

3. 分野別ロードマップ

将来時点において得られる「効用（経済活動、生活の質など）」は、GDPに比例して増大^{vii}することを前提として、エネルギー構成に係るケーススタディの中で、制約条件を満たすために分野毎に求められる技術スペック^{viii}の洗い出しを行った。

また、その技術スペックの実現に必要な技術メニューと、その時間軸展開を行うことにより、分野別ロードマップのとりまとめを行った。

(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）

ケーススタディから最も厳しい技術スペックを洗い出した結果^{ix}を概観する。

〔2100年において求められる主要な技術スペック〕

(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 ※輸送手段間での改善余地を考慮
○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

（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）

- ・エネルギー需要2倍程度×電化・水素化率4倍≒約8兆kWh
- ・化石資源の有効利用、二酸化炭素の回収・隔離

（ケースB：原子力の最大利用ケース）

- ・エネルギー需要2倍程度×電化・水素化率4倍≒約8兆kWh
- ・ウラン資源制約解消のための核燃料サイクル

（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）

- ・エネルギー需要2倍程度×需要分野での省エネ約0.3倍
- ×電化・水素化率3倍≒約2兆kWh

● 極端なケースによって各分野に求められる技術スペックの概観

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

石炭等の化石資源を用いることで「化石エネルギー需要」を満たしながら、CO₂回収・隔離を行うことで「CO₂排出量」を抑制することを想定するケース。省エネルギー等には大きく依存できないものとして検討。

(民生分野) (運輸分野)

- ・ 小規模需要が中心で需要地でのCO₂回収は困難と考えられることから、転換分野から供給されるエネルギーで需要を賄うことが求められる（電化・水素化率100%）。
- ・ また、資源制約解消に必要なタイミングでの燃料の質的な転換が求められる。

(産業分野)

- ・ 大規模集約的設備では原燃料として化石資源使用時には併せてCO₂回収・隔離を行うことが求められる一方、需要地でのCO₂回収が困難なその他の設備では電化・水素化を進めることが求められる。
- ・ また、資源制約解消に必要なタイミングでの原燃料の質的な転換が求められる。

(転換分野)

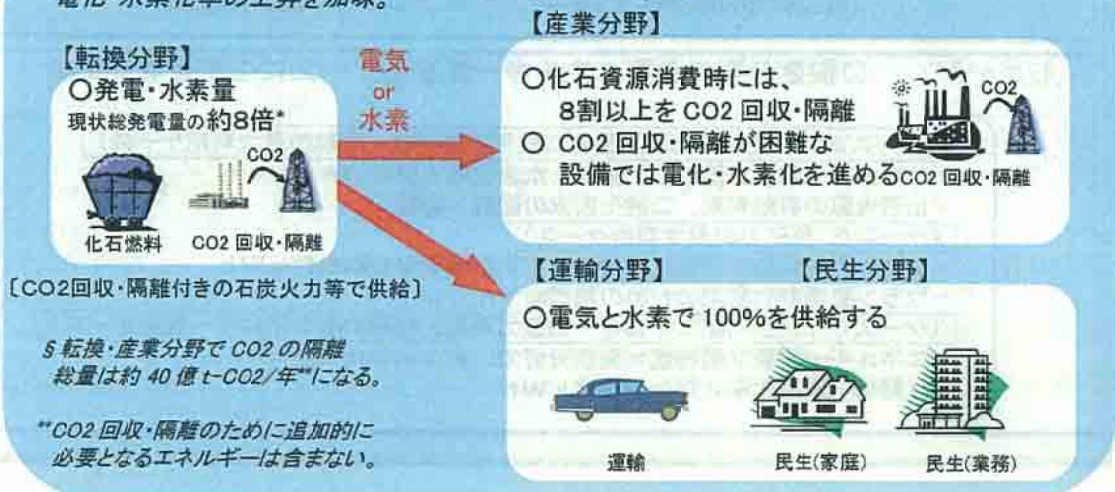
- ・ 産業分野の大規模設備用原燃料を除けばほとんどのエネルギーが転換分野から電気/水素によって供給されるとの想定になる。この時、現状の総発電量の約8倍（＝最終エネルギー需要約2倍×電化・水素化率約4倍）の電気・水素量を化石資源によって供給することが求められる。併せてCO₂回収・隔離が求められる。（この場合において、40億トン-CO₂/年（2100年）貯留場所の確保が必要となる。）

GDPが約2倍であるのに対して電気・水素の供給量が現状の総発電量の約8倍となっている。これは、現状においては需要地で化石燃料が直接利用（ガソリン、灯油等）されている一方、ケースAの将来像では転換分野からの電気・水素に大きく依存するとの想定による。なお、電化・水素化に伴う民生分野での効率向上による効果等は見込んでいない。

(ケースAの2100年時点の技術スペックのイメージ)

- ・ ケースAでは、省エネ等に大きく依存できない場合を想定。
- ・ 電化・水素化率の上昇を加味。

*数値は2000年比



- ※ 発電・水素製造設備の設備稼働率は、80%と想定。
- ※ エネルギー需要が2.1倍に増加するとともに、電化・水素化率の上昇によって、発電・水素量は、現状の約8倍と算出
- ※ 転換分野から95%、産業分野から80%のCO₂を回収・隔離する前提で算出
- ※ 運輸分野において、飛行機等を除く。

ケースB:原子力の最大利用ケース

原子力を最大活用することで「一次エネルギー需要」を満たし、「化石エネルギー需要」、「CO₂排出量」の増大を抑制することを想定するケース。省エネルギー等には大きく依存できないものとして検討。

(民生分野) (運輸分野) (産業分野)

・産業分野の原材料を除き、転換分野から供給される電気/水素によってエネルギー需要を賄うことが求められる。

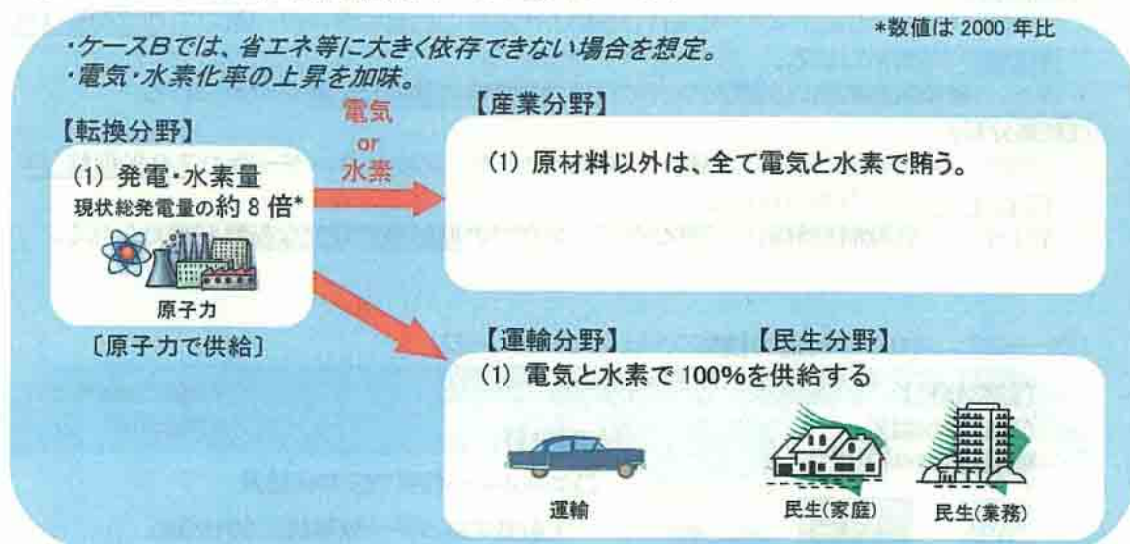
・また、資源制約解消に必要なタイミングでの原燃料の質的な転換が求められる。

(転換分野)

・産業分野の原材料を除けばほとんどのエネルギーが転換分野から電気/水素によって供給されるとの想定になる。この時、現状の総発電量の約8倍(=最終エネルギー需要約2倍×電化・水素化率約4倍)の電気・水素量を原子力によって供給することが求められる。

・なお、ウラン資源制約の観点から、特に核燃料サイクルの早期確立が求められる。

(ケースB:2100年時点の技術スペックのイメージ)



※ 原子力設備(発電・水素製造)の利用率は、90%を想定。

※ エネルギー需要が2.1倍に増加するとともに、電化・水素化率の上昇によって、発電・水素量は、現状の約8倍と算出。

※ 運輸分野において、飛行機等を除く。

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

省エネルギー等によって「最終エネルギー需要」の増大を最大限に抑制しつつ、再生可能エネルギーによって「一次エネルギー需要」を賄う（結果として、「化石エネルギー需要」、「CO₂排出量」を抑制する）ことを想定するケース。原子力、CO₂回収・隔離に依存できないものとして検討。

（転換分野）

- ・ 需要分野で必要となる電気／水素を再生可能エネルギーによって全て供給するとの想定になる。ただし、量的には限定的に留まることもあり得ることから、同時に省エネルギーの飛躍的な進展が求められる。

この時、現状の総発電量の約2倍（＝エネルギー需要2倍程度×需要分野での省エネ約0.3倍×電化・水素化率3倍）の電気・水素量を再生可能エネルギーによって供給することが求められる。

（民生分野）

- ・ 「効用」が増大する中、転換分野からの必要エネルギー量の80%削減（世帯、床面積当たり）が求められる。

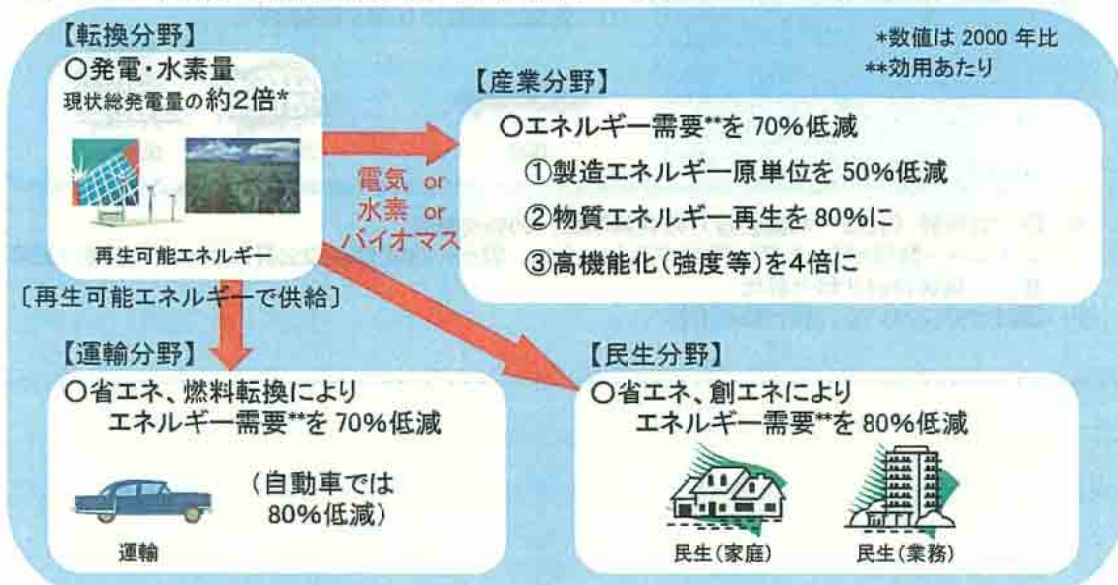
（運輸分野）

- ・ 「効用（≒人・km、トン・km）」が増大する中、必要エネルギー量の70%削減（燃費改善）が求められる。
- ・ また、資源制約解消に必要なタイミングでの燃料の質的な転換が求められる。

（産業分野）

- ・ 「効用（≒製造量×製品の価値）」が増大する中、必要エネルギー量の70%削減（単位効用当たり）が求められる。
- ・ 合わせて、資源制約解消に必要なタイミングでの原燃料の質的な転換が求められる。

（ケースC：2100年時点の技術スペックのイメージ）



※ 「効用」が2.1倍に増大する中で、各需要分野での省エネ等を最大限に引き出してもなお転換分野において供給することが必要となる量を再生可能エネルギーで賄うものとして算出。

● 2050年、2030年に求められる技術スペックの考え方

[2050年]

2100年に求められる技術スペックを基に、2050年の資源制約の仮定(石油の生産量ピーク)、環境制約の仮定(CO_2 排出量/GDP=1/3)とGDPが1.5倍に増大することを考慮しつつ、逆算(バックキャスト)することによって、求められる技術スペックを整理した。

[2030年]

2100年、2050年の技術スペックから、逆算(バックキャスト)を行いつつ、現状の技術レベルを考慮することで、求められる技術スペックを整理した。

(2) 分野別ロードマップ

2100年、2050年、2030年に求められる技術スペックを実現するため、必要となる主な技術メニュー（可能な場合には、個別の技術スペック）を時間軸に沿って分野別ロードマップとして整理した。

(注) 制約条件の仮定に基づいて時間軸展開を行っているため、諸情勢、技術動向等によって制約条件自体が前倒し（後ろ倒し）になった場合には、ここで描かれた技術の姿も、前倒し（後ろ倒し）で見ることとなる点に留意が必要。

(資料1) 分野別ロードマップ概要（民生、運輸、産業、転換）

(資料2) 分野別ロードマップ（民生、運輸、産業、転換）

(3) 分野別ロードマップにおける主要なポイント

【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導入量の拡大に伴い、余剰となった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ことが可能となる。

(省エネ)

トップランナー機器の導入により家庭が先行し業務がこれに続く。これに加えて空調関係では機器のみならず建物の断熱・遮熱性能の向上が、給湯についてはヒートポンプ導入がそれぞれ効果的である。中期的にはエネルギーマネジメントが一定の役割を果たす。生活の質の向上やライフスタイルの変化に合わせ新規に導入される機器も順次省エネが行われる。

(創エネ)

太陽光発電を始めとして各地域の特色を活かして様々な種類のものが導入される。設置機会（スペースなど）やエネルギー価格の条件により、当初は戸建ての家庭から始まり、順次、集合住宅、業務ビルに普及が広がる。

(エネルギーマネジメント)

省エネ先行の後、創エネが進み、需給バランスがとれた戸建て等からエネルギーの自立化が始まり、地域大での創エネルギー普及に伴い、業務あるいは地域大の自立化が普及する。再生可能エネルギーの活用による自立化では、エネルギー貯蔵が重要な役割を果たす。

【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。省エネルギーには機器単体（車両、船舶、航空機）の省エネルギーと、交通システム全体の連携による省エネルギーとがある。

（機器単体の省エネルギー）

i) 駆動・推進システムの高効率化と ii) 移動体（車体、船体、機体）の軽量化が重要。

（燃料転換）

i) 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、ii) 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 iii) 使用時に CO₂ を排出しない水素または電気への転換である。

水素・電気への転換は、駆動・推進システムの変更も伴うため、駆動・推進システムの高効率化と表裏一体の関係にある。

水素と電気の比較では、エネルギー貯蔵密度と補給速度の点で水素の方が有利であり、近距離用自動車と鉄道以外は水素の利用を想定。水素化・電化が難しい用途は、2100年時点でも炭化水素系燃料の使用を想定。

〔自動車〕

2100年のエネルギー需要を80%低減するために、全ての自動車を効率の高い燃料電池ハイブリッド車（燃料は水素）や電気自動車に代替。その結果、電化・水素化率100%となり、車両からのCO₂排出原単位はゼロになる。

2050年にエネルギー需要を60%低減するため、燃料電池ハイブリッド車と電気自動車が合計で4割程度のシェア（ストックベース）を確保するとともに、残りの大部分は内燃機関ハイブリッド車となっていることが必要。

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。

〔船舶、航空機、鉄道〕

2100年までに船舶40%、航空機50%、鉄道30%のエネルギー消費削減を目指す。

船舶のうち内航船は軽量化、動力効率改善などで省エネを進め、2050年以降、水素化による脱化石化に向かう。外航船は海外のエネルギーインフラ等の問題もあり2100年時点でも炭化水素系燃料に依存するが、省エネ化やバイオマス利用等を推進し化石燃料依存は極力抑制。

航空機は、水素・電気への転換が相対的に難しいため2100年時点でも炭化水素系燃料を使用。

元来効率の良い輸送であり既に電化率の高い鉄道は、電化・水素化率100%を前提に効率改善を徹底。

〔交通システム〕

交通流制御、無人運転（効率化・軽量化）といった既往システムの向上によりエネルギー効率の向上を進めることが第一。これに加え、自動車主体に陥りがちな交通に関し、鉄道・航路へのシフト・組み合わせによる効率化を推進する（根本的なモダリティシフト）。これには設備機器の開発に加え社会システムの大きな改編が必要であるが、ここでの試

算には純粋に技術的な解決課題を対象とし、社会システムの改編によるエネルギー消費改善は含まない。

【産業分野】

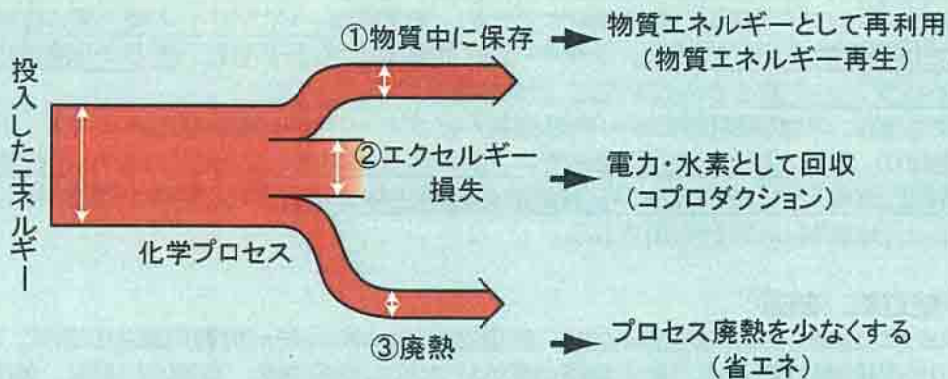
産業分野は、資源に乏しい我が国の経済基盤を支えるとともに、各分野における技術シーズを提供する役割を担っている。ここでは我が国の産業が資源制約や環境制約を克服しつつ国際競争力維持向上に寄与する革新的な技術をエネルギー分野から洗い出した。

産業分野は多様なプロセスで生産活動を行っており、またエネルギー利用形態も様々であるため、エネルギー多消費型の素材系4業種（製鉄、化学、セメント、紙パ）とその他との5つに分けて検討した。その他には、農林水産業、鉱業、建設業などの非製造業、機械、食料品などの工業までも含まれる。

素材系4業種では、(天然)資源から製品を生産するとともにその生産プロセスにおいて多用なエネルギー転換が同時に行われるという特徴を有しつつ、物質生産(物質転換)部門とも認識することが出来る。

素材系の物質生産(物質転換)部門におけるエネルギー消費構造を下図に示す。
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つになる。



(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がプロセスで消費したエネルギーであり、この2つを削減するのが省エネであり、②から電気や水素として回収するのが、コプロダクション(※)である。この2つで、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。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いる化学品および紙の製造プロセスでは、物質エネルギー再生による改善効果が大きい。

さらに、産業間連携にとどまらず、セクターを横断して廃棄物を製造プラントに利用したり、併産した電力や水素などをバウンダリーを越えて利用するなど、クロスバウンダリーの取り組みが重要となる。

(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』)

「少ない資源での製品製造によるエネルギー削減」は、「高機能化」を達成するための技術群を列挙しており、わが国の国際競争力の維持拡大のために欠かせないアイテムであるだけでなく、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である。

〔製鉄〕

現在の高炉による生産プロセスは副生ガスや排熱などが高度に回収利用されるなど、極めてエネルギー効率が高い。今世紀前半は既存プロセスの改善更新や次世代プロセスの導入と、廃棄物(廃プラ・廃タイヤ・バイオマス)の活用による一次投入エネルギーの削減が進められると考えられる。また、再生可能エネルギーを利用した水素供給が可能となるまでの間、副生水素が水素供給源の一翼を担う。今世紀後半には、技術革新に加えて資源・環境制約の観点から、還元剤の非炭素化や高炉-転炉法に代わる革新製鉄プロセスの登場も想像できる。また還元剤としての石炭の利用と環境制約を両立させる手段として、製鉄プロセスで発生するCO₂を未活用中低温廃熱を利用して分離回収する技術も有効である。

〔化学〕

化学では、石油(ナフサ)を原料および主燃料として利用しているので、2050年までには、石油を使わない新規の製造プロセスを完成させなければならない。現在は、ナフサを熱分解してエチレン、プロピレンあるいはBTXなどの基礎原料オレフィンを製造する工程と基礎原料を合成して数万種類といわれている化学品にする合成工程とで成り立っている。

新規プロセスとしては、バイオマス、廃棄物および石炭をガス化して、COとH₂の合成ガスとし基礎原料オレフィンを製造し、合成プロセス以降は、既存の製造インフラを利用するのが合理的と思われる。化学では、投入エネルギーのうち60%が物質として保存されているので、製造プロセスで消費される40%のエネルギーを省エネおよびコプロダクションで削減するとともに物質中に保存されている60%のエネルギーを物質エネルギー再生するためガス化炉に投入することによって、必要エネルギー量の削減を目指す^{xi}。

〔セメント〕

石灰石を原料として主燃料として石炭等を利用してセメントを製造しているが、廃棄物・副産物(高炉スラグ、石炭灰、副産石膏、廃タイヤ等)を受け入れ、原料、燃料として利用し、廃棄物の固定化にも寄与している。将来的には、各分野や他業種で採用されると思われるガス化炉からの残渣や紙パ業界からの再生できない紙の廃棄物など、多様な最終廃棄物を原料および燃料として利用し、石灰石および燃料を一切使わない「ゼロエミッション型セメント」プロセスが期待される。

【紙パ】

紙パ産業では、現在でも製品の60%を再生し、概ね3回程度循環利用するとともに、パルプ工場の黒液は、重油や石炭などの燃料と一緒に製紙工場で電力や熱のエネルギーとして再生利用されている。将来的には、バイオマスガス化複合発電設備の採用により、化石燃料をまったく使わず、生産活動を行うだけでなく、外部への電力供給も行えるような製造プロセスが期待できる。

また、バイオテクノロジーを利用した高成長樹木を生育させる技術は、業界を越えた効能が期待できる。

【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・燃料となってくるので、これらを含めた物質のマネジメント技術も、今後必要となってくる。

（別途、産業分野ロードマップ補足資料あり）

【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。しかしながら、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る。このためには、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である。また、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る。そのためには、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）効率向上が重要である。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である。また、自然エネルギーは気象条件等に左右されるため、需要とのマッチングを図るために、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である。

【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。

(省エネ技術)

「効用」を増大させながら「最終エネルギー需要」の増大を抑制することによって、「一次エネルギー需要」「化石エネルギー需要」「CO₂排出量」の増大を抑制することにつながることから、どのケース、分野にとっても横断的に有効。

(エネルギー貯蔵技術)

大規模集中発電・水素製造施設からの供給効率向上（時間的（日間、季節間）、地域的な調整機能）、再生可能エネルギー等の不安定な発電・水素製造施設からの供給安定化、民生分野での電気・水素の有効利用、電気・水素自動車等の燃料貯蔵等に横断的に有効。

(パワーエレクトロニクス技術)

ケース横断的に、電力輸送（送配電）技術の効率化技術、電力の高効率利用、高効率貯蔵等に有効。

(ガス化技術)

転換分野の発電・燃料（液体燃料・水素）製造効率の向上やバイオマス、廃棄物等の有効利用、産業分野の生産プロセスの省エネルギー、創エネルギーに有効。

(エネルギーマネジメント技術)

エネルギー貯蔵所間の制御、供給・需要の変動による影響制御、異なるエネルギー間の最適利用制御等に有効。

●その他

核融合等、今回想定した制約条件の解消のために必ずしも必須とはならなかったためにロードマップ上に記載していない一方、こうした技術が将来実現した場合には、将来のエネルギー供給源の選択肢となる可能性を有しているものがある。これらの技術が、今回のロードマップ期間中に導入される場合には、更なる資源制約、環境制約の回避につながる。

これまでに示した検討結果は、将来において新たな「効用」を伴う製品（ロボット等）の普及や移動距離の増大などの「効用」自体の増大等のエネルギー

需要増要因によるリスクに備えるとの観点から、効用がGDPに比例すると仮定して設定した技術スペックに対応するものである。これらの技術スペックが達成される一方で、各々の需要分野において想定されるエネルギー需要減要因が実現した場合には、需要の増加が抑制され、更なる資源制約、環境制約の回避につながる。

エネルギー需要減少の主要因例

- 人口減少
- 【民生分野】○省エネ意識の向上等に伴うライフスタイルの変化
- GDPの伸びに比して、厨房でのエネルギー需要の飽和等
- 集合住宅化による空調エネルギー需要の減少
- 【運輸分野】○モーダルシフトの進展
- 交通システムの発展
- SOHOの普及や都市構造の変化に伴う移動ニーズ減少
- 【産業分野】○産業構造の第三次産業化
- GDPの伸びに比して、製品ニーズの飽和等
- ペーパーレス化等に伴う製品需要減少
- 製品の長寿命化に伴う製品需要減少

● 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。

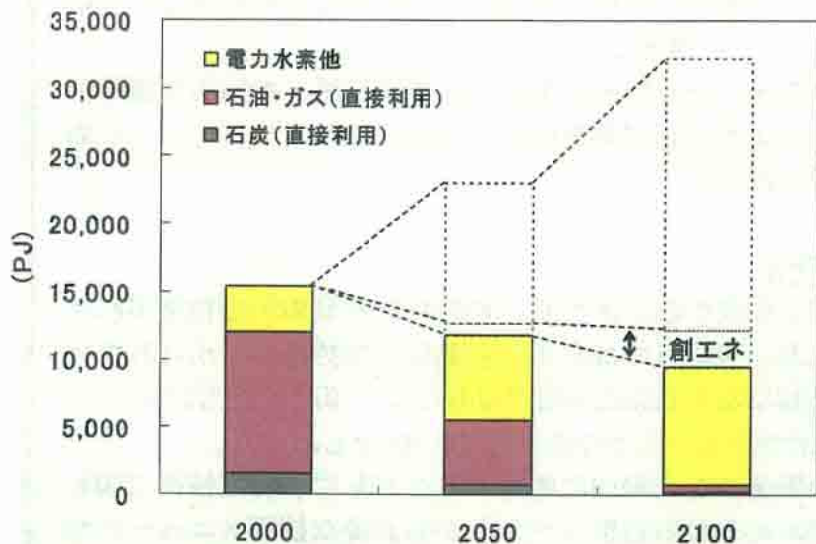
ただし、このような各ケースの評価、組合せは今後の情勢等によって変わり得るものであり、技術的な備えとしては、将来の各時点における社会経済情勢、技術の進展状況等を見つつそれぞれの研究を進めていくことが重要である。それにより、エネルギー安全保障としての代替性・互換性を備え、その時点時点の国内におけるエネルギーの安定供給を柔軟に確保し得る最適かつロバストなエネルギーシステム構成が実現されることになる。

また、3つの極端なケースの実現に向けた取組みを推進することにより、各ケースの効果がそれぞれ発揮され、その相乗効果として化石資源の消費量、CO₂排出量を大幅に低減し、化石資源のより長期的利用も可能になり得ると考えられる。この道筋の究極的な姿として、ゼロエミッションや、自給可能率^{xiii}を100%とすることも可能となる。

〔補足〕技術スペック達成による実現イメージ

全ての技術スペック達成時における日本のエネルギー需給構造は幅広い選択肢を有し、諸情勢に応じて最適な選択がなされていくと考えられる。以下は、いくつかの仮定においてコスト最小化モデルによって試算した結果の一例を示したものである。

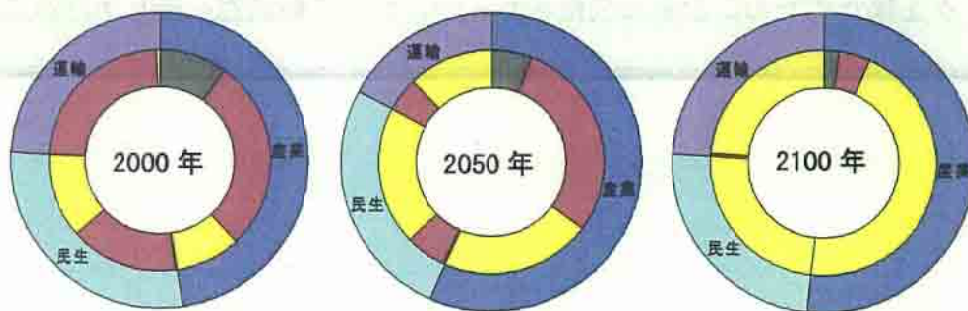
最終エネルギー需要の試算例（日本）



GDP 成長に比例して「効用」は増大。
省エネ、創エネ等によって需要を抑制。

(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。

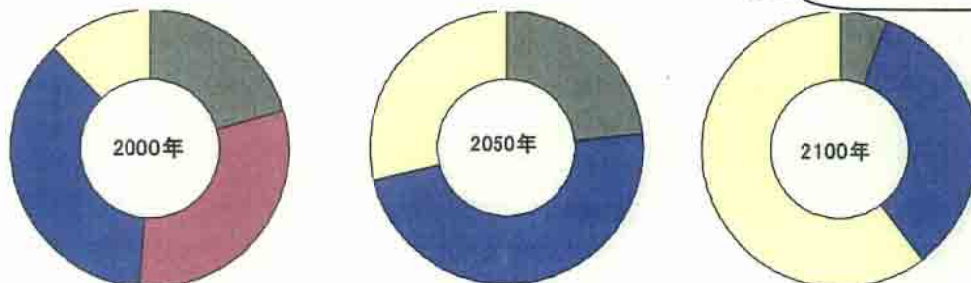
試算例における需要構成比（分野別の内訳）



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）

発電・水素製造の構成も、非化石エネルギーにシフト。

- 石炭
- 石油・ガス
- 原子力
- 再生可能等



(注) 2050年では、石油・ガスは、直接利用で一定割合を占める一方、電気水素供給源としては非化石エネルギーへのシフトがみられる。これは、今回の試算において、石油・ガス資源は在来型資源相当量に限定して利用可能としている一方、資源量に比較的余裕のある石炭、経済性が徐々に改善すると仮定している再生可能エネルギーがコスト最小化モデル上で選択されたものと考えられる。

4. 今後の課題

(1) 短・中期的な視点からの検討の実施

今回、技術戦略マップ（エネルギー分野）は、将来の制約条件を仮定して、逆算（バックキャスト）する形で、長期的な視点から技術に求められる姿「超長期エネルギー技術ビジョン」を描き出した。

今後、現状から延長（フォアキャスト）することによる短・中期的な視野からの検討を併せ行うことにより、研究開発マネジメントのインフラとしての効力を発揮させることが期待される。

(2) 重要技術等の検討の深化

分野別のロードマップを作成するにあたり、可能な限り具体的な技術が明示されるよう記載を試みたが、現時点では必ずしも具体的な技術が見出されていない場合や、いくつか候補になる技術は存在するものの、将来の技術スペックを満たすレベルでどの技術が実現するか判断できない場合もあった。

今回は、エネルギー分野全体を大局的に俯瞰するとともに、特定技術に囚われないように需要分野で求められる技術スペックから必要な技術メニューを解きほぐしたが、今後追加的検討を行うに際しては、将来求められる技術スペックを満たすために必要な技術メニューについての検討を掘り下げることが必要。

5. おわりに

本技術戦略マップは、官民における研究開発の戦略、内容等を検討するための参考として、経済産業省のホームページに掲載する等して幅広く情報提供を行う。

また、今回の長期的な視点からの逆算（バックキャスト）による手法でとりまとめを行った超長期エネルギー技術ビジョンについて、今後の長期的、地球規模の問題に対する国際枠組みの議論等に活用していく。さらに、今後、現状からの延長（フォアキャスト）による検討を行うなど、完成度を高めていくことによって、我が国の研究開発マネジメントのインフラとして存分に活用していくこととしたい。

(脚注説明)

- i 制約条件、技術等が不確実性を持つ中、現状の知見を元に技術に求められる将来像を描き出したものであり、今後、将来見通し、技術動向等の新たな知見に応じて、随時見直しが行われることが適当。
- ii 挑戦的な技術の将来像を目指すことにより、(i)我が国の制約条件解消に加え、(ii)世界が、選択肢を持って、優れた技術を広く利用可能となることで、世界の資源制約、環境制約の解決に貢献、(iii)我が国として、強みである技術を伸ばし、将来に亘り国際競争力を維持・発展させていくことに繋がる。
- iii (資源制約)化石資源の生産、需要が如何に推移し、生産量ピークを迎えるのは何時頃か。(環境制約)CO₂ 排出量と気候変動の定量的相関関係に不確実性が高い中、将来時点でどの程度まで排出抑制が必要になるか。
- iv エネルギー構成が極端に偏ることは現実的でなく、実際には適切な組み合わせが選択されることが考えられるが、技術の不確実性等を考慮し、最大限の「備え」を講じ得る最も厳しい技術スペックとした。
- v 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）。
(参考資料1)「わが国における効率の現状とこれまでの推移」
- vi エネルギー構成が極端に偏ることは現実的でなく、実際の社会においては、国際情勢、エネルギー価格動向を含む社会経済情勢、技術の進展状況等に応じ、さらに需要分野ごとの親和性、地域ごとの特性等と相まって、各々特徴を有する3つのケースの方向性の中から、最も適切な組み合わせが選択されていくものと考えられる。ここでは、技術の不確実性等を考慮し、最大限の「備え」を論じるために極端な条件によるケーススタディを行った。
- vii 仮に2100年において現状の連鎖の構造と全く変化がない場合には、「効用がGDPに比例して増大(=世界全体で10倍、我が国で2倍程度)」することによって「最終エネルギー需要」、「一次エネルギー需要」、「化石エネルギー需要」、「CO₂排出量」が各々増大することとなる。
- viii 「技術スペック」は、仮定した制約条件を解消するために技術が満たすべき要件を表す用語として用いた。
- ix エネルギー構成が極端に偏ることは現実的でなく、実際には適切な組み合わせが選択されることが考えられるが、技術の不確実性等を考慮し、最大限の「備え」を論じるために最も厳しい技術スペックまで検討した。他方、これらの技術的スペック実現のための技術的メニューとしては、ここまで極端な偏りとならない場合においても、将来の選択肢を確保する上ではタイミングが異なることがある以外では大きな相違はないものと考えられる。
- x エネルギー総量のうち有効に取り出しうる仕事量をエクセルギーといい、その割合をエクセルギー率という。エクセルギーの観点からエネルギーを有効に使うためには、できる限り熱は発電あるいは物質生産(発熱反応)とともに発生させるなど、エネルギー変換・利用の過程での工夫を行うことで、「廃熱の有効利用を図る」ことに止まらず、「廃熱そのものを出さないようにする」といった考え方が重要となる。

-
- xi このシステムを「サステイナブル・カーボンサイクル化学体系 (SC3)」と呼ぶこととする。
 - xii 燃料価格等によるものの、技術的、インフラ的には、エネルギーを自給（原子力、新エネにより賄う）できる割合