

シェール革命とエネルギー安全保障戦略

METI現役諸君へのメッセージ

2013年4月 10日 RIETI BBL

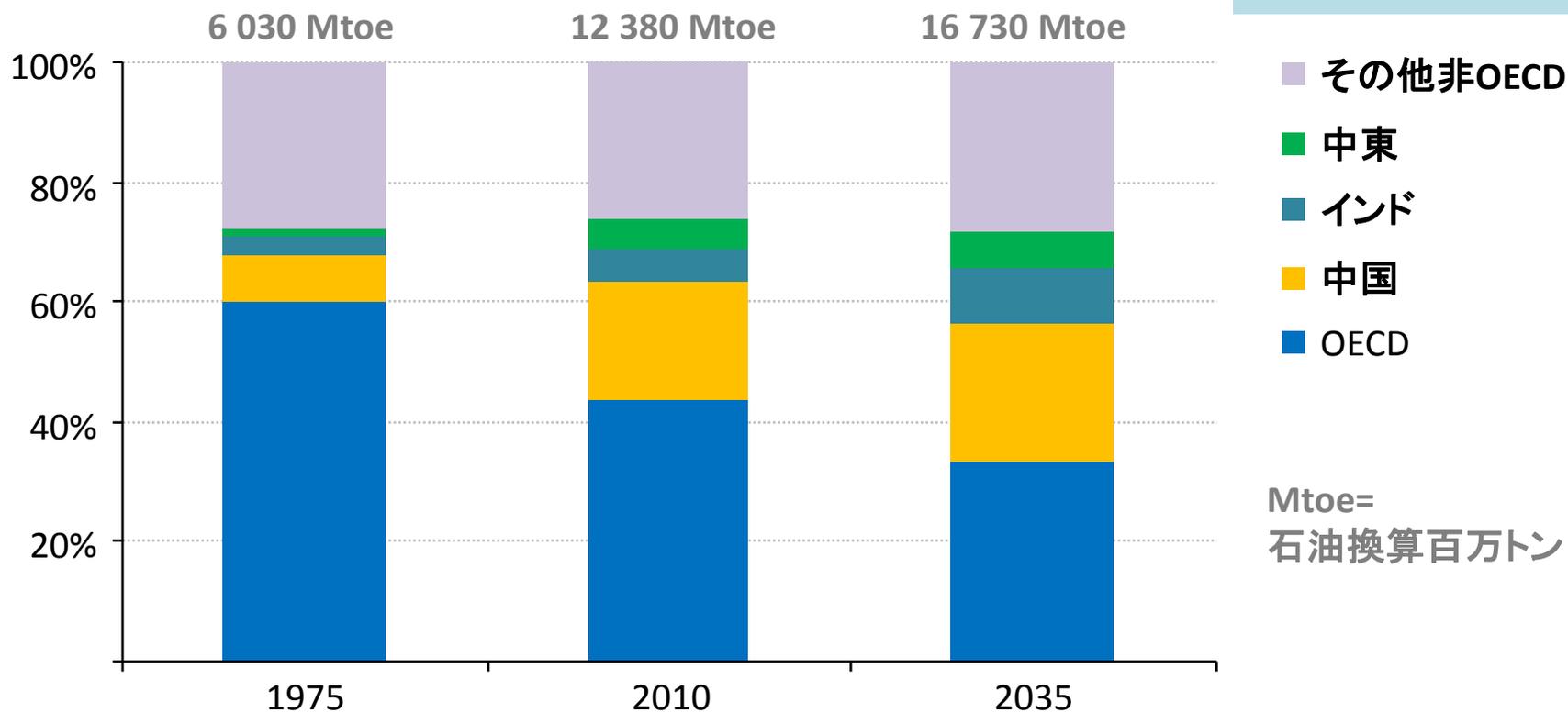
国際エネルギー機関 前事務局長

日本エネルギー経済研究所 特別顧問 田中伸男

新興国の動向が世界のエネルギー市場を左右

世界の一次エネルギー需要におけるシェア

IEA WEO2012

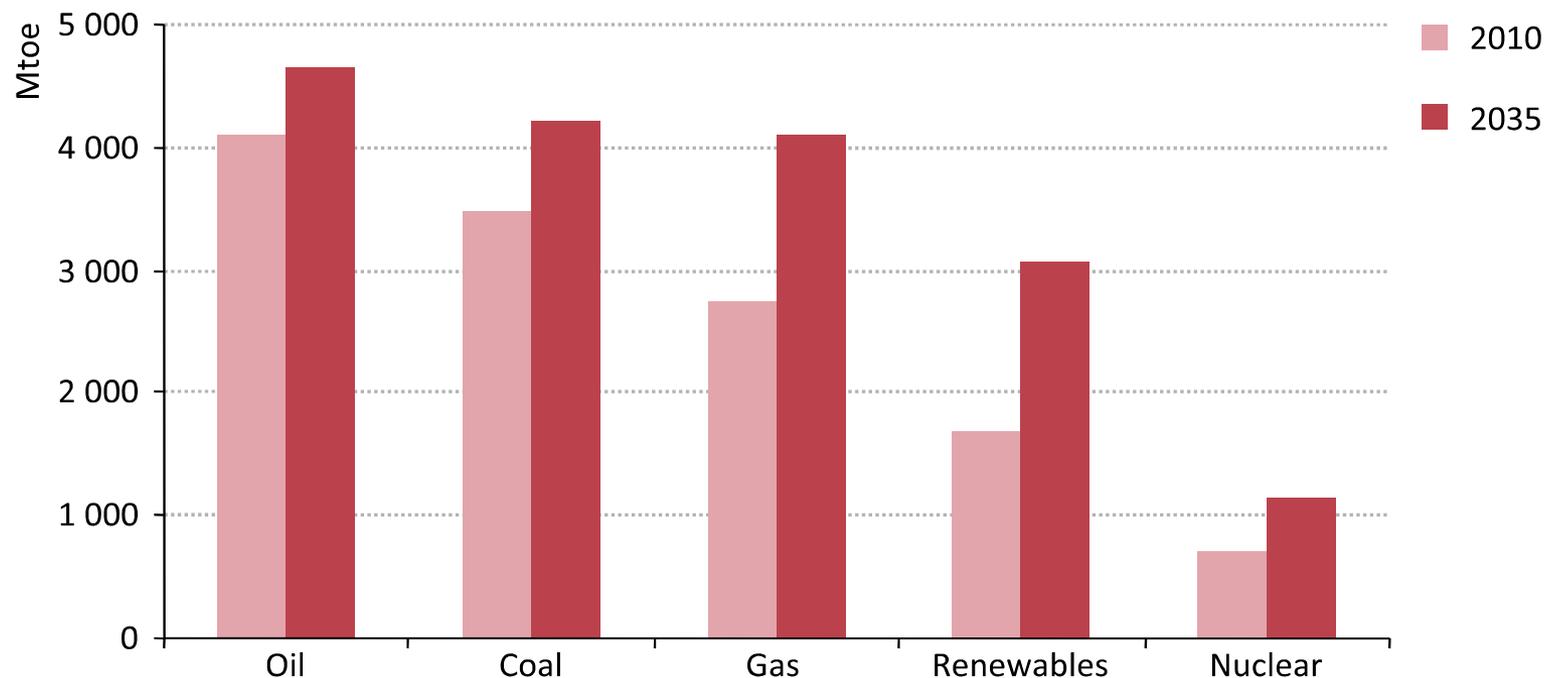


**中国、インド、中東の生活水準向上に支えられ、
世界のエネルギー需要は2035年までに1/3以上増加**

天然ガスと再生エネルギー増が対応

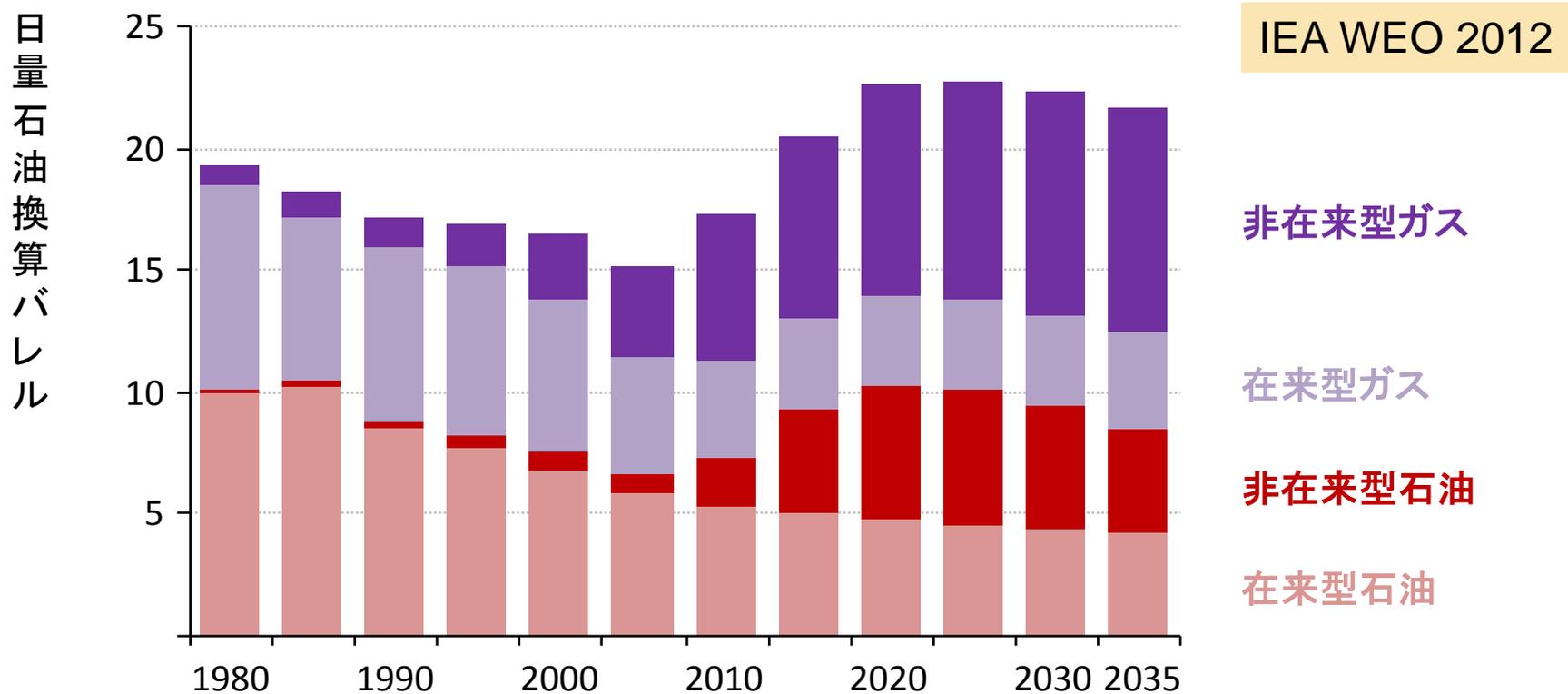
IEA WEO2012

Figure 2.3 ▶ World primary energy demand by fuel in the New Policies Scenario



米国における石油・ガス状況の変容

米国における石油・ガス生産（1980年-2035年）

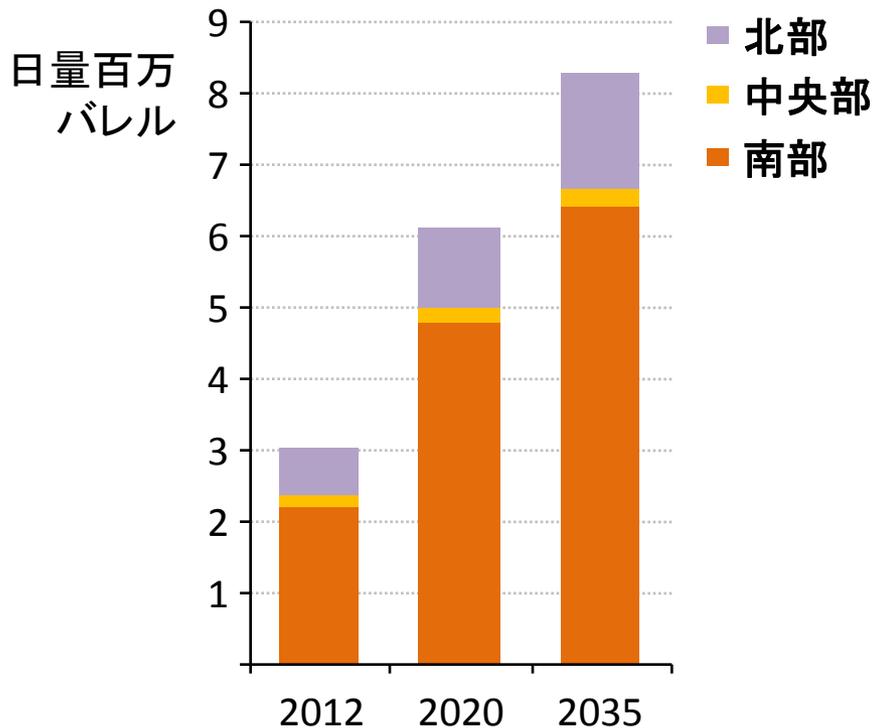


非在来型石油・ガス生産の急増が及ぼす影響は、米国内にとどまらない

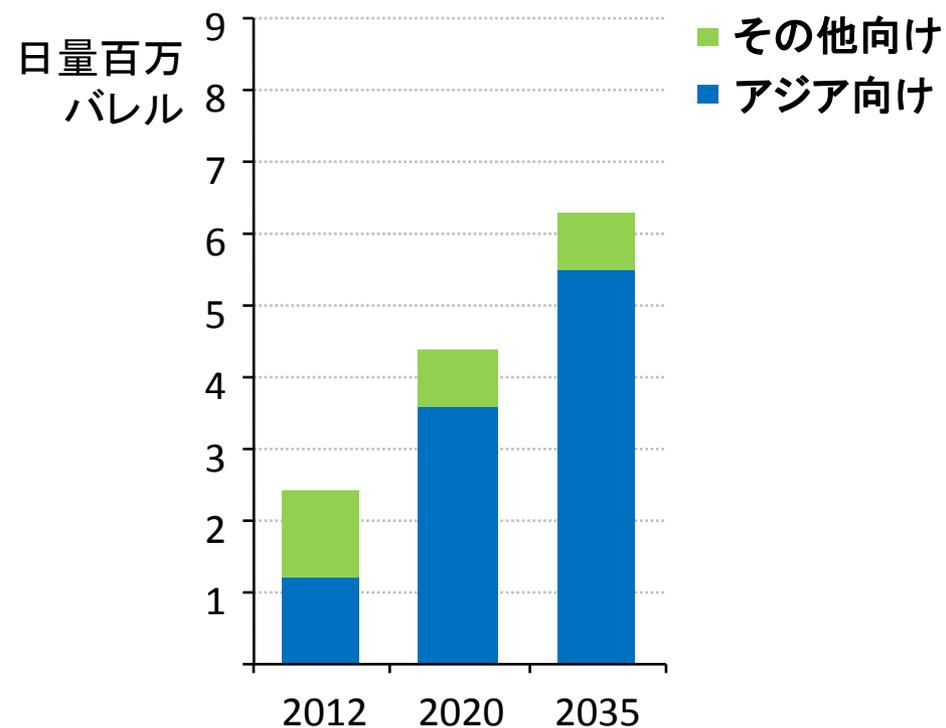
イラクの石油生産は急拡大へ

IEA WEO 2012

イラクの石油生産量



イラクの石油輸出量



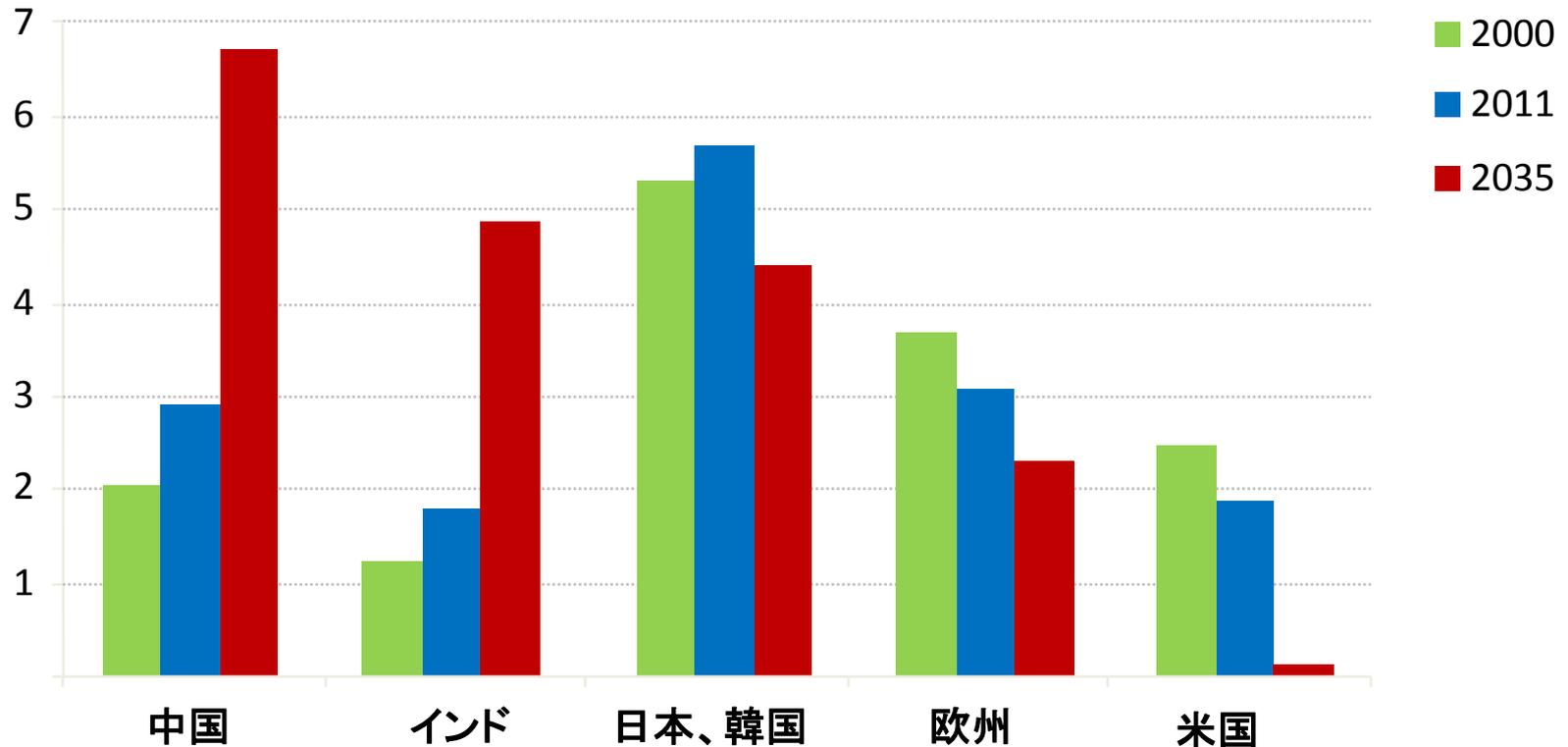
イラクは2035年までの世界の石油生産の増加量の45%を占め、2030年代までには、ロシアを抜き世界第2位の石油輸出国へ

中東の石油がアジアへ: 新たなシルクロード

中東からの石油輸出(仕向け地域別)

IEA WEO 2012

日量百万バレル

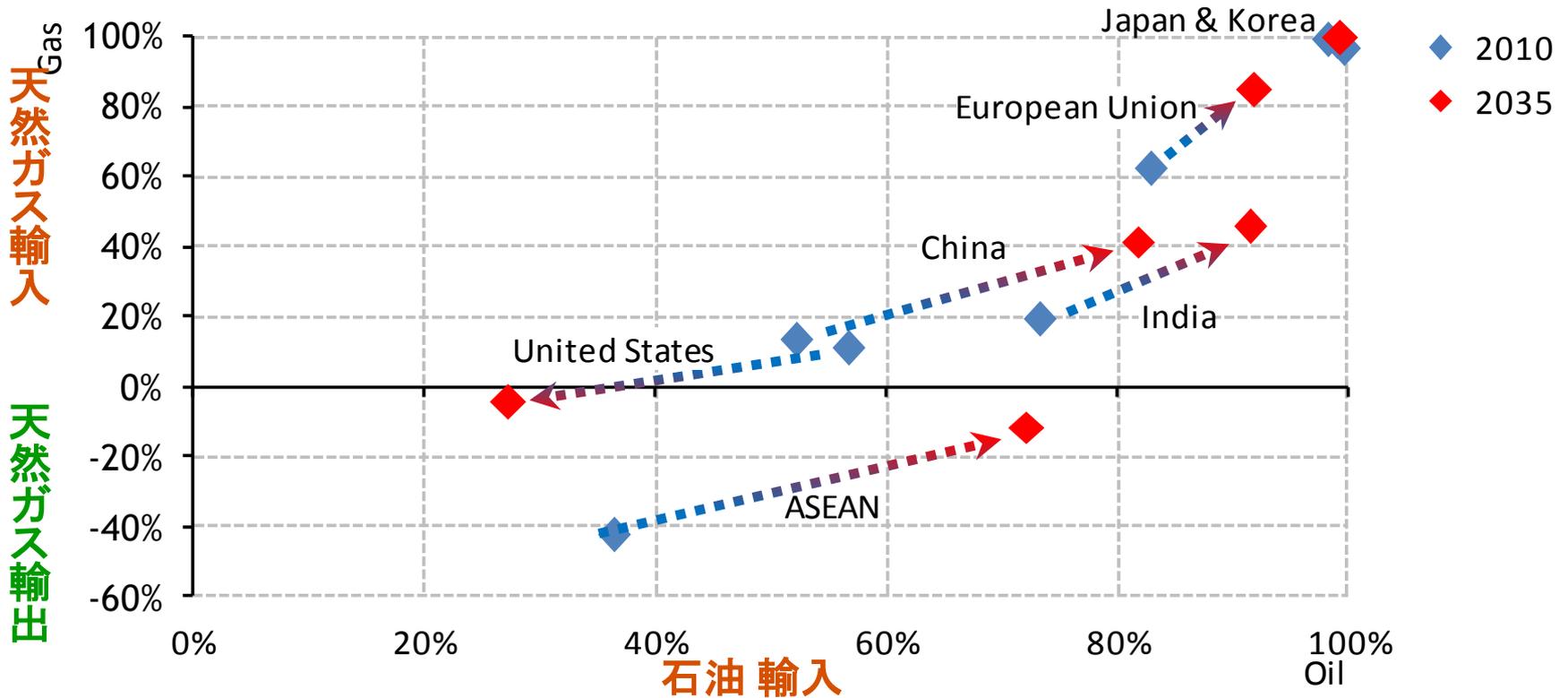


**2035年までに、中東産石油の90%近くがアジアへ輸出される。
北米の純輸出地域としての台頭がこの東方シフトを加速**

石油、ガス輸入依存度のトレンド：米国の一人勝ち

IEA WEO 2012

Net oil & gas import dependency in selected countries



多くの国で石油・ガスの輸入依存が増す方向にあるなか
米国はその流れに逆行。

イラン制裁とホルムズ海峡



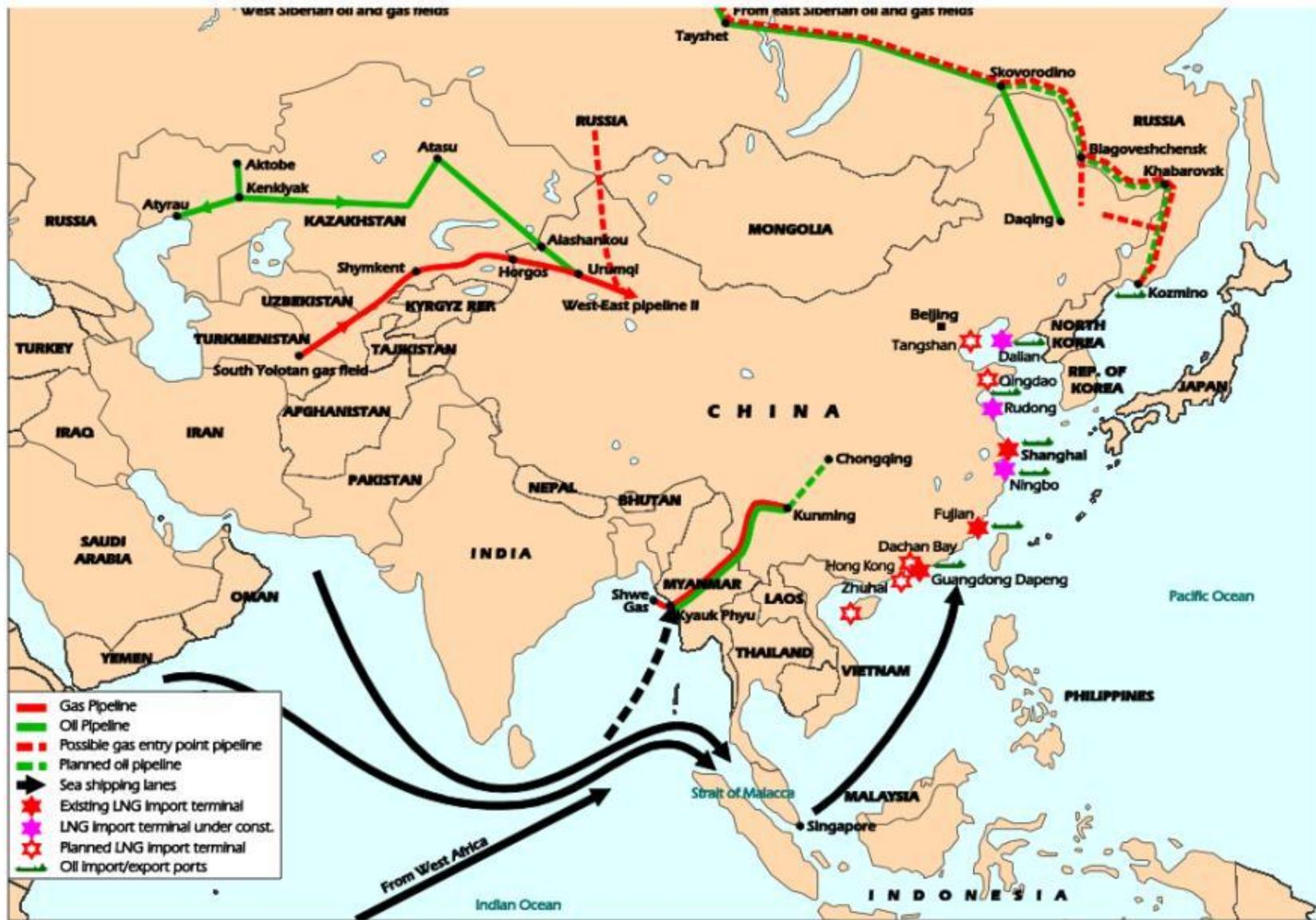
- ・石油通行量: 1700万B/D超
(世界の石油生産の約2割)
(日本の石油輸入の85%)
- ・LNG通行量: 8260万トン超
(世界のLNG生産の約3割)
(日本のLNG輸入の18%)

※日本は2010年、貿易統計より
イラン、イラク、バーレーン、サウジ、クウェート、
カタール、UAEからの輸入分を「ホルムズ通過」と
仮定

- ・ペルシャ湾向けおよびインド洋向け、双方に幅2マイルの通行路
- ・間に幅2マイルの緩衝帯

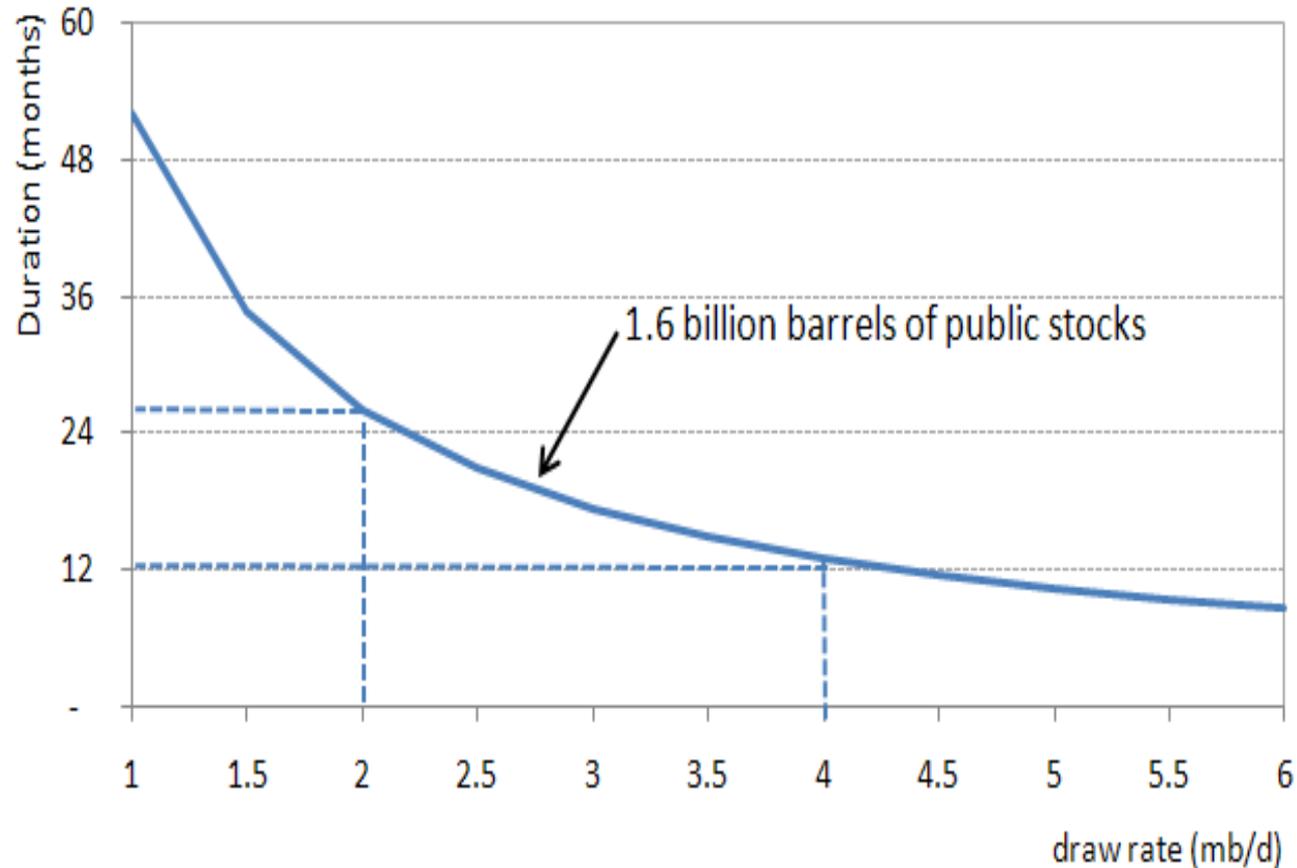


Current and Future routes of China's Importation of Oil and Gas



Overseas Investments by Chinese National Oil Companies: Assessing the Drivers and Impacts

IEAの石油備蓄放出能力



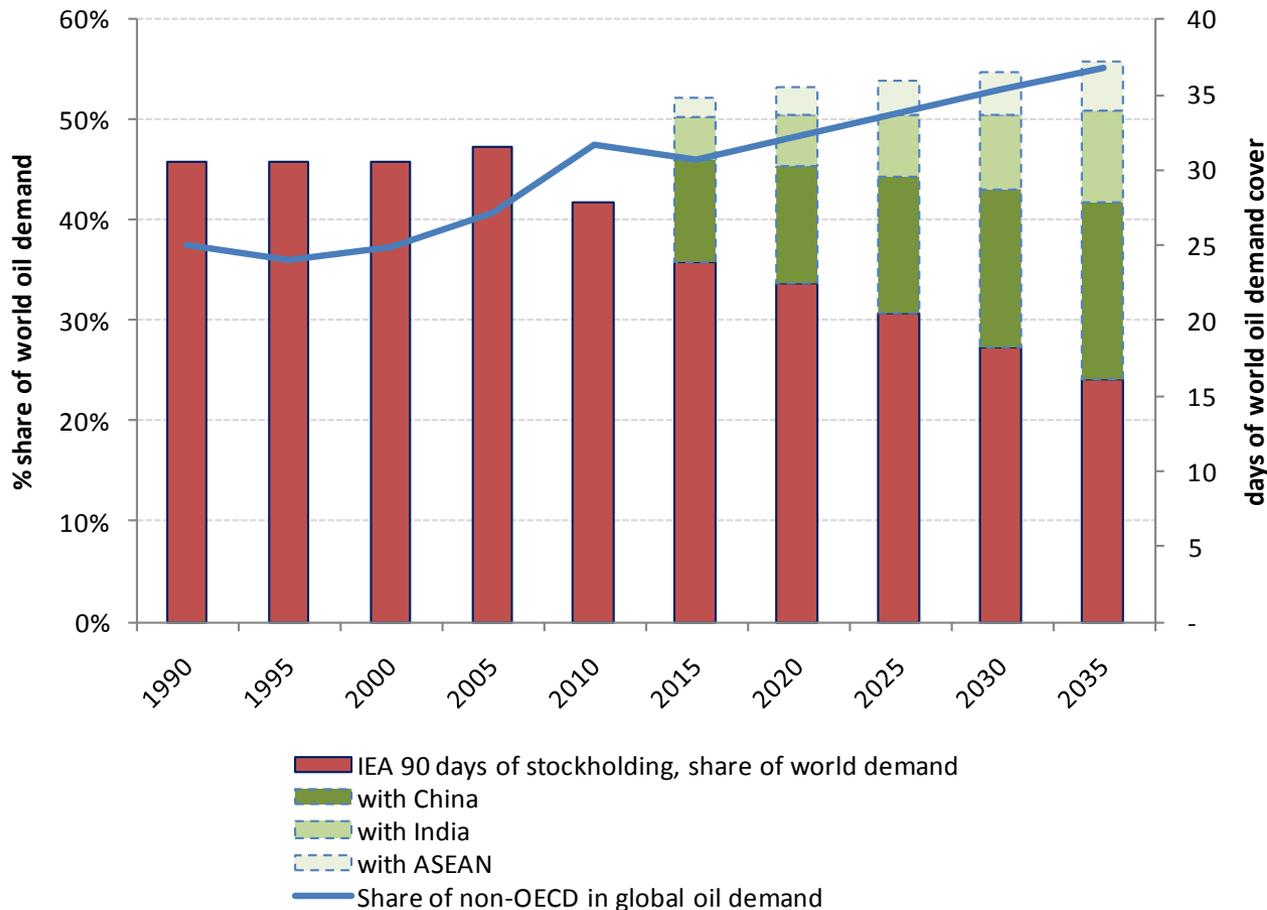
第一次石油ショックの供給途絶は4.3mbd。第二次が5.6mbd。ホルムズ封鎖は13mbd。

複合危機－原油高騰と国債崩落

- イラン危機の勃発（ホルムズ海峡封鎖）
 - － 原油価格の高騰、2倍（1バレル160ドル）になる可能性あり
 - － 日本の経常収支が赤字化
 - 2011年の経常収支黒字 9兆円
 - 2011年の原油輸入額 1850億ドル（約15兆円）
 - 原油価格が倍になれば、**経常収支は6兆円の赤字に（?）**
 - 原発の稼働がほとんどなければ、さらに悪化し**赤字は12兆円**。
- 日本財政への信認崩壊
 - － 経常収支黒字が投資家（海外、国内）の信認の基礎
 - － 経常赤字（または赤字化の予想）は資本逃避を引き起こす
 - － 電力危機が、製造業の海外脱出を加速
 - ⇒ 財政への信認をさらに悪化させる

20世紀型のエネルギー安全保障は石油の安定供給であった。 キッシンジャーの作ったIEAはこのままでは機能しなくなる？

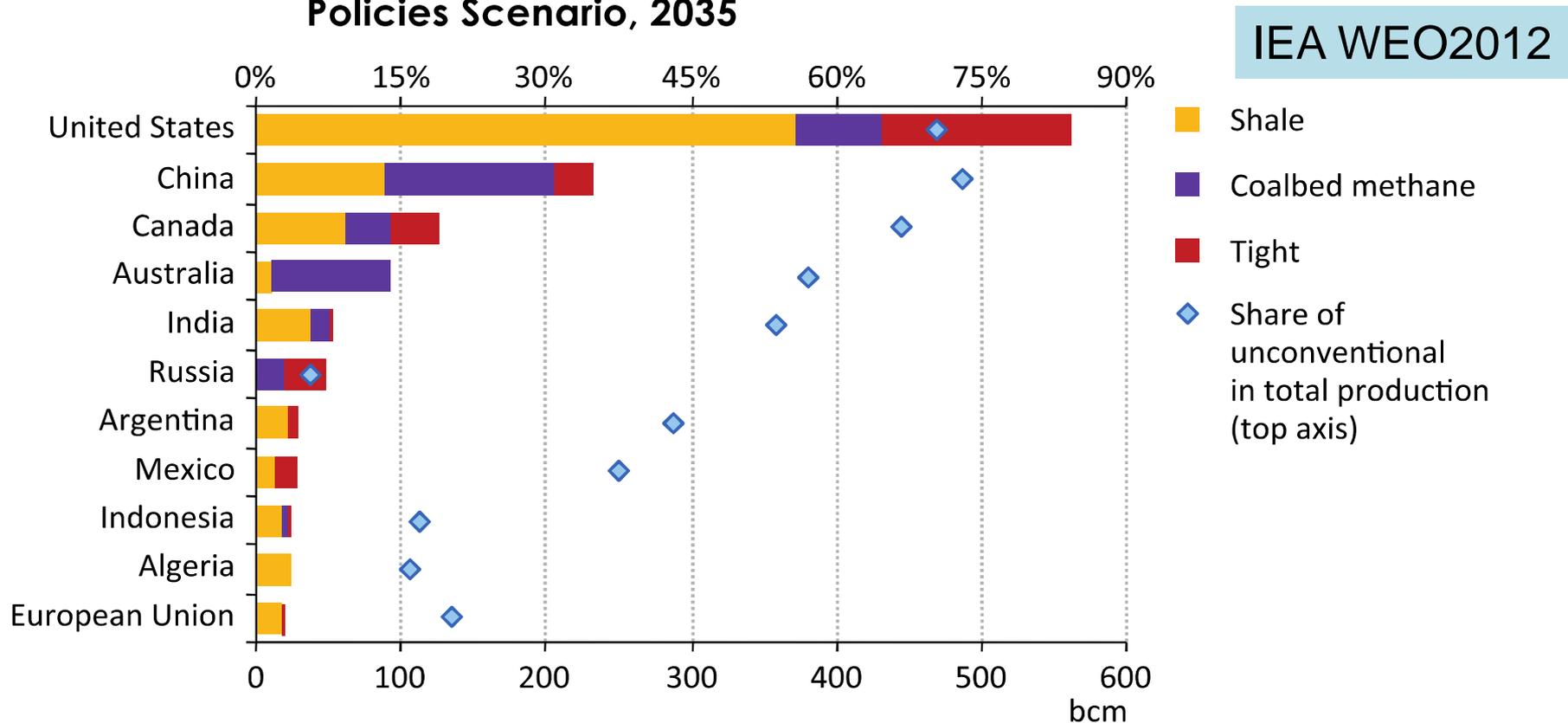
IEA stockholding cover of global oil demand



IEAの戦略石油備蓄放出が今後とも市場に同様の影響を与え続けるには緊急時における中印などの新興国との協力が不可欠。米国の備蓄義務量は減少？

シェールガス革命による天然ガス供給国の多様化はセキュリティを向上させる

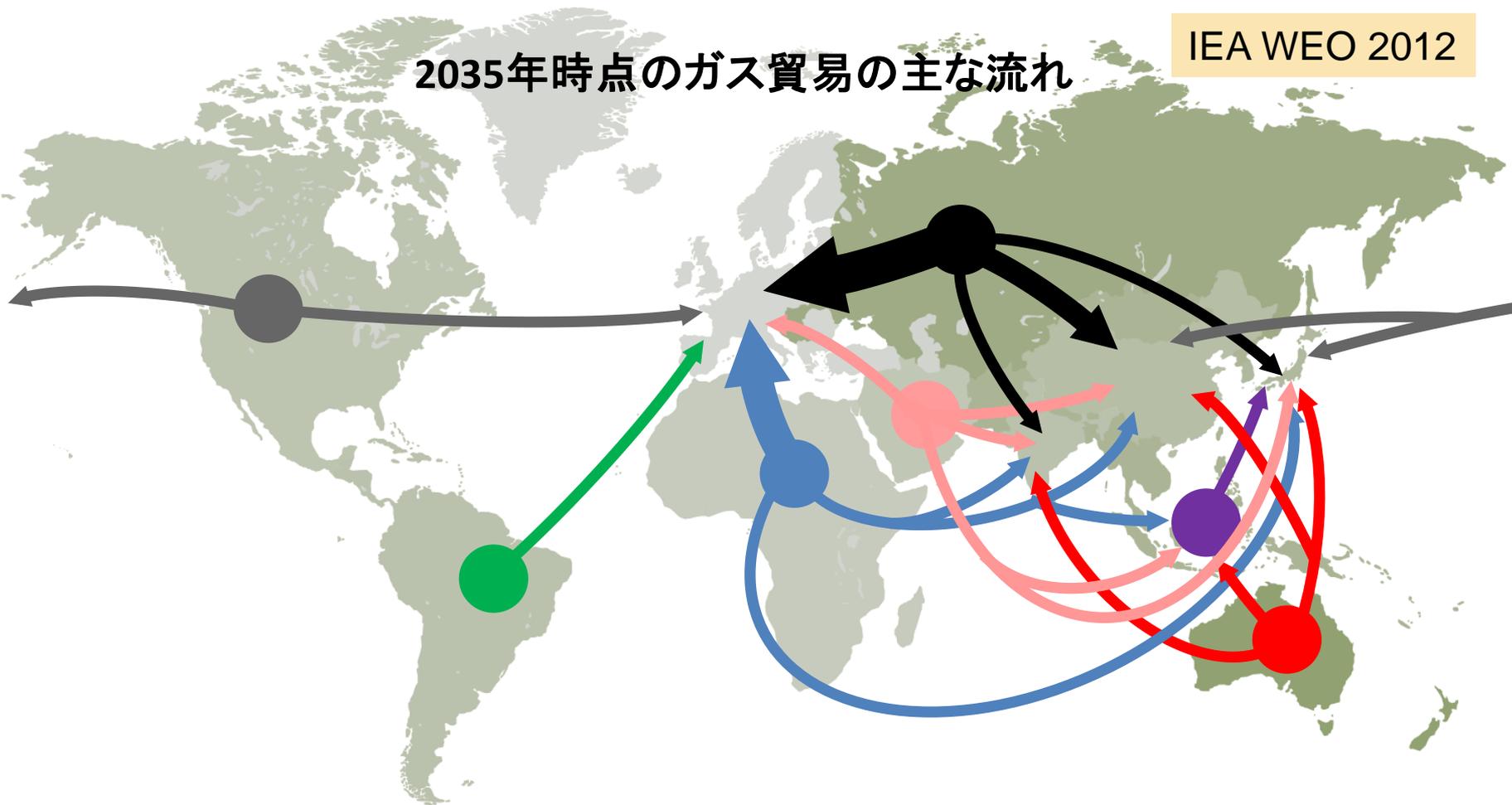
Figure 4.5 ▶ Unconventional gas production in leading countries in the New Policies Scenario, 2035



天然ガス:グローバル化した市場に向けて

2035年時点のガス貿易の主な流れ

IEA WEO 2012



**非在来型ガス及び LNG の供給増により、取引の流れの多様化が促され、
在来型ガス供給者や石油リンクの価格メカニズムに変化の圧力**

ガスの供給セキュリティ： Russian Gas Pipelines

Figure 8.15 • Major gas fields and supply infrastructure in Russia

World Energy Outlook 2011



This map is for illustrative purposes and is without prejudice to the status of or sovereignty over any territory covered by this map.

North American Gas Infrastructure: Shale and Alaska

North America Gas Infrastructure



Mid-Term Oil & Gas Market 2010, IEA

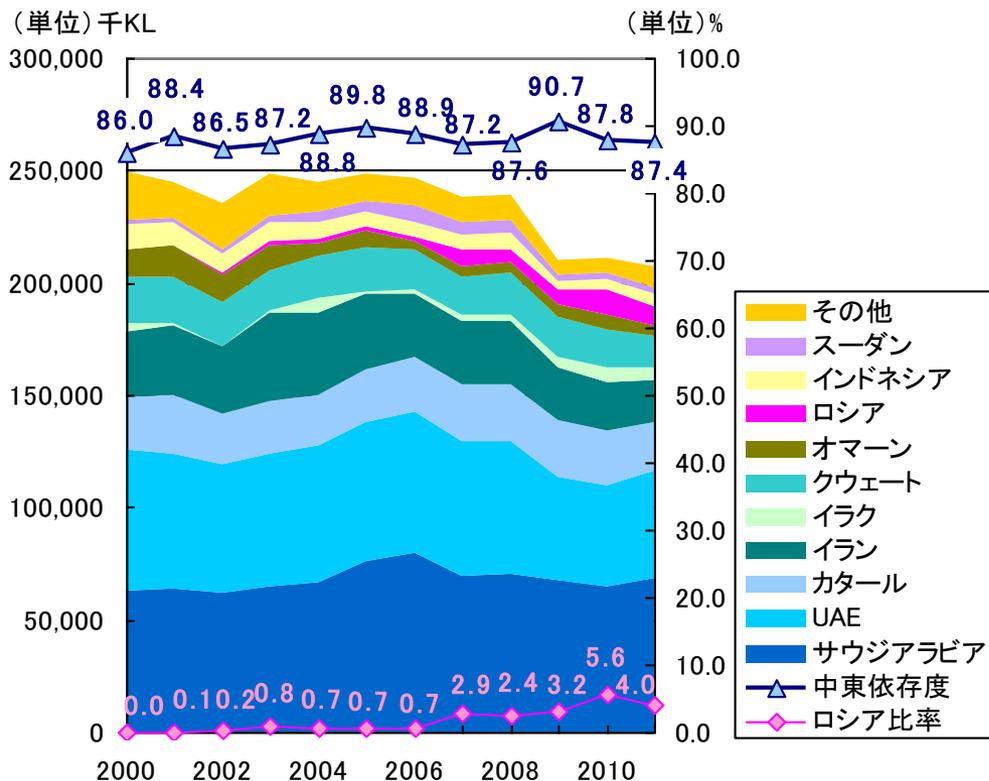
The boundaries and names shown and the designations used on maps included in this publication do not imply official endorsement or acceptance by the IEA.

北東アジアにとってのロシア：日本の輸入多角化に寄与

- 中東依存度低減の多様化オプション
- 価格上昇抑制の交渉材料

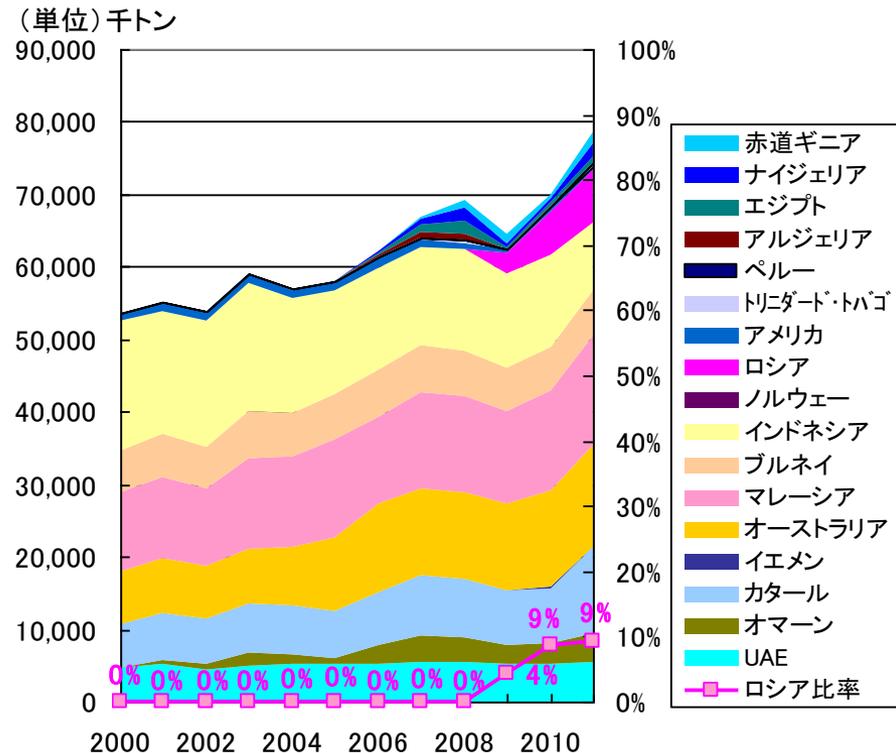
IEEJ: 栗田抄苗作成

日本の国別原油輸入数量の推移



(出所)財務省貿易統計より作成

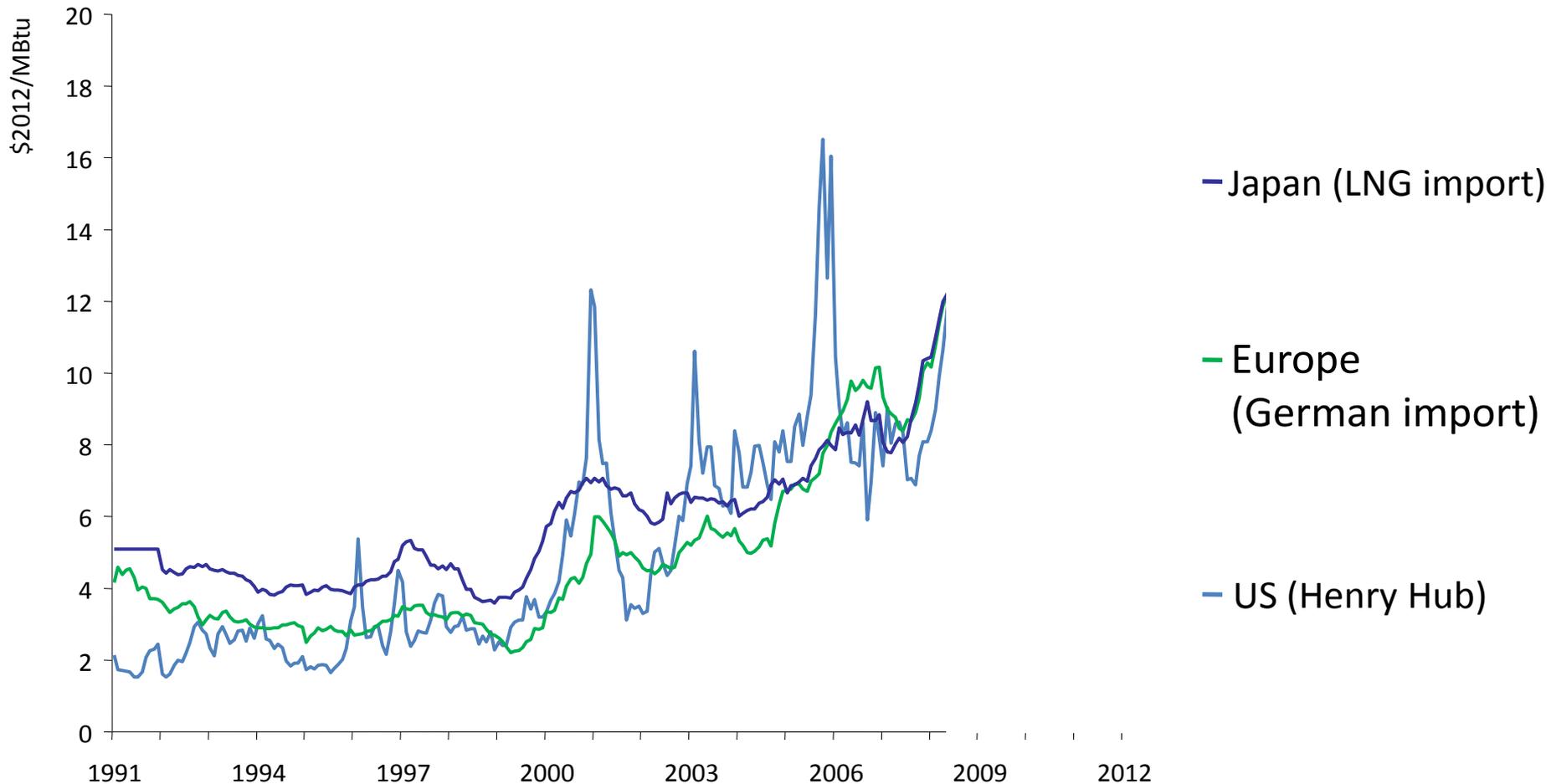
日本の国別LNG輸入数量の推移



(出所)財務省貿易統計より作成

国際的なガス価格比較

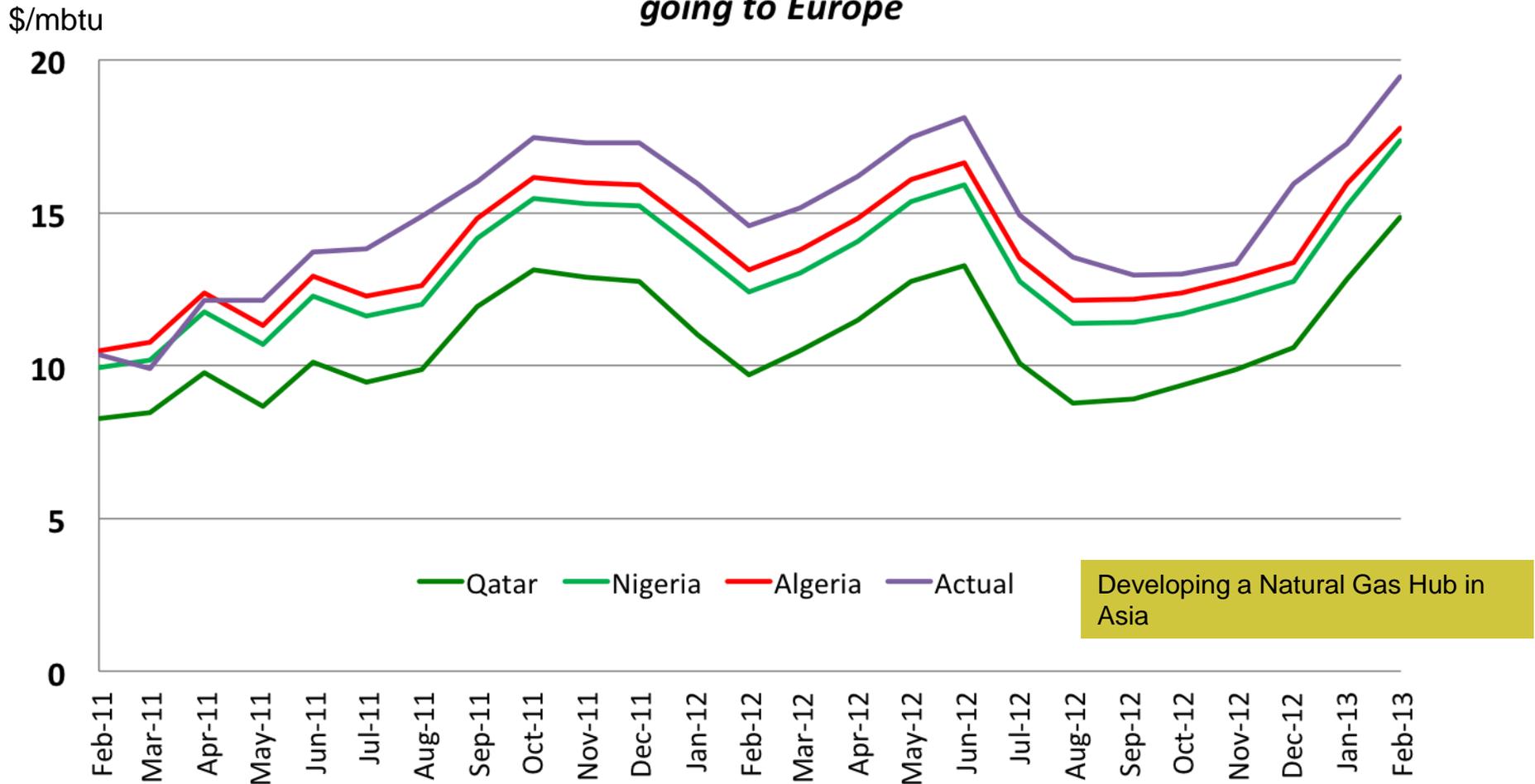
日本の輸入価格はどうしたら下がるのか



1. ガスのソース、ルート、モード(パイプライン、水素)の多様化、北米からの輸入
2. ガス消費国連合 (フォーミュラ改訂、仕向地自由化)
3. 原子力発電の活用
4. 国内電力ガス市場改革による競争強化

仕向け地制限条項など市場不備が日本に年100億ドルの超過負担を課している。

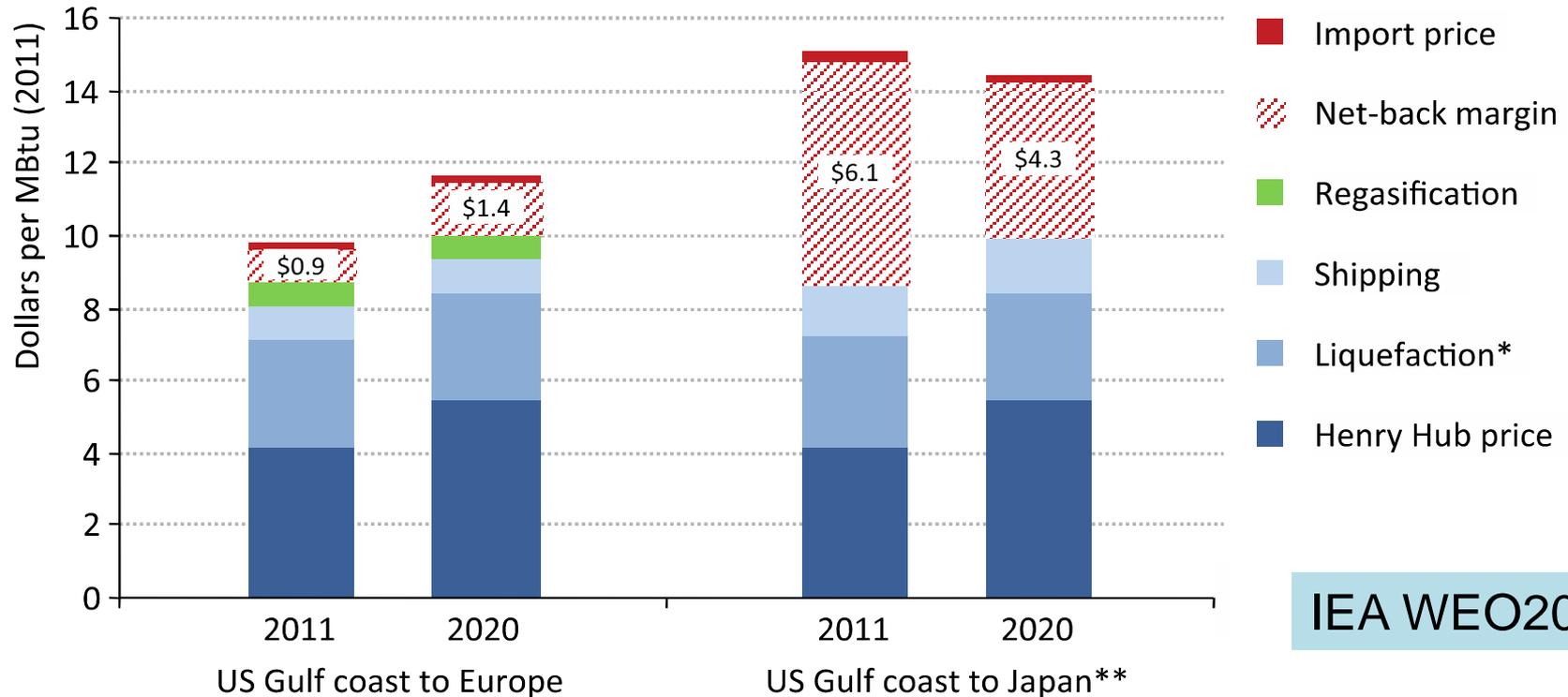
Japanese price level that would support redirections of different sources going to Europe



Developing a Natural Gas Hub in Asia

米国産LNGの輸出可能性

Figure 4.3 ▷ Indicative economics of LNG exports from the United States



IEA WEO2012

* Includes cost of pipeline transport to export terminal. ** Widening of the Panama Canal, due to be completed in 2014, will allow for more LNG tanker traffic.

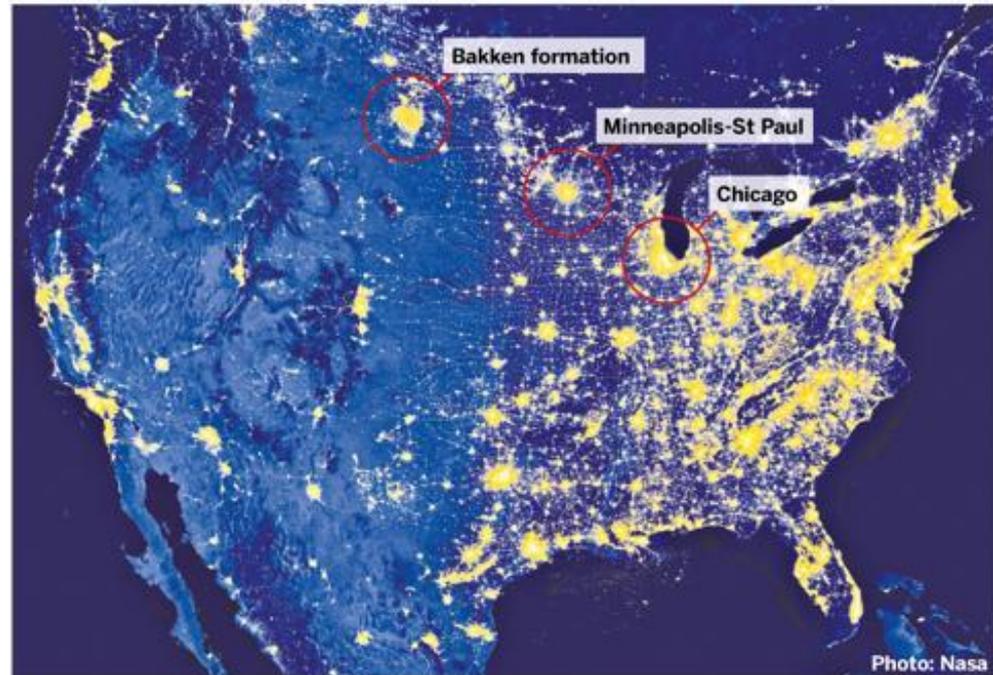
Notes: LNG costs are levelised assuming asset life of 30 years and a 10% discount rate. The Japanese import price is for liquefied gas, so it does not include regasification.

Golden Rules for a Golden Age of Gas

The “Golden Rules” are principles that can allow governments, industry & other stakeholders to address these environmental & social impacts:

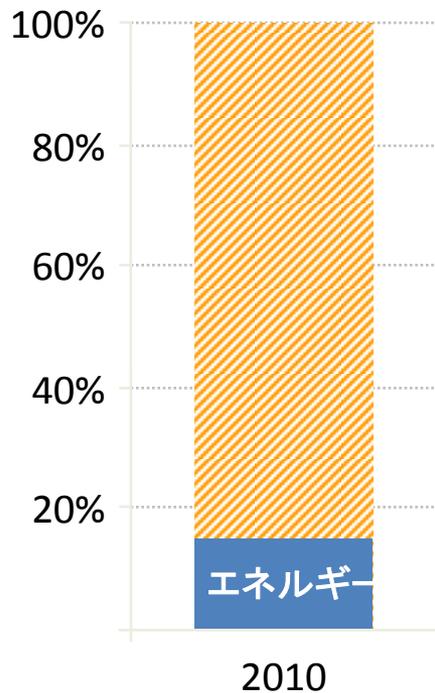
1. Measure, disclose & engage
2. Watch where you drill
3. Isolate well & prevent leaks
4. Treat water responsibly
5. Eliminate venting, minimise flaring & other emissions
6. Be ready to think big
7. Ensure a consistently high level of environmental performance

They are “Golden Rules” because their application can ensure operators have a “social license to operate”, paving the way for a golden age of gas

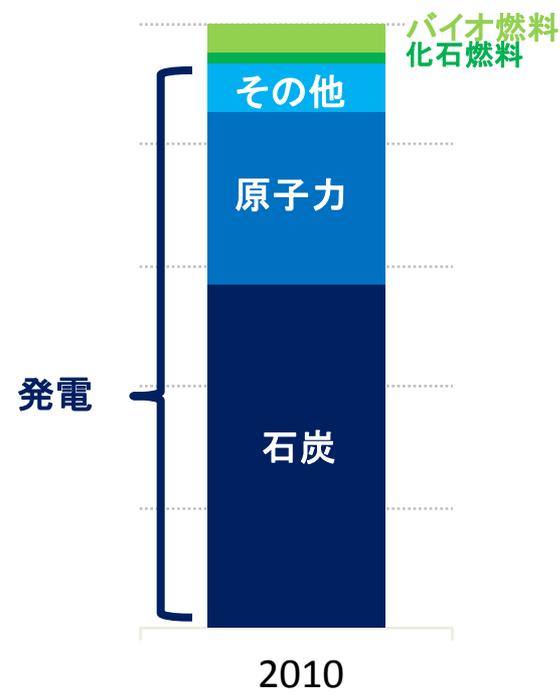


水の供給制約が高まり、エネルギー開発にも影響

世界の水使用



エネルギー向け水使用



WEO 2012

エネルギー部門における水の需要が高まり、エネルギープロジェクトの査定において水がますます重要な評価基準となってくる

Methane Hydrate?

An Energy Coup for Japan: 'Flammable Ice'



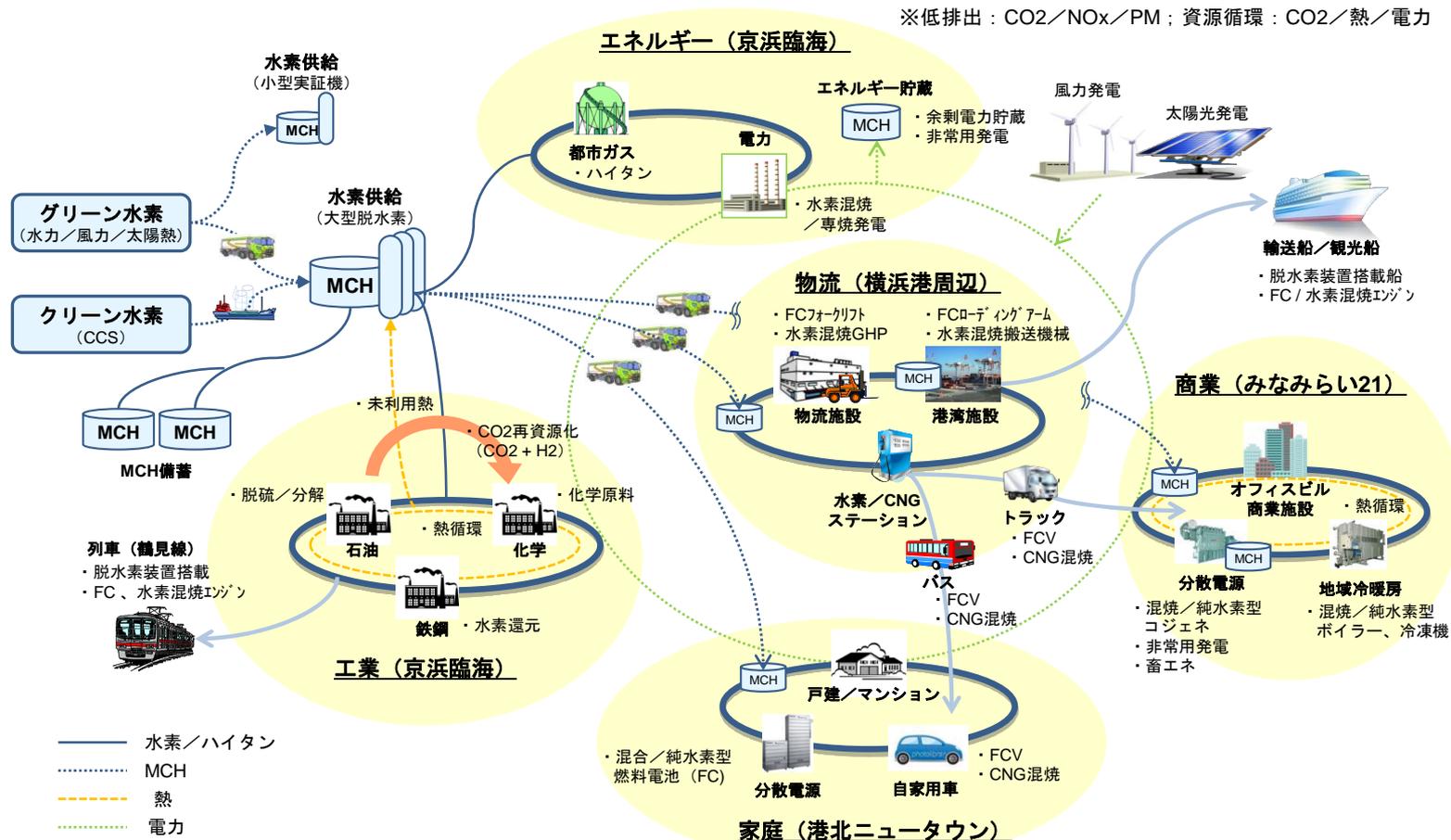
水素経済のルネッサンス メチルシクロヘキサン (MCH) の活用による水素輸送と貯蔵革命



2. “スマートシティ”への展開例

- 水素は、①低排出・資源循環（※）、②高い災害対応力、③新技術・産業創出、の実現に大きく寄与。
- 水素の大量輸送・長期貯蔵技術は、“スマートシティ”を支えるエネルギーインフラとして不可欠。

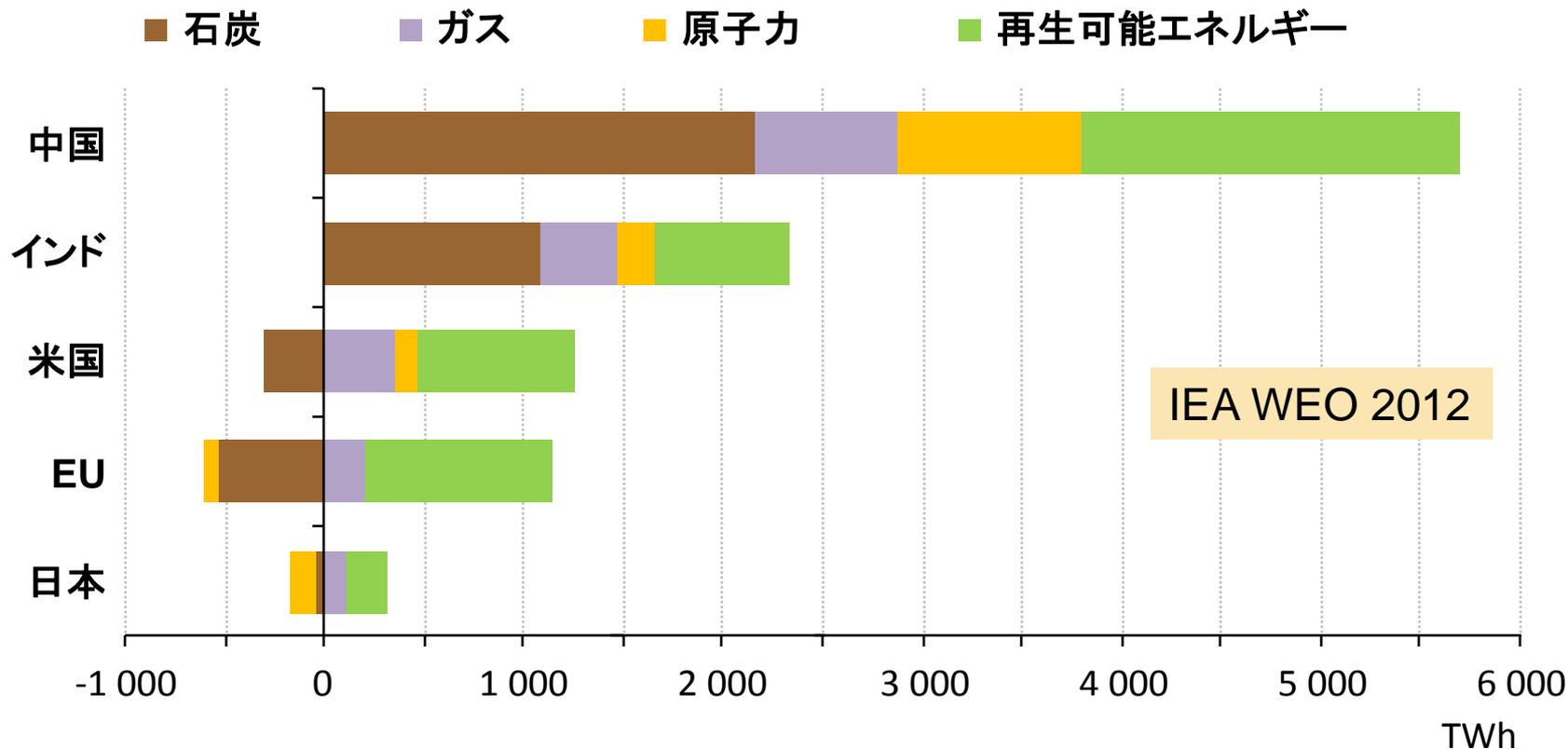
※低排出：CO₂/NO_x/PM；資源循環：CO₂/熱/電力



*用語註： MCH=メチルシクロヘキサン FC=燃料電池 FCV=燃料電池自動車 GHP=ガスヒートポンプ

新興国へのパワー(電力)・シフト

2010年から2035年における発電量の変化

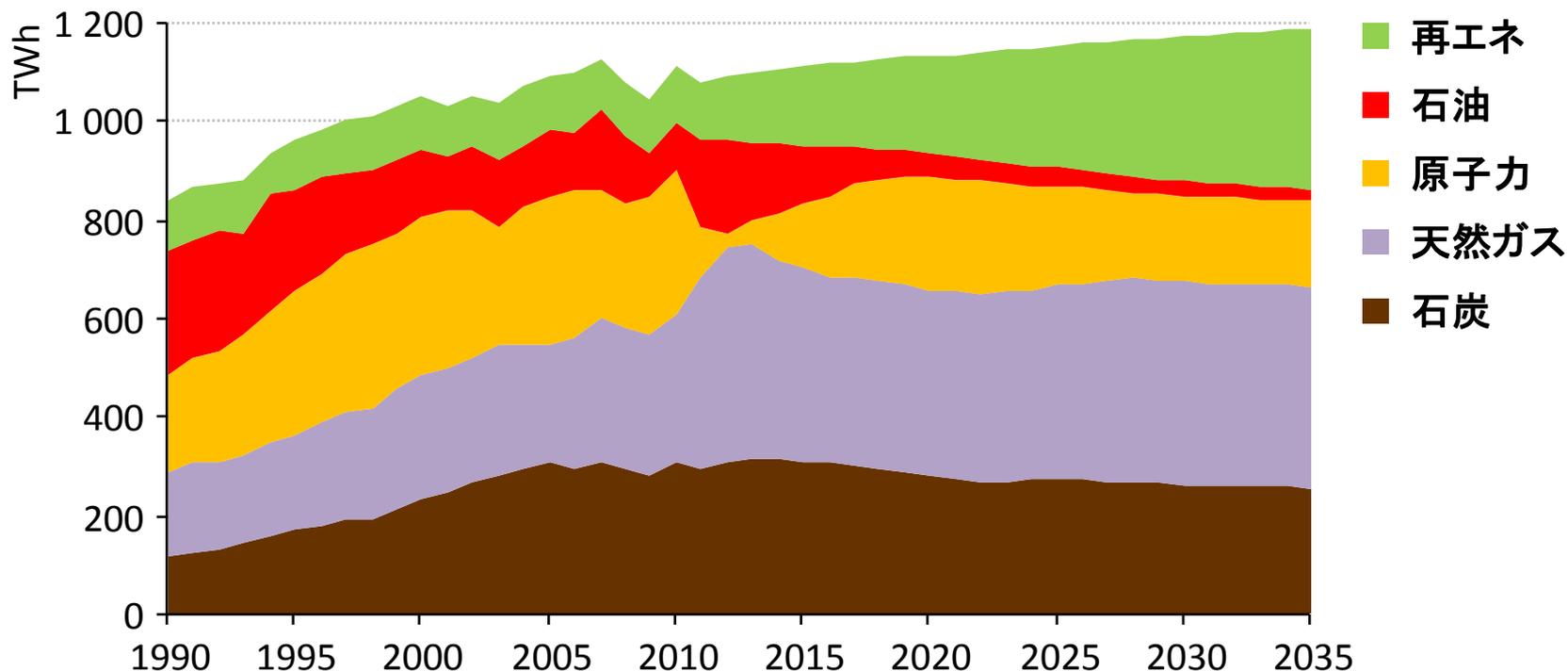


**新興国の需要により、世界の電力需要は70%増加し、
新規発電設備の半分を再生可能エネルギーが占める**

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

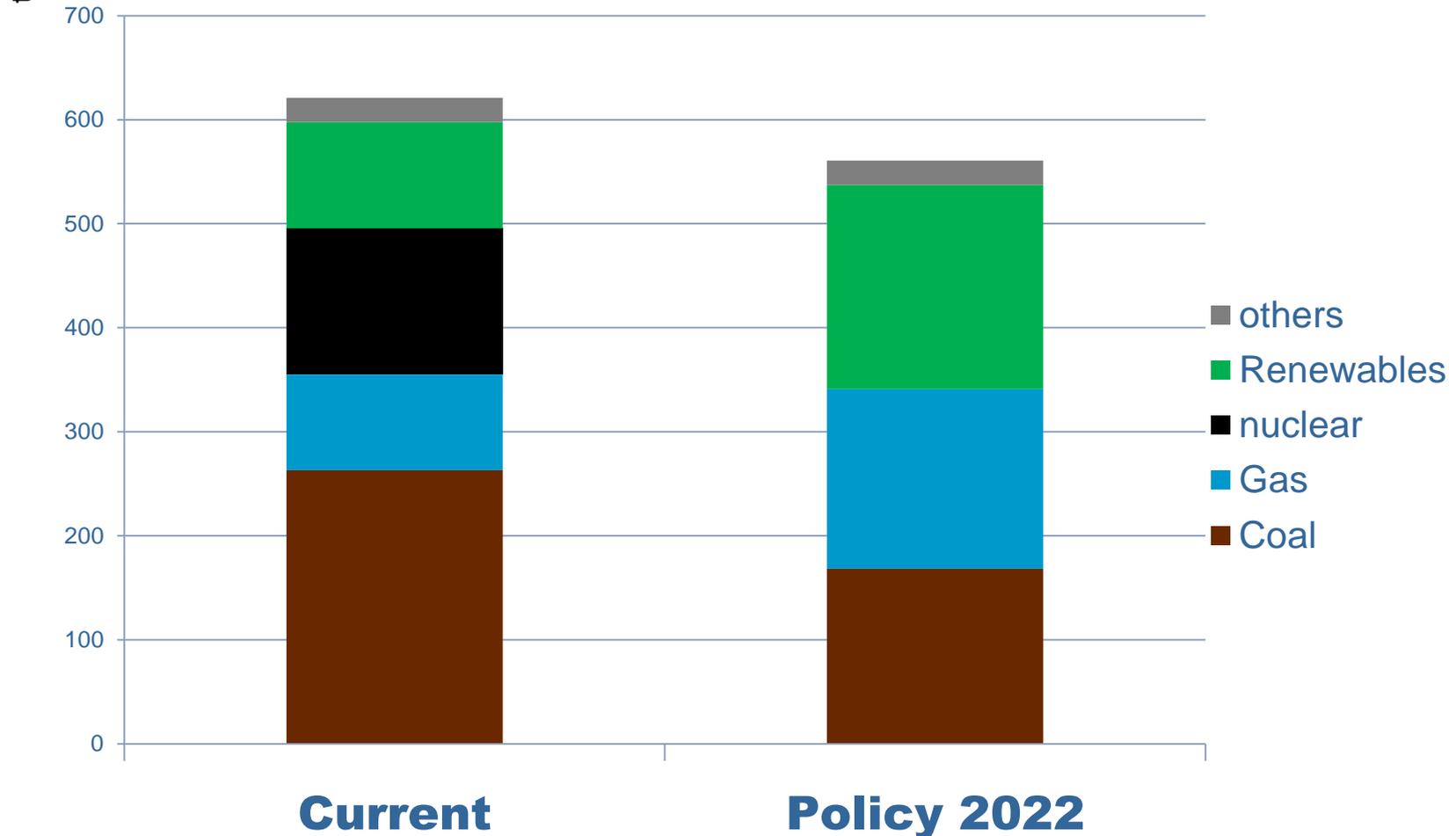
IEA WEO 2012



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

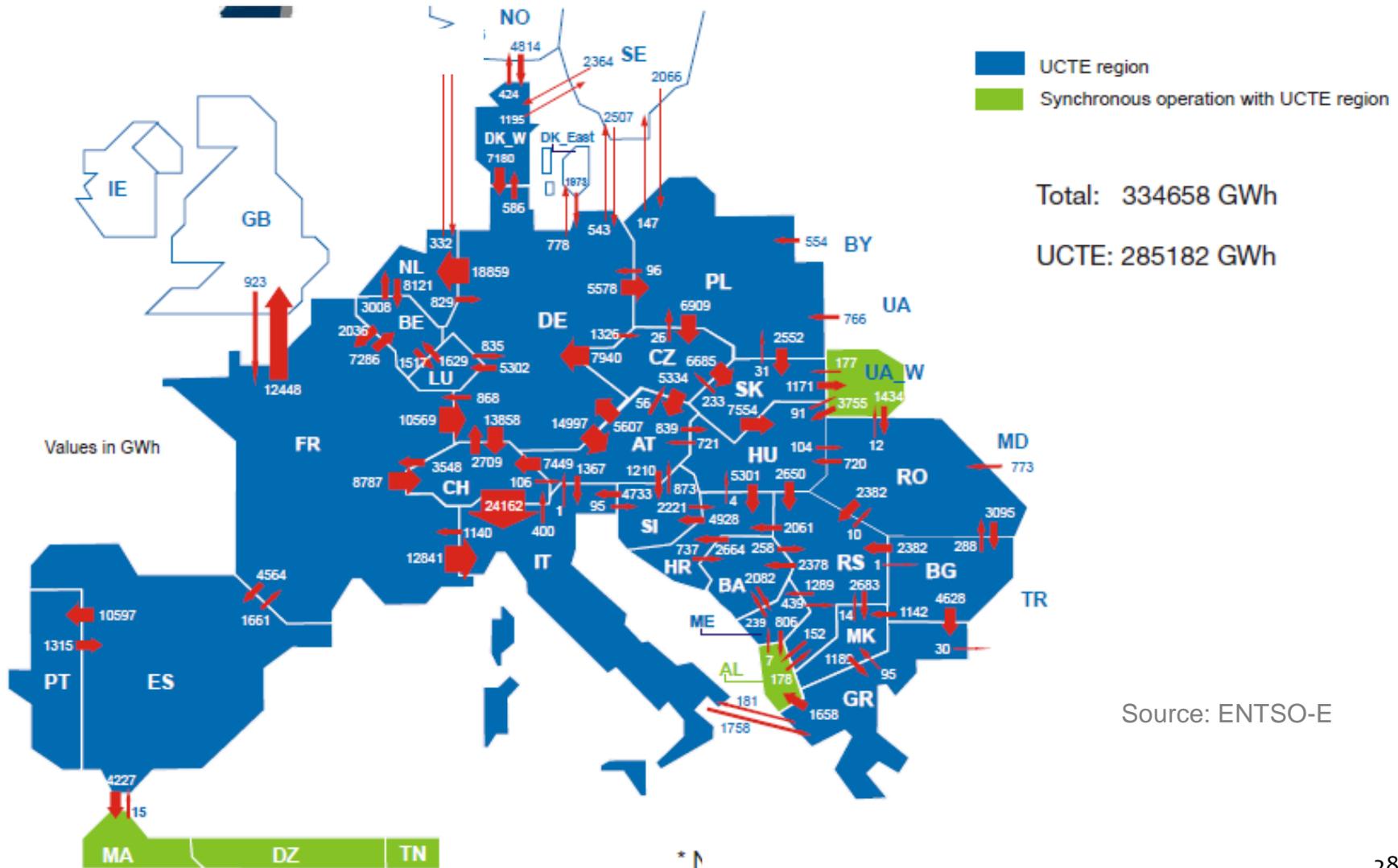
ドイツの脱原発とCO₂削減の両立のためには再生可能エネルギーの倍増と160億立米のガス輸入が必要

需要を10%抑制、原子力を廃止、再生可能エネルギーシェア35%とした場合にCO₂削減目標を達成するための電源構成



Power Grid Connection in Europe

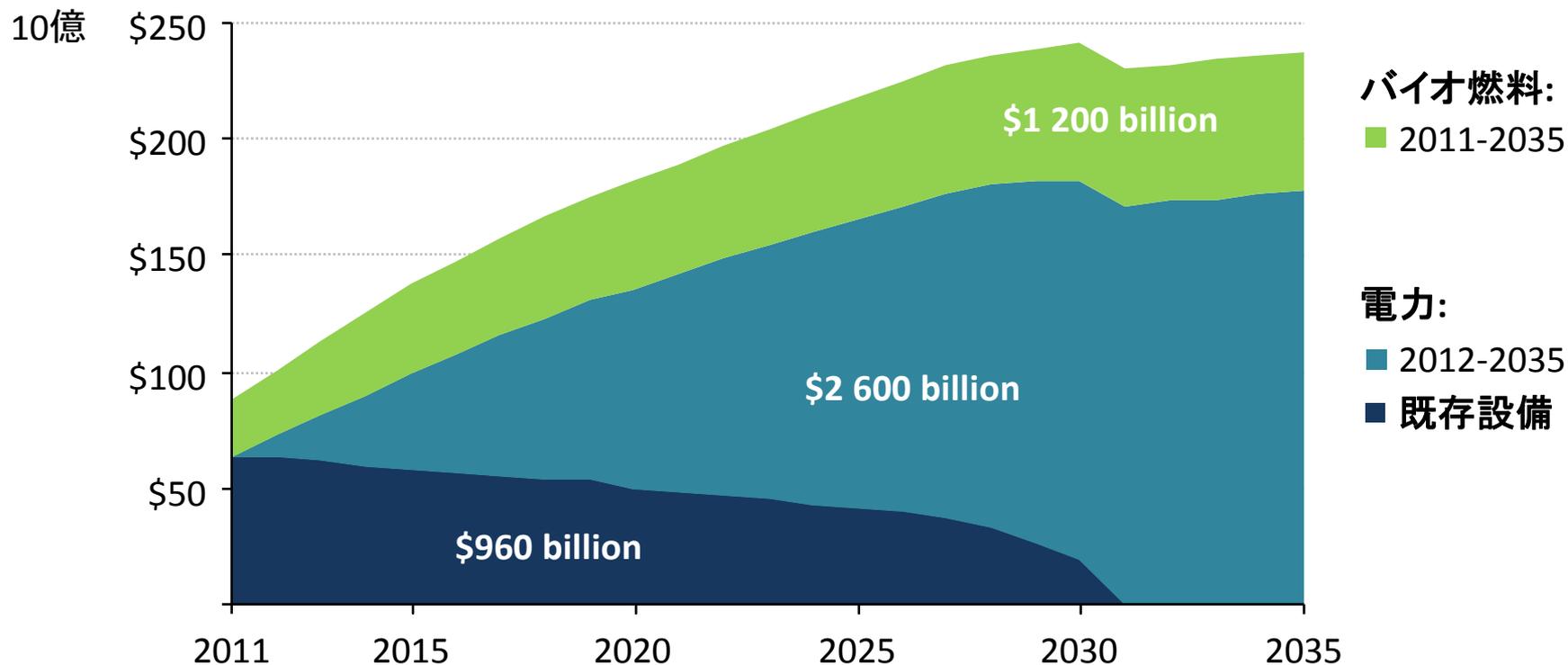
Physical energy flows between European countries, 2008 (GWh)



再生可能エネルギーはコスト高

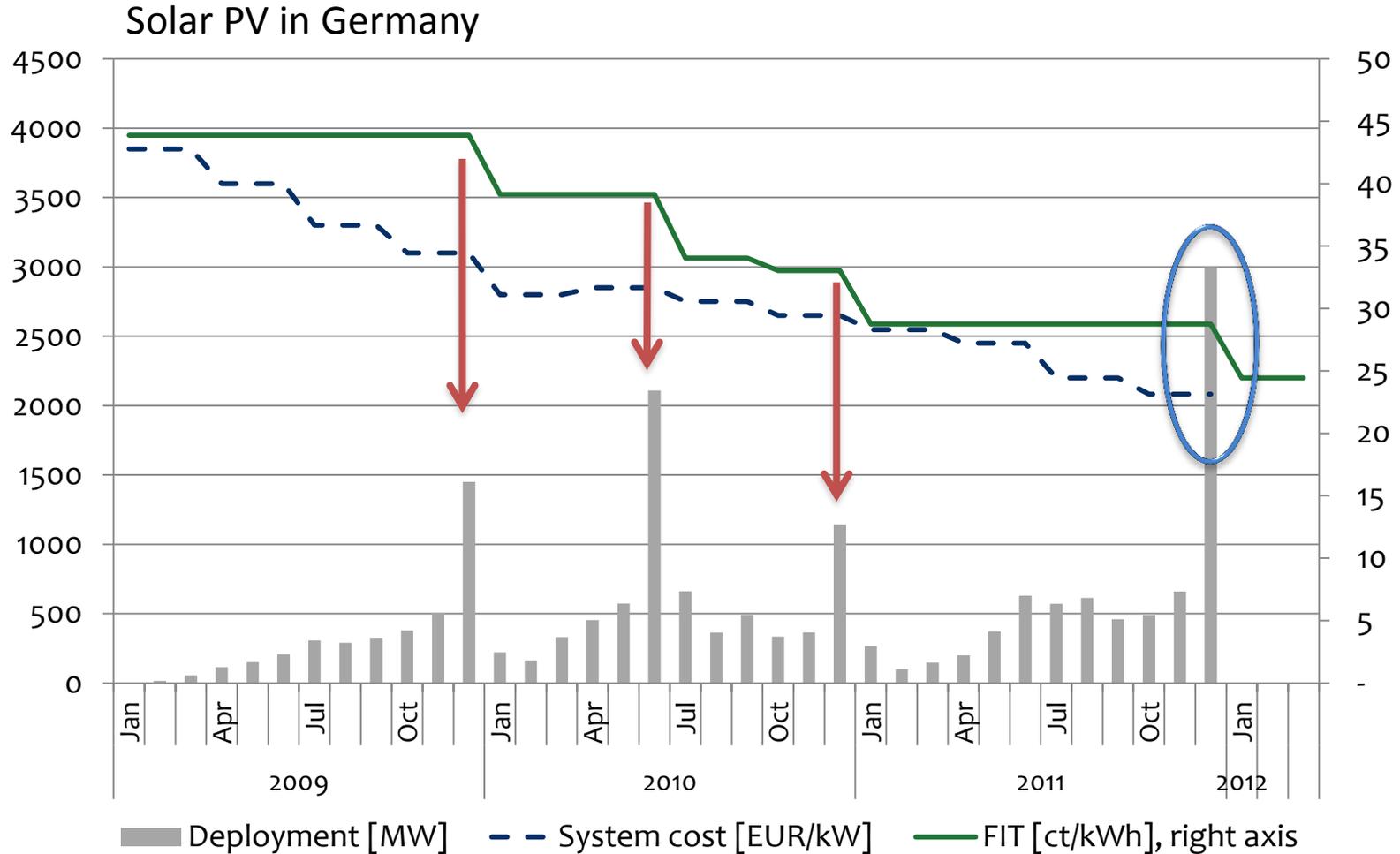
世界の再生可能エネルギー向け補助金

IEA WEO 2012



再生可能エネルギー向け補助金は2011年に880億ドルに上り、2035年までに必要とされる4.8兆ドルのうち半分以上は、既存のあるいは2020年の目標に必要とされるプロジェクト向けにすでに決まっている

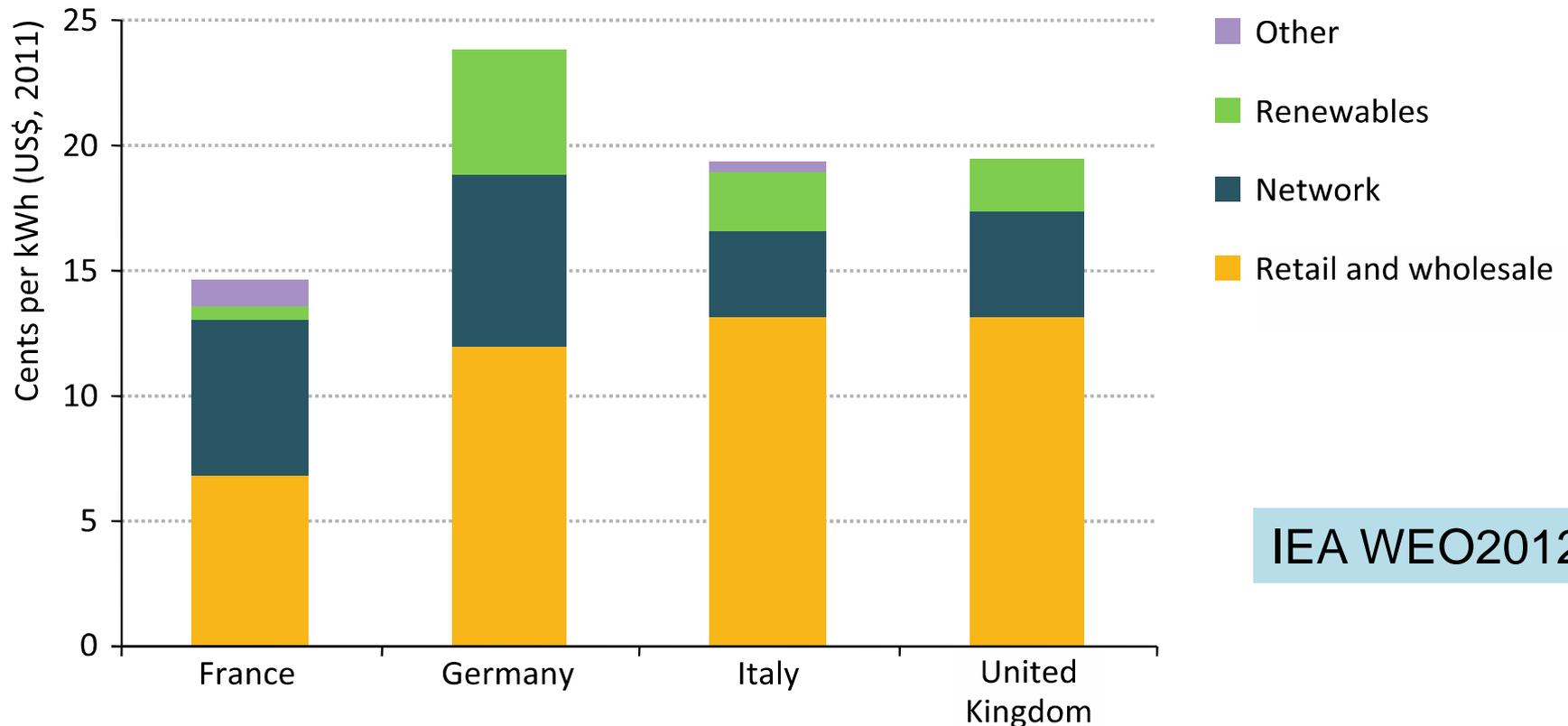
強制買い取り価格(FIT)の問題点;ドイツの実験



Key point: Gap between incentives and costs and large, one-off tariff decreases can trigger “sales rush”

欧州の電力価格比較

Figure 6.18 ▶ Average electricity price to households in selected European countries by cost component, excluding taxes, 2011



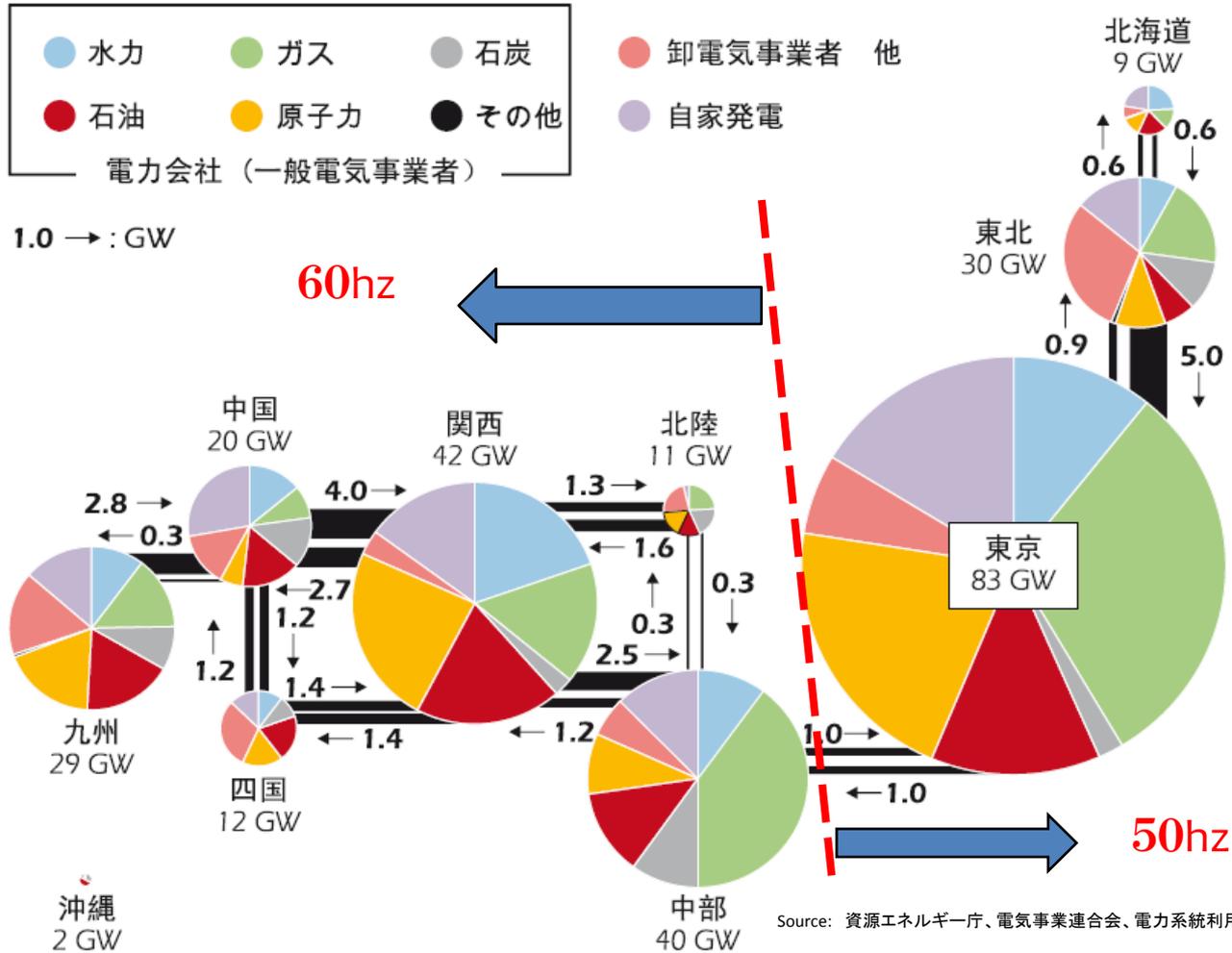
IEA WEO2012

Sources: Ofgem (2012); BDEW (2011); CRE (2011); Autorita' per l'Energia Elettrica e il Gas (2012); IEA (2012).

About 1/5 of German pretax price for electricity was due to renewables. 12% in Italy, 11% in UK and 4% in France.

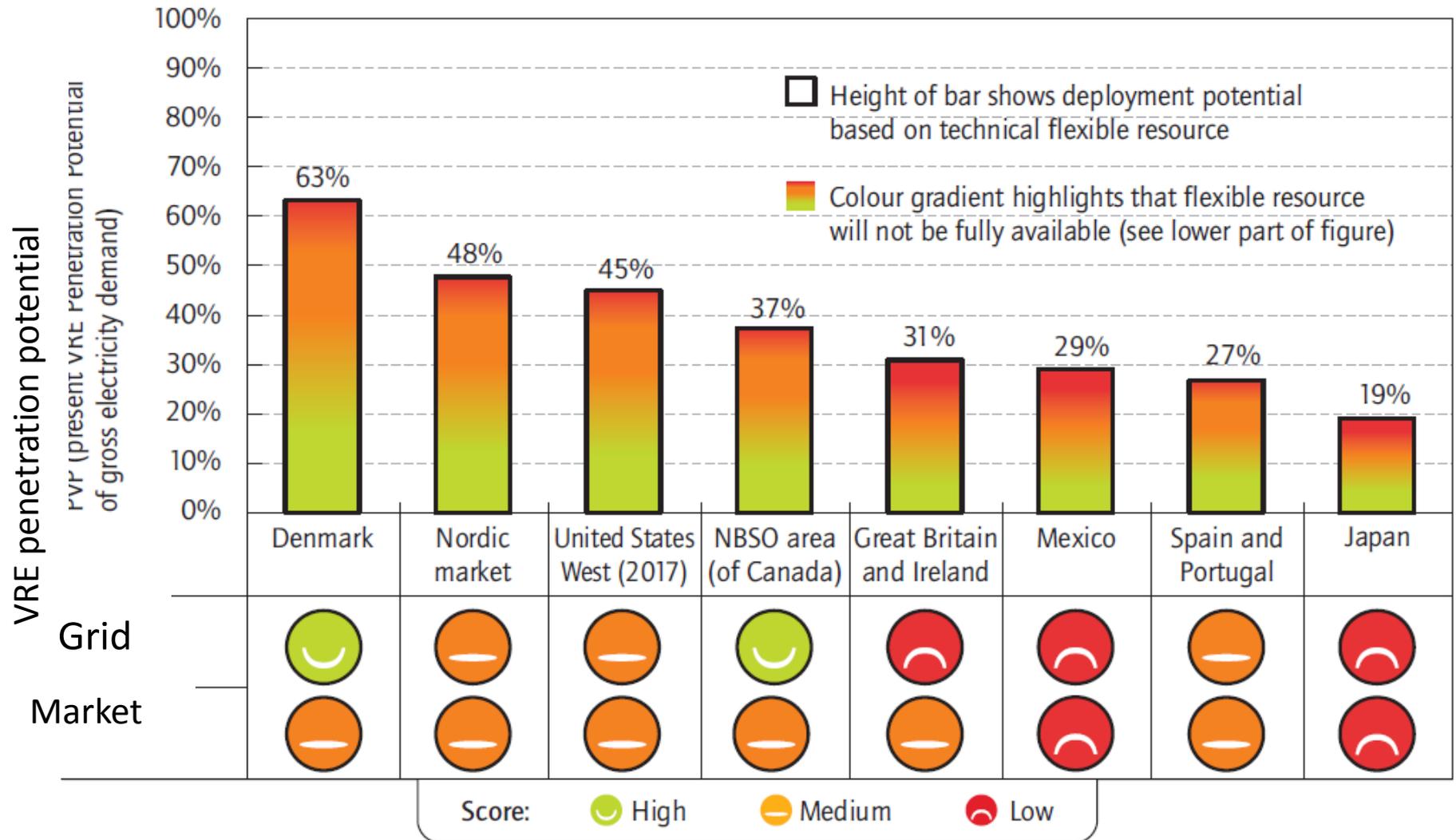
日本では電力市場改革と系統網の周波数統一が課題

地域・事業者・発電種別設備容量と地域間連系線



国内のエネルギー市場が一層統合されることで、変動型の再生エネルギー発電利用を拡大しつつ、供給の安定性及び経済効率性が確保される。

再生可能エネルギー導入の技術的ポテンシャル



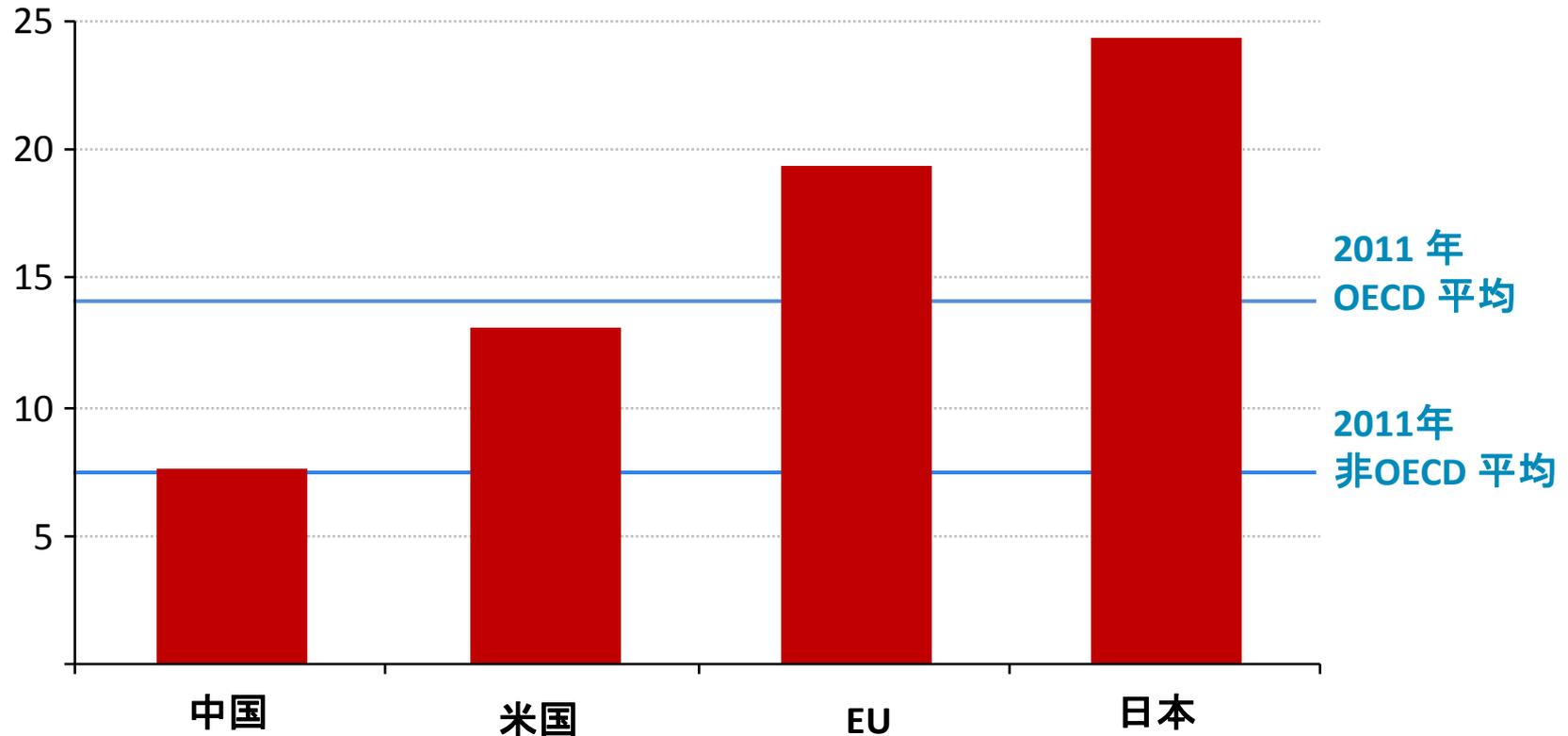
■ 日本は技術的なポテンシャルとして再生可能エネルギーを19%まで導入できるが、これを達成するには、送電網の強化や市場設計の見直しが必要。さらに高めるには柔軟なバックアップ電源、蓄電、国際系統連繋も必要。

日本の電力価格は極めて高くなる

2035年における家庭用電力平均価格

IEA WEO 2012

セント/kWh

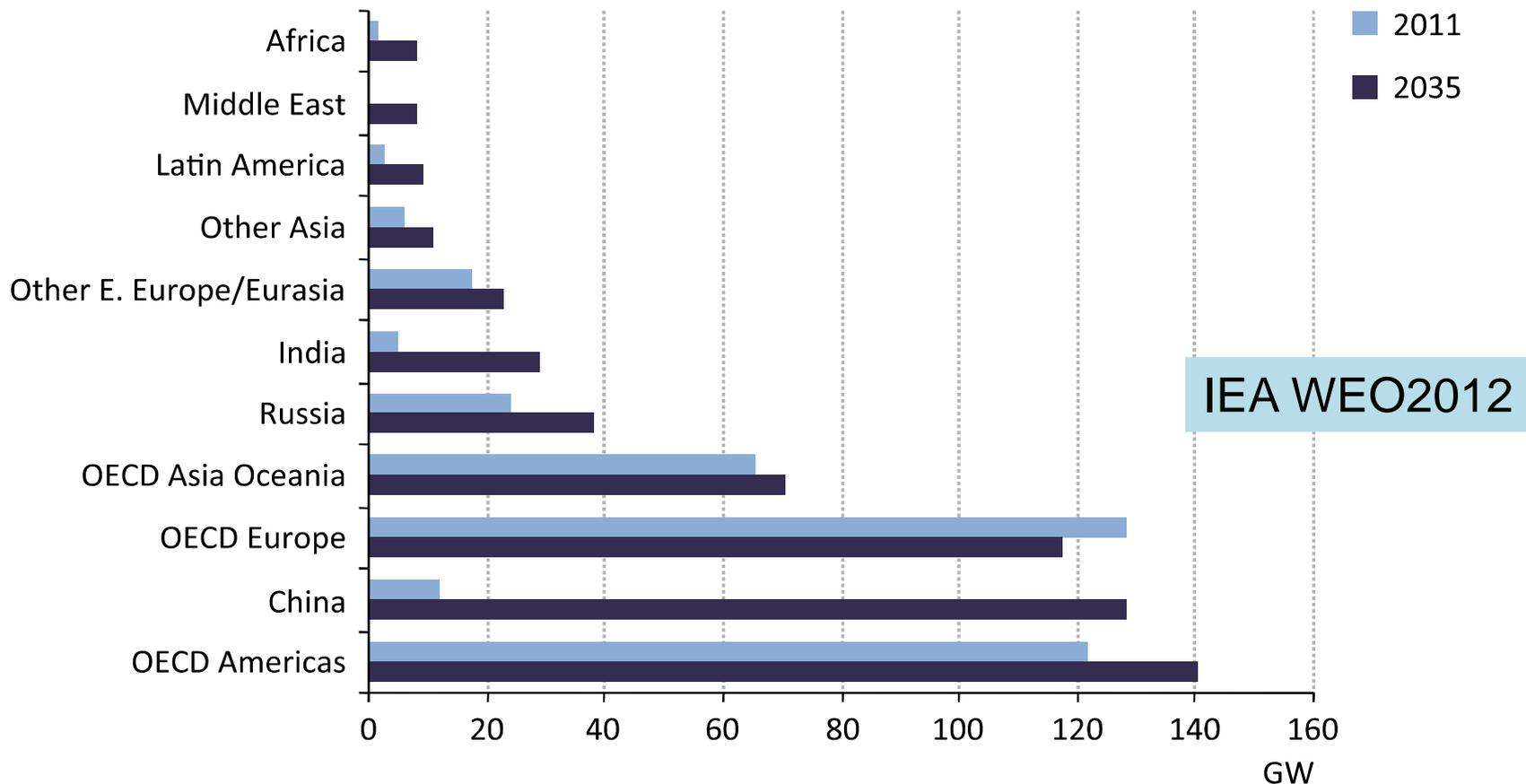


電力価格は上昇の見込み。

EUや日本で最も高い水準が続き、比べて中国や米国はかなり低い推移となる

世界は原子力を使い続ける。

Figure 6.7 ▶ Nuclear power capacity by region in the New Policies Scenario



In aggregate, world nuclear capacity reaches 580GW in 2035, 50GW lower from 2011 WEO. Production rises from 2756TWh to 4370TWh, almost 60% increase, though the share in total generation falls from 13% to 12%.

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。（Safety and Security）。
- 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

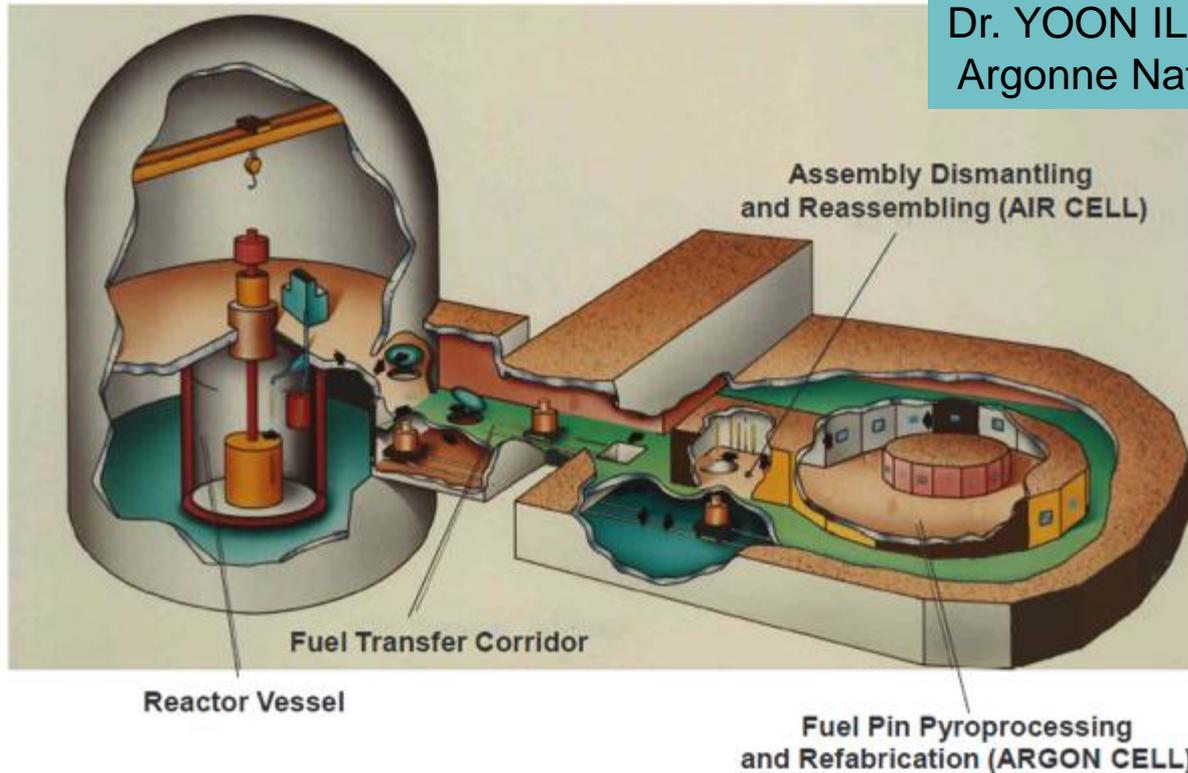
それでも災害が起こってしまったからの回復措置

- 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。

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

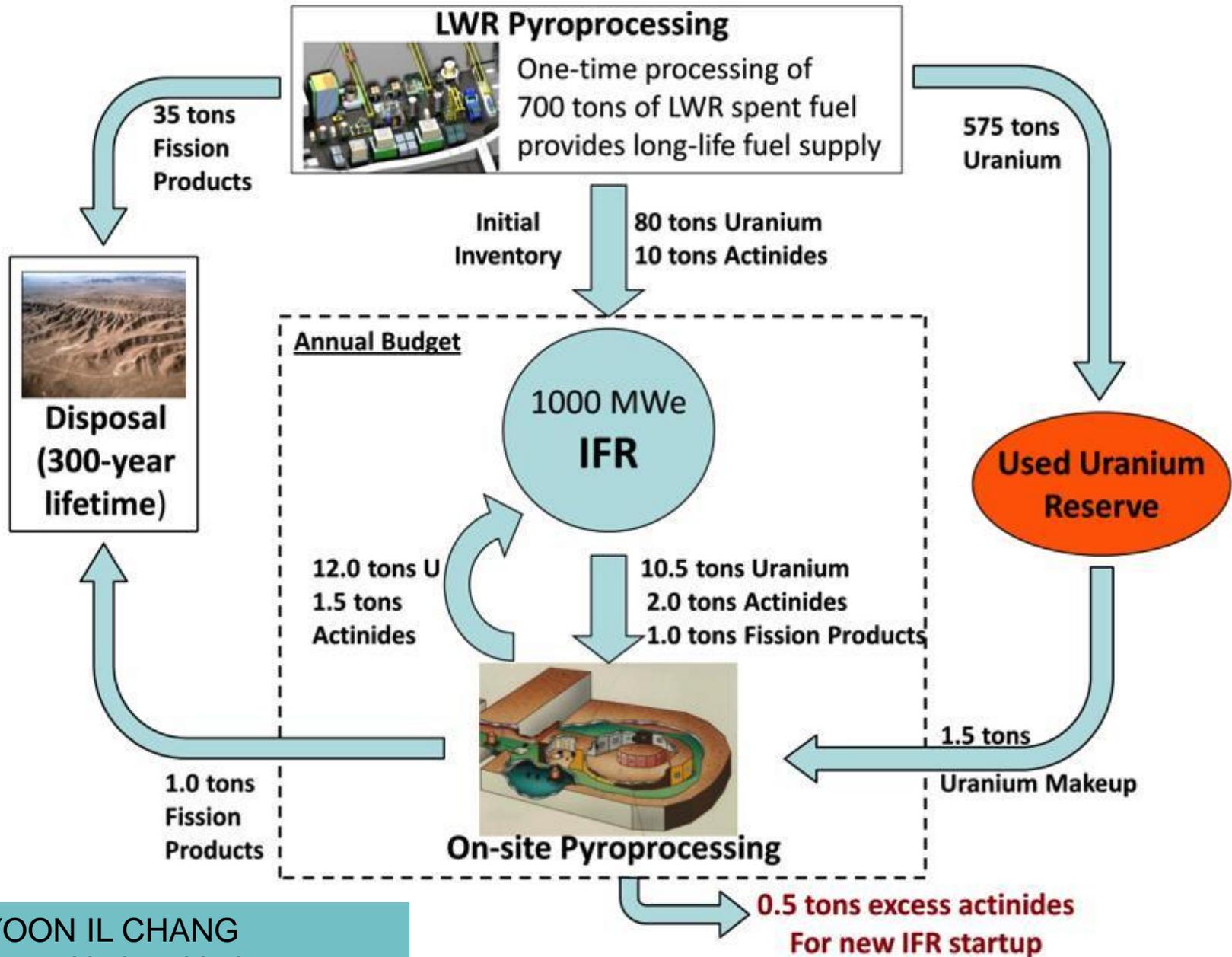
Pyroprocessing was used to demonstrate the
EBR-II fuel cycle closure during 1964-69

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



Dr. YOON IL CHANG
Argonne National Laboratory

CSISナイ・アーミティジ報告 から抜粋 (2012/8/10)

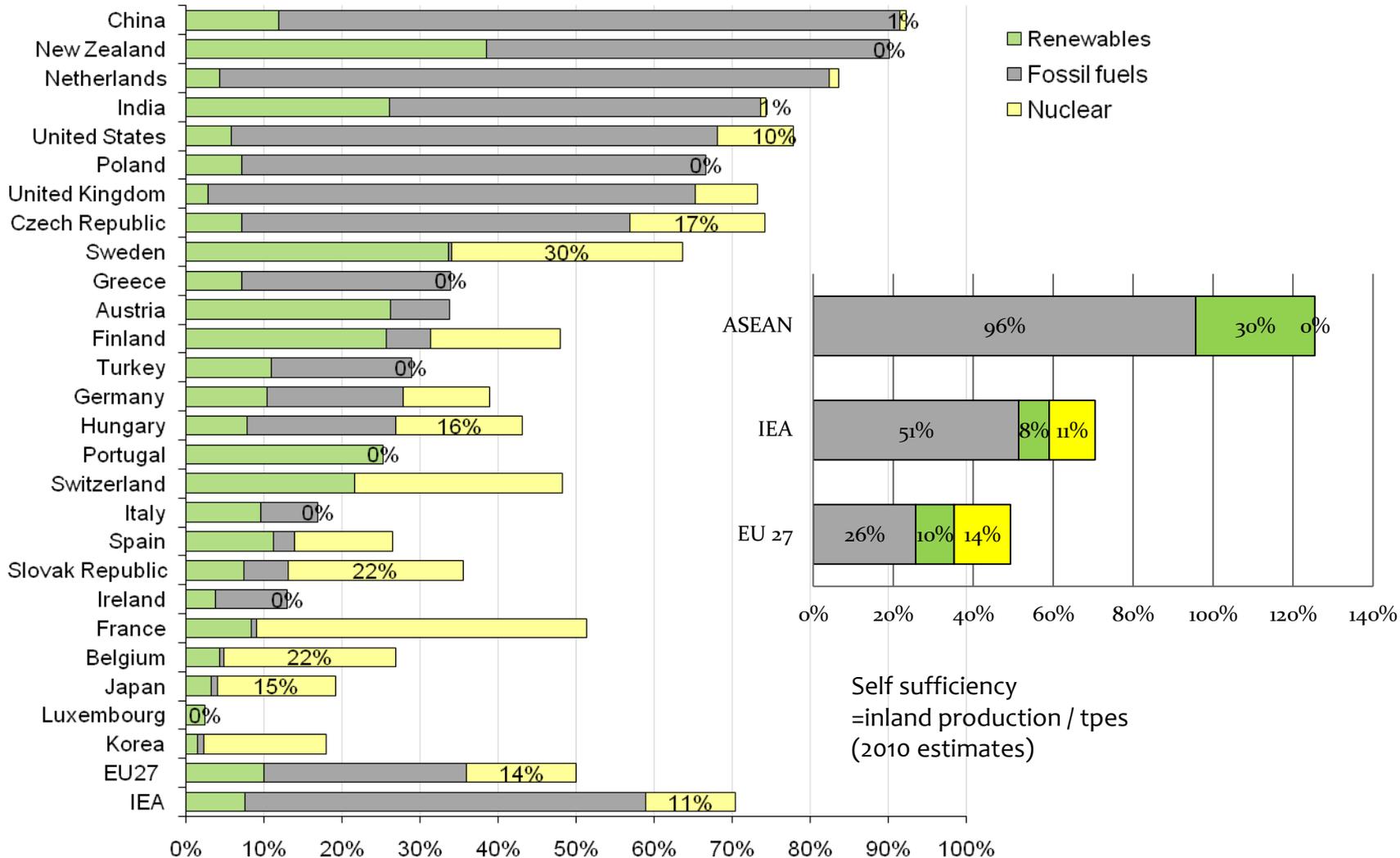
両国は、より強力で対等な同盟にするためには、第一流国家(tier-one nations)の見方から臨むことが必要。第一流国家とは、重要な経済的な重み、能力ある軍事力、世界的なビジョン、国際的な関心事項への民主的な指導性を持たなければならない。米国は間違いなく一流国家だが、日本の場合は、決断すべき事がある。つまり、**日本は、なお一流国家であり続けたいのか、あるいは二流国に漂流しても構わないのか？**

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。

エネルギー安全保障 = 多様性の維持。

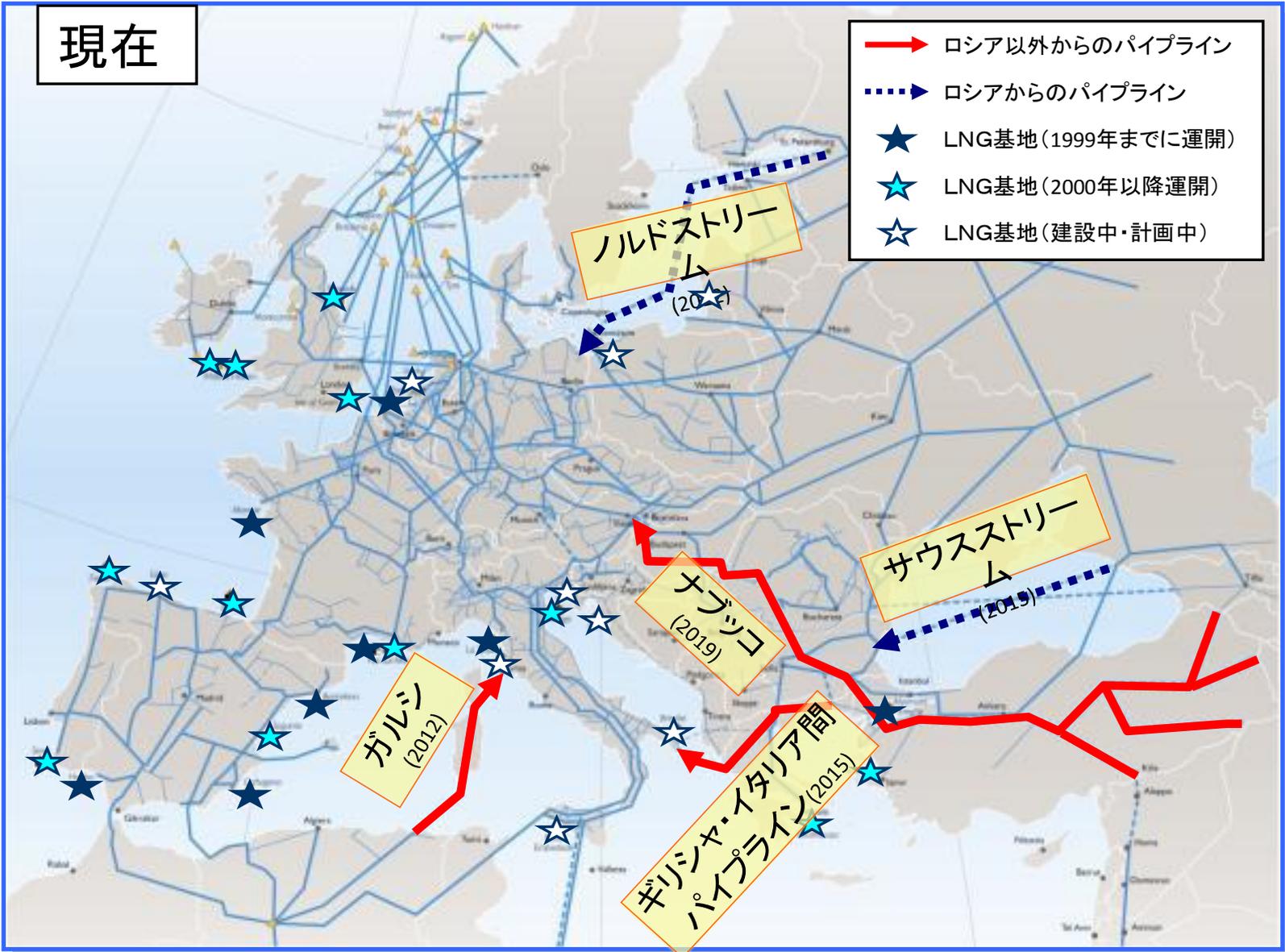
自給率とエネルギーミックス



エネルギー自給率の低い(国内エネルギー資源が乏しい)国においては、原子力は重要なオプション

欧州のガスパイプライン網

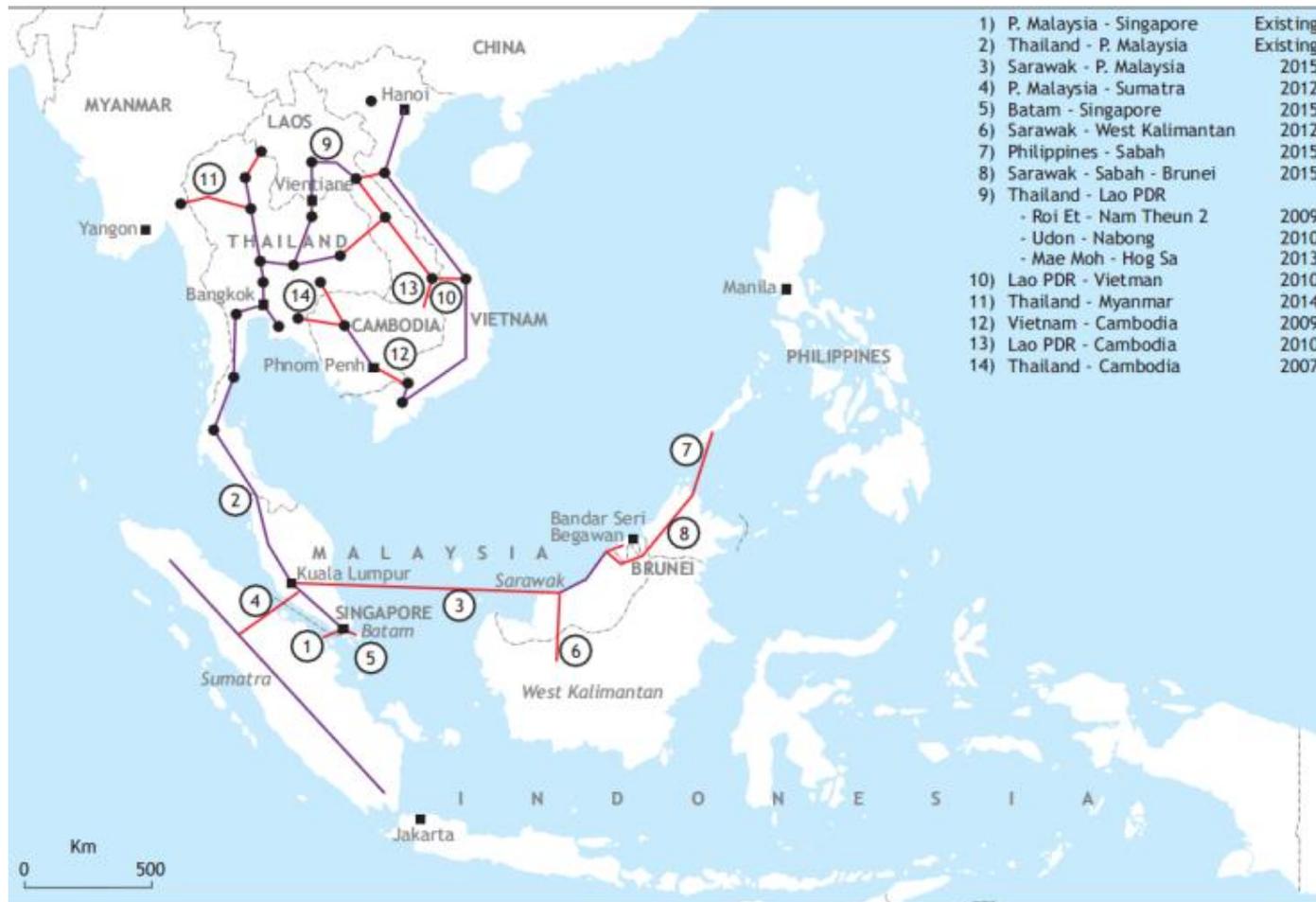
現在



中東北アフリカと欧州のグリッド接続。 デザートテック計画は“Energy for Peace”と呼ばれ、21世紀のエネルギー安全保障のビジョンとなりうる。



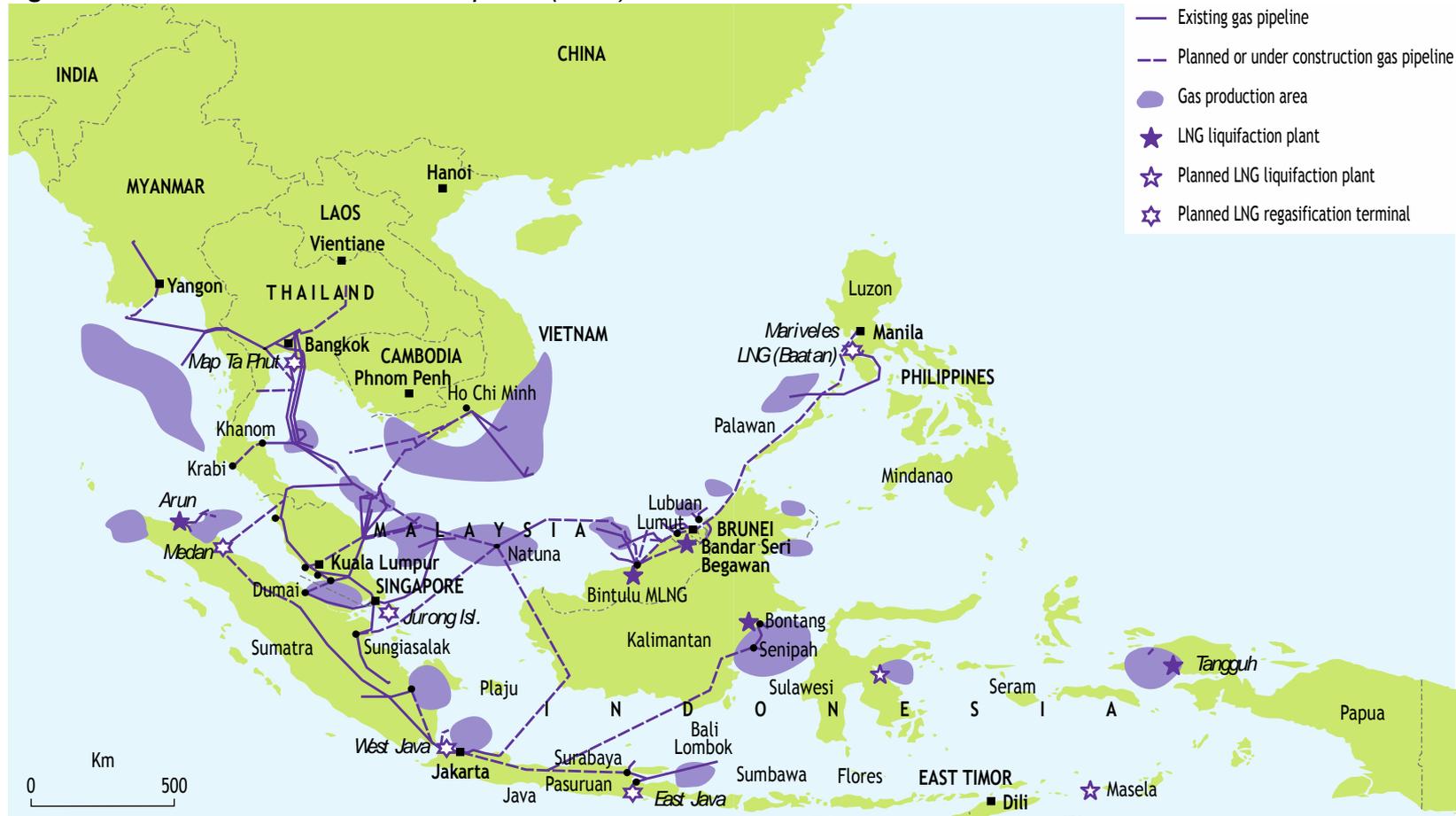
ASEAN が敷設または計画中の系統線連繋



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.

ASEAN is working on Gas Pipeline System.

Figure 15.16 • The Trans-ASEAN Gas Pipeline (TAGP)

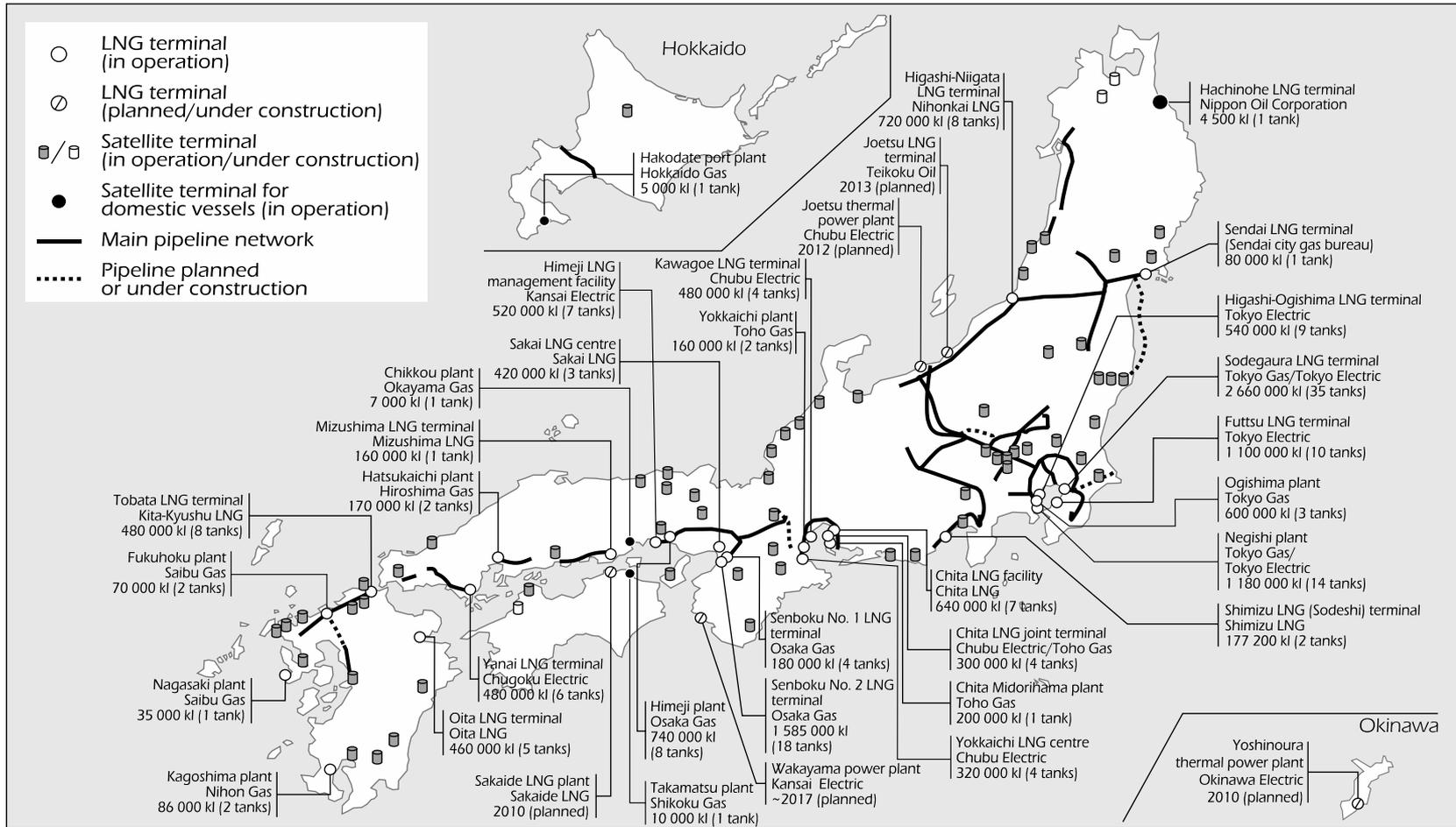


The boundaries and names shown and the designations used on maps included in this publication do not imply official endorsement or acceptance by the IEA.

Source: ASCOPE Secretariat

日本のガスパイプライン網

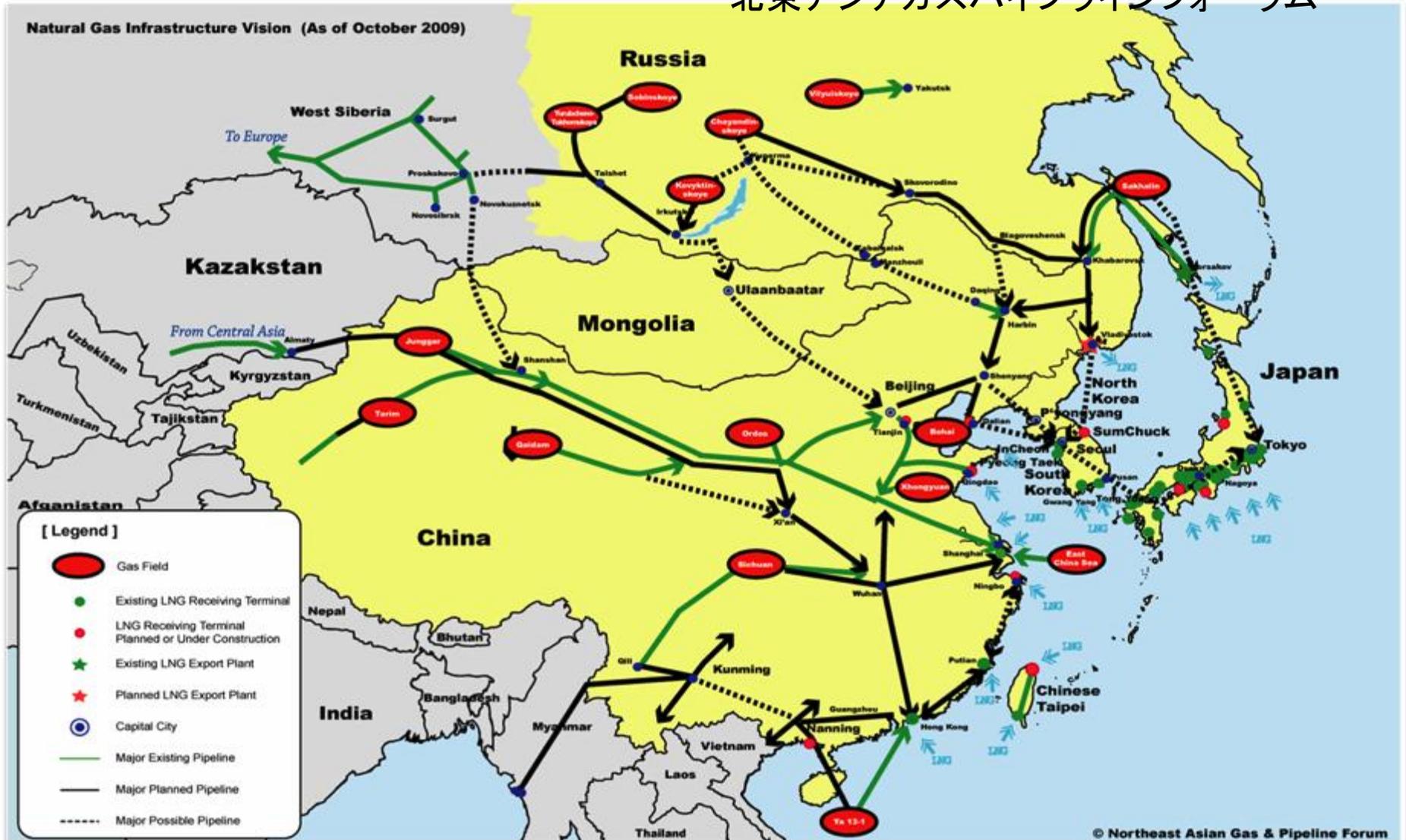
Map of the Japanese Gas Grid



Note: The boundaries and names shown and the designations used on this map do not imply official endorsement or acceptance by the IEA.
 Source: Country submission (compiled by ANRE from data provided by relevant companies).

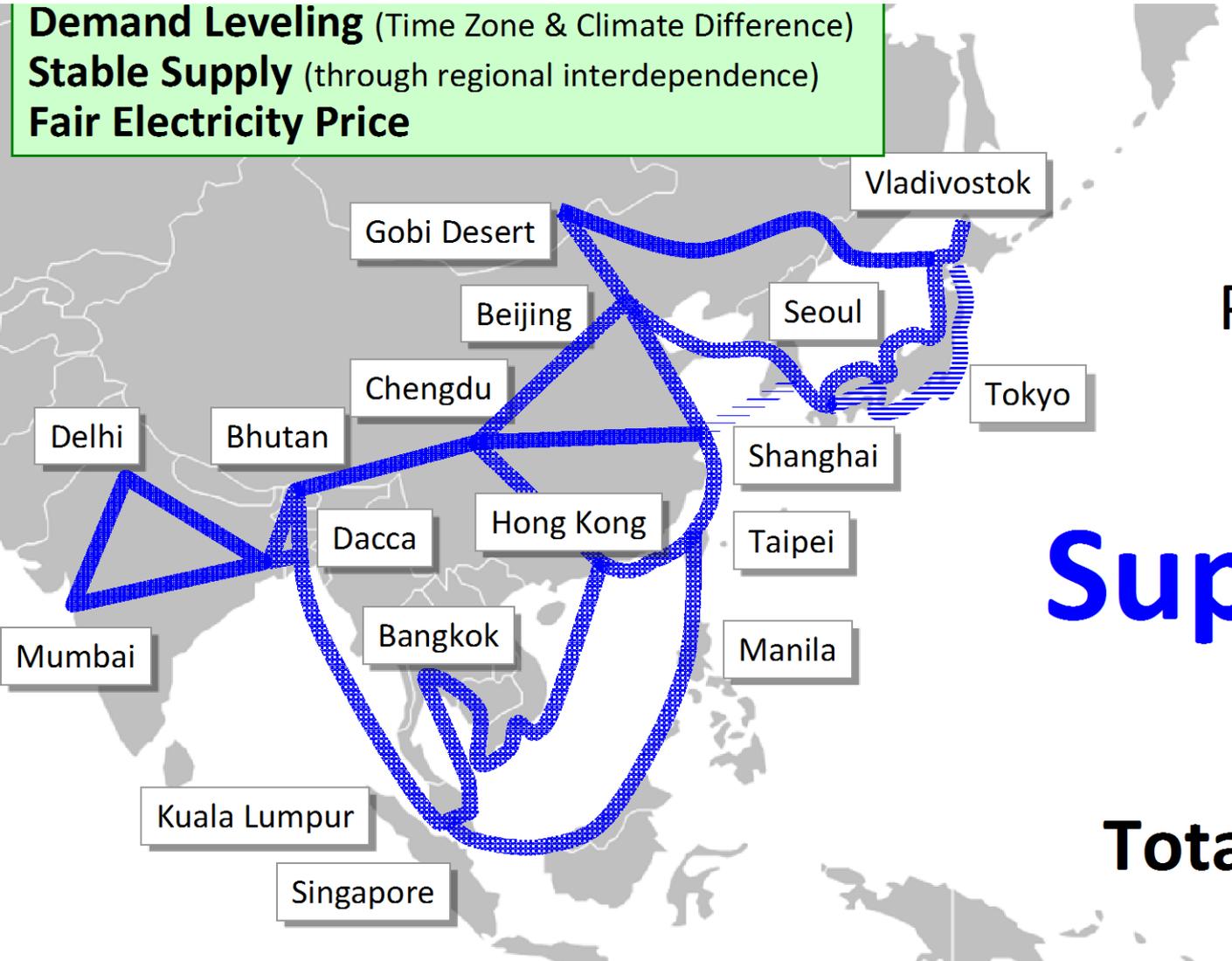
北東アジアガスインフラ構想

北東アジアガスパイプラインフォーラム



Energy for Peace in Asia ? New Vision.

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



Phase 3 **Asia Super Grid**

Total 36,000km

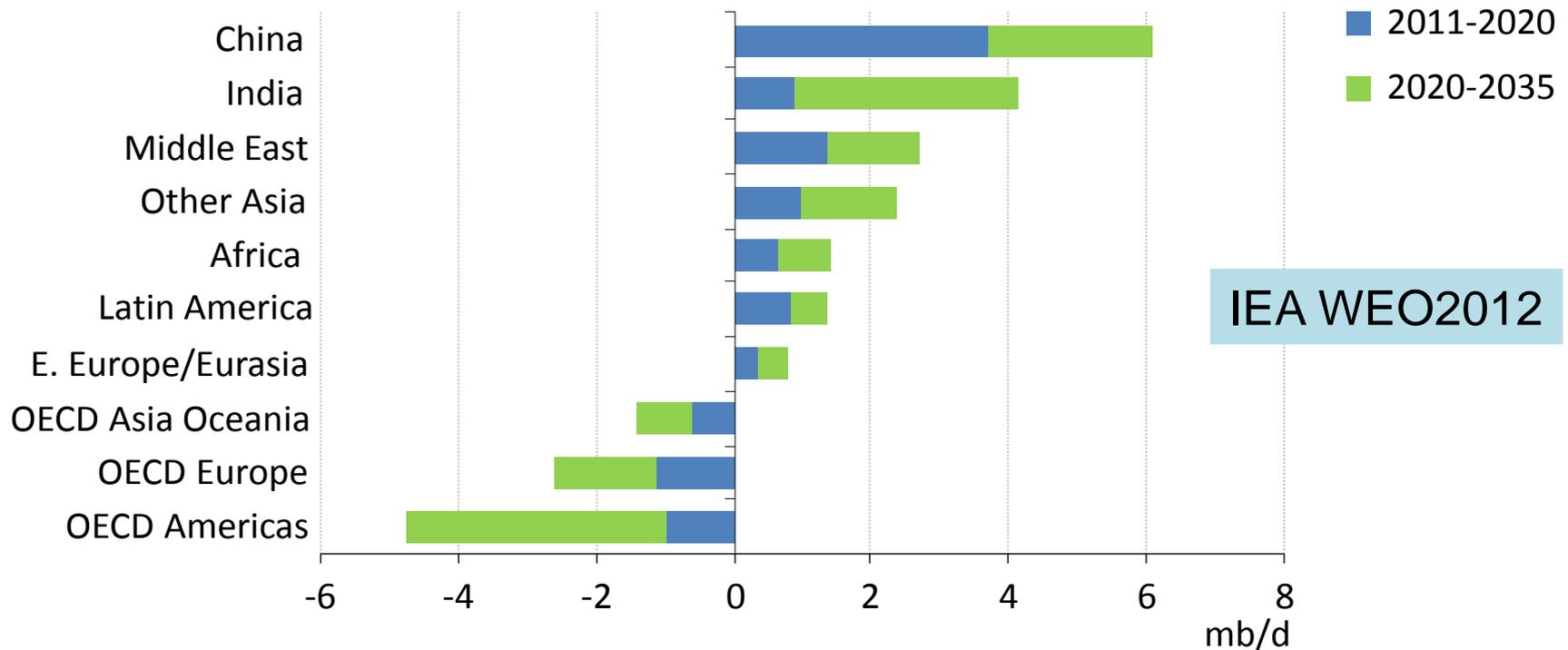
Presentation by Mr. Masayoshi SON

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 in Fukushima.
- 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。
- 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

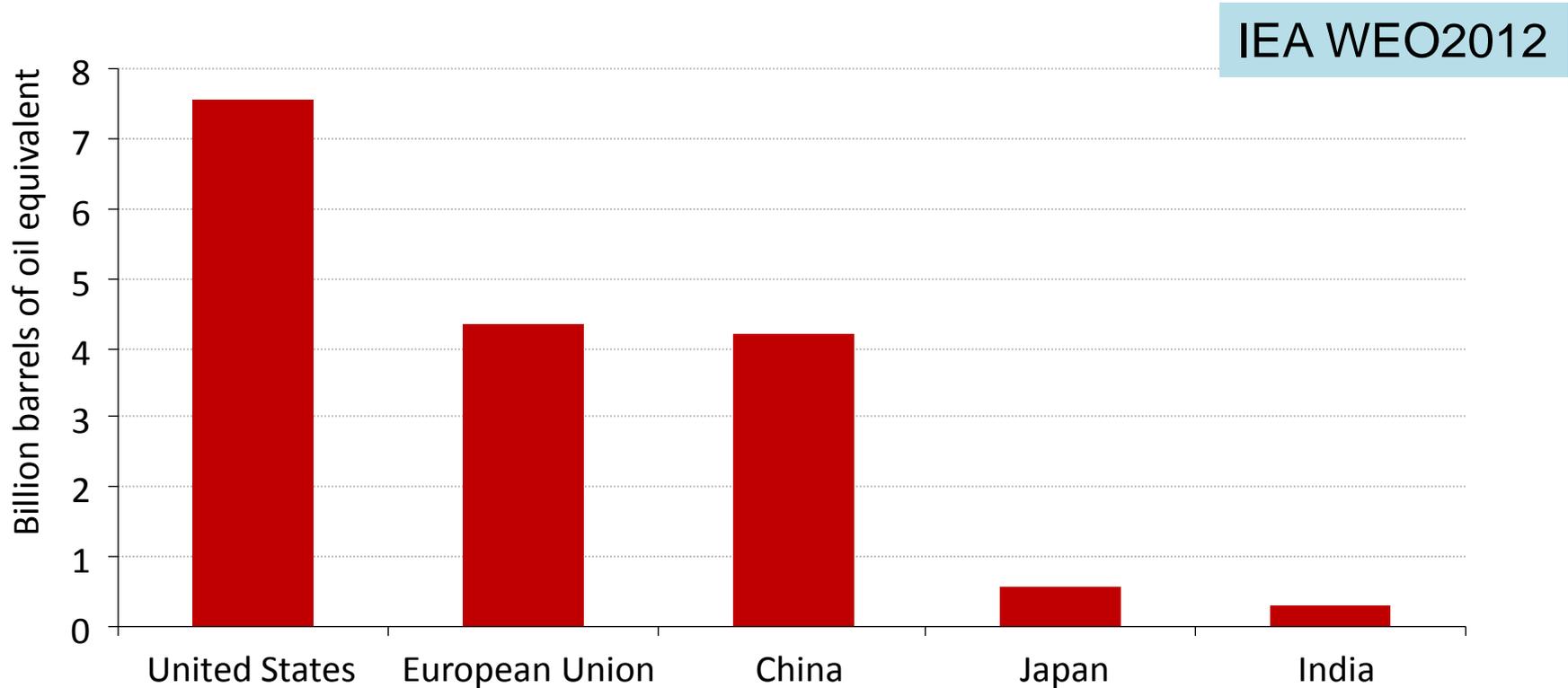
参考資料

石油需要動向：中印の増加と北米の減少



Oil demand falls in the OECD, while the non-OECD countries in aggregate see their demand rise by nearly 19 mb/d between 2011 & 2035

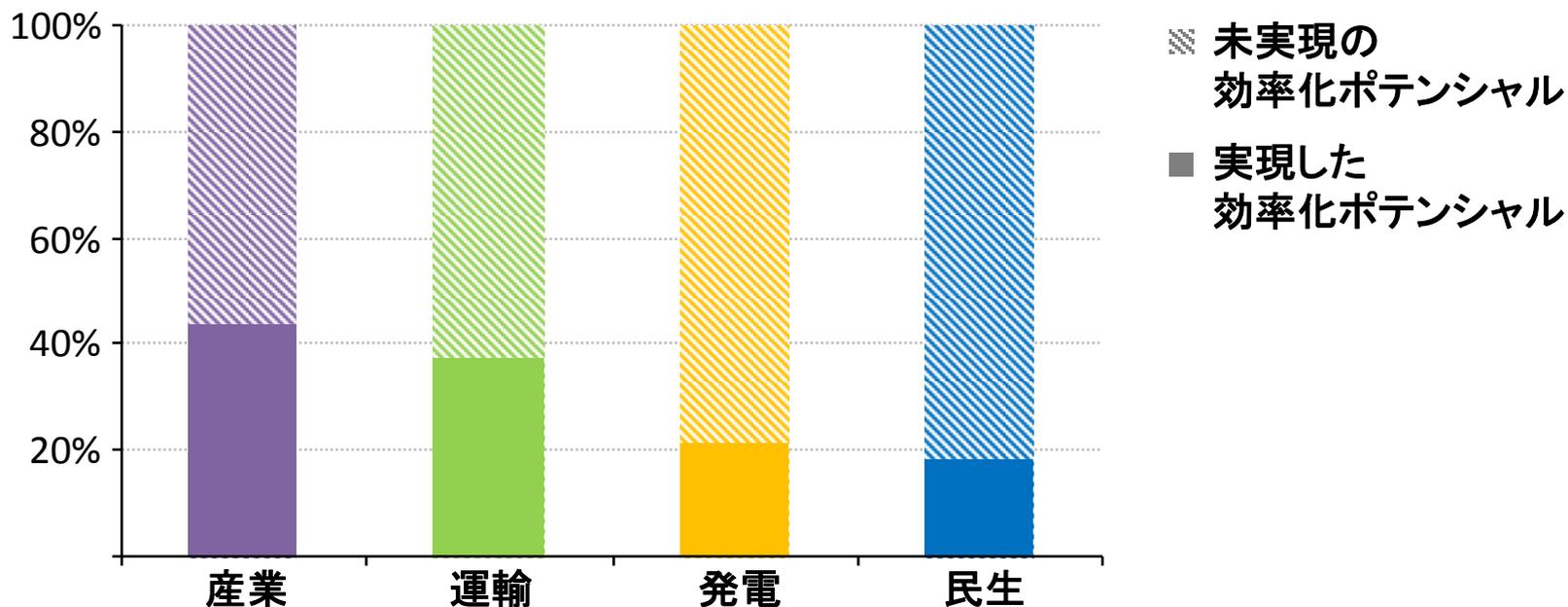
燃費基準改善による石油消費の節約 (2010年から2035年までの累積効果)



米、欧、日本、中、印における乗用車の燃費改善効果は石油換算170億バレル

エネルギー効率: 大きな機会が未実現のまま

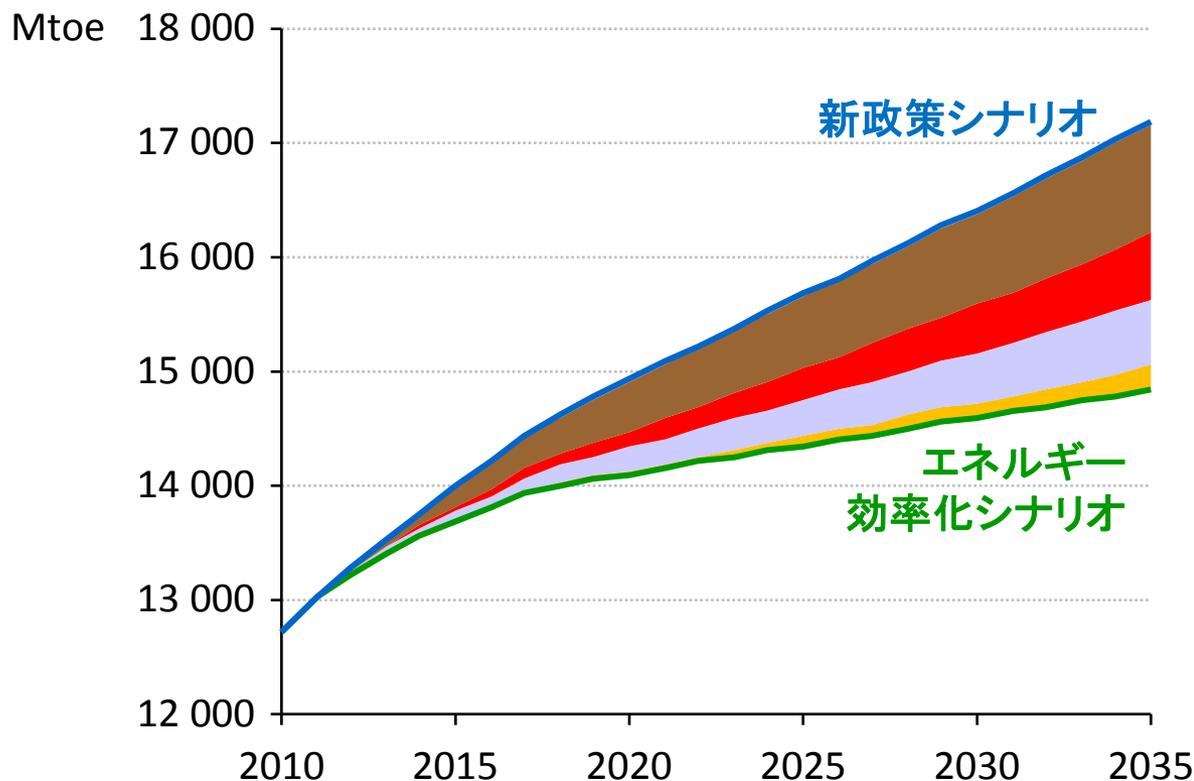
部門別のエネルギー効率化余地の実現率(新政策シナリオ)



**経済性のあるエネルギー効率ポテンシャルの 2/3が
2035年まで手つかずのまま**

エネルギー効率化シナリオ:

シナリオ別一次エネルギー需要



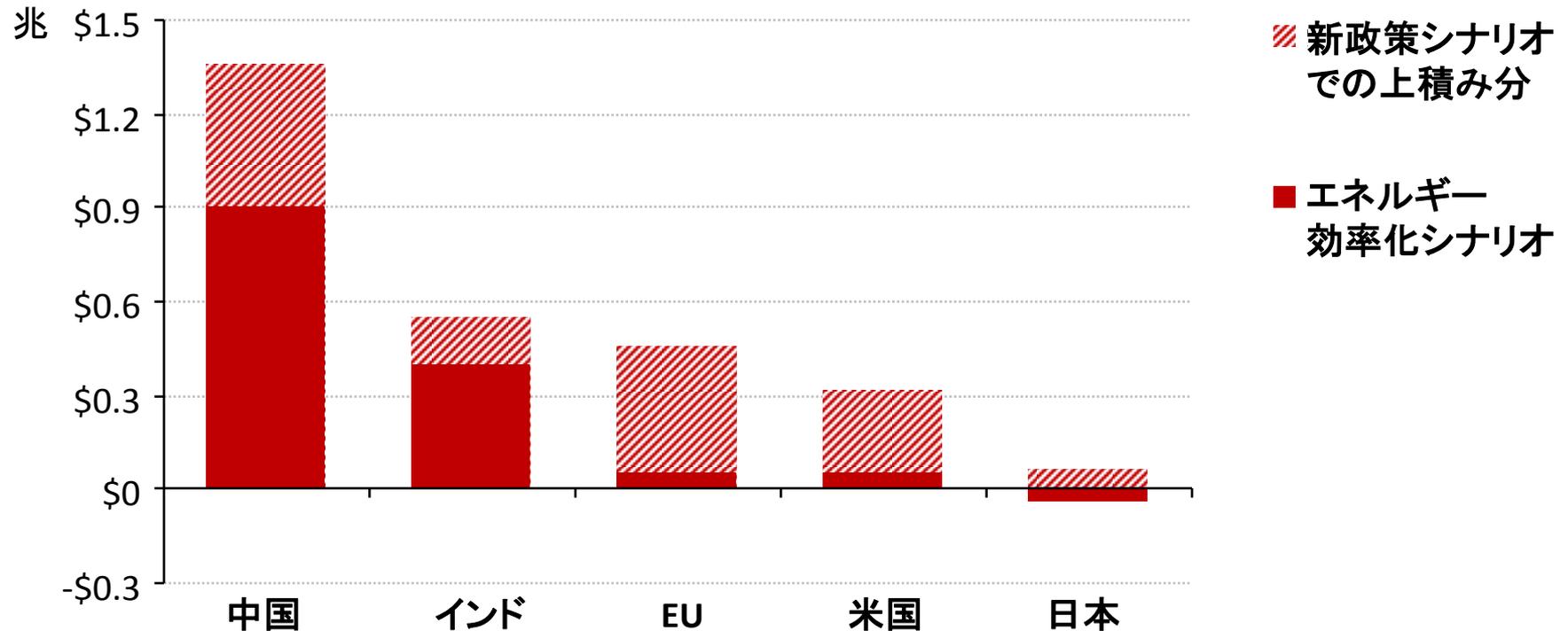
2035年時点の削減量

石炭	1350	百万石炭換算トン
石油	12.7	百万バレル/日
天然ガス	680	10億立方メートル
その他	250	百万石油換算トン

経済的に実現可能な効率化策だけで、2035年までのエネルギー需要の増加分を半減させうる。石油消費の削減量はロシアとノルウェー2国の現生産量に匹敵

エネルギー効率化がもたらす経済的恩恵

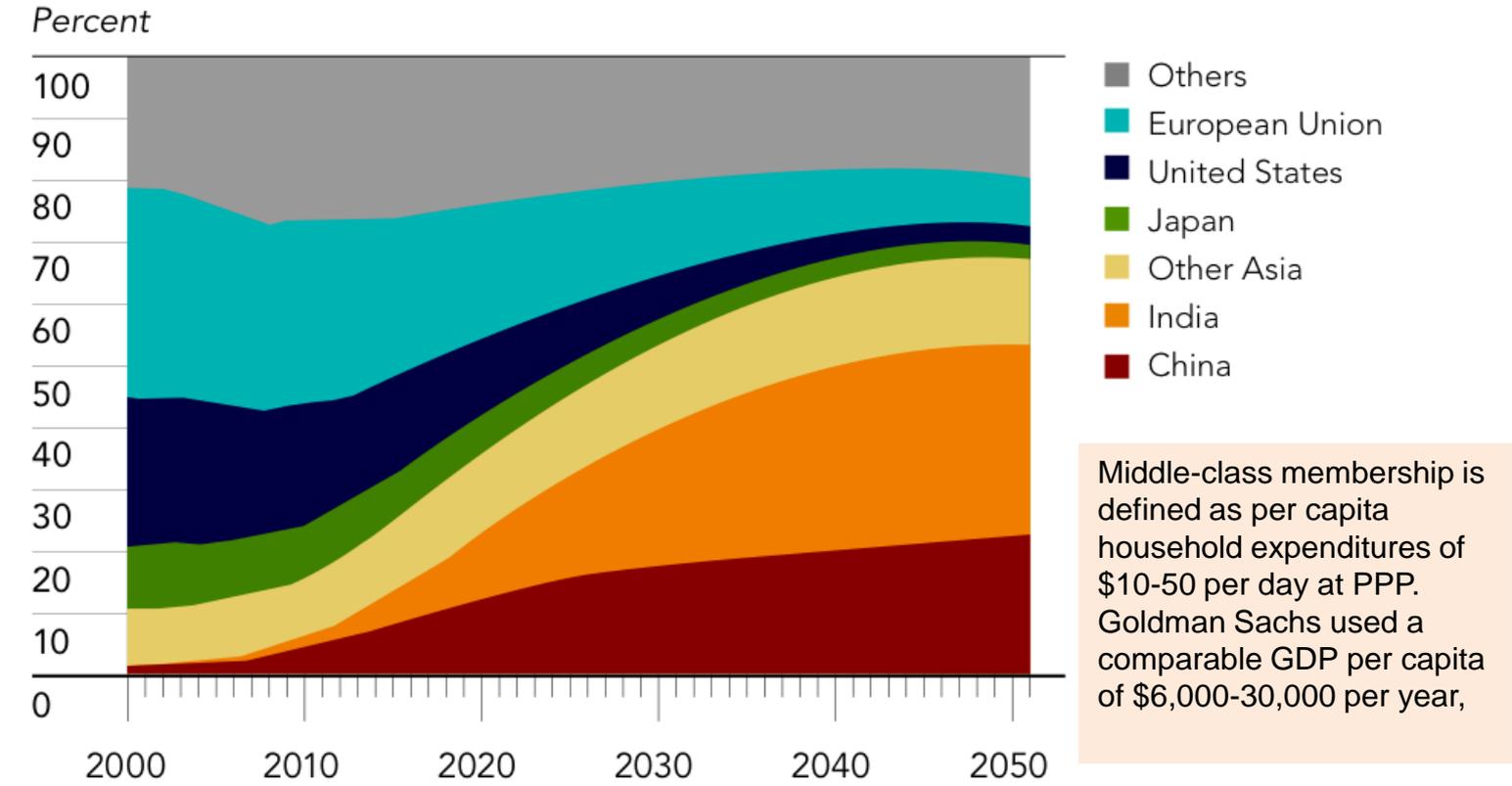
2010年から2035年までのエネルギー関連支出の増加分



エネルギー支出を平均20%削減する効果に加え、エネルギー効率化は、特にインド、中国、米国及び欧州にとって、さらに広範な経済的恩恵をもたらす

2030年までに世界の中間層は10億人から30億人に増大 (Global Trends 2030 by National Intelligence Council)

SHARES OF GLOBAL MIDDLE-CLASS CONSUMPTION, 2000-2050



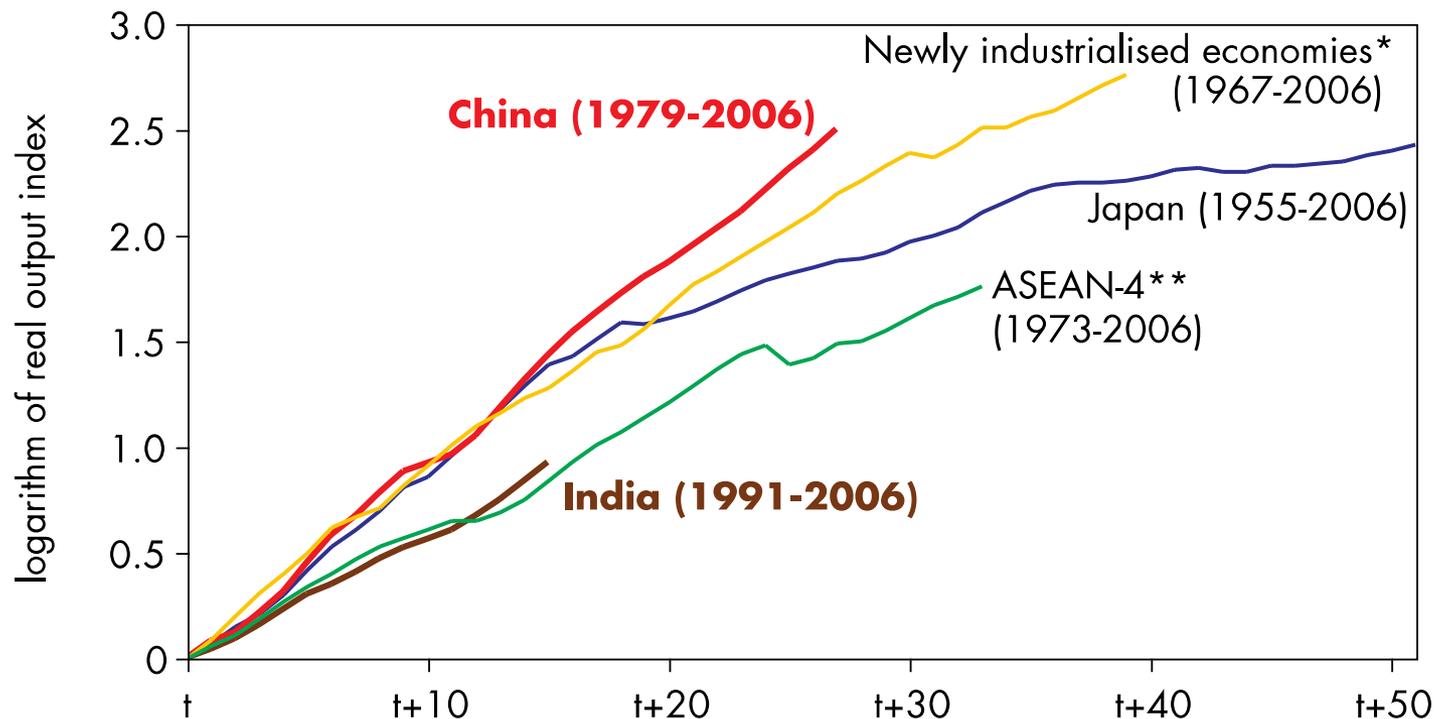
Middle-class membership is defined as per capita household expenditures of \$10-50 per day at PPP. Goldman Sachs used a comparable GDP per capita of \$6,000-30,000 per year,

Source: OECD.

西欧レベルの中間層は3億人から2030年には7億人へ拡大。
19世紀の産業革命時よりはるかに厳しい資源制約を起こす可能性。

ゲームチェンジャー、中国とインドの成長はいつまで続くか？

Figure 3.1: Real Output in China, India, Other Asian and Newly Industrialised Economies



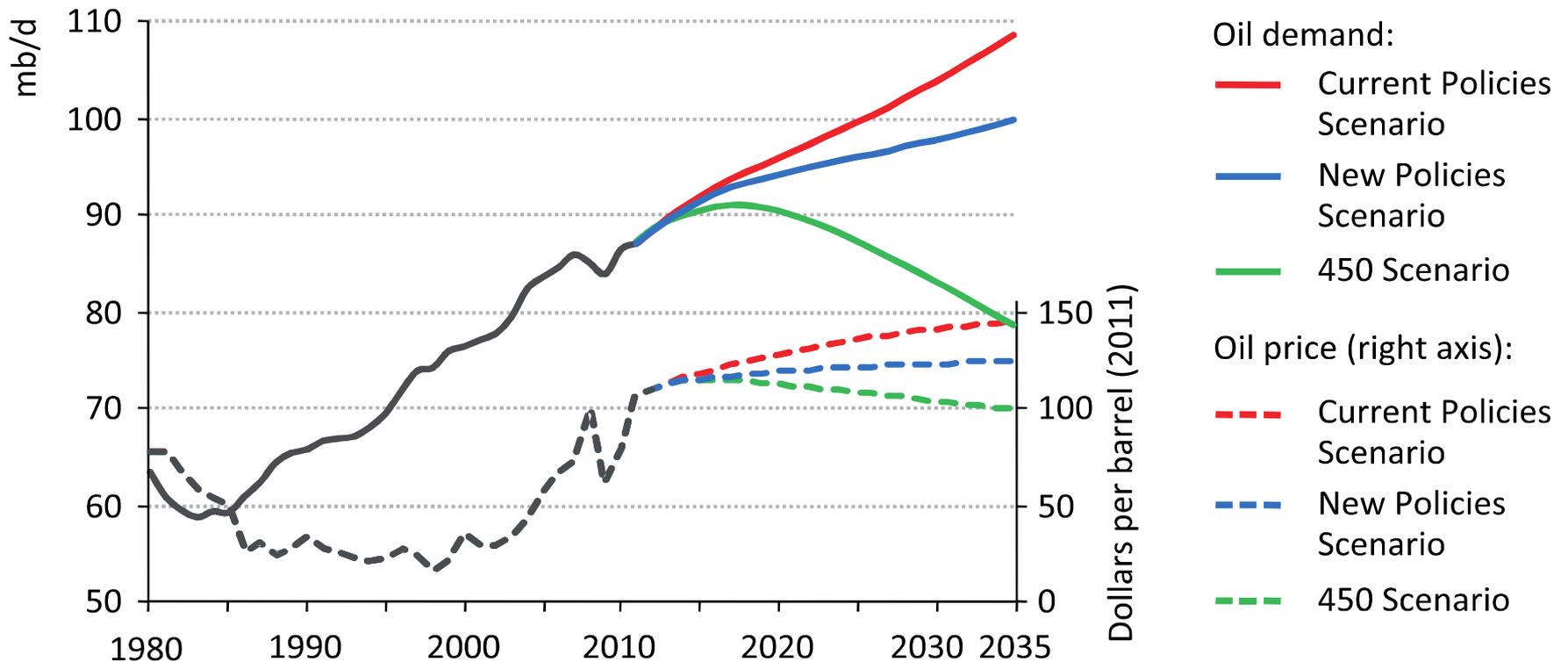
* Chinese Taipei, Hong Kong, Korea and Singapore. ** Indonesia, Malaysia, Philippines and Thailand.

Note: The starting point, t, is defined by when the three-year moving average of constant-price export growth first exceeded 10%. For China, it is 1979, and for India, 1991, when major economic reforms began. Real output is GDP expressed in constant prices, indexed at the beginning of the period of rapid growth and expressed in logarithmic form.

Source: IMF *World Economic Outlook* database.

IEA世界エネルギー見通しのシナリオ

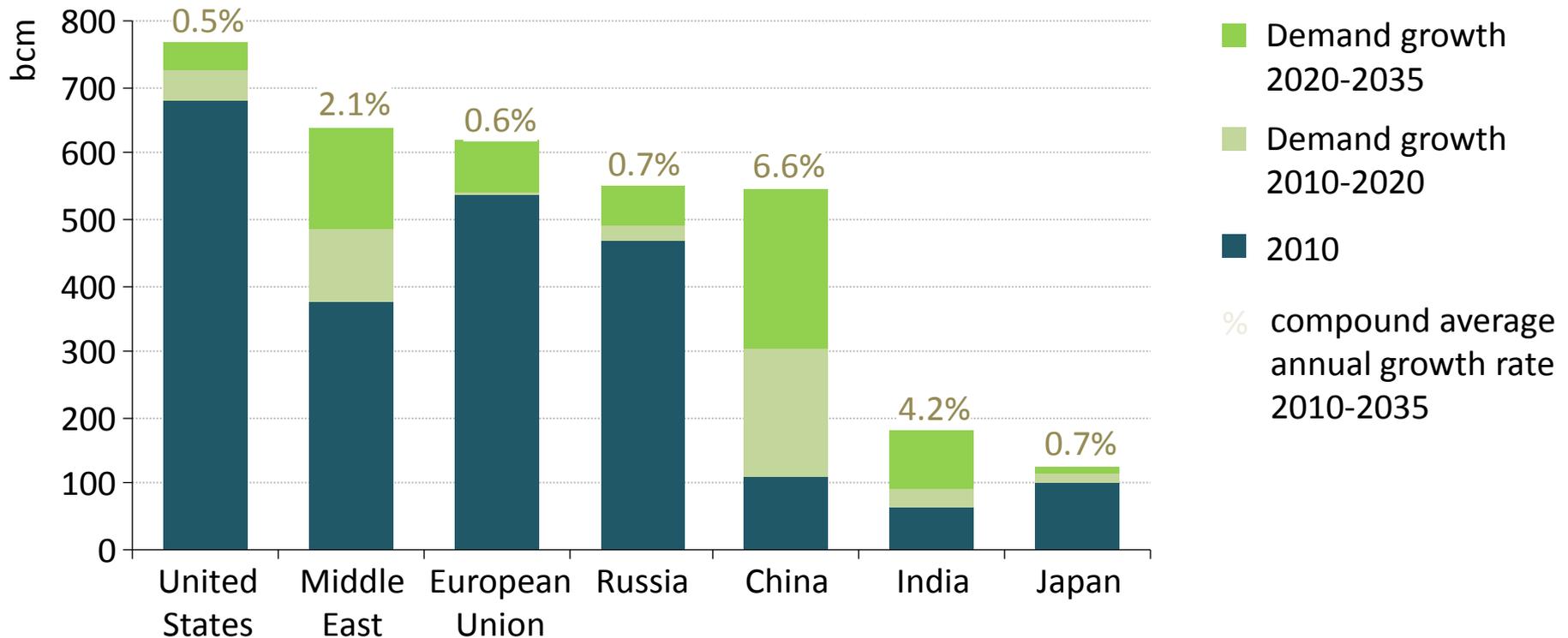
Figure 3.1 ▶ World oil demand and oil price* by scenario



* Average IEA crude oil import price.

天然ガス需要の動向

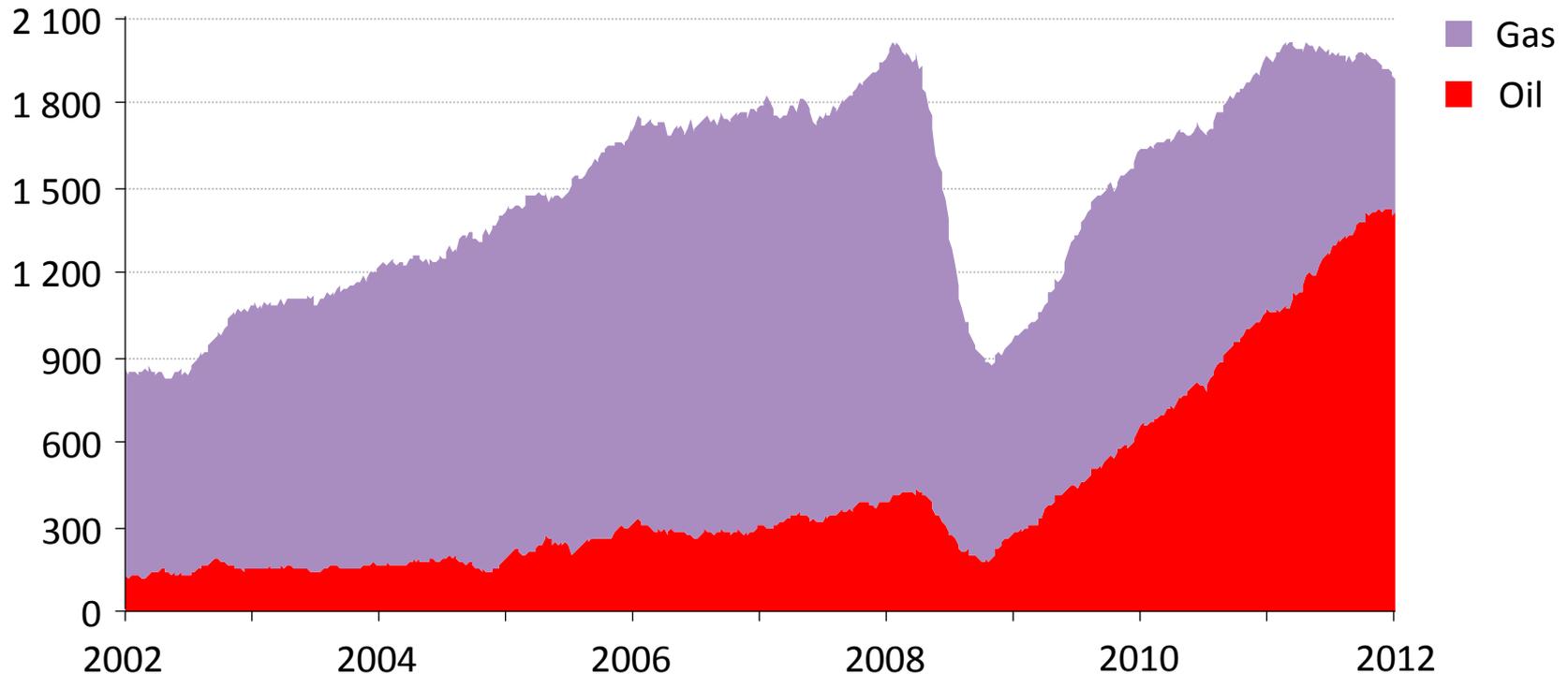
IEA WEO2012



While gas demand expands in every region between 2010-2035, growth is nearly three times faster in non-OECD countries (2.3% per year) than in the OECD (0.8%)

Active drilling rigs in the United States

IEA WEO2012



With a glut of gas supply in North American & a resulting plunge in gas prices, there was a shift of rigs from gas to oil; but, as of mid-2012, no signs of a fall in gas output

Game Changers : China and India

Figure 2.6 ▶ Share of China and India in net increase in global primary energy demand by fuel and CO₂ emissions in the New Policies Scenario, 2010-2035

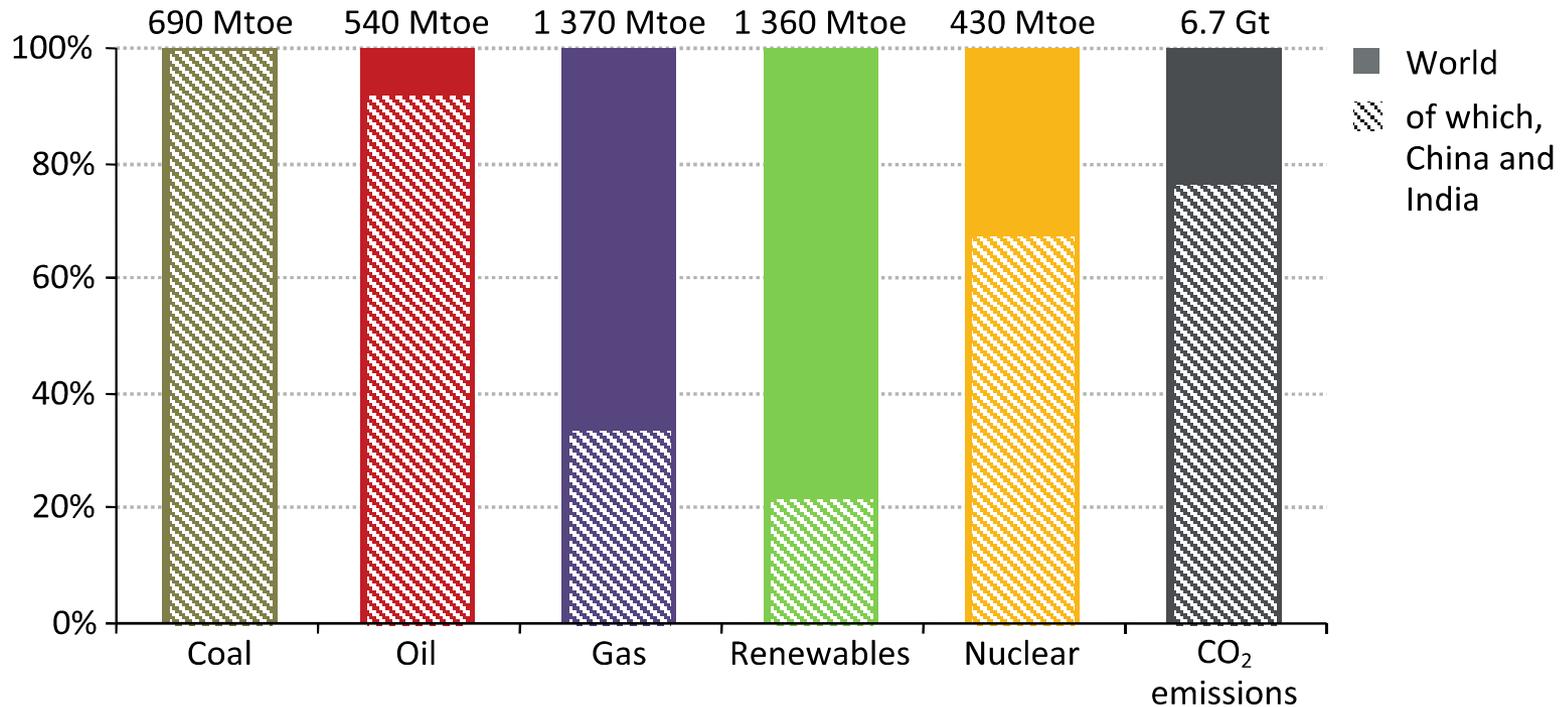
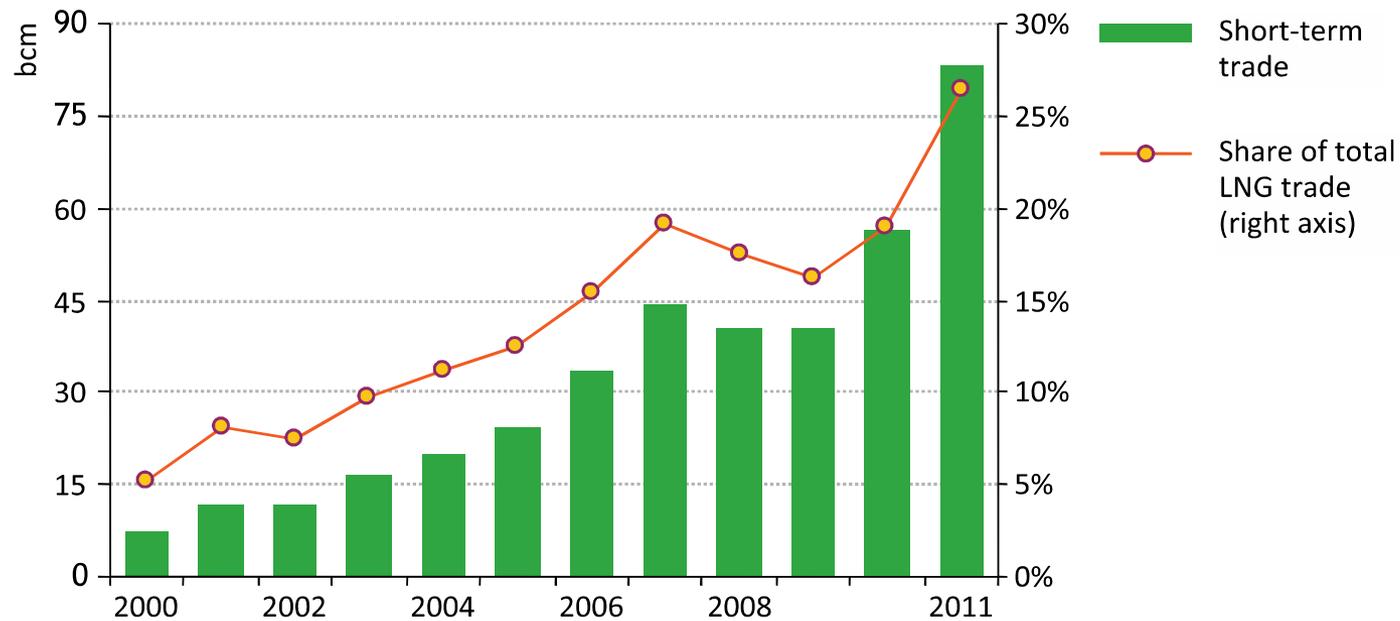


Figure 4.11 ▶ World short-term LNG trade, 2000-2011

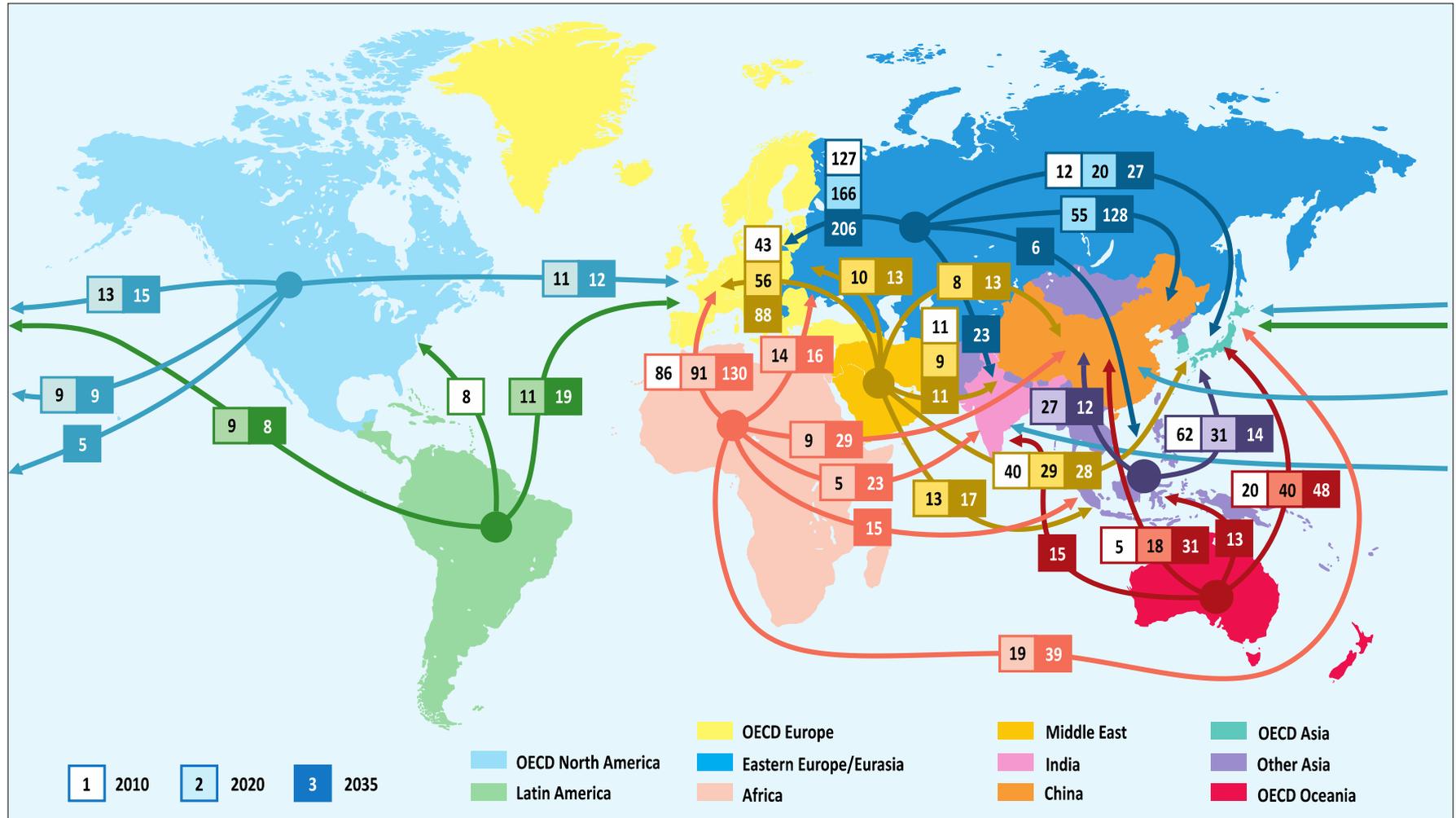


Note: Short-term trade denotes trades under contracts of four-year duration or less, including spot transactions.

Sources: GIIGNL (2012); IEA databases.

The share of spot and short-term trade in global LNG supply has been rising rapidly, by 40% in 2010 and a further 50% in 2011, total volumes reaching 83 bcm, or just over one-quarter of total LNG trade .

Figure 4.10 ▶ Net inter-regional natural gas trade flows between major regions in the New Policies Scenario (bcm)



This map is without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area.

Note: Trade volumes less than 5bcm are not shown.