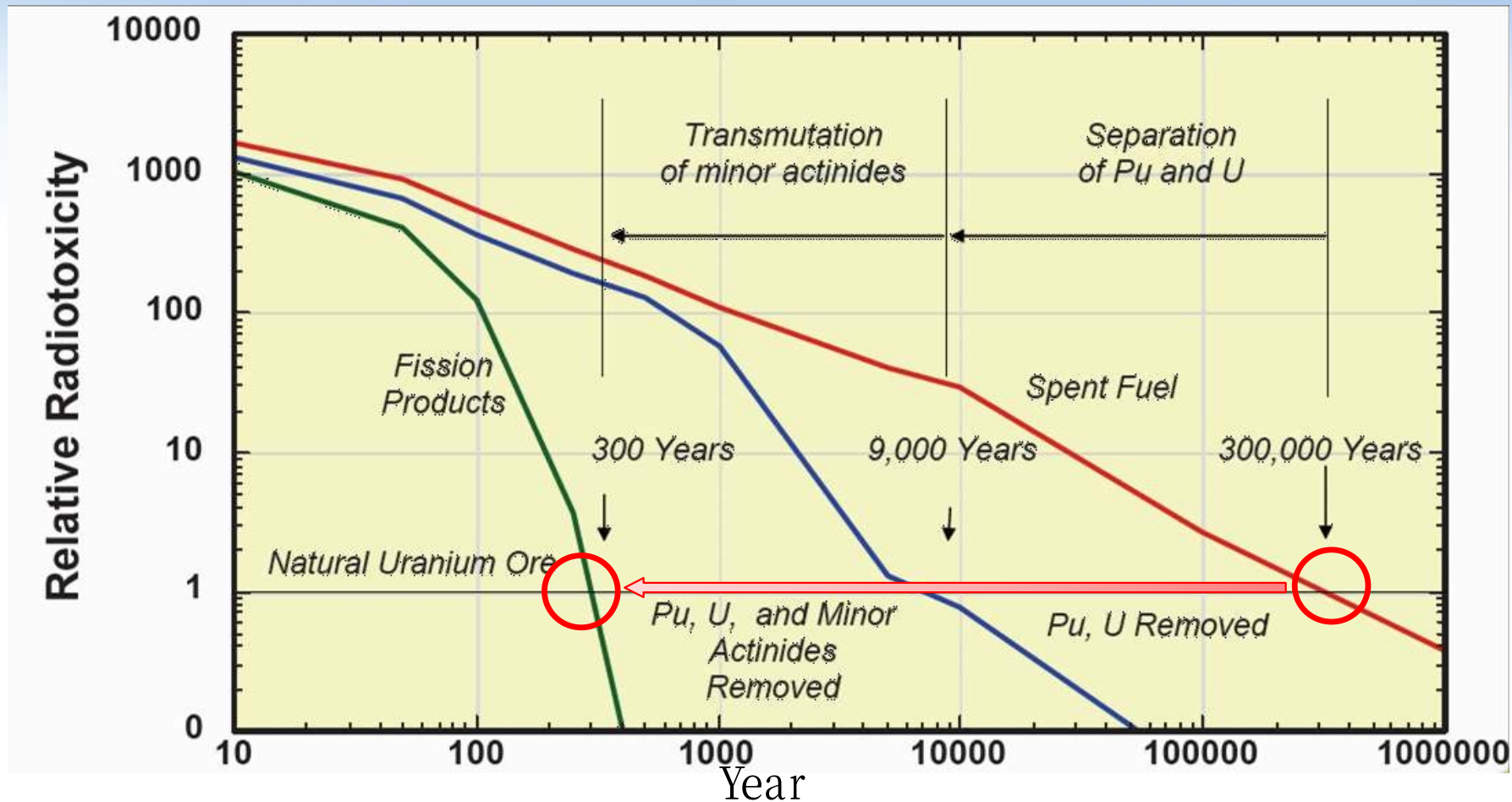
- Waste half-life ... 300-500 years
- Uranium energy ... extracts 90%
- Non-proliferation ... no plutonium separation
- Environmentally responsible ... dry process



Advanced Recycle Reactor - PRISM

Transuranic disposal issues

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

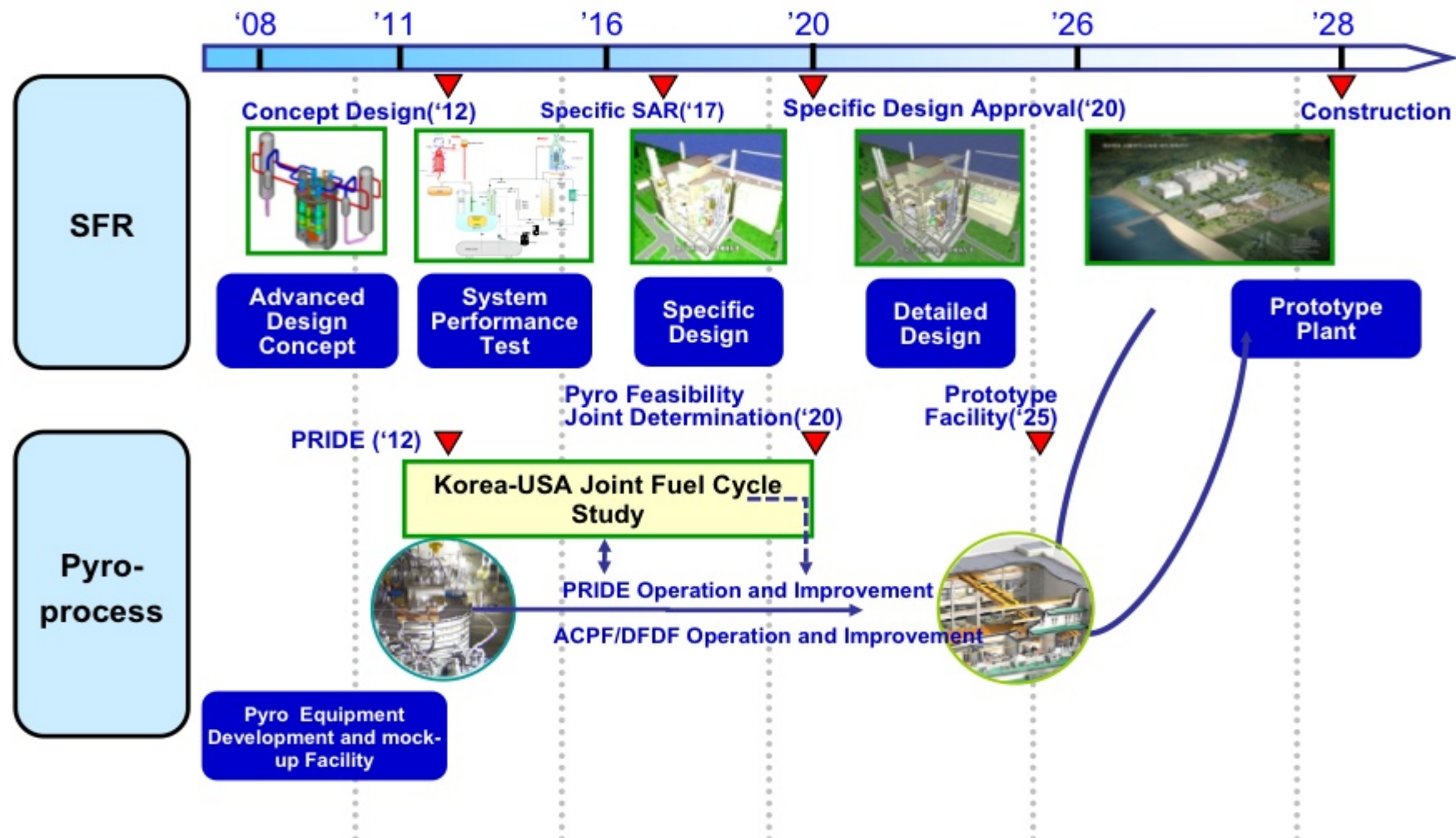


HITACHI

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

IFRに熱心な国は韓国

Long-term Plan for SFR and Pyroprocess



CSIS ナイ・アーミティジ報告 から抜粋 (2012/8/10)

両国は、より強力に対等な同盟にするためには、第一流国家(tier-one nations)の見方から臨むことが必要。第一流国家とは、重要な経済的な重み、能力ある軍事力、世界的なビジョン、国際的な関心事項への民主的な指導性を持たなければならない。米国は間違いなく一流国家だが、日本の場合は、決断すべき事がある。つまり、**日本は、なお一流国家であり続けたいのか、あるいは二流国に漂流しても構わないのか？**

1、エネルギー・セキュリティ (原子力)

福島事故が原子力そのものに大きな負の影響をもたらした。我々は、安全審査と地元の同意を前提として、原発を慎重に再開する事が正しく、また、責任あるやり方だと考える。日本はエネルギー利用効率では巨大な進歩を遂げており、エネルギーでの研究開発では世界のリーダー。短期的に、原子力なしでは、CO2排出量削減目標達成や基盤発電量の確保日本に深刻な反作用が生ずる。

国家エネルギー政策の策定が延びると、日本にとって重要でエネルギー消費型の産業が国外に去り、国家の生産性を危うくする。中国が、世界的な民生原子力発電国家となってロシア、韓国、さらにはフランスの仲間に入るつもりなので、日本にはその動きに遅れる余裕など無いはずだ。福島からの教訓を立て、安全な炉設計やキチンとした規制実践で世界をリードしなければならない。

福島のエンドゲーム

経済 観測



前国際エネルギー機関事務局長

田中 伸男

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^キ離れた「Jヴィレッジ」で毎時0・2^ギの放射線量だった放射線量は、3号機の側で900^ギを超えた。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。

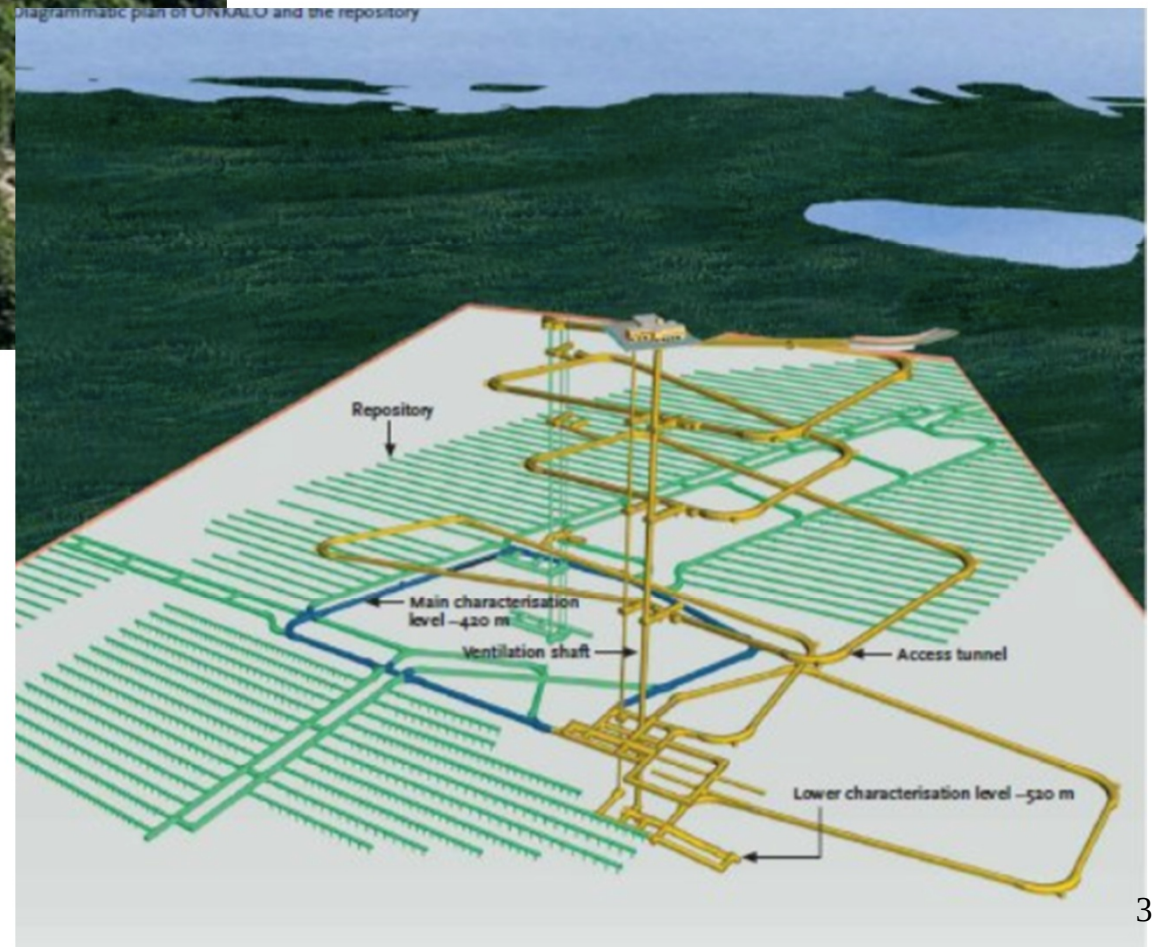
周辺の高汚染の帰還困難区域全てを年間1^ミのレベルに下げるコストは何兆円にもなるだろう。被災者が希望するなら早く土地を買い上げて生活再生を手助けする一方で、長い期間かけて放射能を下げて行くのが合理的解決策ではないか。現場を見たグループのメンバーから「外国の専門家を長期にわたって招き、助言を求めるべきだ」と言われた。政府が最前線に立ち日本人皆が総力を挙げて取り組まない限り、この未曾有の危機は乗り越えられないと知った。

(毎日新聞経済観測2013-10-10)



フィンランド モデル オルキルト原発と 使用済み燃料長期地下貯 蔵設備 (オンカロ)

オルキルト原発を所有する
Teollisuuden Voima Oyj (フィンラ
ンド産業電力) 本社は原発施設内
に立地する。



21世紀のエネルギー安全保障は短期的危機対応とともに持続可能な電力供給のための多様な電源の確保。

- イラン危機対策としての原子炉再稼働を急げ。緊急時シナリオの準備。
- 中長期的に世界でも安全確保を前提に原子力は重要なオプションであり続ける。福島の実験の教訓（例えばB.5.b.）を世界と共有すべし。廃炉除染に加えIFRなど新型原子炉、サイクルオプションの国際協力開発（福島）
- 再生可能エネルギーは分散型システム。固定価格買取制度とともに電力系統網の強化、周波数の統一及びロシア韓国との系統接続、発送電分離など電力市場改革が必要。
- 中期的にはガスの黄金時代。米国(アラスカ、GOM)、カナダ、豪州からのLNG輸入多様化。ロシアとのガスパイプライン接続も。災害対策のためにも国内パイプライン網の整備。日欧は米国との競争力差改善が課題。
- 技術によるセキュリティ向上を追求すべき。高効率太陽光、スマートグリッド、次世代自動車、蓄電、超電導送電、水素関連、メタンハイドレート、次世代CCSなど。
- 中国、ASEAN、インドなどと経済連携が進む中で新しいエネルギー安全保障枠組みなど多層的エネルギー安全保障外交の推進。北東アジアエネルギー安全保障フォーラム構想。IEAは地域間調整機能

ありがとうございました。



エネルギーフォーラム社