

# 原子力を巡る世界の動きと 日本の役割



尾本 彰（原子力委員、東大 特任教授）

# 1. 世界の原子力の動きと課題

A. 21世紀のエネルギー供給の課題

B. 原子力を巡る世界の動きと課題への対応

## 2. 日本に期待される役割

## 3. まとめ

# A. 21世紀のエネルギー供給の課題

## AA. 低炭素社会への移行

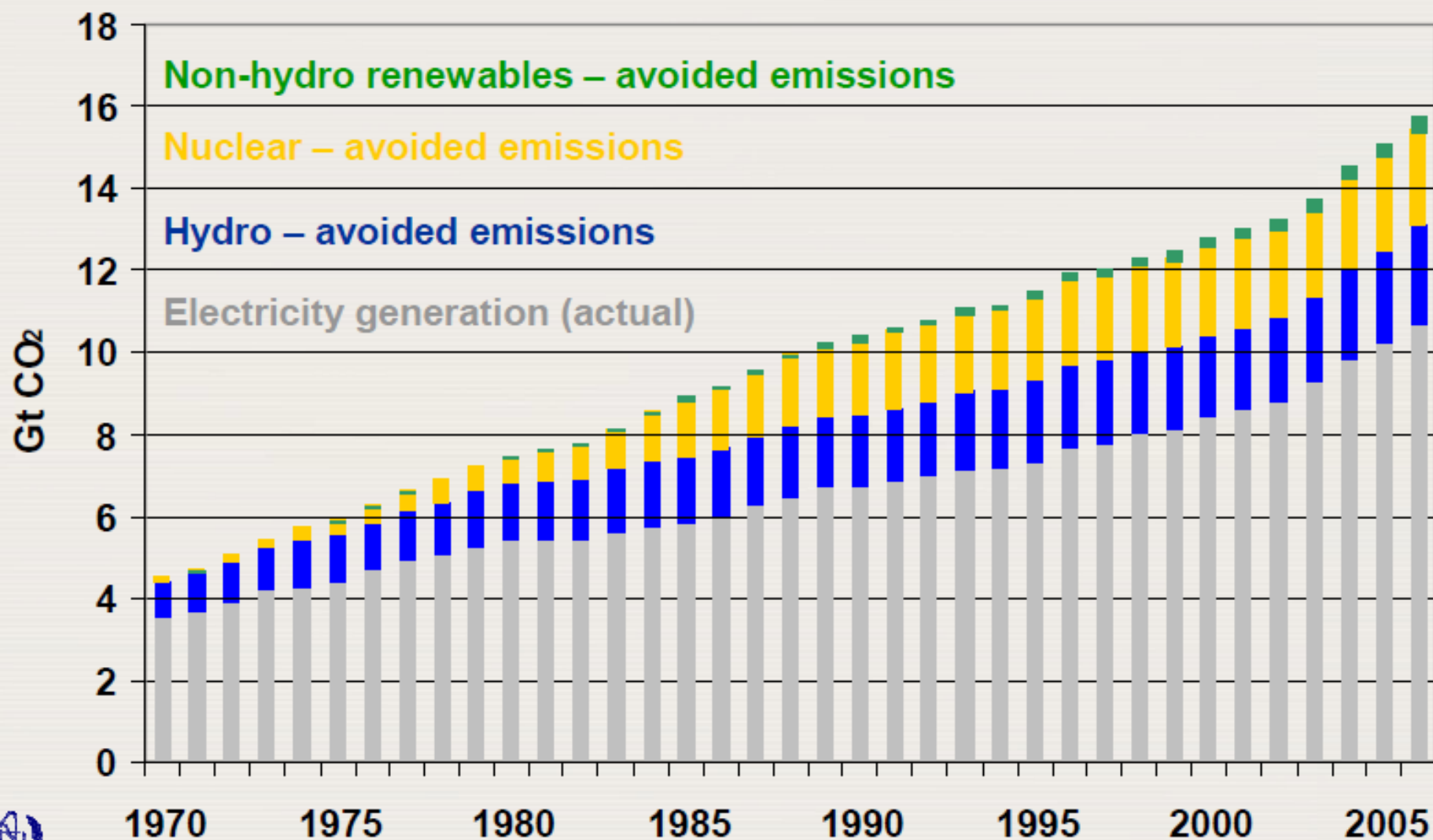
- 先進国で2050年80%放出削減目標
- Annex I 以外の国の参加した排出削減メカニズムの創出
- 輸送分野の低炭素化
- 節約、効率化、再生可能エネルギー、原子力

## AB. 開発途上国の人口増加と生活の質向上を支えるエネルギー供給

- 人口増加と生活の質向上、電気へのアクセスの普遍化(約1/4の人口が未だ電気へのアクセスなし)

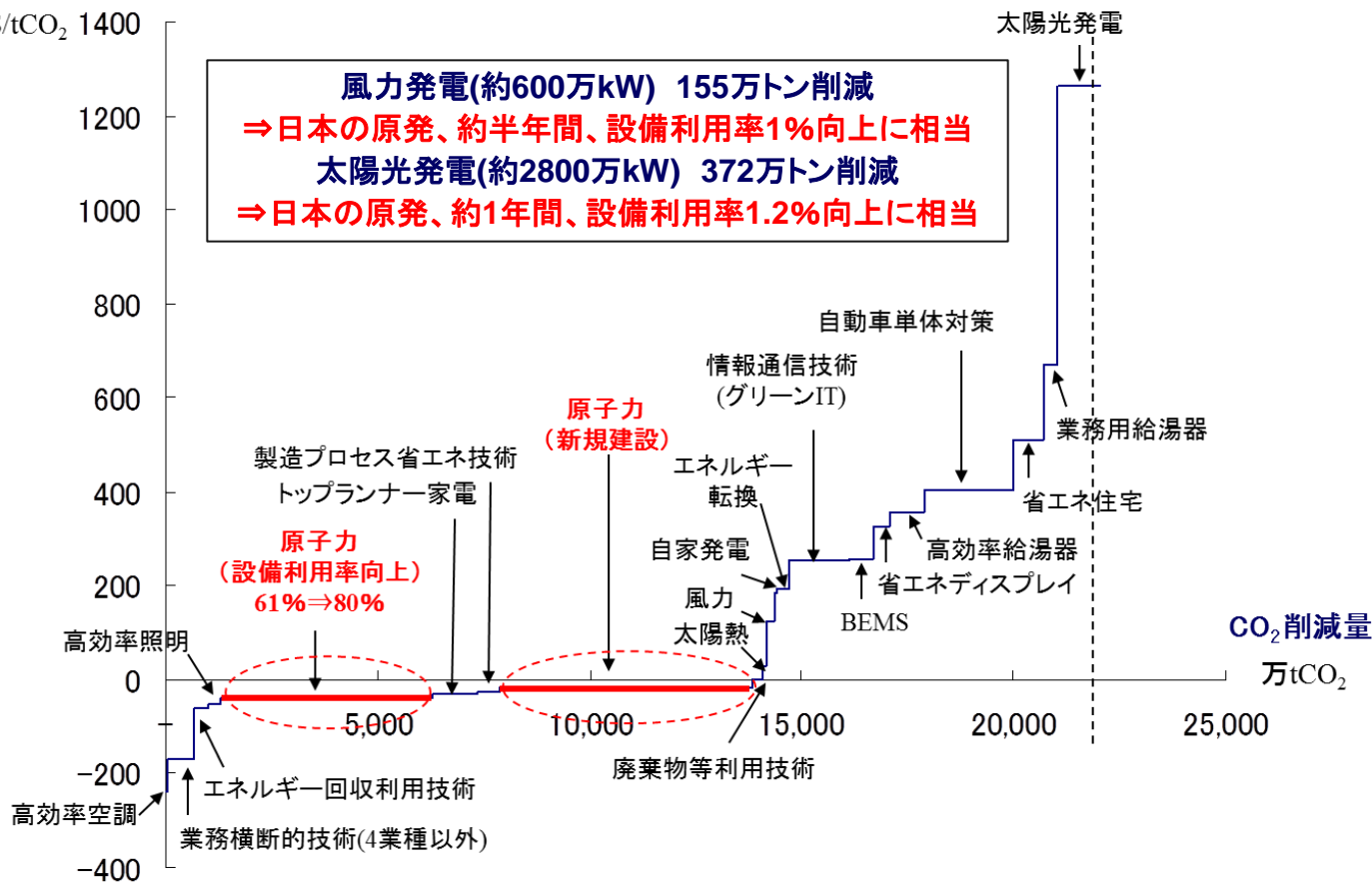
## AC. 長期に亘る持続可能で安定した価格での供給源確保とエネルギー資源を巡る緊張緩和

# Global CO<sub>2</sub> emissions from electricity generation & emissions avoided by hydro, nuclear & renewables



- **クールビズ(夏のエアコンの温度設定を28°C):** 約114万トン削減  
⇒ 原発1基、約1ヵ月3週間分の運転、もしくは、日本の原発、約4ヵ月間、設備利用率1%向上分に相当
- **CO<sub>2</sub>削減/ライトダウンキャンペーン2010(環境省):** 約801トン削減  
⇒ 原発1基、約1時間分の運転、もしくは、日本の原発、約2時間、設備利用率1%向上分に相当

CO<sub>2</sub>限界削減費用 **CO<sub>2</sub>限界削減コストカーブ(2020年、90年比7%削減)**

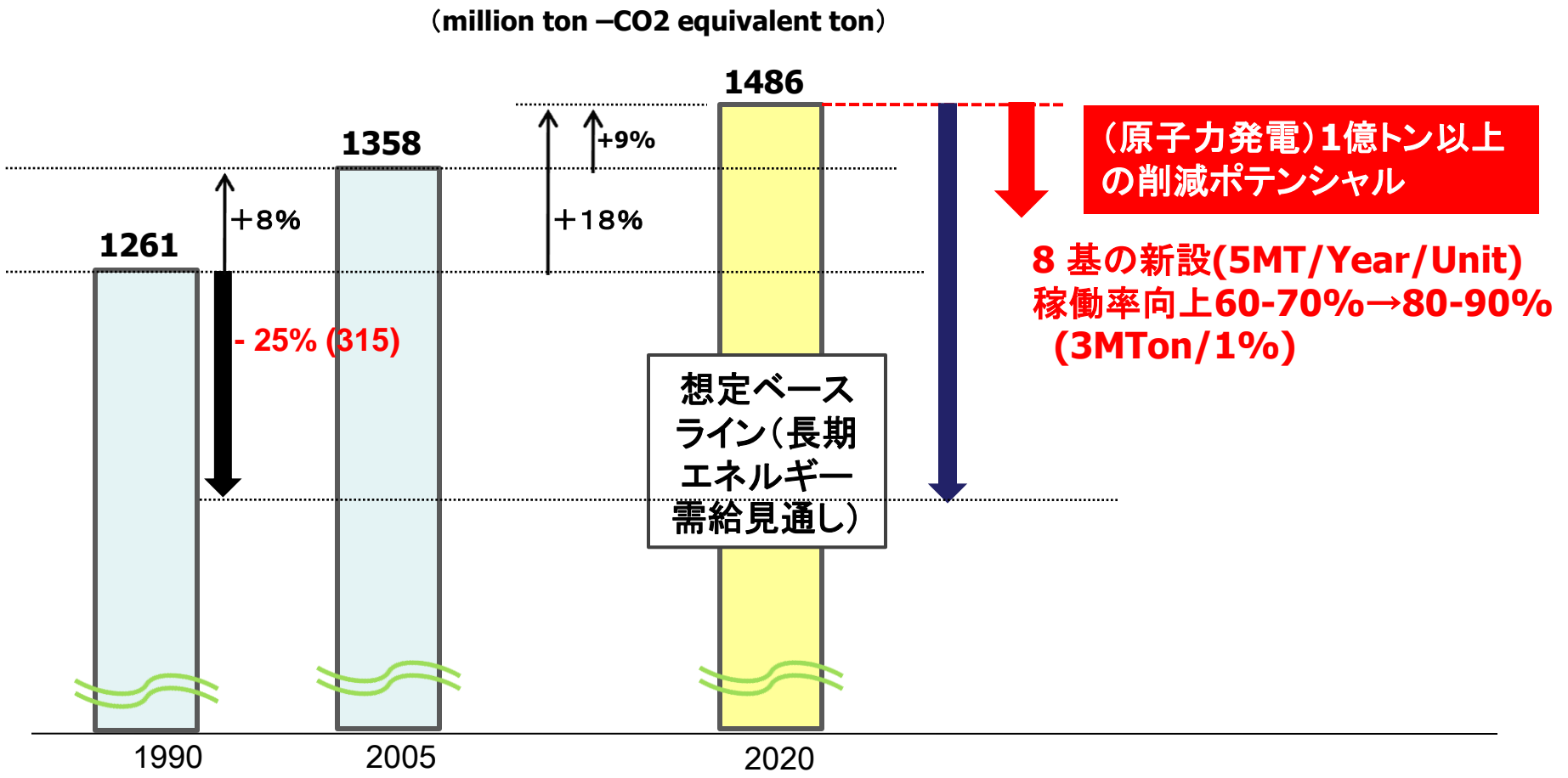


**風力発電(約600万kW) 155万トン削減**  
⇒ 日本の原発、約半年間、設備利用率1%向上に相当

**太陽光発電(約2800万kW) 372万トン削減**  
⇒ 日本の原発、約1年間、設備利用率1.2%向上に相当

⇒ 原子力は温室効果ガスを低コスト、かつ、大規模に削減できる

# 原子力発電のCO2削減への貢献ポテンシャル (日本のケース)

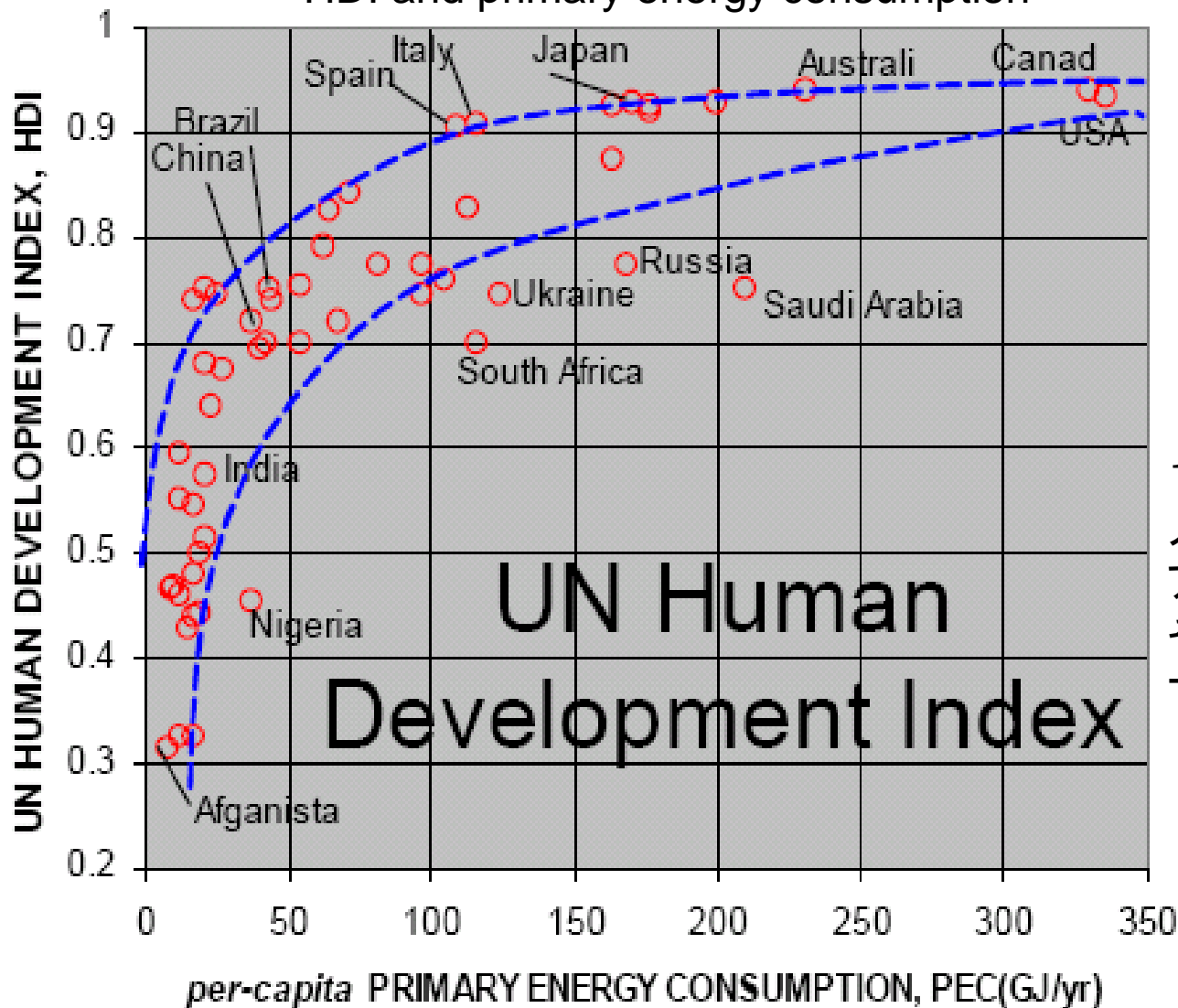


## 共通の理念と目標の設定

- 開発と環境との調和による持続可能な発展
  - Brundtland Report [Our Common Future, 1987]
  - **Sustainable Development**: “Development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs”
  - 社会、経済、環境の3つの次元
  - 国と世代を超えた平等の達成
  - そのための技術と制度の革新の必要性
  
- 2015年までに達成すべき**Millennium Development Goals**

AB. 開発途上国

HDI and primary energy consumption



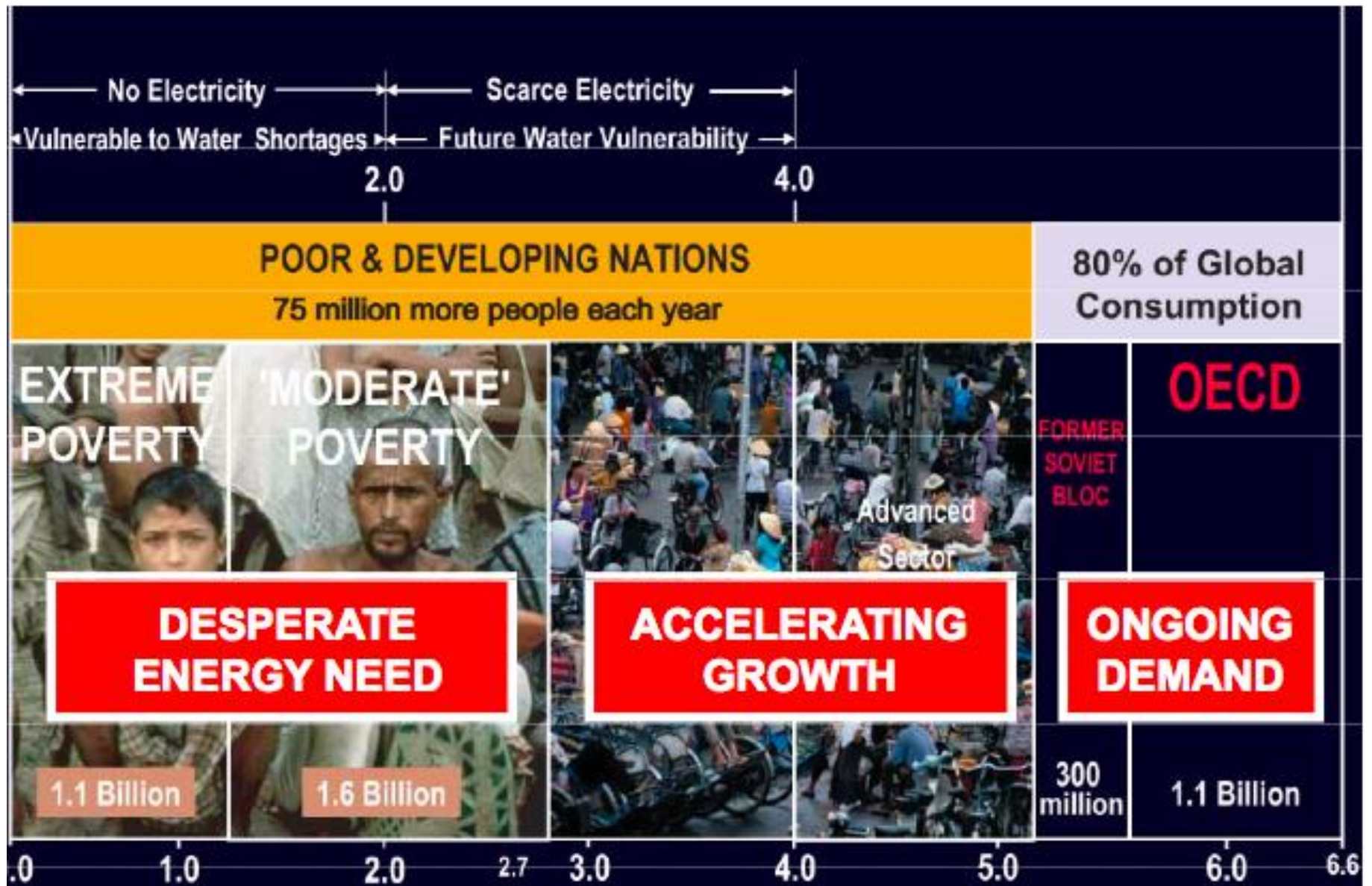
*HDI*  
comparative measure of poverty, literacy, education, life expectancy & others

Source: UN Human Development Index report, UNDP, 2000

16億人(世界の人口約69億人の1/4)は未だに電気へのアクセスなし  
その多くは、南アジアとサブサハラに居住

UN Human Development Index





- 国連のイニシアティブによるMillennium Development Goals (MDGs)達成
- 2000年のmillennium summitにて合意
- 貧困/飢餓/疾病の克服のために2015年に達成すべき目標提示
- 目標達成に地域差 ( India/China 達成 vs. サブサハラ未達成の見込み)
- MDG approach は 2015 年移行も温室効果ガス放出削減等を含み継続の可能性



**Goal 1: Eradicate extreme poverty and hunger**



**Goal 2: Achieve universal primary education**



**Goal 3: Promote gender equality and empower women**



**Goal 4: Reduce child mortality**



Millennium Summit  
September 2000



**Goal 5: Improve maternal health**



**Goal 6: Combat HIV/AIDS, malaria and other diseases**

- Target 6a: Halt and begin to reverse the spread of HIV/AIDS
- Target 6b: Achieve, by 2010, universal access to treatment for HIV/AIDS for all those who need it
- Target 6c: Halt and begin to reverse the incidence of malaria and other major diseases



**Goal 7: Ensure environmental sustainability**

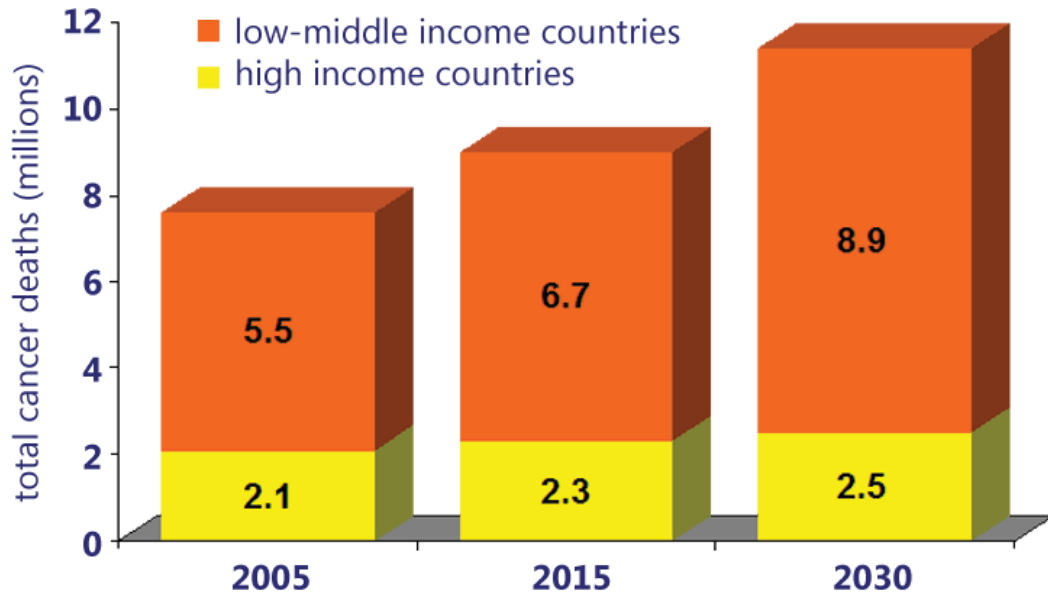
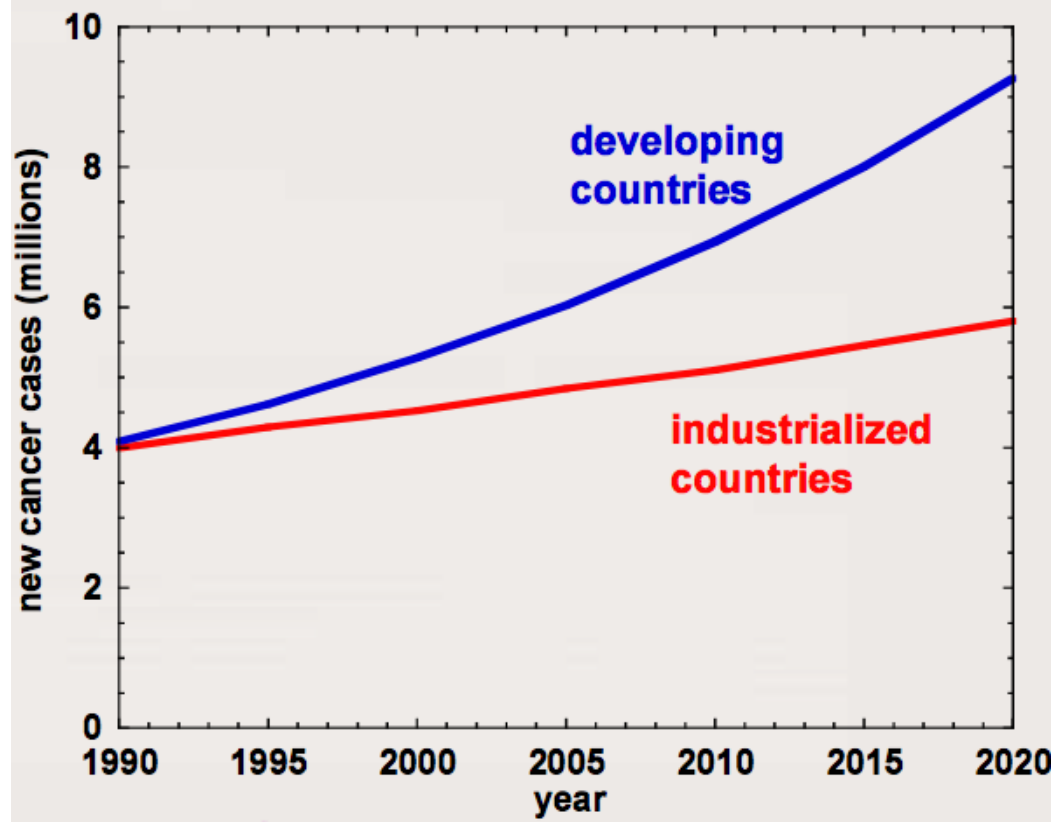


**Goal 8: A global partnership for development**

# AB. 開発途上国

エネルギーではないが原子力関連で

- ✓ 開発途上国における寿命延長の結果、癌の増加
- ✓ 開発途上国における癌のうち、2/3 は放射線による治療に馴染むと推定
- ✓ しかし、放射線による診断と治療設備の利用可能性は開発途上国では甚だ低い



SOURCE: WHO (2003)

放射線医療のアクセスの地域差  
(治療センターあたりの人口に大きな格差)

# ACCESS TO RADIOTHERAPY

pact@iaea.org



Radiotherapy is an essential part of the treatment of cancer

Over 30 African and Asian countries have no access to radiotherapy

There is a shortfall of over 5000 radiotherapy machines in the developing world

IAEA has initiated PACT to comprehensively address this urgent problem

Copyright 2006 American Cancer Society, Inc. / Reprinted with permission



## Availability of treatment

Number of people served by a single radiotherapy centre (latest available data 1995-2003)

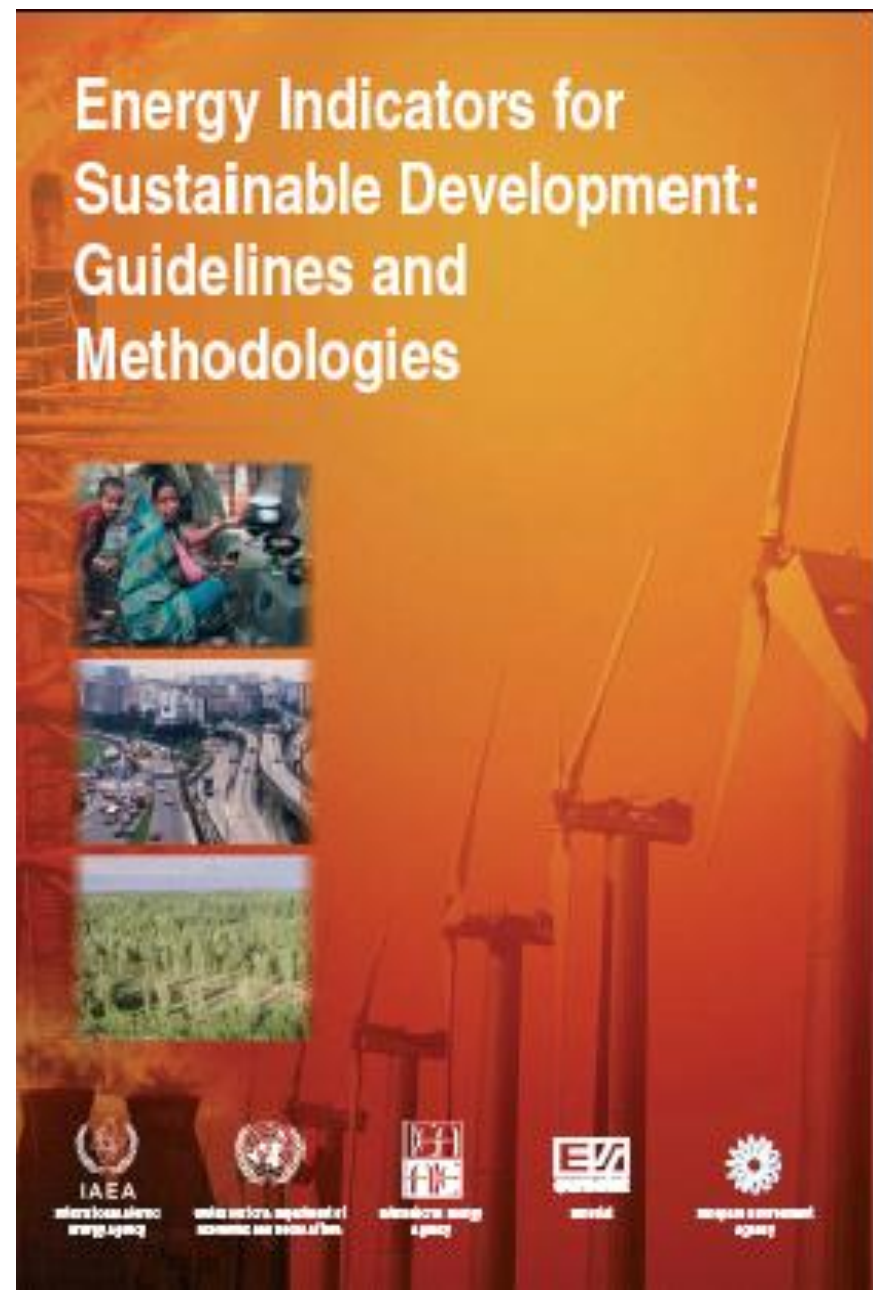
Dark Blue	below 500 000	Red	10-19.9 million
Blue	500 000-999 999	Orange	20 million and above
Purple	1-4.9 million	Yellow	no centre
Dark Red	5-9.9 million	Light Green	no data



Programme of Action for Cancer Therapy  
**PACT**

# エネルギー分野で持続可能な発展を実現するための評価指標 Energy Indicators for Sustainable Development (EISD)

➤現状を分析し、目標までの距離を測定し、目標到達の手段を考えるためのツール



“社会”領域

Theme	Sub-theme	Energy Indicator	
<p><b>Equity</b></p>	<p><b>Accessibility</b></p>	<p><b>SOC1</b></p>	<p>Share of households (or population) without electricity or commercial energy, or heavily dependent on non-commercial energy</p>
	<p><b>Affordability</b></p>	<p><b>SOC2</b></p>	<p>Share of household income spent on fuel and electricity</p>
	<p><b>Disparities</b></p>	<p><b>SOC3</b></p>	<p>Household energy use for each income group and corresponding fuel mix</p>
<p><b>Health</b></p>	<p><b>Safety</b></p>	<p><b>SOC4</b></p>	<p>Accident fatalities per energy produced by fuel chain</p>

“経済”領域

Theme	Sub-theme	Energy Indicator	
Use and production patterns	Overall Use	ECO1	Energy use per capita
	Overall Productivity	ECO2	Energy use per unit of GDP
	Supply efficiency	ECO3	Efficiency of energy conversion & distribution
	Production	ECO4	Reserves to production ratio
		ECO5	Resources to production ratio
	End-use productivity	ECO6	Industrial energy intensities
		ECO7	Agricultural energy intensities
		ECO8	Service / Commercial energy intensities
		ECO9	Household energy intensities
		ECO10	Transport energy intensities
	Fuel Mix	ECO11	Fuel Shares in energy and electricity
		ECO12	Renewable energy share in energy and electricity
	Prices	ECO13	End use energy Prices by fuel and by sector
Security	Imports	ECO14	Net energy import dependency
	Stocks	ECO15	Stocks of critical fuels per corresponding fuel consumption



“環境”領域

Theme	Sub-theme	Energy Indicator	
Atmosphere	Climate Change	ENV1	GHG emissions from energy production and use per capita and per GDP
	Air quality	ENV2	Ambient concentrations of air pollutants in urban areas
		ENV3	Air pollutant emissions from energy systems
Water	Water quality	ENV4	Contaminant discharges in liquid effluents from energy systems including oil discharges
Land	Soil quality	ENV5	Soil area where acidification exceeds critical load
	Forest	ENV6	Rate of deforestation attributed to energy use
	Solid Waste generation & management	ENV7	Ratio of solid waste generation per energy produced
		ENV8	Ratio of solid waste properly disposed to total generated solid waste
		ENV9	Ratio of solid radioactive waste per energy produced
		ENV10	Ratio of solid radioactive waste awaiting disposal to total generated solid radioactive waste

# B. 原子力を巡る世界の動きと課題への対応

BA. 稼働性能の向上

BB. 原子力発電への期待の高まり

- 2005年以降の大きな変化

- IAEAによる開発途上国の原子力導入支援

BC. 競争と協調

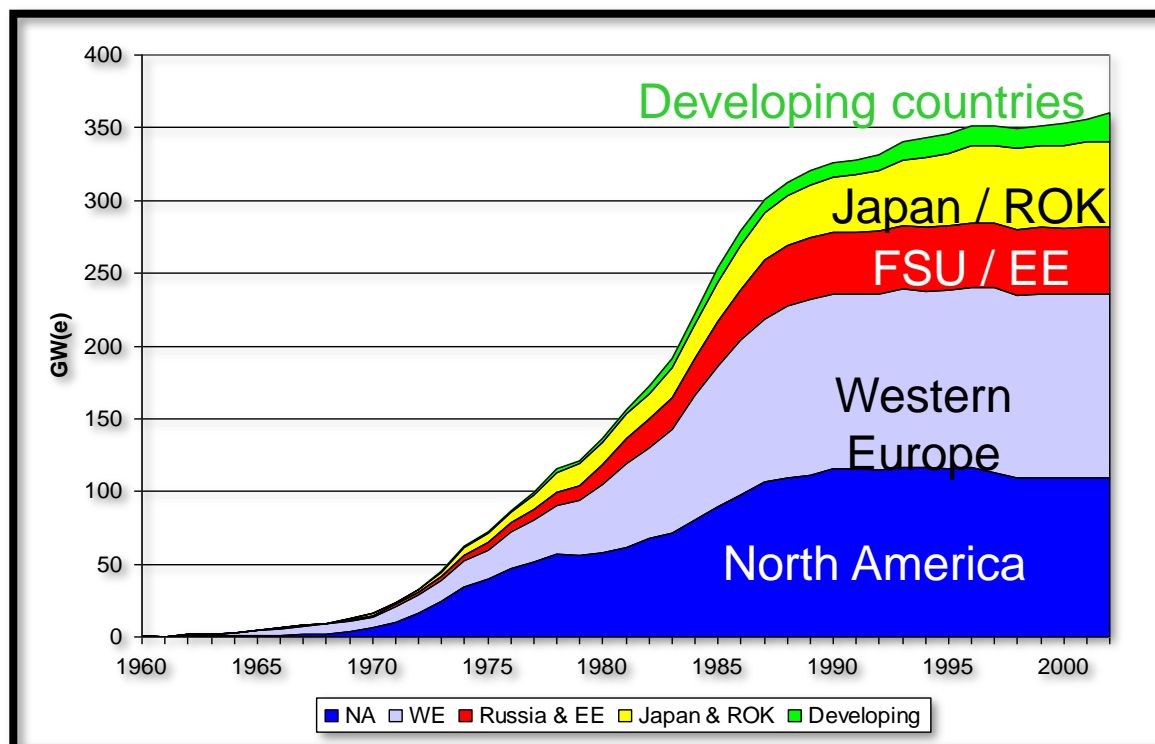
BD. セキュリティと核不拡散への関心の高まり

BE. Stakeholder involvement (国民参加と国民の理解)

## 原子力発電容量の変化

### 80年代後半から新たな容量追加の鈍化

- ✓ 電力ビジネスの自由化 → 短期資本回収指向
- ✓ 先進国における需要の鈍化 (節約と効率化の効果)
- ✓ TMI事故、チェルノブイル事故後の世論
- ✓ ロシア東欧での経済の混乱による建設中断

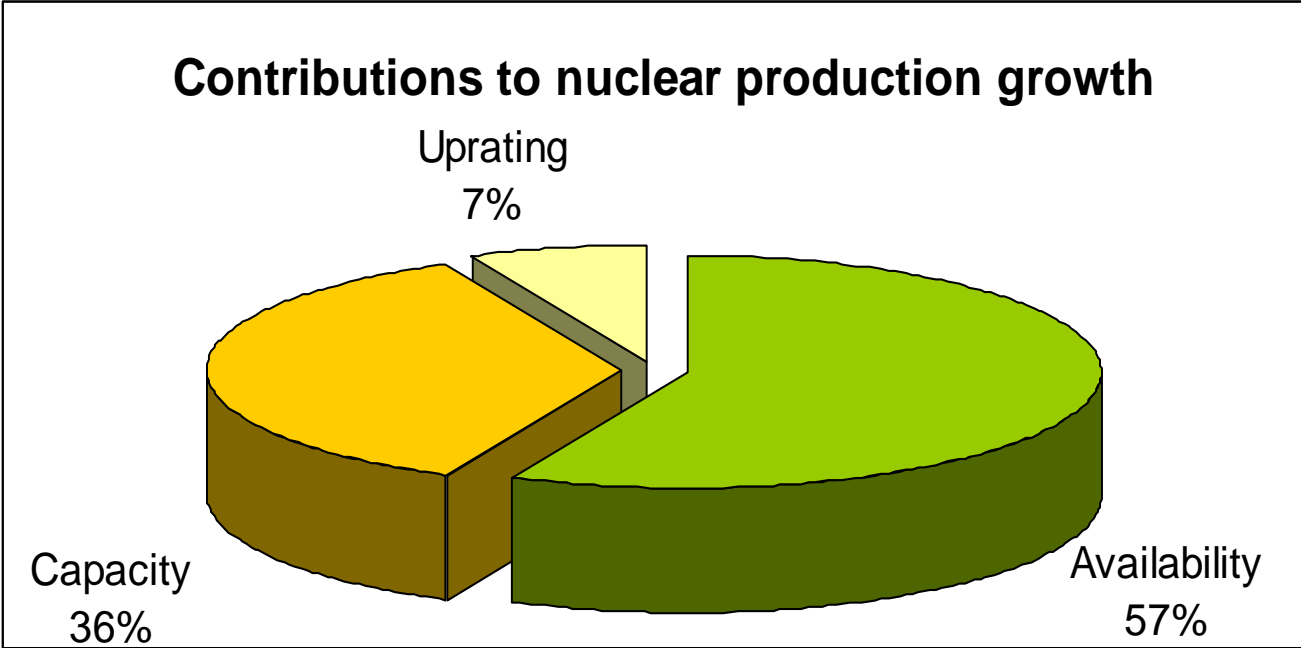


Source: IAEA

# 一方、原子力発電量の増加

□ KWe増は少なくとも、KWhrは1990-2005で40% 増加

Source: IAEA



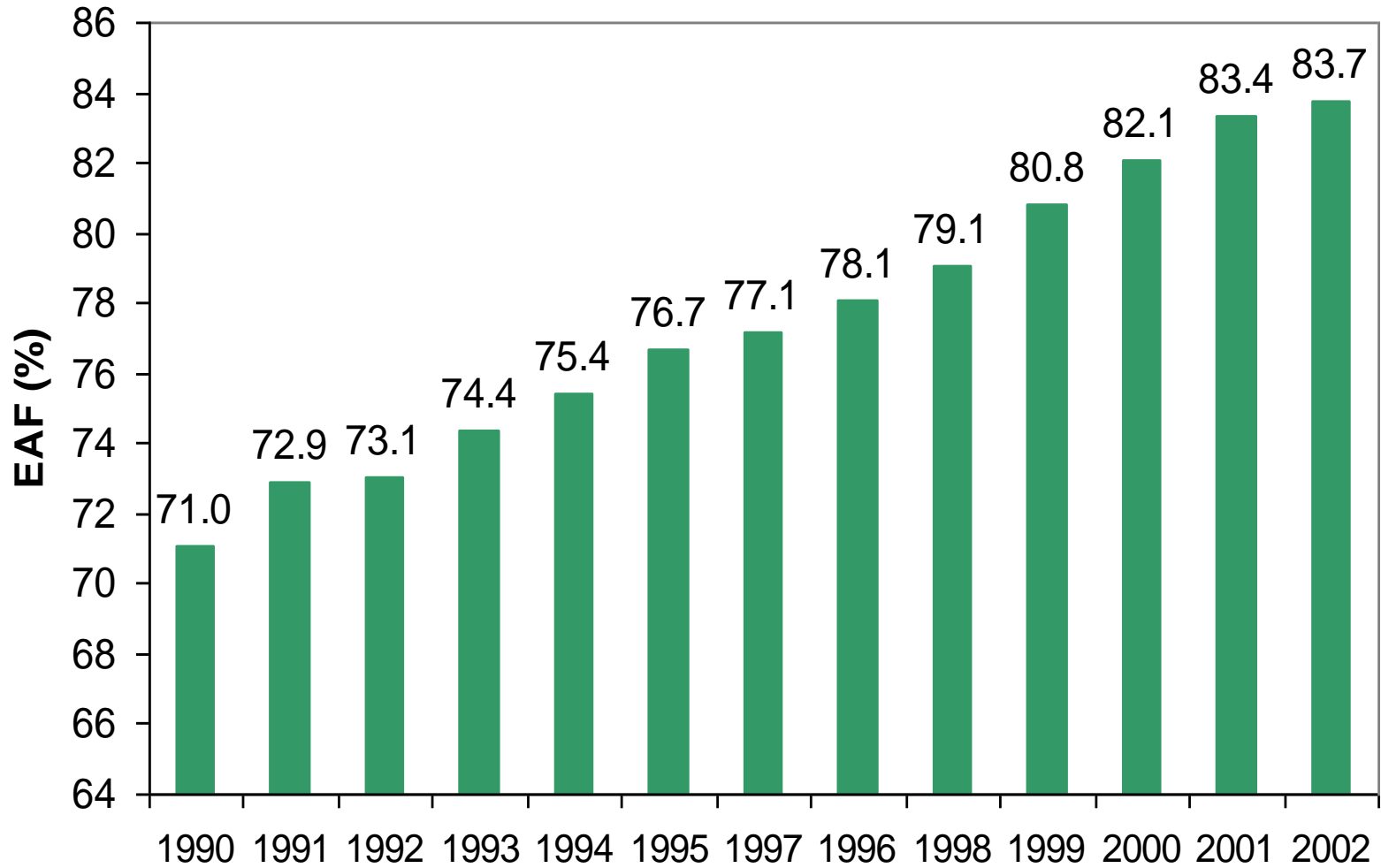
□ 理由

- ✓ベストプラクティスが普遍化するよう世界で情報共有(INPO, WANO, IAEA...)
- ✓米国で、優れた運転実績を持つ電力への吸収合併とリスクベースの規制

□ WANOによる安全指標も改善

「安全はビジネス(成功の鍵)」(米国)

# Energy Availability Factorは約1%/年のペースで改善されてきた



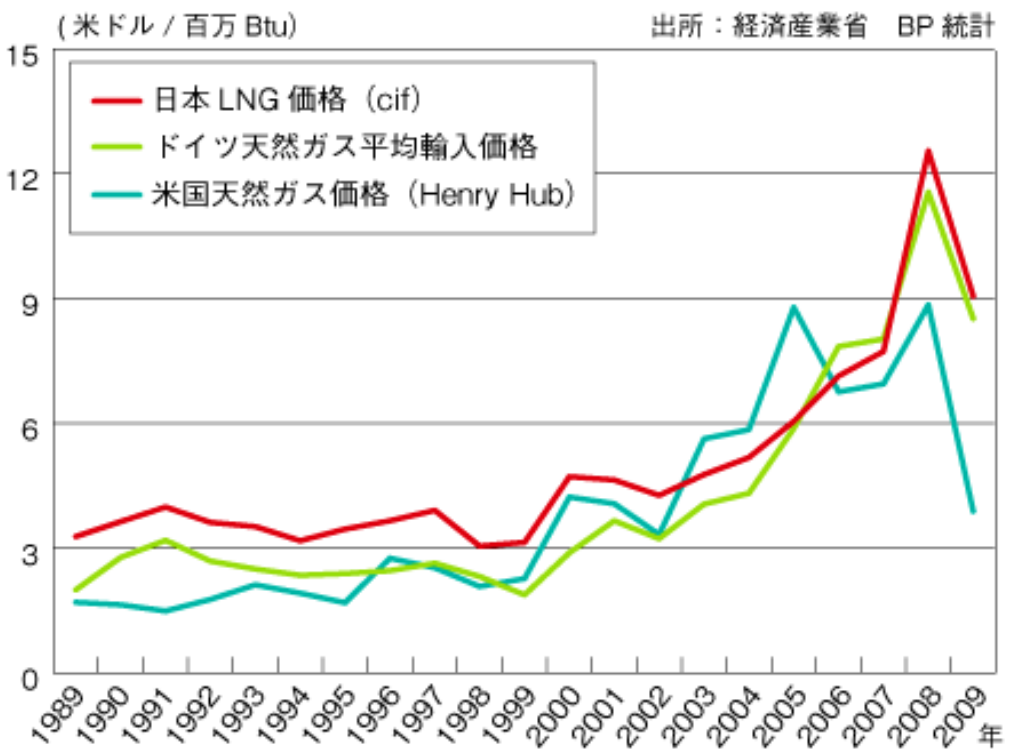
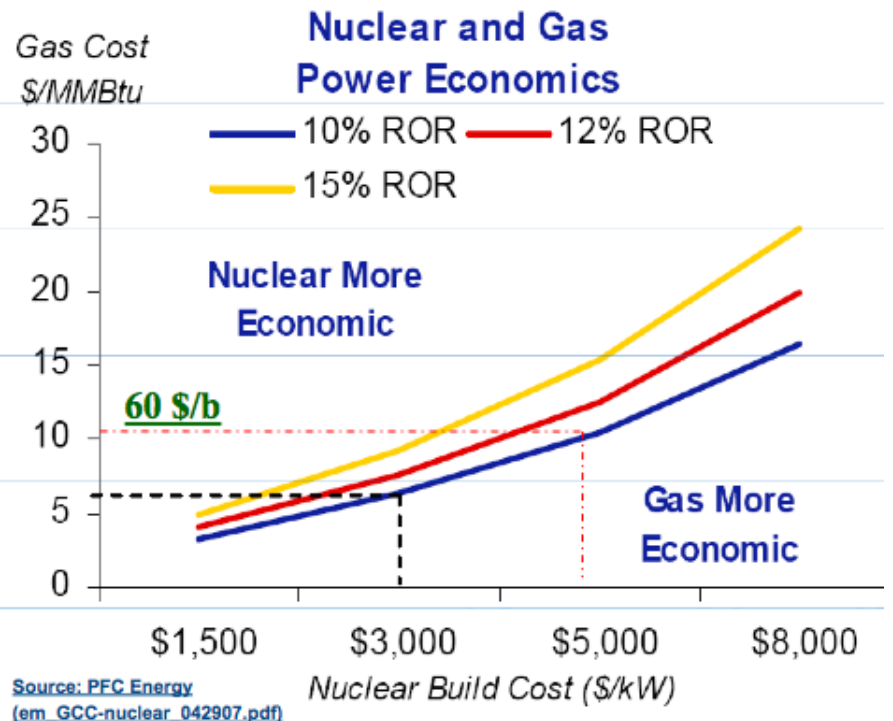
Source: IAEA

EAF is the ratio of the energy that the available capacity could have produced during this period, to the energy that the reference unit power could have produced during the same period

# BB. 原子力発電への期待の高まり

- 原子力発電50周年記念パリ会議(2005年)
- 開発途上国からの原子力発電への関心
  - 増大するエネルギー需要に対応
  - エネルギーセキュリティ、環境問題、変動する化石燃料価格に対処する上での重要なオプションとの認識
  - 近年の安全運転実績→信頼できる電源との認識

## <中東石油産出国における原子力への見方>



## Optimum path for meeting growing power demand in GCC (MENA)

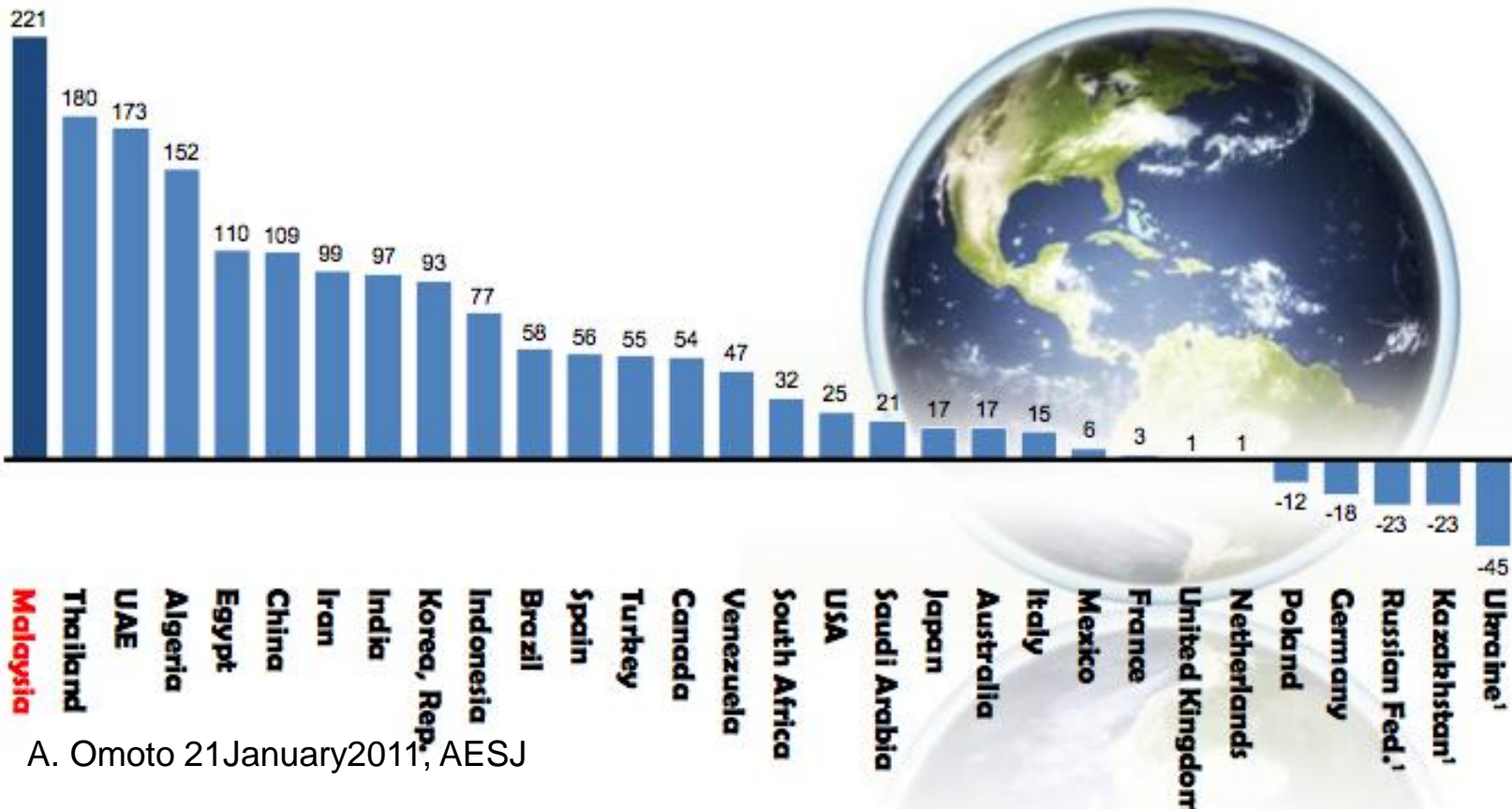
- For GCC/MENA countries, improved efficiencies represent the most cost effective way of meeting demand growth, potential ~ 30% of increment,
- Renewable has a good promise & must be encouraged but recognizing its limitation
- In addition to CCGT, IGCC for heavy and residual oil (MT) & renewable (LT), nuclear can be a viable economic part of the LT power mix to be pursued **but**
  - **long term commitment, is required for nuclear, &**
  - **only after developing and implementing requisite minimum infrastructure, including core of highly qualified manpower**

# <マレーシアにおける原子力への見方>

- ガス(60%以上)と石炭(30%)に依存した発電の現状: CO2放出削減の必要性認識
- ガスは30%輸入、インドネシアからの輸入に依存した石炭という現状: ガス火力の増設禁止、インドネシアは2015年以降輸出停止の意向
- 経済成長戦略の中で原子力発電を計画

## CO<sub>2</sub> EMISSION GROWTH OF KEY COUNTRIES (1992-2004)

Prime Minister of Malaysia announced at the 15<sup>th</sup> COP to the UNFCCC in Copenhagen on 17<sup>th</sup> Dec. 2009 for voluntary 40% reduction in carbon intensity of GDP by 2020 compared to 2005, with certain conditions.



A. Omoto 21 January 2011, AESJ



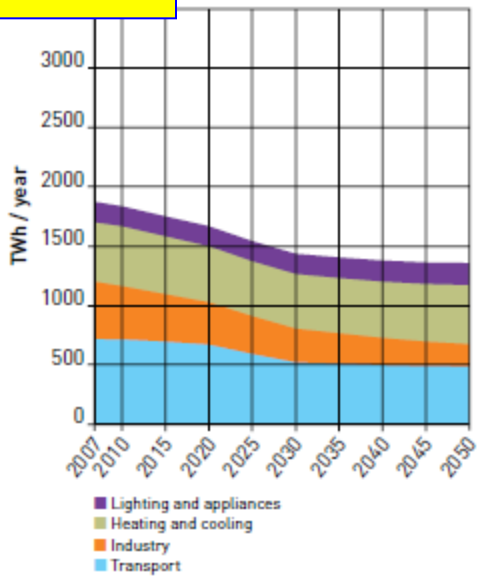
### ● 先進国でも

- エネルギーセキュリティ、環境問題、変動する化石燃料価格
- 自由化市場を含め原子力の競争力と安全実績→信頼できる電源との認識
- 技術の進化とそれへの確信→信頼できる電源との認識
- 社会システムを含めた変化: 許認可システム簡素化、北欧でのHLW処分場決定、WIPPの実現
- 原子力への回帰: 米国、英国、スウェーデン

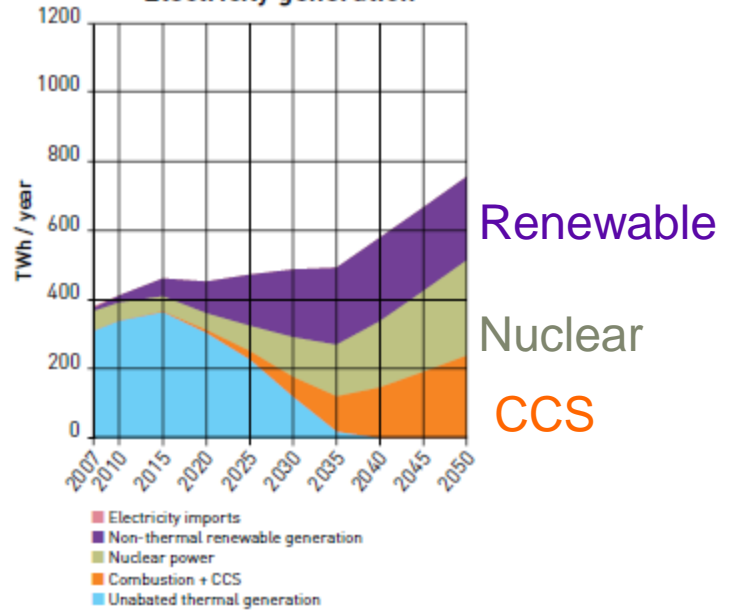
1. 英国はラクイアサミットで「拘束力の無い合意」となった「2050年に90年比でCO2排出量を80%削減」を法制化  
具体的にどのような方策でそれを実現するのかを2050 Pathwayとして公表
  - エネルギー需要はいずれのシナリオでもさして変化しないが暖房/輸送セクター/産業部門のエネルギー消費が電気に大きく傾くことでCO2削減
  - この結果、電力需要は2050年に現在の概ね2倍に
  - 発電源は、原子力と再生可能エネルギーとCCS (Carbon dioxide Capture and Storage)付き火力の増加を期待
2. 英国エネルギー・気候変動省(DECC)の電力市場改革案  
「気候変動対策」、「電力安定供給」「電力価格高安定化」の課題解決のために必要な再生可能エネルギー/CCS/原子力といういずれもKWeあたりの資本費の高いオプション大幅に導入する上では電力市場を変えなければいけない
  - 炭素税(Carbon Price Support)の導入
  - 低炭素排出電源に対する長期契約(Long term contracts)導入  
(長期電力価格を決め低炭素排出電源への投資リスクの低減を図る)
  - 発電所へのCO2排出原単位基準の導入
  - 予備率確保メカニズム(Targeted capacity mechanism)の導入

# BB. 原子力発電への期待の高まり

Energy demand



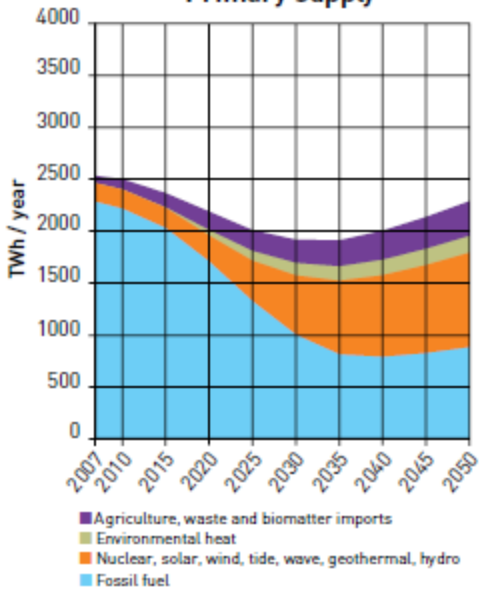
Electricity generation



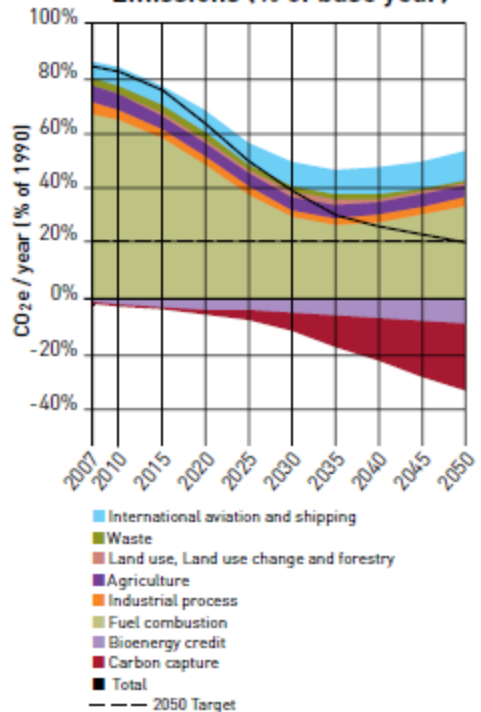
(英国のケース)

UK 2050 Pathways Analysis (July 2010)における6ケースの内  
の一つ

Primary supply



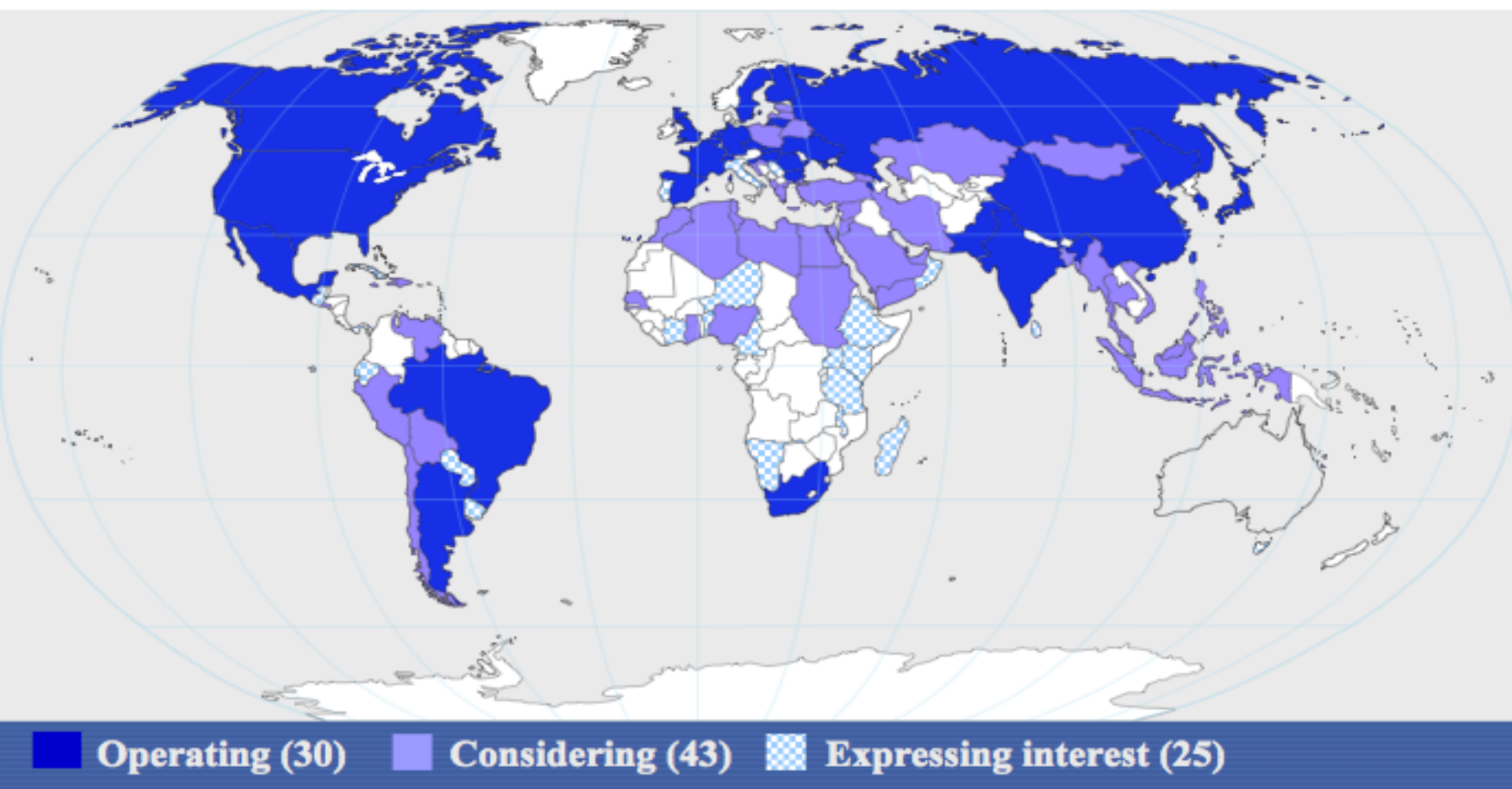
Emissions (% of base year)



## Trends in reactor design

- ❑ Design considering “User requirements”
- ❑ Design considering 60 years life
- ❑ Design for maintenance – online or during outage
- ❑ Design for easier & shorter construction
- ❑ Use modern technologies
  - digital control, modern man-machine interface,
  - computer-aided design
  - safety system design guided by PSA etc.
- ❑ Simplicity by reducing Nr. & rotating components
  - fewer and large components
  - passive systems  
(gravity, natural circulation, accumulated pressure etc.)
- ❑ Build safety into the design
  - increased margins
  - severe accident measures
- ❑ Complete and standardized designs with pre-licensing

# 原子力発電を実施している国、導入検討中の国



# BB. 原子力発電への期待の高まり

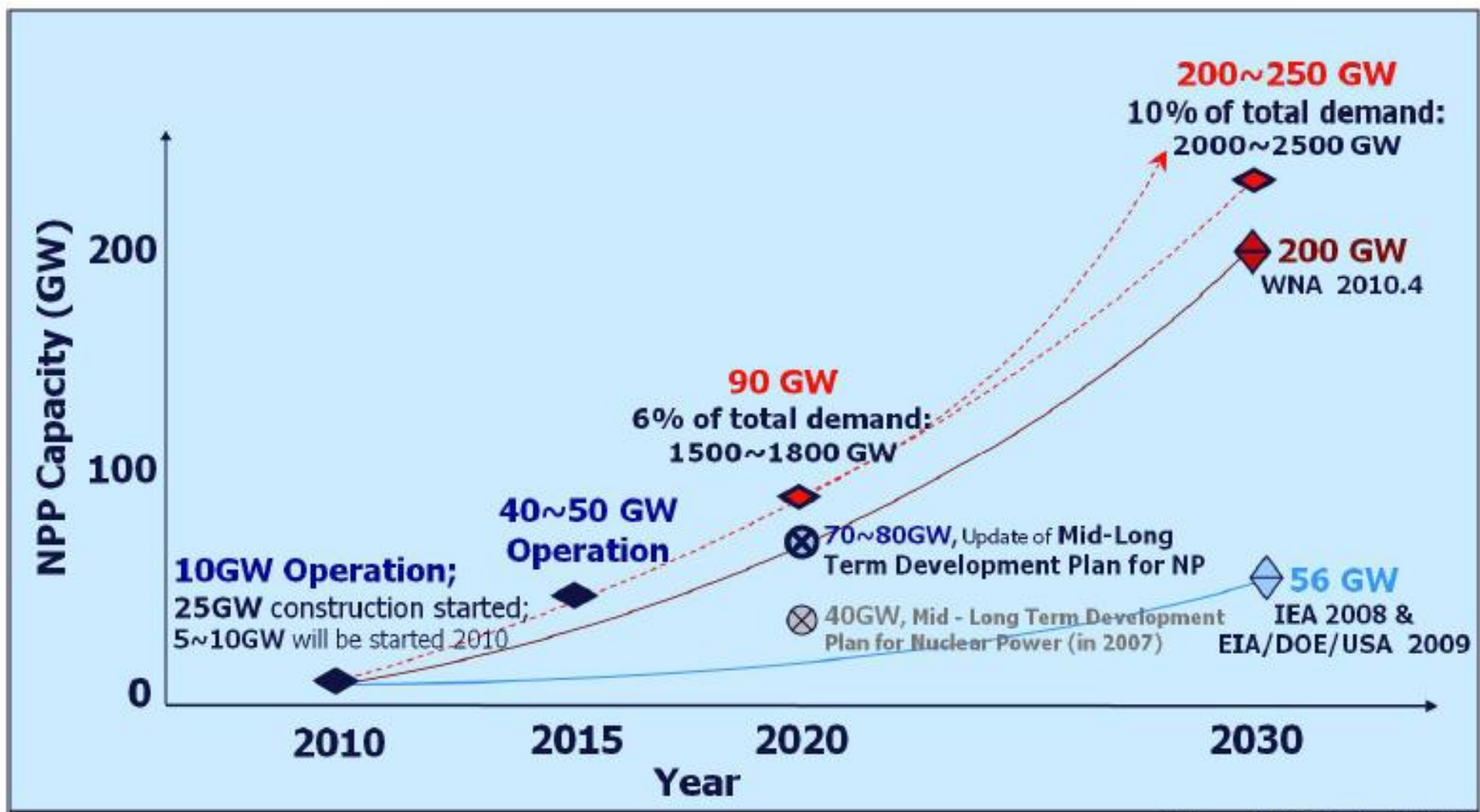
Position of countries with operating NPPs

Description of group	Number of countries
Intending to phase out nuclear plants when the current plants come to the end of their life or reach an agreed cumulative power output.	2
Reviewing energy needs and including nuclear as a potential option	5
Permitting new plants to be proposed but with no incentives	4
Supporting the construction of new plant/plants	5
New plant/plants under construction	13

Position of countries w/o operating NPPs

Description of group	Number of countries
Not planning to introduce nuclear power plants, but interested in considering the issues associated with a nuclear power programme <sup>6</sup>	31
Considering a nuclear programme to meet identified energy needs with a strong indication of intention to proceed	14
Active preparation for a possible nuclear power programme with no final decision	7
Decided to introduce nuclear power and started preparing the appropriate infrastructure	10
Invitation to bid to supply a nuclear power plant prepared	
New nuclear power plant ordered	2
New nuclear power plant under construction	1

BB. 原子力発電への期待の高まり- China-



2010年7月5日星期一

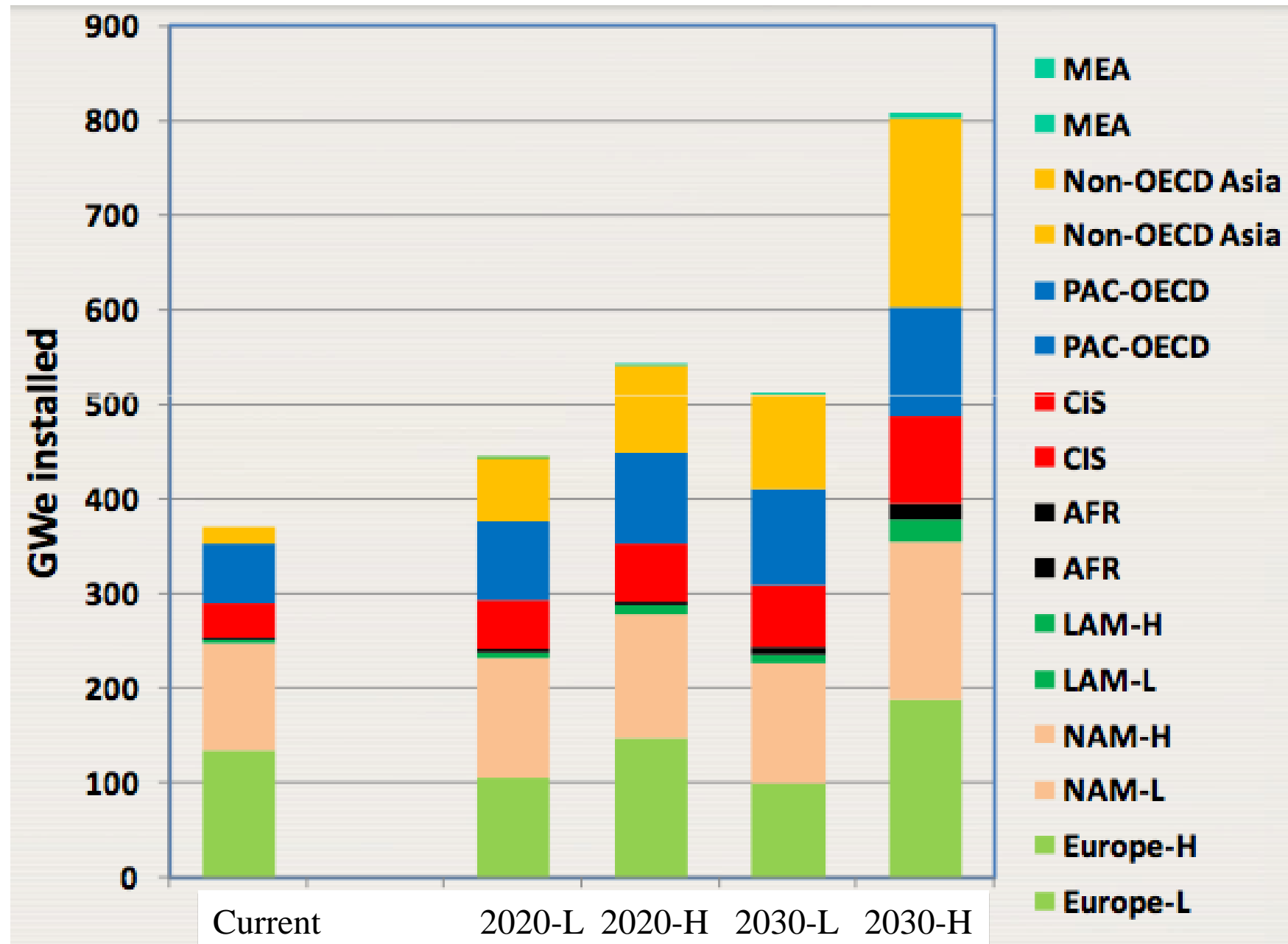
上海核工程研究设计院  
SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH & DESIGN INSTITUTE



SOURCE: Zheng Mingguang, SNERDI, icapp2010

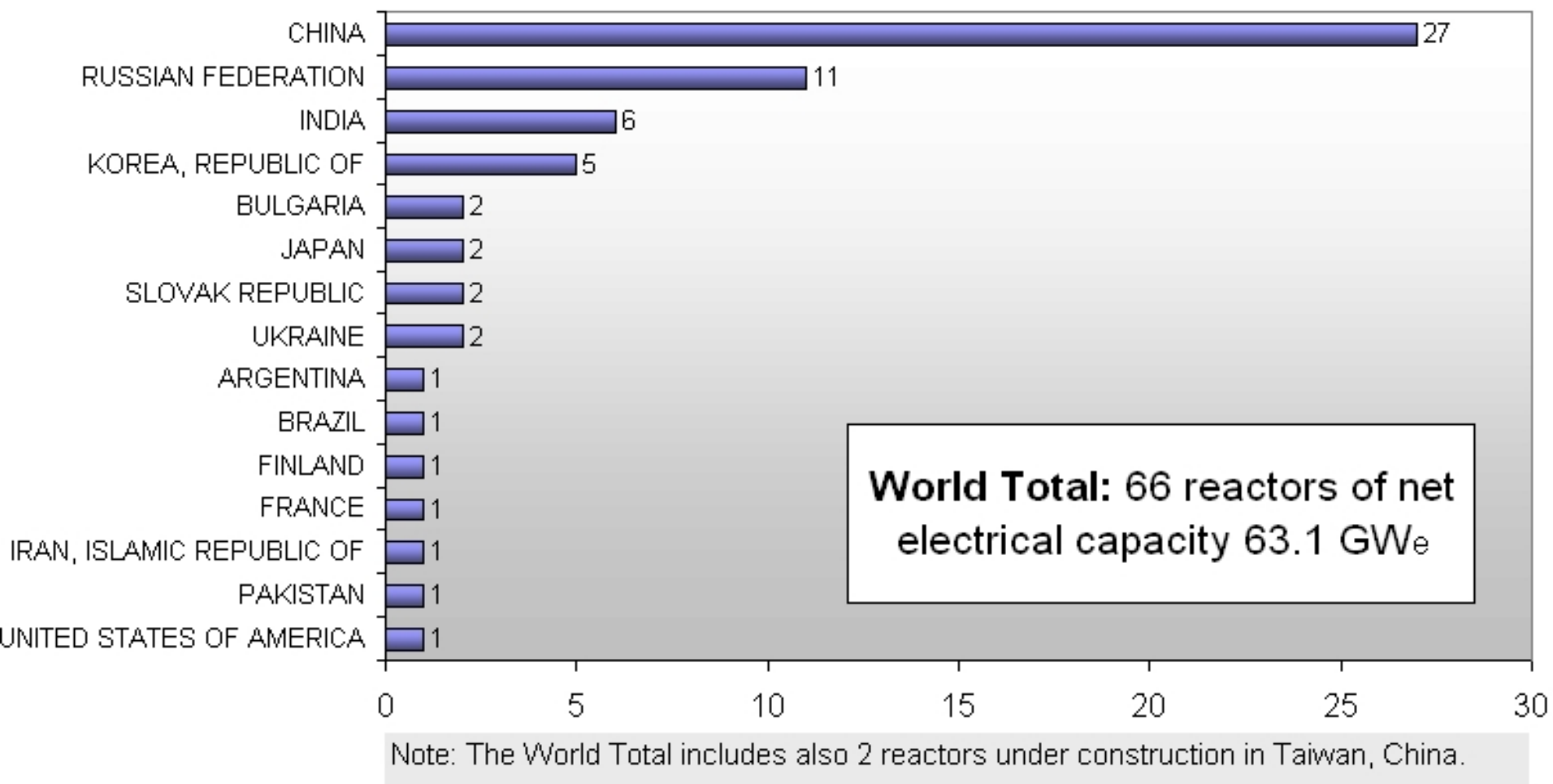
BB. 原子力発電への期待の高まり

IAEA Projection, RDS-1, 2010





## Number of Reactors under Construction Worldwide



Source: IAEA-PRIS

# 発電炉の建設着手

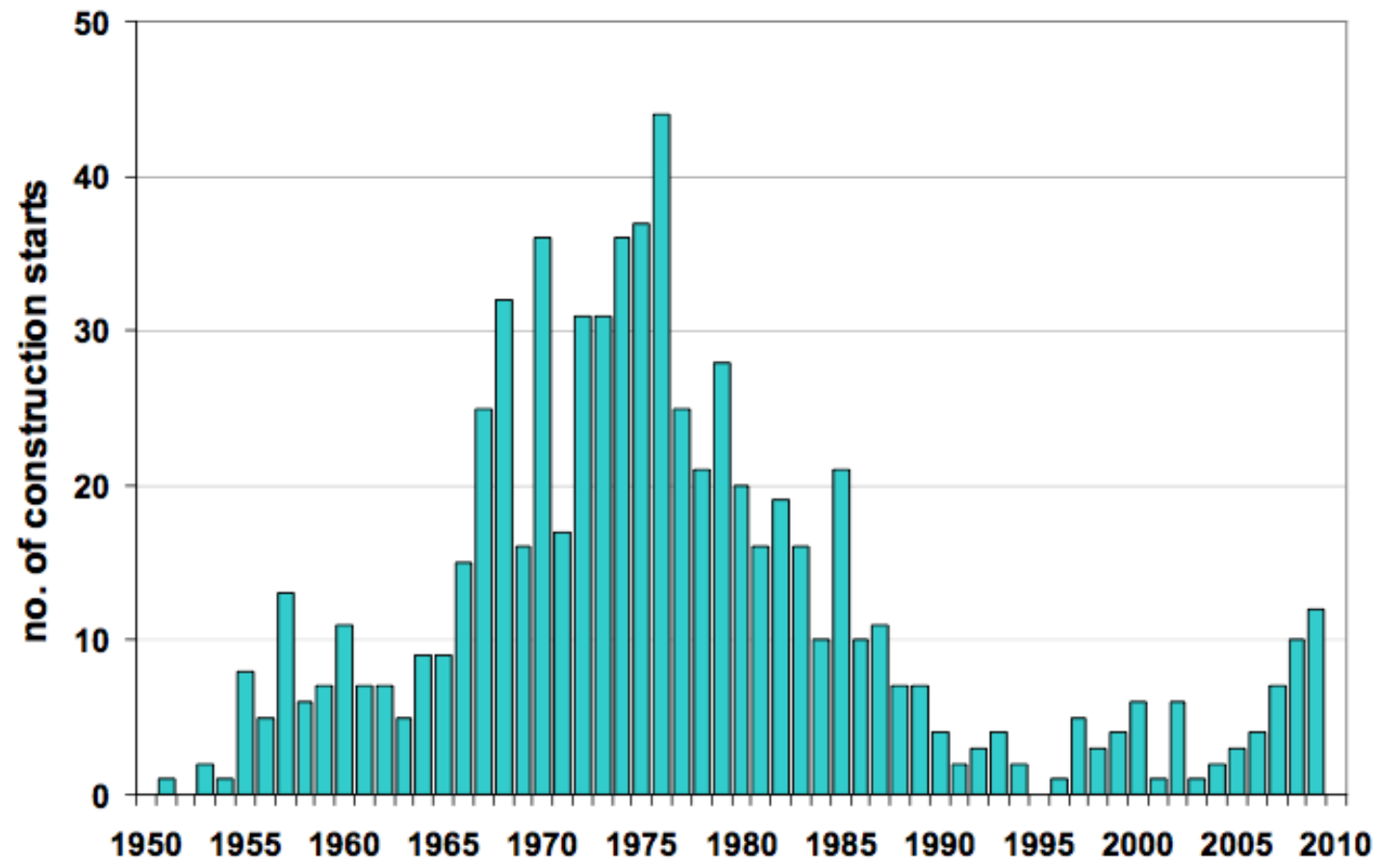


FIG. C-2. Construction starts of nuclear power plants by year. Source IAEA, 2010

IAEA status and prospect report on nuclear power, 2010

原子力発電の拡大とnew entrantsによる導入実現上の課題  
(IAEA status and prospect report on nuclear power, 2008)

1. 安全性と信頼性を確保した運転の継続実績
  2. 市場競争力とファイナンス
  3. 国民の理解
  4. ウラン供給
  5. 廃棄物のマネジメント
  6. 人材と産業基盤
  7. 核不拡散と原子力セキュリティ
  8. **New entrants** における**インフラ整備**
- 

## IAEAによる原子力発電導入計画中の国への支援

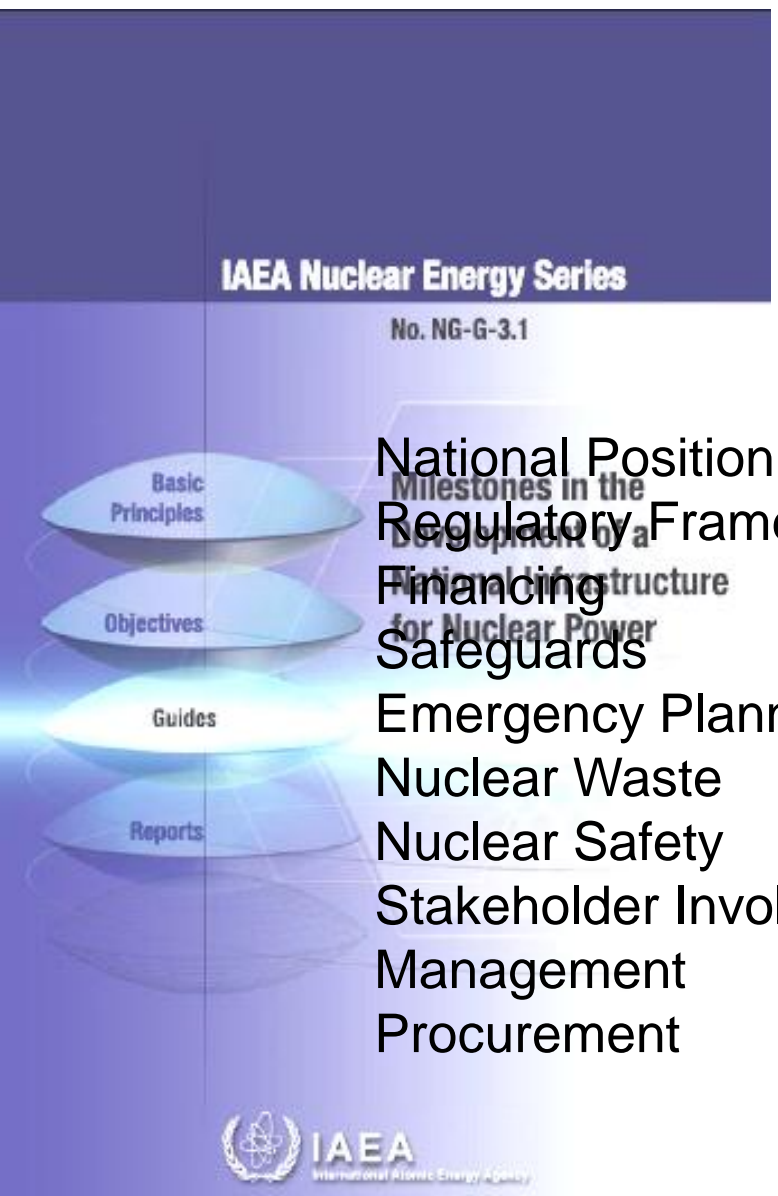
- 国別地域別の技術協力プロジェクトの一部として19項目全体に亘る基盤整備の包括的支援
- ガイダンス図書発行、国/地域/世界のワークショップ
- インフラ整備状況のレビュー  
(Jordan, Indonesia, Vietnam, Thailand)

## 課題

- 当該国における
  - ✓ バランスの取れた段階的发展
  - ✓ 強固かつ安定なコミットメント
  - ✓ 基盤整備(制度)+ownership/responsibility(意識)+ 透明性
- 地域協力のもとでの原子力発電導入
- 支援組織(IAEA/EC/WANO/bi-lateral) 間のコーディネーション
- IAEAにおける資源の不足

# New entrants の原子力発電導入のための基盤整備 指針(IAEA)

- 段階的な基盤
- マイルストーン達成のための条件を明確化

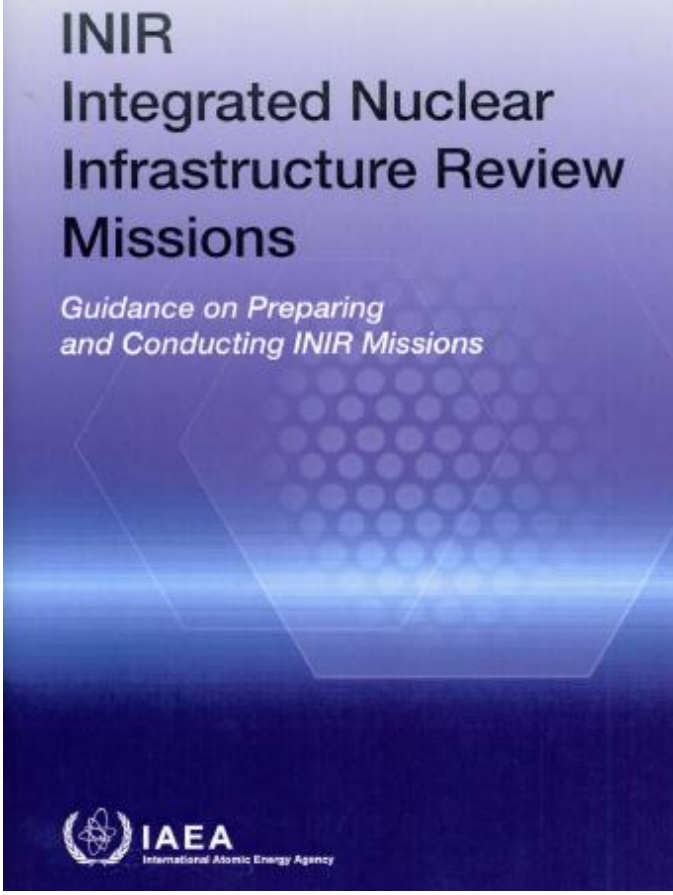
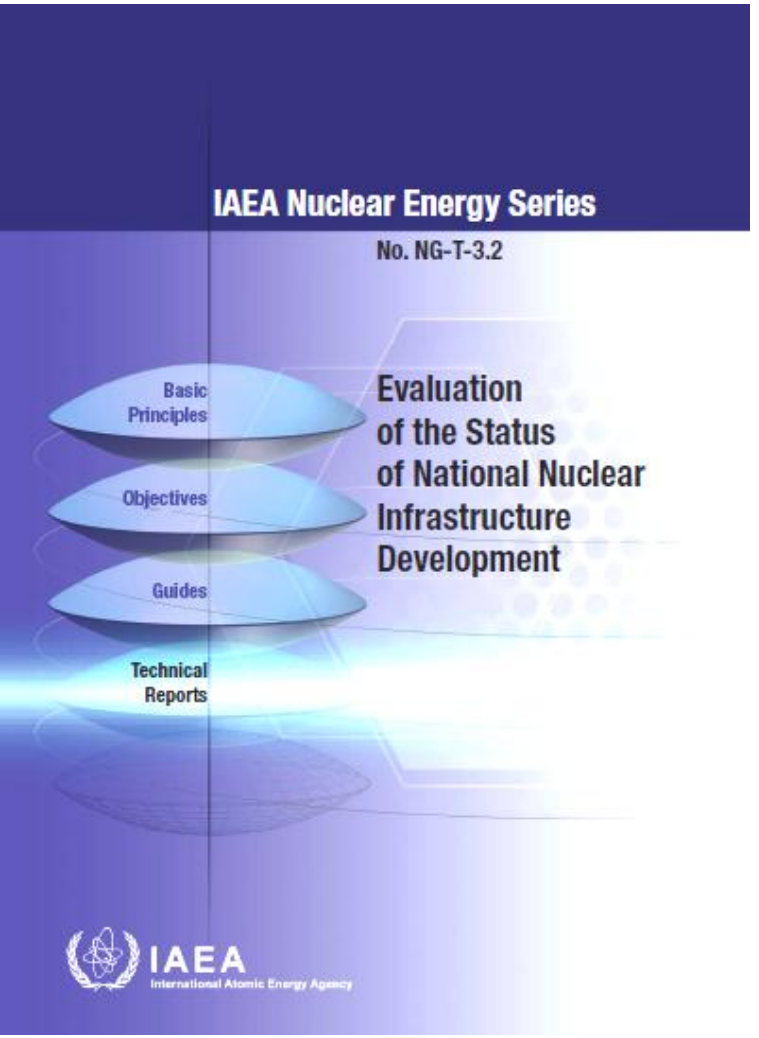


National Position  
Regulatory Framework  
Financing  
Safeguards  
Emergency Planning  
Nuclear Waste  
Nuclear Safety  
Stakeholder Involvement  
Management  
Procurement

Legal Framework  
Radiation Protection  
Human Resource Development  
Security and Physical Protection  
Nuclear Fuel Cycle  
Environmental Protection  
Sites & Supporting Facilities  
Electrical Grid  
Industrial Involvement

(Nuclear Energy Series NG-G-3.1)

# インフラ整備状況を評価



➤ IAEA による客観的な評価と結果の公開による国内外のconfidence buildingを期待

# グローバル化とネットワーク化

- 元々、原子力は世界との係わりの中で発展(技術移転、財輸出入)
- 近年起きたこと、今起きていることは、国境を前提とした国際化から国境を越えたグローバル化とネットワーク化の拡大
  - 1) ”Accident anywhere is accident everywhere”  
Chernobyl事故で世界の原子力は20年の停滞
  - 2) 多数の国が関与した核の闇市場の存在を認識
  - 3) 国境を越えたテロ活動→核セキュリティ強化(RI, 核物質, 施設)
  - 4) 運転経験とベストプラクティスの国際的な共有と事業者間競争による原子力発電所稼働率と安全指標の世界的な改善
  - 5) 原子炉供給者の国際的な再編と連携→グローバル企業
  - 6) 電気事業者の一部もグローバルな原子力発電事業
  - 7) 原子力教育の国境を越えた協力(ENEN, ANENT, (GNEN))
  - 8) 研究開発の協力拡大(GIF, ITER, 欧州のSNE-TP)
  - 9) WENRAによる欧州統一安全基準

# グローバル化とネットワーク化

## ネットワーク

(ネットワークの目的は多様)

- 支援
- 情報共有
- ベストプラクティスの普遍化
- 効率
- 相互監視

(ネットワーク化が進まない部分の例)

- 制度と標準/規制基準(欧州はWENRAによる安全規制標準化)
- 廃棄物(しかし、中近東での地域ソリューション検討も)



# 一方で国家間の熾烈な競争

一方で

- 資源を巡る国家間の争奪戦と投機

  - エネルギーセキュリティと化石燃料価格変動

  - 70に近い開発途上国の原子力発電導入検討の誘因

それによる

- 開発途上国市場獲得に供給国の熾烈な競争

- 燃料サイクル拡散への懸念→グローバル制度設計の動き

**BB. 競争と協調**

核分裂に関するR&DDと廃棄物処分を欧州レベルで産官学が協調して推進するためのSNE-TP (2007年から開始、17カ国75機関が参加)

**Utilities**



**Technology Providers**



**Consultancy/Other industry**



**TSO**



**Research Organisations**



**Universities**



**NGO**



**EU Organisations**



(CASL: The Consortium for Advanced Simulation of Light Water Reactors (US-DOE))

# The CASL Team: A unique lab-university-industry partnership

## Core partners

Oak Ridge  
National Laboratory

Electric Power  
Research Institute

Idaho National Laboratory

Los Alamos National Laboratory

Massachusetts Institute  
of Technology

North Carolina State University

Sandia National Laboratories

Tennessee Valley Authority

University of Michigan

Westinghouse Electric Company



## Individual contributors

ASCOMP GmbH

CD-adapco, Inc.

City University of New York

Florida State University

Imperial College London

Rensselaer Polytechnic Institute

Southern States Energy Board

Texas A&M University

University of Florida

University of Tennessee

University of Wisconsin

Worcester Polytechnic Institute

Building on longstanding,  
productive relationships  
and collaborations to forge  
a close, cohesive,  
and interdependent team  
that is fully committed  
to a well-defined plan of action

## Networking coordinated by the IAEA in the area of waste technology

- International Network of Underground Research Facilities for **Geological Disposal**
  - Established in 2001
- International **Decommissioning** Network “*IDN*”
  - Established in 2007
- International Network of **LLW Disposal** “*DISPONET*”
  - Established in 2009
- International Network of **Environmental Remediation** “*ENVIRONET*”
  - To be established in 2010



# 原子力教育のための地域ネットワーク

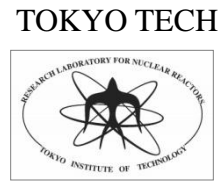
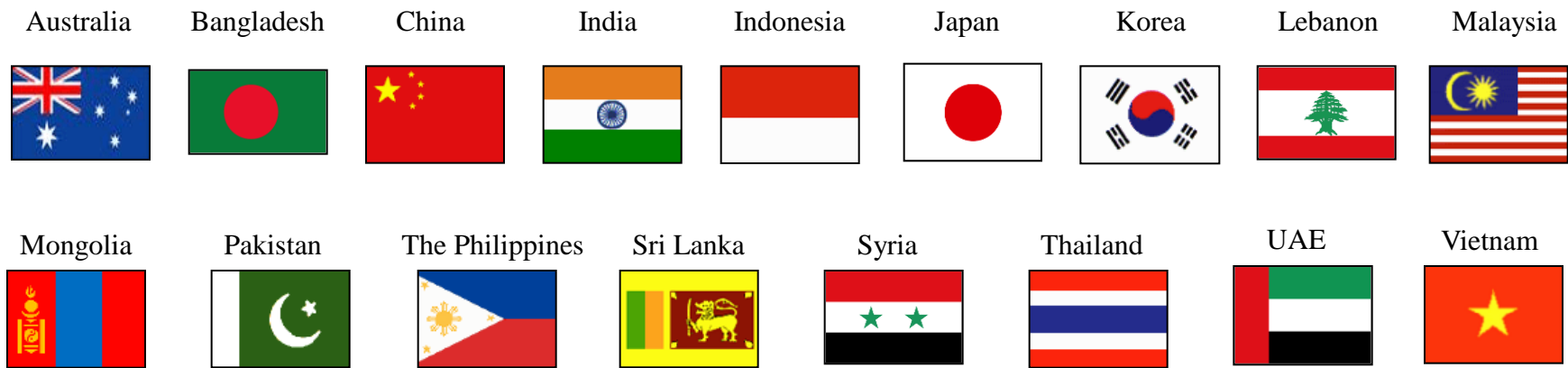
## ANENT

(Asian Network for Education in Nuclear Technology)

- 2004年よりアジアでの原子力教育のための地域協力
- 教材やカリキュラムの標準化、distance-learning
- 17カ国の参加(日本は2010Decに参加)



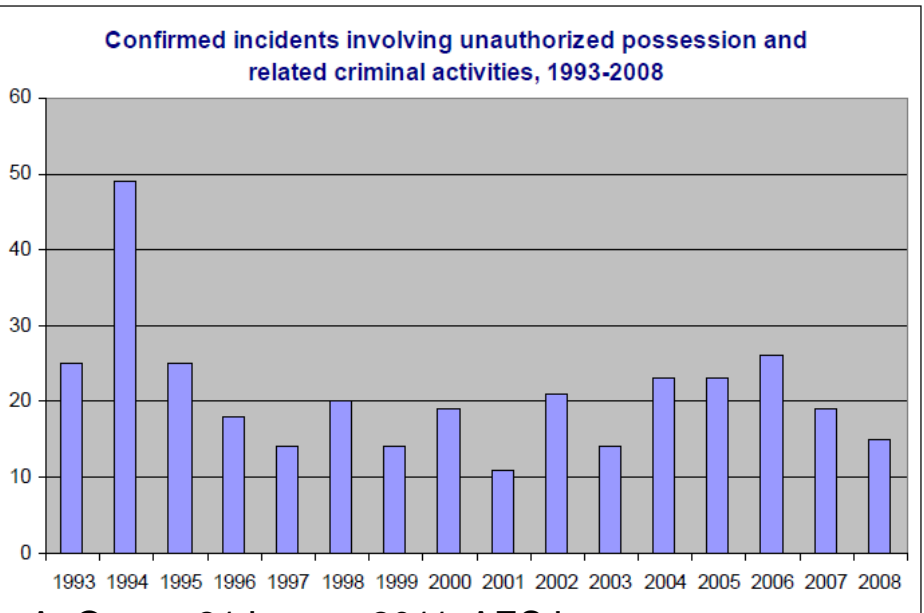
欧州ENENは歴史も規模も大



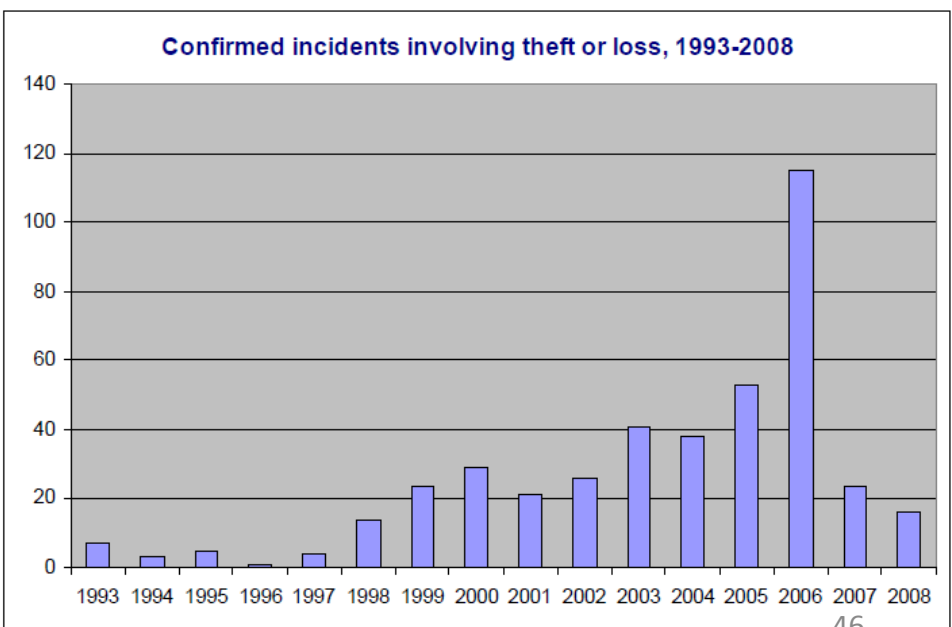
# 核セキュリティ

- 国境を越えたテロリストのか活動が原子力に及ぶおそれ→IAEA Security fund
- 核セキュリティサミット(2010.4)と日本の協力の明確化
- ①妨害破壊行為に対する物的防護と行為者の処罰に至る一連の国の措置、②国境管理の取組、③国の統制が及ばない国際組織活動への国際的対処必要
- IAEA: INFCIRC/225 Rev5 策定, Data collection, Publication (Nuclear Security Series), review services
- セキュリティ教育による啓発と専門家育成必要(大学レベルではINSEN)

IAEA Illicit trafficking database



A. Omoto 21 January 2011, AESJ



Increase in 2006: due to reporting standard change

# 核拡散

- 90年代以降の様々な疑惑と実際のケース
  - イラクによる核開発疑惑とこれを契機とした追加議定書による強化案
  - 北朝鮮のNPT脱退と核実験、濃縮技術開発
  - リビアによる核開発とこれに係るnuclear black marketの発覚
  - イラン/シリアによる核開発疑惑
- 原子力発電の拡大自体は核拡散に繋がらないが、サイクルの機微技術
- 様々な「国際的な監視と管理と供給保証」と「民主的な安定政権」による不断の核不拡散努力
  - IAEA加盟の非核保有国は査察受入義務、査察能力は追加議定書で強化
  - 技術移転や核燃料物質の供給：NSG(Nuclear Suppliers Group)が国によって輸出対象として適切かどうかを判断し、技術と物質の移転を管理
  - 二国間協定で輸出された機器の平和利用担保
  - IAEAのセーフガードに関する活動に協力的でない等の場合には、国連安全保障理事会決議による制裁も
  - 80を超える国が参加しているPSI(Proliferation Security Initiative)各国が拡散防止に関する技量を示し訓練)。2003年末に発覚したリビアむけの「核の闇市場」はPSIで発覚

# 燃料サイクルの機微部分の国際管理と供給保障

- 原子力発電の拡大と核不拡散を両立させるためのグローバルな仕組み提案
  - ✓MNA (Multi-lateral Nuclear Approach) (M. ElBaradei, 2003 Oct)
  - ✓GNPI (Global Nuclear Power Infrastructure ) (Russia, 2006 Jan)
  - ✓GNEP (Global Nuclear Energy Partnership ) (USA, 2006 Feb)
- 以前よりINFCE等幾つかの提案と共同研究
- Pellaud 報告(2005 March)
- 燃料バンク構想の承認: IAEA 2009/Nov, 2010/Nov理事会

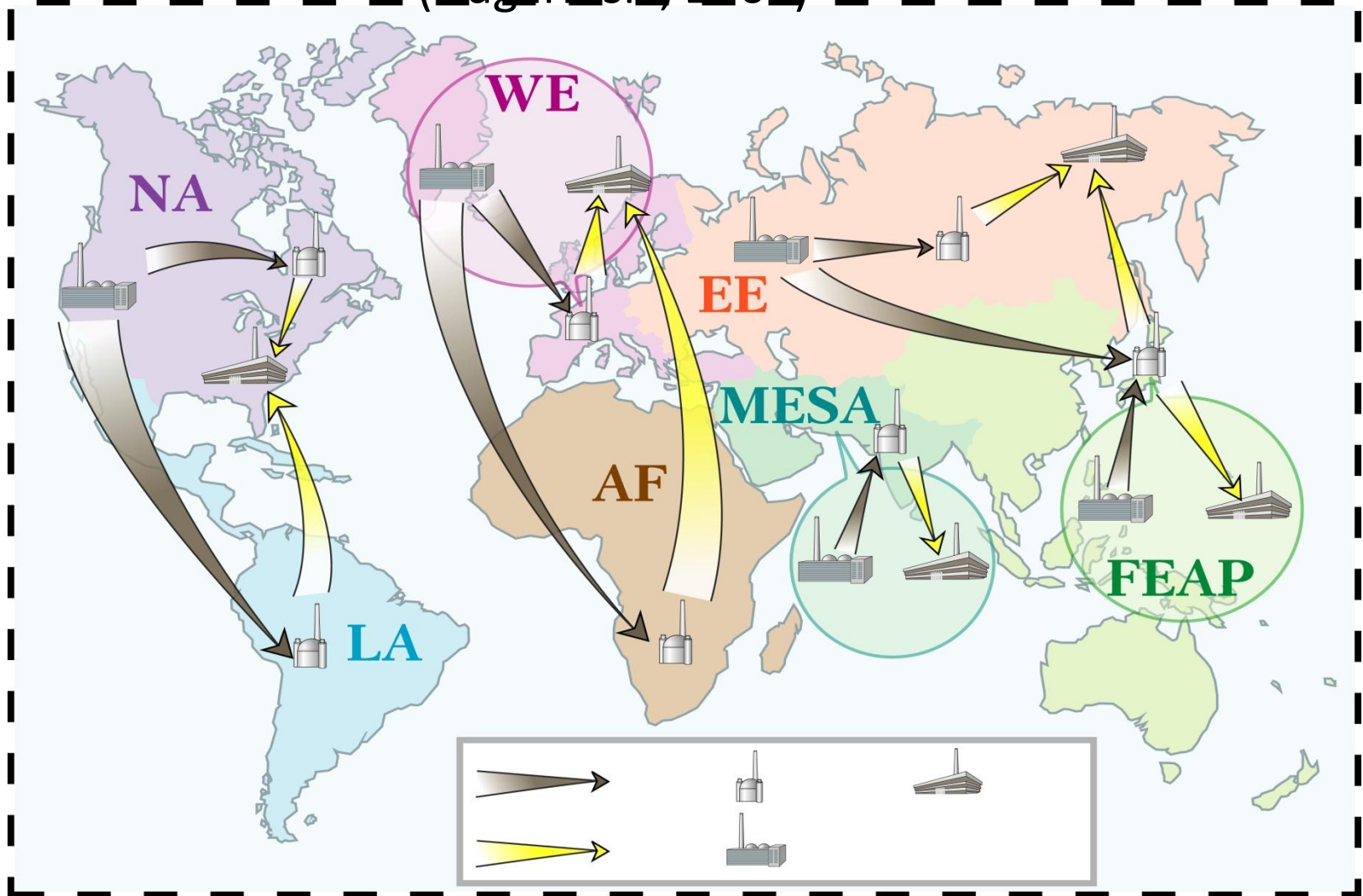




# Potential exists for regional FC center

Manufacturing and Flows of Fresh & Spent Fuel in 2100

(Gagarinski, 2005)



# 先進国ではStakeholder involvementが政策を決定する上で不可欠な要素に

### ● Stakeholderの定義

Any institution, group or individual with an interest in or a role to play in a societal decision making process

### ● Stakeholder involvement は意思決定プロセスの一部

●Stakeholder involvement は情報共有、対話、意思決定の為の検討を含み、適切な政策の形成と実施に有用であるべき

● Stakeholder involvement は‘パブリック リレーションズ’、イメージの形成、あるいは、既に別途決められたことの容認のための手段と考えるべきでない

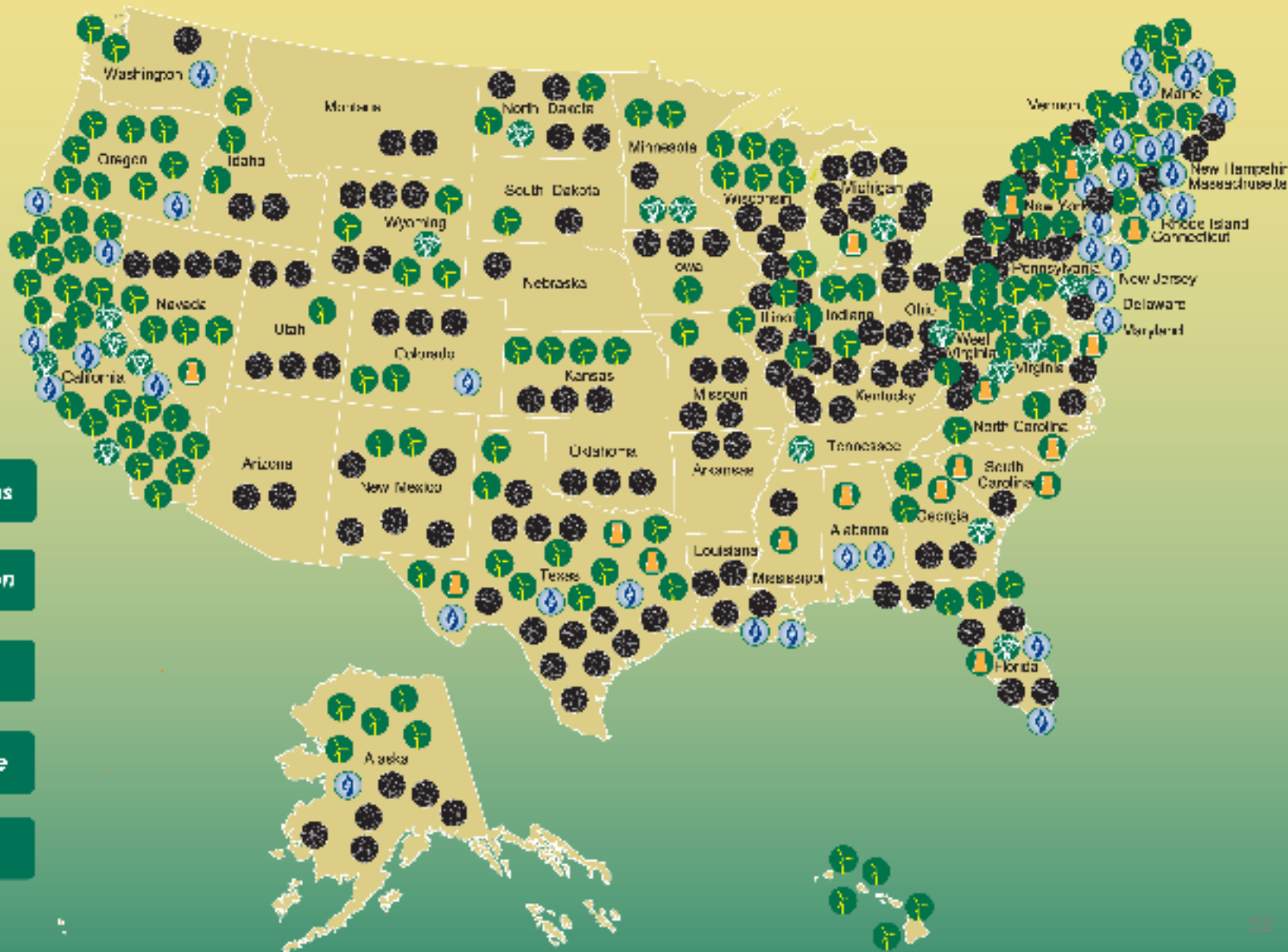
SOURCE: OECD/NEA






- あらゆる技術にはリスクを伴うが、“リスクを伴う”という見方が強い技術の利用において
  - 事前のTechnology assessmentの動き
  - 影響を受ける国民によるInformed-decision-makingのプロセス
- “Informed“が充分なされない場合の公衆のリスク認識:
  - Technological risk judged by “Dread” and “Unkown” (Slovoc)
  - Bias on low-frequency-high-consequence event
- 公益と私権との間の緊張
  - Case studies in “Site conflict”
  - NIMBY/NOPE/BANANA/ CAVE (“Project No Project”)



# Project ~~No Project~~

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



-  Natural Gas
-  Transmission
-  Coal
-  Renewable
-  Nuclear

# International Nuclear event Scale (INES)

People and Environment

Radiological Barriers & Control

Defense-in-depth

**7** Major release

**6** Significant release

**5** Limited release  
/ Several deaths

**4** Minor release  
/ One death

**3** Very small release  
/ Exposure > 2~300 mGy

**2** Exposure >  
Statutory limit

**1**

**0**

Severe damage

Fuel melt or damage

Exposure > 1Sv/hr  
(operating area)  
/ Severe contamination

Radiation level >  
50mSv/hr (operating area)  
/ Significant contamination

Near accident

Significant failure

Beyond  
Operation limit

Level, Descriptor	Off-Site Impact	On-Site Impact	Defence-in-Depth Degradation	Examples
<b>7 Major Accident</b>	Major Release: Widespread health and environmental effects			Chernobyl, Ukraine, 1986 (fuel meltdown and fire)
<b>6 Serious Accident</b>	Significant Release: Full implementation of local emergency plans			Mayak at Ozersk, Russia, 1957 (reprocessing plant criticality)
<b>5 Accident with Off-Site Risks</b>	Limited Release: Partial implementation of local emergency plans, or	Severe damage to reactor core or to radiological barriers		Windscale, UK, 1957 (military). Three Mile Island, USA, 1979 (fuel melting)
<b>4 Accident Mainly in Installation either of:</b>	Minor Release: Public exposure of the order of prescribed limits, or	Significant damage to reactor core or to radiological barriers; worker fatality		Saint-Laurent A1, France, 1969 (fuel rupture) & A2 1980 (graphite overheating). Tokai-mura, Japan, 1999 (criticality in fuel plant for an experimental reactor).
<b>3 Serious Incident any of:</b>	Very Small Release: Public exposure at a fraction of prescribed limits, or	Major contamination; Acute health effects to a worker, or	Near Accident: Loss of Defence in Depth provisions - no safety layers remaining	Vandellors, Spain, 1989 (turbine fire) Davis-Besse, USA, 2002 (severe corrosion) Paks, Hungary 2003 (fuel damage)
<b>2 Incident</b>	nil	Significant spread of contamination; Overexposure of worker, or	Incidents with significant failures in safety provisions	
<b>1 Anomaly</b>	nil	nil	Anomaly beyond authorised operating regime	
<b>0 Deviation</b>	nil	nil	No safety significance	
<b>Below Scale</b>	nil	nil	No safety relevance	

Source: International Atomic Energy Agency

## 1. “Golden boy” としてのスタート

## 2. 支持の低下

- 60年代後半から70年代に反権力と反産業の象徴に。INES基準不在のまま各種のトラブルと事故と不祥事等により支持低下
- “Nuclear Power in American thoughts” : 製造からサービスへと経済のソフト化とポスト産業時代にあって科学技術への親近感低下
- (US)オイルショックを経た後の安定な石油価格時代、高金利下での建設遅れで原子力建設費用高騰
- チェルノビル事故が支持低下に拍車を

## 3. カムバック

- 80年代末から温室効果への関心、「持続可能な発展」への関心
- 安全運転の実績、2000年代における石油ガス価格の変動と長期短期の供給セキュリティへの関心から、原子力をオプションの一つとして容認する姿勢の増加
- 「現状は容認」「HLW処分が解決されるなら増設を容認」の意見増

1. 世界の原子力の動きと課題

2. 日本に期待される役割

3. まとめ



## 1. 世界のネットワークへの参加と貢献

- ネットワークによる経験と教訓の共有、投資の効率化、シナジー、ベンチマーキング
- 様々なネットワークの構築とリーダーシップの発揮
  - ✓ ANENT(2004年発足後6年経過し参加)
  - ✓ RRネットワークとアイソトープの安定供給.....

## 2. 開発途上国の原子力基盤整備への貢献

- 発電と放射線利用による発展への寄与
- 退職者のもつ経験と教訓は、IAEAガイドラインの行間を埋める重要な情報
- 大学/研究機関/産業界施設による人材育成

## 原子力教育に関する東大-IAEAの協定(13Dec2010)

1. To exchange information and materials in the Field among the Parties, including joint development of publications and materials for e-learning;
2. To promote and support mutual activities for human resources development and capacity building in the Field, including organizing of joint training courses and/or fellowship programmes;
3. To disseminate the jointly developed materials and training courses for benefits of students and professionals in Member States.



### 3. プラント輸出による貢献と雇用機会

- 先進国開発途上国を問わず需要を満たし、「グローバルな低炭素社会移行」「資源セキュリティに関する緊張の緩和」「途上国の持続可能な発展」へ貢献
- 併せて自国の運用慣行を見直す機会

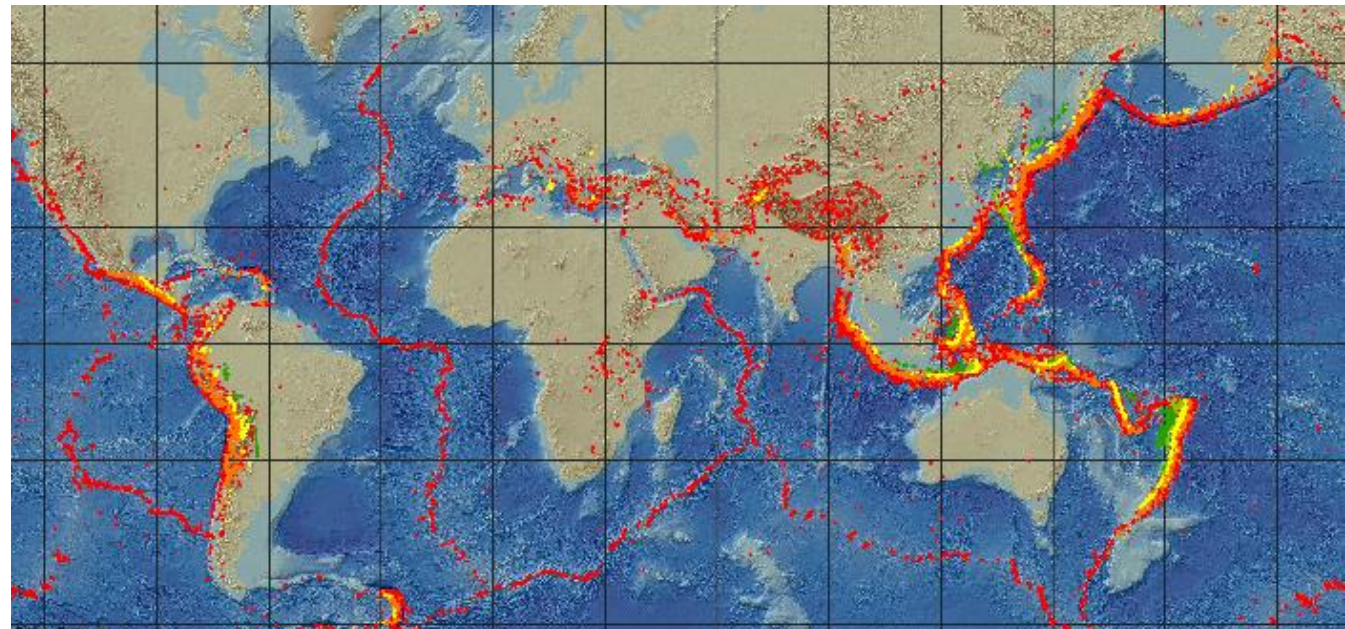
### 4. Responsible supply & responsible useの見本に

- 供給に関する行動規範の制定と遵守  
経験と実証と確かな設計手法に裏付けられIAEA基準を満足する安全な発電プラントと運用システムの提供、輸出機器の利用先に関するセーフガードの遵守など
- 世界の模範になる運用手法と実績
- P5以外で唯一の燃料リサイクルモデル

FNCA (Framework of Nuclear Cooperation in Asia) 加盟12カ国の原子力発電における協力作業として計画

- 地震津波火山爆発の頻度の高い東アジア
- 原子力施設の安全確保の為に教訓の共有と経験によって培われた設計手法の普遍化必要
- FNCA大臣級会合での合意(北京、2010年11月)

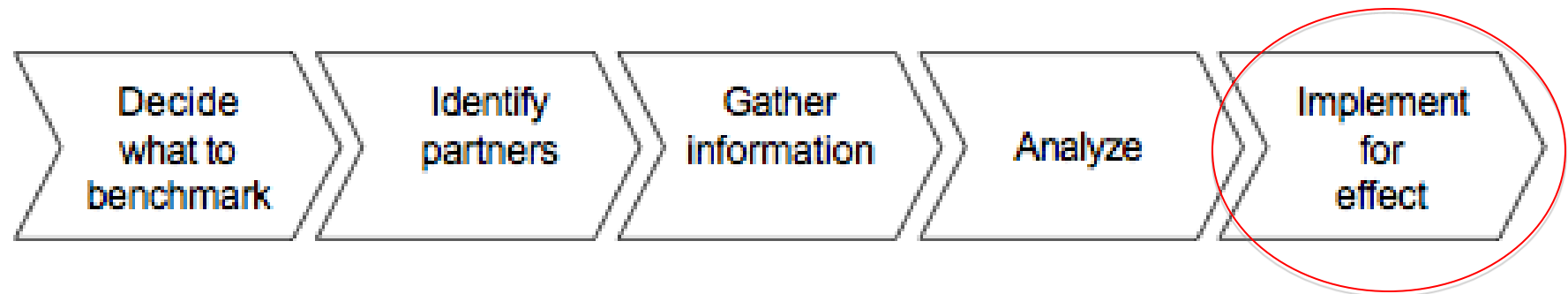
*global map of earthquake activity*



## プラント輸出は 自身への反作用も(輸出「黒船」論)

- ▶ 外に技術やサービスを出すのは、翻って自分たちのもつ技術やサービスを世界で競合できるレベルに磨く機会
  - ✓ 維持運営/規制/活用する慣行は世界のベストプラクティスを参考にベンチマーキングを通じて磨き上げられたものだろうか？
  - ✓ 慣行の形成に係る社会環境は、国民の信託を受けてリスクを管理し技術の利用による便益を活かせるものになっているか？

### A Five-Stage Benchmarking Process

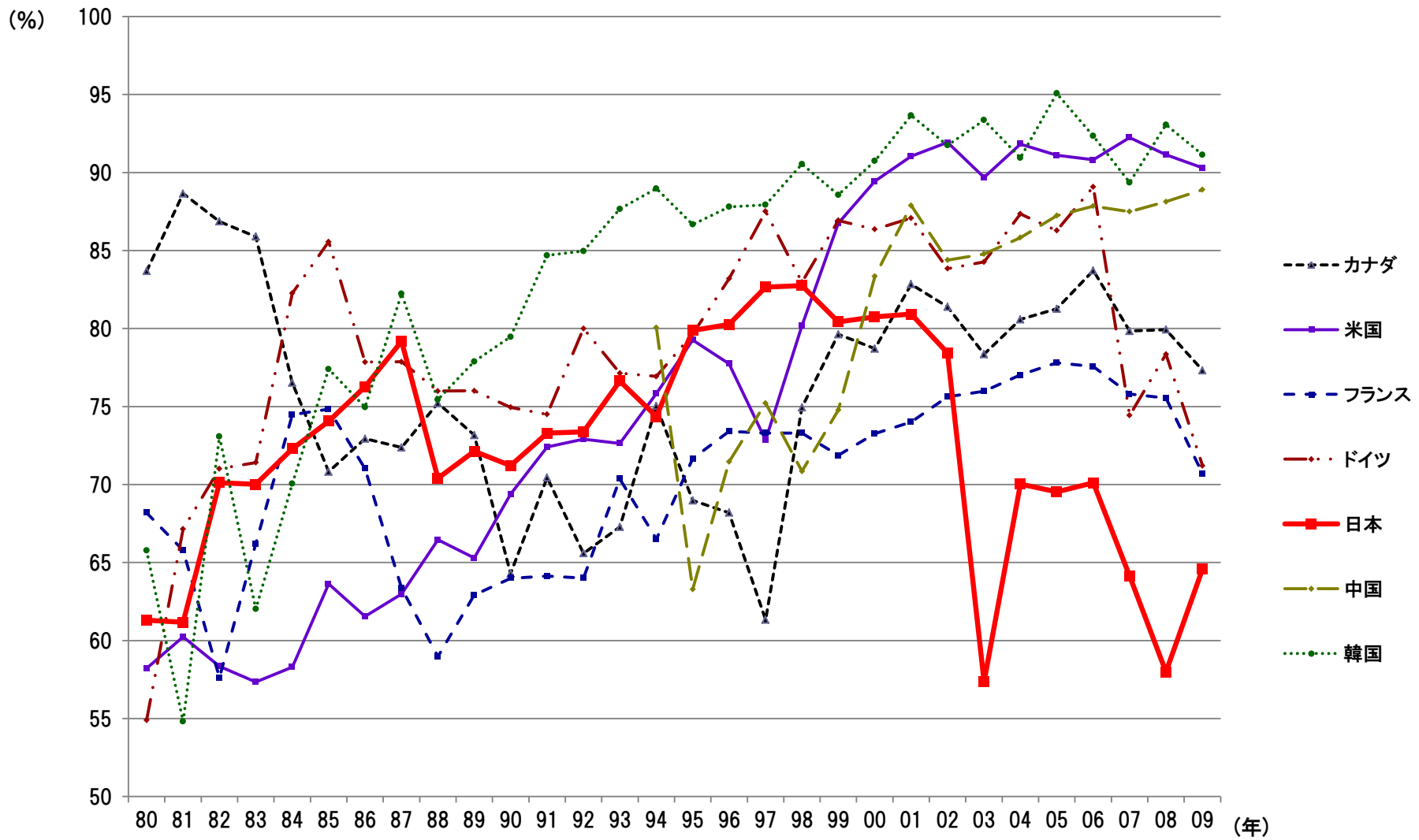


Source: Bengt Karlof and Svante Ostblam, *Benchmarking: A Signpost to Excellence in Quality and Productivity* (New York: John Wiley & Sons, 1993).

## 世界の標準的な慣行等からの乖離解消に取り組む機会

- 多くの国が実施してきていることが実施されない(長期サイクル運転、出力増強、検査期間の短縮、型式認定など)
- 安全規制は国だが、地方自治体が施設運転を左右する大きな影響力
- 規制のダブルチェック(更には地方自治体による評価委員会によるもう一層のチェック)と規制当局の専門家の頻繁な移動
- システムの機能評価よりも機器の構造強度を重視した基準
- 世界の優れた慣行を機敏に取り入れられない(電力/規制)結果として、記録改竄の遠因を形成
- 高コスト構造(例:廃棄物処分、再処理)
- 組織を超えた専門家の移動が少ないか居ない
  - 規制に実際に発電所で運転保守経験者がいない
  - 電力にメーカーでの設計経験者が少ない

# 稼働率比較



## 低い原子力発電所の稼働率

- 近年の不正事件や地震によるプラント停止や点検漏れなど
- 運転サイクルが短い
- 燃料交換/保守の停止期間が長い
- 計画外停止頻度は低いが一旦止まるとなかなか再起動しない

	<b>Cycle Length</b> (Months)	<b>Unplanned Shutdown Frequency</b> (Event/Reactor-year)	<b>Unplanned Shutdown Period</b> (days)	<b>Ave. Inspection Period</b> (days)	<b>Plant Availability (%)</b> <b>MEDIAN</b>
<b>Japan</b>	<b>13.0</b>	<b>0.24</b>	<b>29.7</b>	<b>143.5</b>	<b>71.6</b>
<b>USA</b>	<b>19.2</b>	<b>0.92</b>	<b>6.6</b>	<b>42.3</b>	<b>91.8</b>

SOURCE: IAEA-PRIS, 2007 to 2009



## 2010 8月の1F1高圧タービン軸封部からの漏洩での停止再起動の例

### 1) 何故漏洩が起きたか:

米国では当該部は10万運転時間に一度のオーバーホールが標準だから約10-12年に一回なので日本は3-4倍高い頻度でこれを行っている。漏洩原因はケーシング合わせ面の磨き作業の不備と報告されている。保全に伴うエラーはオーバーホール頻度が増せば増加。

### 2) 3秒に一滴の漏洩でプラントを止めたが、米国では止めるのか:

米国では更に温度圧力条件が厳しい超臨界火力でない場合にはFurmaniteと称するエポキシ樹脂でコーキングして運転継続が一般。両者の慣行の間に安全上の差異があるとは思えない。

### 3) 再起動までの時間:

再起動までに33日を要した(同じ箇所での漏洩で他の国内プラントで78日の例もある)が、米国でどうかを調べところ、やっとあるプラントでの類似事象で4日後に復帰の事例があると知った。我が国では再起動に際しての制度的社会的桎梏からこのような長期間に誰も驚かない状態になっている。

SOURCE: A. Omoto, "International collaboration for Maintenance Science and technology, International Seminar on Maintenance Science and Technology for Nuclear Power Plants, Nov, 2010, Sendai

## 5. 技術開発を先導

- 基盤的な技術の裾野の広さと異分野との協調を成果に
- 産学官連携(欧州ではSNE-TP)、世界を牽引できる技術開発ロードマップ、そして国際ネットワーク
- ベストプラクティスを含む価値創造で尊敬される原子力立国

## 6. 理念構築や基準や仕組みづくりのプレイヤーに

- 少数基の小国を含めて原子力利用による便益を最大化しリスク(安全、セキュリティ、核拡散)を最小化する体制構築...恐らくは長期的には燃料サイクル全体を包括するMNAが必要
- Responsible supply and responsible useのための仕組みづくり
  - 基盤の脆弱な国における安全確保に目をむける必要
  - 「南から南へ」供給の時代の可能性を考慮必要
  - 過去、国際社会はチェルノブイル事故を未然に防止できなかったとの反省から、安全条約によるレビューに加え疑問の持たれる設計について国際パネルで評価することも主導すべき
    - ✓ 安全規制における主権尊重の原則
    - ✓ 設計の格付け(サルコジ提案, 2010.3.8)よりも、重要課題について必要な水準を満たしている事を確認すべき
- 低炭素化社会構築の為のメカニズム構築
- 「核兵器廃絶により“haves” and “have nots” への分離解消がされない限り核拡散は解決できない」(ElBaradei)

# まとめ

## 1. 21世紀のエネルギー供給の課題

- 低炭素社会への移行
- 開発途上国の人口増加と生活の質向上を支えるエネルギー供給
- 長期に亘る持続可能で安定な供給源確保とエネルギー資源を巡る緊張緩和

## 2. 原子力を巡る世界の動きと課題への対応

- 稼働性能の向上
- 原子力発電への期待の高まり
- 競争と協調
- セキュリティと核不拡散への関心の高まり
- Stakeholder involvement (国民参加と国民の理解)

## 3. 日本の役割

- 世界のネットワークへの参加と貢献
- 開発途上国の原子力基盤整備への貢献
- プラント輸出による貢献と雇用機会
- Responsible supply & responsible useの見本に
- 技術開発を先導
- 理念構築や基準や仕組みづくりのプレイヤーに

*Thank you for your atten*

