

技術戦略マップ(エネルギー分野)

～超長期エネルギー技術ビジョン～

平成17年10月

経済産業省

要約

1. 今般のエネルギー分野の技術戦略マップは、2100年までの長期的視野から、地球的規模で将来顕在化することが懸念される資源制約、環境制約を乗り越えるために求められる技術の姿を逆算（バックキャスト）することによって描き出した。これは、長期を見据えた研究開発の重点化や、ポスト京都議定書の国際枠組み等の長期的地球的視野からの議論への貢献を目的としたものである。（副題「超長期エネルギー技術ビジョン」）
2. 本検討では、将来の制約条件を仮定し、エネルギー構成のケーススタディを通じて、民生、運輸、産業、転換の各分野が満たすべき最も厳しい技術スペックを洗い出した。

【制約条件の仮定】

- 〔世界の資源制約〕 石油が生産量のピークを迎える（2050年と仮定）
天然ガスが生産量のピークを迎える（2100年と仮定）
- 〔世界の環境制約〕 GDP当たりのCO₂排出原単位（CO₂排出量/GDP）を、
2050年に1/3、
2100年に1/10以下
- 〔我が国の検討条件〕 各資源の生産量のピーク想定時期までに、他のエネルギーと互換可能な状態とするとともに、将来に亘って世界をリードし続けるとの考えから、同等の原単位改善率を条件として検討を行った。

【極端なエネルギー構成によるケーススタディ】

- 〔ケースA〕 石炭等の化石資源と二酸化炭素回収・隔離の最大利用ケース
〔ケースB〕 原子力の最大利用ケース
〔ケースC〕 再生可能エネルギーの最大利用と究極の省エネルギー実施ケース

【分野毎に求められる技術スペック（2100年の概観）】

- （民生分野） ○「効用」がGDP比例で増大する中、転換分野からの必要エネルギー量を80%削減（世帯、床面積当たり）
○電化・水素化率を100%
- （運輸分野） ○「効用（≡人・km、トン・km）」がGDP比例で増大する中、必要エネルギー量の70%削減相当（※自動車では80%削減相当）の燃費改善
○電化・水素化率を100%（飛行機等を除く）
○資源制約解消に必要なタイミングでの燃料転換

(産業分野) ○「効用(≒製造量×製品の価値)」がGDP比例で増大する中、必要エネルギー量を70%削減(効用当たり)
○資源制約解消に必要なタイミングでの原燃料転換

(転換分野) ○需要分野の必要エネルギー量を各ケースにて不足なく供給

3. 将来に求められる技術スペックを実現するために必要となる主な技術メニューを時間軸に沿って分野別ロードマップとして整理した。

[主なポイント]

【民生分野】

民生分野における技術スペック実現のためには、(1)今後新たに出現する機器を含めてできる限り省エネ、(2)太陽光等の身の回りのエネルギーを使って創エネを実施する。(1)と(2)を究極まで進めることで、転換分野からのエネルギーに頼らない自立化が可能となる。また、再生可能エネルギーによる創エネルギーをその時々状況に応じてネットワークを通じて融通、さらには分散貯蔵して最大限に活用する。

【運輸分野】

運輸分野の技術スペック実現のためのパスは「省エネルギー」と「燃料転換」が主要な柱となる。

機器単体の省エネルギーでは、(1)駆動・推進システムの高効率化と(2)移動体(車体、船体、機体)の軽量化が重要。

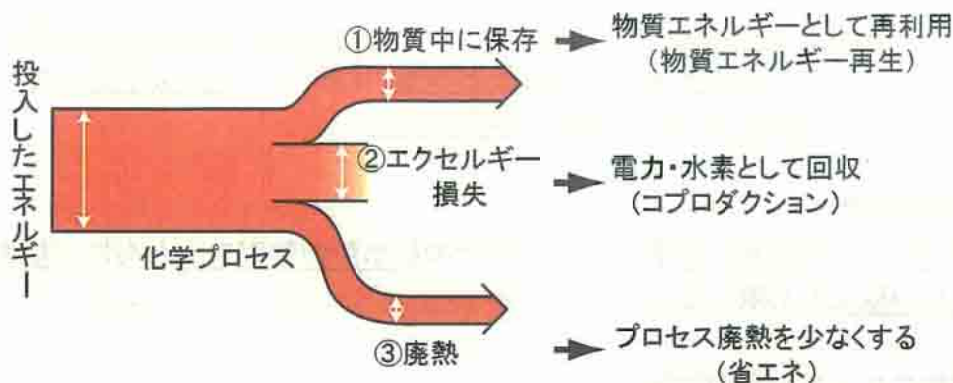
燃料転換では、(1)石油消費削減のため天然ガスや石炭を原料とする合成燃料の導入、(2)カーボンニュートラルなバイオマス由来燃料の導入、そして究極的には(3)使用時にCO₂を排出しない水素または電気への転換が重要。

【自動車】

自動車の主流は、内燃機関従来車→内燃機関ハイブリッド車→燃料電池ハイブリッド車と移り替わり、電気自動車は短距離走行が主体の小型車を中心に使用される。内燃機関用の燃料は、2050年までに石油から合成液体燃料主体に移行する。移行の過程では、石油系燃料と合成燃料が混合利用される。

【産業分野】

素材系の物質生産(物質転換)部門において投入されたエネルギーは、
①物質中に化学エネルギーとして保存されるもの
②燃焼過程等でエクセルギー損失となるもの、
③プロセスでの廃熱、の3つ。



〔製造プロセスにおけるエネルギー利用の高度化〕 『うまくつくる』

②と③の製造プロセスに必要なエネルギーの削減を目指す。

(※) コプロダクション：

例えば、化石燃料を用いる場合であってもガス化プロセスによって熱/電気/水素等を高効率に取り出すことができる。従来の生産プロセスでは失われていたエクセルギーを電力または水素として回収することができることから、同じ原材料を投入した場合には、あたかも物質に加えてエネルギーを併産しているように見ることができる。

〔物質エネルギーの再生〕 『上手につかう』

①のように製品（物質）は自らの中に化学エネルギーを保存しており、製品が社会での使命を終えたあと、この①のエネルギーを物質あるいはエネルギーとして再生させる。

(※) 物質エネルギーの再生：

例えば、化学品では、製造時必要とするエネルギーの60%以上を物質として保有しており、使用済み製品のガス化による原材料としての利用やエネルギーの生産等が可能。

〔少ない資源での製品製造によるエネルギー削減〕 『良いものをつくる』

「高機能化」は、わが国の国際競争力の維持拡大のために欠かせないだけでなく、各分野における技術革新のシーズを提供する重要な課題。

〔産業分野共通技術〕

炭素（C）を物質として利用する業種を中心として、バイオマスや廃棄物は貴重な原料・燃料となるため、物質のマネジメント技術も必要となる。

【転換分野】

エネルギー需要を効率的かつCO₂排出原単位改善を図りつつ満たすため、以下の3つの技術群の備えが必要。

（化石資源の効率的利用）

石油ピークに備えて天然ガスへの燃料転換、さらには資源量が比較的豊富な石炭への燃料転換を行う。石炭等の資源も有限であるため、発電（転換）効率

向上など化石資源利用の高効率化が重要であり、ガス化発電（燃料製造）技術、燃料電池と複合した高効率発電技術が必要となる。同時に、CO₂排出を伴うため、CO₂回収・隔離（CCS）技術が必須となる。

（原子力利用技術）

核燃料資源の有効利用が必要であり、現状の軽水炉の効率向上とともに、核燃料サイクルの確立が必須となる。

（再生可能エネルギー利用技術）

太陽、地熱、風力、バイオマスなどの再生可能エネルギーによる発電（転換）効率向上が重要。太陽や風力などの設備利用率は低く、大きな設備容量を必要とするため、設置を容易にする技術も必要。また、自然エネルギーは気象条件等に左右され、需給の双方が変動するため、大規模な蓄エネルギー技術や系統制御（エネルギーマネジメント）などのネットワークシステム技術の確立が必須となる。

【分野横断的な事項】

分野横断的な技術は、技術が実現すると、その効果を発揮できる可能性が高く、その応用分野も広く重要な技術と成り得る可能性があると考えられる。

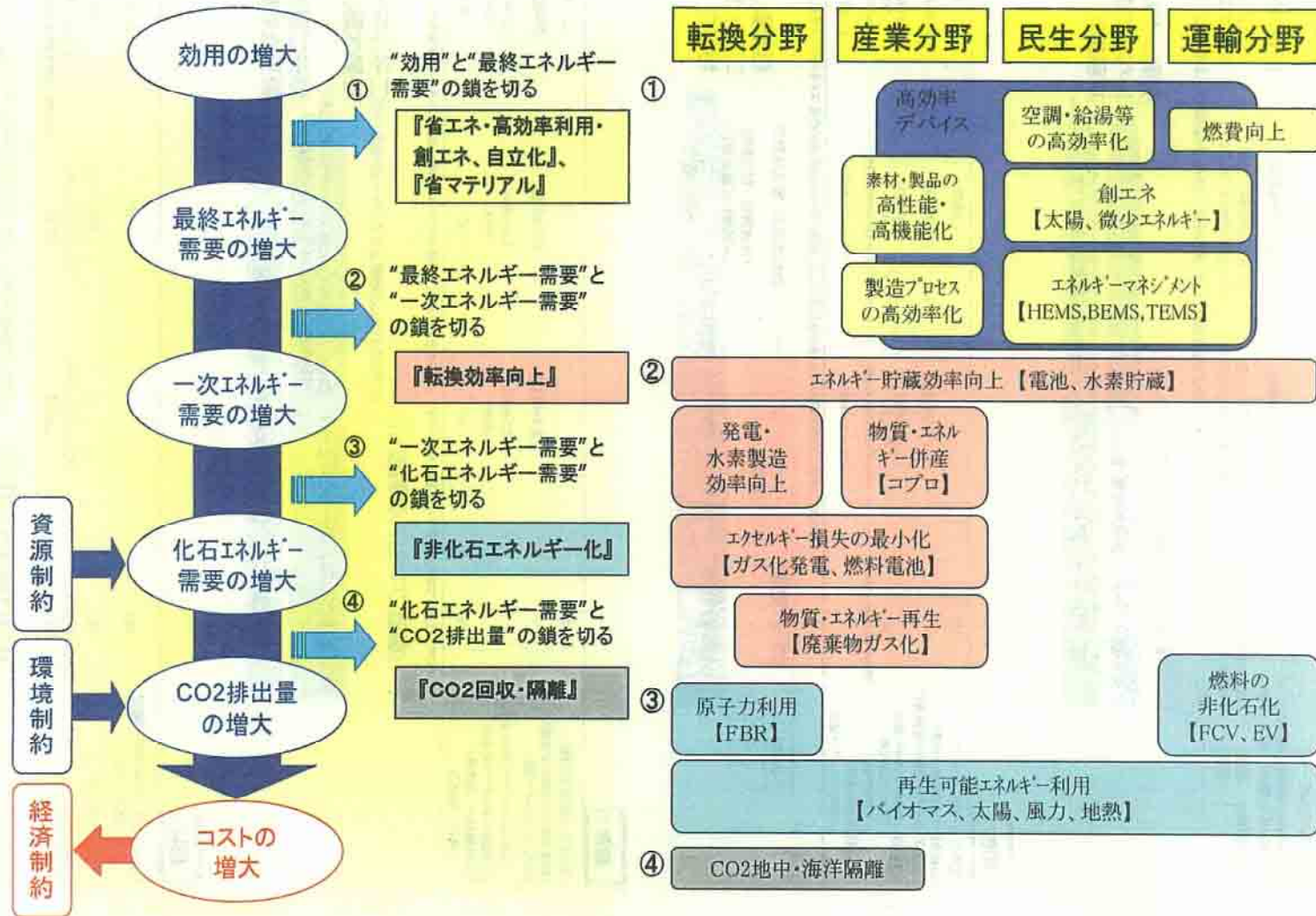
（例）省エネ技術、エネルギー貯蔵技術、パワーエレクトロニクス技術、ガス化技術、エネルギーマネジメント技術 等

● 3つのケースの技術が融合した社会イメージ（起こり得る可能性が高い社会像）
我が国では、現状では国内でのCO₂の地中隔離には量的限界があり、環境影響評価と社会的合意獲得の面で課題を乗り越える必要のある海洋隔離を想定しなければ量的には不十分であり、また化石資源の有限性を考えるとケースAは長期的な解決とはなり難い。よって、短中期的には必要に応じてCO₂回収・隔離により急激な気候変動を回避し、長期的に見れば再生可能エネルギーを最大限活用しつつ、省エネを究極的に行い（ケースC）、原子力を安定的に運転していく（ケースB）ことが持続的な社会としては望ましい組合せと考えられる。ただし、このような各ケースの評価、組合せは今後の情勢等によって変わり得るものであり、技術的な備えとしては、将来の各時点における社会経済情勢、技術の進展状況等を見つつそれぞれの研究を進めていくことが重要である。

4. 今後の課題

- 短・中期的な視点からの検討の実施
- 重要技術等の検討の深化

制約克服のための連鎖脱却と技術の全体像



分野毎に求められる（主な技術スペック）と（主な対策の考え方）

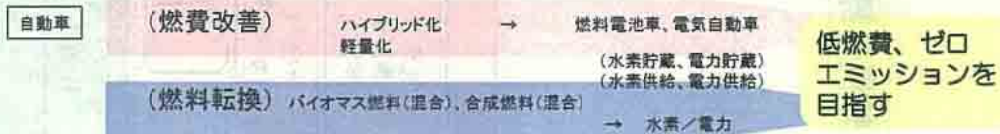
民生	2000	2030	2050	2100
全必要エネルギー量	1倍		1.5倍	2.1倍
転換分野からの供給が必要なエネルギー量※（家庭・業務）		45%/35%削減	60%/55%削減	80%/80%削減
CO2原単位（家庭）	3.5 t-CO2/世帯(1倍)	1.9 t-CO2/世帯(1/2倍)	1.1 t-CO2/世帯(1/3倍)	0 t-CO2/世帯
（業務）	118 kg-CO2/m2(1倍)	77 kg-CO2/m2(2/3倍)	40 kg-CO2/m2(1/3倍)	0 kg-CO2/m2

※GDPに比例して全必要エネルギー量が増加した場合を基準として、転換分野からの供給が必要なエネルギー（単位当たり）の削減量



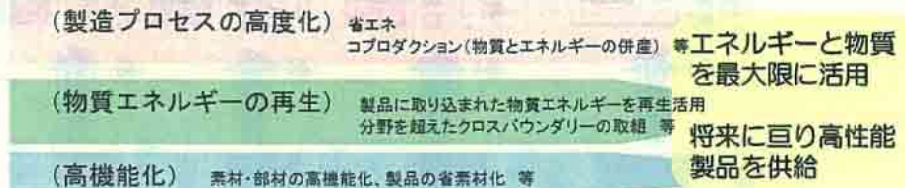
運輸	2000	2030	2050	2100
効用(人・km、トン・km)	1倍		1.5倍	2.1倍
転換分野からの供給が必要な必要エネルギー量※(運輸全体)		20%削減	50%削減	70%削減
自動車 必要エネルギー量※		30%削減	60%削減	80%削減
電化・水素化率	0%	1%以上	40%	100%
CO2原単位	160 g-CO2/km(1倍)	100 g-CO2/km(2/3倍)	50 g-CO2/km(1/3倍)	0 g-CO2/km
航空機・船舶・鉄道 必要エネルギー量※		10~20%削減	20~35%削減	30~50%削減

※GDPに比例して効用が増加した場合を基準として、転換分野からの供給が必要なエネルギー（単位当たり）の削減量



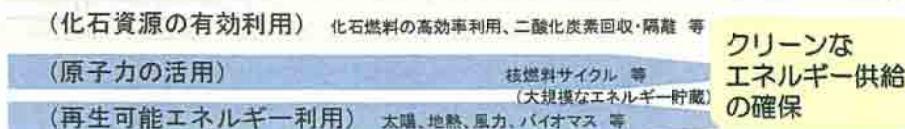
産業	2000	2030	2050	2100
製造量×製品の価値	1倍		1.5倍	2.1倍
転換分野からの供給が必要な必要エネルギー量※	-	25%削減	40%削減	70%削減
1) 製造エネルギー原単位改善	-	20%削減	30%削減	50%削減
2) 物質エネルギー再生率	-	50%	60%	80%
3) 高機能化(強度等) (機能/物質)	1倍	2倍	3倍	4倍

※GDPに比例して効用(製造量×製品の価値)が増加した場合を基準として、転換分野からの供給が必要なエネルギー（単位当たり）の削減量



転換	2000	2030	2050	2100
需要端での全エネルギー需要 (最大ケース)	1倍		1.5倍	2.1倍
電化・水素化率	1倍		2倍	4倍
CO2原単位	370 g-CO2/kWh (1倍)	270 g-CO2/kWh (2/3倍)	120 g-CO2/kWh (1/3倍)	0 kg-CO2/kWh

CCS併用化石燃料使用時 110 g-CO2/kWh(1/3倍)



目次

目次	1
1. はじめに	2
2. 技術戦略マップ策定に係る基本的考え方と検討の枠組み	3
(1) 基本的考え方	3
(2) バックキャストによる検討の枠組み	6
① 将来展望に基づく制約条件の仮定	6
② 将来のエネルギー構成に係る想定	10
③ 需要側から見た分野による検討	15
3. 分野別ロードマップ	17
(1) 制約条件から分野毎に求められる技術スペックの概観 (2100年)	17
(2) 分野別ロードマップ	22
(3) 分野別ロードマップにおける主要なポイント	22
4. 今後の課題	30
(1) 短・中期的な視点からの検討の実施	30
(2) 重要技術等の検討の深化	30
5. おわりに	31

1. はじめに

経済産業省は、平成17年3月に産学官の協力の下、研究開発投資の戦略的企画・実施のナビゲーターとも言うべき、「技術戦略マップ」を策定した。「技術戦略マップ」は、製品・サービスの需要創造のための方策を示した「導入シナリオ」、ニーズの実現に必要な技術を示した「技術マップ」、技術目標を時間軸に沿って示した「ロードマップ」から構成されており、情報通信、ライフサイエンス、環境、製造産業における20分野で策定した。

今般、技術マップとロードマップから構成されるエネルギー分野の技術戦略マップのとりまとめを行った。

今般のエネルギー分野の技術戦略マップは、2100年までの長期的視野から、地球的規模で将来顕在化することが懸念される資源制約、環境制約を乗り越えるために求められる技術の姿を逆算（バックキャスト）することによって描き出した。これは、長期を見据えた研究開発の重点化や、ポスト京都議定書の国際枠組み等の長期的地球的視野からの議論への貢献を目的としたものである。（副題「超長期エネルギー技術ビジョン」）

本マップの策定にあたっては、エネルギー総合工学研究所に設置された超長期エネルギー技術研究会において原案が作成された。本研究会には、産学官の知見を結集し、大学、民間企業（製品、部品、材料、装置メーカー等）、経済産業省（資源エネルギー庁、原局原課及び産技局）、NEDO、(独)産業技術総合研究所等が参画した。また、産業構造審議会産業技術分科会研究開発小委員会（委員長：西尾茂文東大副学長）にて審議願った。

2. 技術戦略マップ策定に係る基本的考え方と検討の枠組み

(1) 基本的考え方

① エネルギー分野における基本的認識

- 1) エネルギーは、全ての人類の活動の基礎となるもの。エネルギーに対する制約は、人類の効用（経済活動量、生活の質）のレベルに直結。
- 2) 将来のエネルギー需給構造を考える際には、資源制約、環境制約の両方を視野に入れることが必要。
- 3) 長期的視野から真に持続可能なエネルギー需給構造を実現する鍵は、技術。
(技術がない状況で実現することは不可能。)
- 4) ただし、技術の確立には、研究開発、導入普及、関連インフラの整備などに係る長期の期間を要し、また、実際の社会では様々な選択肢が取られるなど、高い不確実性が存在。

② 検討の特徴

本検討では、資源制約、環境制約の下で、効用を落とすのではなく人類が豊かになる（効用が向上する）との考えで、基本的には、これを技術の開発・利用によって実現していくとした場合に、技術に求められる将来の姿を描き出した。

この際、上記期間を考慮しつつ制約条件から逆算（バックキャスト）することにより、必要となる技術スペック、時期等を整理した。

以下の検討の前提から、挑戦的な技術の姿ⁱⁱを描き出している。

- (a) 効用を落とさずに技術によって全てを解決するとの前提で将来像を描いたため、モーダルシフトやライフスタイルの変更などによる効果は見込んでいない。
- (b) 将来の資源制約、環境制約の仮定には高い不確実性ⁱⁱⁱを伴うものの、これら制約によるリスクをできる限り円滑に解消していくとの観点から、「備え」として厳しい制約条件を仮定した。
- (c) 技術の将来像を描くに際し、エネルギー構成について極端な条件設定を行うことにより、最も厳しい技術スペック^{iv}の洗い出しを行った。結果として、全てを達成すれば制約を超過達成するものとなっている。

●エネルギー分野における基本的認識

1) 一般に、経済活動の拡大に伴ってエネルギー消費も増大し、逆にエネルギーの利用に対する制約が経済成長を引き下げる要因となるなど、経済活動にとってエネルギーは重要な役割を果たしている。

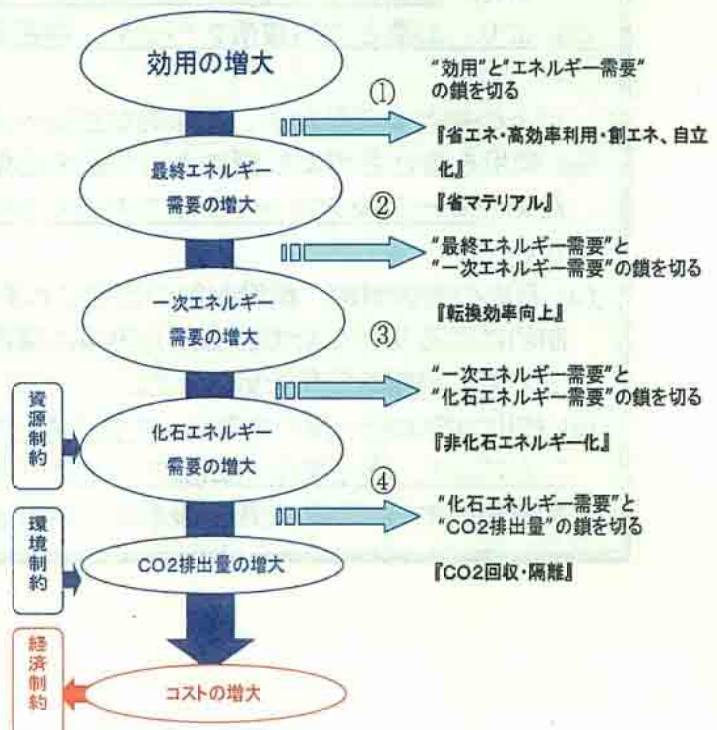
2) 近年、中国をはじめとする発展途上国等の急速な経済発展に伴って世界のエネルギー需要が大きく増加する中、既に世界のエネルギー市場が、構造的な需給逼迫という新たな局面に入っているとの見方もあり、エネルギーに対する制約のリスクが高まっているといえる。他方で、世界的に見ても運輸分野をはじめとして化石燃料に大きく依存しているなど、現状の延長線上のエネルギー需給構造を前提とすれば、長期的に資源制約が顕在化することは避けられないと考えられる。

また、人類が排出する温室効果ガスの多くはエネルギー起源 CO2 であり、エネルギー需給構造と地球温暖化問題は密接に関連する。将来的なエネルギーの需給構造は、環境制約がどの程度顕在化するかにも大きく左右されるといえる。

このように、将来のエネルギー需給構造を考える際には、資源制約、環境制約の両方を視野に入れた検討が必要である。

3) これら地球的規模の問題である資源制約、環境制約を解消し、世界の持続可能な発展を実現していくためには、全ての国においてエネルギー効率を向上し、経済成長とエネルギー消費、二酸化炭素排出量の「鎖」を断ち切るとともに、非化石エネルギーを増大させるなど、長期的視野から真に持続可能なエネルギー需給構造を実現していかなければならない。

この実現のためには、例えば運輸分野では、燃費の飛躍的向上や、化石燃料以外でも利用可能な自動車を開発するなど、エネルギー需給構造を抜本的に変革することができるような技術を確立し、将来の来るべき制約に間に合うように備えていくことが必要である。



効用の増大の実現と
リスク増大連鎖からの脱却

4) 将来に対する備えを考えるに際しては、技術の確立には、研究開発、導入普及、関連インフラの整備などに掛かる長期の期間（リードタイム）が必要であることを十分に考慮しなければならない。

また、技術が確立できるかどうかの不確実性に加え、実際にはその時々々の社会情勢、地域特性等に応じて様々な選択が行われるなど、特定の技術の存在のみで問題解決としないといった不確実性も存在することに留意しなければならない。

●逆算（バックキャスト）による技術戦略の検討

将来の制約に備えるためには、対策を虫食いの的に積上げるのみでなく、エネルギー需給の全体像を視野に入れ、長期的な視野に立った戦略的な取組を進めることが不可欠である。

本検討では、経済が発展することを大前提とした上で、資源制約、環境制約を解消できるように、2100年における制約条件の仮定を出発点として、逆算（バックキャスト）する形で、技術が満たすべき要件（技術スペック）を洗い出し、リードタイムを考慮した技術確立の時期等、技術に求められる将来の姿を描き出した。

(2) バックキャストによる検討の枠組み

① 将来展望に基づく制約条件の仮定

将来の資源制約、環境制約の仮定には高い不確実性を伴うものの、これら制約によるリスクをできる限り円滑に解消していくとの観点から、以下のとおり「備え」として厳しい制約条件を仮定した。

なお、この制約条件は、我が国技術の将来像を描く際の条件として考慮した。

1) 資源制約

[資源制約の仮定 (世界)]

世界が経済成長する中、

○石油が生産量のピークを迎える (2050年と仮定)

○天然ガスが生産量のピークを迎える (2100年と仮定)

[我が国技術の将来像の条件]

○資源の大半を輸入に頼る我が国としては、ピーク想定時期までに、エネルギー源の多様化、使用可能な資源量の拡大、エネルギー使用の効率化を行うなど、他のエネルギーと互換可能な状態とすることを条件とする。

2) 環境制約

[環境制約の仮定 (世界)]

世界が経済成長※する中、CO₂ 排出量を現状と同程度に抑えるとした場合、GDP当たりのCO₂ 排出原単位 (CO₂ 排出量/GDP) を、現状に対して以下のとおり改善。

○2050年に1/3、

○2100年に1/10以下 (2100年以降のさらなる改善も視野)

[我が国技術の将来像の条件]

○我が国はこれまで最高水準の効率を達成してきたが、将来に亘って世界をリードし続けるとの考えから、環境制約の仮定 (世界) から求められるものと同等の原単位改善率を我が国としての条件とする。

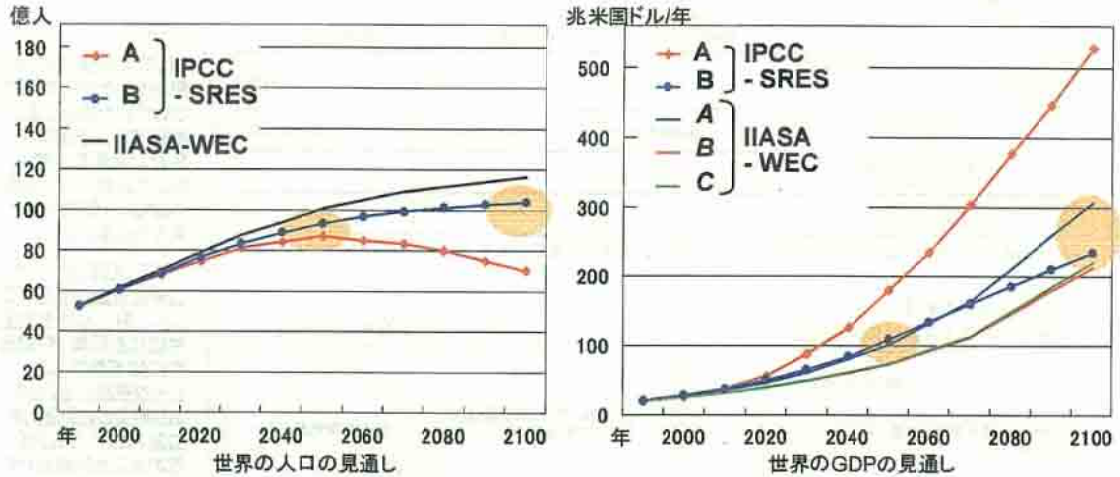
※経済成長については、

世界のGDPは、2050年で3倍程度、2100年で10倍程度との想定に対し、我が国のGDPは、2050年で1.5倍程度、2100年で2倍程度と想定。

● 将来展望の概観

1) 世界の人口・経済の将来展望

世界の人口は増加し、経済（GDP）も成長し続けるものと見通される。

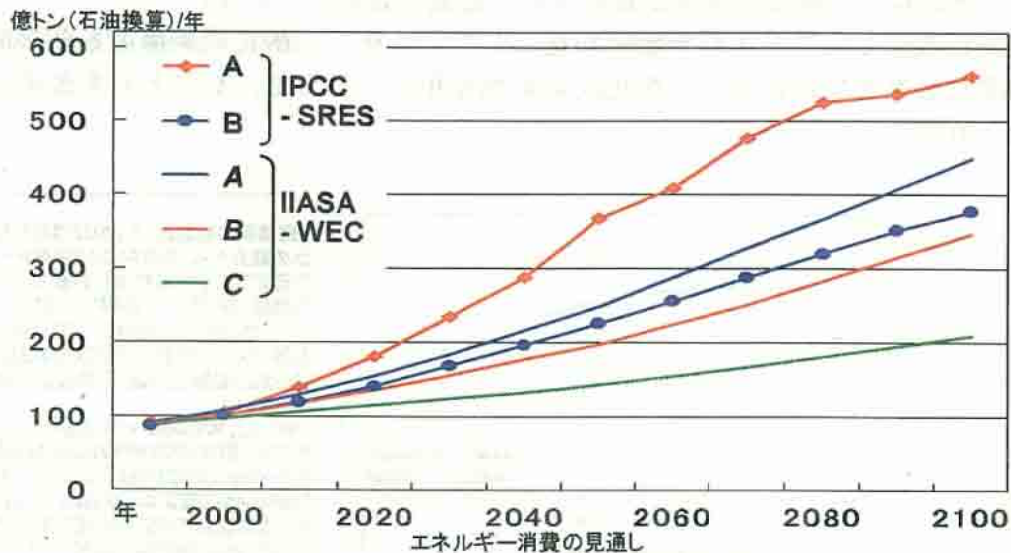


※ IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)のSRESシナリオや、IIASA(International Institute for Applied Systems Analysis)のWECの試算では、シナリオによる幅があるものの、中位的な見通しとして、経済成長は2050年に3倍程度、2100年に10倍程度と想定できる。

【IPCC-SRES】 A:高度経済成長が続き、新技術や高効率技術は早期導入が進む。地域格差が縮小するケース B:中庸なケース
【IIASA-WEC】 A:高成長ケース、B:中庸ケース、C:エコロジー投資ケース

2) 世界のエネルギー消費の将来展望

人口の増加、経済成長の中で、エネルギー消費も増加していくと見通される。



※ IPCCのSRESシナリオや、IIASAのWECの試算では、シナリオによる幅があるものの、いずれもエネルギー消費が増加することが見通されている。

【IPCC-SRES】 A:高度経済成長が続き、新技術や高効率技術は早期導入が進む。地域格差が縮小するケース B:中庸なケース
【IIASA-WEC】 A:高成長ケース、B:中庸ケース、C:エコロジー投資ケース

3) 世界の化石燃料生産の将来展望

一方で、石油をはじめとする化石資源の資源量には限界があり、今世紀の中頃までに、世界全体の石油の生産はピークを迎えるとの見通しもある。

IEA見通し

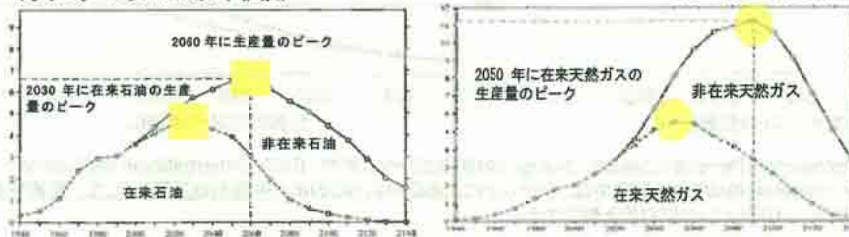
	標準的なシナリオ	悲観的なケース	楽観的なケース
1996年1月1日時点の在来型石油の探査可能採埋蔵量 (billion barrels)	2626	1700	3200
在来型石油生産量のピーク	2028-2032	2013-2017	2033-2037
在来型石油のピーク時の世界的需要 (mb/d)	121	96	142
非在来型石油の2030年の生産量 (mb/d)	10	37	8

* 標準的なシナリオは米国地質研究所(USGS)の試算(究極可採埋蔵量3.4兆バレル)をベースとしている。

化石資源論には、悲観的なものから楽観的なものまで様々な説があり、これらの試算が様々な諸要因の変化を全て反映している訳ではなく、幅を持って考える必要がある。

他方、将来のリスクに備えるとの視点に立てば、早ければ今世紀半ばにも石油、今世紀末には天然ガスがピークを迎えることがあり得るとの見通しを念頭において検討を進めることが適当と考える。

P. R. Odellの試算 (オランダ・エラスムス大学教授)

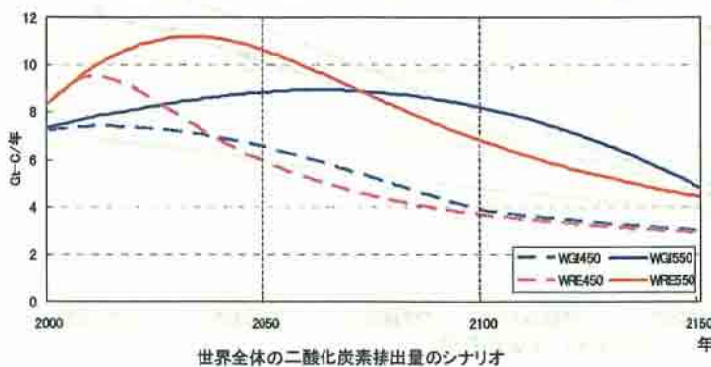


石油と天然ガスの生産量の試算例

4) CO₂排出量のシナリオ

地球環境問題への対応のため、大気中二酸化炭素濃度を将来的に安定化させるのであれば、二酸化炭素排出量の抑制が必要とされている。

経済が成長し、エネルギー消費が増大していく中、二酸化炭素濃度を将来的に安定化させるためには、二酸化炭素排出原単位 (CO₂/GDP) を改善させなければならない。



※ 550ppm、450ppmで安定化させるケースについても様々な試算がされており、IPCCにおいて検討されたWG Iシナリオ(Working Group Iにおける試算)、WREシナリオ(Wigley, Richels, Edmondsの3氏による試算)の試算を示す。

環境面の制約として、地球温暖化防止の観点から、大気中CO₂濃度を一定値以下に抑える努力が必要であるとの議論に基づいて、国際的にも様々なシナリオの検討が行われており、多くの試算において今世紀中にはCO₂排出量を減少基調とする必要があると指摘されている。

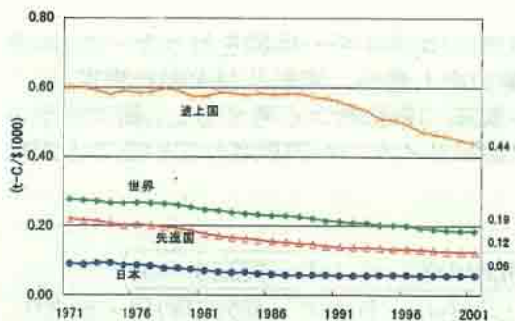
例えば、WGIのCO₂排出量のシナリオでは、現状(2000年)のCO₂排出量が7~8Gt-Cと推計されることから、仮に550ppmで安定化させるとした場合には、地球全体でCO₂排出量を2050年、2100年ともに現状並みに抑える必要があるとされている。

●我が国における効率の現状とこれまでの推移

現状の二酸化炭素排出原単位をみると、技術の開発・利用等の成果により、世界最高水準のエネルギー利用効率を実現してきた（我が国は、世界平均の1/3、途上国の1/8）。

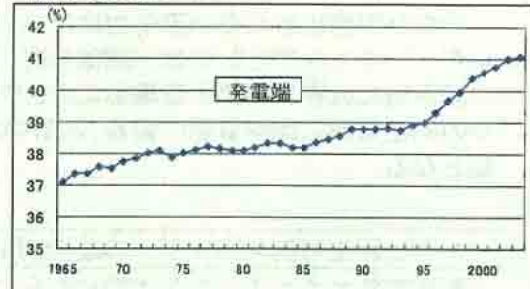
これまでの我が国の優れた技術を世界に普及するとともに、技術を強みとして更に伸ばすことによって将来に亘り我が国の国際競争力を保持しつつ、資源制約、環境制約の解決に対して国際貢献していくことが重要。

二酸化炭素排出原単位の推移(CO₂/GDP)

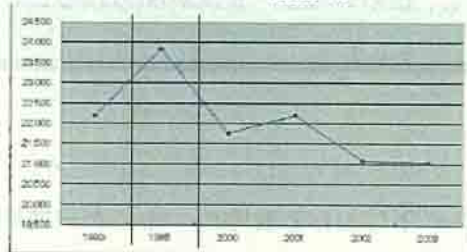


○我が国におけるこれまでの効率改善例

【例1】発電効率



【例2】粗鋼1t当たりのエネルギー消費原単位



(出典) 日本鉄鋼連盟環境2004年度自主行動計画フォローアップ資料より
(解説) 70年代の石油危機以降、鉄鋼プロセスの効率化や大型熱回収設備の開発導入を積極的に推進。
2000年以降は、炭素回収等のプロセス利用を加速。

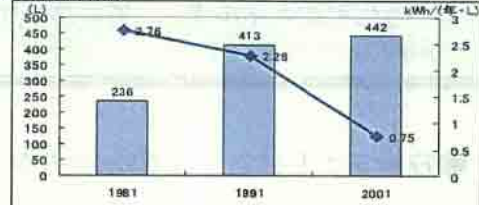
【例3】セメント生産量当たりのエネルギー消費原単位



(解説) セメント産業では、1970年代以降、熱効率に優れた重量効果の高い回転窯 (SPキルン、NSPキルン) が順次導入され、省エネルギーが著しく進展した。

※効率改善例について、出典のないものは、「改訂版国解エネルギー経済データの読み方入門 (財)日本エネルギー経済研究所計量ユニット編、(財)省エネルギーセンター」より。

【例4】冷凍冷蔵庫



【例5】エアコン



【例6】自動車



(出典) 自動車燃費一覧より

② 将来のエネルギー構成に係る想定

エネルギー構成について極端な条件設定^{vi)}を行うことによりケーススタディを行った。

ケースA：石炭等の化石資源と二酸化炭素回収・隔離の最大利用ケース

資源埋蔵量が比較的多い石炭、非在来型化石資源等の化石資源によってエネルギー供給を賄いつつ、化石資源の利用に伴って発生するCO₂を回収・隔離するケース。

CO₂の回収・隔離に大きく依存する場合には、相当量のCO₂を隔離しなくてはならず、現時点では我が国の地中隔離の量的ポテンシャルには限界があると考えられることから、海洋隔離が実現されていることが前提となる。

ケースB：原子力の最大利用ケース

CO₂が排出されない原子力によって全分野のエネルギー供給を行うケース。エネルギーのキャリアとしては、運輸分野、産業分野も含め、電気及び水素を想定。

原子力に大きく依存する場合には、ウラン鉱石の資源量から考えると、海洋ウラン等の非在来型核燃料資源の獲得、あるいは核燃料サイクルが実現されていることが前提となる。

ケースC：再生可能エネルギーの最大利用と究極の省エネルギー実施ケース

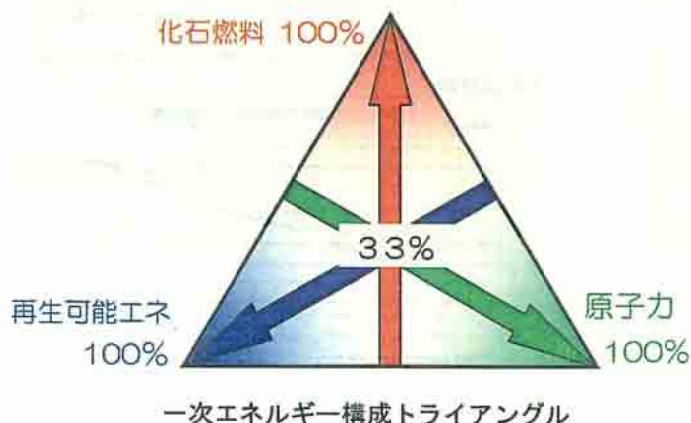
再生可能エネルギーを最大限に利用するとともに、省エネ・高効率利用・自立化、転換効率向上によってエネルギー需要の低減を究極的に押し進めることによって、生活の質の維持・向上を図りつつ、必要なエネルギー供給量を抑えるケース。

再生可能エネルギー、省エネルギーのいずれも、技術の確立・普及が図られることが前提。

● 技術シナリオとしての3つのケースの設定

今回仮定した化石資源制約リスク、環境制約リスク下における日本のエネルギー技術ビジョンを検討するにあたり、エネルギー供給構造を考える。

一次エネルギー構成で示すと、図1のような一次エネルギー構成のトライアングルで示すことができる。



※この一次エネルギー構成トライアングルは、各時点での3つのエネルギー供給源の供給安定性やコストによって同一の位置にある場合であっても、その評価が変わるものである。従って、トライアングル上のどこに位置するかによって評価が決まるものではない。

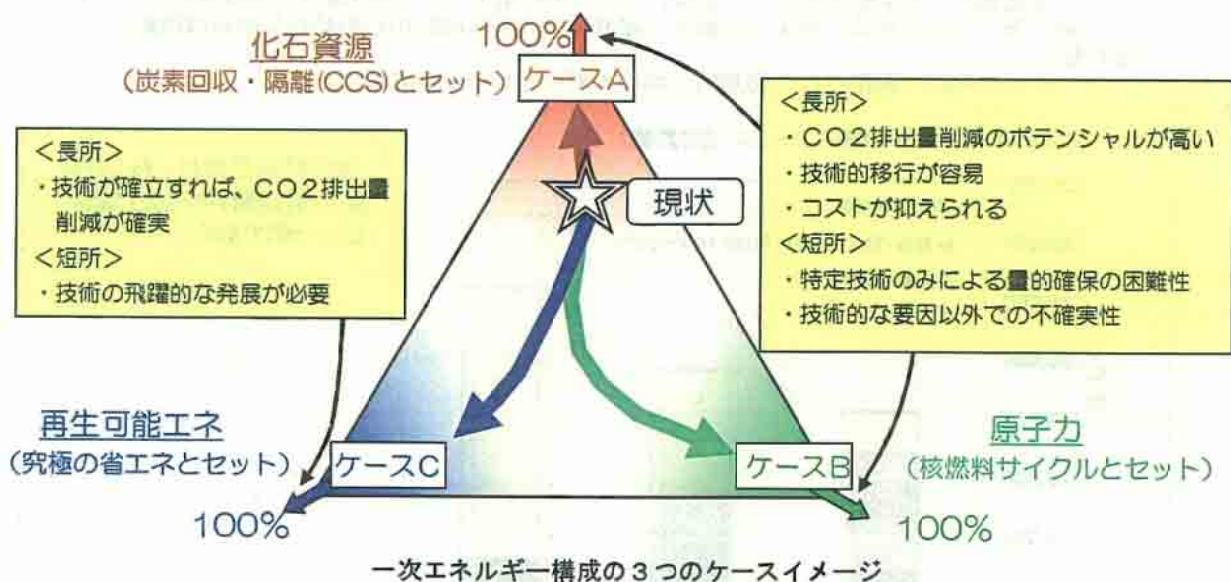
本検討では、危機的な状況においても制約を乗り越えることができるように備えを行うとの考え方から、技術シナリオとして3つの極端なケースを設定してケーススタディを行った。

ケースA：石炭等の化石資源と二酸化炭素回収・隔離の最大利用ケース

ケースB：原子力の最大利用ケース

ケースC：再生可能エネルギーの最大利用と究極の省エネルギー実施ケース

これらの3つのケースは、一次エネルギー構成トライアングルの各頂点に近い極端な社会を想定するものである。



○3ケース共通の対策：『省エネ・高効率利用・自立化』等の位置付け

『省エネ・高効率利用・自立化』、『転換効率向上』といった対策は、「効用」を実現しながらエネルギー需要を減少させることができる。

これは、ケースCにおいて究極的に進めなければならない一方で、ケースA、Bにおいても、エネルギー需要の低減につながり、いずれの場合にも有効な共通の対策である。

しかし、このような基本的認識を持ちつつも、日本のエネルギー技術戦略の検討にあたっては、極端な3ケースを設定し、技術的備えを行う観点から、ケースA、Bでは省エネ等に大きく依存できない場合を想定して検討を行った。

●ケースごとの特徴とエネルギー構成のイメージ

【ケースA（石炭等の化石資源と二酸化炭素回収・隔離の最大利用ケース）】

【意義】

CO₂回収・隔離が大規模に利用できた場合、非在来型化石資源などの利用に伴うCO₂排出を大幅に低減しつつ使用できることで、環境制約は緩和されることとなる一方、限りある資源を使用し続ける点において過渡的な解決策にしかならない。ただし、即効性があり、緊急避難的な意義はあり得る。

【量的可能性】

CO₂隔離の量的可能性は、世界的に見れば高いと考えられる。他方、現状において国内では地中隔離には量的限界があると考えられる。

しかし、海洋隔離が実現した場合には国内においても量的可能性は高くなる。

【技術的実現性】

技術的には、地中隔離は一部で既に実用化しており実現が見込める。海洋隔離は生態系への影響等の検証が課題となっている。

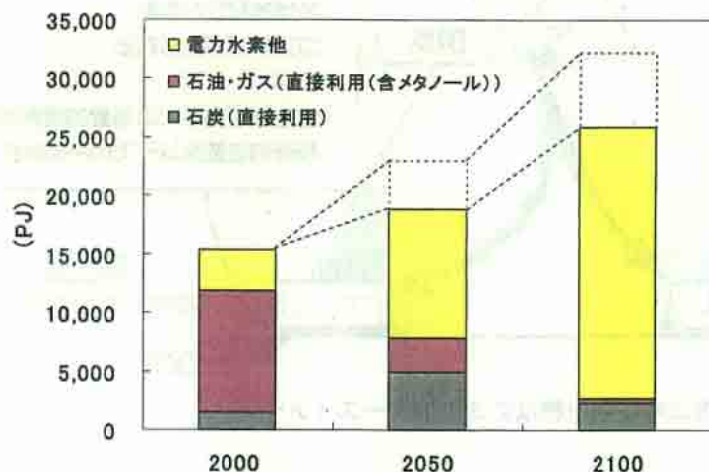
【適用対象等】

発電施設、水素製造施設、産業施設等の大規模集中CO₂排出源では効率的にCO₂回収することができる。他方、自動車、家庭等の分散排出源からのCO₂回収は困難。

【その他】

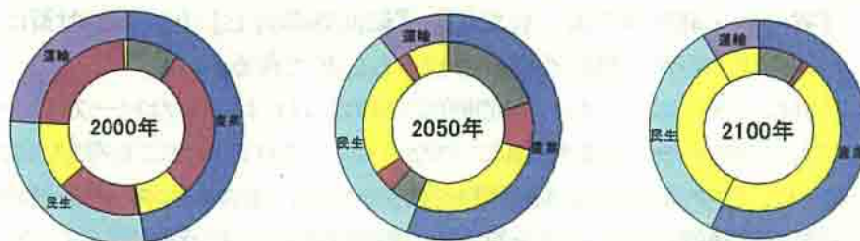
CO₂回収・隔離には、追加的にエネルギーとコストが必要となる。

ケースAのエネルギー構成イメージ（試算例）

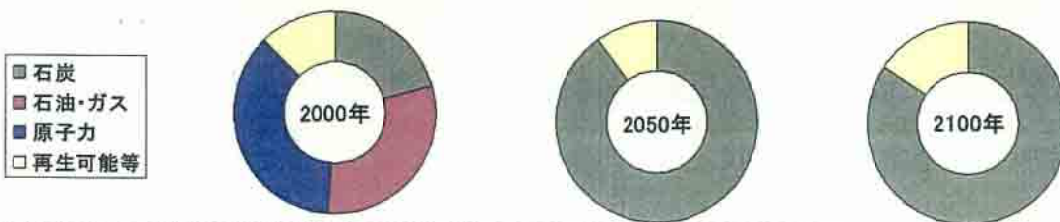


（注）将来想定は、多くの仮定や前提条件をもとに試算した一例である。

試算例における需要構成比（分野別の内訳）



試算例における発電・水素製造の構成比（電力水素他（黄色部分）の内訳）



【ケースB（原子力の最大利用ケース）】

【意義】

原子力が大規模に利用できた場合、化石資源制約、環境制約は大幅に緩和できる。

【量的可能性】

立地、処分の問題を除けば、量的可能性は高い。ただし、現状の軽水炉を前提とすると、ウラン鉱石の資源量の制約が生じ得る。また、世界的に見ると、核不拡散の観点から、導入には慎重な検討が必要となり得る。

【技術的実現性】

技術的には、核燃料サイクルなど引き続き開発は必要であるものの、現在計画等されている技術の延長線上にあり、実現が見込める。

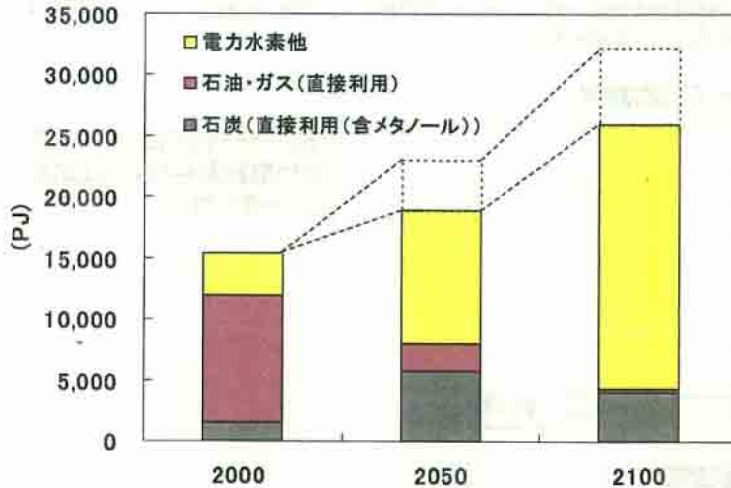
【適用対象等】

原子力による発電の他、水の電気分解や熱利用による水素製造も考えられる。

【その他】

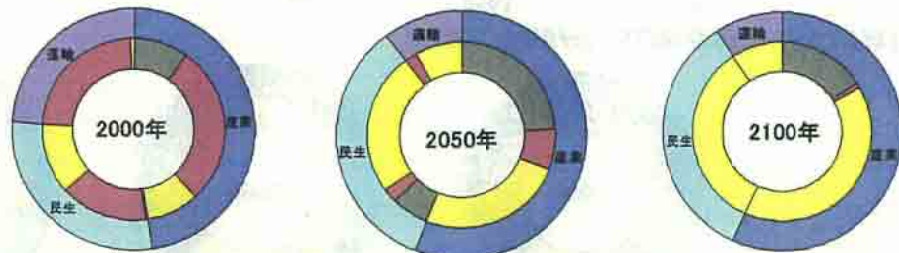
設備の建設には長いリードタイムを必要とし、設備の使用年数も長く、長期的な計画が必要となる。

ケースBのエネルギー構成イメージ（試算例）

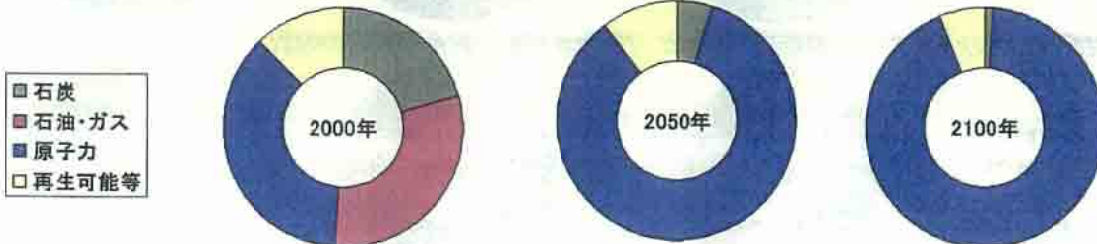


（注）将来想定は、多くの仮定や前提条件をもとに試算した一例である。

試算例における需要構成比（分野別の内訳）



試算例における発電・水素製造の構成比（電力水素他（黄色部分）の内訳）



【ケースC（再生可能エネルギー最大利用と究極の省エネルギー実施ケース）】

【意義】

再生可能エネルギー、省エネルギーのいずれの取組みも、技術が確立した場合には、世界においても共通的、基盤的な技術的公共財を提供し得るもの。普及の障害は低く、世界規模でも化石資源制約、環境制約の緩和に効果的である。

【量的可能性】

再生可能エネルギーは、理論的にはすべての再生可能エネルギー源を想定すれば量的制約はほぼないと考えられるものの、エネルギー密度が低く、不安定なエネルギー源であることが多く、立地・稼働条件の制約から、量的には限定的に留まることもあり得る。このため、省エネルギーの飛躍的な進展が必須と考えられる。

【技術的実現性】

再生可能エネルギー、省エネルギーともに、量的確保のための変換効率の大幅な向上や新たな利用方法の開発など、飛躍的な技術革新が必要となる。

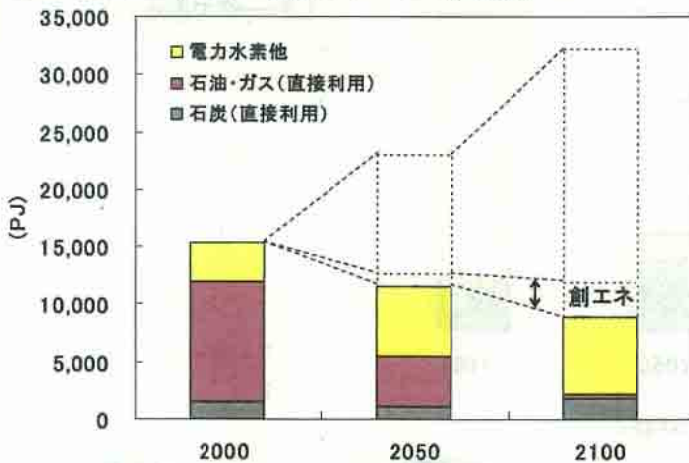
【適用対象等】

産業分野では抜本的な生産プロセスの革新や、比較的まとまった再生可能エネルギー源の開発・導入が必要。民生分野、運輸分野では、広範な用途への適用が必要。特に、究極的な省エネルギーと周辺の低密度エネルギーを利用した再生可能エネルギーを組み合わせた自立化が重要。

【その他】

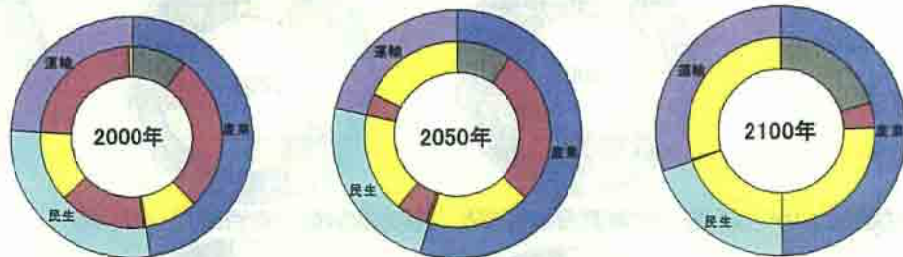
民生用個別機器等の更新期間は比較的短い（～10年程度）と考えられる一方、生産プロセス等については20～30年程度と比較的長い。

ケースCのエネルギー構成イメージ（試算例）

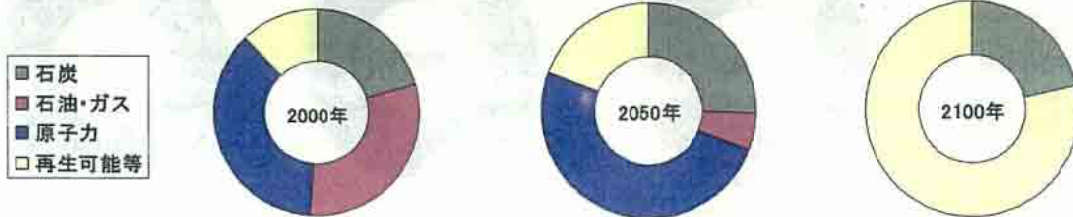


（注）将来想定は、多くの仮定や前提条件をもとに試算した一例である。

試算例における需要構成比（分野別の内訳）



試算例における発電・水素製造の構成比（電力水素他（黄色部分）の内訳）



③需要側から見た分野による検討

制約条件を技術スペックとして具体化するため、需要側から見た分野を設定して検討を行った。

特に、把握容易性、実効的対策の観点から、CO₂排出原単位の改善目標の実現に向け、産業、民生（業務、家庭）、運輸の需要分野ごとに固有のCO₂排出原単位を考えることとした。これらのCO₂排出原単位の改善には、単体・機器の効率の向上といった需要側の対策と、転換分野の効率向上との掛け合わせで考えることができる。

○需要側から見た分野と分野ごとの代表的なCO₂排出原単位例

・産業分野	: t-C/生産量	=	t-C/MJ	×	MJ/生産量
・民生（業務）分野	: t-C/床面積	=	t-C/MJ	×	MJ/床面積
・民生（家庭）分野	: t-C/世帯	=	t-C/MJ	×	MJ/世帯
・運輸分野	: t-C/距離	=	t-C/MJ	×	MJ/距離
（・転換分野:	t-C/MJ	）	転換効率		単体・機器効率

● 分野毎の特徴

【民生（業務・家庭）分野の特徴】

- 小規模需要が中心。
- 灯油、都市ガス等を直接利用する場合でも、技術的な代替性がある。
- 小規模排出源であり、CO₂の回収は困難。仮に必要が生じれば供給側でCO₂回収・隔離。
- 設備・機器の更新期間は10年程度。建築物の更新期間は、戸建て住宅20～30年程度、ビル30～50年程度。

【運輸（自動車）分野の特徴】

- 移動体と燃料の供給インフラを合わせて考える必要がある。
- 移動体では、エネルギー密度が高い燃料が必要。
- 自動車単体軽量化、回生技術等は、燃料によらず横断的対策。
- 小規模排出源であり、CO₂の回収は困難。仮に運輸部門においてCO₂排出量ゼロとする場合には、電気・水素によりエネルギー供給を行い、発電・水素製造を原子力・再生可能エネルギーにより行うか、化石エネルギーによりCO₂回収・隔離を合わせて行うこととなる。
- 新たな燃料への移行には既存燃料との併存期間が必要であり、インフラ整備のリードタイムは長い。自動車単体の更新期間は10～20年程度。

- 航空機は、燃料貯蔵を考える上で、気圧変化、温度変化、世界的なインフラ整備に関しての検討が必要。
- その他、鉄道・船舶輸送への転換による効果の可能性有り。

【産業分野の特徴】

- 大規模集約的設備が中心。エネルギー多消費（ハンドリング）であり、対策当たりの効果が大きく比較的合理化インセンティブが働き易い一方、装置の導入コストが大きく生産プロセス全体を見直すような抜本的変更は容易でない。
- 鉄鋼や化学など、化石資源を直接原材料、還元剤等として利用する場合、代替が困難であることが多い。化石資源を使用する場合、仮に必要なが生じればCO₂ 隔離・回収を行うことが可能なプロセス・規模である。
- 設備の更新期間は10～30年程度。

【転換（発電・水素製造）分野の特徴】

- 大規模集約的設備が中心。供給ネットワークが必要。
- エネルギー転換効率向上のためには、発電等効率の向上、送配送損失の低減等が必要。
- 需要側の負荷変動を吸収できる方法が必要（予備率、貯蔵等）。
- CO₂ 排出原単位向上の観点からは、非化石エネルギー（原子力、再生可能エネルギー等）のシェアの向上が必要。
- 化石資源を使用する場合、仮に必要なが生じればCO₂ 隔離・回収を行うことが可能なプロセス・規模である。
- 設備の更新期間は、30～40年（原子力の場合は50年超）。また、立地のためにも長いリードタイムが必要。
- 水素等の新たなエネルギー供給を行うためには、新たなインフラ整備のために長いリードタイムが必要となることもあり得る。