

## 付録 1

### 各国の動向

#### 1. はじめに

欧米においては、電力自由化の進展に伴い、電気事業も市場競争に耐えられる体力が必要となり、生き残りをかけた吸収、合併などの再編が進められている。また、原子力発電は、総発電量に占める割合が、EU全体で約35%、米国で約20%と、欧米においてもほぼ基幹電源の地位を確保している。しかし、スリーマイル島及びチェルノブイリ事故等による原子力反対運動の活発化、電力自由化による電気事業者の短期採算性の重視などにより、原子力発電所の新規建設の停滞傾向が顕著となり、大幅に縮小した市場の中で、ここ数年来原子力プラント供給産業においても生き残りをかけた再編が行なわれてきた。

このような中で、自由化市場環境下においても、競争力をもつ原子力プラントの開発、原子力技術維持のための革新炉技術開発、社会的受容性を高め世界標準となり得る革新的原子力システムの開発などが、各国及び国際協力の枠組みの中で進められている。

本付録では、欧米における電力事業、原子力産業の再編の状況及び、海外における革新的原子力システムの開発状況をまとめた。

#### 2. 電力・原子力産業の再編

##### 2.1 電力事業の再編

EUにおける電力自由化は、1999年以来各国での国内法化により、徐々に小口需要まで範囲が拡大されつつある。自由化に伴う市場競争の激化により、ヨーロッパではここ数年来、大規模な電力・エネルギー産業の再編が進められている(図1参照)。多数の電力事業者が並立していたドイツでは、大部分がRWE社、E.ON社など4グループに統合された。さらに、これら4グループのうち、HEW社などのグループには、スウェーデンの国営電力ヴァッテンファル社が出資し、EnBW社にはフランスの国営電力EDF社が出資しており、またEDFは英国の電力会社を買収するなど、国境を越えた再編が進んでいる。このような動きのもとに、欧州全域は、EDF社(仏)、RWE社(独)、E.ON社(独)、ENFL社(伊)、ヴァッテンファル社(スウェーデン)の5大電力グループに再編される方向にあるといわれている。

米国においては、原子力発電所の良好な運転実績をもつ発電会社が、小規模な発電所所有会社のプラントを買収し、良好な事業実績をあげている。図2に示すように、1999年以降10数基の原子力発電所をエンタジー社、エクセロン社などが買収し、原子力発電所をもつ電気事業者の再編が急速に進んでいる。

##### 2.2 原子力産業の再編

原子力発電所の新規建設が停滞して極度に狭まった市場状況を反映し、ここ数年来、欧米の原子力メーカーの再編も急激に進んだ。その状況を図3に示す。

1999年から2000年にかけて、英国原子力燃料公社(BNFL)は、米国ウエスティン

グハウス社及びABB社の原子力事業部門(米国コンバッション・エンジニアリング社、スウェーデンABB-Atom社など)を買収し、従来の原子力燃料供給・再処理事業に原子力プラント供給、サービス事業を統合した。

2000年には、ヨーロッパの2大原子力メーカーである仏 フラマトム社と独シーメンス社の原子力部門が合併し、フラマトムANP社として発足した。さらに、2002年には、フランス原子力庁を主要株主とした持株会社アレバ社が設立され、フラマトムANP社、コジェマ社等を傘下に入れ、原子力発電所の建設から核燃料サイクル全般を統合した。

また、GE、日立、東芝は、燃料部門を統合し、グローバル・ニュークリア・フュエル社を設立した。

### 3. 革新的原子力システム開発

#### 3.1 概要

革新的原子力システムの開発は、各国独自の開発とともに、多数の国が参加する国際協力の枠組みの中でも進められようとしている。

多数の国が参加する革新的原子力システム開発には、第4世代原子力システム国際フォーラム(Generation IV International Forum : GIF)と革新的原子炉開発プロジェクト(International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles : INPRO)の2つがある。GIFは米国の呼びかけにより日本を含む10ヶ国が参加しており、INPROはIAEAの呼びかけによりロシアなど13ヶ国が参加している。

各国独自の革新的原子力システム開発においては様々な取り組みがなされ、多様な炉型を対象に開発に取り組んでいる国々と特定の炉型に集中して開発を進める国々がある。前者には、米国、ロシア、中国、韓国があり、後者には、短期から長期に渡る開発戦略の明確なカナダ、フランスと、短期に特定の炉型の実用化を目指す南ア、アルゼンチンがある。米国を除いて、いずれの国も国の研究機関、国立大学または国営企業が中心となって開発を進めている。米国では、意欲ある民間企業等が、国の政策のもとに、開発、実用化を進めている。

ここでは、2つの多国間国際協力と各国の革新的原子力システム開発への取り組みの概要をまとめた。文中、開発対象とされている革新的原子力システムは太字で表してある。

#### 3.2 多国間国際協力

##### 3.2.1 第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF)

米国DOEが、将来のエネルギー需要、社会的ニーズに合致し、全世界的に受け入れられる原子力システムの開発に向けた国際協力の呼びかけを行ない、2000年に発足した。

参加国は現在、アルゼンチン、ブラジル、カナダ、フランス、スイス、日本、韓国、南アフリカ、英国、米国の10ヶ国である。

図4に示す体制で検討が進められている。これまでの検討により、第4世代原子力システムに求められている「持続性（資源有効利用、環境負荷低減、核不拡散）」、「安全性」、「経済性」の要件を満たし、2030年までに実用化が可能と考えられる下記6概念グループが選定された。今秋までに、各概念のロードマップをまとめる予定である。なお、第4世代原子力システムに求められる要件は満たさないものの、今後有意な研究開発が必要でなく2015年までに実用化が可能と考えられる国際短期導入炉（INTD）についても概念グループが選出された。

選択された概念は次の通りである。

(1) 第4世代原子力システム

**ガス冷却高速炉**

**熔融塩炉**

**ナトリウム冷却炉（MOX燃料、金属燃料）**

**鉛合金冷却炉**

**超臨界圧水冷却炉**

**超高温ガス炉**

(2) 国際短期導入炉（INTD）

**改良型BWR（ABWR-II、ESBWR、HC-BWR、SWR1000）**

**改良型圧力管型炉（ACR-700）**

**改良型PWR（AP600、AP1000、APR1400、APWR+、EPR）**

**一次系一体型炉（CAREM、IMR、IRIS、SMART）**

**モジュラー型高温ガス炉（GT-MHR、PBMR）**

### 3.2.2 革新的原子炉開発プロジェクト（INPRO）

IAEAの呼びかけにより、2001年5月に発足した。原子力エネルギーを確実に21世紀のエネルギー需要をみたす持続的な方法とすることを目的として、原子炉と燃料サイクルにおける、望ましい革新を達成するための活動を共同で検討する。

参加国は現在、アルゼンチン、ブラジル、カナダ、中国、ドイツ、インド、韓国、ロシア、スペイン、スイス、オランダ、トルコ、ECの13ヶ国、国際機関がメンバーとなっている。INPROの組織を図5に示す。

現在、活動の第1フェーズの第1ステップとして、2050年までを見通した、将来の原子力エネルギー技術、概念の比較方法及び基準を選定するとともに、ユーザ要求を定めるための検討を行っている。その後、定めた基準及び要求に照らして、メンバー国の革新技術の評価を行なうとしている。

### 3.3 各国の動向

### 3.3.1 米国

1970年代以降原子力発電プラントの新規建設がとだえていた米国では、国内の原子力技術の維持、国際競争力確保、世界におけるエネルギー・環境問題の主導権確保を目的とした原子力研究プロジェクト(Nuclear Energy Research Initiative : NERI)が1999年度から開始された。ブッシュ政権下では、原子力復興への動きが活発化し、第4世代原子力システムの一環として検討された短期導入計画(NTD)の検討成果をもとに、2010年までに米国内での新規原子力発電プラントを建設することを目指した原子力2010計画(Nuclear Power 2010)が進められようとしている。これらの動きはいずれも、エネルギー省(DOE)主導のもとに強力に推進されている。

#### (1) 原子力研究(NERI)プロジェクト

将来の原子力システムのためのシーズ技術開発をねらった研究公募で、米国内の大学、国立研究所、企業を対象とする。研究開発の対象は、核不拡散性を高めた原子炉や燃料サイクル技術、新型炉概念、関連革新技術、原子力基礎科学など多方面の研究について、予備的な研究を行なうものである。

#### (2) 第4世代原子力システム開発(Generation-IV)

第4世代原子力システムとしての要件、要件を満たす概念選定、及び開発のロードマップ作成など大部分の活動はGIFの中で進めている。

米国独自の検討として、2010年までに米国内での運転開始可能性を持つ炉型の検討を、短期導入計画(NTD)ワーキンググループが実施した。

#### (3) 原子力2010(Nuclear Power 2010)計画

短期導入計画ワーキンググループの検討の結果、**ABWR(改良型BWR)**、**SWR-1000(改良型BWR)**、**ESBWR(静的安全BWR)**、**AP600/1000(改良型静的安全PWR)**、**PBMR(ペブルベット型小型高温ガス炉)**、**GT-MHR(ブロック型小型高温ガス炉)**など、導入可能性と技術的成熟度を中心に検討している。

ワーキンググループ報告書は2001年10月末に公表され、ここに示された提案をもとに、2002年2月エネルギー省長官から原子力2010計画が発表された。米国内に2010年までに原子力発電プラントを建設・運転開始することを目指し

早期立地認可

建設・運転同時認可

必要な革新技術の開発

を国と民間とが協力して進めようというものである。

#### (4) 国際協力

GIFの他に、NERIの国際版として、I-NERIを各国に呼びかけ、これまでに、革新炉技術、革新的燃料サイクルの開発などを協力して進めることを目的とした、米 / 韓、米 / 仏の2つの2国間協力協定が締結された。

### 3.3.2 ロシア

2000年5月に、原子力省より21世紀前半のロシアにおける原子力開発戦略が発表された。

この中で、新型炉の開発について、次のような目標が示されている。

2010年：

**ナトリウム冷却高速炉BN-800の建設、窒化物燃料への移行**  
**放射性廃棄物低減再処理を含む大規模な閉じた核燃料サイクルの研究開発の開始**  
**静的安全高速炉及び燃料サイクルの開発 (実証プラントの建設)**  
**安全性を強化した遠隔地向け小型炉の開発**  
**高温ガス炉 (GT-MHR) の国際協力開発・建設プロジェクトへの参加**

2030年：

**静的安全高速実証炉の建設と運転**  
**閉じた核燃料サイクルの実用化**  
**静的安全トリウム-ウランサイクル溶融塩炉の開発**

2050年：

**増大する需要をカバーし、電力輸出をねらった大規模原子力発電・燃料サイクルのインフラストラクチャー開発**  
**トリウム-ウランサイクル炉実証炉建設と運転**

ロシアは、高速炉開発が最も進んだ国の一つであり、これまでナトリウム冷却高速炉BN-600が実用化されている。次世代の、より安全性を向上した高速炉として、鉛冷却、鉛ビスマス冷却高速炉が検討され、**原型炉BREST 300の基本設計、実証炉BREST 1200の設計研究を実施中**である。

革新炉開発国際協力においては、INPROの中心的なメンバーとして活動するとともに、**高温ガス炉GT-MHRの開発 (1号機は核兵器解体プルトニウムの燃焼処分を目的とする)**を米国政府の支援の下、米、仏、日の企業と共同で進めている。

### 3.3.3 中国

中国では、国産PWR、フランス、ロシアからの輸入PWR、カナダからの輸入重水炉と、多様な発電プラントが、建設、運転中であるが、今後は、1000MW級のPWRを国産標準プラントとして、次の10年に建設することを目指している。革新炉としては、**静的安全性を備えたPWR、高温ガス炉及び高速炉の開発が進めら**

れている。

静的安全性を備えた**地域暖房用PWR**として試験炉**NHR-50** (50MWt)が運転中であり、200MWtの実用炉**NHR-200** 2基の建設が計画されている。

**高温ガス炉**については、10MWtの**試験炉HTR-10**が出力上昇試験中で、約100MWeの実用炉の設計検討が開始されている。

高速炉開発では、最初のステップである**ナトリウム冷却高速実験炉CEFR** (出力25MWe)が、原子能科学研究所に建設中で、2005年臨界を目指している。

地域暖房用PWR及び高温ガス炉は国立大学 (清華大学)を中心として開発されている。

革新炉開発に関する国際協力では、INPROに参加している。

### 3.3.4 韓国

韓国では、現在、PWR及び重水炉が実用発電炉として運転されている。

革新炉として、改良型軽水炉、小型軽水炉の建設計画を進めており、高速炉、放射性廃棄物低減原子炉などの開発を行なっている。

**改良型PWR (APR-1400)**は出力1400MWの安全性と経済性を高めたPWRで、韓国政府と韓国電力によって開発され、2002年5月に標準設計認可を受けた。2010年には運転開始が予定されている。

**小型一体型PWR (System-Integrated Modular Advanced Reactor : SMART)**は、一体型モジュールPWRで、海水淡水化と発電を目的とし、65MWtのパイロットプラントを2008年に完成させる計画である。

**液体金属高速炉 (Korea Advanced Liquid Metal Reactor : KALIMER)**はナトリウム冷却プール型で、金属燃料を用いた出力150MWeのプラントで、現在概念検討中である。

**放射性廃棄物低減用重水炉 (Direct Use of Spent PWR Fuel in CANDU Reactor : DUPIC)**は、PWRの使用済燃料の放射性廃棄物を減少させることを目的に、CANDU炉に再装荷して燃焼する計画である。

SMARTは基本設計までを国立の韓国エネルギー研究所 (KAERI)が実施し、技術実証の段階から産業が参加し、政府の資金支援の下、産業主体の実用化に移行する計画である。

KALIMER、DUPICはKAERIを中心に開発が進められている。

革新炉開発に関する国際協力では、GIFに参加するとともに、I-NERIの一環として、米国と革新的軽水炉技術、燃料・材料開発などに関する協定を締結している。

### 3.3.5 カナダ

カナダは独自の重水炉CANDUを開発し、これまで多数の発電プラントを建設・運転している。

次世代炉として、炉心をコンパクト化した軽水冷却の**改良型CANDU炉**について、英国British Energy社と共同で英国への導入検討を実施している。更に、固有の安全性を向上するための開発、非発電分野への利用などの検討も実施している。

長期的開発として、より高効率化を目指した**超臨界水CANDU炉 (CANDU X)**の研究開発に取り組んでいる。

これらのCANDU炉の開発主体は、100%政府出力のカナダ原子力公社である。

革新炉開発に関する国際協力では、GIF及びINPROに参加している。

### 3.3.6 フランス

フランスでは、アメリカに次ぐ世界第2の原子力発電所設備容量を持ち、全てPWRである。

革新炉では、高速炉について、ナトリウム冷却高速実証炉スーパーフェニックスの建設・運転まで行なったが、その実用化を2050年以降に先送りした。

現在フランス原子力庁(CEA)は革新炉開発を、ガス冷却炉に集中して行なう計画としており、短期に**直接サイクルガスタービン発電高温ガス炉**、中期的に**超高温ガス炉(1000以上)**、長期的は、アクチニド燃焼の可能な**ガス冷却高速スペクトル統合サイクル増殖炉**及び**放射性廃棄物の消滅を目指した最適ガス冷却炉**の開発を目指している。2010年に低出力ガス冷却実験炉(20~40MWt)の運転開始を目指し、2015~20年に、ガス冷却原型モジュール(100~300MWe)の建設を目指している。

革新炉開発に関する国際協力では、GIFに参加するとともに、その活動の基盤となる米国との協力協定を、I-NERIの一環として締結している。また、**高温ガス炉GT-MHR**開発プロジェクトに、準国営企業であるフラマトムANP社が参加している。

### 3.3.7 南アフリカ共和国

南アでは、PWRが運転中であるが、次期原子力発電プラントとして、**小型高温ガス炉PBMR**(Pebble Bed Modular Reactor)が選定され、建設に向けた開発が進められている。

PBMRはペブルベッド炉心を用いた小型高温ガス炉とガスタービンを組み合わせたモジュールあたり120~130MWeの発電プラントである。

南アの国営電力ESKOMを中心にして、南ア諸機関及び英国BNFLが共同出資した開発会社により開発が進められており、2002~03年着工の予定である。

### 3.3.8 アルゼンチン

アルゼンチンでは、現在海外から導入した加圧重水炉、CANDUが運転中で

ある。

アルゼンチン原子力委員会は国立研究所INVAPと共同で**小型一体型PWR (CAREN)**の開発プロジェクトを進めている。このプロジェクトの第1ステップとして、約27MWeの原子炉CAREM-25の建設を計画している。

アルゼンチンは、GIF及びINPROに参加している。

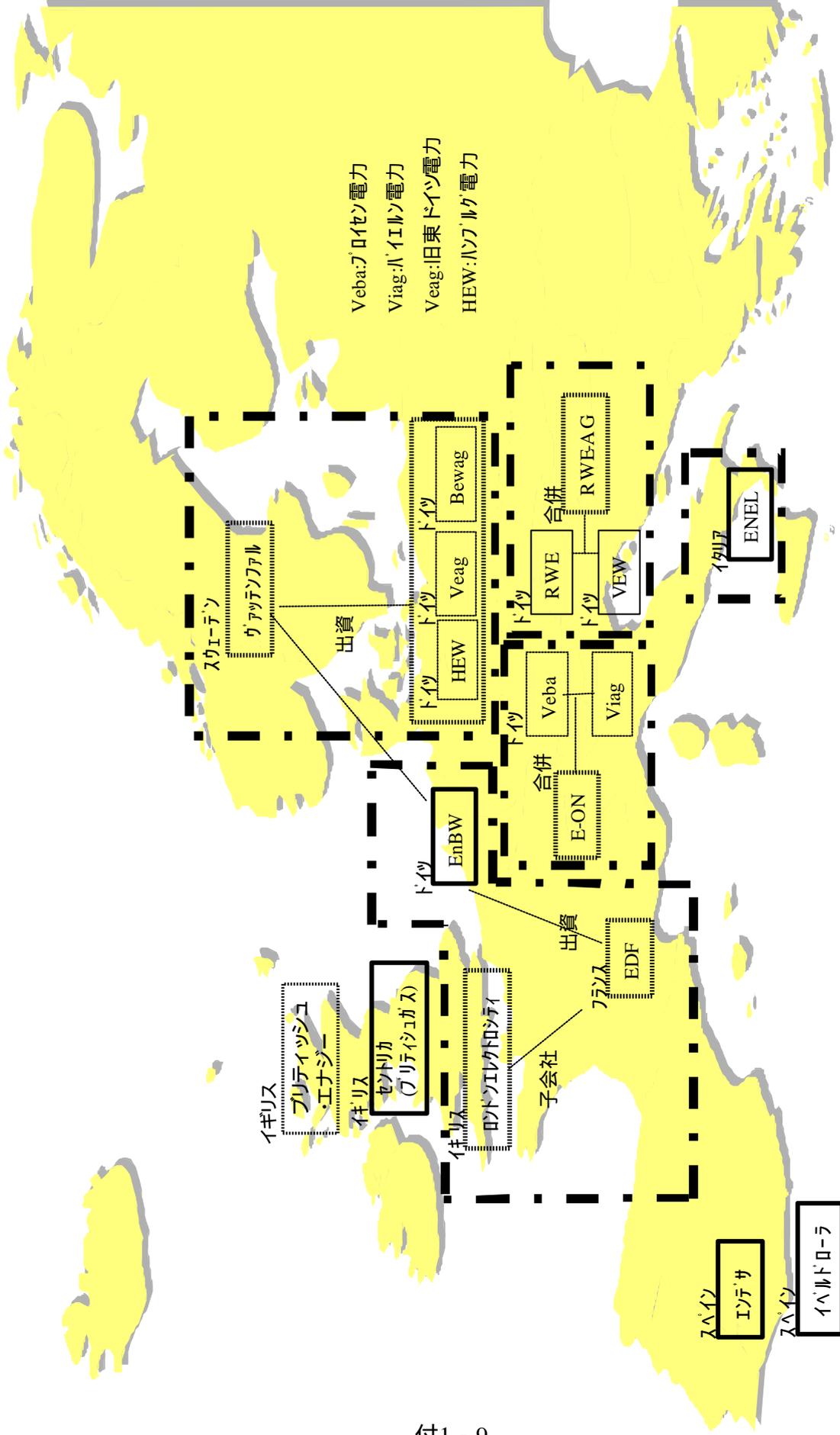


図1 ヨーロッパにおける電力再編

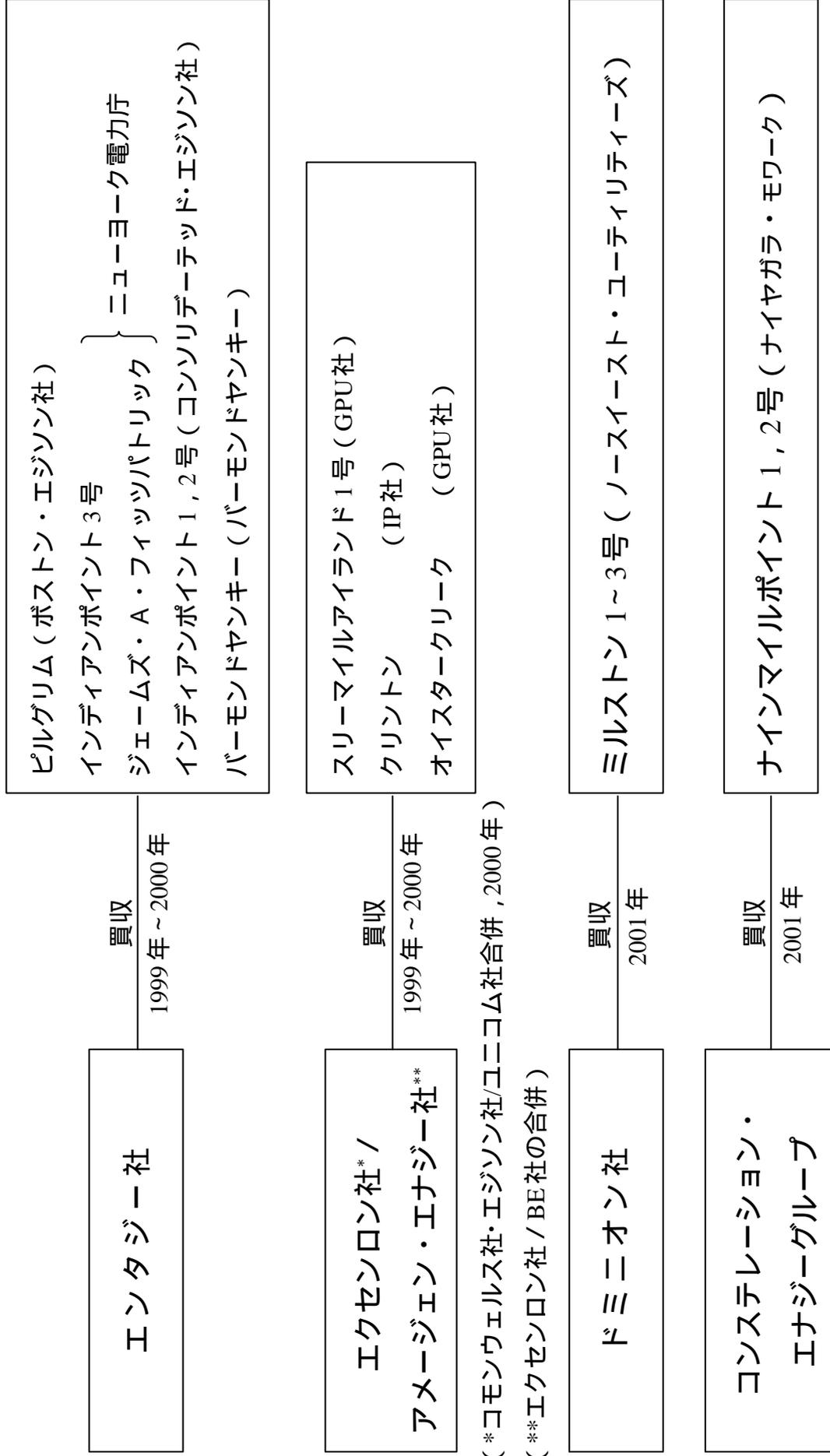


図2 米国における原子力発電所所有会社の再編

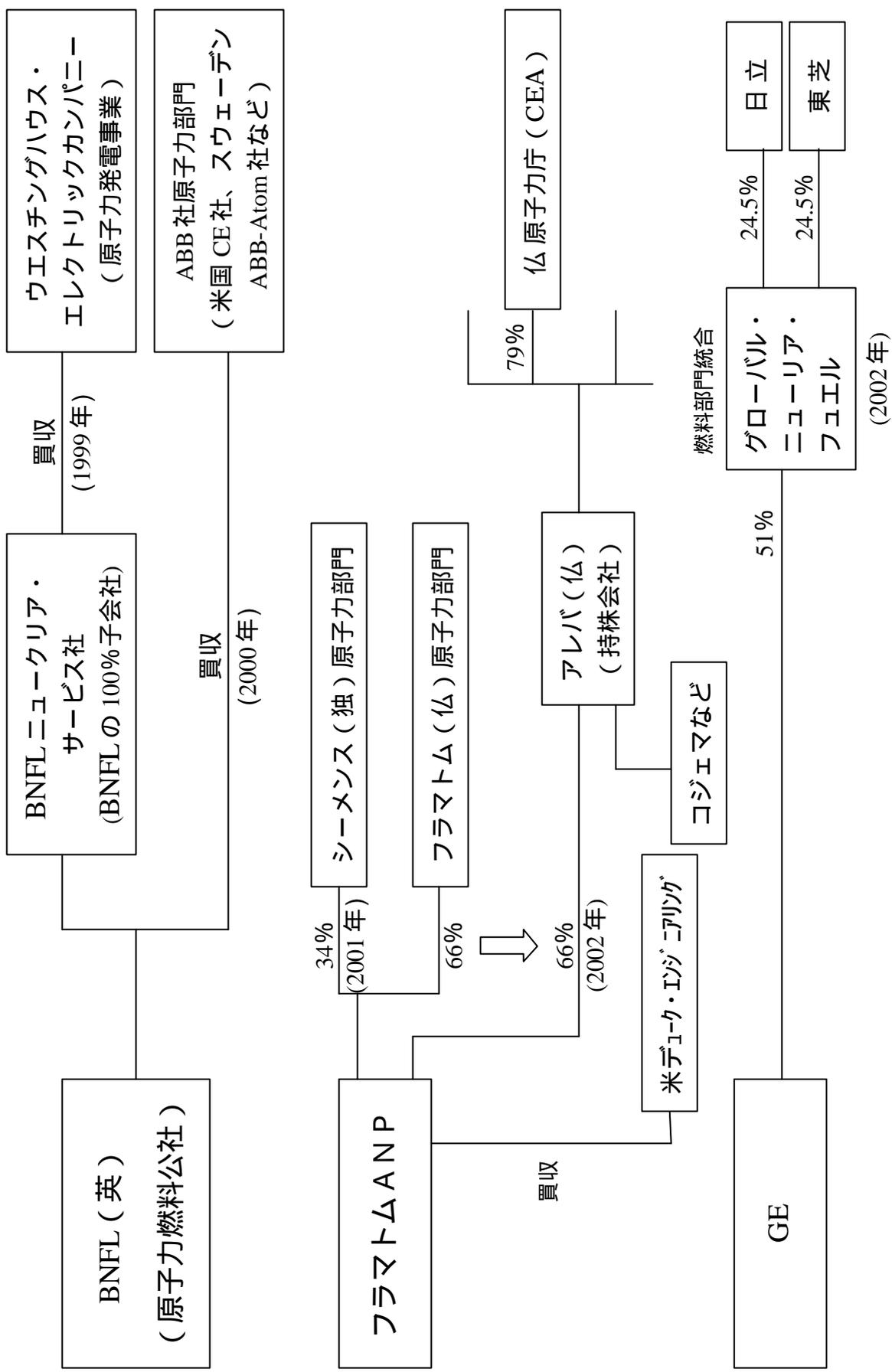


図3 欧米の原子力産業の再編

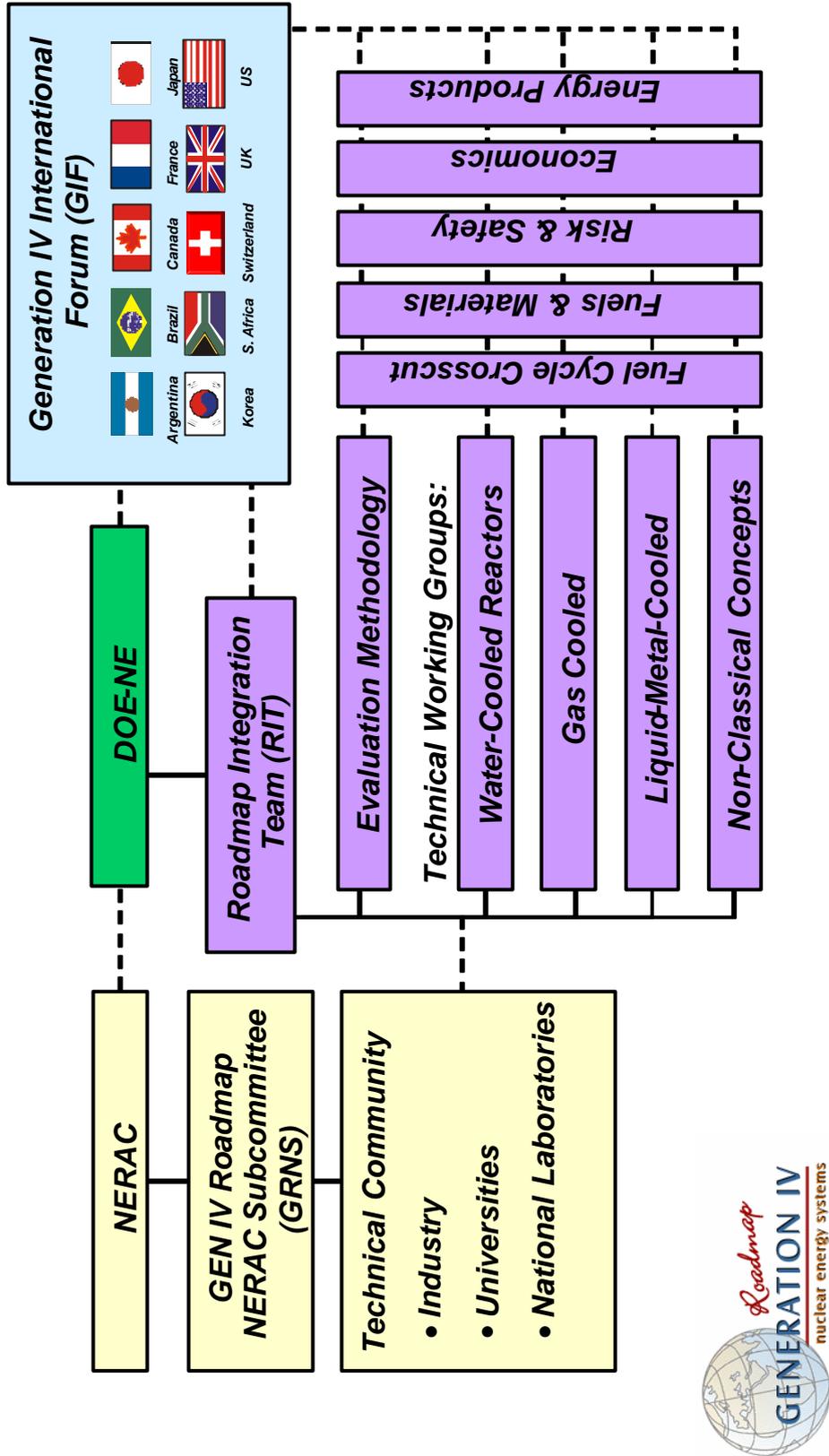


図4 第4世代原子力システム(Generation IV)開発ロードマップ策定の組織図

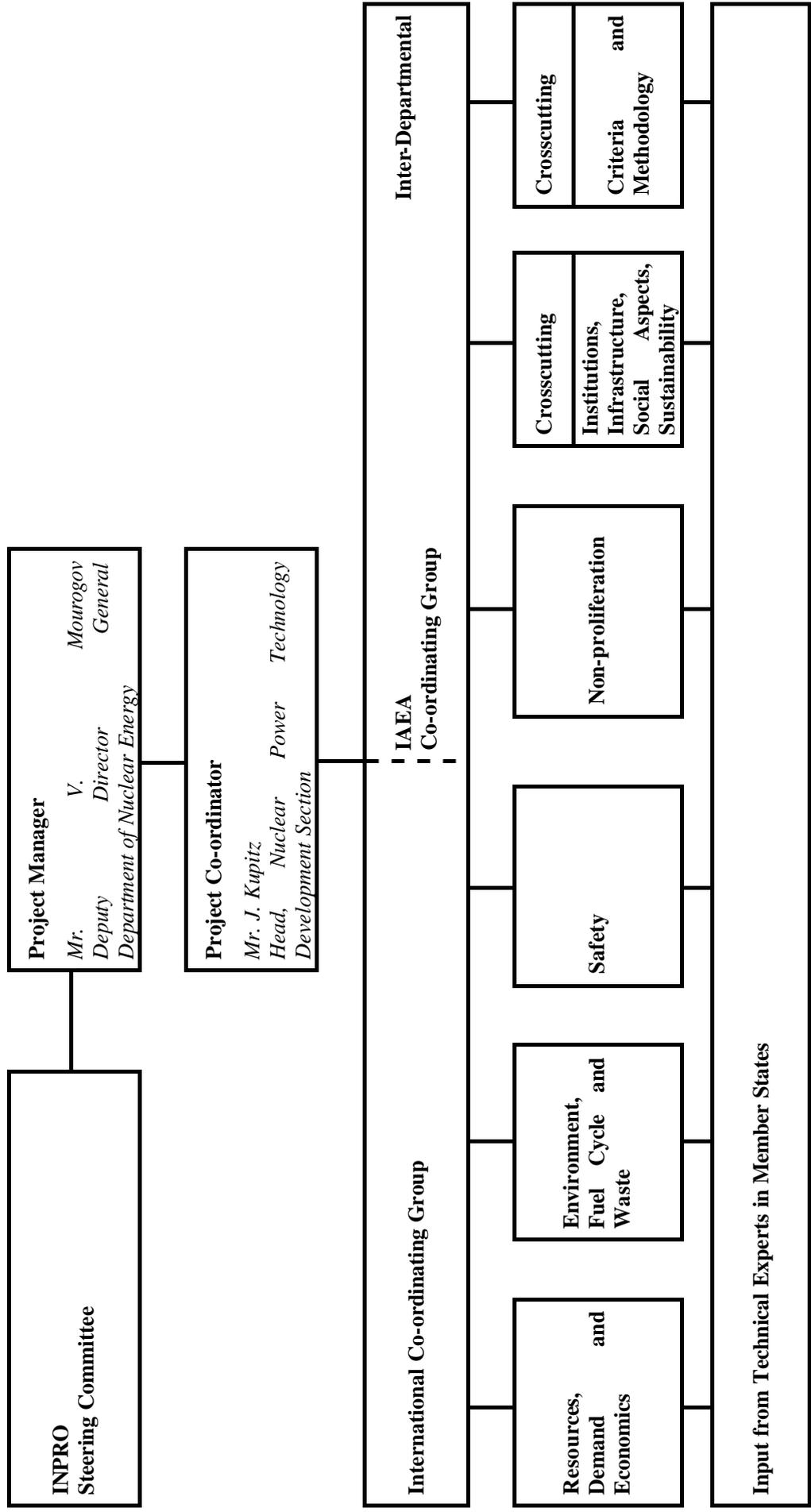


図5 革新的原子炉 燃料サイクル国際プロジェクト(INPRO)組織