

世界の超長期エネルギー展望及び資源問題、地球環境問題 と高速増殖炉への期待

1. エネルギー資源はあと何年あるか

- (1) 世界のエネルギー資源量
- (2) 石油はあと何年あるか
- (3) 天然ガスはあと何年あるか
- (4) 石炭はあと何年あるか
- (5) ウランはあと何年あるか

2. 環境・資源制約からみた世界の超長期エネルギー需給見通し

- (1) 将来のエネルギー供給（CO₂フリーケース）
- (2) CO₂抑制ケースの将来エネルギー供給

3. 対応策

エネルギー資源はあと何年あるか

ここで扱うエネルギー資源は、在来型のエネルギー即ち、化石燃料およびウランとする。

エネルギー資源の賦存量あるいは埋蔵量は、いくつかの定義がある。埋蔵量として良く使われる確認埋蔵量は、現時点で技術的、経済的に回収（生産）可能であるものをいう。この確認埋蔵量（R）を当該年（P）の生産量で割ったものを可採年数（R/P）という。R/Pは石油は46年、天然ガスは65年、石炭は220年、ウランは43年である。しかし、R/Pはその年数がたてば無くなるわけではない。それは埋蔵量の方は、発見や確認がされれば増えるからである。確認埋蔵量に未発見、未確認のものを加え、過去の累積生産量を加えたものを究極可採埋蔵量という。そのベースでは可採年数（R/P）は石油の場合確認埋蔵量ベースの2倍近くなる（図表1）。

あと何年あるかという場合は、 R/P ではなくて、究極可採埋蔵量から累積生産量を差し引いて年間生産量で除した年数で考えるべきである。

(1) 世界のエネルギー資源量

エネルギー資源の賦存量の評価の分類としては、発見の確認から、確認資源、未発見資源に分類され、採掘の経済性によって経済的、亜経済的、非経済的と分類される。一般的に使われる埋蔵量は、その時点で経済的、技術的に回収可能という意味で「確認（可採）埋蔵量」である。回収不可能な部分も含めた地球上に存在する「賦存量」は、原始埋蔵量という。このうち、未発見分やすでに生産された累積量を含めた最終的に回収可能な資源量として究極可採埋蔵量がある。これを別な表現で表せば、累積消費（生産）量に確認埋蔵量を加えさらに未発見埋蔵量のうち、発見の可能性の確度が高い量を加えた合計を指す。価格が上昇したり、採鉱、開発、回収技術が進めばこれも増大する可能性もある。

(2) 石油はあと何年あるか

石油の確認埋蔵量ベースでの可採年数は、41～46年とデータによって幅があるが、すでに述べたようにこの年数が経てば枯渇してしまうわけではない。また昔からいわれているように、可採年数が何年たっても減らないといわれているのは、新しく発見、確認されたり、回収技術が進めば可採年数（ R/P ：埋蔵量／生産量）の分母が1年間の生産量／消費量分は減るが、埋蔵量分が増えるので、後者の方が大きければ増加する。分母の P も必ずしも増大一途というわけではなく、世界不況や石油代替で減少することもあり、その結果 R/P が大きくなることもある。

確認（可採）埋蔵量（R）の3分の2は中東に存在し、そのR/Pは100年近くある。アメリカのRは年々減少しており、世界の2%強しか占めておらず、R/Pは9年程度である（図表2、5）。

石油の確認（可採）埋蔵量は、約1兆バレル、究極可採埋蔵量は約2.3兆バレル程度といわれているが、1960年以降発表されたデータでは1.7兆～2.5兆バレル

の範囲内に納まっている。究極可採埋蔵量は約2.3兆バレル、累積生産量を約6千億バレル、年間生産量を約200億バレルとすると可採年数は85年となる(図表7)。

(3) 天然ガスはあと何年あるか

天然ガスの埋蔵量についての概念は、石油と基本的に同じである。違うとすれば、ガスハイドレートという桁違いに埋蔵量が多いが、まだ科学的に確認されていない資源があるということであろう。

確認(可採)埋蔵量は約140兆立方メートル(m³)で、可採年数(R/P)は65年である。地域的な分布は石油が中東に集中しているのに対して、天然ガスは旧ソ連・東欧に40%、中東に32%となっている。天然ガスの確認(可採)埋蔵量は、石油換算で9300億バレル程度と石油に比べ小さいのに対し、生産量が石油の約6割と小さくR/Pは65~69年と石油より長くなっている。天然ガスの究極可採埋蔵量は、200兆~400兆m³と確認可採埋蔵量の2~3倍ある。この幅の中間値300兆m³を究極可採埋蔵量とすれば累積生産量45兆m³を差し引き、年間生産量の約2兆m³で割ればR/Pは120年となる。ただし、今後天然ガス生産量が急速に増加すればPが大きくなりR/Pも小さくなる(図表3.6、7)。

(4) 石炭はあと何年あるか

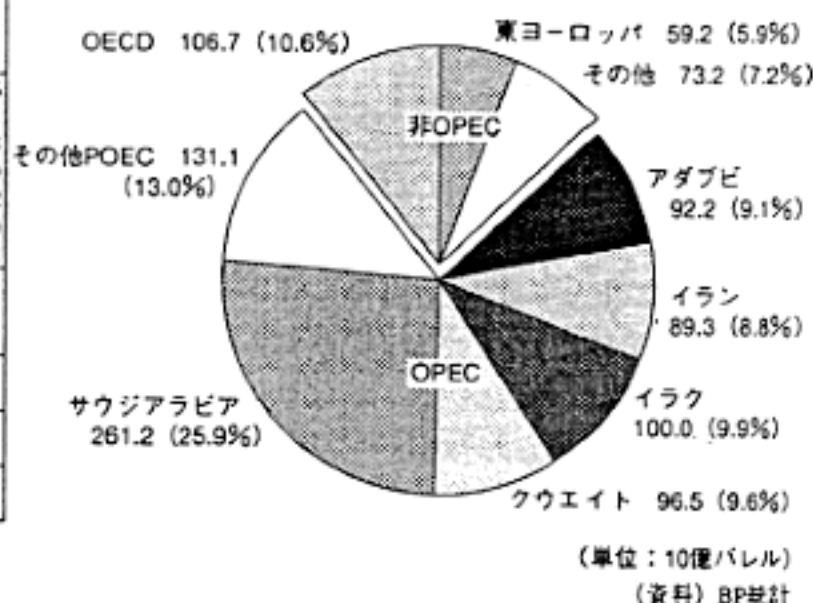
石炭の埋蔵量についての概念は、石油や天然ガスとは若干異なるが、いわゆる確認可採埋蔵量的なものは1兆400億トン（石炭トン＝1.5石油トン）であり、可採年数は220～240年と長い。その分布はアメリカ22%、旧ソ連地域20%、中国、インド、ヨーロッパ各12%と比較的分散している。世界エネルギー会議の資料では確認埋蔵量は約2兆トン、究極埋蔵量は約10.6兆トンと極めて大きい（図表1、4、7）。

図表1・世界のエネルギー資源埋蔵量

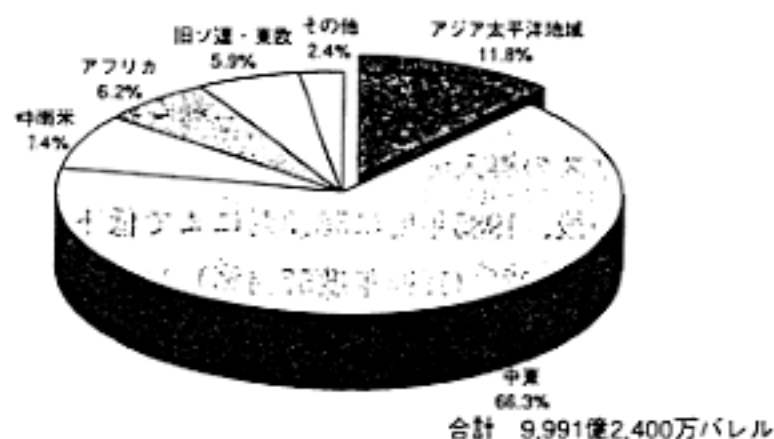
	石油		天然ガス		石炭	
	'96年1月1日現在		'95年1月1日現在		'90年末	
確認埋蔵量 (R)	1,007,475百万バレル 世界計		138m ³ 世界計		10,392億トン	
地域別	北米	2.7%	4.7%	24.0%	1.1	
中東	12.8	5.5	1.1			
欧州	1.5	3.4	9.3			
中東	65.5	32.4	0.0			
アジア・太平洋	4.4	6.6	29.2			
アフリカ	7.2	6.8	6.0			
旧ソ連・東欧	5.9	40.6	30.4			
年生産量 (P)	'95年 61,410千b/d		'95年 220百万m ³		'90年 47.5億トン	
可採年数 (R/P)	'95年 全世界 45年		'95年 全世界 63年		'90年 全世界 219年	
出所	Oil & Gas Journal (December 25, 1995)		Oil & Gas Journal (December 25, 1996)		世界エネルギー会議 ('92年)	
	Oil & Gas Journal (March 11, 1996)		Oil & Gas Journal (March 11, 1995)		(4年に1回開催)	

(注) 1. 統計上のため、和が合わないことがある。
 (注) 2. ウランについては、十分な在庫があることから年産量(4.8万トン)を下回っている。このため、可採年数については、確認埋蔵量を年産量で除した値とした。
 (資料) 通産省編エネルギー'95

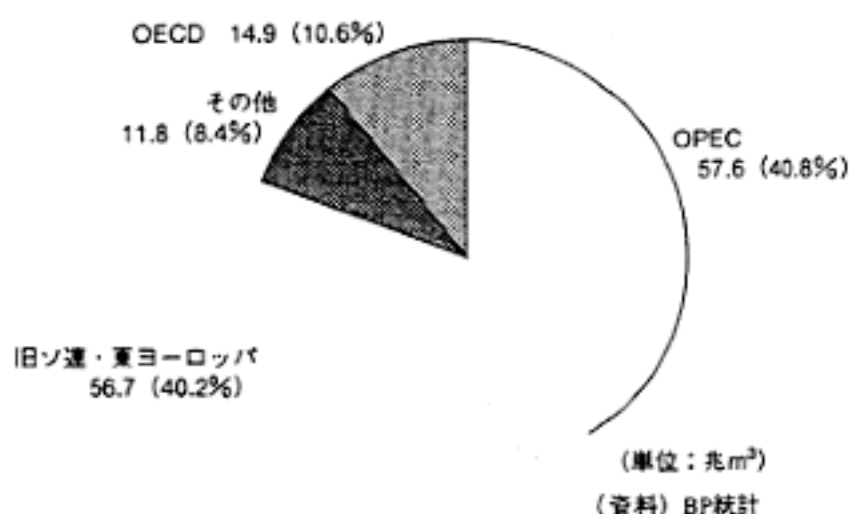
図表5・石油の確認埋蔵量分布(1994年)



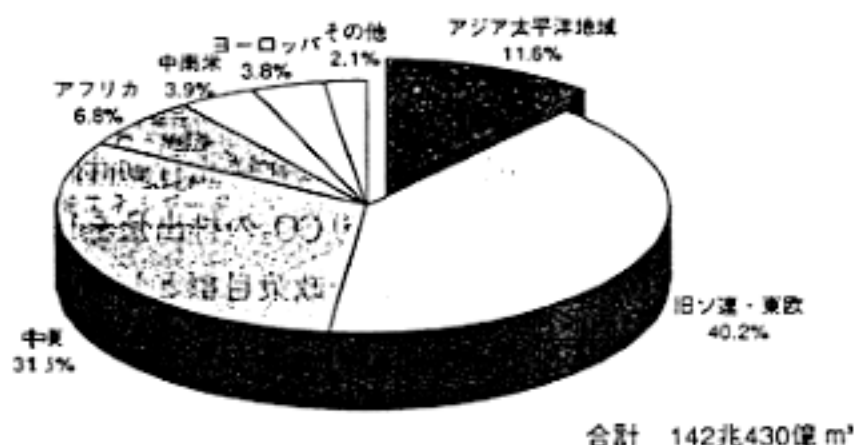
図表2・世界の原油確認可採埋蔵量(1993年)



図表6・天然ガスの確認埋蔵量の分布(1994年)



図表3・世界の天然ガス確認可採埋蔵量(1993年)

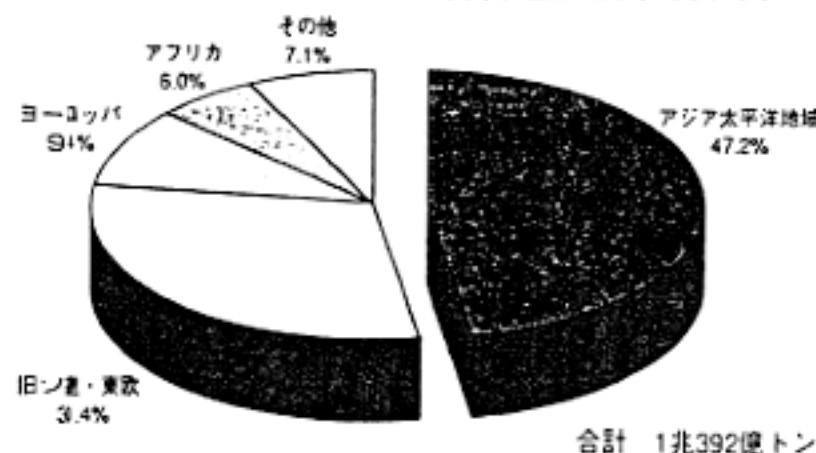


図表7・世界エネルギー資源の比較表

		石油 (億バレル)	ガス (兆m ³)	石炭 (億トンCE)	ウラン (万TU)
究極可採埋蔵量		22,725	328	85,990	1,559
確認可採埋蔵量		10,093	148	10,392	330
年間生産量		243	2.16	44.03	3.43
可採年数(年)		41	69	236	96
石油換算	究極可採	3,091	2,951	59,935	2,252
(億トンOE)	確認可採	1,373	1,334	7,243	477
		100.0	97.2	527.7	34.7

(資料) BP統計等、1994

図表4・世界の石炭確認可採埋蔵量(1991年)



2、 環境・資源制約からみた超長期エネルギー需給見通し

(財) 日本エネルギー経済研究所

<研究目的>

本テーマでは、今後の世界のエネルギー需要増加による資源制約、環境制約を考慮した 2100 年までの超長期エネルギー需給見通しを行う。

<主要な結論>

- 1 将来 (2100 年) の世界の最終エネルギー需要は、発展途上国の需要増加を背景におよそ石油換算 340 億トンと現在の約 7 倍程度になるが、今後経済発展する途上国のエネルギー消費効率を日本レベルに改善することにより、約 300 億トンにエネルギー消費量を減少させることができ、約 12% 程度の省エネルギーが可能である。
- 2 最新のデータに基づいて将来の資源評価をおこなった。それによれば、現在の確認可採埋蔵資源は、石油：2020～2030 年、天然ガス：2040 年、石炭：2050～2060 年頃に消費されてしまい、その後は、現在未確認のより高コスト資源を消費していくことになる。ただし、石炭については、^(注) CO₂ 抑制ケースでは CO₂ 排出原単位が化石エネルギー中最も高いため、2100 年でも確認可採埋蔵資源で賄いうる。また、将来、アジア地域の需要が高まることから、エネルギー需給が逼迫する懸念もありうる。
- 3 2100 年の CO₂ 排出量は約 40Gt-C (炭素換算トン) となるが、途上国の省エネルギーによって、12Gt-C 程度の CO₂ が削減可能である。削減量は中国・インドが最も大きく、8 Gt-C である。
- 4 将来のエネルギー供給は、CO₂ 制約がない場合には石炭の供給比率が高くなる。しかし、CO₂ 制約ケースの場合には、化石エネルギーの使用は困難となり、需要の 8 割余りを満たせなくなる。この問題に対応するための化石エネルギーの高効率使用技術、CO₂ 回収・固定技術、新エネルギー等の導入が望まれる。
- 5 仮定として、CO₂ 抑制ケースで太陽光発電によって上記 4 の不足分を満たすことを考える。しかし、これは世界の全ての砂漠に太陽光発電装置を設置したとしても、2100 年にはエネルギー需要 300 億トンの 16% あまりが不足となる試算結果となった。
- 6 CO₂ 制約を考慮すると、将来にわたって持続可能な経済社会を形成するためには、需要サイドでは、先進国主導での世界的省エネルギーの推進、供給サイドでは環境対応型のエネルギー技術の開発・導入を推進していくことが必要と考えられる。

^(注) CO₂ 排出量を 1990 年～2030 年までは抑制せず、その後 2100 年に 1990 年レベルの排出量になるように抑制するケース

<説明>

はじめに

今後、世界のエネルギー問題の超長期的な課題として、人口問題、発展途上国の経済発展に伴うエネルギー需要の急増、一方では、エネルギー消費増大に伴う地球環境問題が台頭してきている。

本テーマでは、最新のデータによる資源評価を行い、それに基づいて、資源、CO₂ 排出量を制約条件として、LP（線形計画）モデルによって2100年までの世界のエネルギー需給を展望した。

1 将来のエネルギー需要の推計

過去の国別一人当たり所得と人口成長率、一人当たりエネルギー消費量のトレンドに着目して将来の人口、最終エネルギー消費量を推計した。人口、エネルギー消費量は、その国の一人当たり所得と関連がある。経験的には、一人当たり所得が増加すればそれに伴い人口増加率は減少し、一人当たりエネルギー消費量は増加すると思われる。そこで今回は、世界各国を一人当たり所得で6段階に分類して、各段階での人口と一人当たりエネルギー消費量の各々の成長率を推計した。各国はある段階から次の段階へ移行することによって、人口成長率と一人当たりエネルギー消費成長率は変化する。このように、より低い所得段階からより高い所得段階に移行していくことによって人口成長率と一人当たりエネルギー消費量に変化することに着目して将来の世界の最終エネルギー需要を推計した。

それによると、2100年の最終エネルギー需要は1990年に比較して約7倍の340億トン程度になる。また、今後、途上国の急速な経済発展が見込まれているが、将来の発展に伴う途上国の原単位の上昇を日本レベルに抑制（原単位改善ケース）した場合、300億トン程度となり約12%の省エネルギーが可能となる。

2 資源評価

各資源についての供給可能量を、最新のデータによって評価した。また、将来の各資源の累積消費量と埋蔵量の関係を示したのが図3-3、図3-4、図3-5である。これによれば、石油については2020～2030年頃、天然ガス2040年頃、石炭は2050～2060年頃には1995年評価の確認可採埋蔵資源からより割高な資源へとシフトしていくことになる。ただし、CO₂ 制約ケースの場合、石炭についてはCO₂ 排出原単位が他燃料に比べて高いことから使用が困難となり、2100年まで、確認可採埋蔵量で賄える結果となった。しかし、アジア地域を中心に途上国の経済発展が見込まれるため、この地域でのエネルギー需給が21世紀中頃より逼迫する可能性がある。

また、地域別の供給と貿易は、要約すると以下のようなになる。

石油：中東依存度は今後高まり、現在の 31%から 2030 年には 52%とピークを迎えるが、その後は埋蔵量の関係から、米大陸からオイルシェール、タールサンド等の非在来型石油資源の供給が急増する見込み。

天然ガス：将来、旧ソ連・東欧からの供給が増加する見込み。

石炭：資源の賦存状況は、石油、天然ガスに比べて地域偏在性が低く、また政治的に安定した地域に分布しており、将来にわたっても安定的な供給が行われよう。

3 省エネルギー対策による CO2 削減効果

将来の途上国の一人当たりエネルギー消費原単位を日本レベルに抑制する今回試算の省エネルギーによって、全世界で炭素換算 120 億トン (12Gt-C) の CO2 が削減される。また、その効果は中国・インドが最も大きく、80 億トン程度の削減量となる。

4 将来のエネルギー供給展望

将来のエネルギー供給は、CO2 制約がない場合には、資源量の最も多い石炭による供給が大きな比率を占める。しかし、CO2 制約がある場合には、現状の方式での化石エネルギーの使用は困難となり、需要の 8 割程度を満たせなくなるため、CO2 排出抑制型のエネルギー、CO2 固定・回収技術の開発が必要となる。

仮定として、原子力によるエネルギー供給が全く行われず（つまり原子力発電は 0 とする）、太陽光発電によって全エネルギー需要の不足分 70%以上を賄うことを考える。これは全世界の砂漠に太陽光発電装置を設置したとしても、需要を賄いきれない試算結果となった。

将来にわたって持続可能な社会を形成するためには、需要サイドでの先進国の積極的省エネルギーの推進、途上国への技術・資金等の支援、供給サイドでは環境対応型のエネルギー技術の開発・導入を推進していくことが必要であろう。

5 持続可能な社会の構築のために

今後、発展途上国を中心にエネルギー消費量は急増すると予想される。一方、超長期的視点から化石エネルギーは有限であり、その供給は必ず壁に突き当たる。また、エネルギー消費量の増大は地球環境にも影響を及ぼす。このような厳しい状況下で持続可能な経済社会を構築していくためには、需要サイドでは地球規模での省エネルギーを推進するとともに、供給サイドでは早期に環境対応型のエネルギー供給供給体制の構築を積極的に図っていかなければならないと考えられる。

(図表1) 今回推計による将来の世界人口

年	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
北米	287	299	311	321	324	323	319	312	304	296	287	279
中南米	450	530	619	715	808	909	1,010	1,090	1,142	1,193	1,245	1,296
西欧	381	403	427	453	476	497	517	527	531	530	526	516
アジア	3076	3,547	4,030	4,499	4,830	5,154	5,383	5,604	5,731	5,794	5,858	5,893
旧ソ連・東欧	504	594	697	811	925	1,044	1,172	1,288	1,356	1,417	1,480	1,544
アフリカ	630	580	682	795	915	1,033	1,161	1,299	1,375	1,437	1,501	1,567
合計	5328	5,953	6,766	7,594	8,278	8,960	9,562	10,120	10,439	10,667	10,897	11,095

(単位) 100 万人

(図表2) 今回推計による世界の最終エネルギー需要

(原単位自然ケース:将来の途上国のエネルギー消費量/人を抑制しないケース)

年	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
北米	952	992	1,034	1,214	1,115	1,032	938	860	838	815	791	768
中南米	391	460	813	1,176	2,268	3,039	3,615	3,807	3,697	3,565	3,475	3,582
西欧	1,147	1,215	1,321	1,647	1,630	1,625	1,567	1,491	1,475	1,461	1,449	1,420
アジア	1,500	1,697	3,132	4,239	6,831	8,662	12,602	18,437	19,191	19,878	20,355	19,389
旧ソ連・東欧	315	374	735	1,068	2,067	3,152	3,882	4,503	4,515	4,441	4,317	4,361
アフリカ	166	199	414	773	1,381	2,243	3,208	4,299	4,745	4,844	4,763	4,666
合計	4,471	4,938	7,449	10,118	15,292	19,752	25,811	33,397	34,460	35,004	35,150	34,186

(単位) Mtoe

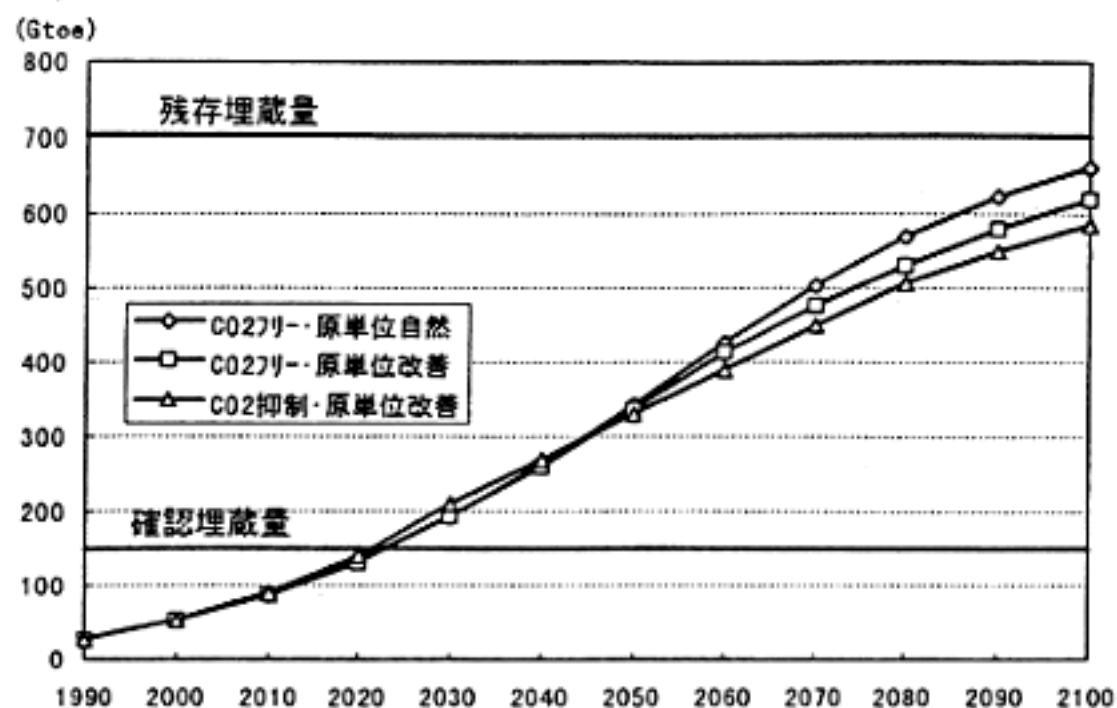
(原単位改善ケース:将来の途上国のエネルギー消費量/人を日本並に抑制したケース)

年	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
北米	952	992	1,034	1,214	1,115	1,032	938	860	838	815	791	768
中南米	391	460	813	1,176	2,268	2,795	3,116	3,262	3,295	3,285	3,429	3,569
西欧	1,147	1,215	1,321	1,647	1,630	1,625	1,567	1,491	1,475	1,461	1,449	1,420
アジア	1,500	1,697	3,132	4,239	6,831	8,662	12,602	16,770	16,538	15,958	16,133	16,233
旧ソ連・東欧	315	374	735	1,068	2,067	3,152	3,615	3,855	3,913	3,902	4,076	4,251
アフリカ	166	199	414	773	1,381	2,243	3,208	3,887	3,968	3,957	4,134	4,315
合計	4,471	4,938	7,449	10,118	15,292	19,508	25,045	30,125	30,027	29,376	30,012	30,556

(単位) Mtoe

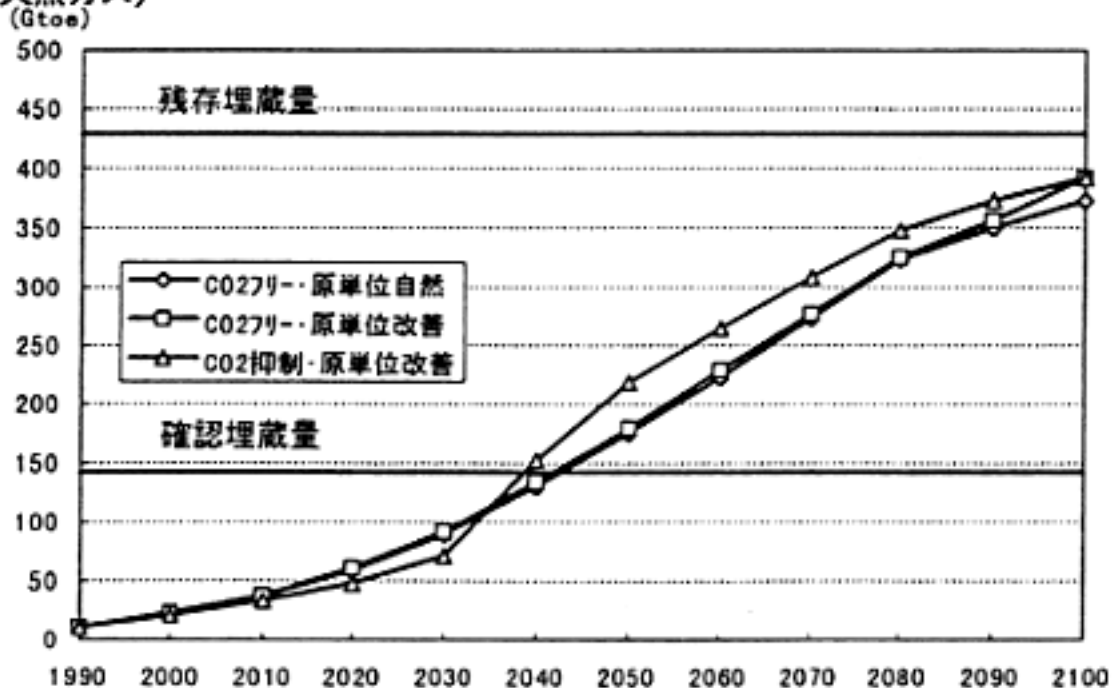
(図表 3) 化石資源の一次エネルギー累積消費量の推移

(石油)



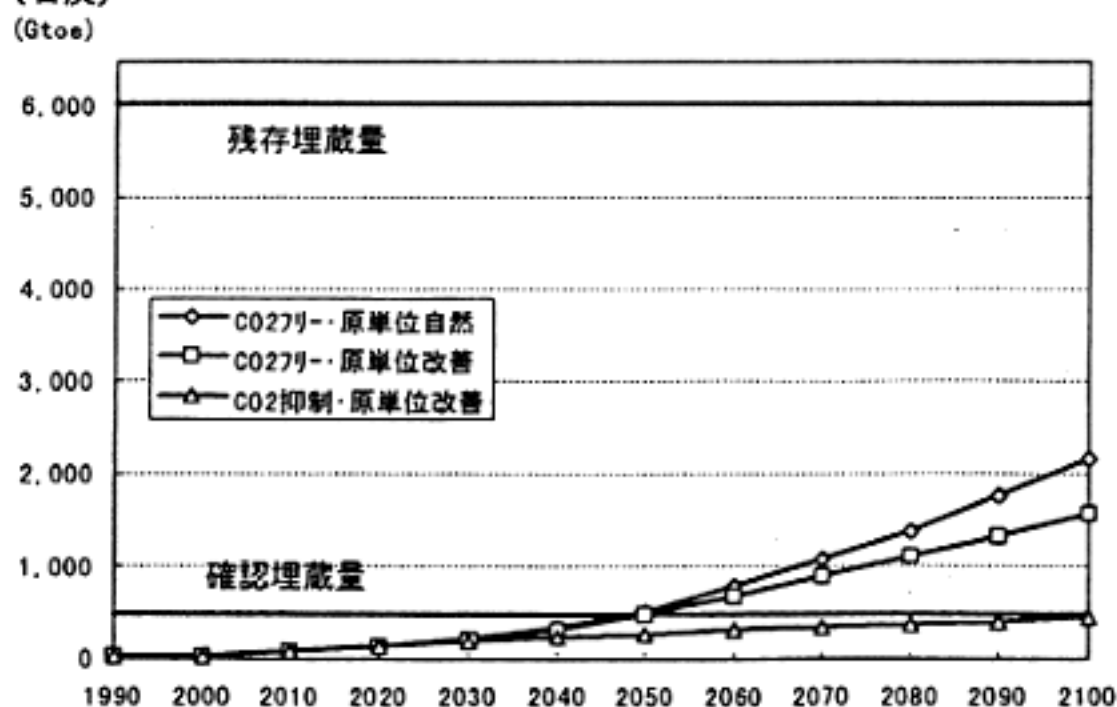
(図表 4)

(天然ガス)

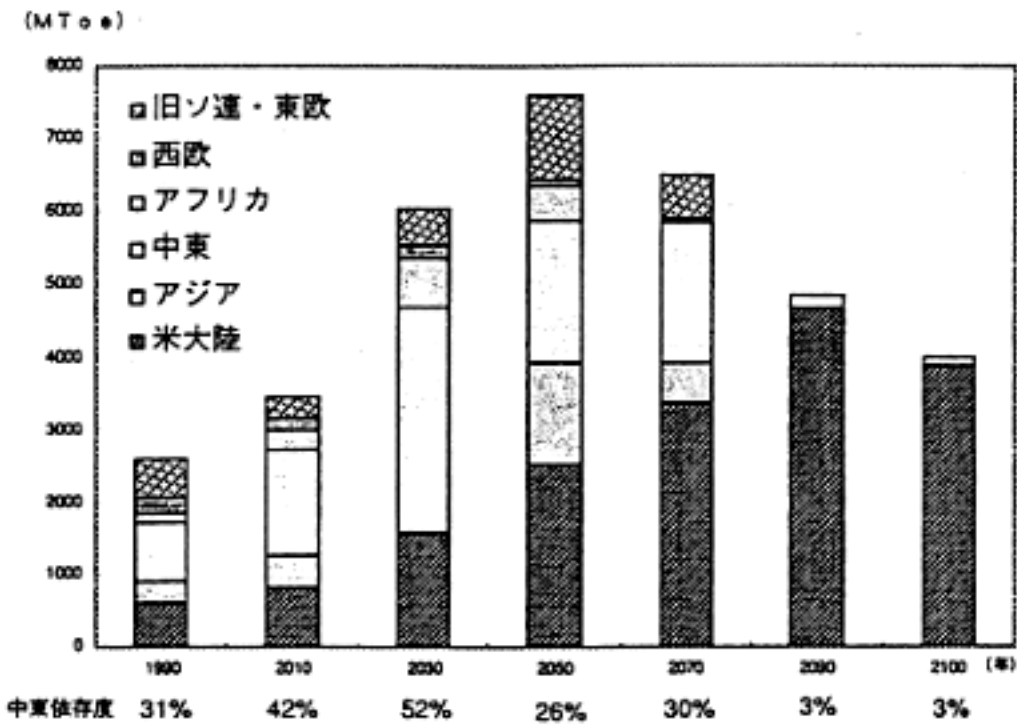


(図表 5)

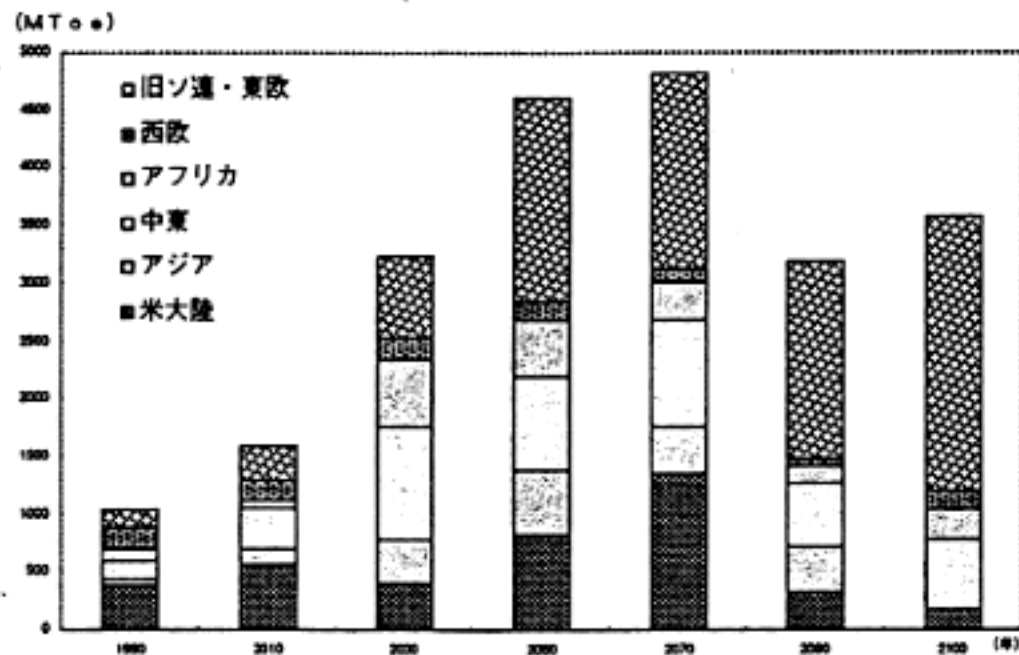
(石炭)



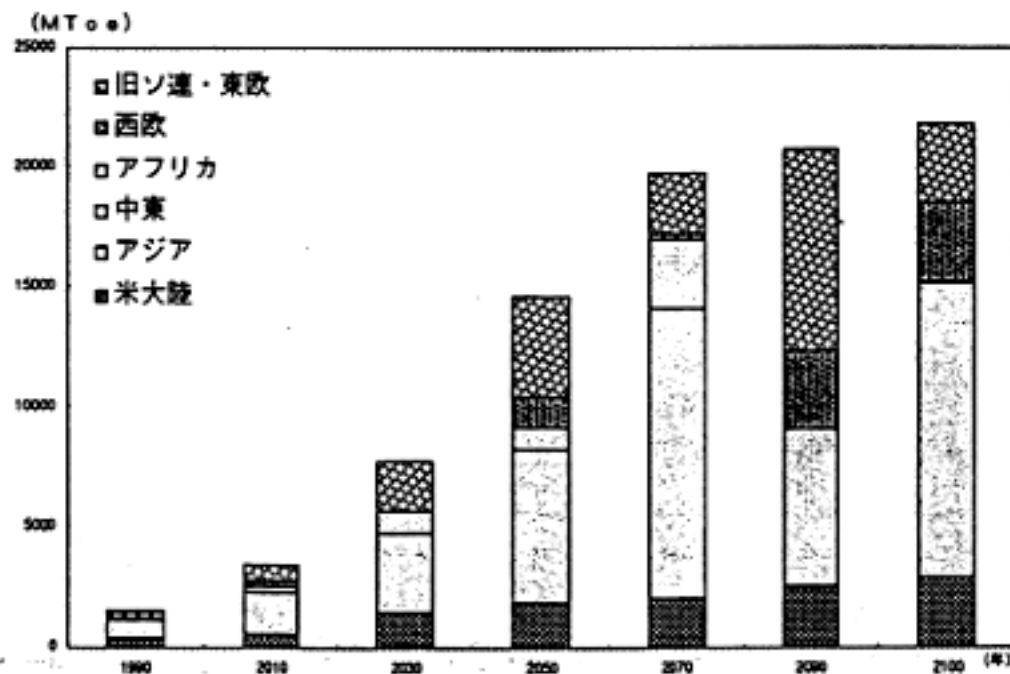
(図表 6) 石油の供給構造



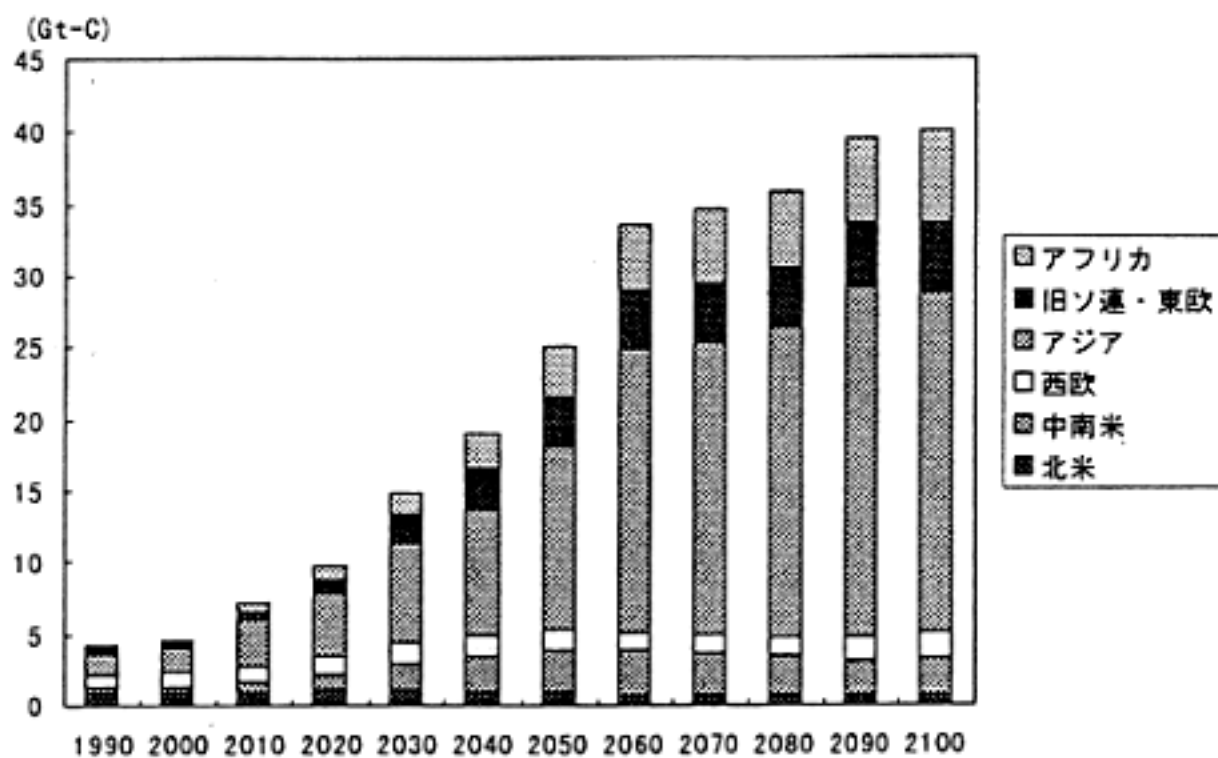
(図表 7) 天然ガスの供給構造



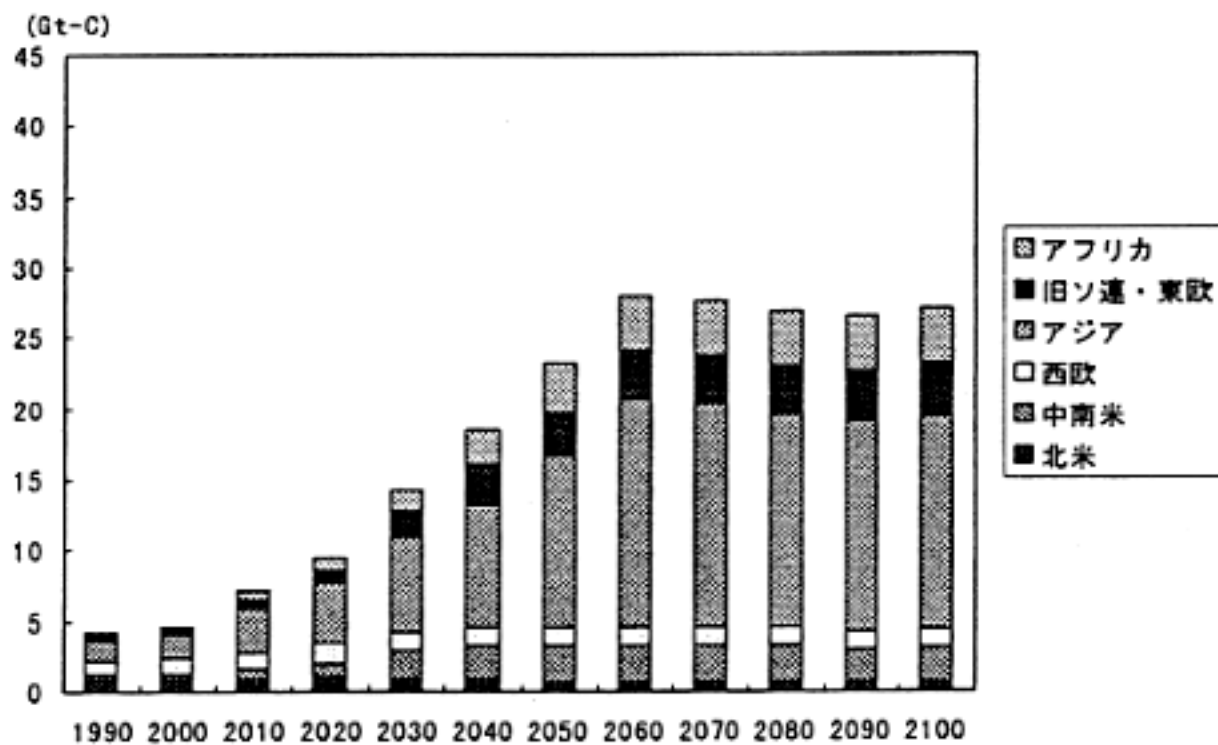
(図表 8) 石炭の供給構造



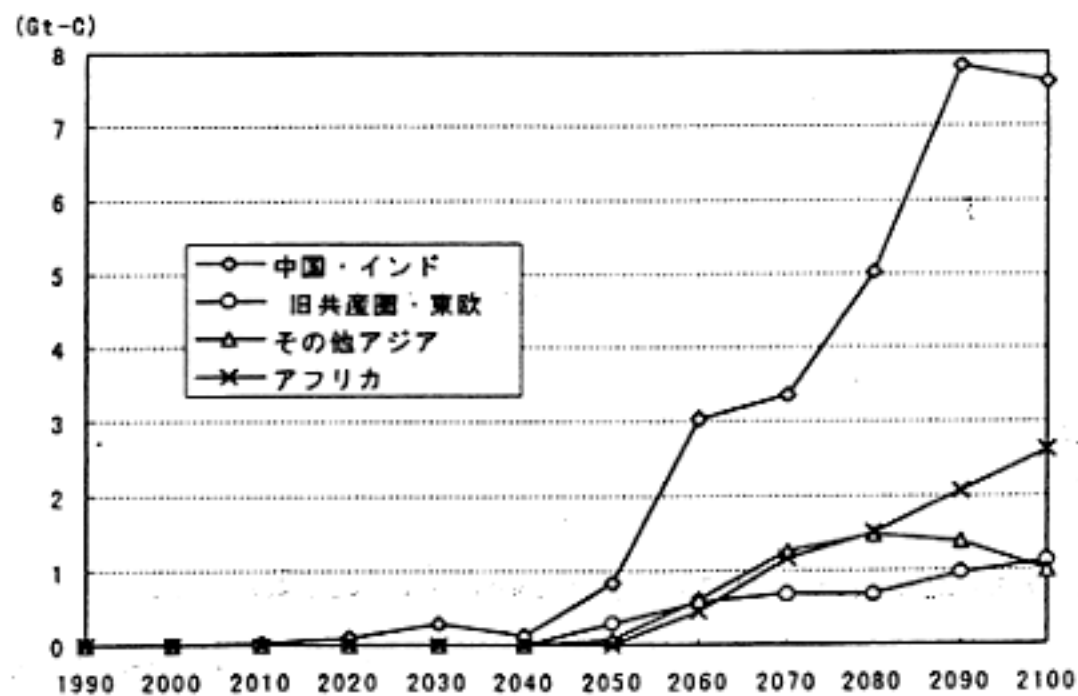
(図表 9) 将来のケース別 CO2 排出量の推移
(CO2フリー・原単位自然ケース)



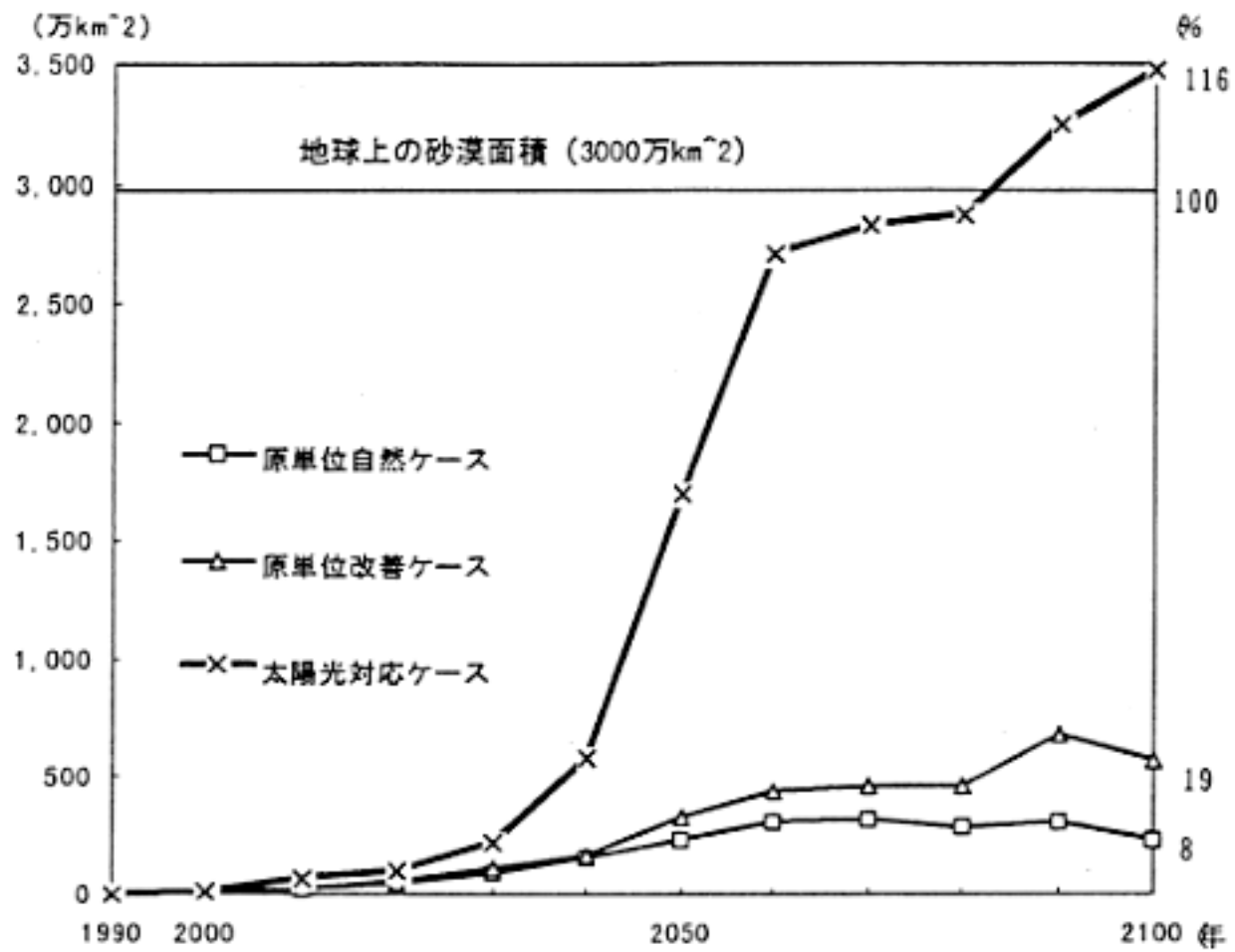
(CO2フリー・原単位改善ケース)



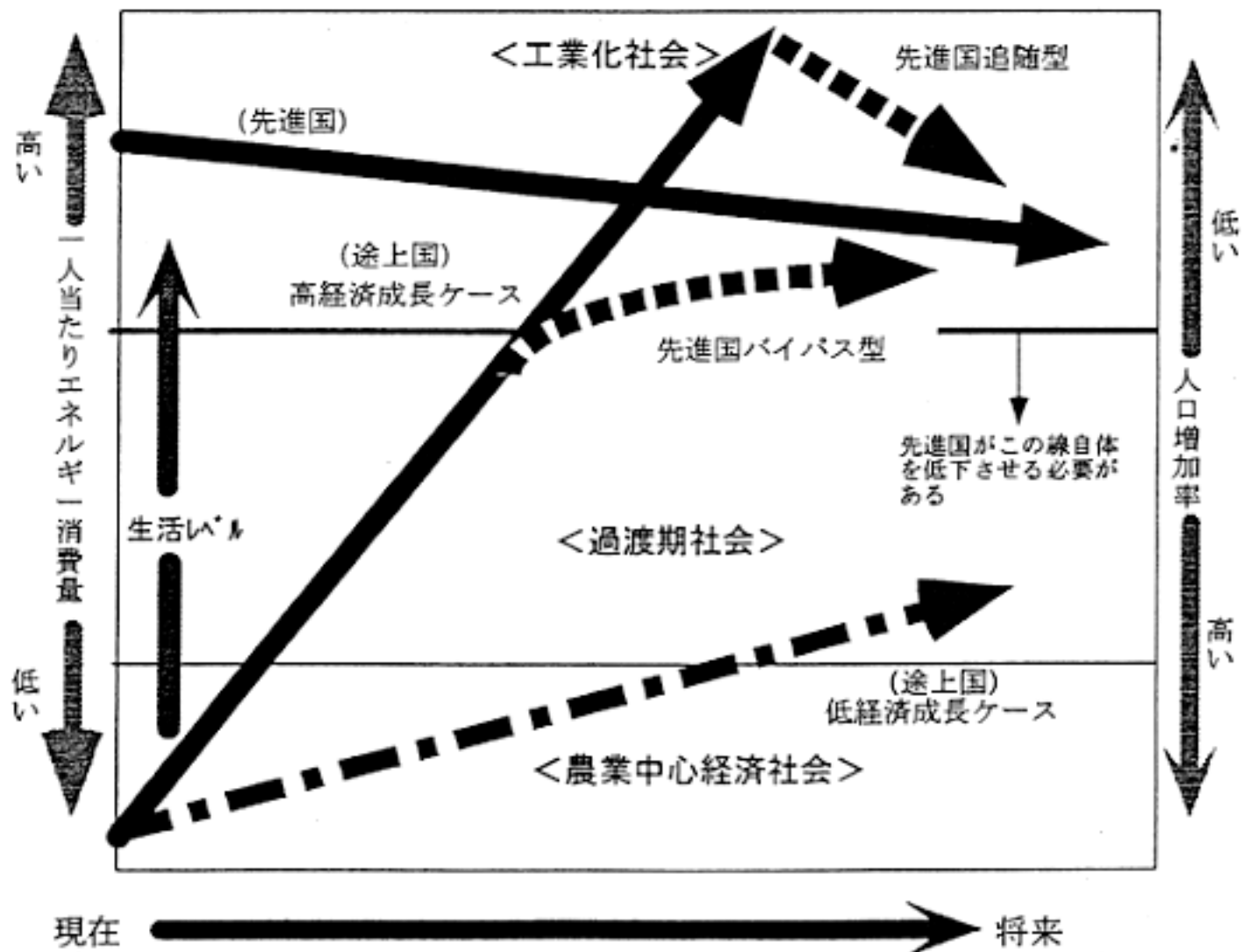
(図表 10) 原単位改善によるCO2削減効果



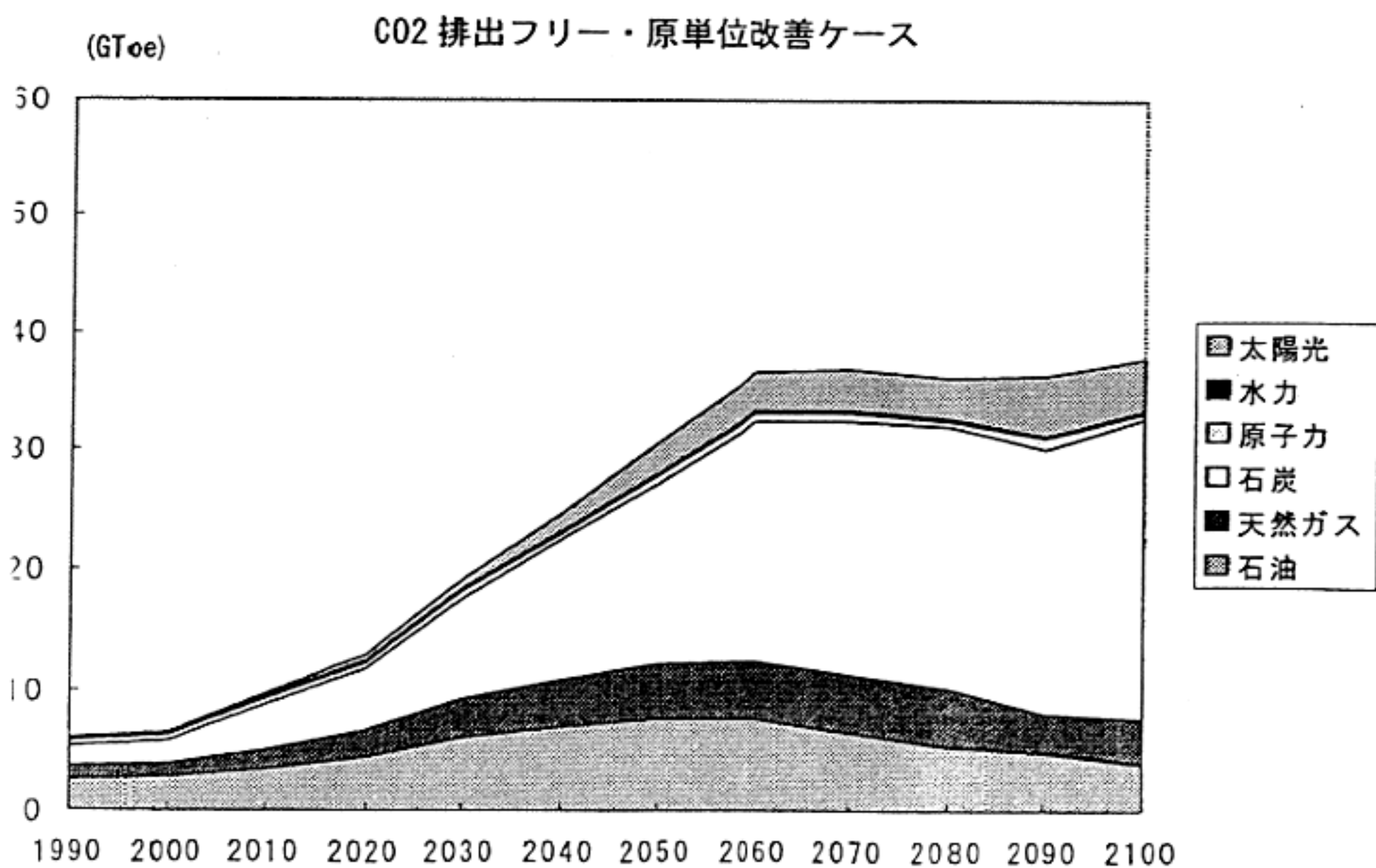
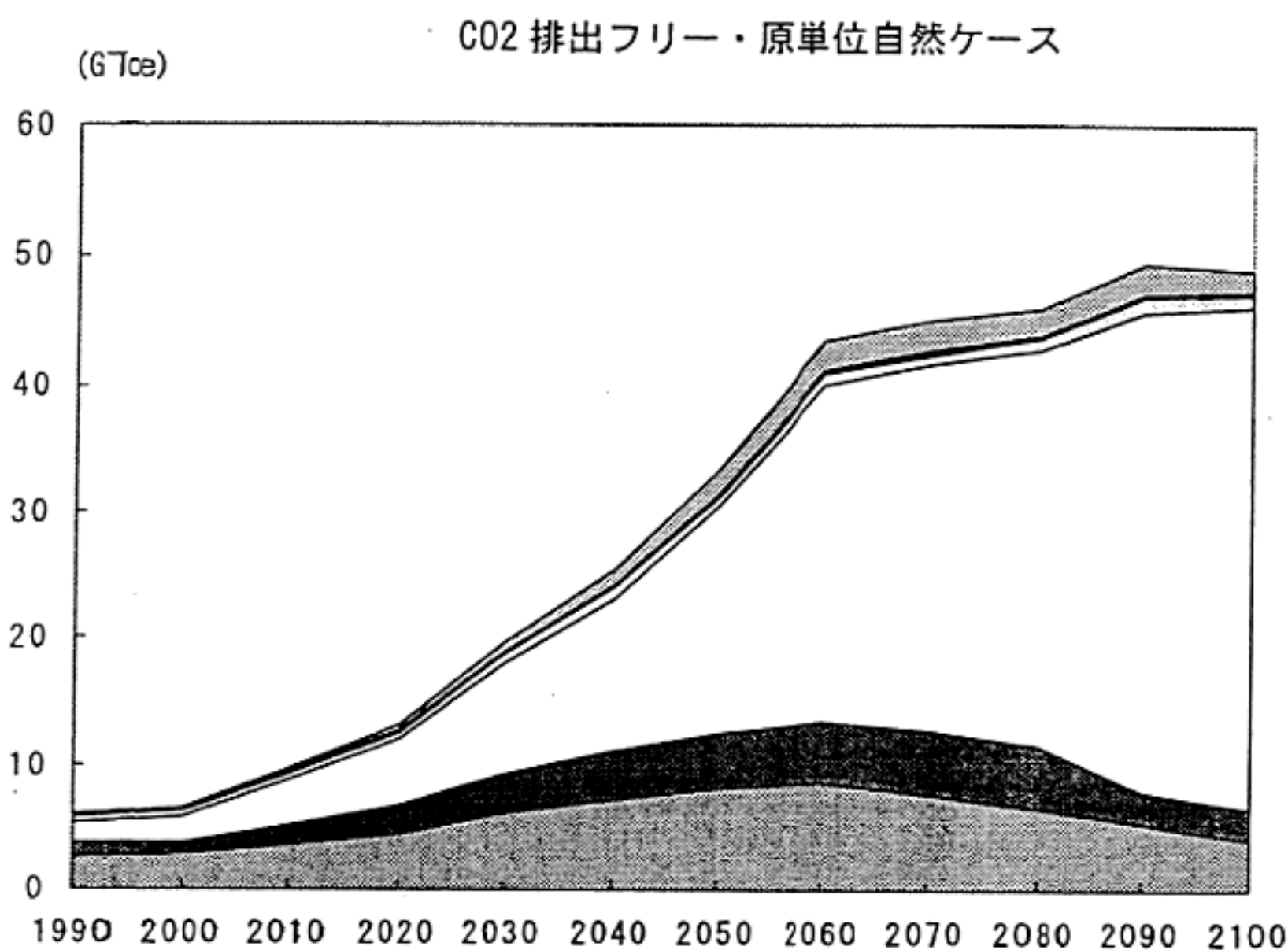
(図表 1 1) 太陽光発電のポテンシャル評価



(図表 1 2) 今後の世界の省エネルギー概念図

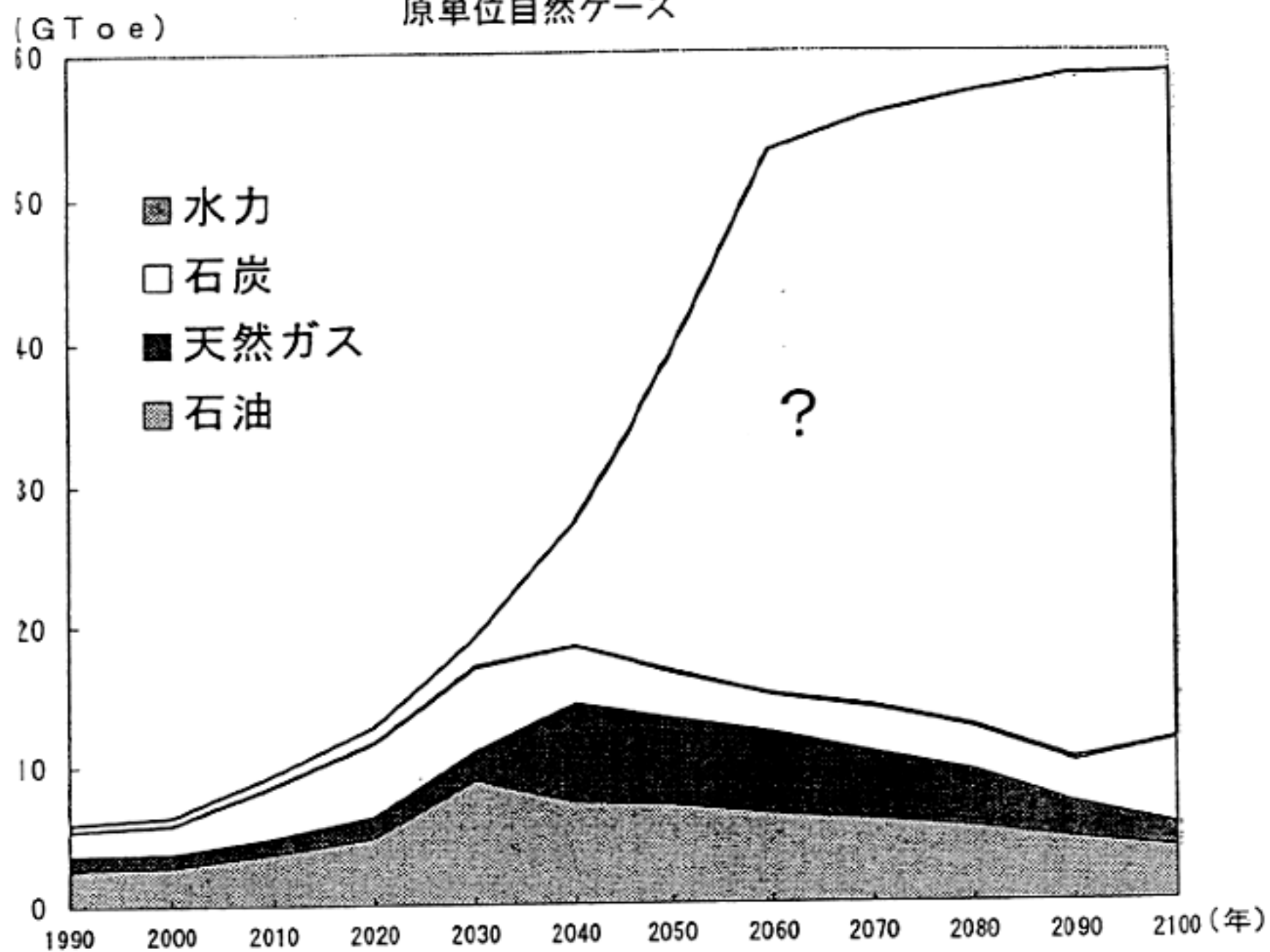


2-(1) 将来のエネルギー供給 (CO₂フリーケース)



2-(2) CO2 抑制ケースの将来のエネルギー供給

原単位自然ケース



原単位改善ケース

