

原子力発電の基礎知識

～福島事故を理解し、エネルギーを考えるために～

2011/10/03

原子炉支部 宇根崎 博信

(原子炉実験所 原子力基礎工学研究部門)

福島第一原子力発電所事故

津波による電源喪失（商用電源＋非常用電源）

→ 原子炉の冷却機能の喪失

→ 環境への放射性物質の放出



- 原子力発電のリスク
- 放射性物質の環境影響
- エネルギー問題の再認識

福島事故を理解するために

- 放射線、放射性物質、放射能とは？
- 原子力発電のしくみは？なぜ原子炉の「冷却」が問題となっているのか？現状はどうなっているのか？
- そもそもなぜ原子力エネルギーを利用しているのか？

この講義でおはなしすることから

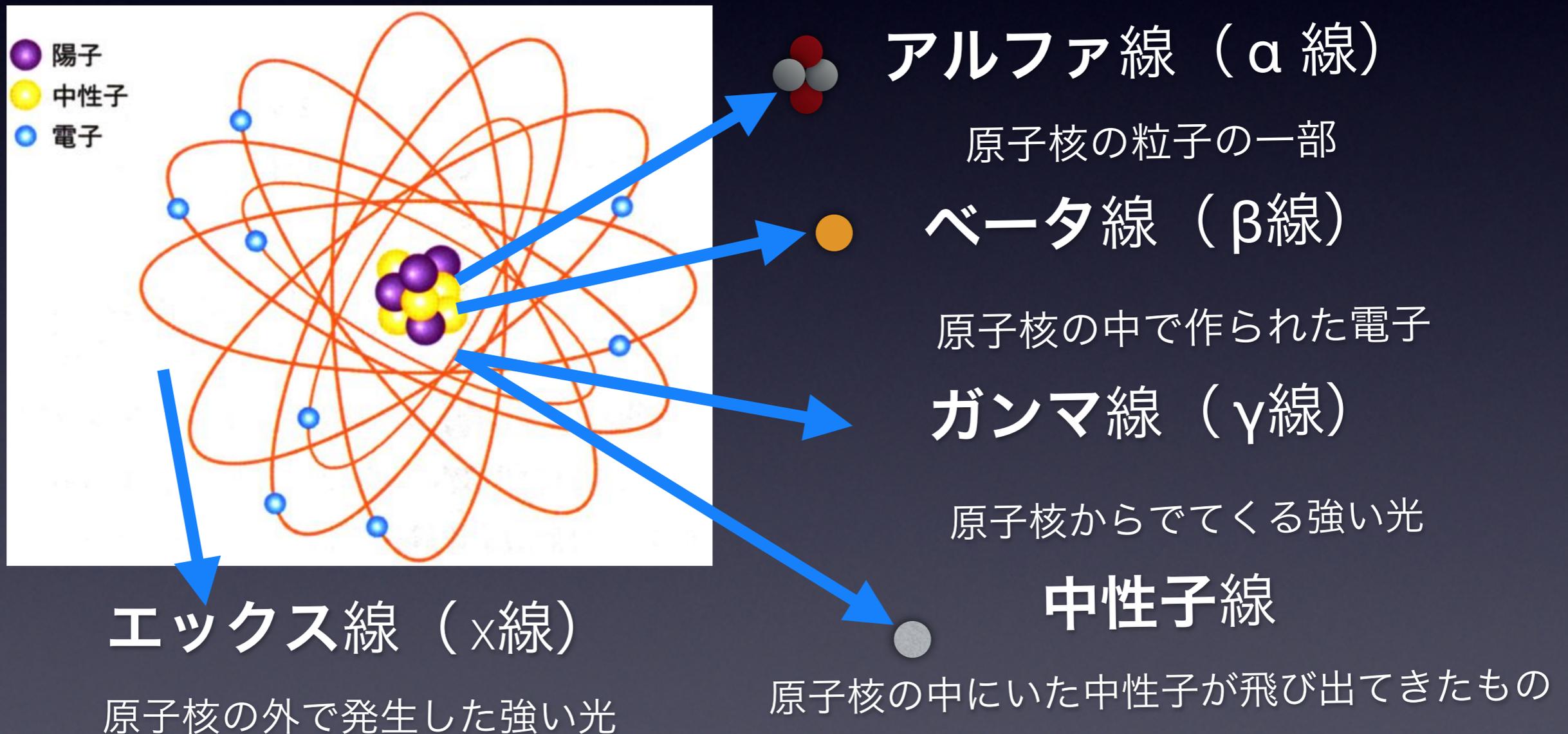
- 放射線と放射能の基礎知識
- 原子力発電のしくみ、福島第一発電所で何が起きたのか
- エネルギー政策と原子力エネルギー、エネルギー将来展望

放射線・放射能

放射線と原子

原子核やそのまわりから飛び出してくる

いろいろな粒子（つぶ）や光＝放射線



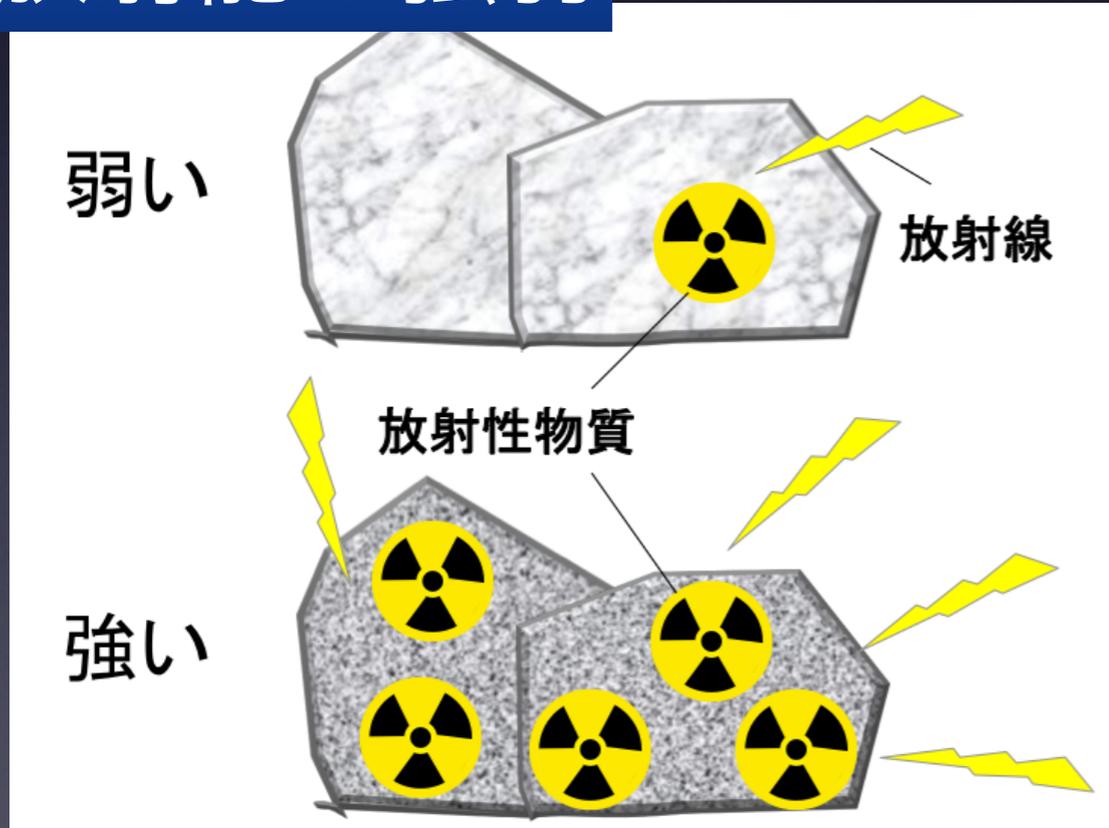
なぜ放射線がでてくるのか？

- 原子には、「安定」な原子と、安定な原子に比べて**余分なエネルギー**を持っている「**不安定**」な原子があります。
- 不安定な原子は、より安定な原子に変わろうとする性質を持っていて、不安定な原子が安定な原子に変わるとき、**持っていた（余分な）エネルギーをさまざまな形で放出**します。
- この放出されたエネルギーが「**放射線**」です。

放射性物質、放射線と放射能

- 放射性物質：放射線を出す物質
- 放射能：放射性物質が放射線を出す能力、強さ

放射能の強弱

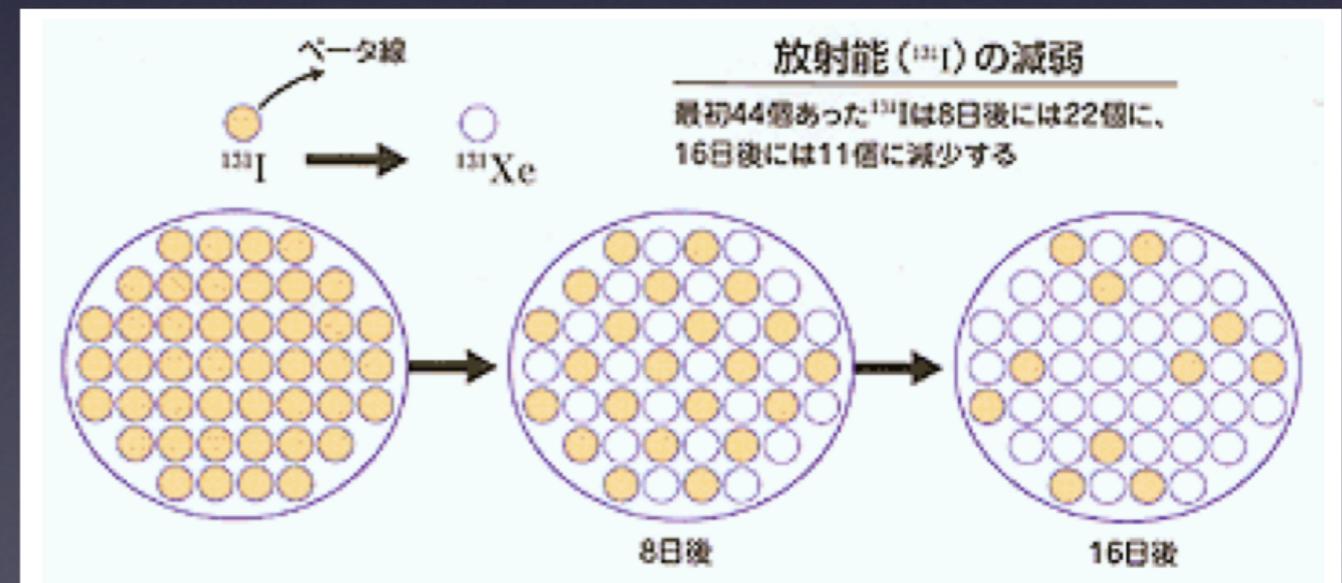
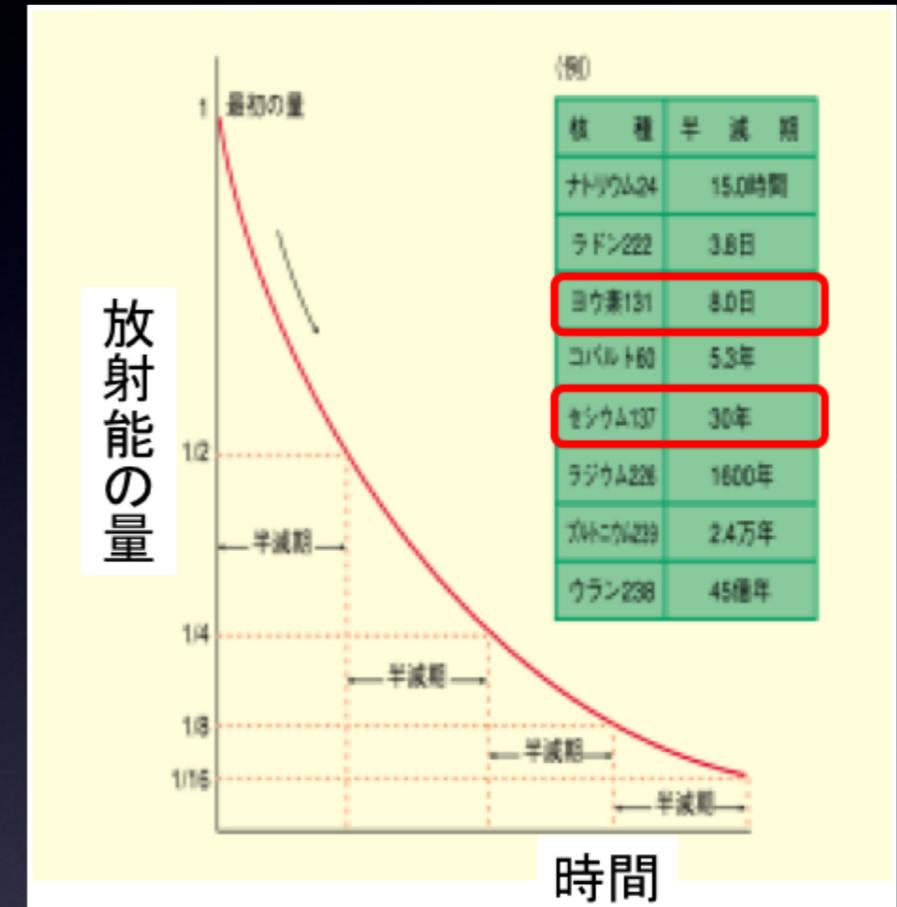


放射性物質の種類、量
によって強弱が決まる

放射性物質のことを
「放射能」と
呼ぶことがあります

放射能と「半減期」

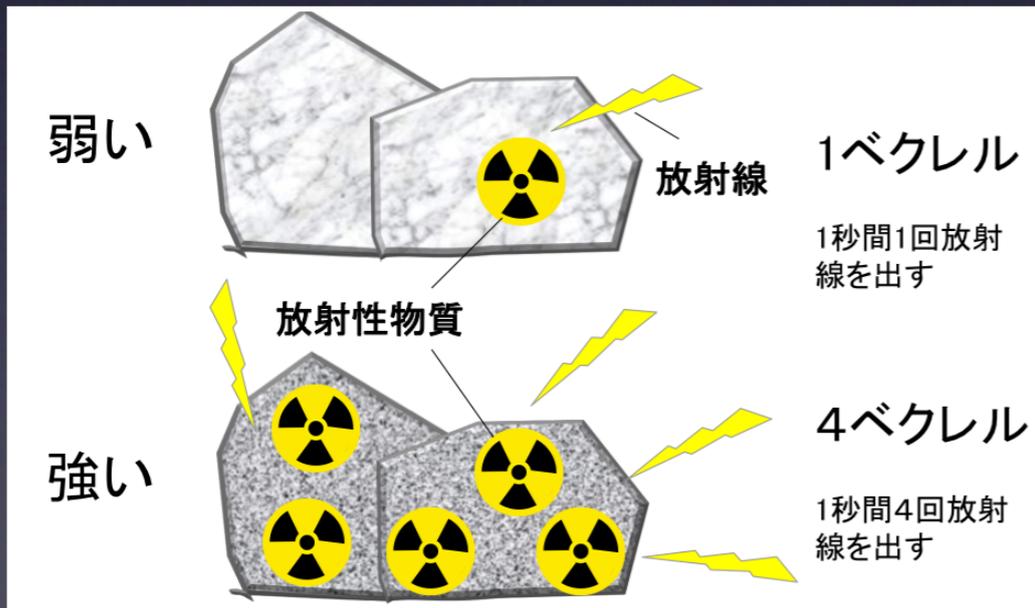
- 「放射能」とは、“放射線を出す能力”のことを指します。1秒間に放射性物質が放射線を出して安定な物質に変化する数を「ベクレル」と呼び、放射能の単位として使われます。
- 放射性物質は安定な物質に変化するので、放射能は時間が経つとともにどんどん弱くなっていきます。
- 放射能がもとの半分になるまでの時間を「半減期」と呼びます。



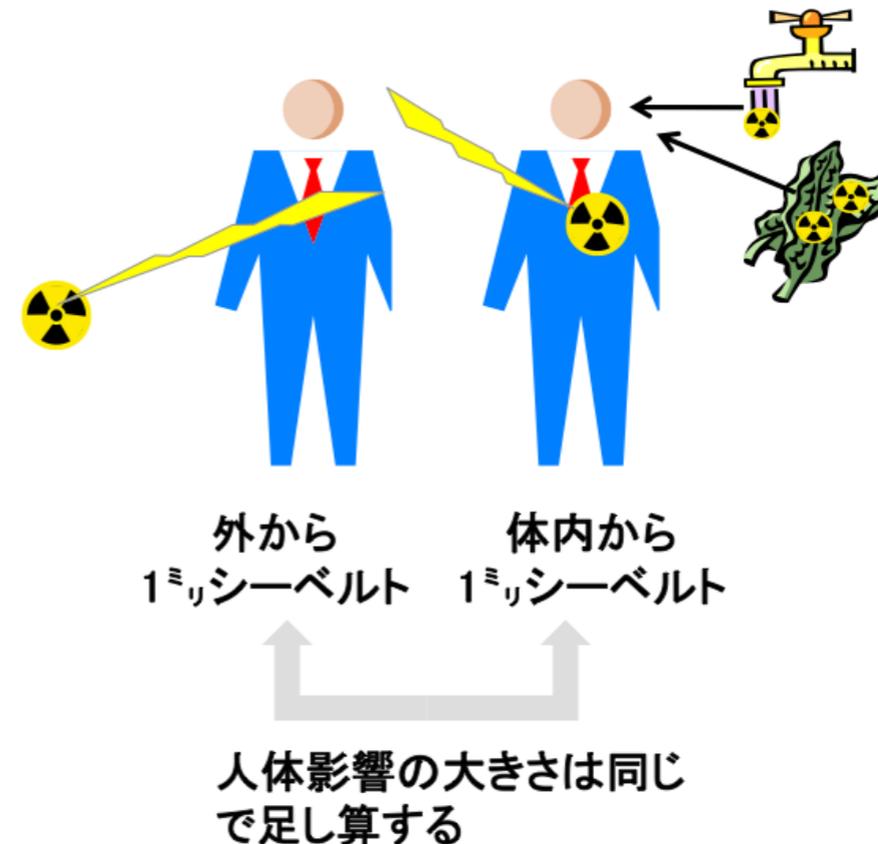
放射線、放射能の「単位」

- 数 → ベクレル (一秒間に放射線をいくつ出すか)
- 健康影響 → シーベルト (人体へのダメージ)

「被ばく」



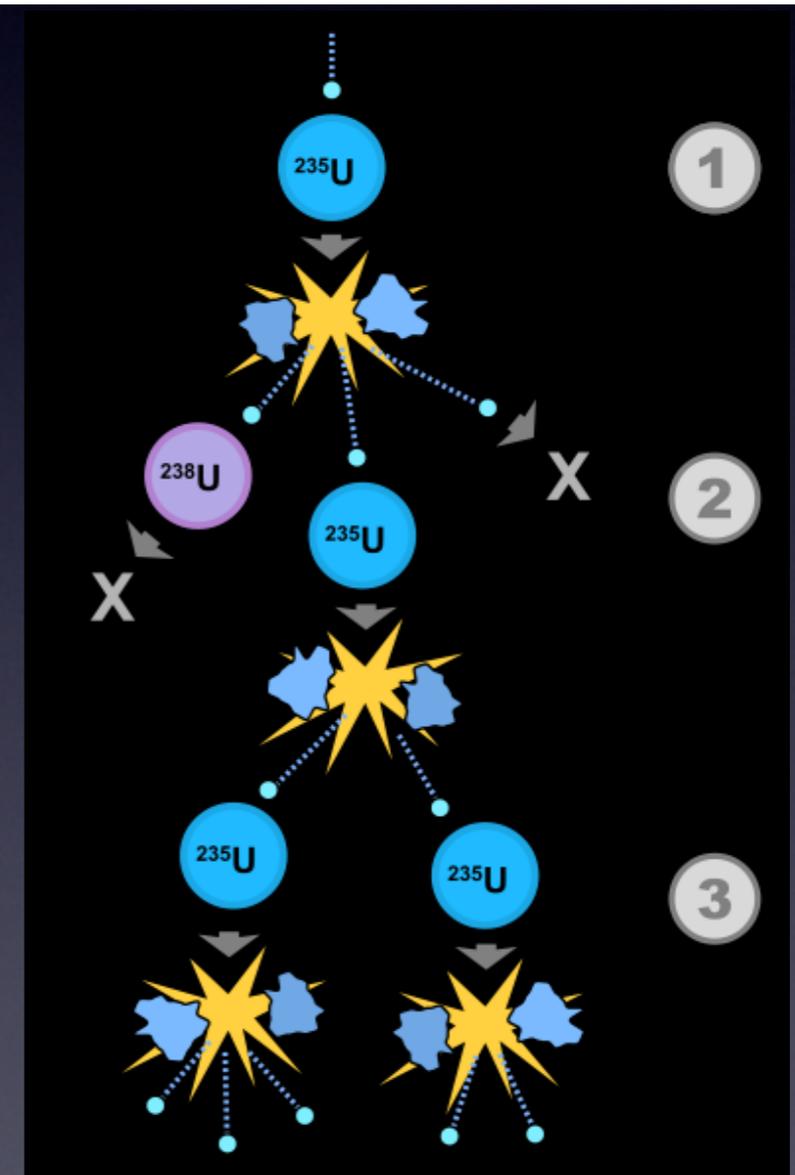
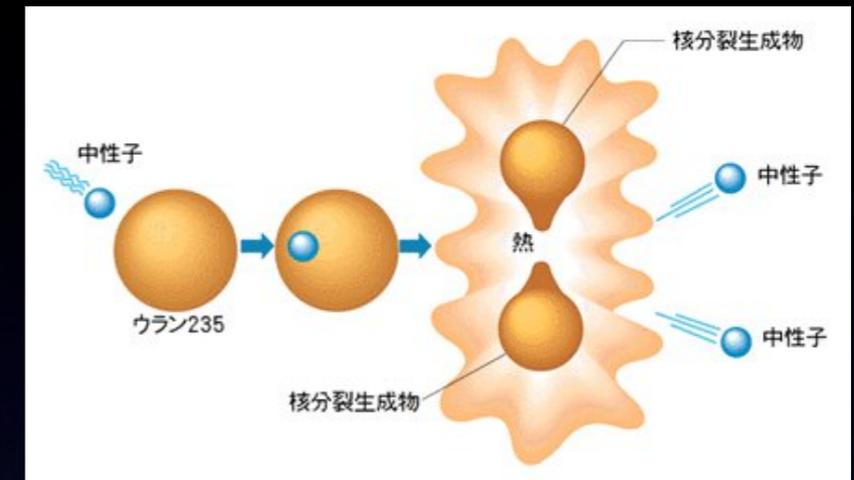
シーベルト 人体が受けた放射線の量を**影響の大きさ**で表す単位
(物理的な線量にある仮定に基づく係数をかけて導出する)



原子力発電のしくみ

ウランの核分裂とエネルギー

- 1938年、ドイツのオットー・ハーンが、「中性子」という素粒子をウランに当てると分裂することを発見。「核分裂」と命名。
- ウランが核分裂する際に、大きなエネルギーを生み出すことが、アインシュタインの理論に基づいて判明。ウランが核分裂をすると、新たな中性子が複数個飛び出してくることも判明。
- 核分裂で放出された中性子をウランにあてて、再び核分裂を引き起こすことにより、核分裂反応を連続して起こすことができる（連鎖反応を起こすことができる）。よって、ウランを使って核分裂連鎖反応を起こすことにより、ウランから大量のエネルギーを取り出すことが理論的に可能であることが分かった。



発電用原子炉と軽水炉

- 発電用原子炉:ウランの核分裂で生まれたエネルギーを電気エネルギーとして取り出すための装置
- 軽水（普通の水）を利用した原子炉である軽水炉が、世界の原子力発電炉のほとんどを占めている。



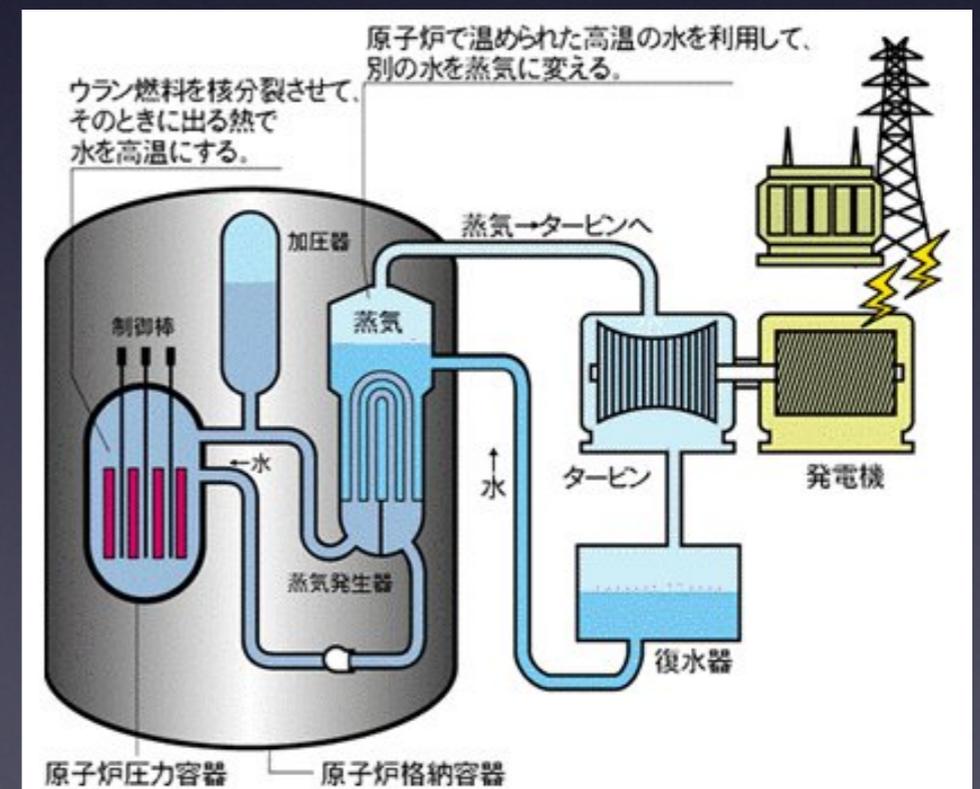
水の役割

ウランの核分裂を起こしやすくする（減速材）

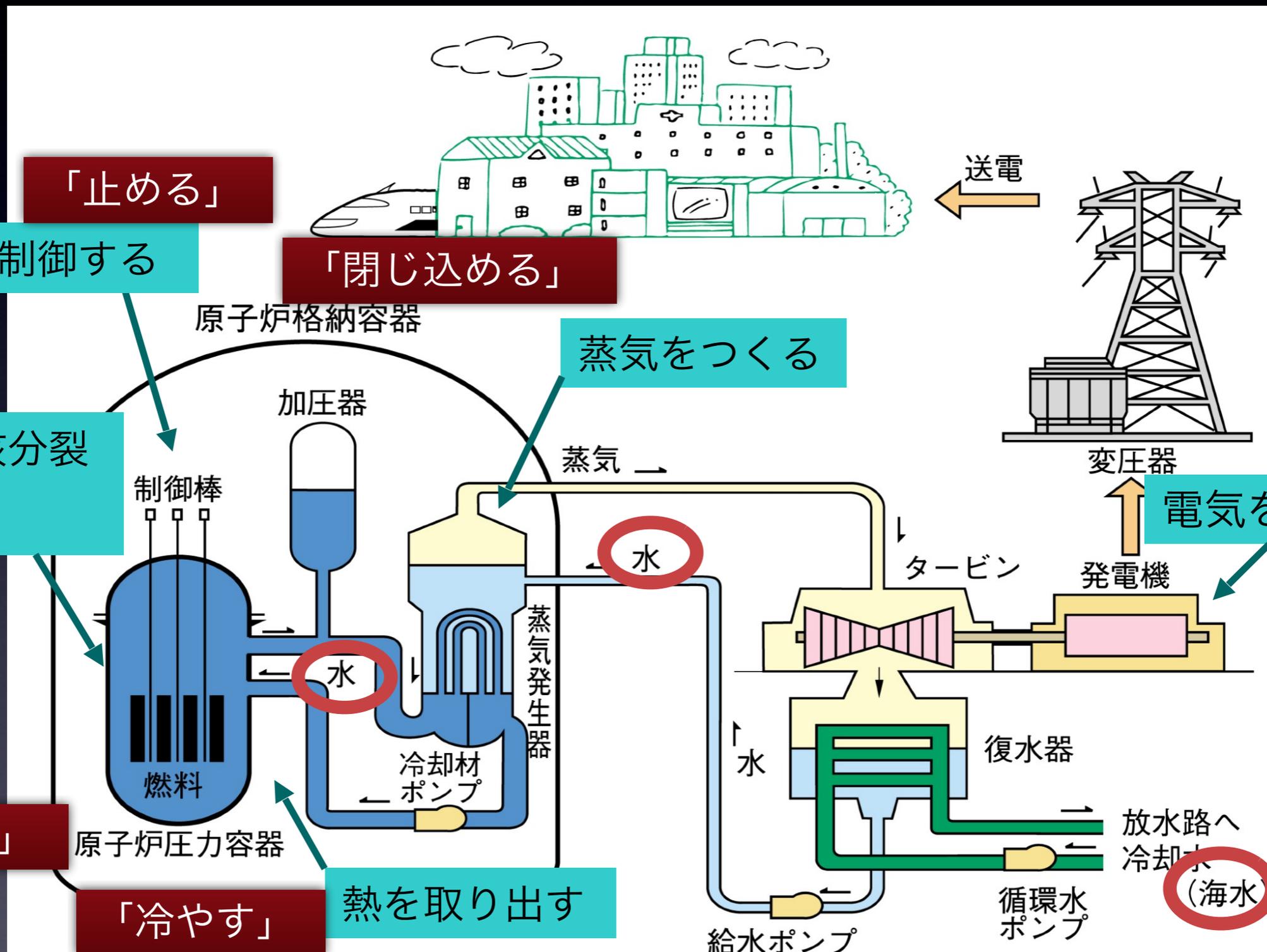
原子炉から熱を取り出す（冷却材）

漏れて出てくる中性子をはね返す（反射材）

蒸気として発電機を駆動する

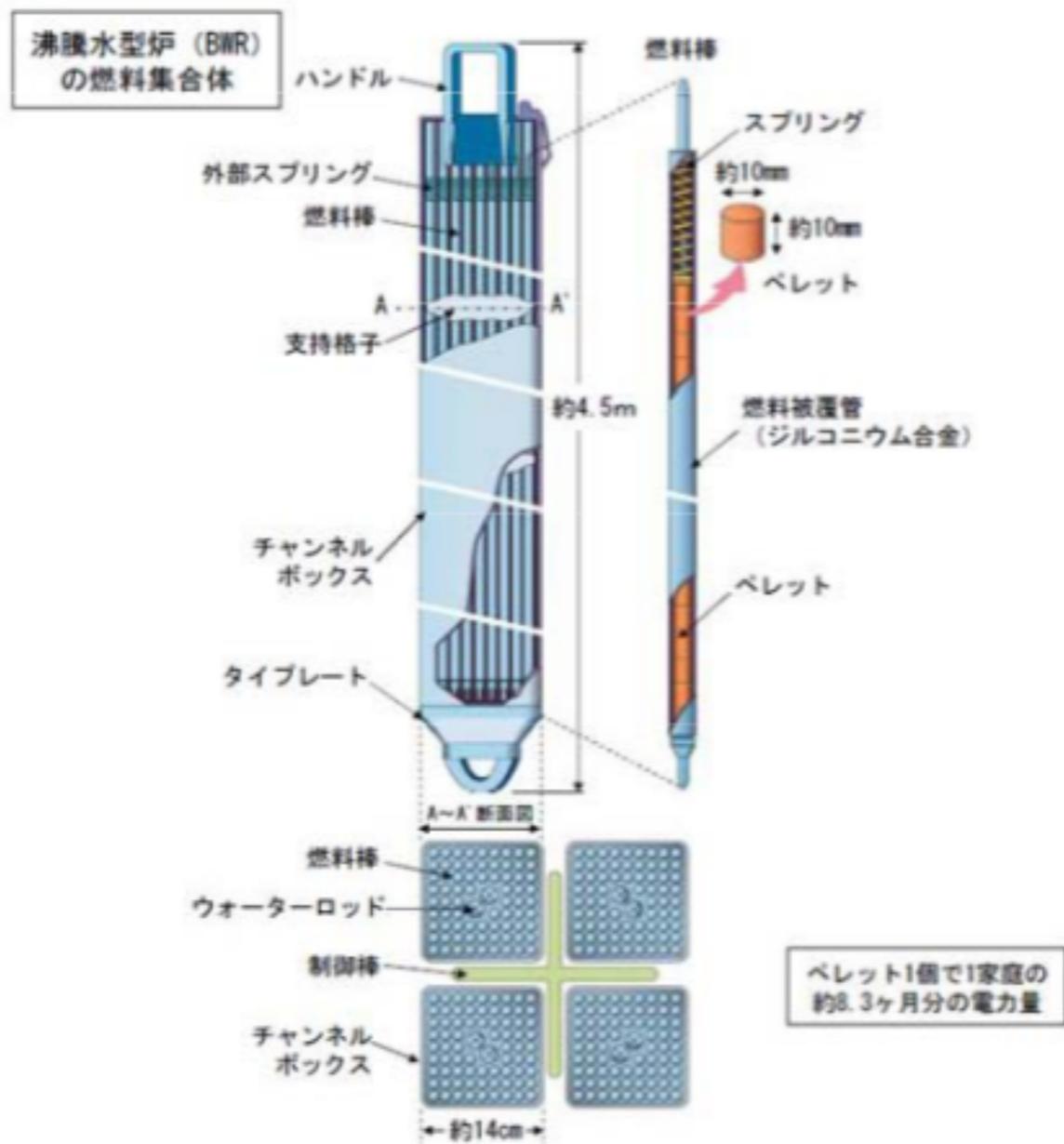
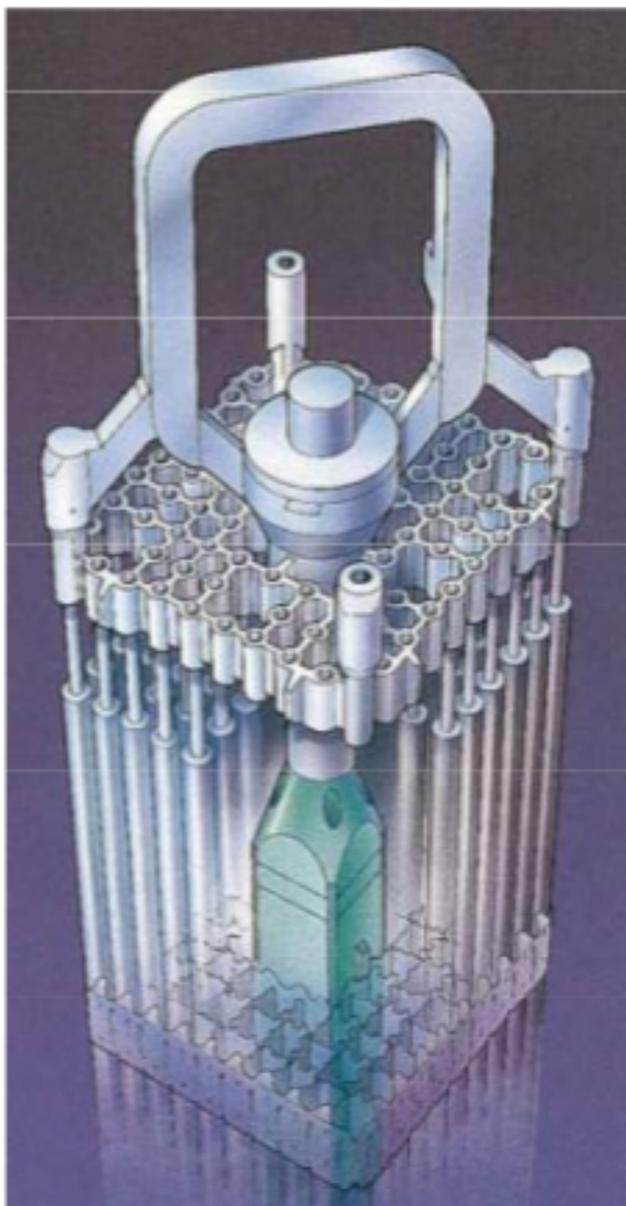


軽水炉のしくみ



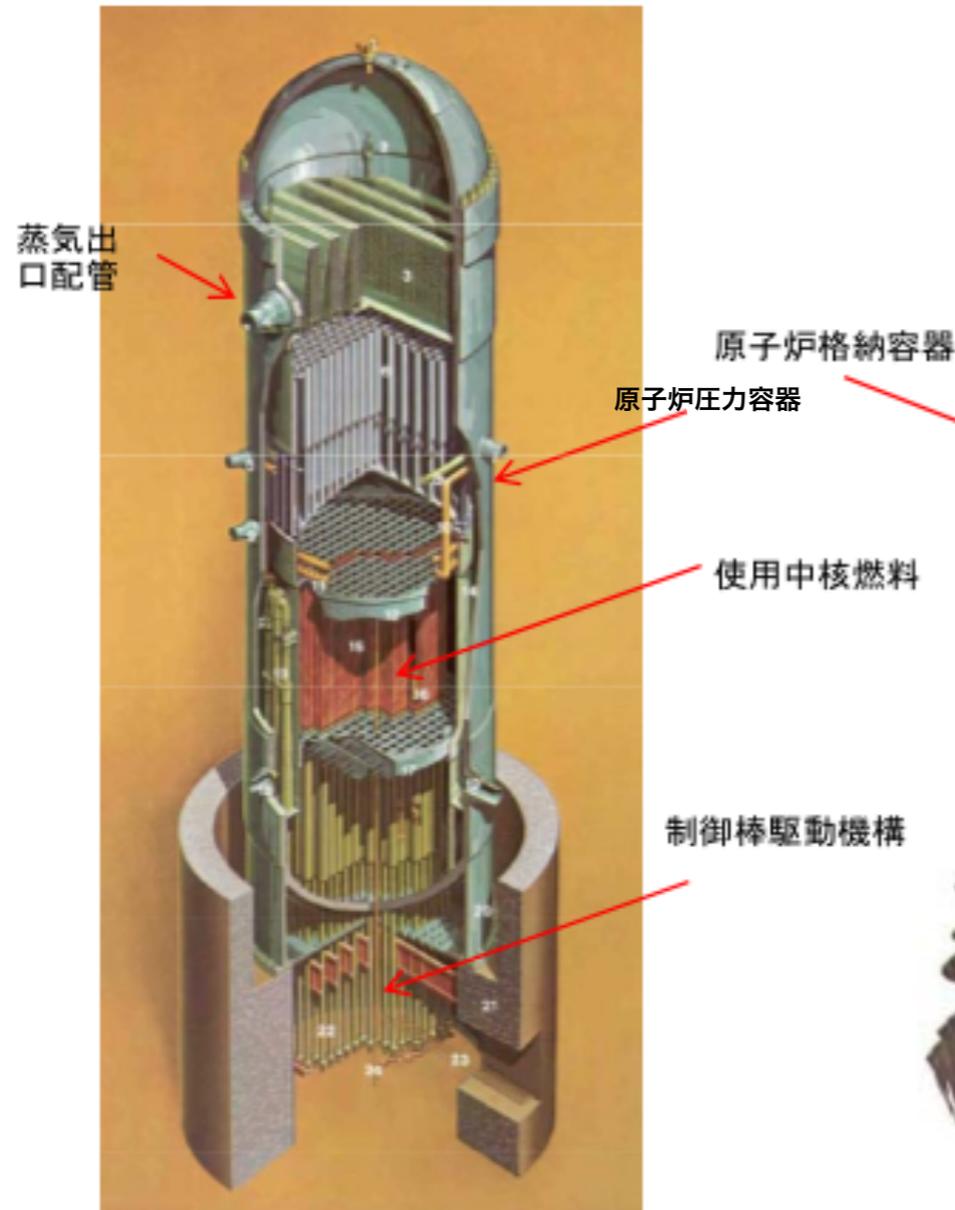
福島第一原子力発電所事故のあらまし

沸騰水型軽水炉 (BWR) の燃料



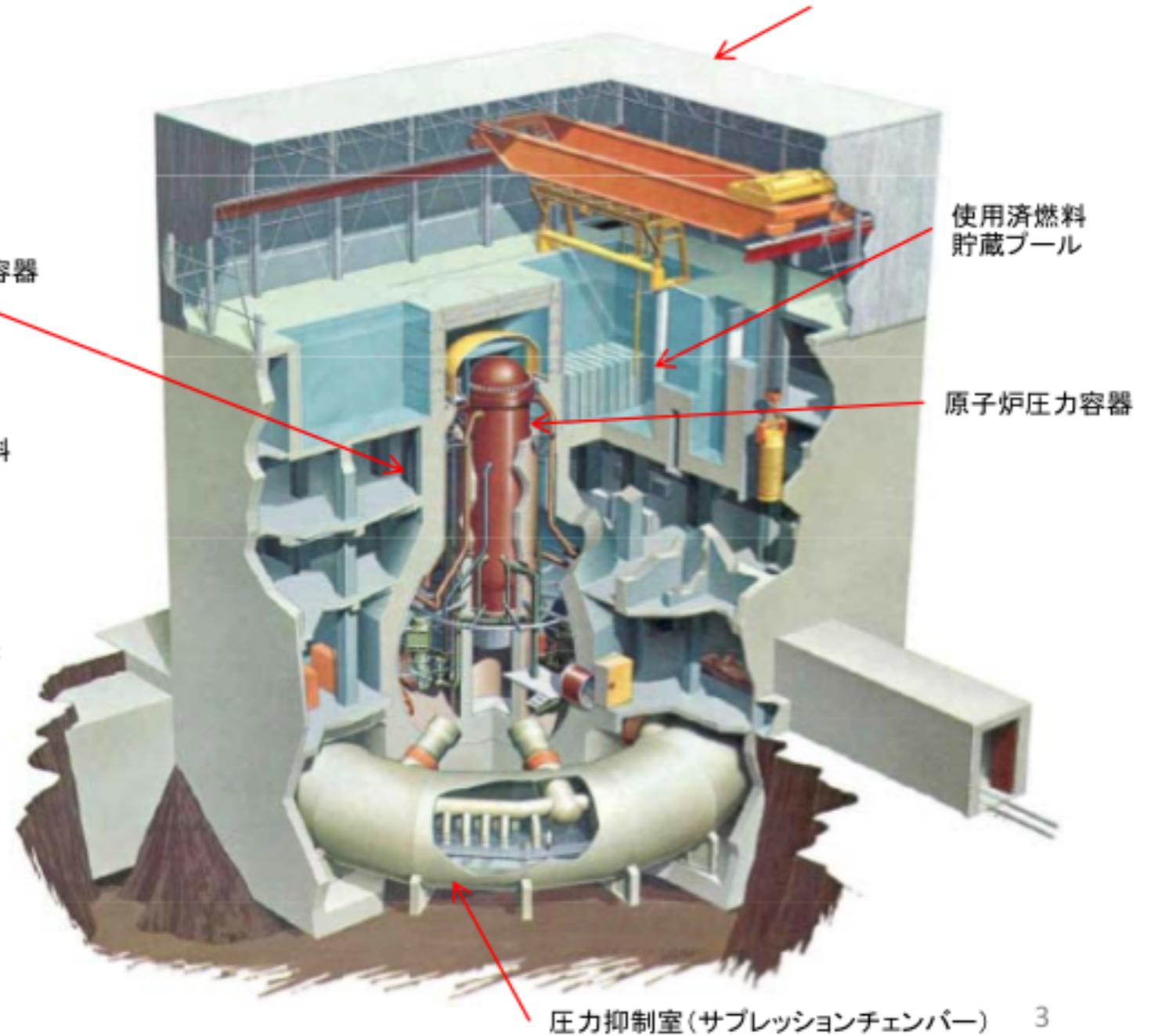
沸騰水型軽水炉 (BWR) の構造

原子炉压力容器



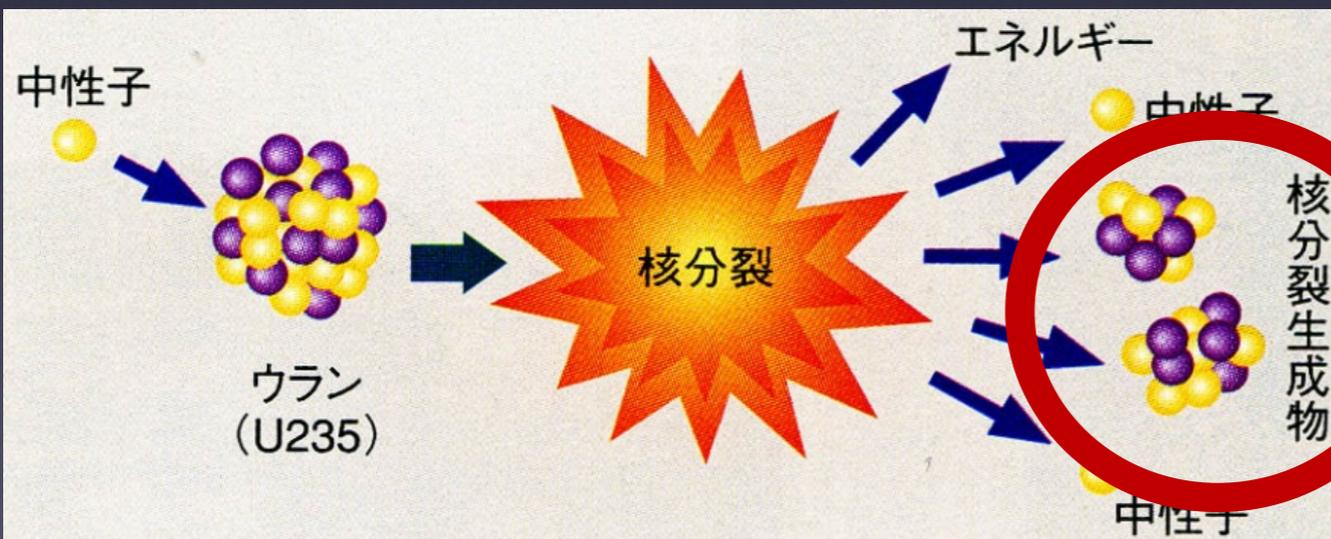
原子炉建屋

オペレーションフロア(1号機、3号機、4号機において水素爆発のために外壁や内装が破損)



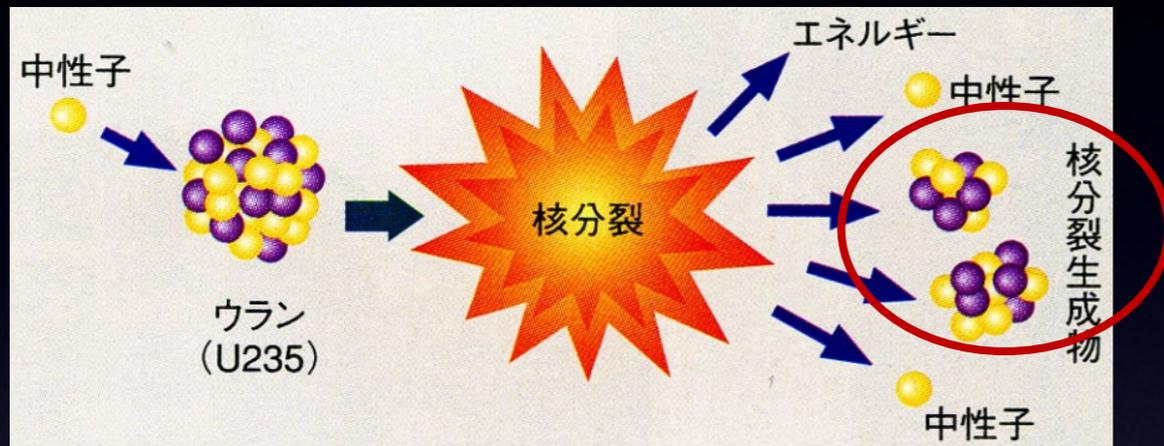
原子炉の停止後の冷却

- 地震発生とともに、緊急停止機能が働き、制御棒が原子炉に自動的に挿入されて、**ウランの核分裂連鎖反応が停止**
- それにもかかわらず、なぜ「**冷却**」が必要なのか？

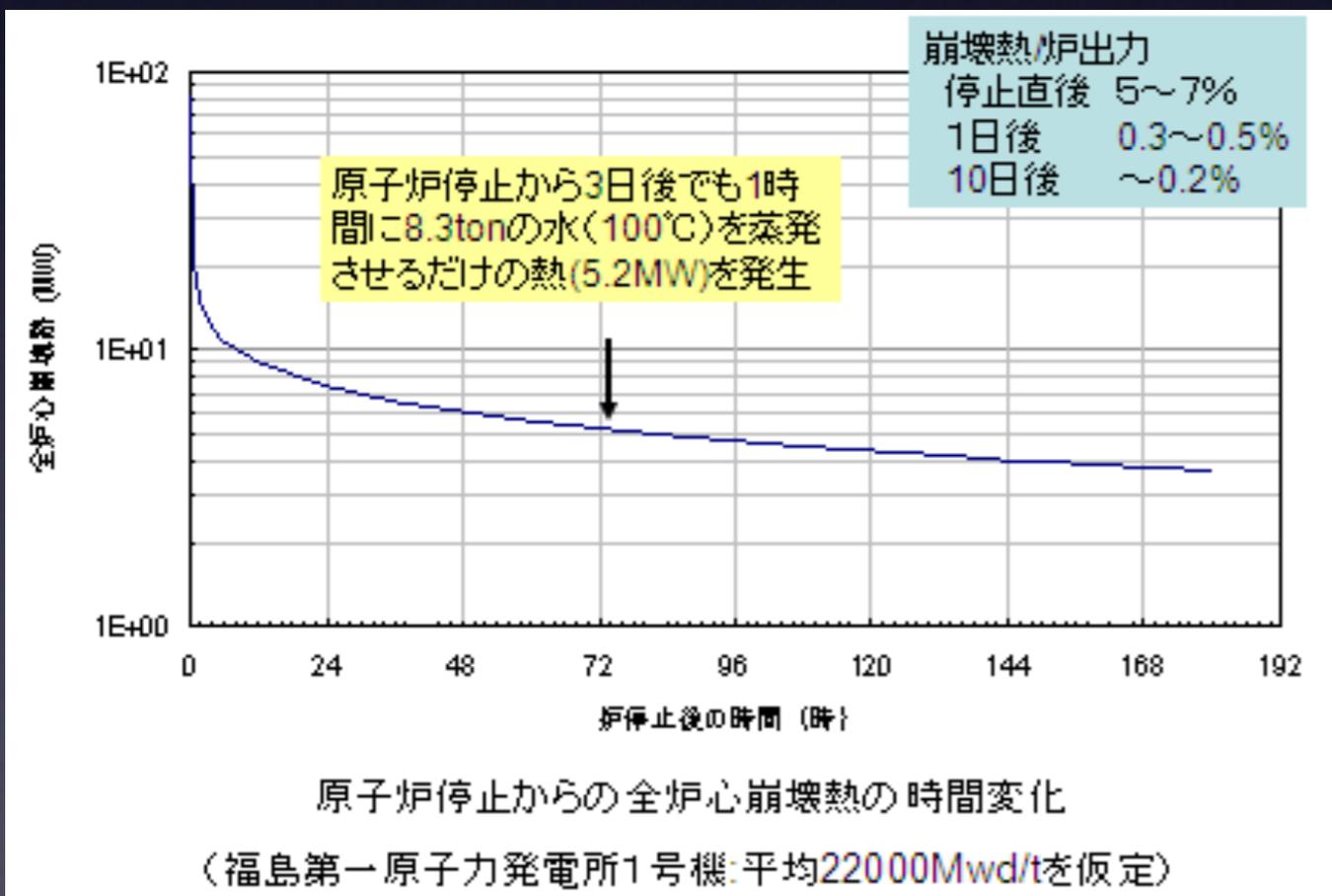


→核分裂によって作られた「核分裂生成物」が存在するため

原子炉の「崩壊熱」



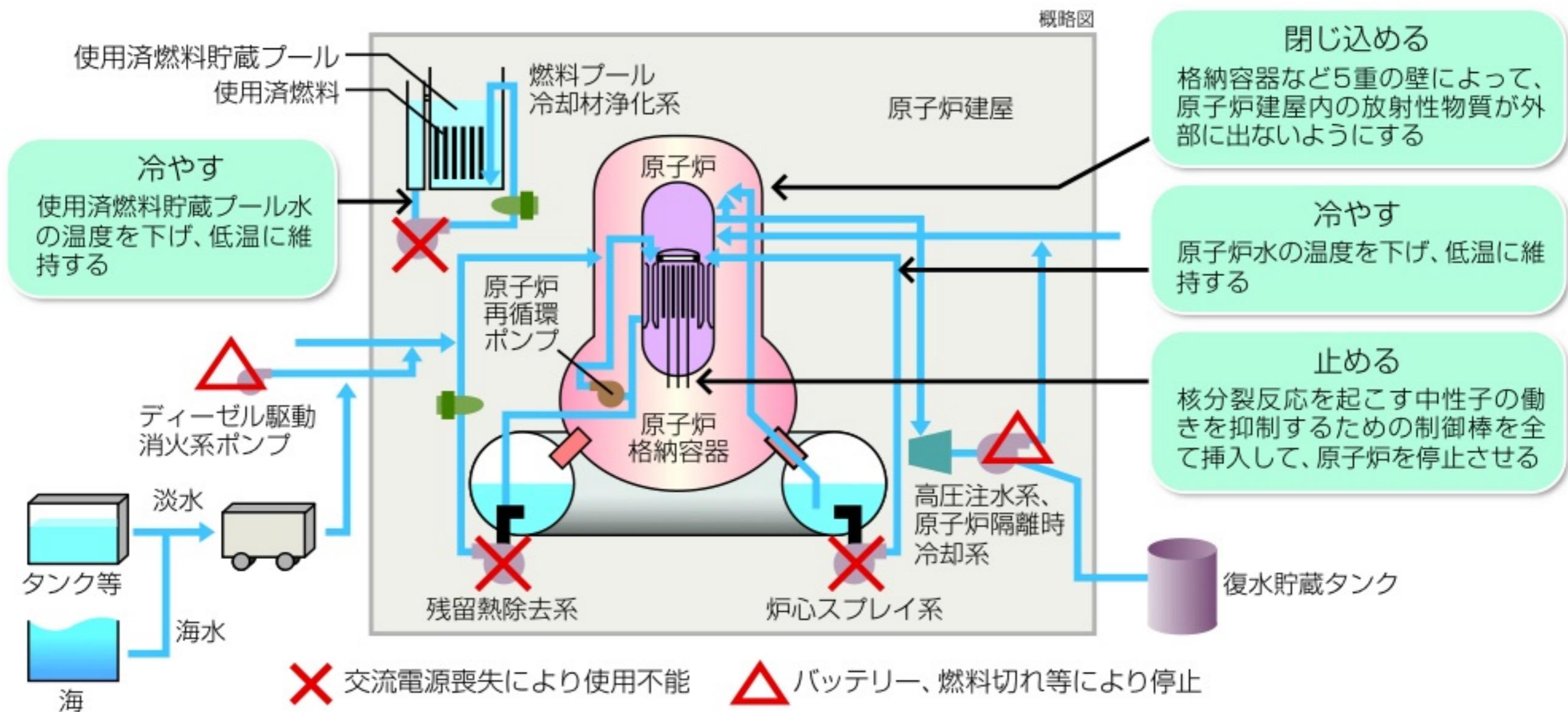
- 核分裂生成物は一般に不安定な原子で、放射線を放出する。この放射線のエネルギーが、熱として、原子炉内部に伝えられる。



原子炉は、核分裂連鎖反応が停止しても「崩壊熱」という一種の「余熱」を出すため、停止後も冷やし続ける必要がある。

→福島発電所では、原子炉は停止できたが、「崩壊熱」を冷やすことができず、燃料の温度が上昇し、燃料の損傷、水素発生につながった。

安全機能への影響



(電事連資料より)

現在の状況

放射性物質の放出防止

飛散防止剤散布等の対策を実施したが、建屋カバー設置等の対策にはまだ3~6か月かかる。

第1ステップの対策が完了し(7月末頃)、ほぼ安定な状態になった課題。

第2ステップの対策が完了するまで(あと3~6ヶ月)は、安定な状態とは言えない課題。

対策完了までには、中長期的(〜3年程度)取り組みが必要な課題。

原子炉と燃料プールの冷却

循環冷却装置が稼働し、ほぼ安定な冷却ができるようになった。より安定な冷温停止状態にはまだ3~6ヶ月程度かかる。

水素爆発防止

格納容器への窒素注入が実施され、ほぼ安定な状態になった。



汚染水(滞留水)の流出防止

保管、処理施設を設置し、保管場所は確保された。3~6か月後には除染処理が進み、滞留水量の減少が期待できる。

汚染水(地下水)の海への流出防止

地下水汲み上げポンプは直ったが、本格的な流出防止対策(遮蔽壁設置等)は、まだ検討段階であり、完了までには6か月~3年程度必要。

Hideki Masui (TEPCo), ICAPP2011をもとに作成

エネルギー政策と 原子力エネルギー

日本のエネルギー情勢

- 日本は先進諸国の中で群を抜いてエネルギー的に脆弱な国家。現在のエネルギー自給率はおよそ4%で、化石燃料輸入国としては世界一。
- この脆弱性が露見したのが1970年代に起こった二度の石油危機であった。これを受け、石油代替エネルギー導入推進、省エネルギー促進、石油安定供給確保を軸としたエネルギー政策が提唱された。
- この中で、電力源の多様化という観点から、原子力エネルギー利用が進められてきた。

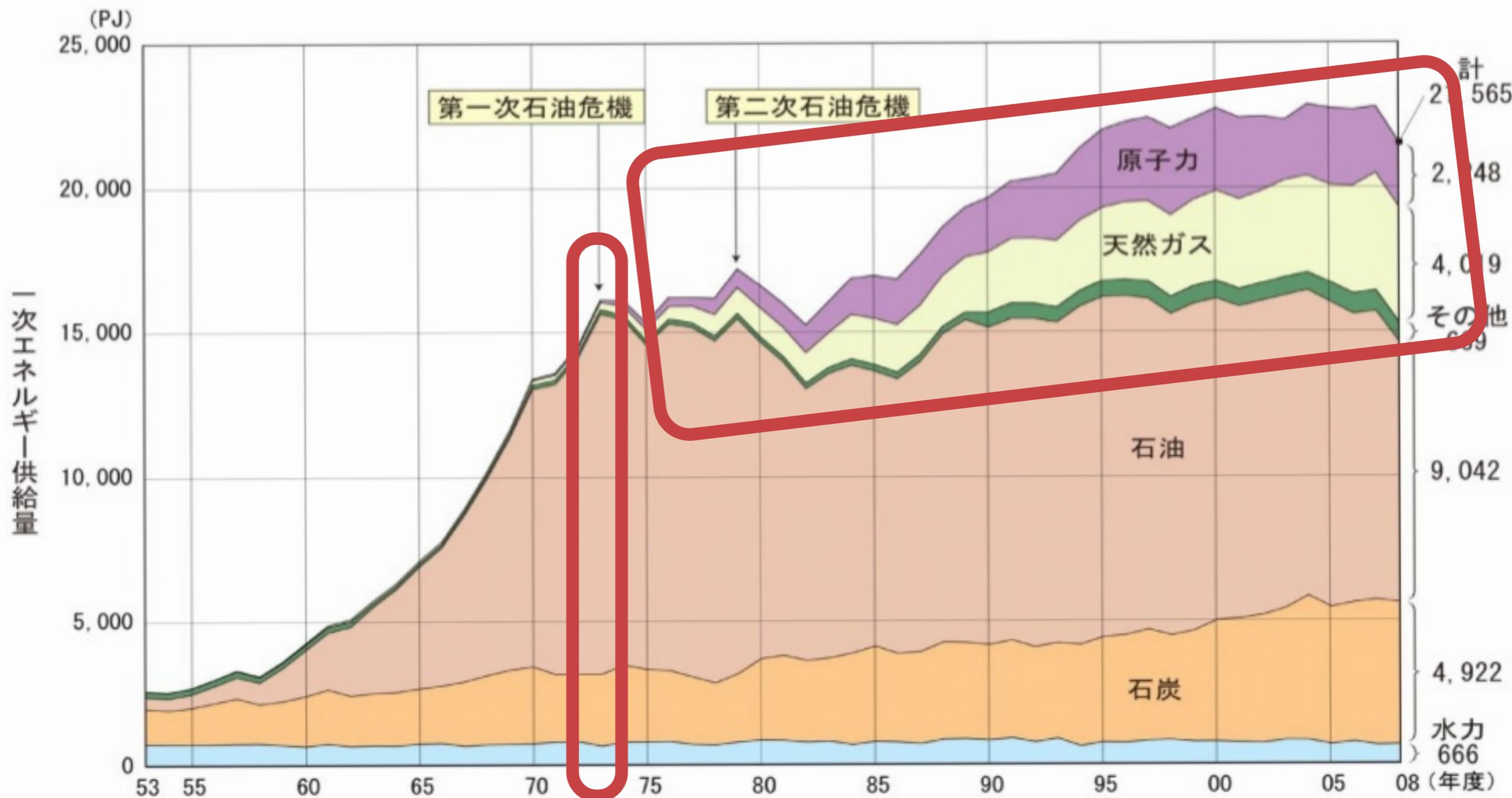
エネルギー政策と原子力エネルギー

- エネルギー政策の2つの視点：

エネルギー安全保障と地球環境問題

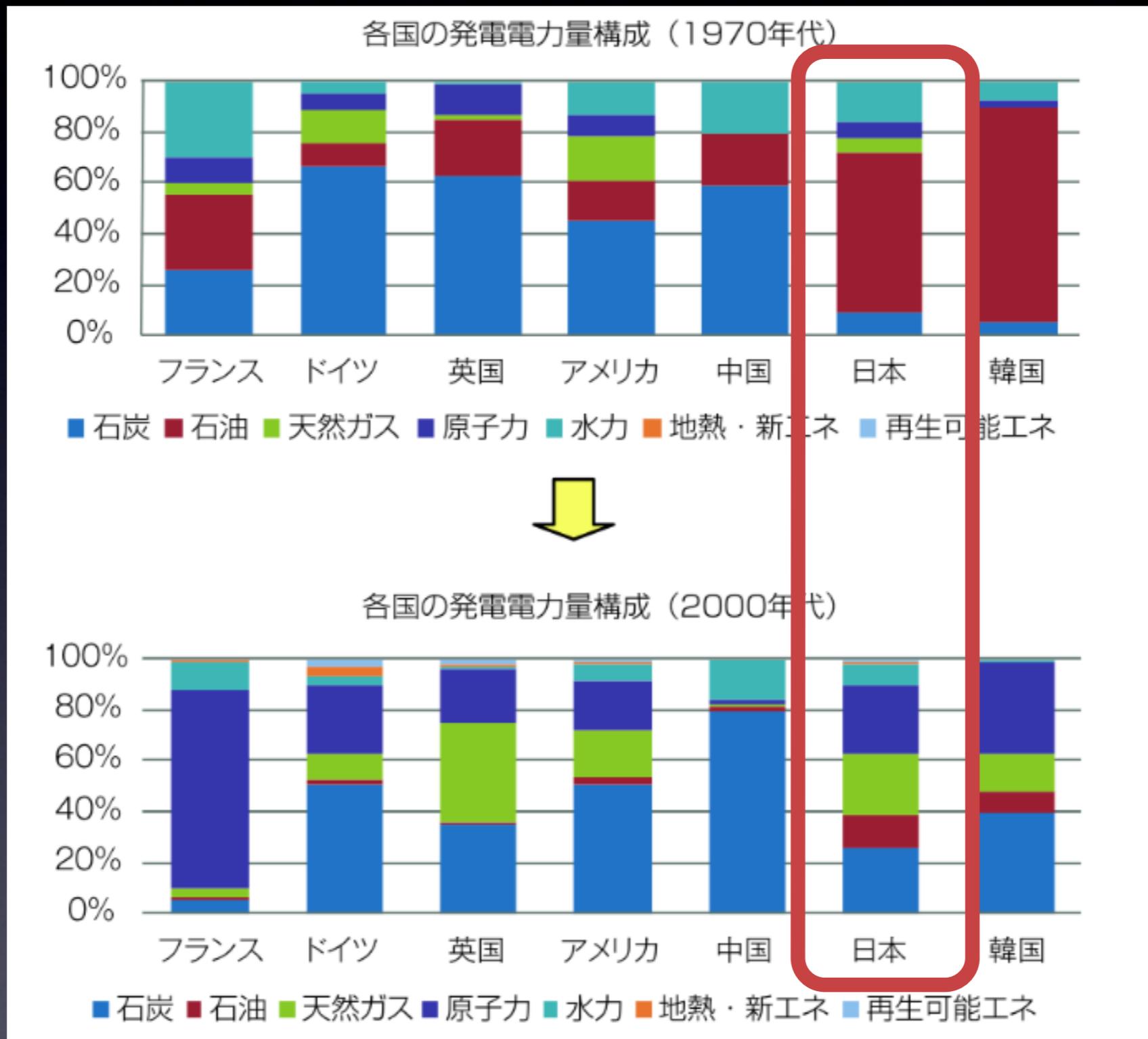
- エネルギー安全保障の向上→エネルギー源多様化→日本においては電気エネルギー源の多様化といってもよい。
- 産業構造、ライフスタイルの変化に伴い、電気エネルギーへの依存度が増してくる中、原子力エネルギーがエネルギー源多様化に果たしうる役割は早くから重要視されてきており、特に日本においては、石油危機以降のエネルギー政策の中で原子力エネルギーは中核的な位置を占めてきた。

日本のエネルギーの歴史



(注) 1PJ (=10¹⁵J) は原油約25,800kℓの熱量に相当 (PJ: ペタジュール)

電力源組み合わせ



地球温暖化問題

- 21世紀に入り、地球温暖化がエネルギー・環境面での喫緊の問題として認識されるに至っている。
- エネルギー起源の温室効果ガス排出抑制方策との関連で原子力エネルギーに新たな位置づけが与えられるようになった。

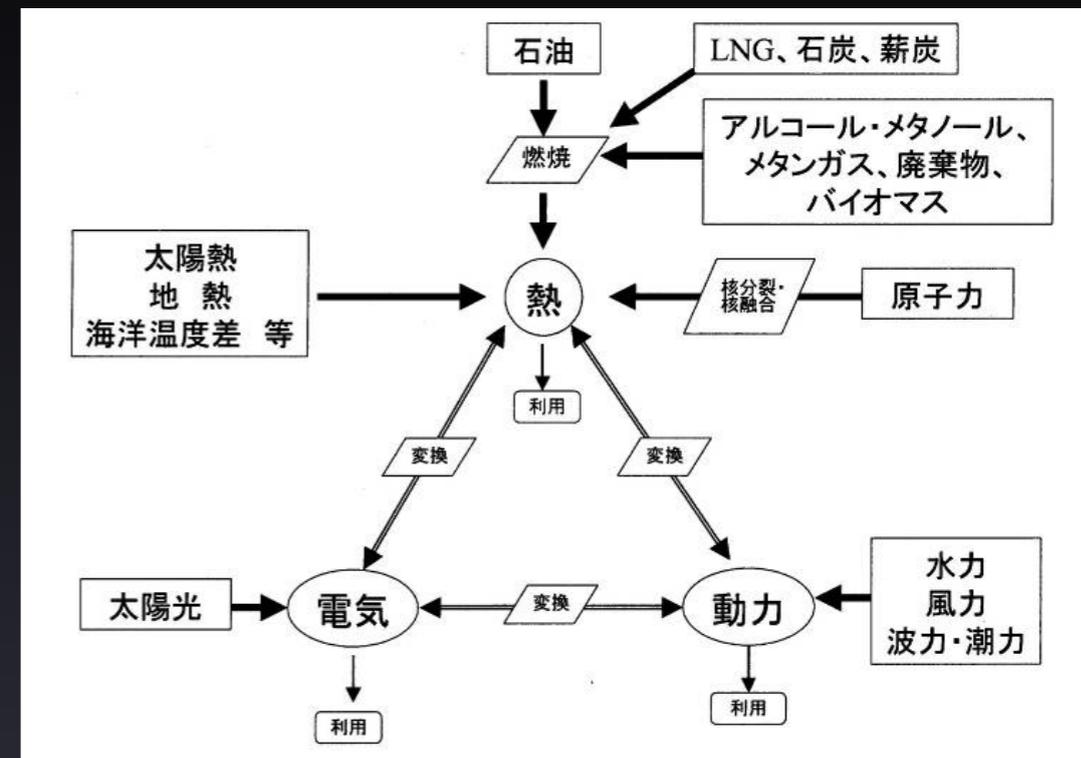
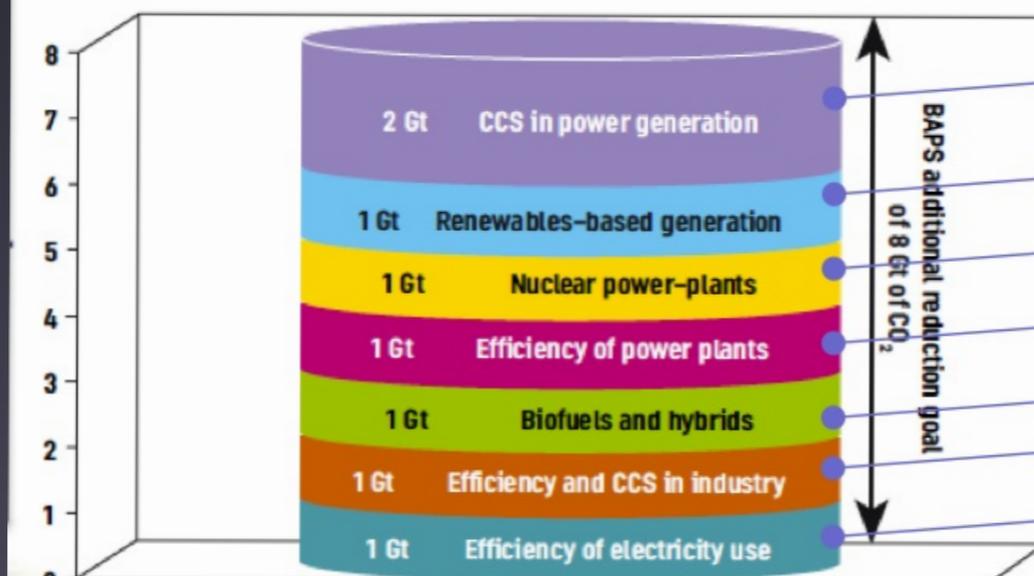


Figure 8 • Reduction in Energy-related CO₂ Emissions in the BAPS Case Compared with the Alternative Policy Scenario by Option

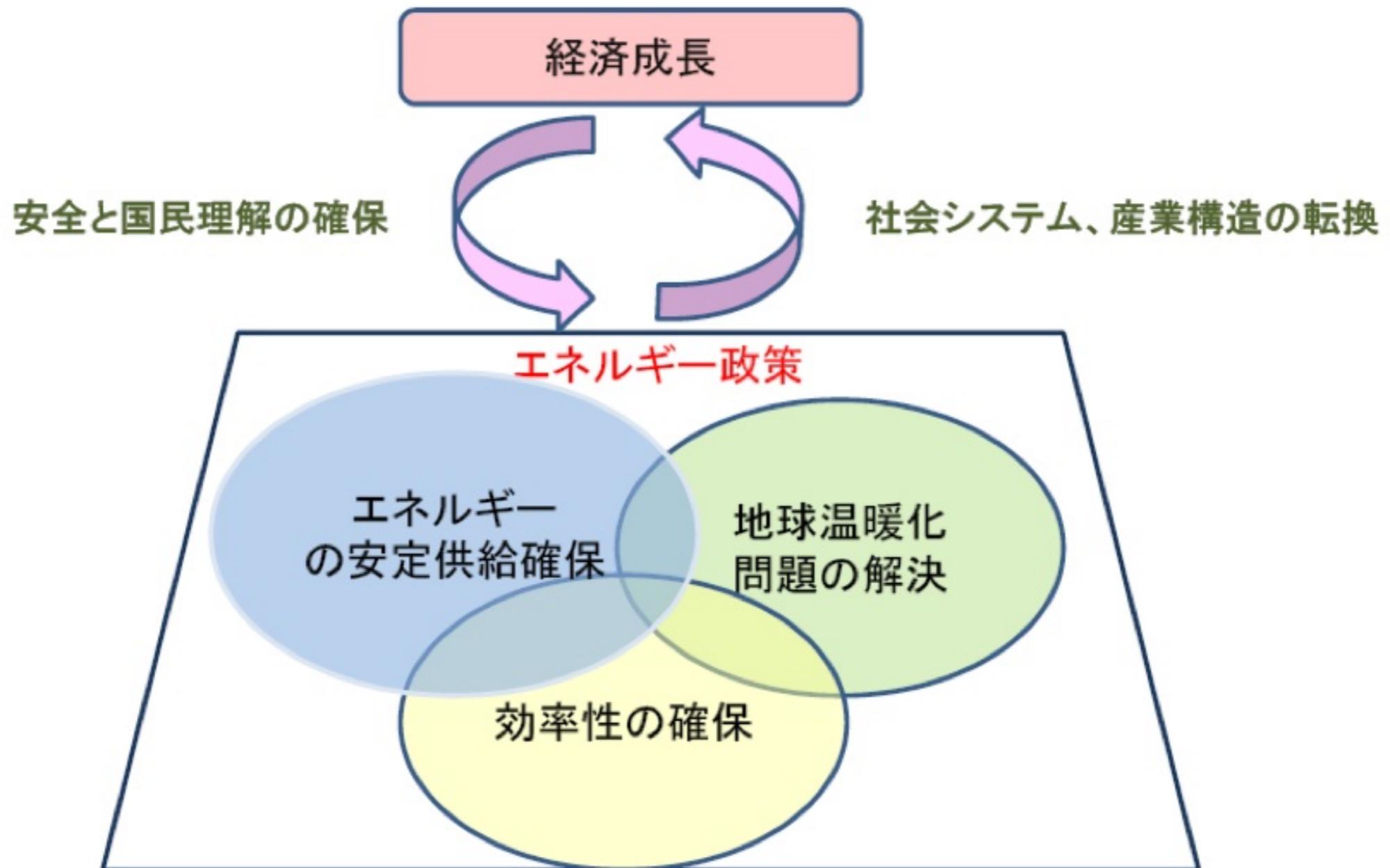


エネルギー起源CO₂排出削減のための諸方策

- 発電時CCS
- 再生可能エネルギー発電
- 原子力エネルギー
- 発電効率向上
- バイオ燃料、ハイブリッド
- 産業部門での効率向上、CCS
- 電力消費効率の向上

エネルギー基本計画

- エネルギーは国民生活・経済活動に不可欠な財であり、エネルギー政策の基本は、エネルギーの安定供給 (energy security)、環境への適合 (environment)、市場機能を活用した効率性 (efficiency) の3Eの実現。
- エネルギー政策と経済成長戦略との一体的推進が最重要課題。
- 安全と国民理解を確保しつつ、社会システムや産業構造の改革を中長期的に実現していく視点が不可欠。



エネルギー基本計画: 基本的視点

- 総合的なエネルギー安全保障の強化
- 地球温暖化対策の強化
- エネルギーを基軸とした経済成長の実現
- 安全と国民理解の確保
- 市場機能の活用による効率性の確保
- エネルギー産業構造の改革

エネルギー基本計画:基本的視点への インパクト

- 総合的なエネルギー安全保障の強化
- 地球温暖化対策の強化
- エネルギーを基軸とした経済成長の実現
- 安全と国民理解の確保
- 市場機能の活用による効率性の確保
- エネルギー産業構造の改革

原子力エネルギー政策の再考が、これらの基本的視点にどのように影響を与えうるのか、定性的な評価にとどまらず、**定量的な評価が不可欠。**

原子力エネルギー政策へのインパクト

- ・原子力安全規制の強化、見直し

→エネルギー基本計画における「安全と国民理解の確保」にとって重要なステップ

– 短期的には代替電力源確保、中長期的にはリプレース（既存発電所の建替）計画、増設計画への影響による電力供給バランス全体の見直しの議論と直結

- ・エネルギー政策内でのエネルギー安全保障 / 地球環境対策のバランス

– 供給安定性、温室効果ガス排出抑制

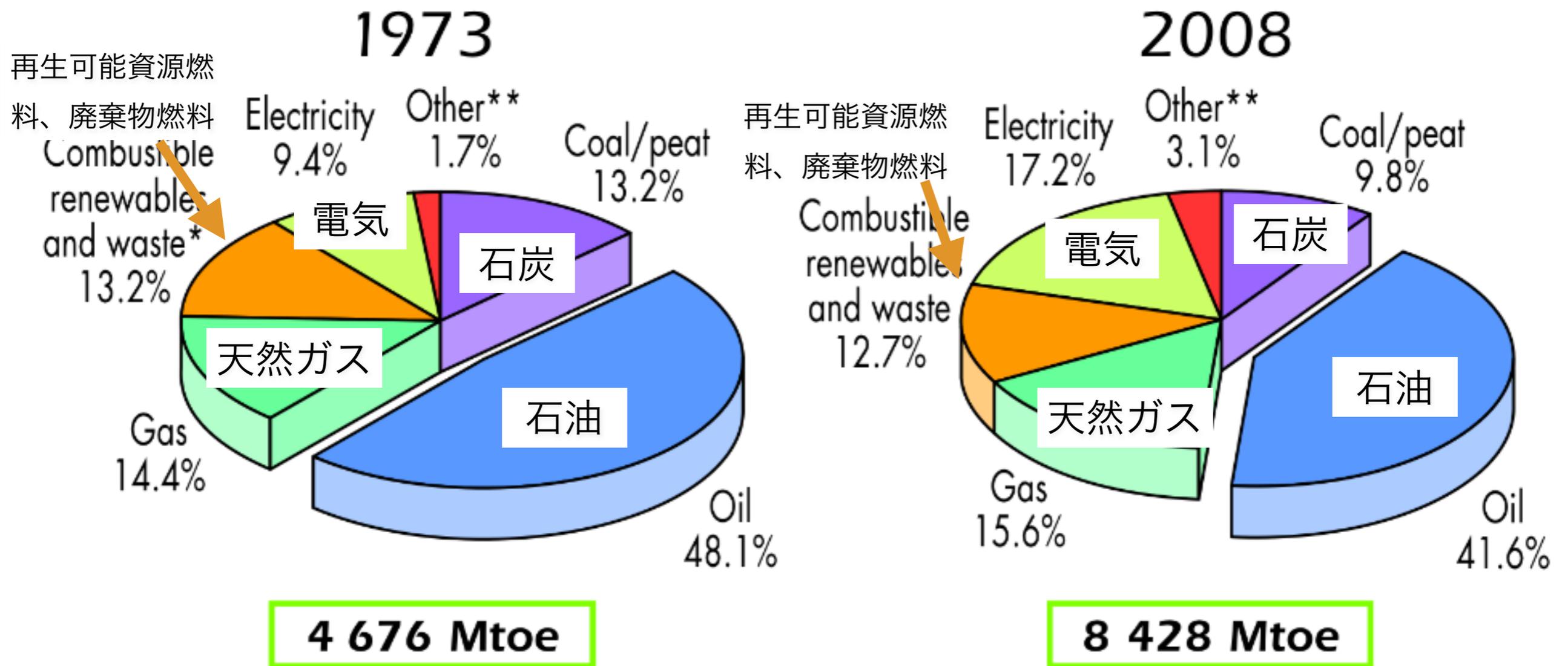


エネルギー需給全体をふまえた
定量的な評価が不可欠

原子力エネルギー政策にかかる 諸外国の動き

- **利用国**：安全性検証・向上に注力しつつ、重要なエネルギー源としての位置づけに大きな変更なし（米、仏、韓等）
- **成長、新規導入国**：安全性検証のため従前の開発導入計画に遅れを予想しつつ、エネルギー需要拡大への対応のために長期的な開発を引き続き推進（中、印）、導入計画続行（UAE、トルコ等）、計画見直し・慎重な検討へ（タイ・マレーシア等）、計画中止（イスラエル、ベネズエラ）、など
 - 安全性検証への要求の高まり
 - 安全基準の強化と対応
- **脱原子力国**：運転延長政策を廃止→2022年までに全面停止（独）、新設計画の凍結→2034年までに全面停止（スイス）、再開計画の1年間凍結→再開否決（イタリア）、等

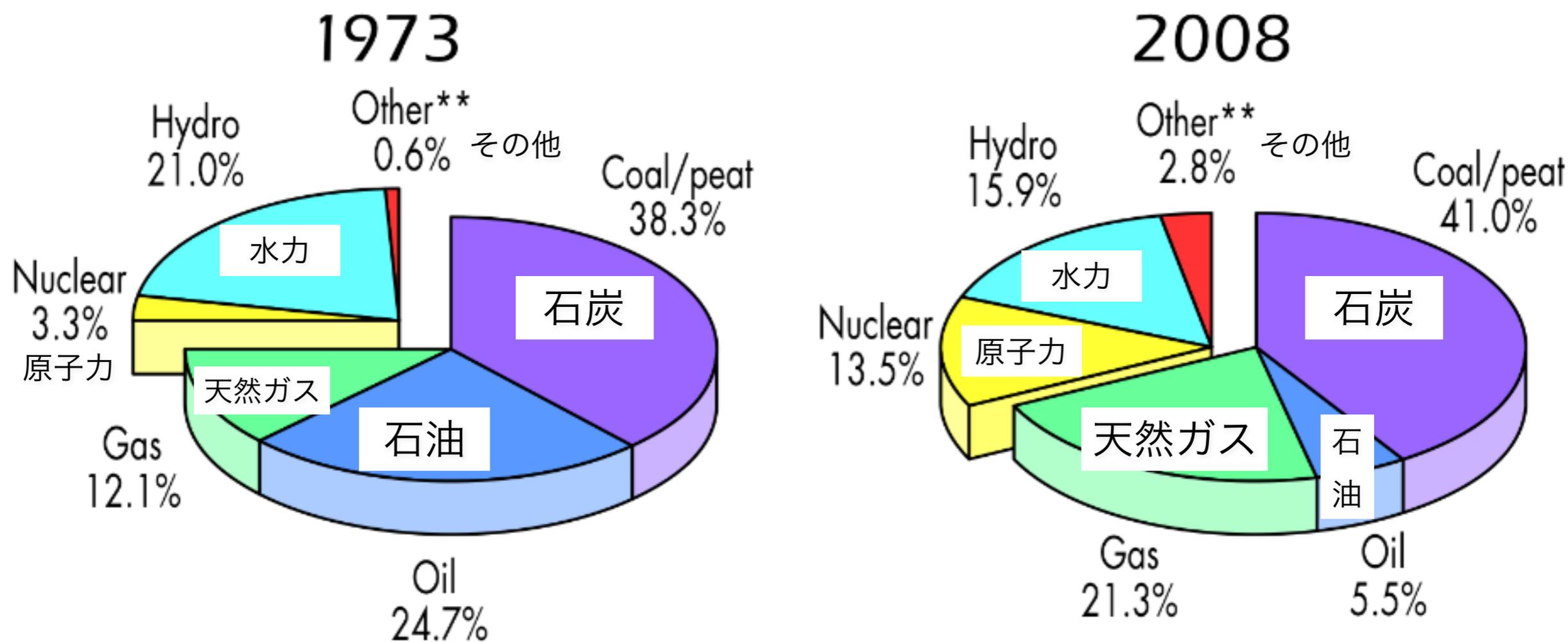
世界の最終エネルギー消費



*Data prior to 1994 for combustible renewables and waste final consumption have been estimated.

**Other includes geothermal, solar, wind, heat, etc.

世界の電力供給量

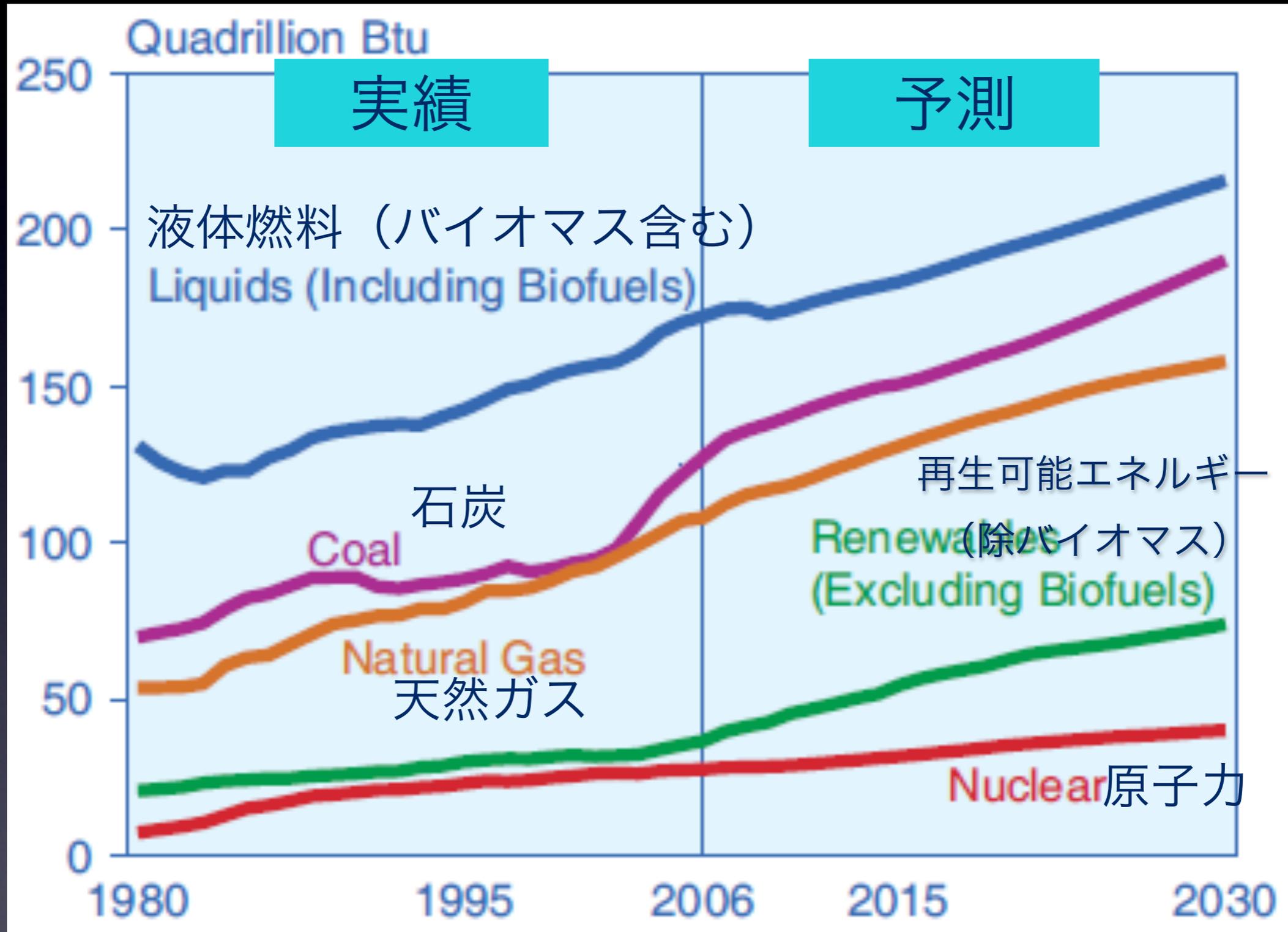


6 116 TWh — 3倍以上 — **20 181 TWh**

*Excludes pumped storage.

**Other includes geothermal, solar, wind, combustible renewables and waste, and heat.

エネルギー将来予測



気候変動, エネルギーセキュリティとエネルギーミックス

現在

化石燃料

再生可能エネルギー

原子力エネルギー

伝統的バイオマス

経済成長に伴う需要増加

温室効果ガス放出増加

ライフスタイル変化に伴う電気エネルギーへのシフト

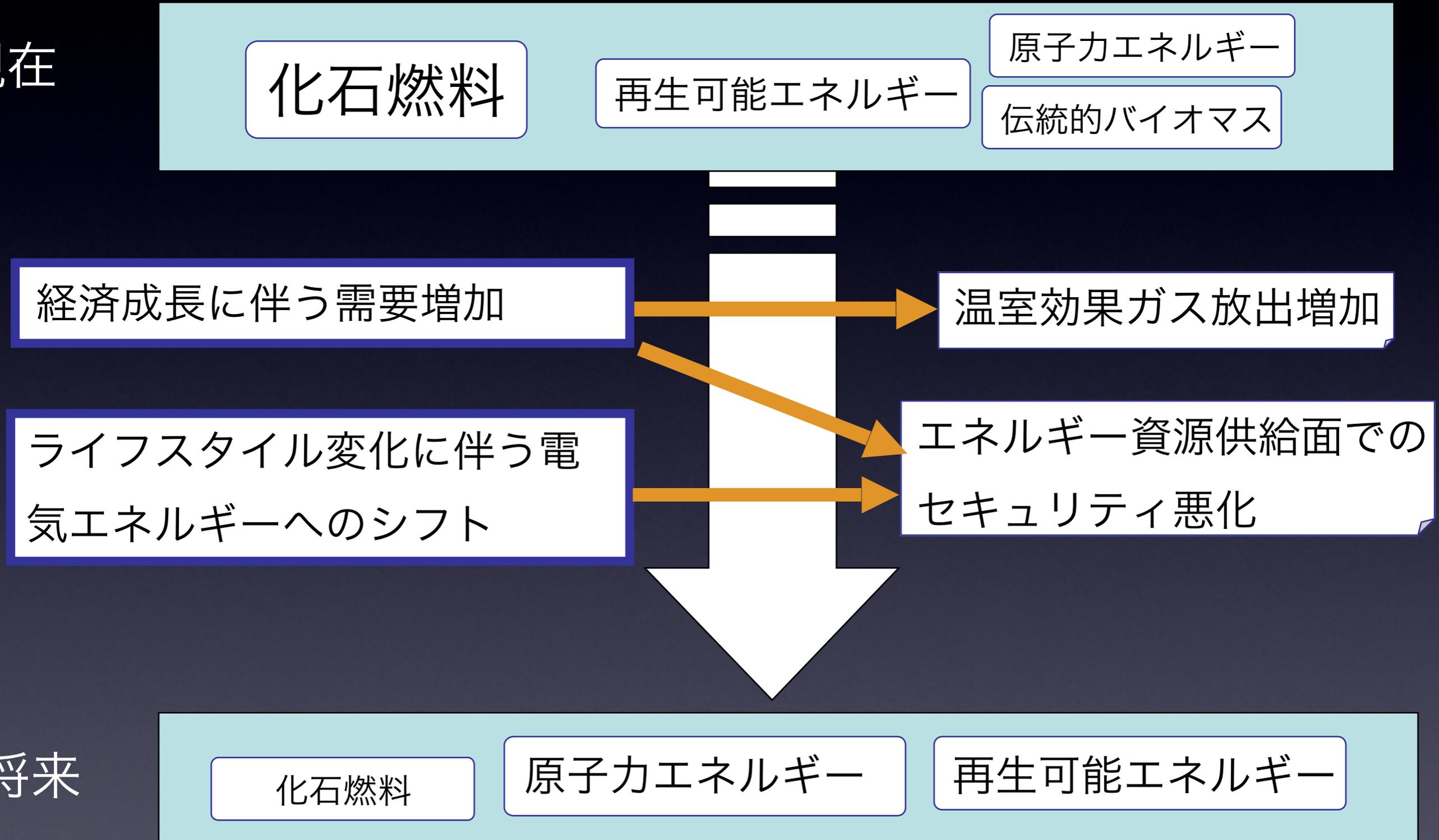
エネルギー資源供給面でのセキュリティ悪化

将来

化石燃料

原子力エネルギー

再生可能エネルギー



これからのエネルギー問題

- エネルギーは現代社会の活動の基盤となる不可欠な存在であり、国、社会を維持するには、安定した、信頼性の高いエネルギー供給を確保することが不可欠である。このために、エネルギー安全保障を高めることは極めて重要である。
- 資源輸入大国である日本にとって、石油のように特定の国や地域からのエネルギー資源に依存することのリスクは大きい。化石資源を含めたリスク分散を図り、様々なエネルギーの独立性を確保することが何よりも重要。

これからのエネルギー問題

- 再生可能エネルギーは、長期的な到達目標としては当然重要で、今後、現実的に可能な限り増やして行くことが必要。ただし、現実問題として、直ちにエネルギー源の中核とすることは難しく、ある程度のリードタイムが必要。大規模投資をもとに、技術開発、インフラや需要・産業等の大幅な変更を進めつつ、導入を着実に進める必要がある。レアメタルをはじめとする必要な資源の安定供給の確保も大きなポイント。
- 日本のエネルギー安全保障を確保する上で、原子力はエネルギー源多様化の観点から重要なエネルギー源の一つ。一方で、福島発電所事故を受けて、国内のエネルギー安定供給の観点から、これまでのリスク評価に加え、事故発生時の供給途絶など、原子力固有の社会的インパクトを考慮した安定供給性の新たな評価が必要。加えて、日本は、国際的な安全性強化の枠組みで先導的な姿勢を示すとともに、世界にむけて、福島発電所事故の解明と透明性のある情報発信を継続する責務がある。

さいごに

- 福島発電所事故の影響は、日本を含む世界各国の原子力エネルギー政策の動向に影響を与えつつある。安全性確保への要求の高まり、安全基準の強化と対応に関連した動きで、原子力発電という枠組みの中での議論が主として行われているが、これからは中長期的なエネルギー需給戦略の中での原子力エネルギーのあり方に関する検討を着実に進めることが必要。
- エネルギー安全保障と地球環境問題との両視点に立ち、再生可能エネルギー、化石エネルギーと原子力エネルギーの最適なミックスと、省エネルギー、エネルギー効率向上、さらにはライフスタイルの変革を含めたエネルギー消費構造の改革とのバランスを考慮した、エネルギー全般に対する定量的かつ客観的な議論、検討が継続的に行われることを期待したい。