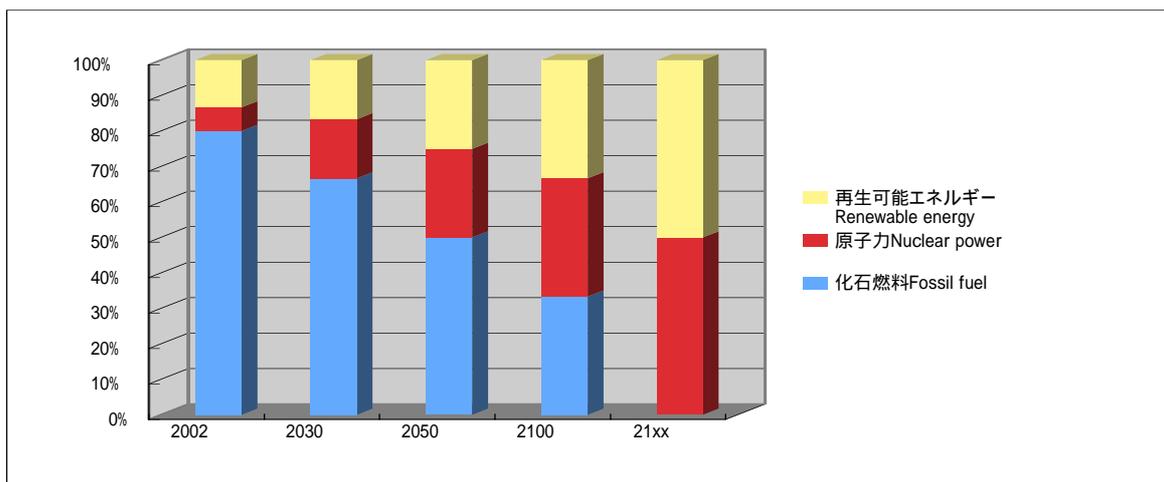


2050年のエネルギー構成

東京大学 大学院工学系研究科
湯原 哲夫



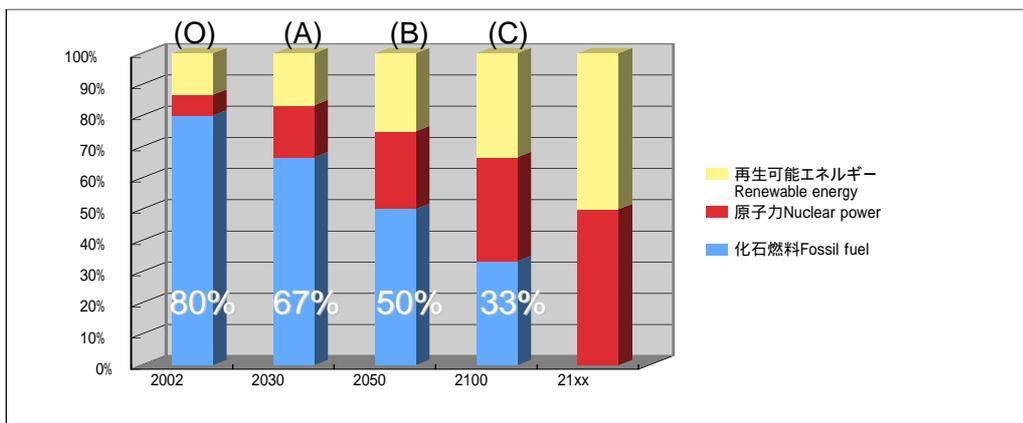
世界の超長期エネルギービジョン

年	2000	2030	2050	2100	備考
人口(億人)	60	80	100	120	
GDP(兆US\$)	35	80	120	250	
(成長率)		(3%)	(2.5%)	(2%)	
総エネルギー需要(億 toe)	100	190	220	280	原単位改善率 1%/年
化石燃料総量(構成タイプ*1)	83 (O)	124 (A)	108 (B)	92 (C)	
CO2排出量(億 C-t)	64	89	77	66	500ppmレベルで安定
CO2/GDP (Ct / M\$)	188	107	65	26	2000年日本 58

世界的な規模での環境と経済の両立

- 経済成長と化石燃料 + 原子力 + 再生可能エネルギーのバランス維持
- 継続的な省エネルギー
- CO2削減と大気中濃度の安定化 (今世紀中に500ppmレベル)を可能にする

* 1 化石燃料：原子力：再生可能エネルギーの構成比
(O) 80%:10%:10% (A) 67%:17%:17% (B) 50%:25%:25% (C) 33%:33%:33%



超長期見通しに於けるエネルギー構成の型

	化石燃料			原子力	再生可能	各需給見通しの エネルギー構成	
	石油	ガス	石炭				
現在	80%	36%	21%	23%	7%	13%	・2000年世界の一次エネルギー供給の構成
O型	80	40	20	20	10	10	・2030 METI(2006)BAU ・2030 IEA(2004版)
A型	67	33	16.7	16.7	16.7	16.7	・本案：2030年世界
B型	50	12.5	25	12.5	25	25	・本案：2050世界 ・2030年先進国 ・2030 経済同友会 ・2030 TRIPLE 50
C型	33	8	10	15	33	33	・本案：2100年世界

2006.9 T.YUHARA

経済成長を維持し、大気中二酸化炭素を安定化させるためには、世界のエネルギー構成を2030年までにA型に、2050年までにB型にすること。

	世界 GDP 合計	エネルギー-需要	石油		総化石燃料/ 年	二酸化炭素 排出量/ 年
			年間 2050 年	累積*1 (2000~)		
(単位)	兆 US\$	億 toe	億 toe	兆 bbl	億 toe	億 Ct
2000年実績値	34	104	(O)37		83	64
2030年3%成長	83	186	(O)74	1.14	149	115
			(A)62	1.01	124	89
2050年2.5%成長	118	215	(A)71	2.13	143	110
			(B)27	1.62	108	77
2100年2%成長	250	276	(C)22	2.44	92	66

*1: 石油の埋蔵量 1兆 2925億バレル=1900億 toe (2003年 Oil & Gas Journal)

超長期の化石燃料総量と二酸化炭素の排出

年	2000	2030	2050	2100	備考
人口(億人)	60	80	100	120	
GDP(兆 US\$) (成長率)	35	80 (3%)	120 (2.5%)	250 (2%)	
総エネルギー需要 (億 toe)	100	190	220	280	原単位改善率 1%/年
化石燃料総量(億 toe) (構成タイプ)	83 (O)	124 (A)	108 (B)	92 (C)	
CO ₂ 排出量(億 C-t) (億 CO ₂ -t)	64 (236)	89 (326)	77 (283)	66 (242)	500ppm 前後で 安定化
CO ₂ /GDP(Ct/M\$)	188	107	65	26	2000 年日本 58 (実績)

原子力発電とウラン消費量・累積量

	世界の GDP 合計	総 エ ネ ル ギ - 需 要 *1	原子力			ウラン使用量 (2000 ~)	
			構成比 *2	発電量	発電設備	年間 千 tU/年	累積 千 tU *3
(単位)	兆 US\$	Mtoe	%	TWh (Mtoe)	GW		
2000 年実績値	34	10,400	7%	2,654 (692)	364 (441 基)	67	
2030 年 3%成長	83	18,600	16.7%	11,900 (3,100)	1700	300	5,520
2050 年 2.5%成長	118	21,500	25%	20,625 (5,375)	2940	521	13,740
2100 年 2%成長	250	27,600	33%	35,300 (9,200)	5040	891	49,000

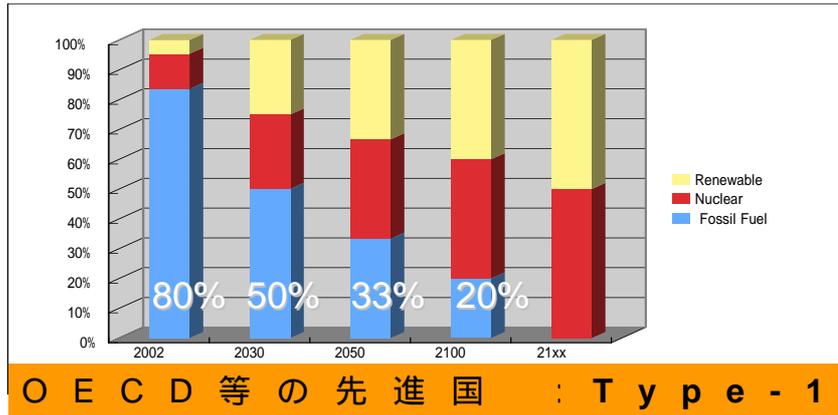
*1 エネルギー原単位改善率 1% / 年

*2 原子力の構成：(O)1/10 (A) 1/6 (B)1/4 (C)1/3

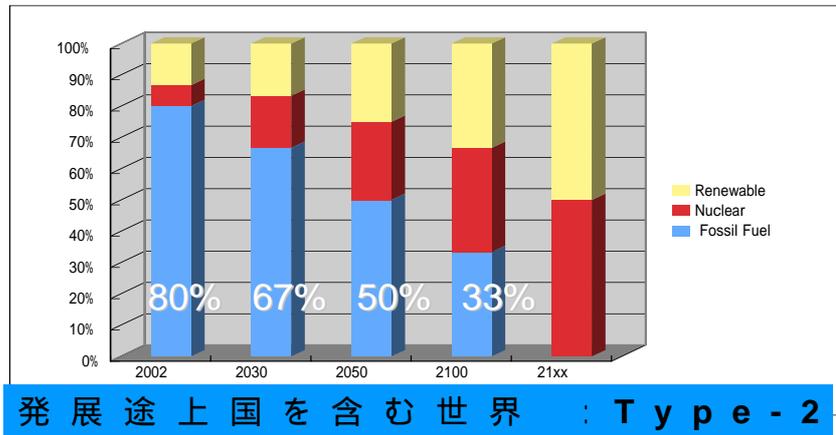
*3 ウランの資源量：確認埋蔵量 4,540 千 tU(回収コスト\$130/kg 以下) 究極埋蔵量 14,400 千 tU

気候変動 / 温暖化とCO₂安定化の世界のエネルギー構成

□ OECD加盟国は発展途上国に先んじて、エネルギー構成の改善を行い、高い生産性と持続可能性を可能にする構成を先行して実現する必要がある。

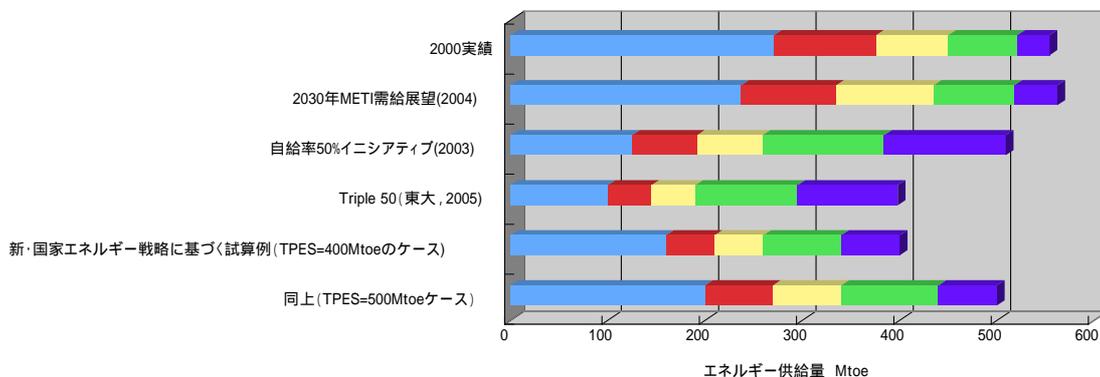


□ 発展途上国の高い経済成長と化石燃料、原子力、再生可能エネルギーのバランスをとった燃料構成により、今世紀中の大気中の二酸化炭素濃度の安定化(550ppm以下)がはかれる。



2030年のエネルギー構成比較

■ 石油 ■ 石炭 ■ 天然ガス ■ 原子力 ■ 再生可能



	成長率	実質GDP	原単位	総1次エネルギー供給(TPES)	備考
2002年	-	536兆円	98.2toe/億円	528Mtoe	EDMCより
2030年	平均1.6%/年 2.0%: ~2010 1.7%: ~2020 1.2%: ~2030	820	68.7(30%減)	564Mtoe (607原油換算百万kl)	METI需給展望(2004) レファレンス・ケース
			60.5(38%減)	496	同上 省エネ進展ケース
			49.1(50%)	402	
2030年	1.0%/年	700	57.1(42%減)	400	

2050年の日本のエネルギー構成試算例

□2050年GDPを1.5倍とし、GDPに対するCO₂排出原単位を1/3にする（技術戦略マップ—エネルギー分野 2005.10）と、化石燃料の構成割合はほぼ50%となり、かつCO₂排出も半減する（いずれも2000年比）

	実質 GDP	エネルギー原単位(/GDP)	総一次エネルギー供給	CO ₂ 排出原単位 /GDP	CO ₂ 排出量	化石燃料総量 (構成比)
年	兆円	Mtoe/億円	Mtoe	Mt-C/億円	Mt-C	Mtoe (%)
2000年実績	537	98.2	559	59.0	316	463(83%)
2030年	698 = x1.3	68.7(30%減)	480	29.5(x1/2)	214(33%減)	273(57%)
2050年	806 = x1.5	49.1(50%減)	396	19.6 (x1/3)	158(50%減)	203(51%)

化石燃料のCO₂排出原単位：0.78Mt-C/Mtoe（石油0.78：石炭1.00：天然ガス0.56の構成比 2:1:1に相当）

2030年のエネルギー供給の規模(試算例)

□成長率を平均1%とし、GDP当たりのエネルギー原単位を40%向上させると、総一次エネルギーは約4億石油換算トンの規模となり、CO₂排出は約35%削減となる。

	成長率 (%/年)	実質 GDP (兆円)	原単位 (toe/億円)	総一次エネルギー供給 (Mtoe)	備考
2002年	-	536	98.2	528	EDMC より
2030年	平均 1.6%	820	68.7(30%減)	564	METI 需給展望(2004)
	2.0%: ~2010 1.7%: ~2020 1.2%: ~2030		60.5(38%減)	496	レファレンス・ケース 同 省エネ進展ケース
2030年	平均 1.0%	700	57.1(42%減)	400	

戦略的意志 “2030年エネルギー自給率50%”イニシアティブ

(湯原、田邊、福井 2003年2月 経済同友会)

□「化石燃料50%、原子力25%、再生可能エネルギー25%」を目標にする。
技術的、財政的、経済的に可能。CO2を30%削減する。

1. 2001年 一次エネルギーの総供給の割合(520 石油換算トン)

石油 50%	石炭19%	天然ガス 13%	原子力 13%	再生可能 5%
--------	-------	----------	---------	---------

2. 2030年 エネルギー自給率 50% (2030年)

石油 25%	石炭 13%	天然ガス 13%	原子力 25%	再生可能25%
--------	--------	----------	---------	---------

内訳

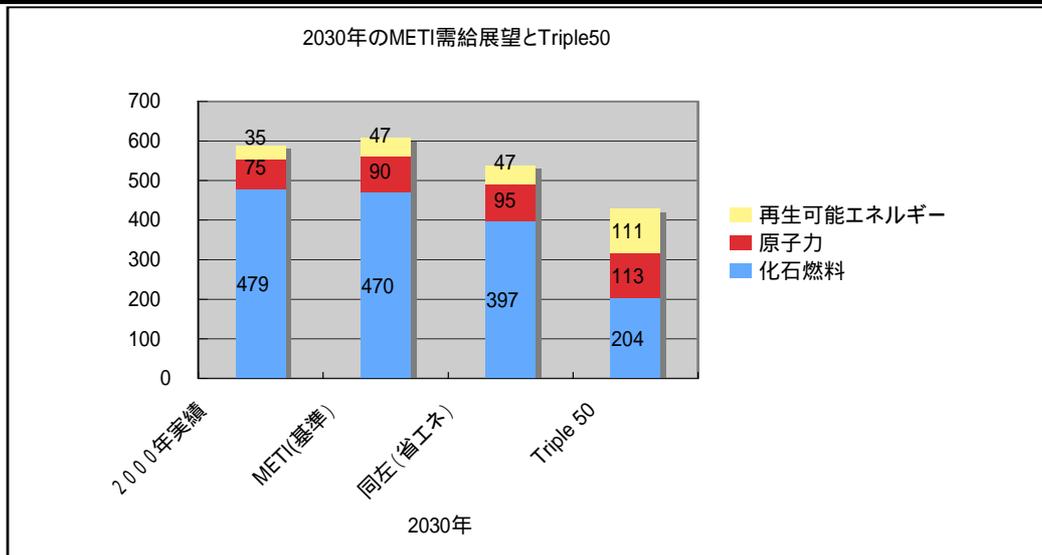
水力 5%	地熱 2%	太陽 3%	風力 1%	廃棄物 4%	バイオマス 10%
-------	-------	-------	-------	--------	-----------

発電容量 風力 7百万kW 太陽:25百万kW 廃棄物:8百万kW バイオマス:7百万kW
総投資額:1.8兆円(6000億円/年)

日本経済新聞「エネルギー新世紀」2003.2-4 計43回連載
<http://energy.t.u-tokyo.ac.jp/yuhara/>

日本のTriple 50 (トリプルフィフティ)

	エネルギー自給率	化石燃料依存率	エネルギー利用効率
現在	20%	80%	35%
2030年	50%	50%	50%



Triple50 持続型社会研究協議会 [東京大学 + 東芝・日立・三菱重工・石川島播磨重工] 2005.5
<http://rmo.iis.u-tokyo.ac.jp/jizoku.index.html>

ビジョン達成に必要な重要技術

1. 化石燃料をクリーンに、高効率に使うこと
 ガス化技術(石炭、バイオマス)、
 CO₂隔離技術
 トリプルサイクル発電(天然ガス、石炭ガス化、SOFC)
2. 燃料サイクルの確立と高速増殖炉の実用化
 高速増殖炉FBR, 多目的高温ガス炉HTTRの実用化
 燃料サイクルの確立
3. 大容量の二次電池(リチウムイオン電池)と再生可能エネルギーシステムの関係
 太陽光、風力による自立分散型電源、
 プラグインハイブリッドから電気自動車、さらには燃料電池車
 地域マイクロ・グリッドシステム
4. 安定な再生可能エネルギーの活用
 地熱とバイナリーサイクル
 潮流エネルギーの活用
5. 循環型産業システム
 超鉄鋼 (スクラップ鉄から高品質鉄鋼)
 化学リサイクル・プロセス
 コプロダクションシステム
 産業間連携 エネルギーコンビナート/カスケード利用

Triple50実現へ向けた技術戦略(その1)

□ 再生可能エネルギーの大規模導入を可能とする エネルギーネットワーク

- 太陽光・風力発電を中心とする再生可能エネルギーの大規模導入を可能とするエネルギーネットワークを、各種負荷調整システム、蓄電・蓄熱システム、新燃料製造システム等の組み合わせにより実現
- 風力出力変動(短・長周期)や太陽光発電大量導入の影響抑制

□ エネルギー貯蔵

- 貯蔵効率が高く、小型の二次電池開発
コスト/サイクル寿命の改良
- 夜間電力の熱エネルギー蓄積を実現する高効率ヒートポンプ
- 原子力発電出力の負荷変動による揚水発電猶予分の活用
- 太陽光・風力発電を中心とする再生可能エネルギーの大規模導入を可能とするエネルギーネットワークを、各種負荷調整システム、蓄電・蓄熱システム、新燃料製造システム等の組み合わせにより実現
- 風力出力変動(短・長周期)や太陽光発電大量導入の影響抑制

Triple50実現へ向けた技術戦略(その2)

□ コプロダクションシステムの導入

- 天然ガス改質と燃料電池などを組み合わせによるエクセルギー再生による高効率化(発電効率:70%以上)
- 電力・熱・水素を併産することによる負荷変動対応
- 数MW級の分散型エネルギーシステムの構築と新燃料供給ステーション機能利用

□ 原子力エネルギー利用の拡大

- 原子力発電の負荷変動と稼働率の調和
- 燃料サイクルと高速増殖炉導入による持続可能性の確保
- 核熱利用と熱供給システム(地域分散型発電システム)
- 大規模温排水利用によるコージェネレーション化
2050年1/3分担への着実な歩み

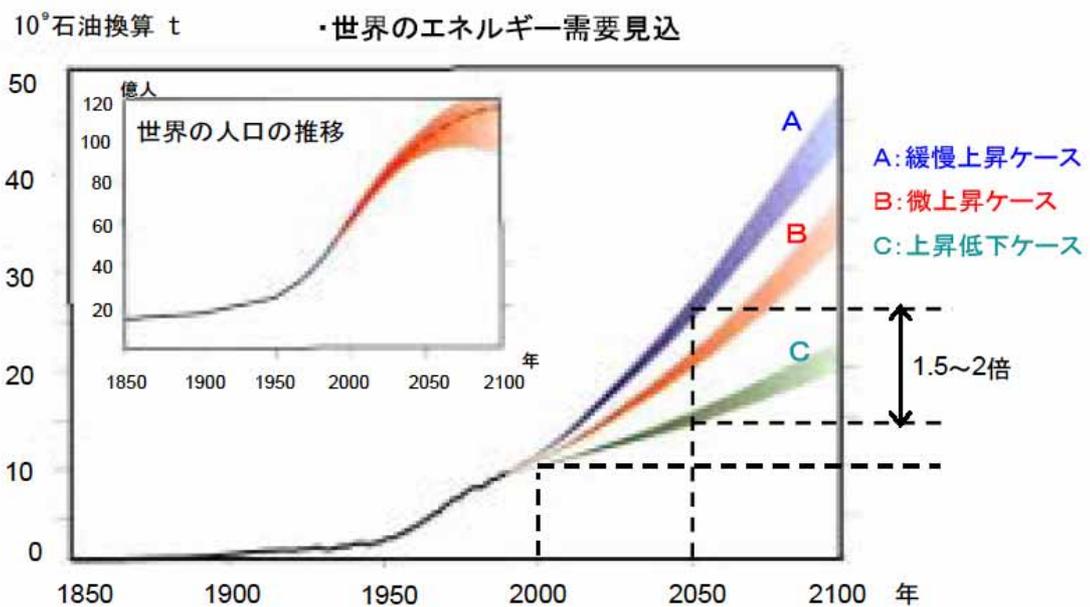
Triple50実現へ向けた技術戦略(その3)

□ 天然ガス・石炭ガス化による高効率火力発電

- 石炭利用の高効率化
 - 現状微粉炭火力(送電端効率39%)の高効率化
 - コークス製造過程における省エネルギー
 - 次世代型石炭高効率利用技術(～60%)
A-IGCC、IGFC、ハイブリッドガス化
- 天然ガスと燃料電池・ガスタービンによる超高効率発電システム(～70%)
- 環境負荷物質の排出低減、ゼロエミッション化
 - ・CO₂分離、回収、固定化技術

参考資料

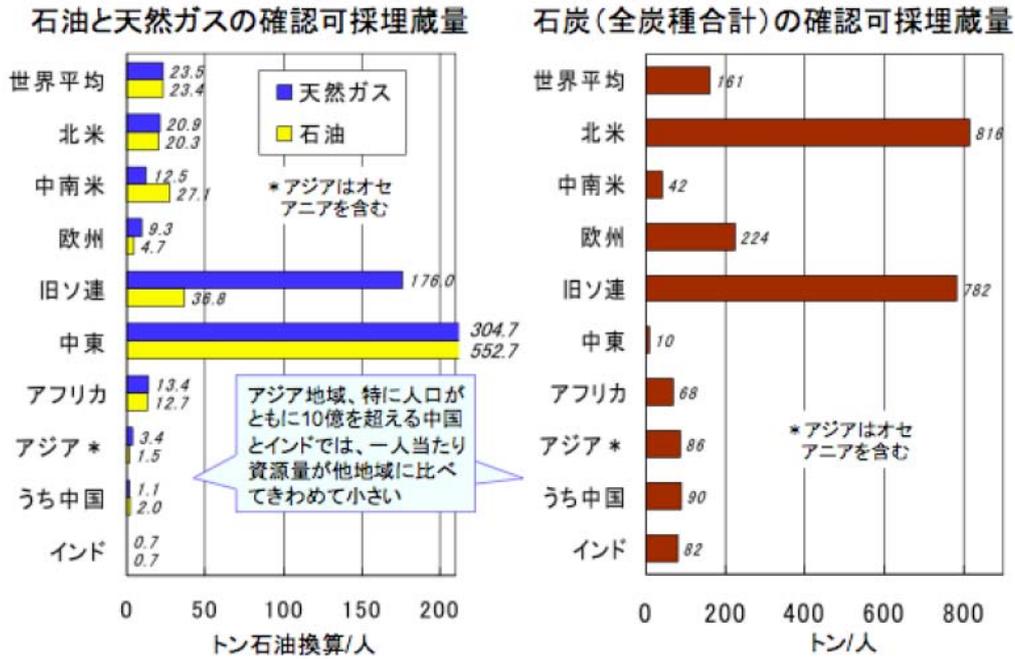
21世紀世界のエネルギー需要予測



出典: IIASA/WECC, GLOBAL ENERGY PERSPECTIVES 1998

人口当たりでみた化石燃料資源の地域分布

EDMC/エネルギー・経済統計要覧2004年版(日本エネルギー経済研究所)の人口データ(2001年)及び確認可採埋蔵量データ(2002年末)から作成



佐藤治「長期エネルギー需給シナリオの検討事例」新計画策定会議資料から

化石燃料の資源量

(世界エネルギー会議1997)

(単位:10億トン、年)

	確認埋蔵量 (可採年数)	推定埋蔵量 (可採年数)	計 + (可採年数)	年間消費量 (2002)
石油 在来	150(41年)	145(39)	295(80)	3.68
非在来	183(50)	336(91)	519(141)	
ガス 在来	141(64)	279(127)	420(192)	2.19
非在来	192(87)	258(118)	450(205)	
石炭	1003(419)	2397(1002)	3400(1422)	2.39
化石燃料総計	1669(202)	3415(414)	5084(615)	8.26

IIASA-WEC "Global energy perspective" (1997), IEA-WEO2004 から作成

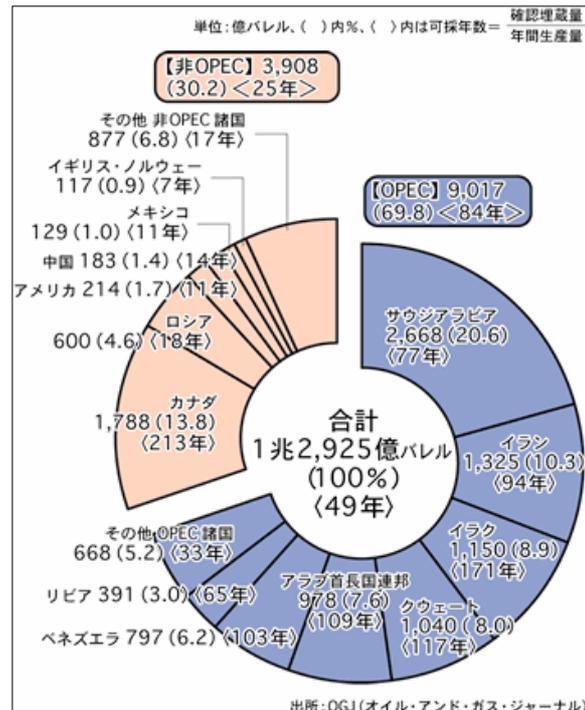
石油の埋蔵量—経済性あるオイルサンドを埋蔵量に算入

□2003年カナダの石油埋蔵量が49億バレルから1800億バレルへ、一挙に世界第2位に。

□オイルサンドは生産コストの低減により、在来型石油に比べて十分な経済性を有すると判断されたため。

□合成原油の生産コスト
(ピチュメン生産コスト12.4 +
アップグレーディング8.0=22.4\$/bbl)

□米国の輸入原油は2004年にカナダが第一位。
(以上2006.7 IEEJ 森田「非在来型石油の開発状況」)



1兆2925億バレル=1900億toe

化石燃料輸入総額と貿易収支の推移

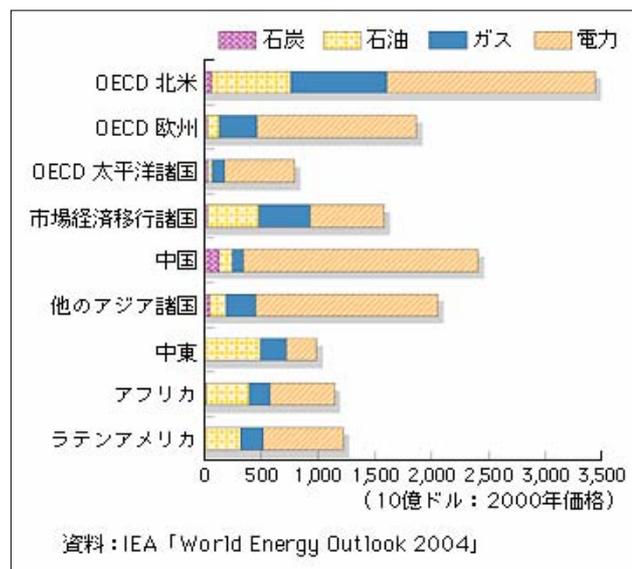
		1998年実績		2003年実績		2005年実績		2006年上半期	
1.原油価格 \$ /bbl		\$12.8/バレル		\$29.3		\$ 51.4		\$62.1	
2.通関レート ¥ / \$		131 円		116 円		110 円		116 円	
3.貿易収支 (兆円)	輸出	50.6		54.6		65.7		35.8	
	輸入	36.7		44.4		56.9		32.4	
	収支	14.0		10.2		8.8		3.4	
4.燃料輸入総計(兆円)		5.62		9.35		14.55		9.18	
	単位	数量	価格(兆円)	数量	価格(兆円)	数量	価格(兆円)	数量	価格(兆円)
石炭	百万ト	131	0.800	167	0.743	181	1.509	86.8	0.815
原油	百万KL	255	2.930	245	5.328	248	8.820	125	5.664
石油製品	ガリソ等		0.533		0.995		1.477		0.937
LPG	百万ト	14	0.325	14	0.543	14	0.686	7.6	0.500
LNG	百万ト	49	1.016	59	1.695	58	1.985	30	1.246
5.所得収支(兆円)		7.2		8.3		11.4			

発電コストの上昇(燃料が2～3倍の場合)

	平成14年運転 開始ベース*1 (\$27/bbl)	化石燃料価格 2倍の試算値 (\$55/bbl)	同左 3倍の試算値 (\$82/bbl)
水力	11.9		
石油	10.7	17.8	24.9
LNG	6.2	10.3	14.4
石炭	5.7	8.2	10.7
原子力	5.3		

*1 電気事業分科会コスト等検討小委員会資料よりー
平成14年度運開の前提条件：40年運転ベース、為替レート 122円/\$，
初年度燃料 価格石油27.4\$/bbl, LNG 28,090円/t, 石炭35.5\$/t

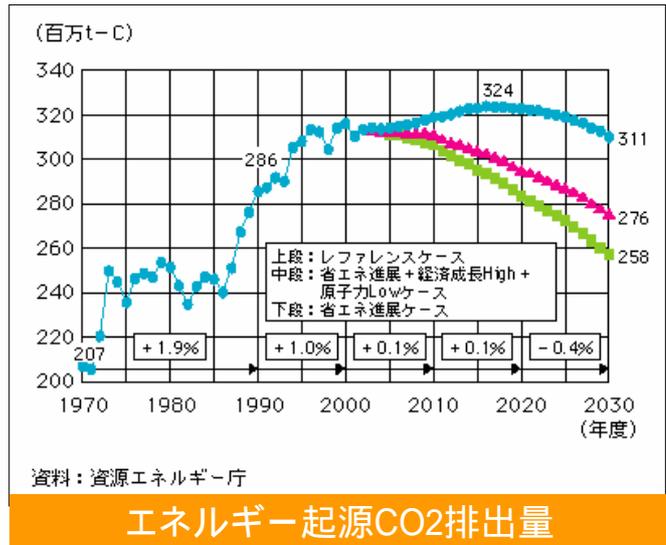
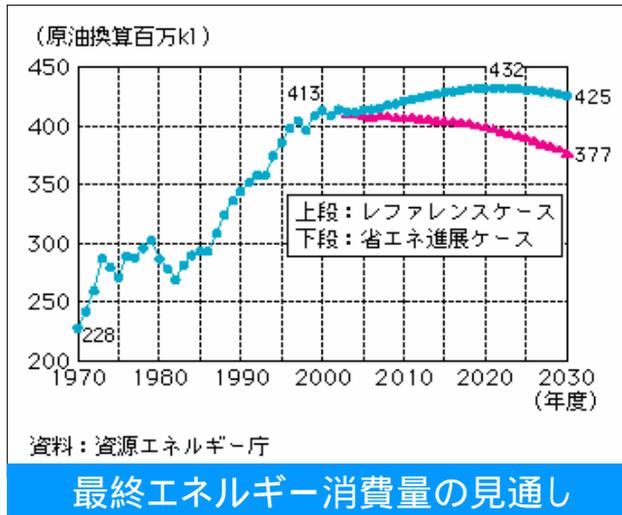
予測需要に対する、エネルギー供給設備に対して、2030年までに累計で約16兆ドルの投資が必要



□2006年3月16日 主要国(G8) + 中国・インド・ブラジルなどのエネルギー担当相がモスクワで会合。安定したエネルギー供給体制を構築するため、全世界で2030年までに17兆ドル(約2000兆円)の関連投資が必要。

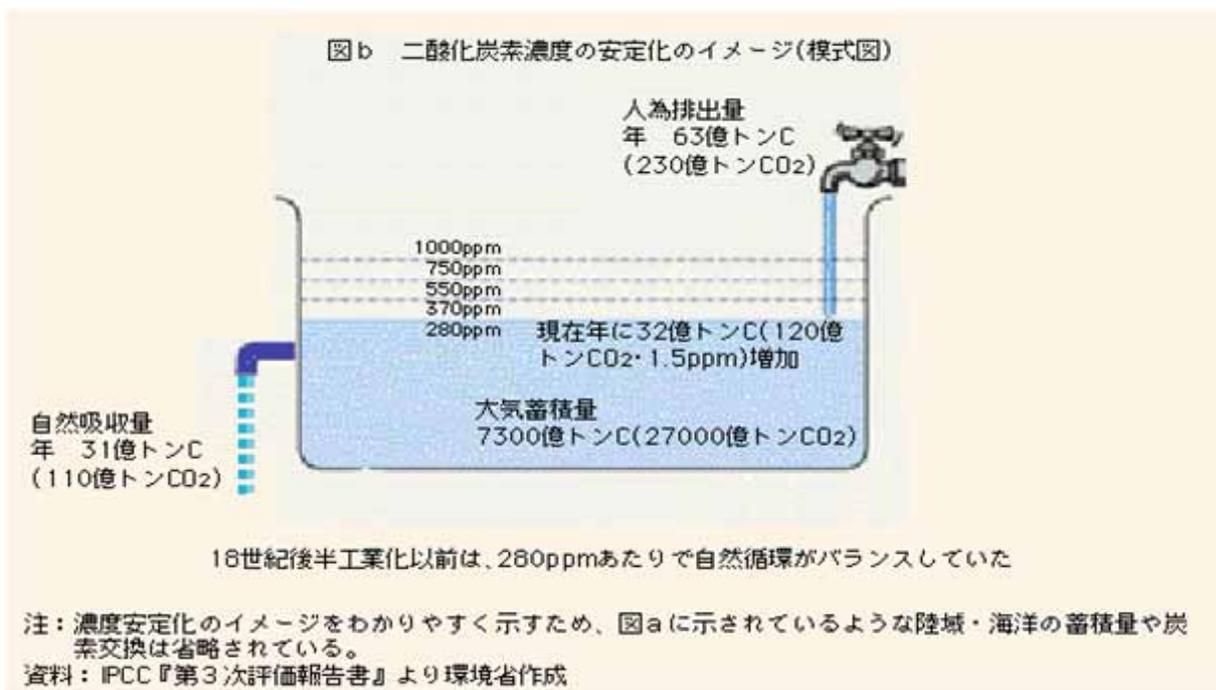
2030年の我が国のエネルギー需給展望

総合資源エネルギー調査会需給部会 2005年3月



www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g50328b01j.pdf

二酸化炭素の排出と大気中濃度

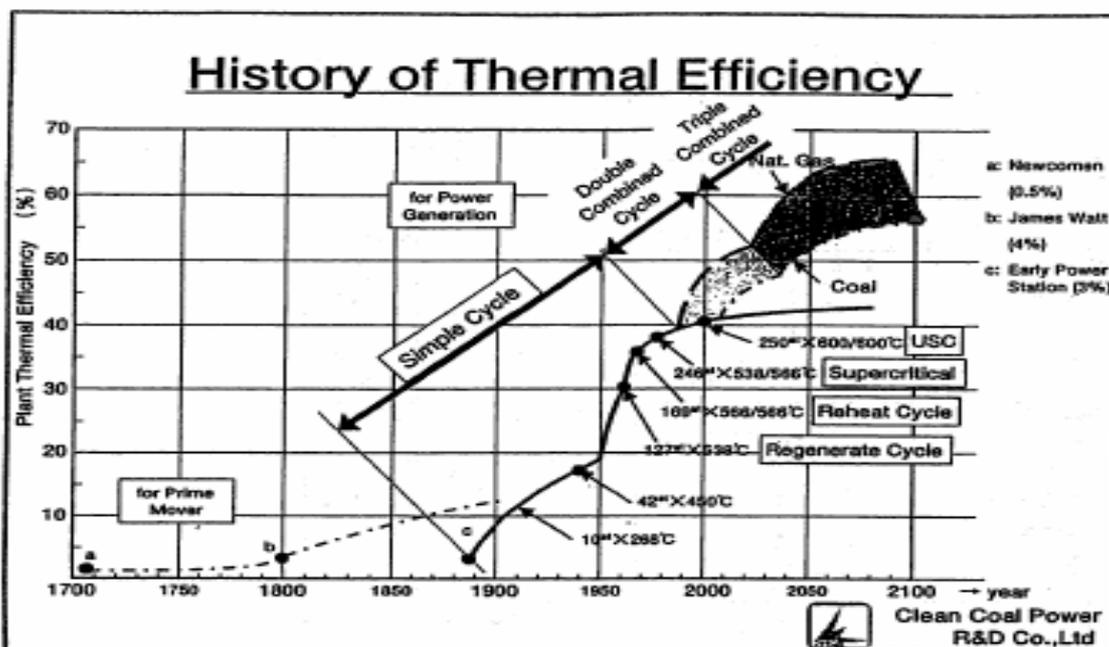


2030年我が国の長期エネルギー需給展望と エネルギービジョン

	年	総1次 エネルギー供給 (億トン) ^{*1}	構成%			自 給 率 %	化石 燃料 依存 率 %	利用 効 率 %	CO2排出量 (1990年度 比増減)
			化石 燃料	原子 力	再生 可能				
実績値	2000年	5.44	81%	13%	6%	19	81	35	3.17億トン(+11%)
2030年長期エネルギー需給展望 (資エネ庁2004年6月)	2030年 (基準)	5.60	77	15	8	23	77	35	3.24 (+13%)
	2030年 (省エネ)	4.85	73	18	9	27	73	40	2.46 (-14%)
「エネルギー自給率50%イニシアティブ」 2003年2月 ^{*2}	2030年	5.00	50	25	25	50	50	35	2.0 (-30%)
「Triple-50」 2004年10月 ^{*3}	2030年	3.56	48	26	21+	50	50	50	1.35 (-47%)

*1:単位億石油換算トン *2:経済同友会・富士通総研共同シンポジウム(湯原) *3: 持続型社会研究協議会(東大+東芝・日立・重工・IHI)の産学連携研究

火力発電の熱電効率・開発競争の激化



金子祥三「石炭ガス化複合発電 (IGCC)実証機計画と将来の動向」WEC Symp. 2002