

2050年の原子力 ビジョン と ロードマップ

2004年11月

(社)日本原子力産業会議

原子炉開発利用委員会

本資料は、（社）日本原子力産業会議 原子炉開発利用委員会
が、今後の原子力開発利用の方向について検討するために実施
した調査、検討を取りまとめたものである。

目 次

第1章 原子力ビジョンを検討するにあたって.....	2
第2章 原子力ビジョン検討の進め方.....	4
第3章 2050年の日本の社会に向けての条件.....	7
(私たちが目指すもの).....	7
(想定するもの).....	7
第4章 2050年に至るエネルギー需給シナリオ.....	10
第5章 2050年の原子力利用の姿(ビジョン).....	14
(1) 発電に寄与する原子力.....	14
(2) 原子力による水素の製造.....	14
(3) 原子力開発利用に関する合意形成と制度整備.....	14
(4) 地域社会と共生する原子力施設.....	15
(5) 業界間規制の緩和で自由なエネルギー市場.....	15
(6) 多様化する原子力施設の立地.....	16
(7) 国際エネルギー情勢の改善.....	16
(8) 世界における原子力利用の進展.....	16
(9) 原子燃料サイクルシステムの整備.....	17
(10) 放射性廃棄物処分の進展.....	17
(11) 世界で活躍する日本の原子力産業.....	17
第6章 ビジョン実現へのロードマップ.....	18
(1) 地域社会との共生・共益.....	20
(2) 電力市場自由化のもとでの原子力プラント建設.....	23
(3) 原子力発電の経済性向上.....	27
(4) 原子燃料サイクルの実現.....	33
(5) 放射性廃棄物対策の実施.....	36
(6) 水素エネルギー社会への貢献.....	39
(7) 原子力産業の国際化.....	42
おわりに.....	46
参考文献リスト.....	48

第1章 原子力ビジョンを検討するにあたって

人類が原子力の平和利用を開始してから約半世紀が過ぎ、現在原子力はエネルギー利用と放射線利用により、さまざまな分野で人々の生活に役立っています。エネルギー利用では、原子力発電として電気を提供し、放射線利用としては、医療関係、農業関係、材料関係（開発・分析・検査など）等々、様々な分野で人々の生活に役立っています。本原子力ビジョンでは、これらの利用のうち、エネルギー利用について扱っています。

原子力発電の分野で見ますと、2000年度には日本の電力の34%（自家用を除いて）、全エネルギーの13%をまかない、世界においても電力の17%、全エネルギーの7%を担っています。今後も、世界のエネルギー需要は、発展途上国を中心に増加していくと予想されており、原子力は化石エネルギー、再生可能エネルギーと並んで、この需要の増加に対応して供給力を確保する有力な候補の一つとされています。特に、原子力は温室効果ガスである二酸化炭素（CO₂）をほとんど放出しないエネルギー源ですから、現在の発電に加え、水素製造や海水淡水化などにも利用が拡大できれば、地球温暖化の抑制に一層貢献することが可能です。

しかし、わが国では、多くの人々は原子力の持つこのような可能性や有用性を理解しつつも、大事故の可能性や放射性廃棄物の取り扱い、核兵器の拡散、放射線の人体影響などに懸念を持っており、原子力開発利用をさらに拡大することへの合意が十分に得られているとはいえません。原子力技術の開発利用に携わる関係者は、原子力はその取り扱いを誤れば大きなエネルギーが瞬時に発生し、放射性物質を放出する危険性を秘めていることを片時も忘れず、安全確保活動と社会の理解を得るための活動に取り組まなければなりません。また、放射性廃棄物を処分する際には、これが将来の世代の負担とならないように工夫することも必要です。残念ながら最近の原子力施設における事故や不祥事などによって生まれた原子力に携わっている組織やシステム、開発利用の進め方などに対する社会の「不信感」は、原子力開発利用の推進をより一層難しくさせております。原子力関係者はそれらを真摯に受け止め、その要因を全面的に排除する対策を講じて、今後は事故や不祥事を決して起すことのないように努めなければなりません。

一方、そのような原子力施設における事故や不祥事にもかかわらず、半世紀にわたる研究・技術開発と多くの経験を積み重ねた原子力開発利用の歴史は、原子力の潜在的危険性（リスク）を十分にコントロールできることを示しており、このような原子力の平和利用は長期間にわたって人類の福祉に貢献できるものと確信しています。そこで、わが国社会として望ましい原子力利用の姿、いうなれば「*水平線の向こうの、新大陸の姿を示すもの*」として、2050年頃の原子力エネルギーの実現可能なあるべき

姿（ビジョン）を構想し、これを実現するための課題・行動計画（ロードマップ）を検討することにしました。何より透明性が求められる今日、原子力関係者が何を目標しているのかを明らかにすることは重要だからです。

このビジョンを検討するにあたっては、まず、21世紀に生きる人類としての私たちが抱える課題について、幅広い観点から考えました。すなわち、いわゆる先進諸国は、20世紀に廉価で豊富な化石燃料を大量に用い、また高度な科学技術の力を借りて、物質的豊かさを目指した大量生産の中で豊かな消費社会を築きあげました。しかし、このような人間の活動量の飛躍的な増大は、地球の資源を枯渇させてしまうだけでなく、地球上の生命体の環境にも大きな脅威を与え始めています。21世紀には世界全体として省資源・省エネルギーを目指した循環型社会への転換を基本に、地球環境を配慮した「持続可能な発展」に向けて取り組まなければならないことが明らかになりました。一方、発展途上諸国では、いまだに多くの人々が飢えと貧困に悩まされており、これらの人々が豊かになることも必要です。私たちは、精神的な充足をもたらすことのできる真に豊かな社会の建設を目指しながら、人類が抱えるこれらの課題の解決にも貢献していかなければなりません。このためには、エネルギーの供給と利用の仕方についても大幅に見直す必要があり、現在の制約にあまりとらわれることなく、地球の資源と環境の保全という大きな見地に立ってそのあるべき姿を検討することが重要であると考えました。

この基本的な考え方のもと、2050年に至る日本のエネルギーの需給構造変化については、定量的モデルを用いて検討しました。この検討に先立って、私たちは、まず2050年に向けて私たちは何を指すか、何を想定するかを議論し（第3章参照）、次に示すような事項を前提としました。

- 1) 2050年頃においても日本の国民はその時点における世界の先進諸国レベルの生活水準を維持しています。すなわち一人当たりの国内総生産（GDP）は現在と比べて増加しています。ただし、人口の動向については、現在の政策に大きな変更がないことを前提に推計された国の専門機関の国立社会保障・人口問題研究所のデータを用いました。それによりますと2007年頃から徐々に減少し、2050年には2000年の約8割程度になっています。その結果、日本全体のGDPは、2030年頃から一定になっています。
- 2) エネルギー資源に乏しいわが国では、多くの資源を輸入に依存している状況は変わらないが、エネルギーセキュリティの観点からエネルギー自給率を増大させてこの問題を緩和できる合理的な手段を開発し、採用しています。
- 3) 日本がアジアの島国であるため、送電技術の進歩を考えても欧州のように電力網などによって、二次エネルギー（電気）を他国と融通し合うまでには至っていません。

4) 地球温暖化の抑制や燃料資源の有効利用など全地球的環境・資源の保全に配慮することを引き続き国民が選択しています。

このような想定のもと、2050年までの最終エネルギー消費量^{注1}、および一次エネルギー供給量を原子力の供給規模のパターンを変えて定量的に検討し、エネルギー需給シナリオを作成しました。これらのシナリオにおけるエネルギー需給の将来像、および原子炉開発利用委員会委員からのアンケートを分析して、日本の2050年の原子力利用の姿(ビジョン)を描きました。そして、この2050年ビジョンを実現するために、解決すべき課題、実施すべき行動の道程を検討しました。

ビジョン実現のための課題・行動は広範・多岐・長期にわたりますが、これらを主要な柱にまとめ、ロードマップとして示しました。

このたび描いたビジョンは、2050年と相当先のことでありますので、私たちが目指すものを描いています。従いまして、このビジョンを実現させるためには、相当過酷な多くの課題を克服する必要があります。そのためには、まず国民の支持を得るための努力を払わなければなりません。さらに、これらの課題を解決させるためには、政府と産業界が一体となって共同作業を行わなければなりません。そこで、私たち産業界は、これらの課題を解決させるために、まず「向こう10年間に何をすべきか」をまとめました。そして、国に対しては、提言として報告し、産業界には、自らの行動指針として役立てようとしています。

ここに示す原子力の開発利用における目指すべき将来ビジョンとその実現へのロードマップが、今後の原子力開発利用の進め方をめぐる議論に役立つことを期待します。

第2章 原子力ビジョン検討の進め方

本ビジョンは日本原子力産業会議の原子炉開発利用委員会のもとに設置されたビジョンワーキンググループが中心になって、作業を進めました。

ビジョンおよびロードマップの作成の方法は、次の通りです。

原子炉開発利用委員会メンバーから収集したアンケートを分析し、原子力が直面する課題と向かうべき方向を検討

ビジョンに関係する海外における検討、他機関における検討内容を調査(「参考文献リスト」参照)

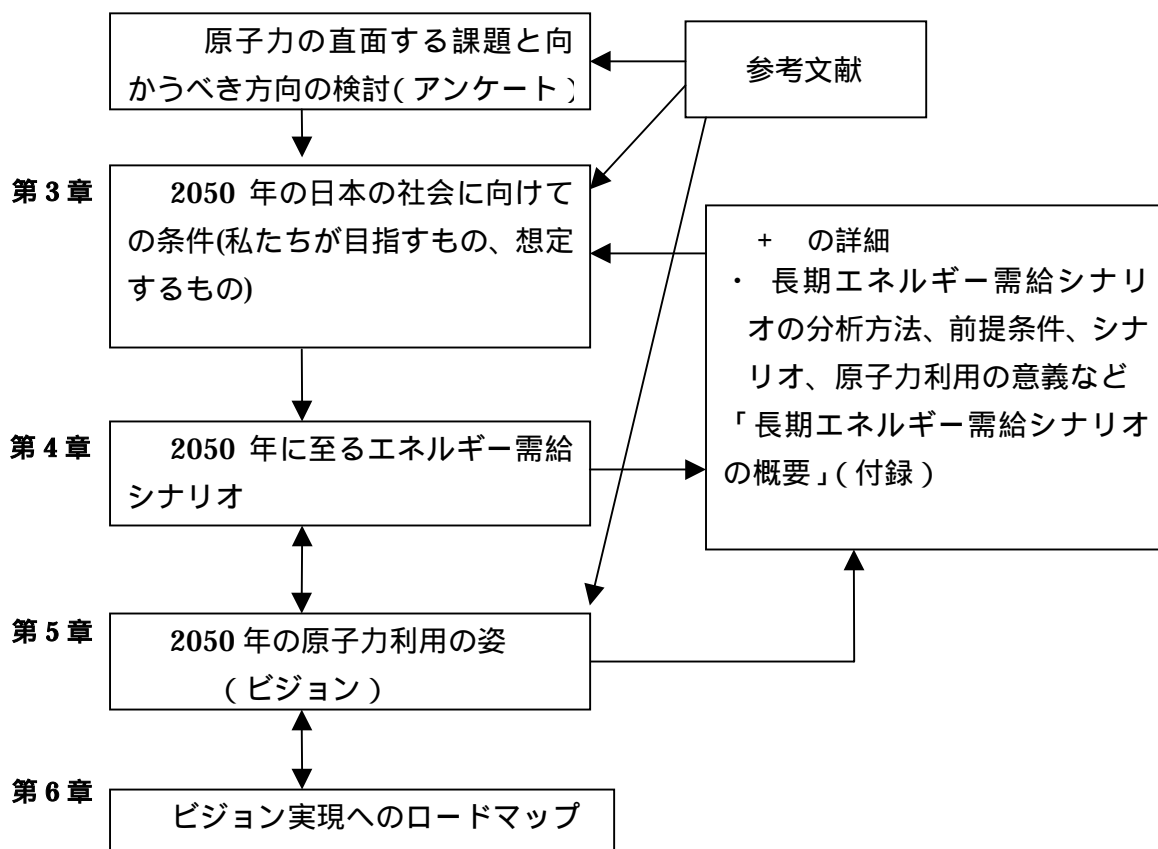
調査、検討の結果、次の7つの「原子力が向かうべき方向」を抽出

注1 **最終エネルギー消費量**：最終的にエネルギーとして利用した際の消費量です。図3では、その消費量の内訳をエネルギー形態で示しています。

- 1 . 持続的エネルギー供給を担う原子力
- 2 . 地球環境に優しい原子力
- 3 . 国際社会が相互に安心できる原子力
- 4 . 社会が信頼と安心をもって選ぶ原子力
- 5 . 国内、国際エネルギー市場で競争力をもった原子力
- 6 . 幅広い利用分野で貢献できる原子力
- 7 . 革新技術を生み、育て、活用、提供する原子力

2050年の日本の社会に向けての条件として、私たちが目指すもの、想定するものを設定
上記の設定のもとに、2050年に至るエネルギー需給シナリオを定量的分析、評価、および
2050年における日本の社会とエネルギーの状況、さらに原子力の役割を分析
2050年の原子力利用の姿(ビジョン)を描出
2050年ビジョンを実現するための課題・行動計画(ロードマップ)を作成

実際の作業は、 ~ が相互に関連しているため、次頁の図のように適時フィードバックさせながら実施しました。



以下に「第3章 2050年の日本の社会に向けての条件」、「第4章 2050年に至るエネルギー需給シナリオ」、「第5章 2050年の原子力利用の姿(ビジョン)」、そしてこの原子力ビジョンを実現するための課題・行動計画を「第6章 ビジョン実現へのロードマップ」に示します。なお、第3章および第4章について、より詳しくは「付録 長期エネルギー需給シナリオの概要」を参照してください。

第3章 2050年の日本の社会に向けての条件

(私たちが目指すもの)

私たち日本人は、20世紀型のライフスタイルとして、物質万能の高度経済成長を目指していましたが、21世紀に入って、情報化社会や高度科学技術の浸透をベースとして健康で精神の充足した、「充実した安心と豊かさのあるクオリティ・オブ・ライフ^{注2}」のライフスタイルを目指します。

私たちがこのようなクオリティ・オブ・ライフを目指すためには、エネルギーの確保が必須です。特に、エネルギー資源に乏しいわが国では、海外からの供給途絶によりエネルギー不足に陥ることがないように、万全の配慮が必要です。また、エネルギーの供給と利用においては、安全性、経済性を確保することが不可欠ですが、さらに、資源と地球環境の観点からの持続可能な発展も目指すことになります。

20世紀には先進諸国は、経済的豊かさを求めて資源を大量に消費しましたが、一方では、大量の廃棄物を大気中などに発生させました。今まで、地球は無限に大きなものと捉えていましたが、化石燃料の消費による二酸化炭素(CO₂)の大量の排出は、地球の気候に深刻な影響を与える可能性があること、最近の研究により分かりました。私たち人類は、地球規模での持続可能な発展がこれからの重要な課題と認識するようになりました。

21世紀には発展途上諸国が、生活水準の向上を目指すことは確実ですので、世界のエネルギー消費は、飛躍的に増大するものと考えられます。化石燃料資源には限りがありますので、それへの依存を極力減らし、再生可能エネルギーや原子力などの利用を増やし、化石燃料資源を大切に扱う必要があります。それでも容易に利用できる化石燃料は、発展途上諸国で膨大に消費するものと考えられます。そして、化石燃料を燃やすことにより発生するCO₂の排出は、地球温暖化問題を一層厳しくすることになります。さらに、なにも手を打たなければ、究極的には化石燃料資源の枯渇問題に発展します。そこで、その問題を解決するために「CO₂の排出を極力減らすこと」を目指すことにしました。

(想定するもの)

私たち日本の社会の2050年に至る状況として、私たちが求めているクオリティ・オブ・ライフを目指すためには、人口の推移と一人当たりのGDPが大きく影響を与えます。そこで、人口の推移については、現在の政策に大きな変更がないことを前提に推計された国の専門機関の国立社会保障・人口問題研究所の中位推計のデータを用いました。そのデータでは2007年頃から徐々に減少し始め、2050年には約1億100万人(2000年の約8割)になるものと想定しています。一人当たりのGDPについては、その時点における世界の先進諸国レベルの生活水準を維持して

注2 クオリティ・オブ・ライフ(Quality of Life) : WHO(世界保健機関)が生存率や寿命といった従来の量的評価に代わる概念として提唱したもので、生活の量的なレベルの充足による身体的健康のみならず、居住している文化・価値系の状況や、人生の目的、期待、価値基準、関心事などとの関係において、それぞれの人の境遇・状態の認識と定義されています。「生活の質」と訳されていますが、「生命の質」、「人生の質」、「生活の質」を包含する広い概念です。この「安心と豊かさのある生活」レベルの確保には、安心できる食料、水などとともに地球環境を汚染しないエネルギーの供給が不可欠になります。

いるものと想定しています。すなわち、より豊かな生活を実現するために着実に増大し、2050年には2000年の1.6倍の水準になると想定しました（図1参照）。しかし、日本全体のGDPの年間伸び率は、人口の減少を反映して2030年頃から止まってしまい、一定となります。したがって、GDPの年間伸び率は、50年間の平均で0.5%を想定しました。

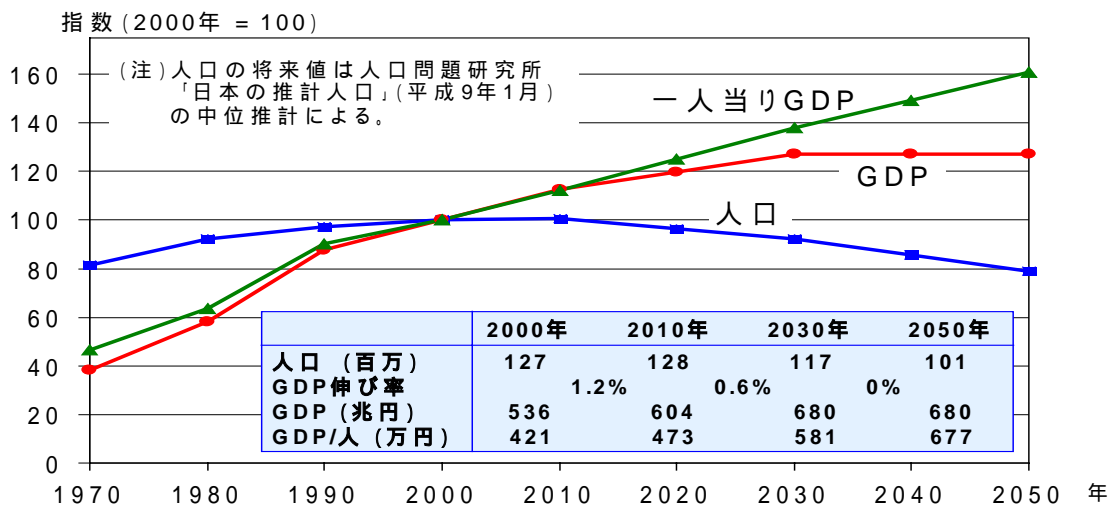


図1 人口およびGDPの推移

エネルギー資源に乏しいわが国では、多くの資源を輸入に依存している状況は変わりませんが、エネルギーセキュリティの観点からエネルギー自給率を増大させてこの問題を緩和できる合理的な手段を開発し、採用しているものと想定しています。しかし、まだまだ多くのエネルギー資源を輸入しています。その輸入価格については、その需給バランスが厳しくなるものと仮定して、石油、天然ガス(LNG)の輸入価格は2050年には2000年のそれぞれ2倍、1.5倍になることを想定しました。また、日本は、アジアの島国であるため、送電技術の進歩を考えても欧州のように電力網などによって、二次エネルギー(電気)を他国と融通し合うまでには至っていないものと想定しています。

世界規模でCO₂の排出量を極力減らすためには、先進諸国は、率先してCO₂の排出量を大幅に低減して模範を示さなければなりません。そこで、私たちは、地球温暖化の抑制や燃料資源の有効利用など全地球的環境・資源の保全に配慮することを引き続き選択しているものと想定しています。

日本のCO₂の排出量を長期的にどの程度の水準に抑えるべきかは、現在のところ明確にはありませんが、この検討ではCO₂の排出量を2010年には、京都議定書の削減義務(CO₂に限れば、1990年と同値)を履行するものとして、2050年には、気候変動の影響緩和に向けて世界的な取り組みが進展することを想定して、国際応用システム解析研究所(IIASA)による世界エネルギー需給シナリオの検討事例に示されている「1990年値の60%水準までCO₂排出量を低減すること」を想定しました。

2050 年に至るエネルギー供給において、環境面、経済面だけを因子として捉えれば、原子力発電は大幅に（現在の 2 倍以上）導入するべきとの結果となります。しかし、社会が合意する導入割合および危機管理の点からのエネルギーバランスを考慮して、許容できそうな値として、導入の上限を幾つか設定（9,000 万 kWe、7,000 万 kWe など）してケースを考えましたが、本報告では、私たちが努力すれば実現が可能であろうと考えられる原子力発電規模として現在の約 2 倍（9,000 万 kWe）に拡大するケース（A「原子力拡大ケース」）を示すことにします。また、日本のエネルギー事情からは考えにくいのですが、原子力を段階的に廃止するとした場合の原子力フェーズアウト（原子力廃止）ケース（B「原子力廃止ケース」）も想定しましたので、これも参考例として示すことにします。

A「原子力拡大ケース」：原子力発電規模を 2050 年には現在の約 2 倍（9,000 万 kWe）に設定

B「原子力廃止ケース」：原子力発電を段階的に廃止して、2050 年には原子力利用がゼロになるように設定

結果として、B「原子力廃止ケース」では、天然ガス（LNG）の大規模な輸入、および発生する CO₂ について、回収、投棄が行われます（A「原子力拡大ケース」では、発生する CO₂ を回収、投棄する必要はありません）。詳細データは付録を参照下さい。

環境問題対策への国の積極的な取り組みから、輸送燃料が大きな要因となっている大気汚染や温暖化問題への対策のために、自動車用の燃料電池が相当普及しているものと想定しました。また、それに合わせて、家庭用の燃料電池も相当普及するものと想定しました。

燃料電池の原料である水素の製造については、既に技術が確立している天然ガス（LNG）の水蒸気改質法^{注3}に加えて、現在開発が進められている、原子力エネルギーを利用する水素製造技術が、2020 年頃に実用化し、2030 年頃から導入され 2050 年には大幅に導入されると想定しました。

以上に示す「2050 年の日本の社会に向けての条件（私たちが目指すもの、想定するもの）」（詳細は付録を参照）により 2050 年に至るエネルギー需給シナリオを分析しました。

なお、本検討には、技術の進展として、2050 年までに実用化が可能と考えられるものについて取り入れることにし、現在提案、研究がなされているが、2050 年までの実用化が困難、あるいは確実視できないもの、例えば、海水ウランやトリウムの利用、核融合の利用については考慮していません。

^{注3} **水蒸気改質法**：天然ガス(LNG)などの化石燃料を水蒸気と反応させて水素を製造する方法。この水蒸気改質反応は吸熱反応なので、通常は原料の化石燃料の一部を燃焼(「自燃」という)させて熱供給しています。核熱水蒸気改質法は、原子炉から、水蒸気改質反応に必要な熱を供給する方法です。これにより、約 30%の化石燃料使用量節減と CO₂ 排出量低減が可能になります。

第4章 2050年に至るエネルギー需給シナリオ

第3章（詳細は付録参照）で述べた人口とGDPなどに基づいて、推定される「最終エネルギー消費量の推移とエネルギーの構成」、およびそれを満足するための「2050年に至る一次エネルギー供給量」を求めました。その結果は、一次エネルギー供給量と最終エネルギー消費量とが、順次決まるのではなく、最適になる点として求めますので、それらは同時に求まります。

2050年での最終エネルギー消費量の構成比については、A「原子力拡大ケース」もB「原子力廃止ケース」もほぼ同じ値になります。

一次エネルギー供給量の推移は、表1、図2および図4に示すようにGDPに対する必要エネルギー量の改善、省エネルギーがなされることにより減少傾向にある。2050年には、2000年時点の8割程度となります。

政情の不安定な中東地域から輸入している石油は、表1および図4に示されているように天然ガス（LNG）、原子力などの石油代替エネルギーへの転換により、大幅に減らすことができます。

なお、最終エネルギー消費量の推移については、電力、ガス、および水素の割合が、環境問題を解決させる方策として増えています（図3参照）。電力の割合は、2000年には24%でしたが、2050年には31%になっています。

表1 2050年における一次エネルギー供給量の比較

一次エネルギーの種類	2000年	2050年			
	実績	A「原子力拡大ケース」		B「原子力廃止ケース」	
石油	279.0 (51)	↓	99.5 (21)	↓	88.4 (20)
天然ガス（LNG）	70.0 (13)	↗	106.4 (23)	↗	235.4 (54)
原料炭	49.5 (9)	↓	33.8 (7)	↓	31.8 (7)
一般炭	52.6 (10)	↓	21.9 (5)	↓	1.7 (1)
原子力	68.4 (13)	↗	151.6 (33)	↓	0 (0)
再生可能エネルギー	29.6 (6)	↗	50.2 (11)	↗	79.3 (18)
合計 [2000年に対する割合]	549.1 (100) [100%]		463.4 (100) [84%]		436.6 (100) [80%]

×100万トン（石油換算） （ ）内は、構成比（%）

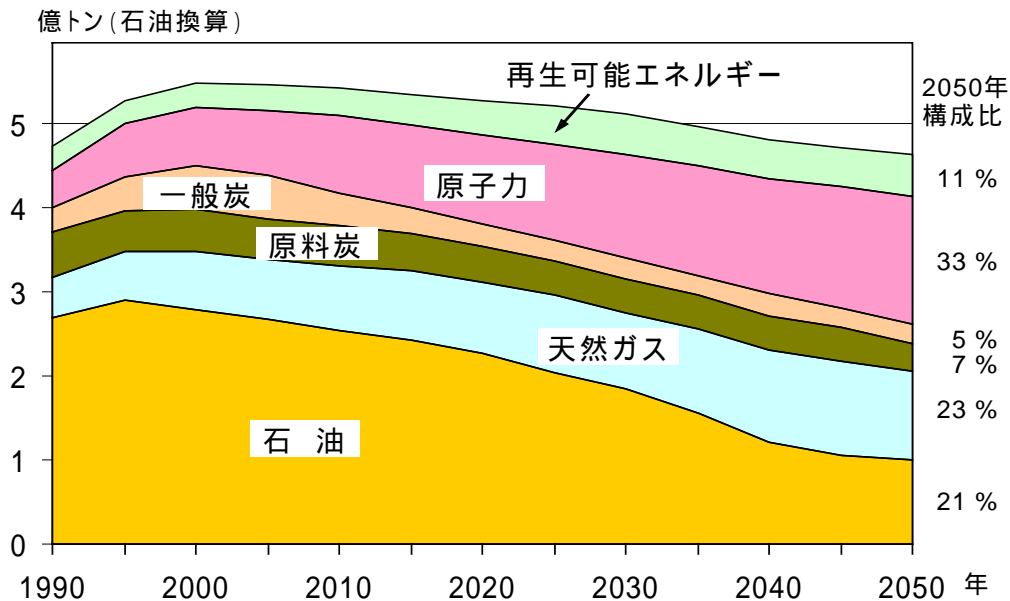


図2 一次エネルギー供給量の推移
A「原子力拡大ケース」

水素が2030年頃より利用され始め、2050年にはその割合が11%までになっていますが、この主たる要因は自動車用、家庭用（コージェネレーション）の燃料電池が相当普及しているものと想定したことによります。

水素をこのように大規模に製造する方法としては、天然ガス（LNG）などの化石燃料を改質する方法と、水を電気化学的または熱化学的に分解する方法とが考えられます。水素の利用はそもそも環境を良くすることを目的としており、また、輸入化石燃料への依存を減らしていくことも重要な課題になっていますので、天然ガス（LNG）などの化石燃料を水素製造に使用することは好ましくありません。そこで、非化石エネルギー、つまり原子力や再生可能エネルギーを用いて水を分解する方法を実用化することが望まれます。現状では水を低コストで分解する方法はまだ確立していませんので、革新的な技術、例えば高温ガス炉による水の熱化学的分解プロセスなどの実用化を目指した研究開発が必要です。なお、天然ガス（LNG）を改質する方法でも、改質反応が必要とする熱エネルギーを原子力で供給すれば水素製造に必要な天然ガス（LNG）の量を4割程度低減することができ、その分CO₂の排出量も減らすことができます。そこで、水を熱化学分解する水素製造法が実用化されるまでの過渡期においては、原子力の熱エネルギーを利用した天然ガス改質法も有力な選択肢になり得るものと考えられます。

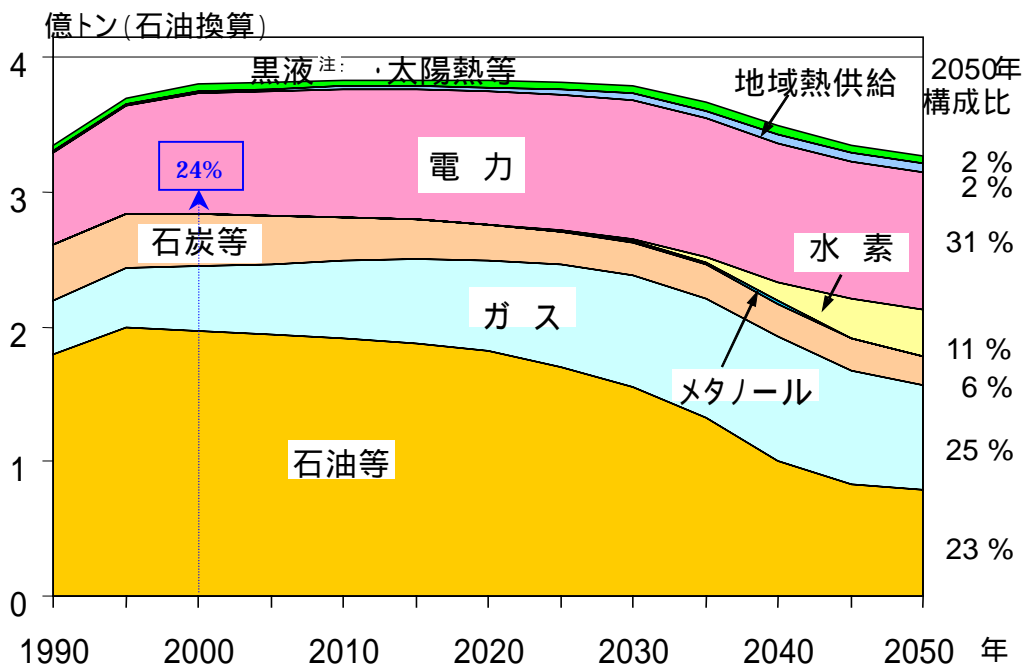
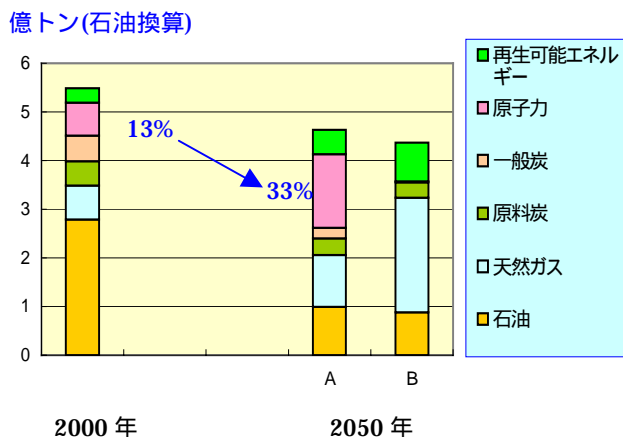


図3 最終エネルギー消費量の推移

A 「原子力拡大ケース」

注 黒液：パルプ製造工程で発生する蒸解廃液で、黒いことから黒液と呼ばれています。製紙工場では、パルプ化工程におけるもう一つの副産物である廃材と共にエネルギー源(燃料)として利用されています。

次に、2050年の一次エネルギー供給量について、A「原子力拡大ケース」では、原子力の一次エネルギーに占める割合は、2000年の13%から33%になっています(表1、図4参照)。図3に示す最終エネルギー消費量において31%(2000年は、24%)を占めるようになった電力の電源別構成については、原子力は2000年の31%(自家用含む)から60%になっています(図5参照)。ちなみに、水力を含む風力、太陽光などの再生可能エネルギーは、2000年の11%から18%まで利用されるようになっていきます。

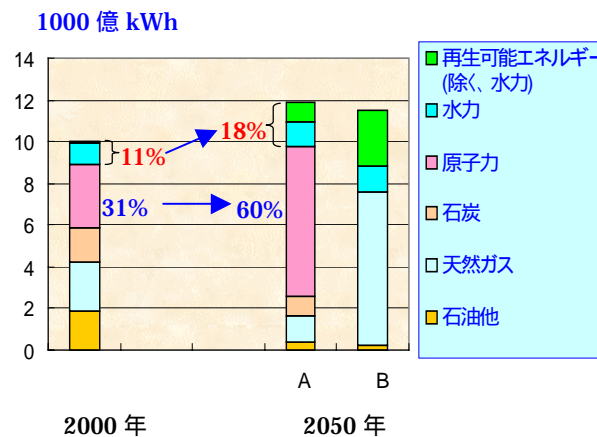


2000年

2050年

A 「原子力拡大ケース」 B 「原子力廃止ケース」

図4 一次エネルギー供給量の比較



2000年

2050年

図5 電源別発電電力量の比較

B「原子力廃止ケース」については、再生可能エネルギーと化石燃料に依存することになります。2050年に目指している「CO₂の排出量を1990年値の60%水準まで低減すること」を守るためには、再生可能エネルギーを可能な範囲で活用することが第一条件になります。しかし、面積は狭く、地勢学的に制約のある日本では、またエネルギーを必要とする地域は人口密度の高い都市などに集中されますので、立地上再生可能エネルギーを大幅に確保するには、おのずと限度があります。そのために、化石燃料の大幅な利用は避けられません。石油や石炭の使用をできるだけ減らし、CO₂排出量の小さい天然ガス(LNG)への移行が必然的に迫られてきます。しかし、CO₂排出量を1990年値の60%水準まで低減するためには、発生したCO₂を回収し、投棄する手段を取らなければ達成できません。CO₂を回収する技術開発、投棄場所の選定と確保に係わるコストを含めて、2050年のエネルギー供給の年間総コストは約2割増加する(付録図16参照)ものと見積もられました。また、大幅な化石燃料の使用は、輸入にほとんど全面依存することになり、エネルギー安定確保(自給率)の点からも好ましくありません。原子力を廃止する方向は現実的ではないとする理由です。

以上のようにエネルギーの安定供給、自給率の向上、および地球温暖化対策、さらに国民経済の負担軽減を考慮すれば、原子力を導入するケースが望ましく、A「原子力拡大ケース」を私たちが目指すものとして、「2050年の原子力利用の姿(ビジョン)」を描くことにしました。

なお、第3章および第4章については、「付録 長期エネルギー需給ケースの概要」に詳細を示していますので、参照ください。

第5章 2050年の原子力利用の姿（ビジョン）

第4章の分析による、2050年の原子力エネルギーの定量的な役割などを念頭に、わが国の社会として望ましい原子力利用の姿（ビジョン）を考えました。

（1）発電に寄与する原子力

21世紀初めには最終消費エネルギーの約半分がガソリン、灯油などの石油製品で、石油の9割近くが政情の不安定な中東地域から輸入されていたことから、政府も民間も天然ガス（LNG）、原子力などの石油代替エネルギーの開発利用に継続的に取り組んできました。その結果、最終エネルギー消費に占める石油の割合が大幅に減り、電力とガス、水素の割合が増大してきており、2050年には21世紀初頭に約1/4であった電力の割合が3割強になっています（図3参照）。

エネルギー生産過程において温室効果ガスを排出しない原子力は、再生可能エネルギーとともに、この電力生産の主力を担っており、一次エネルギーの1/3を供給し（図4のA参照）、電力の6割を生産しています（図5のA参照）。因みに、水力、風力、太陽光などの再生可能エネルギーは、電力の2割弱をまかなうまでになっています（図5のA参照）。

原子力と再生可能エネルギーの利用が増えたことによって、化石燃料の輸入量は全体として減少し、一次エネルギー供給の輸入依存度は大幅に改善されました（付録図13のA参照）。また、特定のエネルギー源に過度に依存しないで適切に配分された、バランスのとれたエネルギー供給状態を実現しています。さらに、地球温暖化の原因となるCO₂の排出量も1990年水準の6割程度にまで減らすことができ、世界全体が共同して気候変動問題への取り組みを進める中で、日本は先進国としての責任を果たすことができます。

（2）原子力による水素の製造

エネルギー源として、新たに水素が大きな役割を演ずることになっています。水素が、2020年代から自動車用などの燃料電池の燃料として普及し始め、2050年には最終エネルギー消費の1割余を占めるまでになっています（図3参照）。原子力はこの水素の約7割を生産するために利用されています（付録図14参照）。水素供給事業者の水素製造法は様々ですが、原子炉の熱を化石資源改質の熱源とする（核熱）水蒸気改質法や原子力発電所の夜間電力を用いた水の電気分解が実用に供されています。

（3）原子力開発利用に関する合意形成と制度整備

21世紀始めに制定された「エネルギー基本法」で明らかにされたエネルギー政策の基本方針（「安定供給の確保」、「環境への適合」及びこれらを十分に考慮した上での「市場原理の活用」に沿ってエネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図ること）に基づき、国は、「エネルギー基本計画」を3年ごとの見直しのもと策定・公表することで、公正な競争を促進し、効率的なエネルギー供給システムを確保することへの要請に応えてきました。

社会の原子力に対する信頼を回復するために、原子力推進のための管理体制について再検討が

行われ、法制度、行政組織、研究開発組織などに対する抜本的な改革が実施されてきました。この結果、規制行政、施設運転管理、研究開発活動などについて、品質マネジメント^{注4}およびその評価システムが整備され、公正性、公平性、透明性を一層備えた運営が行われるようになり、国民の合意が得られています。

このような原子力利用に関する合意形成、制度整備が順調に進められたのは、21世紀初めに策定されたエネルギー基本計画での「原子力発電は今後とも基幹電源と位置付け推進する」との方針と「国が一体となって取り組む」方針がその後の見直しにおいても再確認されたために、国が多くの原子力での課題に対して、積極的に関与したことによります。

(4) 地域社会と共生する原子力施設

21世紀初めに現れた人口の減少と都市への人口集中により、地方自治体では特徴のある地域社会の建設に向けた創意工夫が求められました。原子力施設との共生を選択した地域においては、施設立地に伴う補助金などを活用した地域社会の福祉機能の充実発展がはかられ、また、原子力関連産業により雇用が拡大されました。原子力事業者はさらに地域社会との共生をはかるために、経済活動以外の分野においても地域社会との交流の機会を増やす努力を重ね、原子力施設は名実ともに地域と共生する施設となっています。

(5) 業界間規制の緩和で自由なエネルギー市場

20世紀のエネルギー産業、事業は石炭産業、石油産業、ガス事業、電力事業、原子力事業など各エネルギー種別にそれぞれ産業界ができていましたが、20世紀末から21世紀初めの経済のグローバル化に伴って、構造改革の必要性が強く認識され、多くの分野で規制緩和が実現しました。その結果、エネルギー業界では、それまでの地域独占が緩和されるとともに、各エネルギー種別の垣根となっていた業界間規制が緩和され、エネルギー需給の各方面において競争市場が形成されています。

一方、原子力はエネルギーセキュリティ上重要な役割を持っていますので、民間企業の参入を阻害する障壁をできるだけ取り除いて、その役割を果たすことができるように、国は、民間企業の投資リスクを軽減する制度的な仕組みの整備、および核物質管理やテロ対策の高度化などの核拡散対応の整備を行っています。原子力事業は自由化されたエネルギー市場において民間主体で進められてきています。

また、地球温暖化防止に向けてのCO₂排出量の削減目標を実現するため、総合エネルギー政策の下で、外部コスト^{注5}を市場価格に組み込むエネルギー市場の整備が進み、公平な競争条件の下で化石燃料、原子力および再生可能エネルギーが競合しています。この競争市場で培われた技術

^{注4} **品質マネジメント**：製品だけでなくサービス及び研究も含めた全ての領域において「商品の長期保証」を一貫して行うことができるために、常に製品が高品質であることやそのような高品質の製品が製造できるシステムが構築できるよう管理されていることをいいます。従って、品質マネジメントでは、各工程がトレース可能であることも保証します。ISO9000では、「品質に関して組織を指揮し、管理するための調整された活動全般を指す」と定義しています。

^{注5} **外部コスト**：各種エネルギーの環境への影響を評価する方法として、エネルギー利用に伴う環境影響を金額で表したものをいいます。このような環境影響コストは電力料金など当事者が市場で取引する金額に含まれていない潜在的なもので、「外部」コストと呼ばれています。エネルギー利用の環境影響としては、公衆の健康、農作物への影響、地球温暖化などが挙げられます。なお、外部コストとしては、さらに広くエネルギーの供給安定性などの社会的影響を含める考え方もあります。

力を持つ企業は、海外市場でも活躍しています。特に、燃料電池車の急速な普及による水素社会への移行はエネルギー供給形態に大きな変革を与えました。

(6) 多様化する原子力施設の立地

日本の原子力施設は、20 世紀後半に原子力発電所が設置された地点に引き続き増設されていますが、化石燃料の発電利用の削減によって不用となった火力発電所や石油精製施設の跡地など需要地に近い場所に新たに原子炉施設が建設されるなど、次第に立地点が多様化してきています。高経年化により運転を停止した原子力発電所は数年間閉鎖された後に数年間をかけて廃止措置が講じられ、跡地には新たな原子力発電所等の施設が建設・稼動しています。また、それぞれの立地地点の地形や需要地との距離などの特徴を踏まえて、経済性向上、環境負荷低減、資源有効利用、電力 / 非電力利用等の特性に重点を置いた改良発展型 / 革新型的の軽水炉、モジュラー型高温ガス炉、燃料サイクル施設と一体化した高速増殖炉などの中から、選ばれた原子炉が建設され、稼動しています。

(7) 国際エネルギー情勢の改善

世界のエネルギー供給は、相変わらず石油・天然ガス (LNG) などの化石燃料が担っていますが、化石燃料資源は、資源・環境問題を意識して燃料としての利用から、プラスチックなどの原料用資源とする考えに変わってきています。温室効果ガスの排出規制は、ますます厳しくなり、エネルギー供給に占める原子力発電や再生可能エネルギーの割合が化石燃料に比して高まってきています。一時期、石油危機を引き起こす程の影響力をもっていた中東諸国の石油資源を用いた交渉力は、原子力や再生可能エネルギーの利用拡大、ならびに中央アジア、シベリアを中心とする新たな油田の開発、および天然ガス (LNG) の利用拡大によって、21 世紀初頭よりも弱まっています。

(8) 世界における原子力利用の進展

核燃料サイクル施設も含めて原子力施設が長期にわたって安全に運転管理され、世界各地において地域社会における信頼できる良き隣人としての地位を得るまでに原子力利用が進展しています。また、国際社会は、原子力活動の透明性を高め、効果的な監視システムを含む国際原子力機関 (IAEA) の国際保障措置を機能させることに協力してきており、核拡散に対する懸念も低下しています。また、多国間の国際協力により研究開発を進めた核拡散抵抗性を増した原子力施設も導入されています。エネルギー需要の伸びているアジア諸国や取替需要が発生している欧米諸国などでは新規の原子力発電所が建設されており、供給安定性に優れた原子力は電力生産のみならず、水素生産、海水脱塩、地域冷暖房などの熱供給にも使われて、各国におけるエネルギー供給の安定性の確保と環境負荷の低減に大きく貢献しています。特に、砂漠地帯である中東やアフリカ地域では生活用水を得るために大規模海水淡水化装置の動力源として原子炉の建設が進められています。わが国は国際原子力機関などにおける多国間協力や二国間協力を通じて世界各国のこのような原子力開発利用の進展に協力しています。

一方、2000 年から始められた多国間協力による第 4 世代原子力技術開発においてわが国は主導的な役割を果たし、いくつかのシステムはすでに実用化されています。さらに次の世代の技術

開発に向けての努力も始まっています。

(9) 原子燃料^{注6} サイクルシステムの整備

世界における原子力発電の進展と共に、軽水炉燃料の高燃焼度化がはかられ、使用済み燃料は中間貯蔵施設あるいは地層処分施設において管理されてきました。また、一部の国では、ウラン資源の有効利用、燃料供給の安定性向上、さらに高レベル放射性廃棄物の発生量を減少させるために、軽水炉の使用済み燃料を再処理してウランおよびプルトニウムを回収して、これを軽水炉燃料に利用する方法（プルサーマル）も選択されてきました。さらに経済性の高い高速増殖炉サイクルシステムをロシア、欧米諸国と協力して実現させたわが国では、プルサーマルに加えてこの原子燃料サイクルシステムも実現しています。

(10) 放射性廃棄物処分の進展

軽水炉の使用済み燃料が再処理工場で再処理されて発生した高レベル放射性廃棄物や超ウラン元素（TRU）廃棄物の地層処分が開始されています。また、原子力研究開発機関において施設の廃止措置に伴って発生する放射性廃棄物を処分する活動も継続的に実施されています。他方、国際社会においては、放射性廃棄物処分の国際的な枠組み作りが進んだ結果、国内で放射性廃棄物管理が困難な国においても原子力利用が可能になりつつあります。また、先進国においては、高レベル放射性廃棄物中の長寿命放射性物質の量を更に減量する観点から、マイナーアクチニド（MA）^{注7}の分離・変換の実用化が進められています。

(11) 世界で活躍する日本の原子力産業

世界で建設されている原子力発電所の建設業務の一部は、国際化した主要企業とのグローバルアライアンス^{注8}の下で日本企業も分担しています。日本企業は海外市場においてプロジェクトの企画・推進、資金調達、基盤となる技術の開発・改良、重要機器の製造、各種シミュレーションソフトウェアの開発、ならびに運転・保守や安全の管理などに特化した活動を行っています。さらに、原子力発電所だけではなく、原子燃料サイクル施設や関連システムの建設も同様に手がけています。

注6 原子燃料：「核燃料」と同意語

注7 マイナーアクチニド (Minor Actinide)：原子炉の使用済み燃料には、ウランの他に、超ウラン元素(TRU 元素)と呼ばれる放射性物質が含まれています。この超ウラン元素には、プルトニウムや量は少ないがマイナーアクチニド(MA)と呼ばれるいくつかの元素(ネプツニウム、アメリシウム、キュリウム等)があります。MAは、超長寿命(半減期が長い)の放射性物質なので、処分が問題になります。

注8 グローバルアライアンス：事業を進める上で、世界の企業が国の垣根を越えお互いに資金を出資して会社を設立したり、提携したりすること、またはそれによってできた組織をいいます。

第6章 ビジョン実現へのロードマップ

2050年原子力ビジョンを実現するために、解決すべき課題、実施すべき行動の道程を「ビジョン実現へのロードマップ」として示します。

前章で示した11項目のビジョンを実現するための課題・行動は、各項目に対応してまとめる取り組み方がありますが、各項目より引き出される課題・行動には、共通項が幾つか含まれますので、必ずしも一対一に対応していません。また、それらの課題・行動は、広範・多岐・長期にわたりますので、それらの課題・行動の主要なものを次の7つの柱〔ビジョン実現を目指す7つの柱〕にまとめ、課題・行動のロードマップ（骨子）を作成しました。

〔ビジョン実現を目指す7つの柱〕

- (1) 地域社会との共生・共益
- (2) 電力市場自由化のもとでの原子力プラント建設
- (3) 原子力発電の経済性向上
- (4) 原子燃料サイクルの実現
- (5) 放射性廃棄物対策の実施
- (6) 水素エネルギー社会への貢献
- (7) 原子力産業の国際化

本ロードマップでは、現時点を睨みながら、2050年のビジョンを達成するために上記7つの主要柱を設定してまとめることにしました。これらのうち、主として、今後10年間に取り組むべき課題については、別途検討し、「向こう10年間に何をすべきか」^{注9}として、とりまとめました。

これらを総括した〔ビジョン実現を目指す7つの柱〕のロードマップを図6に示します。

これらの課題解決・行動には、原子力開発・利用を直接実施する産業界、研究開発機関、学界などの協働的な努力、そして原子力のもつ特性から政府による先導的な取り組みが重要です。

注9 「向こう10年間に何をすべきか」：(社)日本原子力産業会議(原産)の「原子炉開発利用委員会」で2004年2月に報告書をまとめ、原産として発行しました。原子力委員会他関係省庁に発信し、プレスリリースも行いました。原産ホームページ <http://www.jaif.or.jp/> よりアクセスできます。

(1) 地域社会との共生・共益

原子力が地域社会の一員として信頼と安心を持って社会に受け入れられ、地域社会の発展に貢献し続けることは、原子力が今後も主要な電源であり続けるために、必要不可欠なことです。

a . 立地地域の豊かな暮らしのために

(a) 電源三法交付金の有効利用

電源開発促進税(少なくともその一部)を、用途の特定を求めずに発電所を有する地方自治体に直接還流することは重要です。これにより地域の実情に合う有効な利用がなされ、また、発電量に応じて自治体の収入が増える仕組みにすれば、原子力発電所の高稼働の運転により、自治体の収入も増え、さらに電気料金を割引く制度を設けるなどにより、立地地域の人々は自分達の暮らしが豊かになることが実感できます。

(b) 人材の有効利用

原子力施設にはさまざまな分野の人材が勤務していますので、これらの人材が地域社会の発展に役立つような事業者の積極的な協力は重要です。例えば、将来を担う地域の子供達の教育に貢献するため、学校の特別講座への講師としての協力です。また、立地地域が豊かな暮らしを行うためには、その経済的基盤を確保する必要があり、地域に根付いた産業の振興が不可欠になります。例えば、事業者が地方自治体に協力して地域の企業家精神に富んだ人材の発掘・育成に奨学金を提供するなどの支援が考えられます。

(c) 情報インフラなどの有効利用と新たなコミュニティ形成

原子力施設は、最先端の技術を用いたさまざまな施設を有しています。これらの施設を活用し、立地地域の実情に応じて地方自治体が進める新たなコミュニティ形成への事業者の協力が考えられます。

例えば、立地地域が豊かな暮らしを行うため、過疎地域のハンディを克服する手段の一つとして地方自治体が国の補助金を得て進める地域情報通信基盤としての多チャンネル・双方向通信が可能な高速情報インフラ整備に、事業者によるノウハウの提供などの協力です。この情報インフラは、緊急時連絡用にも利用できるため、地域住民の防災にも役立ちます。

また、原子力は運転中に環境を汚染する物質を事実上排出せず、高齢化社会を支える電気と熱を生産します。この特性を活かし、地方自治体が立地地域に安価に利用できる福祉施設を設ける際には事業者はこれに協力し、人々の福祉を中心とした地域分散社会への移行に原子力施設を活用して、職住接近型の新たなコミュニティ形成を目指すことなどが考えられます。

b . 地域住民参加による意思決定のために

(a) 地域住民と事業者がより良い相互理解の上で意思決定できる場の設置

地域の利害に係わる諸課題の決定過程において、一貫して地域住民と事業者がより良い相互理解の上で意思決定ができ、一般の人々が直接意思表示できるよう配慮した場の設定が地方自治体によりなされることが重要です。ここでは、発電所立地に伴うリスクとベネフィットに関する認識を共有し、

解決方策について合意形成をはかります。

立地の決定や発電所建設においては、こうして培ってきた信頼と対等な協力の関係に基づいて、計画段階から地域住民、地方自治体および事業者のパートナーシップによる発電所建設が進められるようになります。

(b) 地域住民の発電所経営への参画

立地地域の実情および要望に応じて、事業者は、新規に原子力発電所を建設するに当たって、その発電所の証券化によって資金調達を行うことが考えられます。この証券化により地域住民は発電所経営への参画が行えるようになります。

c. 社会とのコミュニケーションのために

原子力に係わる産業界は専門主義に陥ることなく、社会的責任を常に意識し、公共のための原子力のあり方を求め続けることが大切です。社会との健全なコミュニケーションは、そのために必要なものと考えており、積極的な取り組みが必要です。

原子力産業界が実施すべきこととしては、

- 自己責任に基づく自律的な安全確保への取り組みの実行
- セイフティカルチャーがトップから末端の現場に至るまで根付いていることをたえず自己確認できる仕組みの構築
- このような新しい自主保安の状況等について、説明責任を果たすための積極的な情報公開、情報提供

などが考えられます。

(a) 徹底した情報公開と広聴

この社会との健全なコミュニケーションが成り立つための大前提は、情報公開による透明性の確保です。事業者は、さまざまなメディアを活用して徹底した情報公開と広聴を進めることが重要です。

例えば、原子力発電所が持つリスク情報の公表を行ったり、立地地域の人々の意見を誠実に聞く（広聴）など、原子力発電に関する様々な問題に対し、率直かつ誠実な対話をすることです。

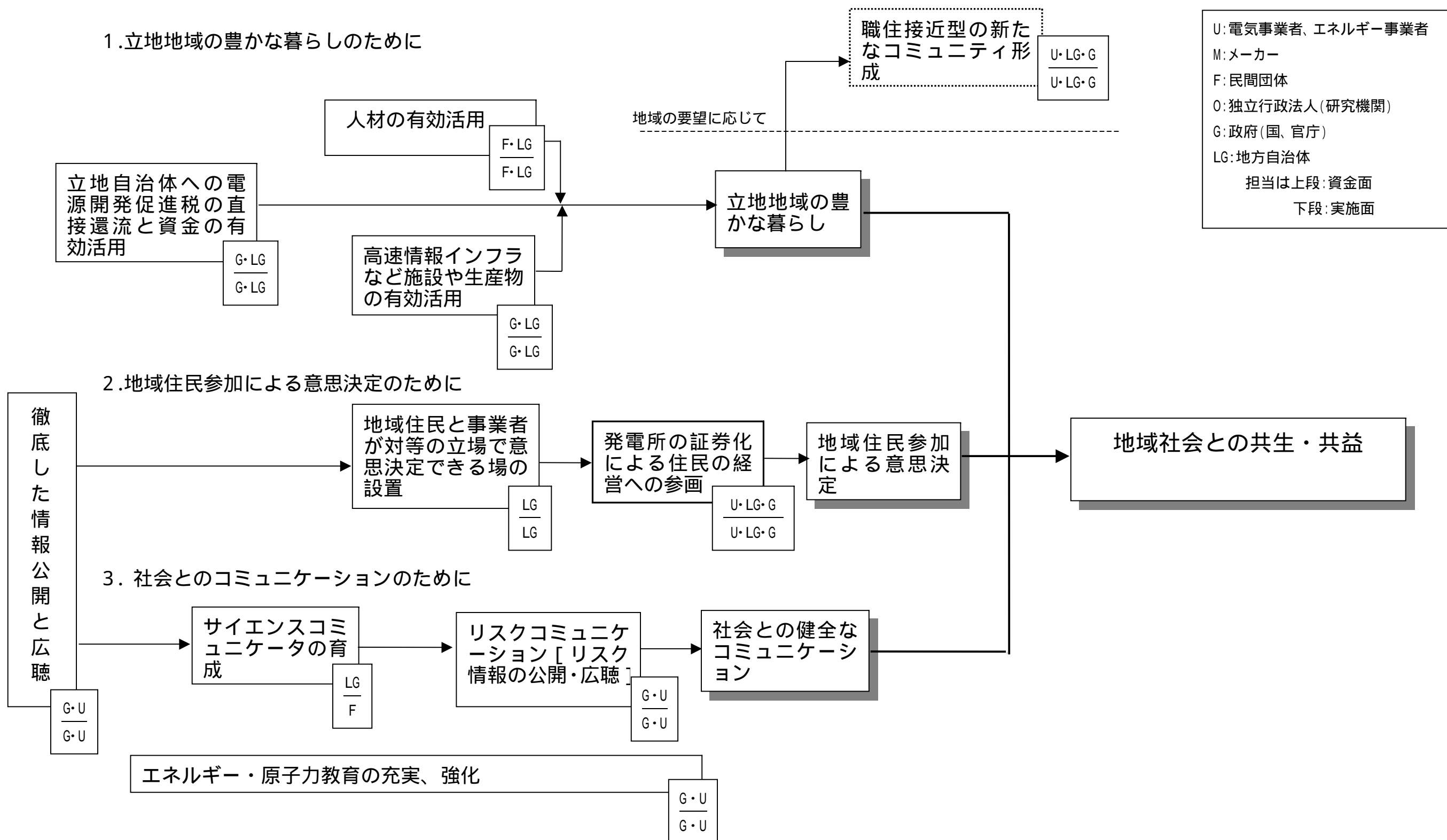
(b) サイエンスコミュニケーターの育成と円滑なコミュニケーション

原子力産業界は、例えば NPO、NGO 活動として地方自治体や地域の人々と協力し、リスクなど専門的になりがちな原子力情報を、地域の人々に分かり易く伝えたり、疑問にお答えするサイエンスコミュニケーターの育成を支援するなど、事業者と地域住民の間のコミュニケーションが円滑に進むような努力をしていく必要があります。

(c) エネルギー教育の充実、強化

地域の人々だけでなく国民が、エネルギーについて正しい知識を持つように、国は、学校教育や生涯教育の場においてエネルギー教育の充実、強化を積極的に進め、また産業界もそれを支援する必要があります。

(1) 地域社会との共生・共益



(2) 電力市場自由化のもとでの原子力プラント建設

原子力事業は、初期負担が大きく投資回収に長期を要します。また再処理事業や放射性廃棄物の処分事業は、発電に使用した燃料を再処理し、放射性廃棄物を最終的に処分するまでに長期間を要するのに加え、事業そのものに大きな不確定要素があるため、従来からその円滑な遂行をはかる観点から、燃料再処理引当金制度、特定放射性廃棄物の処分に関する法律など、政策的措置が講じられています。

自由化された電力市場において原子力事業が民間主体で進められるためには、原子力発電およびバックエンド事業の円滑な推進の観点に加え、投資環境を整備する観点の検討も必要であり、総合資源エネルギー調査会の電気事業分科会の報告では、「官民の役割分担のあり方、経済的措置など具体的な制度を、その必要性を含め 2004 年末を目途に検討する」との方針が示されています。また事業者は、設備や技術・経験を事業者間で共有して有効に活用するなど、事業効率をより一層改善する努力を継続して続けることが重要です。(以下の一部は、既に制度措置の検討などが進められています。)

a . 原子力の位置付けの明確化

国の政策として電力市場自由化のもとでの原子力の重要性・位置付けを明確化することが必要です。これは次の b . 項に示す原子力発電の外部性などの検討結果を踏まえたものであるべきです。その上で、原子力の重要性およびその位置付けに対する認識を国民が共有できるようにするため、効果的な広聴・広報活動の展開が重要です。

b . 原子力発電が有する外部性の市場価格への反映

電力市場が自由化されると、発電のための電源構成の選択は市場における価格メカニズムに委ねられることとなります。この際に、原子力発電は以下に示すような固有の価値を有していることを考慮する必要があります。

- エネルギーセキュリティへの貢献
- 発電過程で CO₂ を放出しない環境上の優位性

このような原子力発電がもつ市場価格には反映されていない価値(外部性)を定量的に評価して、他の電源と比較すべき「真の意味での市場価格」を提示することが必要です。これは、研究開発機関、学界などが中心となり事業者の協力を得て行う作業となります。

c . 原子力と電力自由化を整合させる方策

上記の原子力の位置付けの明確化、外部性を考慮した市場価格の提示を受けて、国が中心となって、総合資源エネルギー調査会の電気事業分科会における検討に基づき、原子力と電力自由化を整合させる方策を決定し、制度整備を行い、実施する必要があります。

検討すべき方策の例を以下に示します。

エネルギーセキュリティへの貢献など、上記の原子力の価値を市場価格の中に入れる検討がなされていますが、仮に市場価格の外にとどめたまま、市場における価格メカニズムによって決定される電

源ポートフォリオ^{注10}に原子力の価値を反映させようとするならば、以下の方法が考えられます。

外部性評価を含めた価格評価を新規電源の選択において行い、価格の差を税額で考慮する。

再生可能エネルギーにおける RPS^{注11}との関係を明らかにした上で、電力小売事業者に、販売電力に対し一定割合の原子力発電の利用義務を課す制度を設ける。

また、原子力への投資を確保するためには事業者として採算性が計れる必要があります。初期負担が大きく投資回収に長期を要する原子力に対しては、投資を可能にするために、先行投資へのインセンティブ（優遇税制、補助金、長期低利融資のパッケージでの金融的サポート）を付与するという方策が考えられます。

d．電源立地施策の拡充

前項の「(1) 地域社会との共生・共益 a. (a) 電源三法交付金の有効利用」でも述べていますが、電源三法交付金制度を抜本的に見直して、立地地域の振興策の充実や長期固定電源^{注12}の一つである原子力への重点化を実施し、原子力関連施設と地域の末永い共生を実現することが国で進められています。

この対策の例としては、次のものが挙げられます。

地域の自主的な選択による多様な事業活動が可能になるように、いわゆるソフト事業（特産品開発、人材育成など）を交付金の交付対象に含めて支援を充実する。

交付金の算定基準を立地時点（kW）重視から運転段階（kWh）との二本柱にシフトして、長期固定電源を中心に運転段階での発電量（kWh）に応じて自治体の収入が増える仕組みによる地域支援を拡充する。

この検討と並行して原子力と電力自由化を整合させる方策の制度整備を実施することが必要です。これにより、事業者が従来に比較してより正確な採算性に基づく新規建設・増設地点の確保、および原子力プラントの建設に着手する環境を作りあげることができます。

e．原子力技術の維持・継承方策の検討・実施

上記の方策を実施する間に、原子力研究開発新法人、原子炉メーカーが中心となり国の支援と事業者の協力のもと軽水炉が基幹電源としての役割を果たすことができるように、具体的な原子力技術維持・継承方策を検討・実施する必要があります。合わせて、国と産業界は、大学での原子力研究、教育を活性化する方策を検討・実施し、将来を担う人材を協力して育てる体制を整え、実行する必要があります。

f．投資回収リスクの低減

自由化に伴い、原子力の持つ次の課題が、投資を妨げる要因になっています。

注¹⁰ 電源ポートフォリオ：複数の電源（例えば、水力、風力、太陽光、原子力など）に分散投資すること。

注¹¹ RPS（Renewables Portfolio Standard の略）：電力小売事業者に、販売電力に対し一定割合の新エネルギー（太陽光発電、風力発電など）電力の利用義務を課すこと。この法律を RPS 法と言います。

注¹² 長期固定電源：安定的な電力供給源であるが、投資回収期間が長い原子力、水力、地熱発電などの固定電源を言います。

【課題】

長寿命に設計している設備費が大きい原子力は、発電コストを安くするために、減価償却期間を長期にすることで対応することになります。しかし、そのために投資回収の期間も同様に長期になり、投資対象になりにくくなっています。

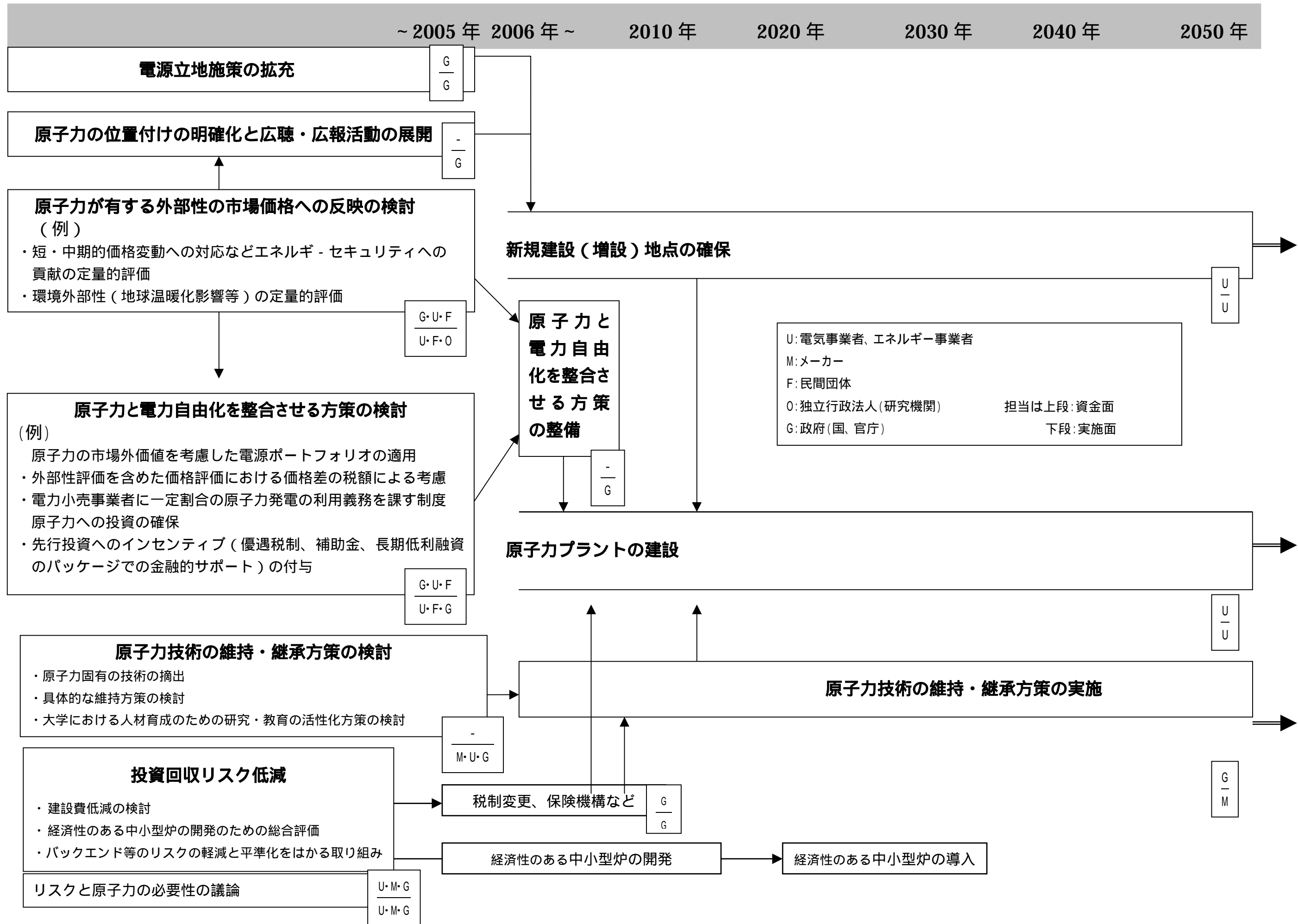
原子力のバックエンド事業は、これから実証されることになるために、現在、官民の役割分担など不確定な部分について明確化されつつありますが、実績のないことのリスクのために、合理的な投資環境になりにくくなっています。

【対策】

課題 の対策としては、建設費のさらなる低減の努力を行い、設備費を少しでも小さくする必要があります。また、需要増加に見合って新規投入が容易な中小型炉の開発が必要になります。その際、スケールメリットを阻害することへの対応として、モジュール化、標準化、工場での製作部分ができるだけ多くして、現地工事期間の短縮をはかるなど建設費を低く抑える努力も必要になります。

課題 の対策としては、総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会で、検討されることになっている「官民役割分担のあり方、経済的措置などの具体的制度」において、リスクの軽減と平準化はかる取り組みを行う必要があります。――

(2) 電力市場自由化のもとでの原子力プラント建設



(3) 原子力発電の経済性向上

市場自由化のもとでの原子力エネルギーの供給には、原子力発電の経済性の向上が必要です。今後50年を展望したときには、エネルギー供給の主力となる軽水炉型発電の経済性向上は必須の課題です。以下、原子力発電の経済性の要因を開発、建設、運転の段階に分けて課題と解決のための対策を示します。なお、原子力発電の経済性向上は、電力自由化などのこれからの社会環境下で急務の課題であり、早急に取り組む必要があります。(以下の一部は、既に法定化などが進められています。)

a. 開発の合理化

【課題】

軽微な失敗も許されない高い信頼性が求められる環境から実証試験や実規模での開発試験が要求されるため、原子力開発には巨額の資金が必要になっています。例えば、産業界にとってはプラント大型化に伴う試験規模の大規模化、国にとっては信頼性実証試験の先例の実施などが挙げられます。

実用化に至るまでの開発期間が非常に長いため、資金回収の遅れとリスク、人材流動化の阻害などが生じています。基礎研究、共同研究、実証試験、安全審査などを経て実用化に至るので、例えば軽水炉のABWRの場合では、構想から20年、本格プロジェクト開始から10年がかかっています。国のプロジェクトでは、高速増殖炉はプロジェクト開始後35年以上経過していますが、いまだに原型炉段階です。

硬直化した予算措置制度から、開発機関や設備の重複、非効率な開発資金運用となっています。例えば、産業界では原子力拡大の時代に多重、多層の開発体制を採用したこと、国では長期開発に偏重した投資や開発の統廃合の遅れなどが挙げられます。

【対策】

課題 ~ について、次の対策が有効です。

産・官・学の新たな共同開発体制の確立

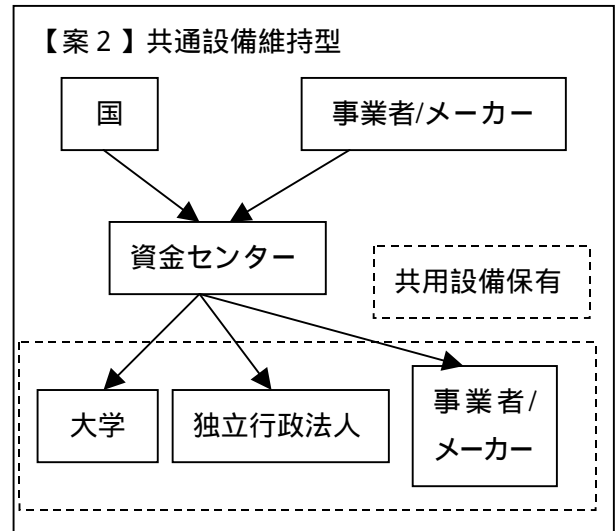
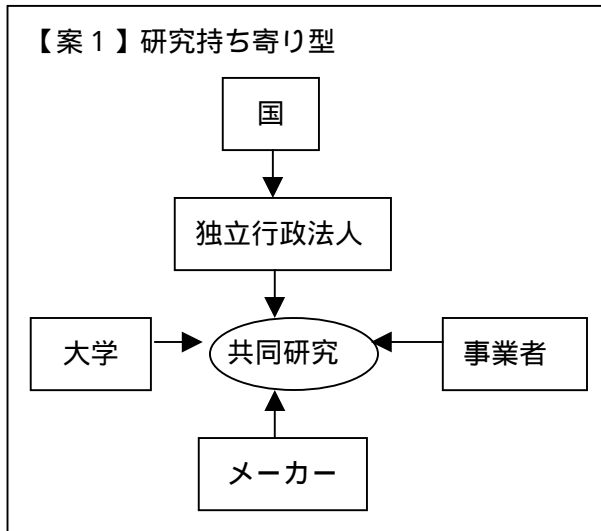
経済性などの性能向上に向けて開発が継続される中で原子力の規制が他産業に比して厳しいものが求められる限りは、例として図に示す二つの体制(研究持ち寄り型、共通設備維持型)のような産・官・学による原子力共同開発体制を確立して、開発リスクの分散を図ることが考えられます。

このような共同開発により次に示す効果が期待できます。

- 資金の効果的かつ効率的な運用と成果の共有
- 実用化までの期間短縮、開発資金の重複の削減
- 成果の透明性と客観性、規制への迅速な対応
- 投資と回収の明確化

シミュレーション技術を活用した評価手法の採用

実機の開発および特性確認は、小規模試験とシミュレーション技術を活用した評価手法の採用により、実規模の試験を省略することができます。



型式認定制度の導入

規制において、型式認定制度の導入、規制上の役割を明確にして機器の型式認定機関の設置など、安全審査、工認審査を合理化することが必要です。また、環境試験設備などの共有による重複も排除できます。

b. 建設費の低減

【課題】

絶対安全と言われるような信頼性の要求から、過剰な設備設計を実施してきた部分があります。この例は、産業界においては許認可上の安易な説明の踏襲、国においては先行実績ベースでの判断などです。

プラントごとに個別審査を行い、また審査範囲が不明確なため、膨大な審査物量と審査期間の長期化を生んでいます。例えば、二次審査でも一次審査と同様な質疑が行われたり、レポートプラントでも個別審査が行われてきました。

トラブルを許さない環境、新知見の反映のルールが明確になっていないために、新型機器や海外調達機器に対して、膨大なデータの要求などによる導入阻害が生じていました。産業界自身も自主的な障壁を設けてきましたし、国の規格基準には海外との不整合がありました。安全余裕の不明確さ、設計、製造上の余裕と安全余裕の混同などから、合理化設計の阻害が生じていました。これには、産業界の説明のまずさ、不可逆な（詳細設計から基本設計に立ち戻ることが無い）段階的規制も一因です。

他電源との競争に打勝つ炉型の開発への積極的な姿勢と努力に欠けているところがありました。

【対策】

課題 ~ の対策として「民間自主基準の範囲を拡大」することが必要

技術は常に進歩する（進歩させなければならない）ものですが、国の規格・基準体系から民間基準や学会基準に移行させることで、新知見を取り入れるための議論を活発にする必要があります。時機を逸することなく技術的な合理性を取り入れることは、経済性ばかりでなく信頼性、安全性の向上にも寄与します。

課題 の対応として「認定制度（型式認定）の導入」が有効

米国型のプラント一式の型式認定までいなくても、最近のIT技術の発達を反映して、認定あるいは審査データのデータベースを構築することにより、審査の重複排除や期間の短縮ができるはずですが、例えば、レポートプラントに対しては、安全審査の一部は書式審査で済ますとか、工事認可においても計算書などは耐震などの荷重条件の違いを除いては先行機と同じものはコピーで済ますような仕組みにすれば、時間と労力は格段に合理化されます。また、万一の不具合の発見から水平展開まで迅速かつ適切な対応に寄与します。なお、計画から建設、運転開始までのマンパワーと期間のスリム化は経済性の向上ばかりでなく、発電所の立地計画にも柔軟性を与えます。

課題 の対策として「バックフィットルールの明確化」が重要

合理化設計への飽くなき挑戦には、不適切な点が判明すれば速やかに改善することが前提です。また、どのような不具合が緊急停止や即時の対策を要求すべきか明確にしておくことが肝要です。安全上重要ではない些細な不具合でも緊急停止を要求されるのであれば、逆に不合理になってしまいます。工学製品は、こういう試行錯誤の上で性能も信頼性も安全性も飛躍的に向上すると言えます。

課題 と の対策として「リスク情報技術などを導入した合理的規格の活用」が有効

最近リスクの定量化技術が進み、従来のような安全余裕の包括的な扱いから個々に適正配分が可能となっています。リスクの定量化技術に基づいて規格・基準を合理的にすることは、経済性ばかりでなく信頼性、安全性の向上にも有効です。

課題 の対策として「最終安全解析書制度の導入」も重要

不可逆な段階的規制を無くし、詳細設計の途上で基本設計に立ち返った最適設計を行うことにより設計の合理化が促進されます。また、設計から建設までの数年間にも技術の進歩や新知見の可能性がります。最終安全解析書の制度を導入する意味は、建設の最終段階まで最適設計への努力を可能にします。

課題 の対応として「経済性の高いプラントの開発」への努力を継続することが重要

これまでと異なり電力及びメーカー間相互の障壁を低くし、人的、技術的なリソースの共有あるいは効率的な運用への努力が必要です。

c . 運転費の低減

【課題】

原子力を取り巻く失敗を許さない環境から、検査や立会いは不合理に多重化、多層化しています。例えば、国の立会いの前に電力の立会いをを行い、さらにその前にメーカーの事前検査を行っているなど、「一発合格」のために相当な時間と労力を要しています。また、検査・試験の内容も不合理に高度化せざるを得ない状況になっています（一般的に自主規格は、国の規制基準より厳しくしている）。

軽微なトラブルを容認しない環境（これも原子力特有になってしまった文化ですが）になってしまっているため、検査項目、内容の合理化が困難なばかりでなく、決められたこと以上の検査をすることが当たり前の状況になっています。

さらに、軽微なトラブルを容認しない環境は、多くの検査実績や技術的な新知見により、検査項目や内容の合理化（例えば、検査周期の延長や検査範囲の合理化など）を取り込むことが難しい状況です。

【対策】

課題 ~ の対策として「民間自主点検の範囲を拡大」することが必要

技術的に適正な検査方法を積極的に取り込むためには、民間自主点検が主体になります。検査の合理化は、単に経済性だけでなく、不要な負担を現場に与えないために信頼性は逆に向上し、事業者インセンティブを与える効果になります。科学的合理的な検査制度の整備を進める必要があります。

課題 ~ の対策として「リスクベースの判断を入れた検査ルールの導入」が有効

最近リスクを定量化する技術が発達しており、リスクに見合った検査の種類を変えることは合理的です。オンラインメンテナンスなどの導入により、リスクを認識して検査の内容を適正化することで経済性も信頼性も向上します。

d . 燃料費の低減

【課題】

燃料の高燃焼度化は、これまでも燃料サイクルコストの低減として進めてきましたが、今後も燃料サイクルコストに加えて使用済燃料発生量低減の観点からも重要です。

高燃焼度燃料の導入において、海外の実績を参照しつつもわが国独自の審査体系の中で厳重な審査が行われています。また、民間の評価のクロスチェックとして、重複した解析や試験が規制側でも行われています。

【対策】

課題 の対応として、電力、メーカーの高燃焼度燃料開発の努力は今後とも重要です。

課題 の対応として、開発費の低減と同様産官学での協調した開発体制の構築が必要です。

課題 と の対策として、開発及び規制の両面で国際的協調（例えば、米国審査も日本

で認めるなど)による重複を排除することが期待できます。

e . 稼働率の向上、出力増加、熱効率向上、寿命延長、廃炉費の低減

【課題】

「長期サイクル運転」は稼働率の向上として有効であり、米国で既に実績があるにもかかわらず、わが国では採用されていません。

「定検期間の短縮」も稼働率の向上に有効ですが、上述のように検査が多層化されていたり、事前保全の考え方に基づいて健全な機器も検査することになっています。欧米では既に事後保全も適用されており、わが国でも合理的な判断をしなければなりません。

既設軽水炉の出力増加、熱効率向上は、経済性の向上に有効な手段です。欧米では、既に出力増加や熱効率改善は、実用化されていますが、わが国ではどれも検討の段階でしかありません。

既設軽水炉の寿命延長を推進して、長期的に活用できるようにすることは、経済性の向上に有効な手段です。

廃炉費については、技術的課題の解決が進められているので、今後は、コストダウンを行うことが課題です。

【対策】

課題 と の対策として、リスクベースの判断を入れた検査ルールを確立し、長期サイクル運転や定検期間短縮の影響を定量的かつ合理的に判断することが必要です。

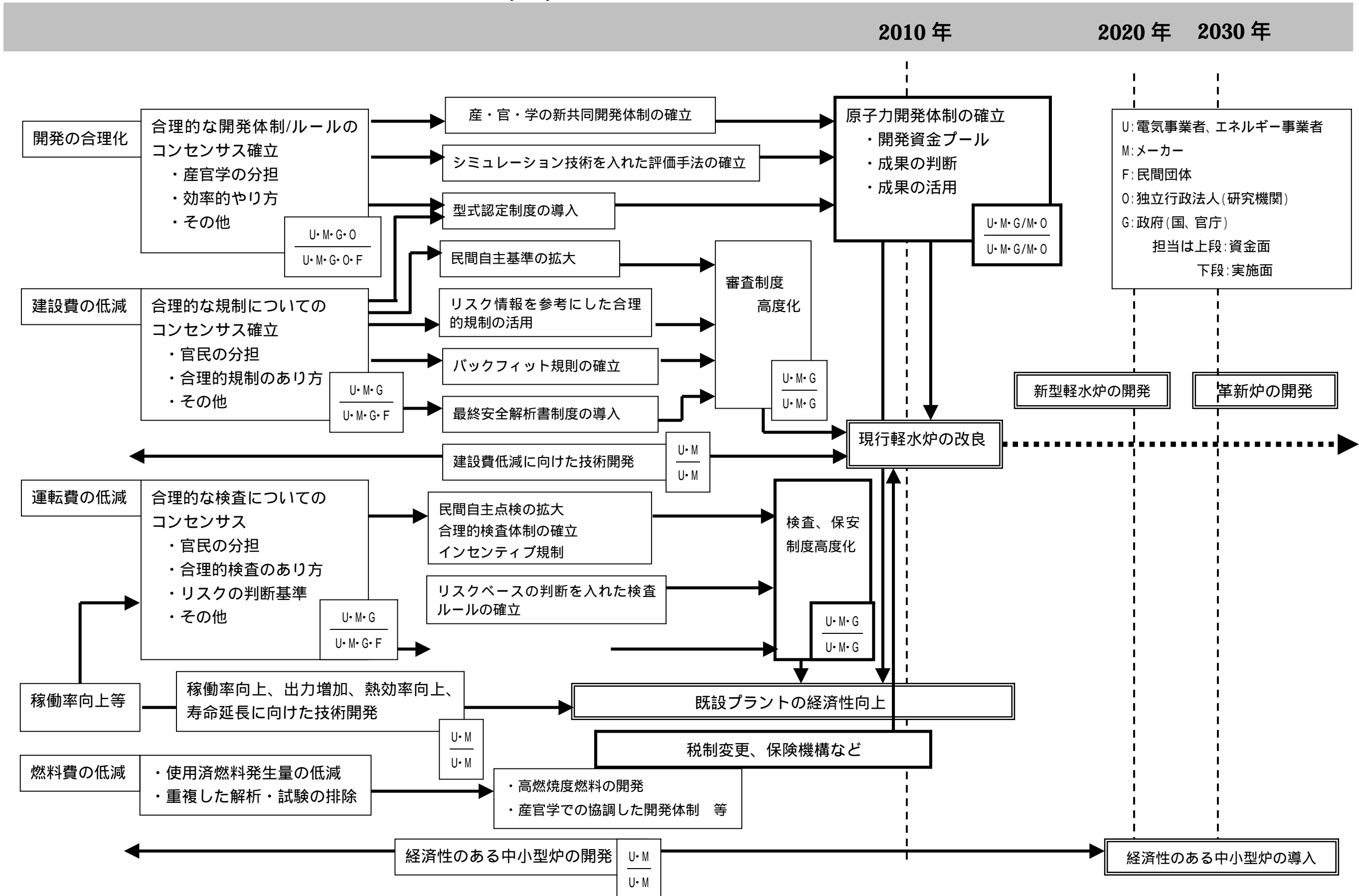
課題 の対策として、民間自主点検の範囲拡大を行うとともに事後保全の考え方も適切に取り入れていくことが必要です。

課題 の対策として、「出力増加、熱効率向上技術の開発」が重要です。電力、メーカーは、出力増加、熱効率向上の技術の開発に不断の努力をするとともに、早急な実用化を行うべきです。

課題 の対策として、プラントライフマネジメントの研究開発が重要です。電力、メーカーは、寿命延長等のプラントライフマネジメントに係わる研究開発を早急に行うべきです。

課題 の対策として、技術的課題の解決において、VA（価値解析）の手法やシミュレーション手法を取り入れるなどして、コストダウンを常に念頭に置いた取り組みを行うべきです。

(3) 原子力発電の経済性の向上



(4) 原子燃料サイクルの実現

使用済燃料中の有用なウラン、プルトニウムなどをリサイクルする原子燃料サイクルの実現は、わが国原子力開発の当初からの方針でした。これまでの技術開発の結実として、今まさに、商業プラントが仏国などに続いて建設されようとしています。しかしながら、同時に、社会からの一層の理解、経済性向上など、取り組むべきいくつかの課題も抱えています。

a．わが国における原子燃料サイクルの導入

現在、国民各層各界から原子燃料サイクルおよびプルトニウム利用に関する経済性、安全性、環境影響などに対して、さまざまな意見が出されています。このため、原子燃料サイクルおよびプルトニウム利用に関する国民合意の形成に向けた議論を踏まえ、制度整備とその活用を行っていく必要があります。

議論のテーマは、原子燃料サイクルおよびプルトニウム利用と、使用済燃料の長期貯蔵および直接処分（ワンスルー）との比較などです。こうした議論と合意形成を通じて、原子燃料サイクル導入およびプルトニウム利用を国民的な選択にすることが必要です。

そして、地元の信頼と理解を得て、軽水炉におけるプルトニウム利用、すなわちプルサーマルを開始することになります。まず、六ヶ所における再処理工場の操業開始、次に現在設計を進めている MOX 燃料加工工場の建設、操業を、2010 年頃までに開始することになります。これにより、国内における商業規模の軽水炉サイクルの輪を閉じることができ、これらの事業を進める上において、規制は国際的レベルに整合したもので、科学的合理性のあるものでなければなりません。

ところで、上記の六ヶ所における再処理工場の安全で安定した操業が確立されるまでには、さまざまな技術的課題に直面することが予想されますので、軽水炉再処理技術の技術基盤を維持し成熟させていく方策および東海再処理施設における使用済 MOX 燃料再処理の実証研究も合わせて進めておく必要があります。

b．使用済燃料の中間貯蔵

使用済燃料の中間貯蔵は、再処理までの時間的調整を可能とすることから、原子燃料サイクル全体の運営に柔軟性を与えます。したがって、産業界は 2010 年頃までにその実現を目指して全力を尽くす必要があります。国も長期的な使用済燃料の取扱いについて政策的課題として取り組む必要があります。

c．高速増殖炉サイクルの開発・導入

前述の原子燃料サイクルおよびプルトニウム利用に関する国民合意の形成に向けた議論では、高速増殖炉とその燃料サイクル（FBR サイクル）の必要性、安全性、経済性見通しなどについても検討を行い、FBR サイクルの開発・導入を国民的な選択としていくことが重要です。

このためには、実験炉「常陽」、原型炉「もんじゅ」、燃料再処理などの運転実績により実機データに基づいた FBR サイクルに関する知見を提示することが必要です。

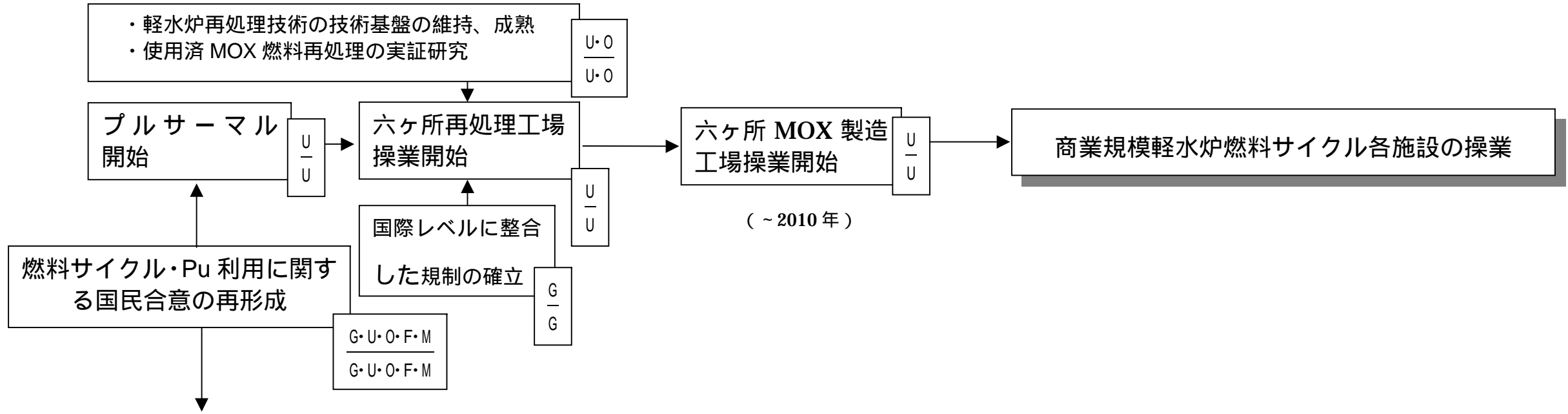
これらの開発においては、これまで進めてきたナトリウム冷却、酸化物燃料、湿式再処理の仕様の FBR サイクルと並行して、これ以外の仕様も含めた研究開発を行い、経済性、ウラン資源有効利用性、安全性、核拡散抵抗性、環境影響などの視点から最適な FBR サイクル実用化像を追求し、確認しておくことが重要です。

FBR はその資源有効利用特性から 2030 年頃にその燃料サイクルとともに導入することを目指し、経済性向上などの開発を進めます。そのために、国際協調をより強固なものにして推進します。

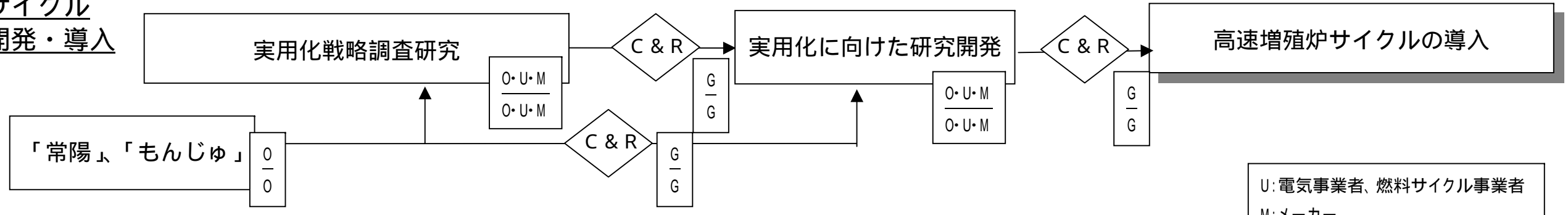
(4) 原子燃料サイクルの実現



わが国における原子燃料サイクルの導入

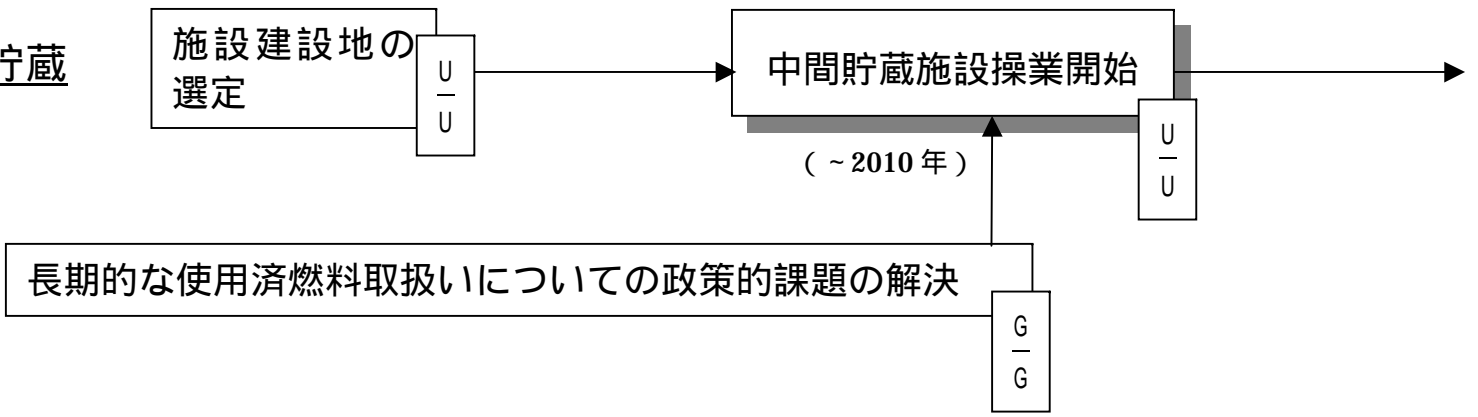


高速増殖炉サイクル
の開発・導入



U: 電気事業者、燃料サイクル事業者
M: メーカー
F: 民間団体
O: 独立行政法人(研究機関)
G: 政府(国、官庁)
担当は上段: 資金面
下段: 実施面

使用済燃料中間貯蔵



(5) 放射性廃棄物対策の実施

放射性廃棄物問題は、安全と共に社会からの関心が高い事項です。これらの問題を解決する道筋を具体的に示し、具現化することが 2050 年原子力ビジョンを達成する上で不可欠であります。

a . 高レベル放射性廃棄物の地層処分開始

地層処分への合意形成の努力を行うとともに、最終処分に関する法律に基づいて、概要調査地区の選定、精密調査地区の選定（2010 年頃）、最終処分施設建設地の選定（2025 年頃）、最終処分施設の建設・処分開始（2035 年頃目途）へと進めていくこととなります。並行して、実際の地質環境への処分技術の適用性確認や地層処分システムにおける廃棄物の長期挙動の理解を目的とした、地層処分技術の信頼性向上と安全評価手法の高度化に関する研究開発などを行う必要があります。

b . ウラン・TRU・廃止措置廃棄物の処分施設の建設・操業

ウラン廃棄物、TRU（超ウラン）廃棄物、廃止措置に伴う廃棄物の処分に関しては、当面技術基盤の整備を進めると共に、処分の安全規制、基準などの検討、関係法令などの制定を進める必要があります。その上で、処分施設建設地の調査・選定を行い、2020 年頃の処分施設の建設・操業へと進めることとなります。

c . 放射性廃棄物処分の国際的枠組み作りの検討

わが国を初め、米国、北欧、仏国などこれまで廃棄物処分に取り組んできている国における廃棄物処分場建設事業は今後進展を見せるものと思われます。また、アジア地域において新たに原子力発電を始めた国で発生する放射性廃棄物の処分について、国際的枠組み作りの検討を進める必要があります。

d . マイナーアクチニドの分離・変換技術の開発とその評価

高レベル放射性廃棄物に含まれる長い半減期のマイナーアクチニド（MA）核種を分離し、原子炉内で照射することにより短い半減期の核種や安定な核種に変換する方法は、現在は、いまだ研究開発の初期段階にあります。これらの技術が廃棄物処理・処分の負担軽減、資源の有効利用に寄与する可能性があることから、研究機関は、これからも基礎的研究を進めていきます。研究開発の進展に応じて、国は、これらの分離・変換技術と核燃料サイクル技術全体との整合性などについて、定期的な評価を行います。

e . 科学的合理的な放射性廃棄物取扱い規制・制度

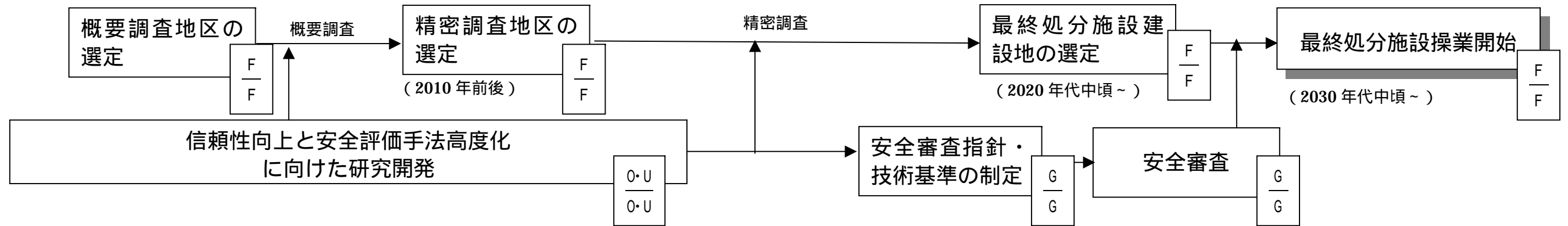
現在の原子炉等規制法には、例えば、事業別規制が謳われています。放射性廃棄物の処理、管理は、事業別規制より、性状別に放射性廃棄物を処理、管理する方が、安全上からも事業の効率上からも望

ましい。今までの多くの運用等から得られた知見より、放射性廃棄物の処分を効率的に進めるための規制見直しや放射性廃棄物のうち再利用可能なものについての再利用を可能にする制度整備などを行う必要があります。

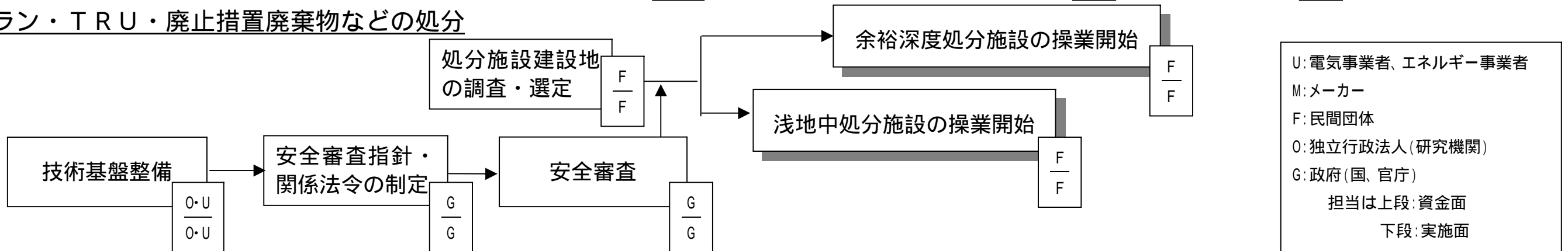
(5) 放射性廃棄物対策の実施



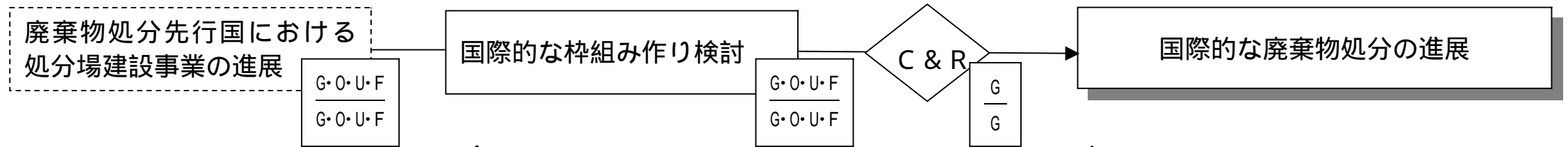
高レベル放射性廃棄物地層処分



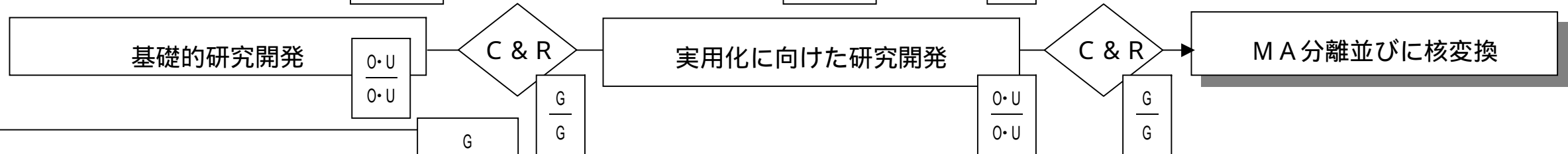
ウラン・TRU・廃止措置廃棄物などの処分



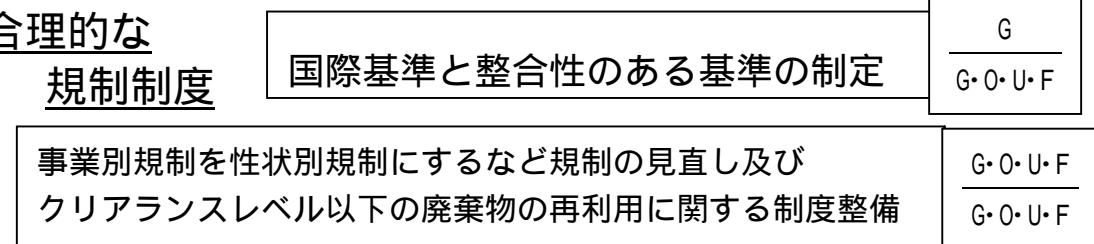
国際的枠組み作りの検討



MA (マイナーアクチノイド) 分離・変換



科学的合理的な規制制度



(6) 水素エネルギー社会への貢献

水素エネルギー社会への移行により、エネルギー利用の形態、効率、それに伴う環境影響などを大きく変革することが可能になります。そしてこの水素の生産に原子力が貢献することは、水素エネルギー利用の目的と効果からいって重要なことと考えられます。

原子力を利用して水素を生産する方法については、現在多くの研究開発が進められています。原子力発電の電力を利用して水の電気分解で水素をつくる方法は現在でも技術的に可能ですが、余剰電力を利用する方法以外は化石燃料起源の水素より高価になります。原子炉の高温を利用して水を熱化学的に分解して水素をつくる方法は、水を原料とする点から、最も魅力的なものです。また開発の初期段階にあります。原料に天然ガス（LNG）などの化石燃料を使用し、これの水蒸気改質による水素生成に原子炉の熱を利用する方法は、化石燃料節減および CO₂ 排出抑制が可能で、技術的にも近い将来（2010 年代）の実用化が可能と見られています。

2020 年以降からと予想される水素エネルギー実用期には、これらの方法がそれぞれの特長を生かし、他のエネルギー起源の水素も含めて競合しながら、水素エネルギーの供給を行っていくことになると思います。

原子力による水素エネルギー供給産業は、今後以下に示すような段階を経て、技術開発と事業化・ビジネス化を進めていくことが期待されます。これまでのエネルギー業界が石油、ガス、電力、原子力といった縦型の産業構造であるのに対して、水素エネルギーではその生産資源である天然ガス（LNG）、石油、石炭、原子力、水力、バイオマスなどにまたがる横断型、総合化へと変革していく可能性も考えられます。

a. 実用化の見通しの確認と事業化準備 [インキュベーション期]

原子力による水素生産がビジネスとして成立するためには、それが既存の水素供給事業に対して技術的および経済的に競合でき、メリットが大きいことを示し、そのことが潜在的事業者（企業）や投資家に十分に伝わること、また環境対策およびエネルギーセキュリティの観点からの利点を国民に示し、国民の合意を得ることが必要です。

そのためには、国の長期エネルギー戦略として、水素利用および原子力による水素供給の役割を明確に示すことが必要です。さらに、水素の供給インフラ（貯蔵、運搬、分配）などの利用システムの構想を検討し、国益に適う有益な新しい産業の振興策として研究開発に必要な資金を補助するなどの施策が必要です。

この時期（～2006 年）に実施すべき項目；

国の長期エネルギー戦略における原子力水素供給の位置付け（可能性）と水素パイプラインなどのインフラ（貯蔵、運搬、分配）整備構想の検討・明確化

実用化技術開発の実施（プラントメーカーあるいは研究開発機関などが、国の資金により性能安全上の成立性に係わる技術開発を実施し、見通しを明らかにする。長期に研究開発が必要なものは別枠で実施）

実用化見通し確認のために高温ガス炉（HTGR）、高速炉（FR）などについての予備的可能性の検討（プレ FS）

原子力・化学複合プラントの安全論理の構築、安全ガイドラインの検討
事業化準備のためのPR
現在の計画とのつながりによるシナリオ化

b．事業化のための具体化 [ビジネス創生期]

国のエネルギー戦略における水素エネルギー、そこでの原子力水素供給の位置付けの明確化と、インキュベーション期の成果を踏まえて、将来の事業化・投資に関心をもつ企業が中心となって技術確証を実施し、原子力水素が事業として成立するための条件を整えます。

この時期（2006～2012年頃）に実施すべき項目；

技術確証 [上記技術開発と可能性検討を踏まえ、実証プラント、商用プラントのための技術確証試験を実施する。なお、開発・確証に必要なそれまでの研究開発成果の提供、確証試験の実施でHTTR、常陽を用いる場合には、国の研究開発機関が協力。このための資金は国が主として負担。また国際協力で実施する場合など国の支援が必要]

高性能化技術開発 [将来の本格的商用化に向け、高性能化の技術開発を実施。このための資金は民間でも負担]

事業化検討 [将来事業化の意向を有する民間の事業者が主体となって、民間事業として原子力水素が成立するための枠組み（燃料供給，バックエンド対応など原子力固有領域を含む）を検討。立地対応、パイプラインなどの水素供給インフラ整備、投資、水素利用の立場から国、地方自治体の参画は重要]

規格・基準作成 [上記技術開発と可能性検討等の成果をも踏まえ、リスク情報技術などを用いたより合理的な規格・基準の整備を国、民間で作成]

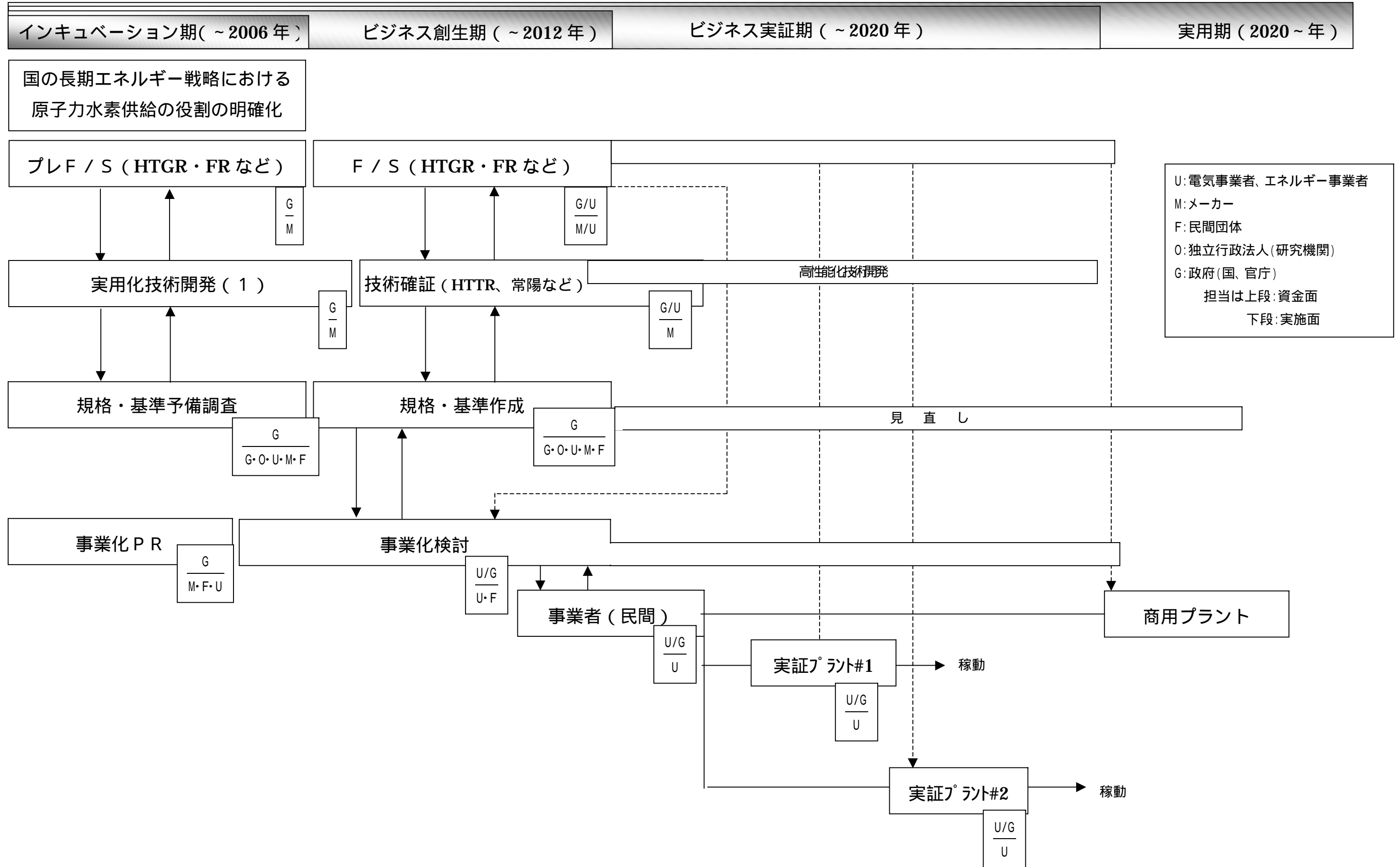
c．実証プラントの建設 [ビジネス実証期]

原子力水素生産プラントの実用化では、技術確証試験を経た後に実用期の開発リスク低減のために、原子炉と結合した相当なスケールの実証プラント試験により2020年頃までに大型化・実証をはかることとなります。この時点における開発技術の進展度、事業化の見通しなどにより、複数の事業者が異なるタイプの方式により実証プラント試験を行う可能性があり、このことは民間主体による競争的な事業環境の整備からも好ましいと考えられます。この実証プラント規模の試験には国の補助金、助成金等が必要となります。

d．実機の建設 [実用期]

2020年頃までに水素供給・流通などのインフラの整備が国により実施されており、燃料電池車の導入も進んでいます。原子炉熱利用については、天然ガスからの水蒸気改質による水素生産が実証プラントの実績を踏まえて、本格的実用段階に入ります。原子力発電の夜間余剰電力利用の電気分解水素生産は、電力システムに組み込まれて運用されます。原子力利用の水素生産は、他の方法と経済的に競合しつつ、順次プラントの建設・運転を行っていくこととなります。

(6) 水素エネルギー社会への貢献



(7) 原子力産業の国際化

第5章の『2050年の原子力利用の姿(ビジョン)』には、国際関係として『(8)世界における原子力利用の進展』に「各国におけるエネルギー供給の安定性の確保と環境負荷の低減に大きく貢献...」および「わが国は国際原子力機関などにおける多国間協力や二国間協力を通じて世界各国の原子力開発利用の進展に協力...」、また『(11)世界で活躍する日本の原子力産業』には「グローバルアライアンスの下で日本企業も分担...」および「原子力発電所だけでなく、原子燃料サイクル施設や関連システムの建設も同様に手がけています。」などのビジョンが示されています。

国内における原子力開発・建設に関わる諸活動をみると、主として原子力の利用に対する国民の不安感を反映して、日本独特の安全確保に関連する諸活動が多重多層に行われています。したがって、わが国の原子力発電所の安全規制・運転管理は国際的なスタンダードとかけ離れ、結果的に非効率で高コストの体質を作ってきたと考えられます。

また、今日の日本の原子力産業をみると、国内では豊富な原子力発電建設・運転経験を有しながら、原子力発電分野における海外への進出は、コンポーネント・サプライやサブコントラクトに留まり、プラントの輸出では、欧米各国はもとより中国などに比べても大きく遅れをとっています。

原子力産業が技術の優秀さを自ら唱えても、それが諸外国から認められないならば一般の人々はそれを理解することはできません。原子力発電のプラント輸出は単に狭くなった国内市場を海外で補完するのではなく、国際活動を展開することによって、経済競争力の強化、規制等の合理化などわが国の原子力開発・利用をグローバルなレベルに引き上げるために必須の行動です。

ここでは2050年に至るロードマップを、4期にわけて検討します。輸出先の対象には、原子力開発の種々のインフラが整っておらず、現在の経済規模は小さいものの今後の成長が期待されるベトナムやインドネシアを選びました。その他の国への輸出については、対象とする国々の状況によって各期の時間軸は変わります。

a. 国際展開の位置付け、官民の役割明確化などの体制の整備 [インキュベーション期]

この時期(～2006年)に実施すべき項目 [輸出環境の整備]

わが国の原子力政策の中に、国際展開を明確に位置付け、途上国の要請に迅速かつ積極的に対応する。

官民の役割を明確にして、総合的かつ統一的に協力していく姿を示す。

核不拡散、安全性確保、原子力損害賠償など協力に当たっての必要条件を示す。

対象国が原子力発電の導入に関心を示しつつも、まだ国家レベルの開発計画が承認されていない段階で、関係省庁から政策決定者(内閣、党など)まで広く原子力発電とは何かを学んでいる状況であり、一方で政策決定後の海外協力者(国、企業)を模索しているところです。

対象国の要請してくるものは、まず政策関与者が必要とする原子力に関する一般的、初歩的な知識(セミナー、施設の視察)、コアとなる原子力技術者の養成、国内外の規制など法体系の整備などであり、ついでプレフィージビリティスタディ(プレFS)の「原子力発電導入可能性に

関する政策的調査」や電力需給長期見通しや原子力開発長期計画の検討への協力です。この段階は先駆けとなるリーダーを養成し、法整備など基盤を作ることであり、熱心な協力はその後の原子力開発の方向（炉型、技術、メーカーなど）を決定付ける可能性があり、極めて重要な時期となります。

原子力国際協力は核不拡散、安全性確保、原子力損害賠償などの枠組みについて国家間で合意することや巨額のファイナンスの裏付けなど国家間の合意が前提となっており、資機材などの移転になれば国家間の協定が必要になり、通常の国際間通商と異なり、国の果たすべき役割が大きいものです。わが国政府は従来からアジアを中心とした発展途上国に対する原子力国際協力を進めており、さまざまな機関がセミナー、技術者の受け入れ・訓練などを広範に行っています。この段階ではこのような既存の制度を活用して、上記のような活動を実施していくべきですが、予算制度上の制約などから特定の国に傾斜的措置をとるには限界があります。いうまでもなく民間の一企業のために、政策的措置をとることはできず、民間は電力、メーカー、政府系機関などから構成される全日本の形を、たとえば原産などの組織を利用して形成する必要があります。

日本政府は、核不拡散、原子力安全を前提とした途上国からの協力要請には対応することにしていきます。しかしながら、原子力プラント建設に向けてのプレ FS や「原子力発電導入可能性検討」(FS) 段階において、その対象国がわが国からの輸入を念頭に置いた種々の協力を求めてきた時には、技術移転、資機材の供給、核燃料の供給、使用済燃料の処理処分といった将来の問題についての核不拡散にからむ輸出政策が、十分に対応できる状況になっていません。さらに昨今の原子力をめぐる世論を考慮して、その協力要請対応は諸外国と比べて決して積極的なものとはいえません。この段階において対象国の要請に迅速かつ積極的に対応することの重要性に鑑み、わが国の原子力政策の中に国際展開を明確に位置付けるための検討を早急に開始し、方針の統一をはかるべきです。

民間にとっては核不拡散にからむわが国の輸出政策が固まっていない状況に加えて、対象国が原子力発電開発を推進するか否か、さらに日本の民間と協力するか否かが未定の段階では資源の投入には限界があり、既存の制度等による政府の支援を得ながら活動を進めることとなります。

対象国にとっては、単に原子力発電所の建設に留まらず、立地、P A、運転管理、法規制などの全体的な支援を要請してくるので、官民の関係者の役割を明確にして統一的に協力していく姿を対象国に提示していくことが肝要です。

政府は要人、高官の交流を活発に行い、積極的な姿勢を示し、民間の活動に対応して、核不拡散や安全確保、原子力損害賠償など協力にあたっての必要条件を対象国に提示し、将来のファイナンスや原子力協力協定など政府間協力の全体的姿を示すことが必要です。

b . 「原子力発電導入可能性検討」への協力、輸出体制の構築およびファイナンス支援などの整備

[ビジネスモデル形成期]

この時期（2006～2010年頃）に実施すべき項目 [輸出環境の整備]

「原子力発電導入可能性検討」(FS) に協力する。

民間コンソーシアム形成までを選択肢とする、国際分業も含めた輸出体制を構築する。
政府は、原子力協力協定を締結し、ファイナンス支援、国際スタンダード（ISO9000、ISO14000 などを含む）を採用した品質保証、環境改善、安全規制基準などの整備をはかる。
人材の養成に協力する。
入札に参加する。

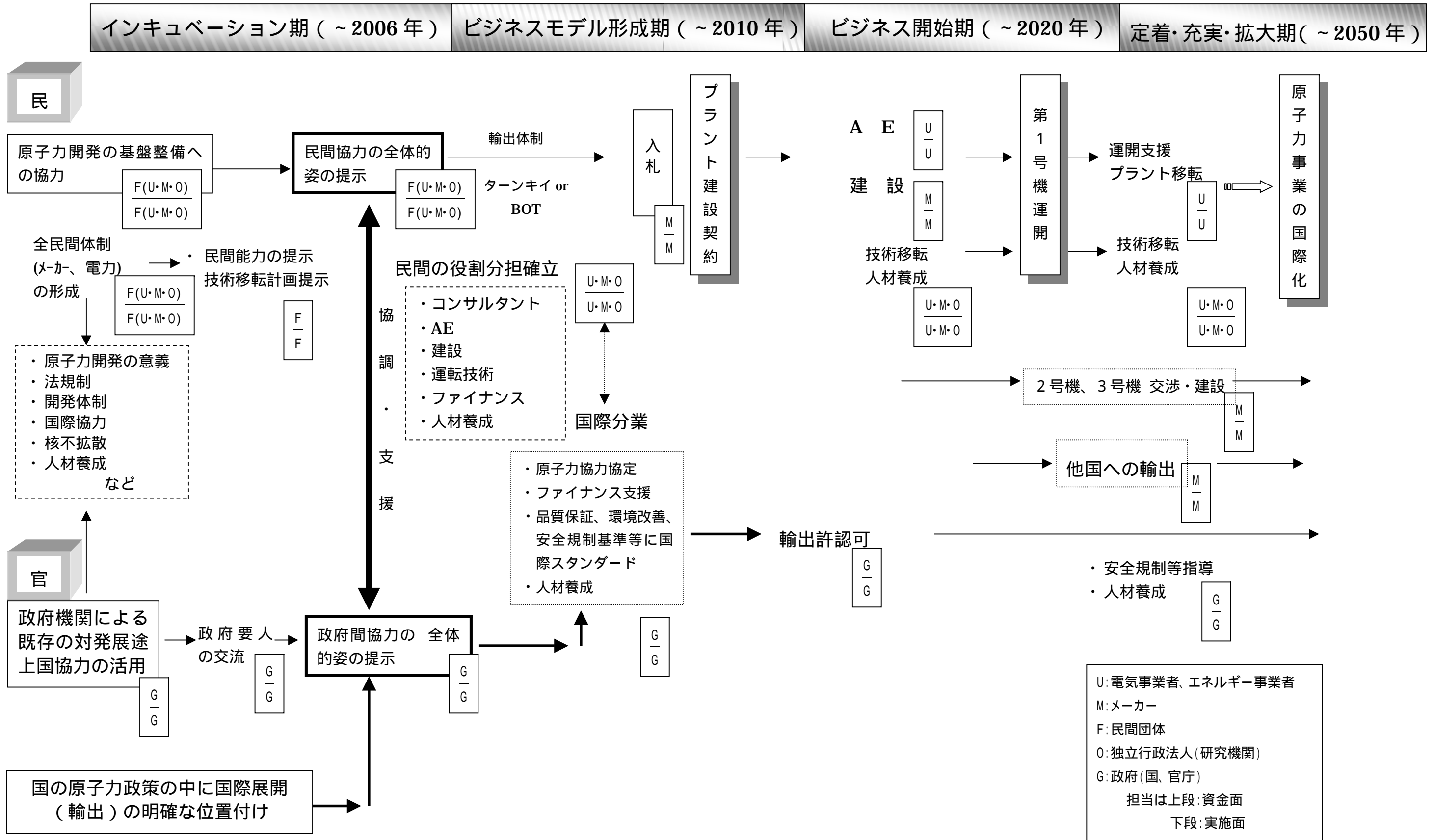
対象国は原子力発電所の建設を正式に決定し、FS に入るとともに、研究開発体制の整備を行う段階です。いうまでもなく FS は炉型、規模さらに建設主体などの決定を実質的に行う段階で、これにわが国が大きく関与することが次の段階であるビジネスに進めるか否かを左右することになります。この段階では FS に関与しつつ、対象国の開発体制作り、人材養成などに積極的に協力することが求められます。とりわけ、わが国の原子力技術を受け入れる国として、対象国が核不拡散や原子力損害賠償制度などの国際体制に参加するよう積極的に勧めることが肝要です。FS の進展に応じてわが国は官民協力して技術の移転方策、国内関係産業やインフラ整備などビジネス開始に向けて協力方策を具体的に示す必要があります。

米国を除く諸外国は原子力メーカーが国営または準国営であり、国が中心となって、統一的な輸出体制で臨むことができますが、事情の異なるわが国では、まず民間がその能力を結集する形でコンソーシアム形成までを選択肢に含めた受注体制作りを行う必要があります。一方、対象国の発注者の側に立った計画推進のコンサルタント、アーキテクトエンジニアリング（AE）などの活動については、原子力分野では経験もなく必ずしも十分に整備されていません。原子力発電所導入時の建設経験の豊富なゼネコン、メーカー、電力会社、もしくはその関連会社はその役割を果たすことが望まれます。これらを含めて国際的に競争力のある全日本的な輸出体制を構築しなくてはなりません。さらに、核燃料の供給や、安価な資機材の入手などを考慮すると、国際分業も視野にいれておく必要があります。

政府は民間のこのような活動に対して政策的な支援を行い、原子力協力協定、ファイナンスなどの整備をはかるとともに、政策や規制に関する人材養成に積極的に取り組む必要があります。

このような努力の結果として、**ビジネス開始期**、さらに**定着・充実・拡大期**へと発展していくと考えます。

(7) 原子力産業の国際化



おわりに

最近の米国は、好調な原子力発電の運転実績、さらに将来に向けての次世代炉プロジェクト 第4世代原子力システム国際フォーラム（GIF）による革新的原子炉の開発など先行き明るいニューコースで賑わっています。

一方日本では、現在、全電力の3割をまかなっている52基の原子力発電所が運転されていますが、1995年12月のもんじゅナトリウム漏洩事故、1999年9月のJCO事故、本年(2004年)8月の美浜発電所事故、またその他の幾つかの不祥事により、国民の中には、原子力利用に対して、不安が膨らんできています。国民の半ばは、事故時の原子力施設からの放射能漏れや放射性廃棄物処分の問題など、原子力に対する不安は拭い去れていません。本当に将来にわたって、原子力を必要とするかどうかについて疑問を抱いています。それは、いろいろな原子力プロジェクトが、遅々として進まず、むしろ後退しているといった現象で現れています。

しかし、これら不安とされる問題は、純技術的なものというよりも、それに取り組む関係者の倫理面、管理面にあります。言い換えれば、原子力関係者が、本当に原子力を推進しようとするならば、自らの襟を正す努力と工夫をすれば、払拭することのできるものであります。そこで、原産では、原子力技術者の積極的な対応と国民の理解と協力のもとで解決できるものであると考え、「わが国において、原子力が、私たち人類が求めている安心と豊かさのあるクオリティ・オブ・ライフにどのような役割を持つか、地球の持続的発展のために環境問題に対して、どのような役割を持つか」を検討しました。わが国のこれから2050年に至るエネルギー供給における原子力の役割をクオリティ・オブ・ライフおよび地球環境問題（CO₂の削減）の視点から、国内総生産（GDP）、人口、産業構造、エネルギー利用形態、CO₂排出量、エネルギー資源の利用可能量、輸入燃料価格、利用可能なエネルギー技術など多くのパラメーターについて見積りを行い、エネルギー需給の定量的シナリオ評価を行いました。その際には、これらの組み合わせによる多くのエネルギー需給シナリオの中から、供給安定性の向上や環境保全などのエネルギー政策全般に係る目標の満足度、原子力開発目標としての妥当性、各種制約要因を考慮した場合の実現性などを踏まえて、シナリオ評価を行いました。そして、これを参考にして、委員会メンバーからのアンケート結果より得られた原子力が向かうべき方向を目指して、原子力利用のビジョンを描き、それを実現するためのロードマップを作成しました。

シナリオ評価においては、地球環境問題への対応から2050年にはCO₂の排出量を1990年値の60%水準まで低減することを前提にして、幾つかのエネルギー需給ケースを検討しました。その結果、原子力の利用については、エネルギーセキュリティと地球環境問題の視点からは、導入量が多いほど適切な解となります。しかしながら、原子力の導入については、国民が不安を抱いている放射能漏れや放射性廃棄物処分の問題などを納得のいくように解決して、合意を得ることが大切です。そこで、本報告では、原子力利用ケースとしては、実現が可能であろうと考え得る原子力発電規模を現在の約2倍（9,000万kWe）まで拡大したA「原子力拡大ケース」を中心に説明し、また原子力発電を段階的に廃止していき2050年には原子力利用をゼロとするB「原子力廃止ケース」についても参考に既述しました。

これらのケースについて、供給安定性、供給コスト、地球環境への影響などを検討した結果は次のとおりです。

A「原子力拡大ケース」では、一次エネルギーに占める原子力比率は33%（現状13%）となり、化石燃料依存度は現在の83%から56%へ大幅に低下します。この結果、自給率（原子力は準国産エネルギー）は現状の19%から44%へと向上し、エネルギーセキュリティーを高めることができます。また、CO₂排出量を1990年値の60%水準まで低減するという目標も容易に達成することができます。

B「原子力廃止ケース」では、CO₂排出量を1990年値の60%水準まで低減しようとする、CO₂の回収・投棄が必須となること、エネルギー構成が化石燃料に依存しすぎてバランスが悪くなること、エネルギー供給総コストが拡大ケースに比べて約2割高くなることなどが示されています。

これら両ケースの評価では、発電・水素生産の両方において原子力は価格競争力に優れているため、立地やエネルギー・ベストミックスなどを考慮して設定した上限値一杯に導入されています。この点から、原子力利用に対する社会の合意、エネルギー供給源の多様化、エネルギー供給総コスト削減などに関する努力、判断、政策が重要になってくると思われれます。幸いにも昨年(2003年)10月にエネルギー基本計画が策定され、その中で原子力は、エネルギー安定供給と地球温暖化対策の面で優れた特性をもつ重要な役割のあるエネルギーであることから「原子力発電を基幹電源と位置付けること」と明示されています。

この検討においては、どのようなエネルギー技術が利用可能かについて議論し、“In-the-Box”技術、すなわち現在既に研究開発に着手し対象期間内に実用可能と考えられる技術をベースにビジョンとロードマップを作成することにしました。これに対して、提案・研究がなされているが対象期間内の実用化は確実でない「箱の外」と考えられる技術(“Outside-the-Box”技術)があります。例えば、海水ウランやトリウム、および核融合のエネルギー利用などがあります。現在「箱の外」にある革新技術を発掘・育成し、新しいエネルギーシステムの導入に繋がるように推進することは重要と考えています。“In-the-Box”技術の想定以上の進展や、“Outside-the-Box”技術による新しい展開がもしあれば、より明るいビジョン、より容易なロードマップが可能となります。

原子力の利用に関しては、現在さまざまな意見が出されています。原子力のベネフィット・リスクについて的事实データに基づく検討、原子力の役割に関する国民的議論・合意を経て、原子力開発利用の推進を社会が広く認知する「選択」にすることが必要です。本報告がこのために役立つことを期待します。

参考文献リスト

- 1) 鉄鋼業の競争力と将来展望研究会 中間報告 通商産業省 平成 13 年 12 月
- 2) “21st Century Technologies: Promises and Perils of a Dynamic Future”, OECD, 1998.
- 3) “Harnessing Science and Technology for America’s Economic Future”, National Research Council, 1999.
- 4) “Energy : The Next Fifty Years”, OECD, 1999 .
- 5) “Strategic Energy Policy: Challenges for the 21st Century”, Report of an Independent Task Force Cosponsored by the James Baker III Institute for Public Policy of Rice University and CFR, 2001
- 6) “Nuclear Power Sustainability, Competition and Climate Change”, IEA, 1998
- 7) “Disposition of High Level Waste and Spent Nuclear Fuel”, National Research Council, 2001.
- 8) EPRI Futuristic Report Offers Insights to Technology Paths for Today's R&D Investor
- 9) “National Energy Planning for the Century: The Continental Super Grid”
by Chauncey Starr [Nuclear News, February 2002]
- 10) 「21 世紀の原子力に求められるもの」 “Requirement for Nuclear Energy in the 21st Century”
by G. Kessler [日本原子力学会誌. Vol. 43, No. 6 (2001)]
- 11) 「原子力次の 50 年のビジョン - ビジョンと戦略」
国際原子力学会協議会 原子力次の 50 年のビジョン委員会
“A Vision for the Second Fifty Years of Nuclear Energy – Vision and Strategies”
The Fifty-Year Vision Committee. International Nuclear Societies Council
[日本原子力学会誌. Vol. 38, No. 6 (1996)]
- 12) 「社会の人々と一緒に考える 21 世紀のエネルギーと産業・技術」
新日本製鐵(株)顧問 富浦 梓他 [エネルギーレビュー 2001 年 1 月号]
- 13) 「キーは人口増、情報化など エネルギーと環境・社会」
(財)エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 部長 松井 一秋
[エネルギーレビュー 2001 年 1 月号]
- 14) 「排出シナリオに関する特別報告(政策立案者向け要約)」、気候変動に関する政府間パネル作業グループ 特別報告、GISPRI 仮訳, 2000 年
- 15) Remarks Delivered by Secretary of Energy Spencer Abraham
Global Nuclear Energy Summit, The Cosmos Club Washington, D. C.
[February 14, 2002]
- 16) “2000 and beyond – 1999 Update to A Strategic Direction for Nuclear Energy in the 21st Century”, as of May 15 1999, Nuclear Energy Institute Executive Committee
- 17) <16)の邦訳> 「原子力：2000 年を超えて - 21 世紀の原子力戦略目標」
1999 年 米国原子力エネルギー協会 [原産マンスリー 1999 年 10 月号]
- 18) 全米工学アカデミー(NAE)の雑誌「The Bridge31-3 号(2001 年)」原子力特集

**“The Bridge, Vol.31, No.3, Fall 2001, “National Academy of Engineering: (Features)”
”Changing Global and Social Determinants for Nuclear Power” by John P. Holdren,
“Technology, Safety, Human Resources, and Nuclear Power” by Gail H. Marcus,
”Economic Determinants and the Role of Industry in the Future of Nuclear Power” by
Gorlin A. McNeill, Jr., and**

“Nuclear Power for the 21st Century “ by Pete V. Domenici

19) 「2010年までに米国内で新規原子力発電所を建設・運転させるためのロードマップ」

2001年 米エネルギー省 [原産マンスリー 2002年3月号]

20) **“Role of Generation Systems in the Context of Future Global Energy Needs”,
K.L.Peddicord, Texas A&M University**

21) マサチューセッツ工科大学 (MIT) レポート「原子力の将来」

“The Future of Nuclear Power”, An Interdisciplinary MIT Study”, July 2003

22) 米国原子力エネルギー協会 (NEI)「ビジョン 2020」

Vision 2020 “Nuclear Energy and the Nations’ Future”, NEI

以上