

気候変動対策におけるヨーロッパの責任 地球を救うための域内対策と国際的義務

ストックホルム環境研究所(SEI) 2009年11月

Europe's Share of the Climate Change

Domestic Actions and International Obligations to Protect the Planet

By Stockholm Environment Institute (SEI) (Nov. 2009)

Charles Heaps, Peter Erickson, Sivan Kartha, Eric Kemp-Benedict



目次

1. 要約	3
2. イントロダクション：気候変動への挑戦	5
3. 欧州域内の取組：ヨーロッパの緩和シナリオ	9
3.1. 除外した選択肢	12
3.2. 充足性と公平性の役割	14
3.3. 脱炭素社会における生活	16
4. シナリオの技術解説	18
4.1. 建築物	19
4.2. 産業	24
4.3. 交通輸送	28
4.4. 農業	35
4.5. 非エネルギー部門の排出ガス	35
4.6. 発電	40
4.7. 熱伝供給(CHP)	50
4.8. 一次エネルギー需要	52
4.9. 排出ガス結果	52
4.10. 域内対策の費用	54
5. 更なる削減のための選択肢	56
6. 国際的義務：負担の共有	57
7. 結論および提言	62
8. 参考文献	64
9. 付属	68
9.1. SEI の LEAP エネルギーモデリングシステム	68
9.2. シナリオデータ一覧	69

報告書原文のダウンロードは SEI ウェブサイトから www.sei-international.org



Stockholm Environment Institute

Kräftriket 2B, SE 106 91 Stockholm, Sweden

Tel: +46 8 674 7070 Fax: +46 8 674 7020 www.sei-international.org



Friends of the Earth Europe

Mundo-B Building, Rue d'Édimbourg 26, 1050 Brussels, Belgium

Tel: +32 2 893 1000 Fax: +32 2 893 1035 info@foeeurope.org www.foeeurope.org

(p.1)

1. 要約

たとえ 2 度の気温上昇であっても地球にとって非常に危険であることが科学的に明らかにされているにもかかわらず、多くの人々が、このレベルまたはそれ以上の気温上昇を防ぐことができるという自信を急速に失っている。しかし気候の破局は避けることが可能である。それには普段の政治以上の政治的リーダーシップと勇気ある政治主導が必要とされる。

この報告は、ヨーロッパが如何にしてそのリーダーシップを示せるかを検証するものである。すなわち、まず域内での迅速な温室効果ガス削減行動の実行、次に気候変動と開発の双子の危機に取り組む他国を支援する国際的義務を満たすことである。

最初に、ヨーロッパが短期間での時間枠で大幅な排出ガス削減を達成することができる低温室効果ガスな未来社会への移行にどのようにすれば着手できるのかを分析する。EU27カ国に対し、1990年比で2020年40%削減、2050年90%削減を達成可能とする詳細な部門別の緩和シナリオを示す。このシナリオではこの大幅な削減はエネルギー効率の急速な改善、化石燃料撤退の加速と、風力、太陽光、波力、地熱やバイオマススペースの熱電併給を含む様々な種類の再生可能エネルギーへの大幅な移行の組み合わせにより達成される。

2 つ目に、世界の途上国が低温室効果ガスな未来社会へと移行することを支援するヨーロッパの国際義務を評価する。世界の貧困国が気候変動危機と同時に厳しい開発危機に直面している背景を考慮するにあたり、温室効果ガス開発権（GDRs：Greenhouse Development Rights）枠組み（Baer *et al*, 2008）を世界的な気候問題への努力の公正な貢献分を評価するための基本として用いた。我々はヨーロッパの公正な負担は想定される平均緩和費用に応じて2020年に1,500億～4,500億ユーロと概算する。またそれは2020年に予想されるEUのGDP、13兆6000億ユーロのそれぞれ1.1%、3.3%である。

Friends of the Earth (FoE) 欧州の要望により、本分析は潜在的に大幅な緩和選択肢の使用に訴えずに特定レベルの排出ガス削減が達成できるかどうか調査するために設計されている。特に、原子力発電の新設なし、現行の原子力発電所の段階的廃止、化石燃料ベース発電へのCCS利用なし、EU域内で生産されたか輸入かによらずバイオ燃料なし、の点を仮定している。たとえこれらの緩和選択肢がなくても、ヨーロッパは域内のみで、すなわち国際的オフセットを用いなくても、2020年40%目標を十分満たすことが可能である¹。

シナリオの技術的対策に加え、低炭素な未来へ必要とされる移行の促進補助における充足性と公平性の役割も検証している。これは「現状のまま（BAU：Business as Usual）」で想定される将来に比べ唯物主義ではない将来を表している低いGDPレベルに反映されているが、それでも今日よりずっと豊かである。事実、ベースラインシナリオは2008年から2050年の間でGDPが1.8倍

¹ 2030 年以降においてもオフセットの利用はないが、シナリオは中東や北アフリカからの太陽熱起源の電力を含んでいる。

の伸びを見せるのに対し、緩和シナリオにおいては「たったの」1.6倍の伸びである。気候危機に取り組むためEU全域での動員を達成すること、作業負担をどのように分担するかにおいて一致を得ることは国家間でのより強固な団結が求められるということを基本として、EU国間での公平さレベルの上昇が想定される。

緩和シナリオは経済の中で主要な温室効果ガス排出部門それぞれにおいて制定されうる技術と鍵となる政策の詳細なボトムアップ評価で示している（主要な温室効果ガス排出部門とは建築、産業（エネルギーと生産過程の排出ガス）、輸送、発電、熱電併給（CHP）、固形廃棄物、土地利用、農業である）。我々は既に商用利用されているか、または開発中で今後20-30年に商用化が期待される選択肢のみを含む、故意に保守的なアプローチを試みている。我々は大規模に市場浸透するのはまだ当分先と考えられる水素燃料電池や第2世代バイオ燃料など潜在的に規模の大きい手法を除いている一方で、電気自動車のような選択肢をシナリオの鍵として調査期間後半の2020年、2050年にのみ含んでいる。

我々はまた、デヴィッド・マッケイ(David Mackay, 2009)により提案された、いかなるエネルギーシナリオにおいても鍵となる特徴は「計算が合わなければならない」という原理に従っている。特に我々は十分な再生可能エネルギー源がシナリオの要求を満たすことができるかどうかに関心を当てていると同時に、再生可能エネルギーに関して現在予想される経済的潜在性のみを考慮することで保守的なアプローチを取っている。

緩和シナリオはEU全域にわたる2020年40%、2050年90%の温室効果ガス削減が実際可能であることを示している。しかし我々のシナリオを唯一の道筋と見るべきではない。科学が必要であると明らかにしている種類の大幅な削減が達成可能であるかどうかテストするための初期調査のみまたは技術の存在証明のみを現している。現在の不十分な政治的意思と意欲が欠乏している状況において短期での政治的にもっともな選択肢に過度に関心を寄せてはいない。それよりも気候変動に対応するための大幅な流動を想定することで何が可能であるのか調査することを意図している。

我々は家庭、サービス、輸送、発電の緩和シナリオでの累積増加コストを見積もっており、また避けることができる燃料購入費用を2010-2020年期間において約2兆ユーロと見ている。我々の見積もりには大きな不確実性があるが、このコストは同期間におけるヨーロッパのGDPの2%に等しい。他に、同様に意欲的な削減目標と技術を考慮したより幅広い経済的研究はより長期間ではそのコストは1 - 3%の幅であるとしている。言い方を変えれば、このコストは通常の経済成長を再開する前に約1年間一時的にGDPを一定に保つコストに等しいだろう。それは深刻な気候危機の状況を見るとわずかなコストである。

(P.3)

2. イントロダクション：気候変動への挑戦

今日、我々の地球は産業時代が幕を開けた19世紀より約0.75度暖かい。地球温暖化は加速しており、温室効果ガスの削減に前例のない程の努力をしなければ、科学者は21世紀末までには地球の気温は5度まで、それ以上の可能性もあるが、上昇するかもしれないと予測している。わずかな温暖化はそれほど脅かされるものであると聞こえないかもしれないが、実際は地表の様相を完全に変えるに十分な程度だろう。つまり、人類文明が発生し栄えている居住に適した気候から、居住に適さない氷期の底とを分つのはたったの4・7度なのである（IPCC, 2007）。

従って、多くの政府、学会や市民組織に産業革命前の気温レベルを超える2度の温暖化が避けなければならない気候変動レベルであると採用されていることは驚くことではない。最近、主要経済国会合(MEF)参加国 – アメリカ、EU、日本、ロシア、中国、インド、インドネシア、南アフリカ、ブラジルなどを含む – が温暖化を2度以下に抑えるための科学的基礎を認識する共同声明を発表した。しかし、IPCCの第4次レポート（IPCC, 2007）に明記されているように、またその後の研究により強化されているように、たとえ2度の温暖化であっても非常に危険なレベルであるだろう。一つ例を挙げると、2度以下の温暖化であってもグリーンランドや南極西部の氷床の大部分が融解するという不可逆変化の引き金を引きかねない、十分に定量化されていないが重要なリスクが存在する。明らかなたった0.75度の温暖化で、急激な北極海の氷の後退や永久凍土の融解による温室効果ガスの放出など、我々はすでにその影響を確かめている。それはそれ自身が危険であるだけでなく、温暖化をさらに加速させるポジティブフィードバックの始まりでもある。これらフィードバックがすでに始まっているという事実は、意味深いことに、気候システムの全体的な感度が極めて高いことを示す強い証拠であり、近年管理可能で安全であると考えられている安定濃度、例えば450ppm（CO₂換算）でさえ実際は極めて危険であることを示す強い証拠である。その結果、今日では温暖化を十分に2度以下に保つことを求める者もあり、合わせて80カ国に8億人の人口を抱える島嶼国と後発途上国（LDC）の国々は国際交渉において「可能な限り低く、高くても1.5度以下」で温暖化を抑制することを要求している。

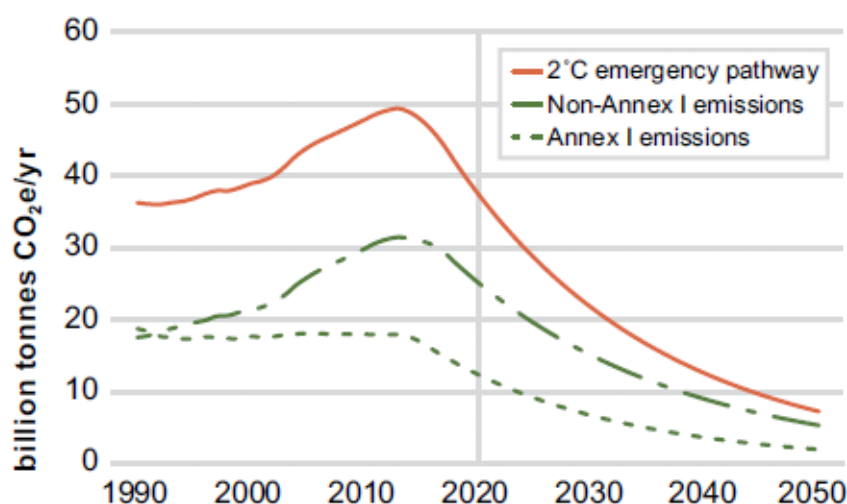
温暖化を1.5度以下に、またはたとえ2度以下でも、抑える挑戦は歴史的価値があり、そして我々の世代はこの挑戦に対処したかどうか審判されるだろう。

途上国が地球温暖化を最小限度とするための非常に積極的な姿勢があることは驚くことではない。というのは、途上国は特に気候変動の影響に対し被害を受けやすく、その損害を偏って被るだろうからである。しかしながら、厳格な気候保護目標により課せられる厳しい排出規制は途上国を非常に困難な状況にする。

単純化して考えてみると、気候問題の深層構造と途上国が直面している難題の真の規模が明らかになる。図1は2度ラインを考慮するに十分野心的な道筋（赤線）により決定された、残されて

いる世界炭素収支の大きさを示したものである。その内、たとえ先進国²が2050年までに実質的に排出ガスを放出しない、かなり意欲的な努力を行うとしても消費するであろう炭素収支の一部も示している（緑点線）（セクション3、4で説明するヨーロッパシナリオと一致する）。これより、単純な引き算から、世界の残りの国々、つまり途上国に残されている炭素収支が驚くほどわずかなであることがわかる（緑の点-破線）。

図1：南のジレンマ



より詳細に見ると、さらに厳しい状況がわかる。まず、2度ラインに伴う努力はまさに英雄的である。事実、CO₂濃度を420ppm以下としその後350ppmへと下降し始めるように³、2015年以前に排出ガスの世界ピークを持ってくる、2050年までに1990年レベルで80%低下させるという緊急対応を反映している。そのように意欲的な世界的努力を結集してもなお、我々は「安全」であることをほとんど意味しないだろう。我々はそれでも相当の気候影響とリスクを被るであろうし、おそらく1.5度以下に温暖化を留めることに失敗するであろう。そして2度を超える可能性もおおよそ15-30%あるだろう。この軌跡はIPCCが温暖化を2度以下に保つことが「可能性が非常に高い」でなく「可能性が高い」であると述べている⁴ものである。

2つ目に、ここで示している付属書 国の排出の道筋は現在のEUやアメリカのもっとも意欲的な提案よりも更に非常に野心的である。2012年以降、毎年5%以上で排出ガスを減少し、2020年までに1990年レベルで40%削減に達する。そして最終的には、2050年以降はほぼゼロレベルへと落とす。これとは反対に、付属書 国が提唱している様々な計画により示される取り組みを累積

² UNFCCC の交渉内では、先進国は「付属書 国」と呼ばれ、途上国は「非付属書 国」と呼ばれる。付属書 国はおおまかに世界人口の 5 分の 1 を占め、世界収入の 4 分の 3 を占めている。

³ 最近の調査では、一度 CO₂ 濃度がピークに達すると、それらは積極的に大気から CO₂ の回収を加速するための対策がとられなければ大気中に非常に長い間安定して残り、またその下降は非常にゆっくりであり、結果として 350ppm へ戻るためには 1,000 年の時間規模となるだろうと示唆している (Solomon *et al.*, 2009, Eby *et al.*, 2009)。

⁴ 詳細については Baer and Mastrandrea (2006) 参照のこと。より最近の結果が一致している分析については Meinshausen *et al.*, (2009) 参照のこと。

したレベルはこれに全く達しない。例えば、国連事務局（2009）は付属書 国が誓約している削減は合計して2020年までに1990年レベルで17-24%と明らかに不十分であると見積もっている⁵。

3つ目に、ここに示した非常に厳格な先進国の道筋にも関わらず、途上国に残された排出余地は大幅に制約されるだろう。事実、途上国の排出ガスは先進国の2020年以前の排出ピークのわずか数年後にピークを迎えなければならないだろう⁶。そしてその後、10年ごとに半減していかなければならない。そしてこれは、途上国の人々が依然貧困から抜け出そうと努力している中、懸命に生活水準の意味ある改善を求める一方で行動しなければならないだろう。つまり、もし付属書 国の削減がここに示されているものより意欲的でなければ、それはもちろん途上国においてより急進的な排出削減が必要となることを意味している。

気候変動問題の扱いを困難にさせているのは、まさにこの3つ目の点である。先進国、途上国どちらにおいてももはや炭素ベースの開発は今や選択肢ではないことは明白である。しかし、発展へ唯一証明された道筋はエネルギーサービスへのアクセス権への拡大であり、その結果は一見避けることのできない化石燃料使用の増加であり、つまり炭素排出の増加である。途上国の立場から見ると、これは真っ向から開発と気候保護を対抗させているようである。気候保護を論じることと同じくらい重要である開発を犠牲にした解決は出ない、と途上国がはっきりと強く主張し続けているのはこの理由のためである。

しかし、解決のために開発を犠牲にする必要はない。代替するクリーンエネルギーが存在する。しかし現状においてはあくまで「代替」としてであり、広く実行されておらず、また、発展を遂げるための実行可能な基礎として証明されていない。先進国はこれら代替エネルギーの開発に世界を導いておらず、事実上は石炭火力発電所やエネルギー集約型の輸送インフラの構築など今までの温室効果ガス集約型発展をより揺るぎないものとする歩みを取り続けている。

したがって、気候変動よりもむしろ貧困がまず途上国の交渉官たちの心にあることは驚くことではない。開発危機は単に難題であるだけでなく扱いにくいものであることを示しており、資源と政治的注目の拡大を非常に必要とする。更に悪いことに、気候変動の影響は今直接的に、抽象的な将来の脅威としてではなく、食糧補償、水補償や生活の土台を崩す明確な脅威として世界の貧困者に影響を与えている。そして今、途上国の交渉官は、緊急を要する気候安定化が彼らから豊かな国への発展を可能にする安価な化石燃料資源へのアクセス権を奪う非常に現実的な可能性に直面している。中国、インド両国は膨大な石炭を長く待ち望んでいる成長を後押しするものと長く期待している。最低限のミレニアム開発目標（MDGs）でさえ第2優先順位として扱われており、先進国がその達成に少しも興味を示さない中、先進国が進んで気候危機への急務対応が貧困危機対応に影を落とさないようにするであろうと途上国が想定する理由はない。

⁵ 確率表記に言及するため IPCC が用いる厳密な言語は（IPCC WG1, 2007; Box TS.1, p.23）で与えられる。

⁶ これは2009年8月時点での予想であり、重要な UNFCCC コペンハーゲン会議の3ヶ月前である。2つ目の技術分析（AOSIS, 2009）は Annex1 国の誓約を合わせて 10 - 16% と見積もっている。

図1は気候と開発危機の関連についての普遍の事実を簡潔に表している。もし不快にさせなければ、それこそがとりわけ途上国を元気付ける、途上国の描く道筋である。先進工業国の道筋は大変な努力を要するであろうが、それら国々は技術、財源、必要とされる社会への移行に向けるための制度インフラを、それら国々がそのようにすることを選択するのであれば、すでに保持している。途上国の道筋はまさに大きな挑戦であることを反映している。途上国のするどく、切迫した減少への道筋を見ると、途上国の気候問題交渉官は気候システムの無慈悲な限界に容易にとらわれうる。そして実際は、もう一度言うが、気候変動影響の悪化なしに世界でほぼ使用され尽くした炭素収支以内に留める必要があるのであれば、発展が犠牲とされる可能性に怒りを感じるだろう。

EUとその他の先進国に予想される結果は明らかである。まず、これらの国々は途上国が十分に自立した気候の可動化を行うために必要な資金と技術源へのアクセスを確実にしなければならない。必要な資源なくしては、途上国の緩和努力はより控えめなものとなり、そして気候危機に対処するために必要なものよりずっと小さくなるだろう。その主な焦点はより即座で緊急の貧困危機に向けられるであろう。

2つ目に、EUと他の工業先進国は残された炭素収支量において途上国が利用できる十分大きな部分を残しておかなければならない。図1に示すように、世界の炭素収支は厳しく制限され、たとえば先進工業国の排出量が2020年までに1990年レベルから40%低下し、2050年までに90%低下するとしても、残された炭素収支のおよそ1/3を消費する⁷。これは途上国が利用可能な量を著しく制限し、その排出ピークを2020年よりずっと前に持ってこなければならず、急速な下降が必要となるだろう。もし先進国の排出量削減が意欲的でなければ⁸、さらに途上国に残されるものは少量となり、それは世界の貧困国が発展する可能性に大きな疑問を投げかける。

しかし、更に1～2度の温暖化により我々の世界がいかに大きな影響を受けるのか、科学が極めて明らかに我々に伝えようと、多くの人々はそのような温暖化、またはより厳しい温暖化であっても防ぐことが可能であるという自信を失ってきている。この自信の喪失は我々の蓄積された科学的、技術的能力についての疑問によるものや、我々の自虐的道筋から離れるためには法外に高価であるといういかなる説得力のある議論によるものでもない⁹。むしろ我々の社会は気候を保護するという政治的難題への準備ができていないという広く行き渡った仮定によるものである。

⁷ 最近 Meinshausen *et al.* (2009) により Nature 誌で表されたように、温暖化を2度以下に保つ理にかなった機会を保つためには世界的な二酸化炭素の排出量（土地起源および化石燃料起源の両方）を21世紀前半50年で1,000GtCO₂より少なくなるよう制限することを要する。もし森林伐採や土地劣化を10年以内に止める断固とした努力がなされれば、土地からの排出ガスはおおよそ60GtCO₂に限られるだろう。これにより化石燃料利用からの排出ガスへはおおよそ940GtCO₂が残るが、21世紀となって以来ちょうど10年ですすでにおおよそ280GtCO₂を排出している。残り（660GtCO₂）は、化石燃料が独占しているまる2世紀に渡って消費している総化石燃料炭素収支（2,000GtCO₂以下）のほんの3分の1である。

⁸ Annex1国の2020年40%、2050年95%削減は残り660GtCO₂化石燃料炭素収支の内、約210GtCO₂を消費するだろう。この削減レベルはIPCC第4次評価報告書においてAnnex1国へ示された450ppmCO_{2e}での排出ガス安定化シナリオ（IPCC WGⅡ, 2007; Box 13. 7, p.776）への削減幅（2020年までに25-40%、2050年までに80-95%）の上限である。

⁹ そのような論点はIPCC 4th Assessment Report (IPCC, 2007), the Economics of Climate Change (Stern, 2006)や最近の"Economics of 350" (Ackerman *et al.*, 2009)などに示される包括的な分析により十分に晴らされる。

この意気をくじく意見は誤りであると証明されなければならない。気候の破綻は避けられうるが、そのためには平時の政治を超えた政治的リーダーシップと勇気ある政策指導力が求められる。本報告はヨーロッパがそのようなリーダーシップを示すには何を必要があるのかを検証している。そのためにはまず、自国内での温室効果ガスの急速な削減であり、次に気候と開発の双子の危機に対処している他国を援助する国際的義務を果たす必要があることである。以降、この報告はヨーロッパがいかにして上記二つの挑戦を果たすことができるのかについて検証している。

- セクション3から5にかけて、短期において積極的な排出削減を行うことにより、どのようにヨーロッパが低温室効果ガスな将来への移行に着手できるかを検証している。我々はヨーロッパが1990年レベルで2020年までに40%の温室効果ガス削減、2050年までに90%削減の達成を可能にする緩和シナリオの部門ごとかつボトムアップ分析を示す。
- セクション6において、我々は気候に一致した発展の道筋への世界的変化への着手を援助するヨーロッパの義務を検証する。世界の大部分が瀕している気候危機と同様に厳しい開発危機を背景に考慮することにより、我々は途上国が気候変動に適応し、低温室効果ガスな将来への移行を可能とする先進国の公正な期待への理解を通じて枠組を提案する。

(p.7)

3. 欧州域内の取組：ヨーロッパの緩和シナリオ

この研究のセクション3、4では、域内からの温室効果ガス排出を2020年までに1990年比40%以上削減、さらに2050年までに90%削減を達成するための詳細な緩和分析を行い、ヨーロッパの大幅削減シナリオの特徴を探索し、かつ明確にする。

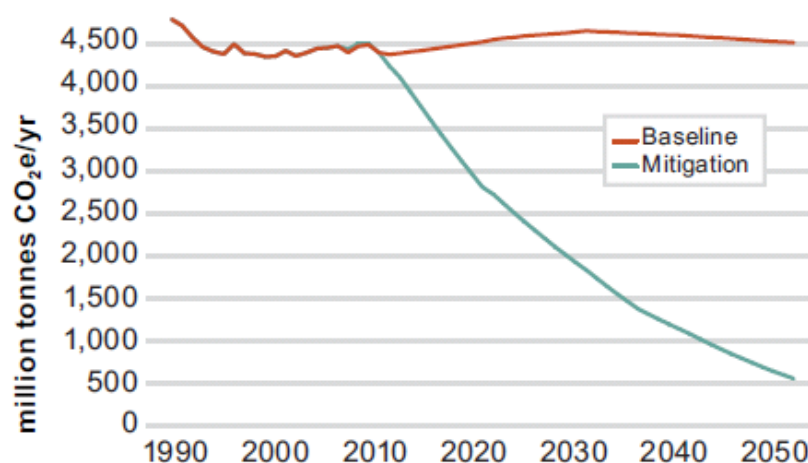
そのために、ヨーロッパのエネルギー部門が今から2050年までの間にどのように発展すべきか、2つの大きく異なるシナリオで分析する。ベースラインシナリオは、現状の政策が継続され、それに伴って温室効果ガス排出量が少し増えると仮定する。緩和シナリオでは温室効果ガス排出量を大幅に削減するという実現可能性を調べる。技術、政策、費用、ヨーロッパの社会構造が今から2050年の間にどのように変化するかについては大きな不確実性があるため、こうした長期展望は難しい。それにもかかわらず、エネルギーシステムは長期のライフタイム（存続期間）をもち、資本集約型であるという性質があるため、そして取り組むべき問題 - すなわち温室効果ガス排出量を急速に削減すること—が本質的に長期にわたるため、この展望は大変重要である。

図 2¹⁰¹¹は、2つのシナリオで全EU27カ国の温室効果ガス排出量がどう推移するかを示してい

¹⁰ 我々の1990年エネルギー部門のみのCO₂排出ガスは4,075MtCO₂と予想している。これはIEA (IEA WEO, 2008)の4,040MtCO₂、EEA (EEA, 2009)の4,083MtCO₂と比較する事が出来る。見積もりにおけるわずかな差異は、主に我々の分析に求められる単純化された一連の燃料および排出ガスの係数によるものである。1990年にEEAより報告された総正味温室効果ガス（LULUCF吸収源を計算に入れた後）は5,230MtCO_{2e}（LULUCFを除くと5,563MtCO_{2e}）であり、我々の研究に用いた4,786MtCO_{2e}より高い。EEAスタッフとの個人的な情報のやり取りでは、この差異はEEAの目録（化学や鉄鋼部門からの行程排出ガス、そしてフッ素化ガスを含み、これらの範囲は我々の調査では詳細をカバーしていなかった）における産業行程のよ

る。主要な温室効果ガス（CO₂、CH₄、N₂O）の排出量を二酸化炭素換算し合計されている¹²。

図2：両シナリオにおけるEU諸国の温室効果ガス排出



ベースラインシナリオでは、現状の政策が大きく変わることなく続いた場合、ヨーロッパのエネルギーシステムがどのように発展すべきかを調べている。ベースラインでは、大幅な経済成長をエネルギー効率の向上、及び石炭—最も炭素集約度の高い燃料—からの段階的な脱却によってバランスをとるので、2050年までの温室効果ガス排出量増加はわずかである。このベースラインは、様々な情報源—歴史的な傾向、国レベルの様々な調査、欧州委員会自身による2030年に向けたベースラインのエネルギー予測（EC,2008）—を未来に当てはめた、国際エネルギー機関（IEA）発行のEU27各国の詳細かつ歴史的なエネルギー統計を使用している。こうした情報源からの情報はさらに増え続け、調整されている。例えば、最近の地球規模での経済危機を反映したり、国際航空・非エネルギー部門の温室効果ガス排出源・吸収源（工業過程、土地利用変化、廃棄物、農業）—ECの研究とIEAデータセットから除かれている分野—からの温室効果ガス排出量の予測を含めたりといったものがある。こうした理由から、ベースラインシナリオの結果はより完全ではあるが、IEAのエネルギー統計や欧州委員会のエネルギー研究といったものと直接比較されうるものではない。本研究でのエネルギー予測は、人口及び経済成長、技術変化、経済構造のシフトについての一般的な前提を2050年に当てはめている。

緩和シナリオは、来る半世紀にヨーロッパの温室効果ガス排出量の大幅削減を達成するための技術的な実現可能性を調査する基準シナリオである。特に、1990年比で2020年に40%、2050年には可能な限り、域内の温室効果ガス排出量を削減することを目標にしている。このシナリオ

り完全な会計によると示している。

¹¹ 我々のヨーロッパの温室効果ガス概算と同じく IEA, EC や EEA の報告書も全て EU 域内で発生する生産起源の排出ガスである。それらは全て「内包された排出ガス」・EU で消費される製品を製造するために他国で発生する排出ガス、それは消費起源の概算において反映される・を省いている。内包された排出ガスの最近の評価は、これら排出ガスは重大であり成長していることを示している。最近のイギリス政府への SEI 調査は、消費起源でイギリスの排出ガスを計算すると、その概算ははるかに高くなるだろうと計算した。それは一般的に予想されている 1992 年から 2004 年の間の 5%低下よりもむしろ、イギリスの CO₂ は消費を基本とすると実際は 18%上昇していることを示している（Wiedmann, 2008）。本報告においてこれらの内包された排出ガスを含む事は出来ていないが、その除外によりヨーロッパ市民が責任を持つ排出ガスを著しく過小評価していると認識されるべきである。

¹² より詳細な結果については、本分析に添付の LEAP データセットを参照のこと（www.energycommunity.org から取得可能）。

は、エネルギー効率の抜本的な向上・化石燃料の早期廃止・多様な種類の再生可能エネルギーへの劇的な移行を組み合わせることで達成される。公平性と充足性がこうした目標を達成するのに手助けとなることも調査している。

次のセクションではどのようにそれほどの削減を達成するか、そしてそのシナリオはどれくらいの費用がかかるのか調査する。その前にいくつか注意事項を述べておく。

- 第一に、この緩和シナリオは推奨された道筋として考えられるべきではない。科学が必要だと言っている大幅削減のうち、どれが達成可能であるかを試した、単なる技術的存在証明にすぎない。今後のセクションが現実に達成可能だと示していると期待するが、同時にこの研究は初期の調査であることも理解している。今後、より詳細かつ経済効率のよい行動計画が、洗練された形で提示されるはずである。
- 第二に、この緩和シナリオは、気候変動問題がこう着している現状で、選択肢の短期的な政治的妥当性によって制約されるものではない。むしろ、ヨーロッパと世界とが気候変動問題への挑戦に誠実に対応できうる協調的な動きを約束するという大前提のもと、何が可能であるか模索することを目的としている。
- 第三に、2050年のような遠い未来を調査するシナリオをつくる時、“まだ存在しないが開発されるであろう”技術に多くを頼るのは魅力的なことである。2050年までには否応なく技術が大きく進歩するだろうし、今では想像もつかないような方法で気候変動を緩和する挑戦に取り組むことができる技術が見つかるだろうと期待するような気候変動への大きな動きも想定できる。実際 40 年前の 1969 年を振り返ると、現在実現されているエネルギー技術の多く（風力、波力、太陽光、太陽熱、天然ガスの効率利用、エネルギー効率化技術）はほとんど想像されていなかった。それでも、エネルギー部門では資本投資が超長期に渡るため、次の 10 年のうちに今では想像もつかないような新しい低炭素エネルギー技術が実用化されるとしても、資本の回転が遅いので十分な貢献にはならないだろう。緩和シナリオではわざと保守的なアプローチをとり、すでに市場化されたり、あるいは今すでに十分に発展していて今後 20-30 年のうちに市場化を期待される技術的な選択肢だけを考慮することにした。そのため、水素燃料電池や核融合といった市場化に何十年もかかるであろう大きな選択肢の可能性は除外した。一方で太陽エネルギーと電気自動車といった選択肢は大きな構成要素となっているがこれはシナリオの後半からに限っている。
- 第四に、デヴィッド・マッケイの近著から、全てのエネルギー計画の鍵となる特質は「計算が合わなければならない」という彼の名言に従った（MacKay, 2009）。特に、EU 各国にシナリオの要求を満たすほどの再生可能エネルギー資源が十分にあるかどうか注目した。残念なことに、計画を確実にする際の鍵となる不確実性を合わせると、鍵となる再生可能エネルギー資源の技術的予測と経済的予測の間に大きな隔たりを生んでしまう。そのため再生可能エネルギーを尊重しながら保守的なアプローチをとることにし、気候保護に注目する世界では経済的であるとみられている再生可能な資源が、たとえ現状の市場条件下で考えられる

量よりもはるかに大きいとしても、現在予測されている経済的な可能性のみを考慮している。

- 最後に、考慮される全ての選択肢の費用を理解することは当然ながら重要である。残念なことに費用予測は、シナリオが技術的に達成可能かどうかを単に予測するよりもはるかに難しい挑戦である。こうした分析には、化石燃料の使用を止めると決めた世界での将来の化石燃料価格や、低炭素技術をかつてないほど研究・開発・普及した場合の技術費用がどれくらいになるかを含め、不確実性の原因が多くある。こうしたことから緩和シナリオでは経済費用予測はとても大雑把に計算したにすぎず、2020 年までの予測に限っている。さらにシナリオのすべての視点を費用算出することはできなかった。費用削減予測についてはかなり保守的な予測となったので、経済費用の予測（セクション 4.10 参照）は、予測推定幅の上限に近い値と考えてほしい。

(p.9)

3.1. 除外した選択肢

FoE欧州の要望によりこの分析は、潜在性は大きいが賛否が分かれているいくつかの選択肢は採用せずに、ある特定の水準の排出削減を達成できるかどうかを調査することを目的とした。特に、EU域内・輸入に限らず、原子力発電の新設はせず、既存の原子力発電施設は段階的に廃止し、化石燃料起源の発電に対する二酸化炭素回収・貯蔵（CCS）はせず、バイオ燃料（しばしばアグロフールとも言われるもの）は用いないこと、と仮定した。こうした緩和選択肢を取らなくとも、ヨーロッパは域内の取り組みだけで2020年に40%削減の目標を十分に達成できる。つまり、国際的なオフセットも必要ない。2030年以降もオフセットは必要ないが、シナリオには国際的な発電源（中東および北アフリカ）からの太陽起源発電を含めている。

これらの除外した選択肢は、しかしながらシナリオの CO2 緩和目標を目指す挑戦を手助けするだろう。特にこれらのうちいくつかは、風力・太陽など再生可能エネルギー供給の変動性の問題を軽減できうるベースロード発電（必要電力のうち、最もベースとなる部分）となるだろう。しかしながら、広義での安全性と持続可能性に対する様々な懸念があること、そして再生可能エネルギーと大幅な構造的変化を含めた効率の向上はシナリオが挑戦する排出量削減に十分見合うかどうかを探求したいという欲望のために、これらは除外された。

原子力発電にかかる懸念には、核兵器の拡散への寄与の可能性、原子力発電の安全性、そして（数千年といった）超長期にわたる放射性廃棄物の廃棄・保存の安全性も含んでいる。これらの問題が適切に議論されるには十分な努力が必要であり、まだ決着がつかないまま賛否両論がある。歴史的には、原子力発電は石炭や天然ガスと言ったほかの発電源と比較すると費用がかかりすぎると捉えられてきた。これは本当であるが、緩和シナリオの文脈においては大きな課題ではない。なぜならば、シナリオでは多くの新しい技術の導入を予測しているが、その中には必然的に現状の化石燃料をベースとした技術よりもはるかに高い費用で運転するであろう技術があるからである。

二酸化炭素回収・貯蔵（CCS）を伴う石炭火力発電もまた、技術面での様々な懸念があるために本研究から除外した。技術的な懸念としては、技術に証明されていない性質があること、CO₂を貯蔵する適切な場所は限られていること、そして CO₂ 貯蔵に対する信頼性である。また、既存の化石燃料発電所は早急に廃止する必要があるが、CCS はそれに間に合うように市場化されるかという深刻な問いにも直面している。より一般的な懸念は、CCS の約束はそもそも、いわゆる「CCS に対応した」石炭火力発電所を新しく建設する許可を政府から得るために、広報・宣伝運動として使われていることだ。こうした発電所が（初期段階では CO₂ を回収するほどの大きな能力が全くないままに）建設されてしまうと、その後 CO₂ の回収・貯蔵を追加するための設備を要求することが著しく困難となるだろう。

しかしおそらく、石炭 CCS に関するより大きな懸念は、気候変動問題が現在予測されているよりもはるかに大きな問題になるかもしれないということだ。大気中の CO₂ 濃度を非常に低く抑えるには、結局のところ大気から CO₂ を積極的に取り除く必要がある。その場合、CO₂ の貯蔵地は貴重な資源になる。石炭の燃焼から発生する CO₂ のためにそうした用地を使用することは貴重な資源の浪費とみなされるだろう。

原子力と石炭 CCS に関するもう 1 つの大きな懸念は、高水準の研究開発（R&D）財源が必要なことだ。この R&D のために支出すると、再生可能エネルギー（RE）やエネルギーの高効率化（EE）開発に必要な水準の投資を追いやるかもしれない。もし原子力や CCS 技術がより大きな規模で動き出したら、RE や EE 技術の支持者は十分な注目を浴びないと心配する。

緩和シナリオでは、バイオ燃料について、特に土地利用の変化からの排出量が考慮された場合、温室効果ガス緩和効果が少ないという懸念が現在あるため、除外した。バイオ燃料の二次発電についても、FoE Europe では土地利用の予測結果と、食物生産用地と自然生息地の競合に対する懸念を持っているため、2050 年までは除外した。しかしながらおそらく 2050 年以後はこれらは考慮すべき重要な選択として残るだろう。

最後に、小規模・分散型エネルギーシステムをベースとした未来を見たい人と、より統合的かつ地域が相互に連結されたエネルギーシステムを受け入れたい人との間に、より基本的な緊張関係がある。小規模システムの支持者には、原子力や CCS のような大規模発電システムは基本的に受け入れがたい。しかしながらシナリオでは、北アフリカからの大規模太陽光発電といった大規模エネルギーシステムの可能性をいくつか考慮した。それ以上に、2050 年までのシナリオで導入される再生可能エネルギーが高レベルであるため、地域間相互連結がより大きくなると共に、（揚水貯蔵、圧縮空気によるエネルギー貯蔵、電気自動車でのフライホイールや貯蔵、その他のバッテリーシステムなどの）送電・配電容量を減らす RE の地域的エネルギー貯蔵選択肢を含めるといった、様々な選択肢によって需要と供給のバランスをとる必要があることを予想している。分散型をとるか、集約型をとるかの戦略について、賛否を見極めるにはより詳細な調査が必要であり、本調査の作業を超えている。

言うまでもなく、オフセットは EU 削減シナリオから除外されている。なぜなら定義によれば、

本研究の焦点は EU 域内の温室効果ガス排出量を削減する手法だからだ。オフセットは緩和手法ではなく、本質的な削減を単にどこか他の場所に移す仕組みにすぎない。もし認めれば、このシナリオが示している緊急かつ必要な変革を引きのばすことを EU に認めることになる。

(p.10)

3.2. 充足性と公平性の役割

このベースラインシナリオでは、ヨーロッパの GDP は 2008 年規模から 2050 年に 1.8 倍になると仮定している。2050 年まで、貧しい国々ではより早い割合で収入は成長するが、EU27 力国での富裕層と貧困層との平均的な収入水準は劇的に差が開く。2008 年 EU 最貧国のブルガリアの平均収入水準は 1 人あたり 3,350 ユーロ (1 ユーロ=120 円として 40.2 万円) だけだが、最富裕国のルクセンブルグは 75,600 ユーロ (1 ユーロ=120 円として 907.2 万円) である。2050 年まで、ベースラインシナリオでの格差は 148,000 ユーロ (1 ユーロ=120 円として 1,776 万円) に増える。ルクセンブルグを除いてさえ、シナリオの期間中、格差は 44,000 ~ 64,000 ユーロ (1 ユーロ=120 円として 528 ~ 768 万円) に広がる。

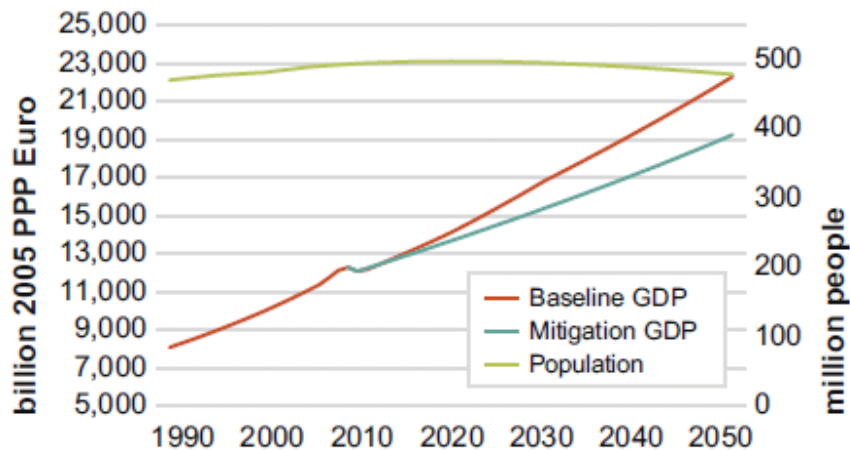
なぜこうした高水準の成長と各国間の大きな格差が重要なのだろうか? 緩和シナリオでは、GDP と温室効果ガス排出量は関連性がなく、GDP が劇的に成長しても大きな排出削減は達成可能である。そのため表面上は GDP を低く抑えることが排出を削減する重要な手段になると考える必要はない。しかしながら、気候問題は地球が直面している広義の持続可能性に関わる危機の一部にしかすぎず (Rockstorm *et al.*, 2009)、資源の消費をいつまでも拡大し続けることはできないことを明らかにしなければならない。遅かれ早かれ、より豊かな国々や人々は充足性の重要性を受け入れ、新しい生活のスタイルを見つける必要がある。すなわち消費をこれ以上成長させ続けることを期待せず、豊かに健康に暮らすのだ。

緩和シナリオでは、ヨーロッパやその他の国々は地球がもつ全容量の範囲内で持続可能な方法で生きる必要があることを認識して行動を始めると仮定し、緩和シナリオ全ての GDP 成長を控えめに予測することで、充足性に関する懸念を反映させた。具体的には、EU27 力国総計 GDP は 2008 ~ 2050 年までベースラインシナリオでは 1.8 倍成長としたのに対し、緩和シナリオは「たった」1.6 倍の成長とした。

図 3 は 2 つのシナリオで EU GDP 全体がどう成長するかを比較した。また 2 つのシナリオで同様に想定されている EU の人口増加も表した。

充足性に関する懸念に付け加えると、気候危機問題について触れるときは、先にセクション 3 で述べたように公平性の問題について触れることも必要である。2050 年までにほぼ 90% の温室効果ガス排出量を削減するには、全 EU 各国が協力して取り組むことが必要である。今日でさえ、気候変動問題に取り組むために行動する負担をどのように分かち合うかについてコンセンサスを得ることは簡単な問題ではないのは明らかである。豊かな国と貧しい国の格差が広がっている環境において同様のことをするのは大変な挑戦になるだろう。

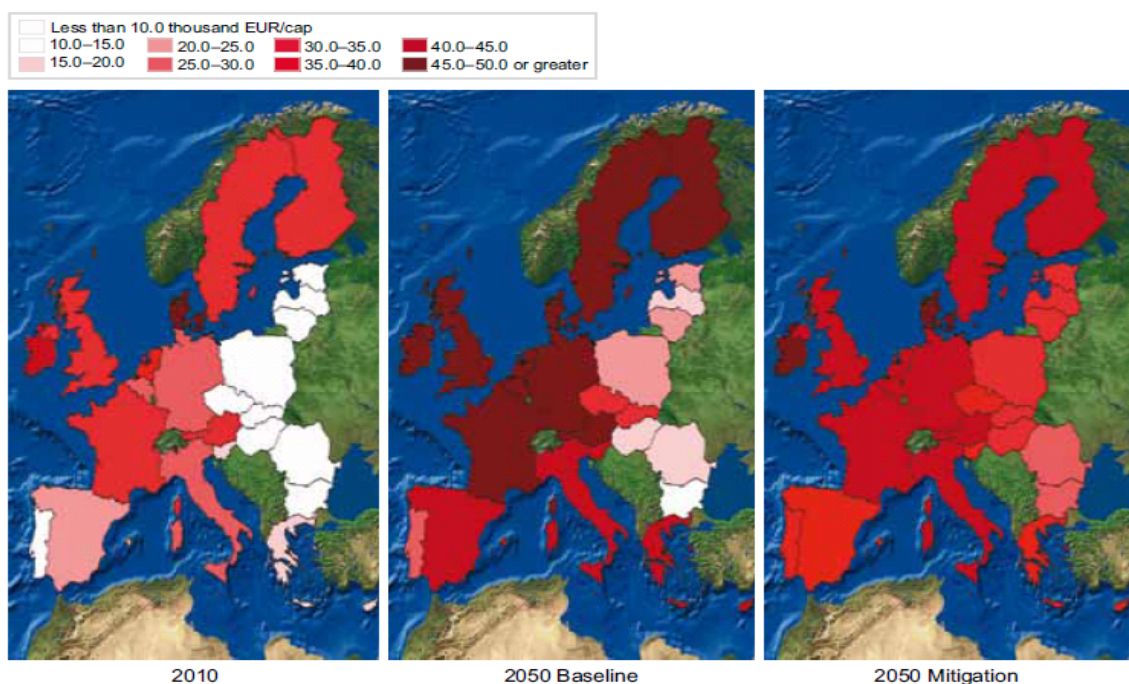
図 3：人口予測と両シナリオにおける GDP 予測



この理由から緩和シナリオでもベースラインシナリオとは成長の異なるパターンを仮定した。ヨーロッパ内の国々で収入水準の合致を促進する重要な財政政策やその他適切な政策が実施されると仮定した。これは、貧しい国が豊かな国の発展水準に追いつくのを助けることで結果を出すというそもそもの始まりがあるが、EU のこの広義の目的が継続することを示す。しかしベースラインシナリオよりも早く意見が合致することを確実にするため、実際に起こっている現実の変化も表している。

こうした仮定の結果は下図のとおり、2つのシナリオの収入予測を比較した。図4は、ベースラインシナリオでは新しい加盟国がより早い割合で成長するにもかかわらず、平均収入が絶対的に発散する様子を表している。緩和シナリオでは、EU の平均収入は約 24,000 ユーロの現在価値から少しずつ増加し 2050 年に 40,000 ユーロになる。

図 4：欧州各国の平均収入



これは 2050 年までに 47,000 ユーロまで平均収入が成長するとしたベースラインシナリオの仮定よりも少し遅い成長ペースである。しかし、緩和シナリオでは EU 全体の GDP 成長はベースラインよりも平均的に低いとしているが（とはいえ今日に比べればまだ大きな成長だが）、GDP は経済消費の全ての水準を単純に置き換えているにすぎず、豊かさを直接示す数値ではない。より高い GDP がより大きな人類の豊かさを意味しているわけでは決してないし、特に豊かな国において収入は豊かさとほとんど関係ない（Diener and Suh, 2000）。そこで、緩和シナリオはベースラインシナリオに比べて少しだけ低い経済消費としているが、それでもまだより多くの余暇（非労働時間）があり、より健康で、より多くの社会とつながる機会を得るなどの積極的なライフスタイルの変革を通じてより高い豊かさを楽しむことが仮定できる（Layard, 2003, 2005; Kahneman *et al.*, 1999）。

(p.12)

3.3. 脱炭素社会における生活

ヨーロッパは、前セクションで概説した制限の中でしっかりとカーボンフットプリントを減らすという挑戦を達成したいならば、生産と消費の方法を大幅に変革しなければならない。変革は悪ではない。現在のヨーロッパ人が緩和シナリオの想定する2050年のヨーロッパに突然投げ込まれても、その生活はどちらかといえば快適と思うだろうと自信をもって言える。

シナリオでは、2050年は経済的にはより公平なヨーロッパとなっている。この経済統合は加盟国間の生活水準格差を減らそうとEU域内で進める努力、そして公共投資により温室効果ガス排出の大幅削減を達成するための全ヨーロッパにわたる努力が現実的な効果を生むこと、双方の結果であるだろう。日常の生活では、道路は歩行者や自転車の利用者が通行しやすくなる一方、公共交通はより手軽かつ便利に利用でき、交通渋滞は大幅に緩和されているだろう。2050年のヨーロッパ住民は、今慣れ親しんでいる方法とは異なるが、行きたい場所へ便利な交通手段があるだろう。1人当たりの居住面積は現在とほぼ同じだろう。それ以上に、物質的消費の平均水準は現在とだいたい同じだが（新しい加盟国の住民にとっては非常に高いが）、健康、地元での余暇の機会、その他非物質集約的サービスは全ての人にとって大幅に良くなっているだろう。

しかしながら、現状のヨーロッパ人はそうした未来に突然放り込まれるという選択肢はなく、喫緊の課題は今から未来へどのように移行するとヨーロッパ人に好まれるかということだ。この研究で前面に押し出されている移行は、ヨーロッパ全土にかなりのコストと非常に大きな努力をとまなう大仕事であることは明らかだ。

変化は膨大な量のインフラの交換や改良、そして新しい産業プロセスの発展を必要とし、生産・消費方法は今日に比べてほとんど物質集約型ではなくなる。

このセクションでは、そうした移行をヨーロッパ市民がどう捉えられるか、それに対してどう反応するか、青写真を示した。こうした変革の背景を覚えておくことが重要である。すなわち、ヨーロッパの人々は気候変動問題への挑戦を一般的に約束しているのだ。何よりも、増え続ける

エネルギーの依存状態が経済的・政治的不確実性を作り出す道筋、そしてヨーロッパの人々が彼らが動き出すのを助け、かつヨーロッパやうまく対処できない他の地域の次世代に残している強大な気候変動にますます気づき始める道筋など、ヨーロッパの人々がまだ経験したことも見たこともないもう一つの道筋が存在する。

移行はいくつかの運輸インフラが取り除かれる一方で、その他のインフラが建築される大きな公共事業プログラムとなることが特徴である。すなわち住宅はリフォームしたり建て替えられ、家庭での暖房システムはCHP・太陽熱・ヒートポンプなどの効率のよいものに変わり、ほとんどすべての電気システムは再生可能エネルギー技術に交換される。こうした努力はヨーロッパの資本や車両ストックが回転する際にもあてはめられ、雇用機会を拡大するだろう。多くの場合、こうした仕事の日々の経験は過去のものに似ており、大半の人々はこうした移行の側面を前向きにとらえるだろう。建築・製造分野の仕事に加えて、技術者や設計者は雇用の機会を得て、現在はテスト段階にあるエネルギーや炭素効率的な技術を一層発展させるための挑戦に携わるだろう。

労働がたくさん供給されることで、ヨーロッパ同様、さまざまな地域で多くの人が喜ぶだろうが、移行を快く思わない人がいることは避けられない。そうした人々は必要性を認めないし、生活に多かれ少なかれ特定の変化があることを快く思わないからだ。特に、こういった形であれ税負担を高くすることは移行を支援するのに必要となる。しかしながら税の影響は、環境税制を導入することで少なくとも一部は相殺することができる - 雇用のような「グッツ」（正の価値を持つ財）への税を減らし、「バズ」（負の価値を持つ財）への税を増やす（例えば、炭素税を課すなど）という税構造のシフトである。

防衛戦への動員とは異なり、大きな危険と向かい合う新しい緊張感をもたらすので、気候変動問題を現実かつ差し迫った脅威と考える多くの人々にとって、移行は励みや刺激にすらなるだろう。しかし、この問題は問題が起こるまで漠然としているうえ、皮肉なことに努力の鍵となる目標は永遠に実体のないものであるため、気候変動問題の脅威は戦争の脅威とは異なる。そのため気候変動が脅威だと信じず、社会全体が動くことの必要性を認めない少数派の人々は、反対を叫ぶだろう。

人々は仕事や家で変化を目にし、こうした変化は前向き・後ろ向き両方の反応となるだろう。古い家のエネルギー効率を改良することは、以前同様に家を保有し、エネルギー料金が下がり、助成金による支援もあるため、政府による規制や生活に立ち入る権限がおそらくより厳しくなるにもかかわらず、多くの人が前向きに受け入れるだろう。同様に、新しいパッシブハウス基準での住宅建設は多くの人が肯定的に受け入れるだろう。より古く効率的でない車を大幅に効率のよいものに置き換えることは、おおむね肯定的に受け入れられるだろう。しかしながら、公共交通をより多く使うことで車の使用から移行させることは、数の減った（そしてより高い）駐車場の利用・道路利用への課金・侵入規制・交通静穏化・燃料価格の増加など、個人の移動という基本的な自由を侵害すると考えられうる手段が不可避なため、大きな注意を払いながら対応する必要がある。そのため、そうした規制はより便利で質の良い公共交通サービス・渋滞の大幅削減・歩

行者と自転車利用者により魅力的な都市エリアの再デザインなどとバランスをとって進める必要がある。

ヨーロッパ人の健康のためには食習慣の変化は明らかに利益がある。しかし、消費者を消費の不健康なパターンから引き離すことは大きな努力が必要になるだろう。政府の政策は、生産者により健康的な農産物を作って売るよう奨励すること、そしてより健康的で肉の代替となる食品に表示し値段をつけることで、大変重要な役割を果たすことができる。

緩和シナリオが要求する新しいインフラや再生可能エネルギー施設の建設拡大は、特に現在の化石燃料施設の置き換えが必要になる2010～2030年の間に（セクション4.6参照）、新しく多くの雇用機会を提供することになるだろう。しかしながら、こうした大規模なインフラプロジェクトは、建設中には日々の不便を生みだし、以前慣れ親しんだ風景を変えることにつながる。新しいエネルギーインフラは、過去からの決別になるため、特に不安だろう。住宅や交通が電力に大きく頼り、多くの電気が再生可能エネルギーによって提供されている場合、風力・太陽発電所とそれらの連結送電線はヨーロッパの風景に必ずより多く入ってくるだろう。しかしながら、こうした技術の景観に配慮した影響は、ヨーロッパが洋上風力・波力発電に多く投資すれば、最小限にすることができる。さらに、陸上風力発電への反対反応には注意深く計画することで弱めることができるものもある。例えば、国立公園や景観・環境面から敏感な地域にきめ細かく配慮した地域を以外の場所に、陸上風力発電のタービンを設置することができる。再生可能エネルギー設備をより地域に限定した所有者とすれば（例えばタービンを設置する土地の農家が所有するなど）、地域での支持を増やすことができるだろう。これはデンマークではすでに広く実践されている考え方である。

結局こうした移行には、注意深い計画と、生活に影響が出る人々への共感的な支援が必要になるのだが、終点では「いったんたどり着いたら」、全てではないが、多くの人々から肯定的に受け止められる可能性が非常に高いだろう。

(p.14)

4. シナリオの技術解説

このセクションではヨーロッパのベースラインと緩和シナリオの技術的詳細を示す。まず経済における主な最終エネルギー消費部門、すなわち建築（家庭とサービス）、農業、産業、輸送、の説明より始める。これら部門でのエネルギー利用は直接的な温室効果ガス排出（例えば、内燃機関によるガソリンの燃焼やボイラーにおける天然ガスの利用など）に加え、発電や区画暖房、石油精製や他の転換部門において生産される電力、熱や他の二次燃料の需要を生み、温室効果ガスを排出する。さらに、工業過程（セメント部門が大きな排出口）や固形廃棄物、農業や土地利用変化を含む非エネルギー部門からの他の温室効果ガスも加えられなければならない。

以降のセクションでは、それぞれの主要な部門でのエネルギーを予測する根底となる主なデー

タ、手法と仮定を示す。主要な部門とはベースラインと緩和シナリオ両方においてエネルギー消費、エネルギー転換と非エネルギー部門の排出ガスである。

全部門において、エネルギー消費と生産は経済活動とエネルギー強度の歴史的傾向からの直接予測と、温室効果ガスのIPCC Tier 1排出係数基準とを組み合わせ予測された。このEU27カ国への2つのシナリオにおける2050年への全ての歴史的データと予測はSEI LEAPモデルシステム(エネルギー政策と温室効果ガス評価のための計算ツール、Annex 9.1参照)で開発、管理された。これらシナリオに関する詳細は関連するLEAPのデータセットをダウンロードし論評願う。

以下の各セクションにおいて、緩和シナリオにおける技術選択枝を実現するためのいくつかの鍵となる政策の選択枝についても言及する。ヨーロッパでの低炭素経済促進のための政策選択枝についての詳細な情報については、最近SEIが発表した報告書‘A European Eco-Efficient Economy’ (Nilsson *et al*, 2009)を参照いただきたい。

(p.14)

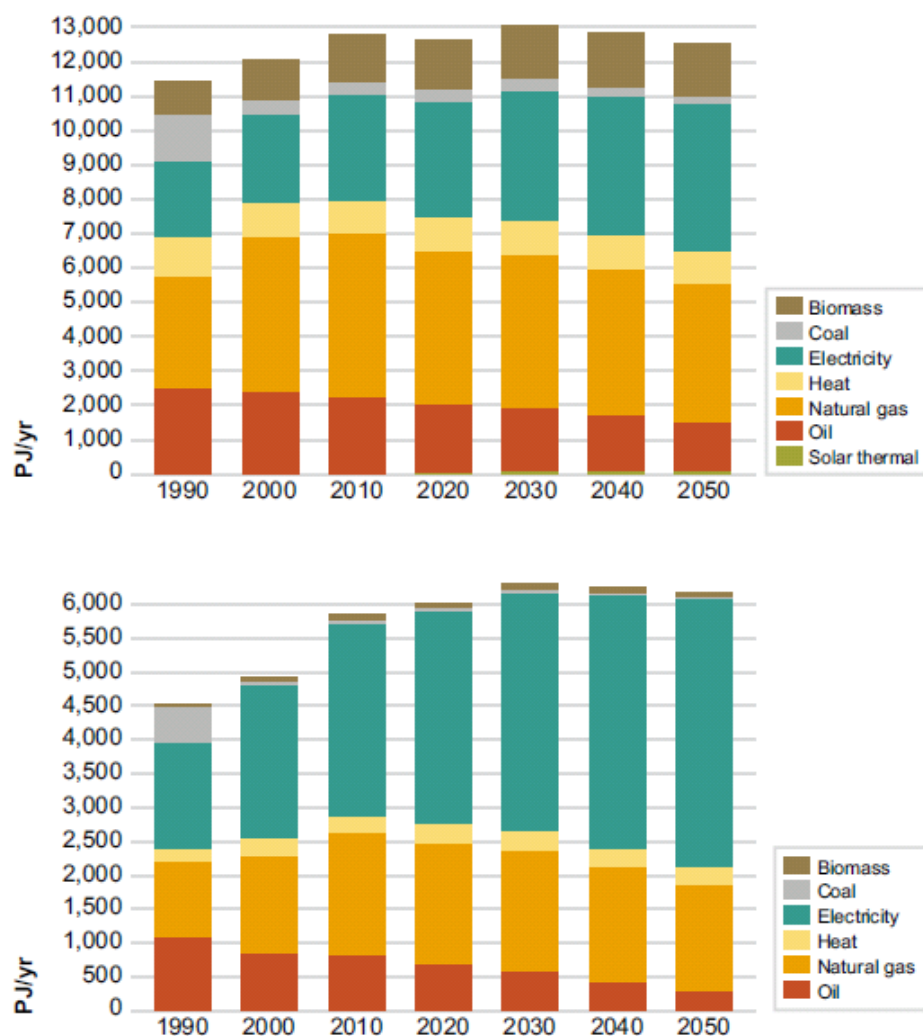
4.1. 建築物

建物とその中に含まれる家庭用機器や他の設備は非常に大きなエネルギー量を消費する。冷暖房システム、家庭用機器、ホーム&オフィス電子機器や照明は、この部門において最も多くエネルギーを消費する。

ここ数十年で、収入レベルの上昇や家庭での冷暖房使用の増加に加え比較的エネルギー強度の高い製品、例えば冷蔵庫や洗濯機、乾燥機や大画面テレビの普及により家庭でのエネルギー利用は人口増加率より早く増加している。サービス部門でもエネルギー利用は絶対値で増加しているが、経済活動のレベルに相対して下降している。すなわち1990年以降の比較的効率的な商業オフィスの建設はこの部門におけるエネルギー消費量の伸びをゆるやかにしている。今後を見ると、平均住居サイズの上昇、電子機器や冷房装置の更なる普及が建物のエネルギー需要に上昇圧力をかけ続ける一方、新規建物、家庭用機器や設備の継続的エネルギーパフォーマンスの向上(暖房燃料としての石油からの転換継続にもよる)のため、ベースラインシナリオにおいては大幅に上昇する建物のエネルギー利用と排出ガスを一定に保っている。

ベースラインシナリオにおける家庭やサービス部門でのエネルギー利用の全体的傾向は図5、6で示される。

図5、図6：ベースラインシナリオにおける家庭部門、サービス部門のエネルギー需要



4.1.1. 鍵となる緩和対策オプション

大幅な温室効果ガス削減を実現するためには建築部門においてベースラインシナリオを超える大幅なエネルギー使用の減少が求められるだろう。幸運にもエネルギー利用を更に削減するためのいくつかの機会が存在し、それらは効率を向上する多くの選択肢であり、ほんの数年でもエネルギーコストの節約である。これら選択肢は建物外郭効率の急上昇や照明や家庭用機器の効率向上も含んでいる。

ヨーロッパの建築部門における潜在的なエネルギー節約量と温室効果ガス緩和量の予想はベースラインの傾向からの転換の可能性を評価することにより行われた。住居建物では、人口、住居、エネルギー消費データと、最新のEUによる住宅統計調査（Federcasa, 2006）から今ある住宅ストックの戸数とフロア面積に関する情報を加え開始した。その後、各年のヨーロッパ住居ストックの建物効率の全体的レベルにおいて新規建築や家屋改修の影響を見積もるためのストックターンオーバーモデルを組み立てた。家屋改修と新規建築効率に関する過程は大多数の家屋のパスシブハウスレベルへの積極的な改修日程計画に依存する。加えて、建物システム（冷暖房や照明を

含む)の効率向上やIEA(2008a)、Vattenfall(2007)、Mackinsey(2009a)の調査を基にした家庭用機器の効率向上を想定した。同じく、サービス部門における排出削減量の見積もりにはVattenfall(2007)やIEA(2008a)が特定した潜在的削減量を適用した。

緩和シナリオでは、「パッシブハウス」スタンダードに近づくよう家屋を改修する積極的努力と、サービス部門において建物外郭の効率を向上するための同様な努力を仮定している。ヨーロッパで最近行われたパイロットプログラムは非常に低エネルギーであるパッシブハウスの実現可能性を示した。新築家屋での暖房エネルギー消費量は年間15kWh/m²またはそれ以下、中程度のパッシブハウス基準相当、とすることが可能であり、それは主に建物外郭の効率向上によるものである(例えば断熱材、3重窓など)(IEA, 2008a)。我々は(この結果より)2011年初頭において新規家屋の暖房エネルギーは平均15kWh/m²となりうると仮定する。現在ある家屋は大抵の場合、大幅な改修を要する。新規建築と同様のエネルギーパフォーマンスを得ることは困難であるため、また改修が不可能な歴史的建造物も存在するため、現存する住宅構造の90%(年間5%、18年間)は改修されることが可能であると仮定しており、平均暖房エネルギー消費量は27kWh/m²となると仮定している¹³。

また、建物において化石燃料の直接使用から熱伝供給システム(CHP)による熱、電気(特に電気ヒートポンプの形)や太陽エネルギー利用への飛躍的な移行を仮定している。建物外郭の改修が行われるので、家庭でも暖房用の化石燃料(現在、家庭用暖房では75%を占める)からCHPからの熱や地熱、空気熱ヒートポンプの形での直接電力利用、パッシブソーラーデザインや太陽エネルギーの熱水暖房へと変更が可能である¹⁴。

潜在的に効率化による利益をもたらすものとして度々引用される選択肢である区画暖房は多くの地域で増加するだろうが、シナリオにおいては積極的な効率改善の結果から暖房へのエネルギー需要が減少するため、現在CHPのインフラがない地域への展開は不経済的であるだろう。

家庭用機器の効率化における利益は消費者電子機器や他の電気製品の利用増加を相殺するだろう。両シナリオにおいて時の経過につれて収入が増加するために、ヨーロッパの家庭ではより多くの家庭用機器や電子機器の購入が見込まれる。強力な政策がなければ、電気製品の電気消費量は急速に上昇するだろう。しかし、緩和シナリオにおいては利用可能な最前の技術を適用することによりこれらの増加は相殺され、その結果、各家庭での電子機器の電気消費量の純増はない(IEA, 2009)。

最後に、充足性の問題についてもある程度考慮している。緩和シナリオでは、家屋サイズは数十年の上昇トレンドの後、2050年までに次第に2005年レベルに戻ると仮定している。EU27カ国での家屋ごとの平均床面積は1990年の約76m²から2005年の87m²へと着実に上昇している。我々

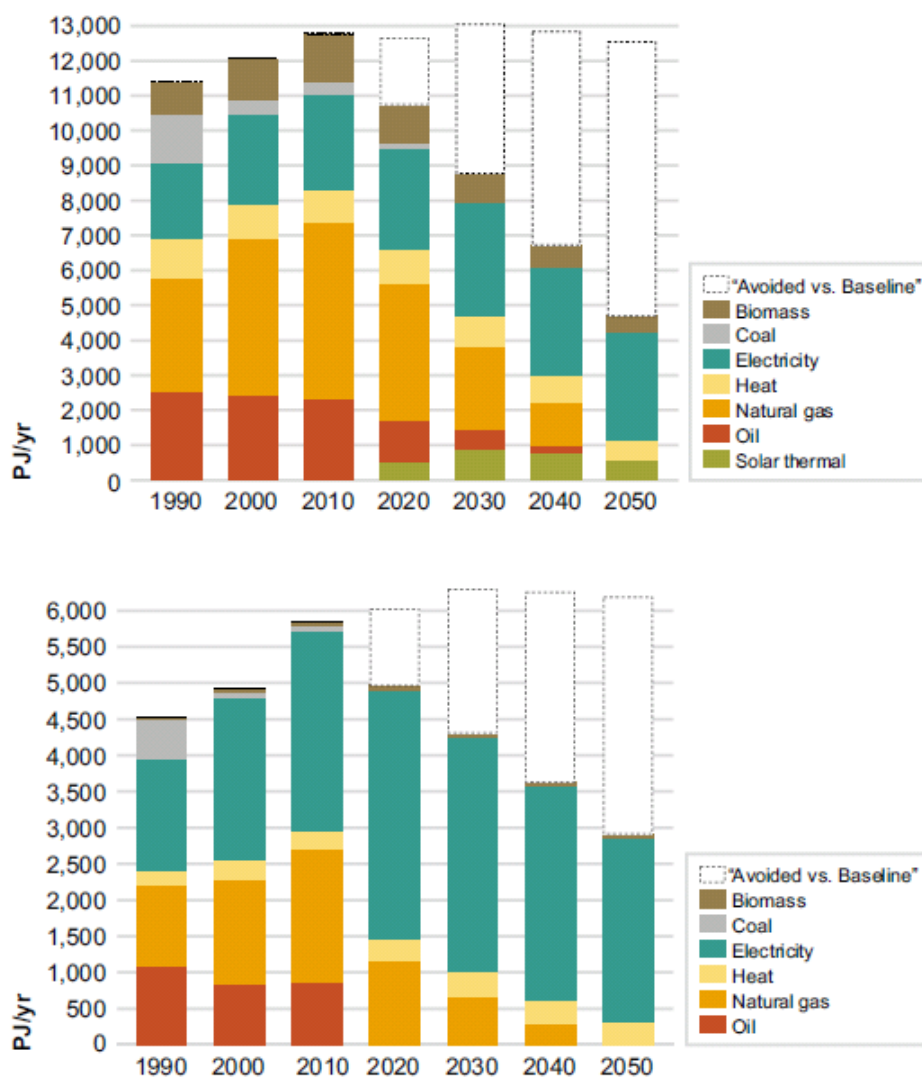
¹³ 27kWh/m²はMcKinsey & Company(2009)の中程度「レベル2」改修であり、Passive House Institute(2009)での改修実例の暖房エネルギー利用モデルでもある。

¹⁴ 出典: McKinsey & Company(2009a)、幅下端はIEA(2008)。周囲のエネルギー状況を効率的に高めるヒートポンプを採用する事により、暖房への電力消費は電気抵抗型暖房と比較すると、暖房への電力利用を改修家屋で27kWh/m²以下に、新築のパッシブハウス基準で15kWh/m²以下に削減することで、少なくとも半減が可能である。

はこの上昇トレンドは短期では継続すると想定するが（2020年の100m²がピーク）、大きな家屋の環境的影響に対する社会意識の上昇と合わせて都市密度の増加のため次第に平均家屋サイズは2050年までに、現在のフィンランドでよく見られるレベルである87m²の2005年レベルまで戻ると仮定している。平均住人数（家屋ごとの住人）は1990年の2.7人から2005年の2.4人、UNの人口変化予測を基にした2030年の2.1人へと下降トレンドが続く。

上述した政策の集約的効果は住宅部門のエネルギー消費量を著しく減少し、残りの消費も次第に電気、CHPベースの区画暖房や太陽熱エネルギーへと移行し、化石燃料から遠ざかるだろう。図7は緩和シナリオにおける住宅でのエネルギー消費量の変化を示している。一方、図8はサービス部門のエネルギー消費量の変化を示している。棒グラフ中の破線で示された部分はベースラインシナリオに対し緩和シナリオで避けることができるエネルギー利用を示している。

図7、図8：緩和シナリオにおける家庭部門、サービス部門のエネルギー需要



4.1.2. 重要な政策

建物のエネルギー性能に関する欧州指令（EPBD）と、それに関連する欧州エネルギー効率行動計画（APEE）は建築と家庭用機器のエネルギーパフォーマンスにおける大幅な改善に向け段階を設定しており、各国の努力が実を結び始めている。我々の評価の視野はEPBDやAction planの可能な改善や増加する適用の完全な評価に拡大しなかったが、これらの政策自体では2020年までにヨーロッパの建築ストックにおいて40%またはそれ以上の温室効果ガス削減を達成するには不十分であることは明らかである。加えて下記に示すような政策が移行をもたらすには必要である。

- **EUのEnergy Performance of Buildings Directiveの全ての建物への拡大、またその基準の引き締め**

現在あるほぼ全て(90%)の建物のパッシブハウスまたは同等の基準への素早い(年5%)改修にはEPBDの全ての建物への拡大（たとえ現在の境界サイズである1000m²を下回っても）規定や基準の改訂を通じてパッシブハウススタンダードレベルへの引き締めとEU各国のこれら政策（または同等の政策）の適用を要する。APEEのいかなる改訂においても、拘束力のあるエネルギー効率目標が、2020年までの40%削減目標にあわせて設定されることが重要である。これは建物だけでなく産業、交通や農業全体においてエネルギー節約の達成を確実にするために必要な非常に重要な全体に関わる対策である。

- **改修への資金と効率対策の規模拡大のための資本へのアクセス**

建物のエネルギー効率へ投資をする際に大きな障壁となるものは資本へのアクセスの欠乏、家主と投資家の短期での元金回収要求、家主と店子の間での「分割されたインセンティブ」、そして適格な業者の欠乏である。これらの懸念に対処し市場に確実性を供給するには低コスト資本と他の金融インセンティブが必要である。そして需要を満たすための改修産業が素早い拡大を援助する技術的支援が必要である。ヨーロッパの90%の家屋ストックをパッシブハウス基準へと改修するプログラムは、全ヨーロッパの事業者のパッシブハウス改修の成功例を普及するためのプログラムを要し、従業員訓練や技術支援プログラムを通して設立される新ビジネスを援助するだろう。

- **家庭用機器のパフォーマンス目標と再生可能エネルギーと冷暖房の使用基準**

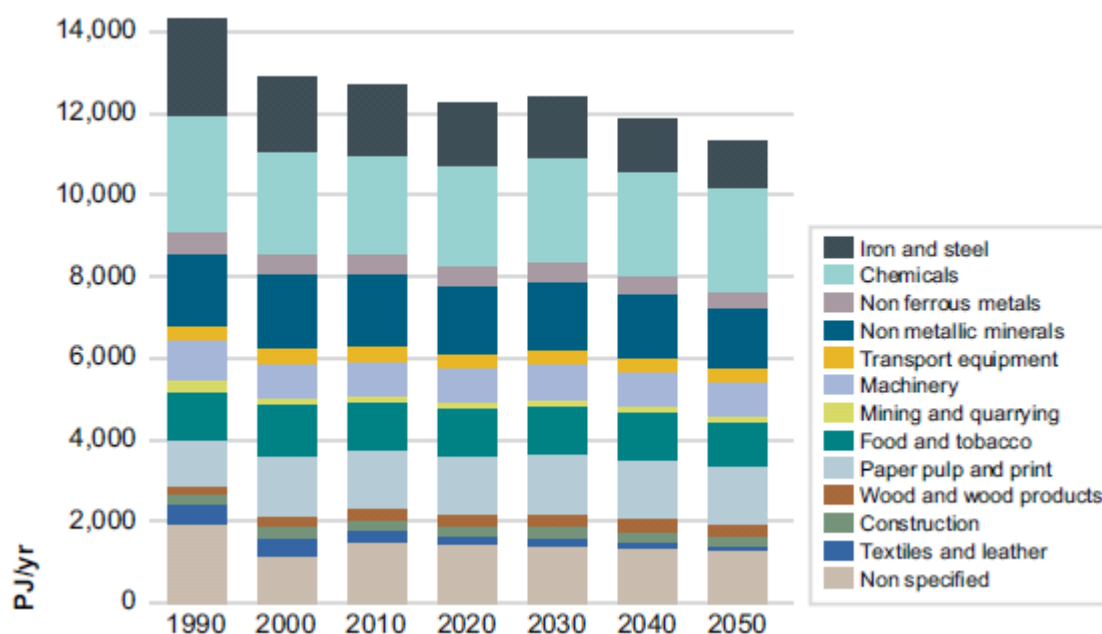
欧州エネルギー効率行動計画や欧州エネルギーエンドユーザー指令、エネルギー使用機器のための指令に基づいて、利用可能な最前の技術基準に応じる積極的な時間計画表を設定するために、特定のエネルギー消費基準が特定の時間計画表と共に設定される必要がある。基準は住宅、商業、農業利用において使用される設備へ適用する必要があるだろう。これを達成するには、隔たりを埋めるため、明確に責任を設定するためにより論理的で一貫した法が成立される必要がある。すべての関連法が完全にシナリオの2020年目標達成に貢献することを確実にする法の枠が必要である。

4.2. 産業

2005年、産業部門からの直接CO₂排出（発電および産業で利用される熱からの排出ガスは含まない）はヨーロッパにおいて全エネルギー部門からの温室効果ガスの約12%を占めていた¹⁵。しかし産業における排出ガスの大幅な削減を達成することは大変な難題である。というのは、産業部門はいくつかの分野において緩和シナリオが想定しているインフラを供給するため拡大される必要があるためである。

図9は産業における部門別エネルギー需要のベースラインを示したものである。エネルギー消費と温室効果ガスが今日と2050年の間にわずかに下降していることに注目いただきたい。これは一部、いかなる追加的政策にも要求されない、エネルギー強度の継続的「自主的」改善と、全ての状態で利用可能な最前の産業エネルギー利用行動へと近づく傾向を反映するものであるが、ヨーロッパでの産業部門規模の継続的な縮小、それは部分的には継続的な産業生産のヨーロッパ域外への移動に起因する（それら域外の国の産業部門ではしばしばヨーロッパよりエネルギー、炭素集約的に操業している）をも反映している。言い換えれば、ここで示された数字はヨーロッパの産業エネルギー利用と温室効果ガスを過小評価している（脚注参照）。

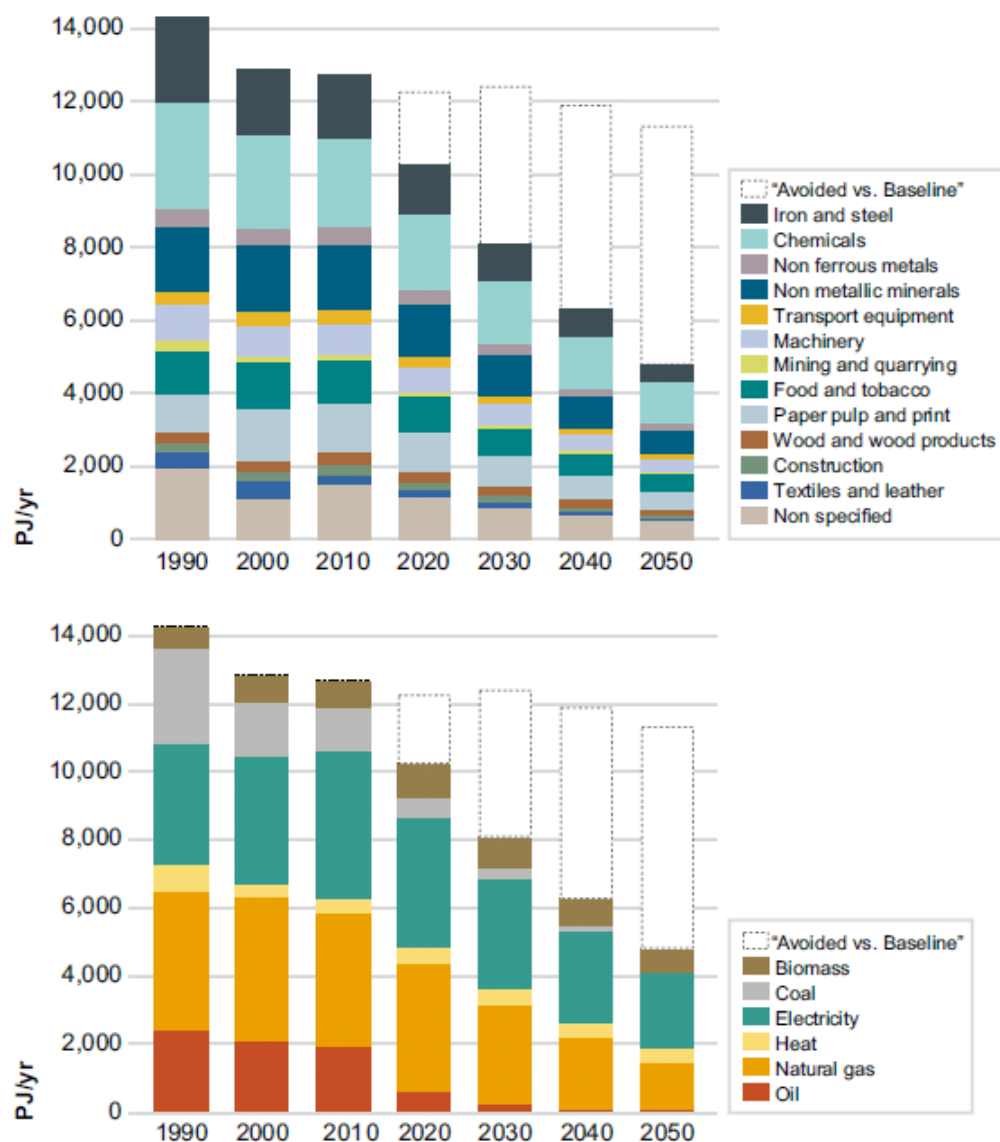
図9：ベースラインシナリオにおける産業部門別エネルギー需要



¹⁵ 本報告において、我々はエネルギー利用とヨーロッパ域内で発生する排出ガスのみ、いわゆる生産起源アプローチ、を考慮している。このアプローチはその平易さのため選ばれ、また IEA 等により記録されている国家エネルギー統計方法に対応しているためである。2 つ目のアプローチは製造場所を問わずヨーロッパにおける消費を基本とした排出ガスを見積もるものである。このアプローチ（実際は本研究の目的にはより適切であるだろう）は製造者の代わりに消費者に対して排出ガス責任を割り当てる。最近のイギリス政府への SEI 調査は、消費起源でイギリスの排出ガスを計算すると、その概算ははるかに高くなるだろうと計算した。それは一般的に予想されている 1992 年から 2004 年の間の 5% 低下よりもむしろ、イギリスの CO₂ は消費を基本とすると実際は 18% 上昇していることを示している（Wiedmann, 2008）。

4.2.1 鉄鋼

鋼鉄は新しい交通インフラや、自動車、他部門において緩和シナリオの一部をなす建築には必要である。製鋼は高熱で操業し、莫大なエネルギー投入量を要する複数の工程からなる。これら各々の工程において、効率改善の余地が存在する。我々のベースラインシナリオはすでに大幅な図10、図11：緩和シナリオにおける産業セクター別エネルギー需要およびエネルギー源



効率改善を仮定しており、それゆえ、緩和シナリオはわずかな追加的改善のみを仮定している。緩和シナリオにとってより重要なことは燃料転換の機会である。製鋼において問題であることの一つは、鉄を生成するための反応剤の減少である。最も一般的な反応剤はコークスからの炭素であり、その還元の結果CO₂となる。過去において、一般的な還元剤は石炭からの炭素であり、そしてこれや天然ガス、水素や還元剤なしの電気分解を通した還元を含む他の選択肢は将来に可能である。全てこれらの選択肢は鉄がより少ないCO₂生産レベルで還元されることを可能にする。

還元剤変更の話から変わって、CO₂は燃料転換からも削減することが可能である。おそらく最も有望なルートは高炉鉄から直接還元鉄(DRI)への入れ替えである。溶鉱炉で作られる鉄とは異な

り、DRIは製鉄に電気炉(EAF)を利用することができる。EAFはスクラップ鉄を利用することが可能であり、大幅に製鉄に必要なエネルギー量を削減することが可能である。緩和シナリオにおいては、鉄鋼の製造は徐々に2006年に見られるミックス状態から、EAFへ天然ガスやバイオマスを供給し、それらを燃料としたDRIへと移行する。CO₂も、スクラップ鉄を大いに利用するこれらの過程を通してさらに削減されう。そのような過程において、天然ガスやバイオマスは酸化鉄から鉄へと変換するDRIの過程に必要な還元剤を供給する。EAFは今日広く使用されており、2007年ヨーロッパの40%の鉄を製造している (World Steel Association, 2008)。多くはスクラップを加工するために使用されており、およそ1世紀あまり行程の開発がなされたにも関わらず、DRIの市場浸透はほとんど見られない。その大部分はコストのためである。

しかし、多くのDRI技術が近年開発されており、温室効果ガスを削減するに当りその有望性から将来において重要度が増す可能性がある。

バイオマスベースのDRIへ移行するに当り主な制限となるものは、バイオマス資源の利用可能性 (供給力) である。これは非常に大きな制約であり、2050年までにヨーロッパの鉄鋼生産からの排出ガスの100%削減達成を困難としているものである。緩和シナリオでは、2050年までにヨーロッパの鉄鋼生産の40%がバイオマスベースのDRIで生産され、50%は天然ガスベースのDRI、残り10%は現在の技術であると仮定している。

(p.20)

4.2.2 セメントを含む非鉄鉱物

鉄鋼生産と同様に、セメント製造にも高熱を要し、原材料からCO₂を放出する化学変化を伴う。事実、セメント部門からの非エネルギー化学過程での排出ガスは非常に重要なCO₂源であり、およそ全セメント生産の3分の2を占める。従って、セメント生産は排出ガス削減に非常に困難な問題をもたらす。同時に、セメントは緩和シナリオで求める交通インフラや建物の建設に欠かせないものでもある。

しかしながら、現在のセメント製造過程において改善余地や、未使用原料の代わりに廃棄物を用いるなどの選択肢がいくつか存在する (IEA, 2007; 2008a)。しかし、これらの選択肢が提案するものの大半は完全なCO₂ニュートラル製品ではなくCO₂削減である。つい最近には、CO₂を固定する可能性のあるセメント代替物の生産可能性が探られ始めた (Biello, 2008; ENR, 2009; Hirschler, 2009; Pearce, 2002)。しかしこれらは商業化からは程遠く、例えば建築物の構造安全性に関わる建築業界のもっともな懸念などのため、幅広く適用されるまでには大きな障害に直面するだろう。

また、カルシウム炭酸塩クリンカー (焼塊) を鉄鋼生産で発生するスラグなどの代替物と置き換えるなどでセメント部門からCO₂排出を削減することも可能である。緩和シナリオにおいては、炭素を固定したセメント代替物がいくらか生産に至っているが、(炭素)純減に至るほど十分な規模ではないと仮定している。クリンカーを廃棄物と代替することと組み合わせて、2020年までに

過程での排出ガスを12%、2050年までに42%の削減をベースラインと比較し想定している。

緩和シナリオにおいてセメント部門のエネルギー強度の改善は、2020年でベースラインの15%、2050年で55%下回るよう最良事例の適用を反映したものである。燃料転換も、バイオマスや燃焼可能廃棄物が次第に石炭や石油に置き換わることで、セメント生産のCO₂強度の減少において重要な役割を果たす。

4.2.3 化学製品

化学製品部門は産業部門におけるもう一つの炭素ガスの大排出者である。大部分の排出ガスは化学変化を起こすために要する熱を産みだすための燃料の直接利用によるものであり、エネルギーの多くは様々な製品でその構成要素として使用される基本的な化学構成物質を生み出すために使用される (IEA, 2007; 2008a)。

緩和シナリオでは、今日の利用可能な最良の技術によるエネルギー強度へは2020年までに到達する (2006年比でおおまかに15%節約 (IEA, 2007))。その後、エネルギー強度は下降しつづけ2050年に2006年比で約30%低下すると仮定している。

シナリオはまた、多くの化学過程においていかに天然ガスが石油に、バイオマスが石炭に変わりうるかを反映し、またいかに加熱が加工熱または効率的な超音波やマイクロ波ベースの電気加熱を利用してなされるかを反映し、石炭、石油からバイオマス、天然ガス、電気やバイオマスベースのCHP熱利用の増加へと移行することを想定している。

4.2.4 その他産業部門

残りの産業部門は温室効果ガスへの貢献が少ない。この理由のため、及びこの調査の制約により、緩和シナリオにおいてはそれらの部門はそれほど詳細に展開していない。しかしながら、先行の産業部門において強調された一般的特徴が産業部門にはある。すなわち、産業過程は大抵の場合、大量のエネルギーを要する高温で起こる化学的または物理的变化に依存している。このため、化学産業のように、我々はバイオマス燃焼CHPベースの加工熱や電気加熱の様々な形態が石炭、石油や天然ガスに置き換わりうると仮定し、そのエネルギー効率がベースラインシナリオのレベルを十分に超えて改善されうると仮定する。これら部門のエネルギー強度は2020年までにベースラインより14%、2050年までに45%下降する。

(p.21)

4.2.5 結果

産業部門全体としてエネルギー消費は2050年までに図10、11に示すように大幅に低下する。

4.2.6 鍵となる政策

- シナリオは産業での生産手法において大幅な変化を予想している。鉄鋼産業の場合、求められる技術は今後しばらく利用可能であるが、まだ広く利用されるに至っていない。化学製品産業ではグリーン化学や電気加熱の原則はよく理解されているが、大きな影響を持つ前により多くの経験を必要とする。セメント部門では代替物は非常に早期の開発段階であり、広く使用される前に多くの調査を要する。これらを心に留めつつ、以下の政策を提案する。
- **生産技術の変更を援助する規則と補助金が必要**
例えば生産基準を設定、最も汚染の多い生産技術の禁止、税などによる適切な方法への補助による。
- **新技術や新材料試験の研究開発の加速**
試験と開発の負担を全て新興企業に負わせることはできない。もし有望な新技術や材料がこのシナリオの時間枠内で広く受け入れられるのであれば、それらは極めて迅速にその利便性を示すことができなければならない。これはデモンストレーションの計画や試験施設への政府援助を要するだろう。
- **代替化学原料への基礎研究**
今日の化学産業は石油製品から合成されるわずかの基本的「構成要素」化学物質に強く依存している一方、バイオマスベースの化学産業はより幅広い化学物質を利用するだろう (Clark & Deswarte, 2008)。新製品の開発にあたり現在の化学産業のように効率的であるには、これらの生化学構成要素はより理解されなければならない。
- **化石燃料集約的ではない技術に移行するためのインセンティブ**
今までの所、EU排出量取引制度 (EU-ETS) はまだ十分な排出量削減を果たしていない。システムに生産技術の変化を果たさせ、その引き金を引かせるためには、システムの全体的なキャップは2020年までにEU域内で40%の自国削減目標に必要な量に沿って設定されるべきである。加えて、様々な抜け道を閉じる必要があり、そして排出枠オークション制度の欠落など問題の多い特徴は再検証されるべきである。この後述の変化はまた、気候変動に取り組むために必要な資金の一部を拠出する手段を提供する。ETSの強化に加え、炭素税を含む追加的対策もまた必要となるだろう。

(p.22)

4.3 交通輸送

人と貨物の交通輸送は2010年におけるEUのCO₂の32%に達し、最も急速に排出量が伸びている部門でもある。交通輸送の大半は化石燃料を直接燃焼させる形をとる。一方、電気を使用するもの（旅客や貨物列車など）は間接的に石炭や原子力による電力にしばしば依存している。また交通輸送関連の排出ガスは1990年の915MtCO₂から2005年の1221MtCO₂へと急速に成長している。2つの重要な傾向がこの上昇を説明する。すなわち人と物はより遠くへ運ばれるようになって

いること、またそれらは鉄道ではなくますます自動車や貨物車で行われるようになってきていること、である。その上、乗客はますます飛行機による旅を選択していることも要因であり、1990年に旅客輸送量の5%から2005年には8%となっている。

交通習慣や技術の大幅な変化がなければ、大抵のヨーロッパの国々で交通輸送需要の飽和サインがほぼ見られないので、旅行や貨物輸送の増加は今後も長く継続するであろう。上述のようなトレンドが継続するならば、交通輸送の排出ガスは2020年に1,335MtCO_{2e}、2050年に1441MtCO_{2e}へと成長することをベースラインシナリオは示している。

図12は主要な交通手段ごと（道路、鉄道、航空、水上）にベースラインにおける旅客輸送の全体的な予想される増加を表したものである。図13はベースラインにおける貨物輸送の同傾向を示している。

図12、図13：ベースラインシナリオにおける旅客輸送量および貨物輸送量



4.3.1 鍵となる緩和対策オプション

EUにおいて交通輸送からの排出ガスを削減する気運が高まっている。最近のまたは現在進行中の努力、例えば自動車の燃費基準の上昇、高速鉄道の実施や鉄道インフラの電化などは全て利益を生むだろう。しかし、現行のまたは計画されている努力は大幅に増加している交通輸送排出ガスの傾向を実質的に逆行させるには十分ではないであろう。

インフラや多くの国においての都市構造の発達は今も道路や空路交通の継続的独占を支える傾向があるために、EUにおいて交通輸送からの排出ガス削減はすぐには起こらないだろう。交通輸送エネルギー需要が2020年までに1990年レベルに回帰することなど、我々のシナリオはこの上昇傾向からの強い脱却を描いている一方で、ヨーロッパの人々の高い流動性も継続して遺児している。

交通輸送部門における緩和可能性の予測はIEAや欧州連合統計局（EUROSTAT）（EC, 2009）の歴史的データから構築された。またベースラインでの旅客、貨物輸送予想はEC（EC, 2008）か

ら予測された。これらの予想されたトレンドを基に、我々は潜在的な交通手段変化や自動車効率の向上、様々な研究に基づきハイブリッドや電気自動車の普及を評価している。特に、直接IEA(2008)から自動車の技術的潜在性を採用した。また、それらが利用可能になるとすぐにこれら技術への急速な移行が、おそらく政府の必要なところへの金融インセンティブにより、起こることを仮定している。EU内部での全体的な旅客運送レベルは収入の上昇につれて増加することを可能としているが、個人あたりの全体的な旅客運送レベルはベースラインシナリオよりも低い。これはより良い都市計画や自転車や歩行の促進、空路旅行を抑える政策など全体的交通輸送需要を削減する政策を反映したものである。貨物輸送では、物流の改善や経済の一般的非物質化のためベースラインシナリオと比較してより穏やかな増加となる。

4.3.2 旅客運送

緩和シナリオは旅客運送において大幅な変化を求める。特に、それは以下のことを含む。

- **自家用車や飛行機の替わりに鉄道旅行がより多くの割合を占める。**
鉄道網の拡大（2050年までに現行の2倍以上）や、サービス頻度と質の向上により空路や道路から鉄道旅行へと大きく移行させることが可能となる。EU域内での旅行は1990年に72%、2005年に75%が自動車で行われたが、代わりにバスと鉄道とのミックスによりこの割合は2020年までに69%、2050年には43%へと緩和シナリオでは低下する。更に2050年までに、EU域内での1,000km以下の航空移動の80%は鉄道に変更する¹⁶。未来の標準的な鉄道は速い、安全、快適、便利であり、それらの要因によりたいいていの旅行において自動車や飛行機よりも鉄道が選好されるようになる。
- **旅客旅行距離は引き続き2020年まで伸びつづけるが、その後は一定に留まる。**
ヨーロッパ内部での移動接続性や経済自由化の拡大はヨーロッパの人々の旅行機会を拡大供給し続ける。一人当りの旅客旅行は1990年以来一貫して上昇しているが、この傾向は人々が個人の移動性が1990年よりも50%以上高いことに満足するため2020年までにその傾向は衰える。2020年移行の個人移動性やレジャー旅行のあらゆる増加はビジネス旅行がテレビ会議などバーチャル会合に変わることや、次第に地域がコンパクト化することによる都市部での移動距離の減少、徒歩や自転車での個人移動が増えることで打ち消される¹⁷。
- **消費者はハイブリッドや電気自動車が利用可能になるとすぐにそちらへ移行し、古い自動車の廃棄が加速される。**

ハイブリッド技術は今や十分確立されており、ヨーロッパやUSAで急速にその市場割合を伸

¹⁶ 1,000km は、高速鉄道が時間と顧客の利便さにおいて航空と競争的である上限と想定される。我々の EUROSTAT (EC, 2009) データの分析に基づく、EU におけるトップ 20 の航空旅行ルートにおいて passenger-km travelled のおよそ 80% は 1,000km 以下である。いくつかの旅行はそれでも航空でなされるであろうために（例えば休暇旅行）、1,000km 以下の航空旅行が 100% 鉄道に取って代わる事が出来るとは想定していない。

¹⁷ 徒歩や自転車での旅行は標準的な交通輸送統計に含まれていない。結果として、ますます増える徒歩や自転車旅行は、その効果において、全体的な passenger travel を減少するが、本分析においては直接的に表されていない。全体的旅行の内では徒歩・自転車は非常に小さな割合のままであると考えられるが、徒歩・自転車旅行は緩和シナリオにおいて全体的な passenger-km を低下させることに役立つ。

ばしている。もし、製造業者が大排気量の内燃機関自動車の段階的廃止、自家用車の急速なハイブリッド化と電氣化を求められ、消費者が古い自動車を適度な加速割合で廃棄するならば、2020年にはおよそ21%の自動車がハイブリッドであり、2%が電氣自動車、残りの78%が従来の内燃機関となるだろう。内燃機関自動車のエネルギー強度も2020年までに30%低下する。これは現行車に比較して2015年までに19%のエネルギー効率化を求めるEUのCO₂規則よりも大幅に積極的な目標である¹⁸。この移行により2050年までに実質、路上にある全ての自動車が完全に電氣化されることとなる¹⁹。

- **相乗りの緩やかな増加。**

自動車1台あたりの平均乗者数（負荷係数）は1990年に1.7であり、2006年には1.6へと下降している(IEA, 2009)。相乗り利用の増加（と、自家用車の保有率の低下）がこの傾向を逆にし、そのような負荷係数は徐々に上昇し2050年には1.75に達する。

- **鉄道の完全な電化。**

EU27カ国における鉄道の傾向は電氣化であり、1990年においては鉄道網の58%が電氣化済みであり、2006年は68%であった(IEA, 2009)。緩和シナリオでは、この傾向により2030年までに全ての鉄道が電氣化される。

- **2050年までに65%のバスが電氣化される。**

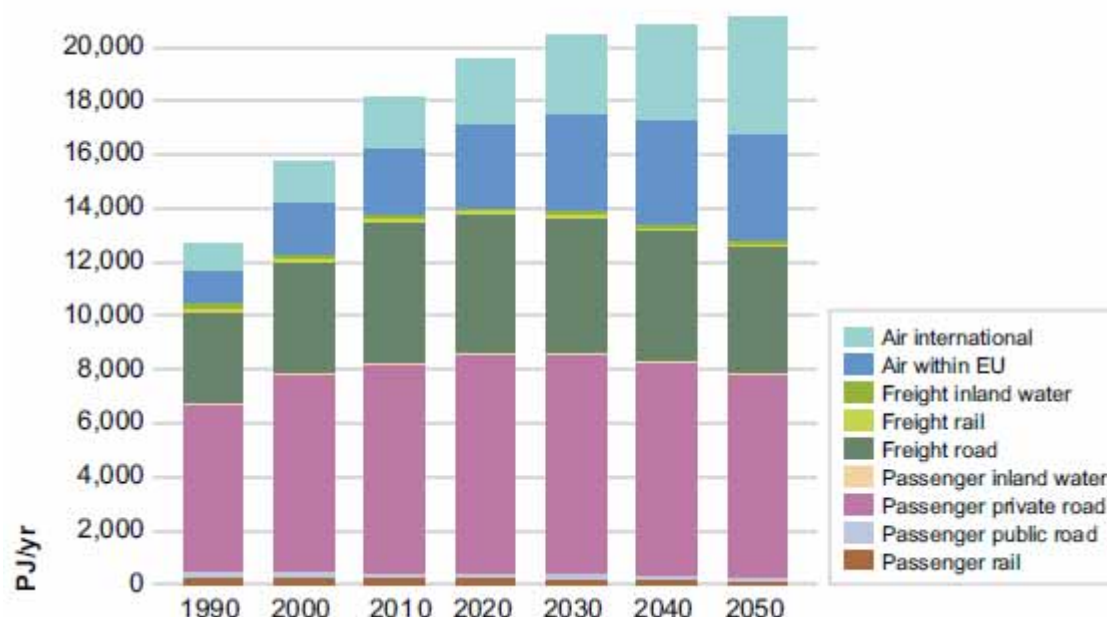
- **飛行機とフェリーはより高効率となる。**

2010年と2050年の間にベースラインで見られる29%のエネルギー強度の減少に加えて更に9%低下することにより、飛行機における個人移動距離当りの燃料使用は減少する。同様に、船旅によるエネルギー強度は2010年と2050年の間に28%低下する。

図14：ベースラインシナリオにおける交通エネルギー需要

¹⁸ 現在のEU規制は、2015年までに新規登録自動車への130g / vehicle-kmの自動車総量平均排出係数を求めており、2008年の160g/vehicle-kmと比較すると19%の減少である。しかし、この減少は新車のみであることに注目して欲しい。現在世にある自動車全体での平均はもっとゆっくりと減少する。

¹⁹ 緩和シナリオにおいて電氣自動車への移行はIEA (IEA, 2008a) の”Electric Vehicle Success”シナリオでの移行の後にモデル化された。しかし、緩和シナリオでの電氣自動車の普及はIEAシナリオに対して加速されている。MacKay (2008) を大ざっぱに基本とすると、我々は電氣自動車の vehicle-km あたりのエネルギー使用は標準的な内燃機関エンジンの4分の1であると仮定している。



(p.24)

4.3.3 貨物輸送

旅客輸送と同様、貨物輸送は全体的な活動量（t-kmで計測）と陸上輸送の活動割合の両方に大幅な上昇が見られている。未来の低炭素なヨーロッパは、ひっくり返せないのであれば、これらの傾向の速度を遅くすることに加えて低エネルギー、低排出ガスで行うことを求めるだろう。そのような移行は緩和シナリオにおいて以下の対策により成し遂げられる。

- **貨物輸送は、近年急速に増加しているが、横ばいになる。**

EUでの製品消費レベルの増加により貨物輸送は着実に増加している。ヨーロッパの経済的収束は、人口のいくつかのセグメントで、この製品消費の継続する上昇を示唆するが、物流の効率化と非物質化（物質的消費レベルの低下）による利益のため、この上昇傾向は最大である2010年以降の1人当たり5,600t-kmへ向け鈍化する。現在の1人当たり5,000t-kmレベルから増加しているが、ここ数十年の増加しつづける消費傾向からの力強い脱却である。

- **鉄道インフラの拡大は、より多商品を道路輸送ではなく鉄道での輸送を可能にする。**

道路運送は1990年以来増加している貨物輸送を代表しており、2005年にt-kmの73%に達している。鉄道網拡大により、この傾向は反転し始め、貨物輸送における鉄道の割合は2005年の20%から2050年の35%へと上昇する²⁰。

- **貨物自動車はより効率的になり、電気化またはハイブリッド化され、鉄道貨物輸送は電気化される。**

2050年までに、全貨物自動車の半分以上が電気化またはハイブリッド化される。ハイブリッド化は2015年にゆっくりと開始され、その後2030年以降に著しく増加する。鉄道の電気化に向か

²⁰ Zimmer and Schmied (2008)における道路運送の理論的な推移潜在性に基づく。

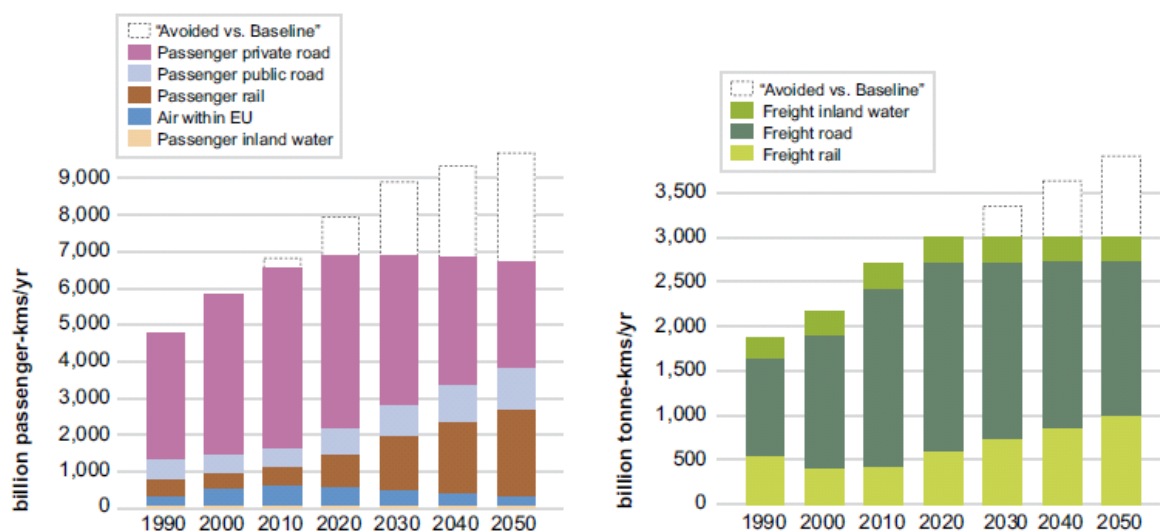
う現在の傾向は全ての鉄道が電氣化される2020年まで続く。貨物自動車は2020年に今日より20%高効率となる²¹。

- 内陸水路の船はより効率化される。

船便のエネルギー強度は2010年から2050年の間に28%低下する²²。

上述した貨物輸送の移行は非常に重要であるが、大幅な技術と社会的動員で達成は可能である。将来の貨物輸送成長の緩やかな停止は、特に、ヨーロッパの消費が横ばいになることを反映している。それは長持ちする製品、省原材料、そして輸送距離の短縮を通じて達成される。

図15、16：緩和シナリオにおける旅客輸送量および貨物輸送量



(p.25)

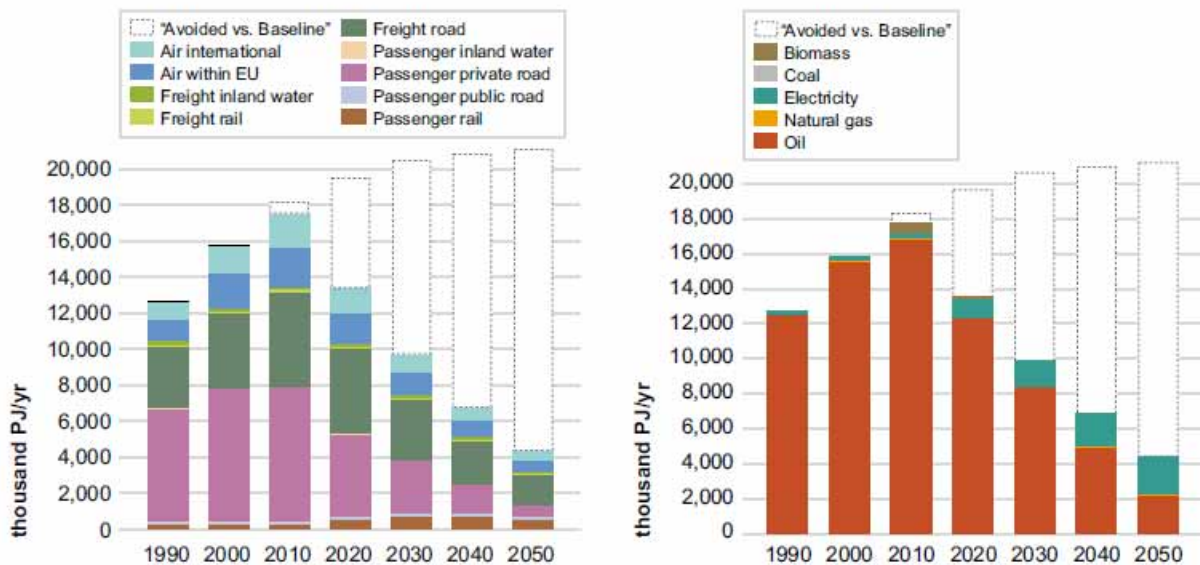
4.3.4 鍵となる政策

ヨーロッパにおいて上述した移行をもたらすことを支援するために拡大されうる多くの動きが進行中である。例えば、自動車の燃費基準、拡大、電氣化や鉄道インフラの改善、貨物物流の改善などについてECにおいてハイレベルな政策論議が進行中である。これらすべての活動は上記した移行を達成するために必要なさらに大胆な行動を取るための強力な基盤を供給する。必要な政策行動の詳細一覧はこの調査の範囲を超えているが、移行をもたらすためには少なくとも以下の政策を伴うことが明らかに必要である。

図17、18：緩和シナリオにおける交通・エネルギー需要

²¹ IEA (2008) から適合させた仮定であるが、我々は IEA (2008a) より早い電氣貨物自動車の成長 (とより深い浸透) を仮定している。

²² IEA (2008a) での仮定に基づく。



- **積極的な自動車のパフォーマンスおよび技術の基準は乗用車、貨物車に急速な、短期間で先進内燃機関自動車技術（ハイブリッドを含むがそのみに限らず）への移行をもたらし、大型車の普及率を引き下げる。**自動車効率の改善（現行の自動車排出ガス基準の更なる強化によりもたらされるだろう）と同時に、例えば2035年に販売される自動車は完全に電気自動車でなければならないなど、はっきりとした政策措置が電気自動車への移行を支援するためには必要とされるだろう。
- **自動車充電所を含む電気交通インフラの拡張。**
積極的に電気自動車を開発する製造者の努力と協調し、ヨーロッパの国々の政府は電気自動車充電に必要なインフラ整備を行う必要があるだろう。またこれらの自動車が余剰電力を電力需要が高い時に送電網に逆に供給することを可能とする必要があるだろう。加えて、鉄道、バスや貨物自動車のための電氣化されたインフラが必要とされるだろう。
- **高速鉄道を含む鉄道インフラの規模拡大。**
高度に連結されたトランジットシステムはヨーロッパの経済競争力や雇用の土台となるものであり、ECがトランスヨーロッパ交通網を築いた時に認識された事実である。ECはトランスヨーロッパインフラの拡大へ2007年から2020年の間におよそ5,000億ユーロ投資することをすでに確認している。緩和シナリオの目的を達成するためには鉄道インフラに焦点を置くため努力の大半を要し、コミッションとメンバー国が2050年までに鉄道インフラを2倍以上にする長期計画を導入する一方で、短期では現在あるインフラの大幅な快適性、効率、速度と利便性の改善を行う。
- **航空交通への補助金の廃止**
ケロシン燃料の税免除など航空交通への直接および間接補助金や、空港建設や飛行機製造への間接補助金は空路移動を割安にする。これらの補助金は他の損害が少ない輸送形態と条件を等しくするため廃止される必要がある。

- **トランジット、自転車そして歩行者に優しい地域社会を支援するための都市計画と土地利用基準、より輸送効率の良い都市形態**

交通システムの拡大、主流化そして改善のため、また車の代わりにトランジット利用の増加を招き適応するために都市交通計画が必要とされるだろう。加えて、むやみに地方へと拡大開発する代わりに、土地利用の区画化がコンパクトでトランジットフレンドリーかつ歩きやすい地域社会を支援するために必要であるだろう。

- **他の対策**

渋滞課金制度、車進入禁止地域、道路利用料金制度、運賃や重量税の導入や、一般的には化石燃料への補助金の削減は公共交通の開発へと努力を導くための追加的対策である。

(p.26)

4.4 農業

農業へのエネルギー需要はEUの総最終エネルギー需要の2.2%以下であり、農業のエネルギー使用詳細に取り組む温室効果ガス緩和の研究はほとんどない。この理由からこの研究では農業部門を詳細には検証していない。削減選択枝は、いくつかの場合、電力インフラから距離があることにより制限される（それゆえに燃料転換の可能性も限られる）が、それでも削減機会は残っている。Brown and Elliot(2005)の仮定と推測を採用することで、我々は灌漑用ポンプ、モーターや他の農業危機の効率改善がベースラインと比較して2020年16%、2050年に35%のエネルギー利用削減を産むと仮定する。また、多くの石油または軽油を利用する設備は2050年までに電気駆動のものへと推移する。

農業部門での小規模のエネルギー利用に加えて、IEAエネルギー統計は、2006年にEU27カ国の総最終エネルギー需要のわずか1.6%を占めた「指定のない」燃料利用の項目も含んでいる。この部門も詳細については検証されていない。その代わり、この部門のエネルギー強度（GDP当り）は全体としての産業部門と同様の割合で減少すると仮定される（下記参照）。最後に、燃料の非エネルギー利用（例えば、石油化学部門での原料利用）は全体を網羅するために我々の分析に含まれるが、それに伴う温室効果ガスの排出はないものと仮定される。

(p.27)

4.5 非エネルギー部門の排出ガス

ヨーロッパの土地利用は現在の所はCO₂の吸収源であるが（すなわち積極的にCO₂を固定している）、農業、林業と固形廃棄物部門は一転、メタン(CH₄)や亜酸化窒素(N₂O)などの極めて強力な温室効果ガスの重大な排出源である。工業過程（すなわち、燃料の直接燃焼以外）はもう一つの重大なCO₂排出源である。特に、そのエネルギー要求の点においてすでにセクション4.2.2で述べたが、セメント製造はCO₂の主要排出源である。

CO₂以外の温室効果ガス（メタンや亜酸化窒素など）の緩和シナリオでの予想はECの最近の研

究 (Aman, 2008) に基づいている。その研究は個別メンバー国により供給された、またはデータ供給のなかった国についてはモデルを導くことにより、エネルギー利用、農業活動、その他傾向のベースラインのような予測に依存している。これらの予測から、研究は60以上のメタンを制御する個別の対策、10の亜酸化窒素対策、15の他の高温暖化係数ガスの制御対策を評価している。研究は最新の政治状況を基にこれら対策の潜在的なベースラインへの適用を評価しており、その後、2020年までベースラインをはるかに超えた潜在的な緩和量について評価している。我々は、2020年まではこれら潜在的な量を適用し、2050年までは、その研究において見られる潜在的な緩和量よりもさらに10%増加されうるとする高い不確実性が保守的に仮定されていることを前提にしている。

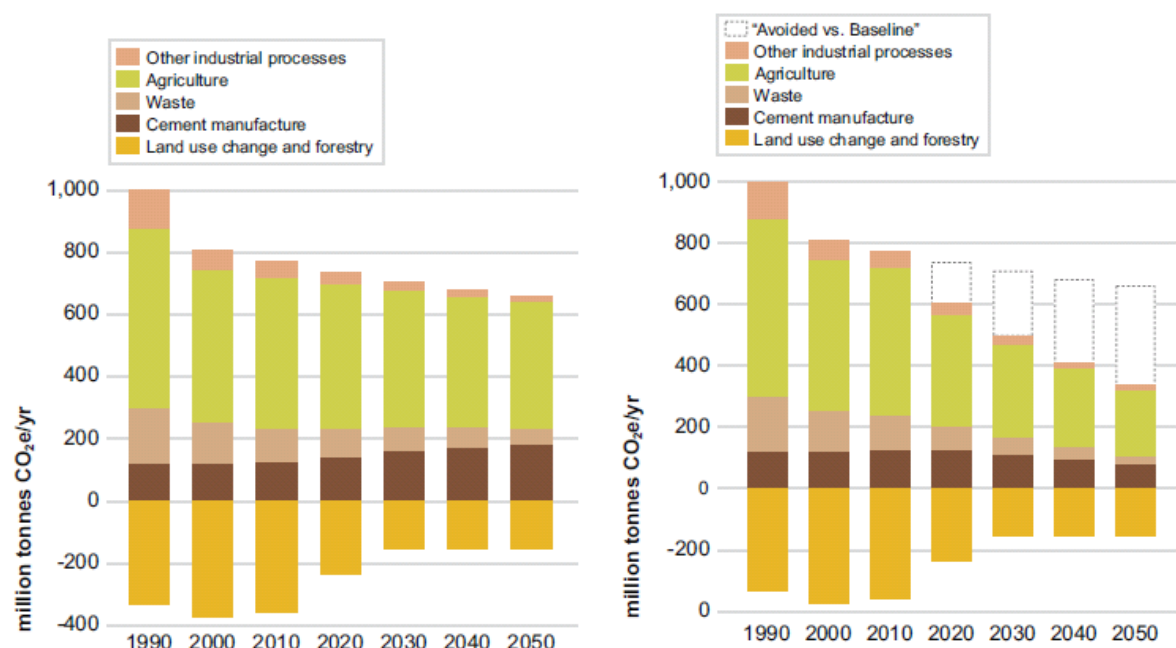
4.5.1 土地利用

土地利用、土地利用変化及び林業部門(LULUCF)は地球的に温室効果ガス削減と大気からCO₂を取り除くことにとっては基本となるものである。しかし土地利用に関連する温室効果ガスの削減または除去の全選択肢は、特に、どれだけCO₂が取り除かれたかの計算は非常に複雑であり、食糧生産から生物多様性保護にかけて土地の競合利用が存在するため議論的である。2007年を通じたLULUCFによる純固定量のベースライン予想は最新のEU温室効果ガス排出インベントリ (EEA, 2009) から用いている。LULUCFによる大気中からの排出ガス純除去(すなわち固定量)は原則的に木々の生長を通じて行われるが、それだけでなく、わずかではあるが、農地や草地での炭素固定にもよる。2008年以降からのLULUCFによる純除去予測量はIPCC第4次評価報告書(IPCC, 2007) にも報告されているIMAGEモデルのヨーロッパ固有の結果に依存している。

これらの予測は2033年までヨーロッパの林業部門において純固定量の減少を示している。おそらくは、木々の炭素固定量の飽和とヨーロッパでのゆるやかな森林再生率によるものと考えられる。我々はLULUCF排出ガスへの予想されるベースラインにおいてこれと同様の傾向を採用した。

林業における緩和可能性としては、IPCC第4次評価報告書にまとめられている研究は中期(2030年 - 2040年)において90MtCO₂eから295MtCO₂eのオーダーで提案している。しかしながら、これらと同じく炭素固定能力の向上(例えば、材木の薄化、余剰土地、農業土地)をもたらず根底にある土地資源はバイオマス生産へも利用可能である。これら土地資源からバイオマス潜在性のダブルカウントを避ける必要があるため、我々はヨーロッパのLULUCF部門においてはベースラインと比較して追加的な固定は発生しないと保守的に仮定している。この仮定はEuropean Environmental Agency (EEA, 2006)によってもたらされる環境互換性のある潜在的な量までバイオマス生産を行うことを可能にし、緩和シナリオに必要なバイオマス量(主としてCHP施設の原材料として使用される)に十分以上の量である。実際には、バイオマス生産と競合しないであろう炭素固定の追加的な機会が存在するかもしれない(農場での農業生態学的農業への移行を通しての土地固定の形など)。しかし、これらの選択肢を評価及び含むことをこの調査では試みていない。

図19、図20：ベースラインシナリオ、緩和シナリオにおける非エネルギー起源温室効果ガス排出



(p.27)

4.5.2 農業

農業からの大半の排出ガスは、亜酸化窒素（N₂O）を発生する土地への施肥の結果及び、腸内発酵およびし尿に関連するメタンを発生する家畜飼育から発生するものである。それゆえ、農業からの排出ガスを削減する技術的戦略は主として肥料や飼育行動に焦点を当てる。シナリオに含まれる緩和行動は以下のものを含む²³。

- 主として牛、豚のし尿を取り扱う嫌気性浄化槽の設置
- 腸発酵からの排出ガスを削減するための家畜飼育行動の変更。飼料の変更は反芻家畜固有の消化器官でのメタンの発生を減らすことができる。
- 施肥量と施肥時期の変更。肥料使用の削減、肥料適用時期の改善、「精密な農業」と硝化防止剤と共に先端肥料を使用することにより農業からのN₂O発生を大幅に削減することが可能である。
- 高有機質の泥炭や沼地土壌である有機質土壌における農業の段階的廃止

これら技術的対策に加えて、緩和シナリオはヨーロッパ人の食事が肉の少ないものに、健康的な食事になることを推測している。家畜飼育の気候、環境影響は長く十分に証明されている。同様に、肉の健康への悪影響もよく知られている。肉の少ない食事へと切り替えていくことによって、ヨーロッパ人はより健康的になり、温室効果ガス削減へ貢献するだろう。2020年までにヨーロッパ人は、平均的に、健康的な肉消費レベルに変わっていると仮定する²⁴。このタイプの食事

²³ これら技術的緩和戦略の全ては Amann *et al.* (2008) から直接採用された。

²⁴ とりわけ我々は Stehfest *et al.* (2009)の「健康的な食事」を採用する。

は今日の平均的ヨーロッパ人が採っているものよりおよそ60%肉の少ない食事である²⁵。そのような食事を採用することは家畜からの直接的なメタンやN₂Oを削減するだけでなく、その家畜飼料に用いる作物に使用される肥料からのN₂Oも削減する。更に、肉生産の削減は潜在的に多くの土地利用を削減し(牧草地など直接的なものだけでなく飼料作物育成に必要な土地の両方を含む)バイオマス作物生産や炭素固定に用いるなど方向が変更されうる²⁶。

更なる温室効果ガスの削減機会が、緩和シナリオに含まれているもの以上に、農業部門において可能であるだろう。特に、現行のレベルを超え農地に炭素を固定するかもしれない無耕起または低耕起農業を含んでいない。そのような行動の効果は重大であると考えられるが、土地に固定された炭素の永続性に関し不確実性が存在するため、この選択肢を省いた。加えて、ポリカルチャー(同じ土地における多品種栽培)やパーマカルチャー(ある作業から出る廃棄物を直接投入量として他の土地へ使用する)の先進技術は更に排出ガスを削減するだろう。それらはまた潜在的に土地をより生産的にすることが可能であり、いずれかの温室効果ガス固定のためにさらにより多くの土地を自由にすることが可能である(CO₂吸収のため木の育成など)。これら選択肢のどちらも緩和シナリオには含まれていない。

(p.28)

4.5.3 廃棄物と污水

埋立地や污水处理施設は重大なメタン(CH₄)発生源である。米国環境省の報告(US EPA, 2006)によると、ヨーロッパの埋立地から発生するメタンはおよそ90%削減可能であるだろうとしている。廃棄物の緩和選択肢は、緩和シナリオにおいては、埋立地でのメタン回収、燃焼またはエネルギー利用や、紙や木材廃棄物の再利用、食品廃棄物の堆肥化とバイオガス化、そして廃棄物の焼却処分である。污水处理の緩和選択肢は、処理施設での都市下水の処理改善(メタン回収を含む)、トイレや污水处理タンクでの地域下水の処理改善、そして工場の廃水施設での処理改善やメタン回収を含んでいる。これら手法の大半は2020年までに実行されることが可能である²⁷。

(p.29)

4.5.4 産業でのCO₂以外の排出ガス

いくつかの産業部門と産業での作業はメタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)や他の高温室効果係数ガスを産む。緩和シナリオにおいてこれらガスの緩和選択肢は石炭採鉱や石油、ガス部門の施設からのメタン回収、そして天然ガス配送網の向上を含む。

²⁵ 特に、我々は肉と卵の消費が現在の1人1日245グラム(FAO(2007)により定義されており、消費前の廃棄物を含む)からStehfest *et al.* (2009)の1人1日102グラムに落ちると仮定している。削減が大きなものは豚肉消費(87%減少)、牛肉/羊肉/ヤギ肉(69%減少)そして鳥肉と卵(1%減少)へと続く。

²⁶ 肉から摂取しないタンパク質を補給するために必要な穀類や豆類の作物を生産するために増加する土地利用を考慮して、示されている食事の変更はおよそ900万ヘクタールの土地を解放することができるだろう。各種類の動物への土地需要に関して、我々の仮定はStehfest *et al.* (2009)から採用されている。

²⁷ 廃棄物への全選択肢はAmann *et al.* (2008)から採用されている。

4.5.5 結果

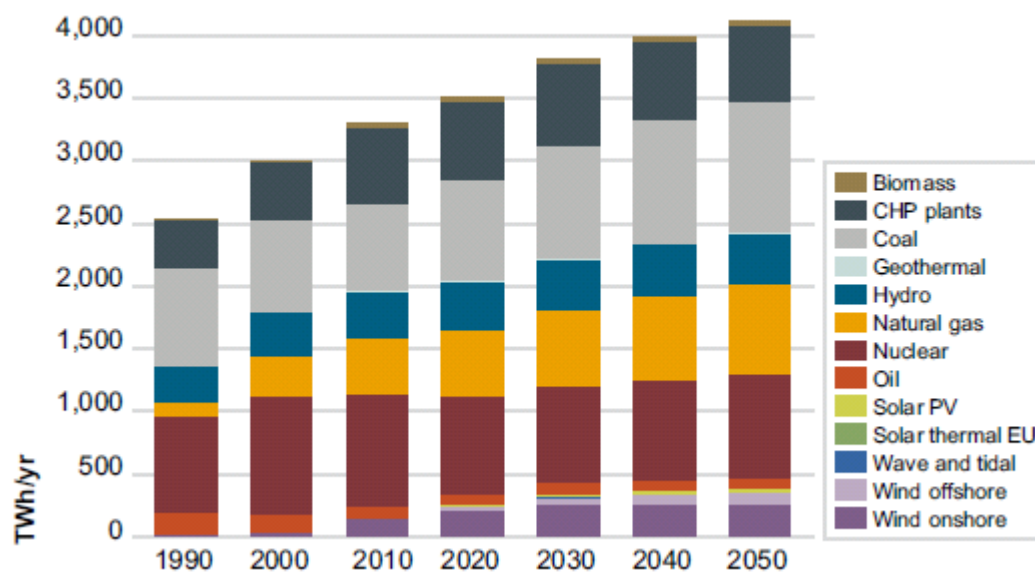
緩和シナリオの結果は非エネルギー部門からの温室効果ガスは1990年の670MtCO₂eから2020年の約370MtCO₂e、2050年の約183MtCO₂eへと、1990年比で73%の削減、ベースラインシナリオでの2050年純排出ガス比で64%の削減が可能であることを示している。図20は緩和シナリオでの非エネルギー部門での上述した排出ガス対策の累積効果を表している。

4.5.6 鍵となる政策

今までの非CO₂ガスの削減の多くは、市場および経済的要因により起こっている。これら削減の多くは今後も続くと考えられる。しかし、市場が技術と行動を提供し実行する効率を向上するために、同時に規制や更なる市場への支援なくしては制定され難い行動を前進するために政策が必要とされるだろう。特に、パフォーマンスまたは処理基準(process standards)や特定排出ガス源や特定行動へのインセンティブが必要とされるかもしれない。例えば、

- 緩和シナリオは、家畜飼育と施肥量、施肥時期からのメタン排出が重大な削減可能性を秘めた2つの領域であることを示している。政府の計画や規制は、これら排出ガスへの絶え間なく厳格化される基準の設定及び、または、望ましい行動へと導く金融インセンティブを提案できるだろう。加えて、精密な農業や他のN₂O削減手段と技術（窒素防止剤やGPSを利用した施肥装置など）への政府技術支援は優れた実践行動の実施の加速を援助するだろう。
- 2013年に計画されているEUの共通農業政策（Common Agriculture Policy）の改編を、気候に友好的でない集約的農業からより持続可能な農業の形態へと政治的、資金的援助を移す新しい食糧農業政策を展開する機会として利用できるだろう（例えば、農業生態学に基づく農業や生物多様性を保護する農業など）。
- 食品の値段決定やラベリングは、より健康的で肉食の少ない食事をとることを後押しするために利用できるだろう。従って、家畜からの排出ガスも削減できる。
- EU埋立指令は全ての埋立地および汚水処理施設から発生するメタン回収を義務付けるため、またメタン発生に貢献する物質の転用を最大化するため拡大されるだろう。
- 石油、ガスや他の産業施設において、ある種の高温室効果係数ガスの使用、及び、または放出規制のため基準が強化されうるだろう。

図21：ベースラインシナリオにおける電力供給



(p.30)

4.6 発電

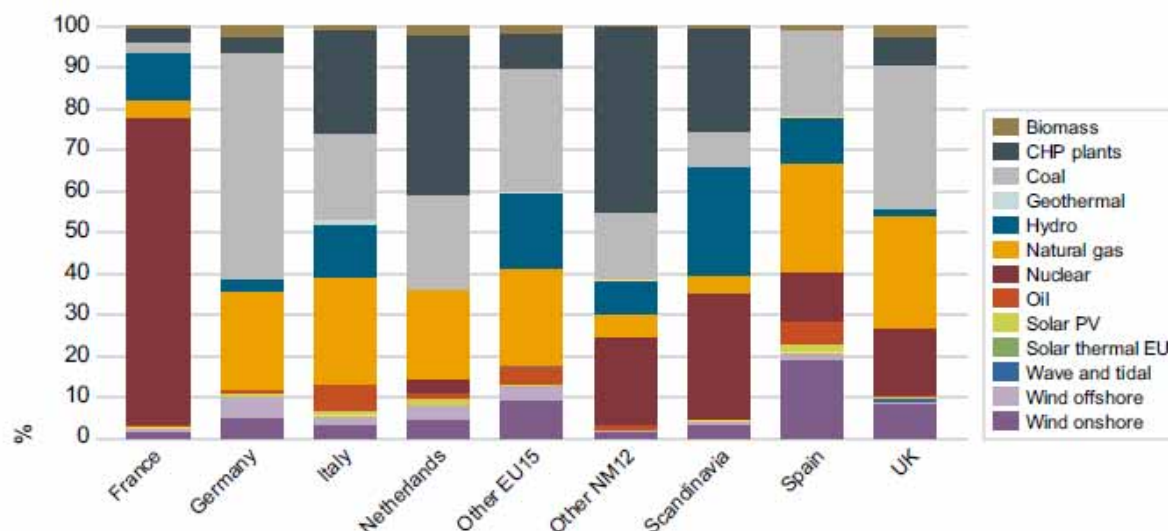
4.6.1 ベースラインの傾向

緩和ベースラインシナリオは、化石燃料（主として石炭と天然ガス）が継続して独占し、各国が現在述べている原子力発電政策が継続するという仮定のもとに2050年まで推測された発電部門の歴史傾向を反映している。石炭火力発電サイクルと組み合わせた統合ガス化などの新しい効率的な発電技術の導入やEUでの最良実施例の一般採用と一致して次第に化石燃料発電の効率が向上すると仮定している。しかし、燃料原料に大きな変更はないと仮定し、CCSのような新技術は含まれていない。

図21は重要な技術ごとに2050年までベースライン発電量を、CHP施設（セクション4.7参照）からの発電を含んで示したものである。

石炭、水力、原子力と天然ガスは地域において主要な発電資源でありつづけるが、ヨーロッパの国ごとに電力供給手法は大幅な多様性が存在する。例えば、多くの国においては「ガスに邁進」している。フランスでは原子力がベースロード発電の独占源として残る。最近の天然ガスや風力の伸びはベースラインにおいても継続すると考えられる一方、原子力も重要な発電源として残る。その大部分はフランスの電力部門とイギリスのような他のEU国の原子力への最注目の組み合わせにおいて独占するためである。図22は2050年の主要EU国において予想されるベースライン発電ミックスを示している。

図22：ベースラインシナリオにおける2050年の発電ミックス



4.6.2 鍵となる緩和オプション

緩和シナリオに設定された厳しい排出ガス目標を達成するために、ヨーロッパは全ての石炭と石油火力発電の完全な、早期段階的廃止を必要とする。一方、天然ガスは発電のバックアップ用としてのみ使用されるものと位置付けられる。前述したようにFoE欧州の要請により、多くの潜在的緩和選択肢が考慮から除かれている。除かれた選択肢は原子力やCCSと組み合わせた石炭火力発電などを含んでいる。バイオマスの大規模使用もまた、ヨーロッパ域内で持続可能に育成できる量に厳しく制限されており、その使用は電力と熱を生むCHP施設のみに限られている。

これらの選択肢を除外して、緩和シナリオは風力、太陽光、水力、地熱、波力や潮力などの再生可能な発電資源に強く依存している。従って、鍵となる問題は発電資源が緩和シナリオで求められる電力量を供給可能か否かである。

この問に答えるには多くの重要な側面が存在する。

- 効率改善策は電力需要を十分に削減できるのか？
- 再生可能な資源の潜在力は電力要求を満たすだけ十分大きなものであるのか？
- 風力、太陽光や他の間欠的な電力資源固有の可変性の問題は克服されるのか？
- 新しい再生可能な資源は、化石燃料発電施設が迅速に廃止される時、それによりできる供給の空白を埋められるだけ十分なスピードで建設されうるのか？

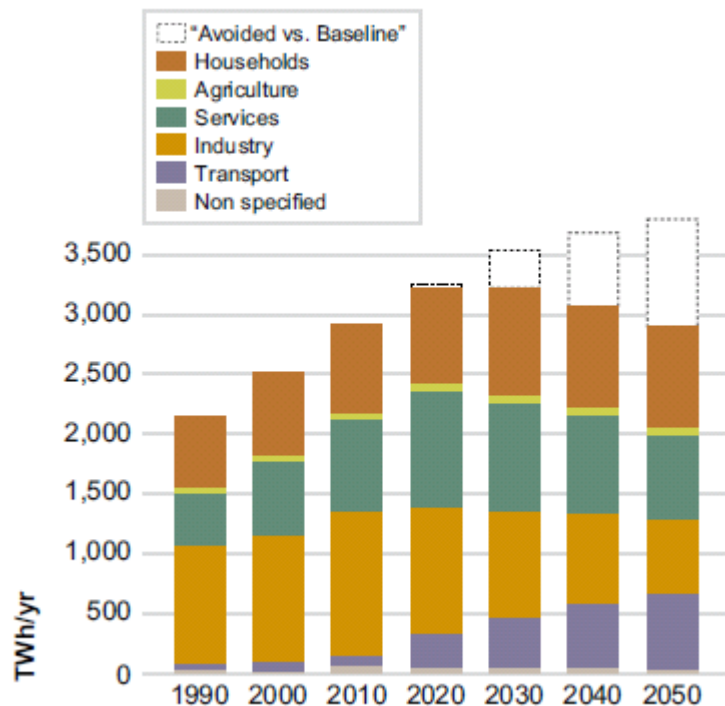
緩和シナリオはこれら課題の一つ一つに対処する。

まずエネルギー効率について考えるにあたり、緩和シナリオは非常に意欲的なものであるが、我々は経済の全ての最終消費部門（建築、産業、交通、農業）において2050年までにどの程度エネルギーが効率化されるかについてのもっともな仮定を信じている、と注記することは重要である。しかし、シナリオは電力と熱の直接消費の方が好まれ、多くの部門において地域化された化石燃料の燃焼は最終的には抹消されるという電化の全体的戦略も計画的に反映させている。従って、例えば、交通輸送部門では電気自動車ガソリン、ディーゼル自動車に置き換わり、建築部門では建物外殻の熱効率を改善する大きな努力の後に残された冷暖房負荷はCHPシステムから

の熱と電気による地熱ヒートポンプがその大半を供給する。この戦略は2重の利益をもたらす：まず、数多くの小規模なCO₂発生源を抹消する。2つ目に非常に大きな電力貯留の新しい潜在性を供給する（電気自動車バッテリーの形で）。

従って、緩和シナリオは大幅な効率改善（エネルギー需要について記したセクション参照）を反映しているが、それはまたエネルギー最終消費をますます電力化するための「競争」も反映している。シナリオの鍵となる側面は、意図的に、特にシナリオの最初の20年は化石燃料発電と原子力発電も迅速に段階的廃止される時期であるため、電力需要の急増を許していないことである。この期間での電力需要の急増を許すことは（例えば、あまりに早く自動車の電力化を求める戦略など）、風力や他の再生可能な発電形態の建設を不可能なほど程高い割合で求める。緩和シナリオは2030年以降にのみ交通輸送での電氣化が強化されることを想定しているため、よりゆっくりと（した電力需要の増加）従ってより可能性のある風力や他の再生可能エネルギー施設の建設割合を仮定している。緩和シナリオにおいて、最も迅速な追加的風力設備の建設を求める時期は2020年から2030年の10年間である。その期間に、新規風力発電は全ヨーロッパにわたり25GW / 年の割合での建設を要求される。これは非常に急速で全く前例のない割合での追加建設であるが、おそらく緊急のグローバルな気候変動対策の動員の想定下においては可能であるだろう。将来の風力タービンは今日建設されている最も大きなもの（5MW）とサイズが等しいと仮定すると、これは2020年から2030年の10年間で毎年5,000機の建設が必要になることを意味している。ちなみに、最近10年で中国は石炭発電施設を100GW / 年もの速度で追加建設している。このかつてなく高い割合での風力発電の追加は、風力発電の潜在力が豊富にあるイギリスで見られるだろう。イギリスにおいては、緩和シナリオは風力発電の追加は2020年から2030年の間に最大の5GW / 年で求められ、総風力容量は2020年に44GW、2030年に92GWに達する。

図23：緩和シナリオにおけるセクター別エネルギー需要



(p.32)

4.6.3 再生可能エネルギーの潜在可能性

家庭部門において、電力消費量は増収と電気製品の保有率の上昇が効率化向上の影響を上回るため、2010年と比較して2020年には8%、2050年には14%伸びる。産業部門では、主として効率化の利益のため、電力消費は2010年と比較して2020年に12%、2050年に49%減少する。交通輸送部門では、電気自動車、電気鉄道旅行がいたる所に普及するので、電力消費は2010年と比較して2020年に219%、2050年に606%と莫大に増加する。全体的には電力需要は2010年に比べて2020年に6%、2050年に24%増加する。

図23に示した電力需要を前提として緩和シナリオの設計は表1に示されるEU27カ国の再生可能エネルギー技術の潜在性を再吟味することにより始まる。表1のデータは様々な出典から採用された。German Aerospace Centre (DLR, 2006)により2006年に出版されたある広範囲に渡る研究はEU27カ国に渡って主要な資源区分の経済的潜在性を比較している。一般的に、その包括性から我々はこの研究結果を採用した。例外は風力とバイオマスのケースである。それらは2006年、2009年にEuropean Environment Agency (EEA, 2006; 2009)がおこなったより詳細な分析結果を参考にした。しかし、EEAとDLRの調査の間にはヨーロッパにおける風力の経済的潜在性の見積もりに大きな隔たりがあることは注目に値する。DLRの調査は風力のEU27カ国での経済的潜在性は約1,332TWhであるとしている一方、EEAの調査は25,102TWhの陸上風力に加え、3,400TWhの海上風力と見ている。これはDLRのものの20倍以上大きいものである。違いの原因の一部は、単位土地面積あたり利用可能なエネルギーを増加するより大きな平均風速とより大きなタービンを想定しているためである。また、潜在的に風力に使用される可能性のある土地面積について大幅に異なる仮定を反映している。陸上の環境規制を評価するため、EEAの調査はNatura 2000や他

に指定されている自然地域を除いており、経済的に競争力のある場所、または2030年までに競争力を持つと考えられそうな場所のみ（生産コストが6.7cent/kWhより低くなると考えられる場所）を考慮している。しかし、EEA調査は風力開発に残されている総土地面積の分散に一般的な制限を設けていないようである。すなわち25,102TWhの陸上風力の経済的潜在性は、もし都市部、森林や農業地（農業用、風力発電用の両方に同時に使用されうると仮定されている）を含む全ての風力に適した利用可能な土地が利用された時にのみ生み出されるものであろう。ヨーロッパの大半を覆うこの風力の観点は社会的、政治的、環境的に受け入れがたいだろう。

それに関わらず、風力エネルギー潜在性の一般評価の基礎としてEEAの調査を利用する方が適当であるとするのは、その調査のより高い透明性とより詳細な証拠書類のためである。風力に利用可能な土地の非常に高い予想を説明するために、シナリオはEEAが予想した風力の経済的潜在性の内わずかのみ（5.6%または約1,600TWh）が実際に開発されるように設計している。

(p.34)

4.6.4 再生可能エネルギーの変性への対応：蓄電の必要性

ヨーロッパの再生可能エネルギー源の基礎は非常に大きなものであるが、最大の再生可能エネルギー源である風力、太陽光と同じく波力と潮力も、それらエネルギーが依存している本質的な間欠性の問題がある。これらエネルギー源は安定した容量への貢献がわずかであり、この問題がこれらエネルギー源をベースロードプラントとすることを困難にしている。ある種の間欠的な再生可能エネルギー技術にとって、あるシステムのピーク生産量に対応するため、例えばその電力が年間に非常に限られた時間だけ利用可能なものであるとしても、十分な送電容量が建設されなければならないために送電コストも上昇する。

短期での風力発電についての風や太陽エネルギーによつての曇りなどによる間欠性の問題に加えて、長期における小康状態の2つ目の問題が存在する。風力発電地帯が5日以上もほとんど発電しないこともあるのは知られたことである（MacKay, 2009）。需要の季節性変化が3つ目の問題である。例えば、風力の利用可能性は冬期に高くなる傾向があるが、需要のピークはエアコン負荷により夏の方が高くなるだろう。

これらの懸念に対処するためには、いかなる将来の発電システムも、互いに季節性、地理的に補完しうる再生可能エネルギー技術の混在と、長期に再生可能エネルギーが利用できない期間を相殺することのできる大容量蓄電のバランスの取れた設計が重要であるだろう。幸運にも、この難題に対処することができる、以下のような幅広い選択肢が開発されている。

- **電気自動車：**プラグインハイブリッド車と電気自動車のCO₂ガス削減利益は、電気エネルギーの貯蓄場所としての潜在性により強化される。運転されていない自動車は、再生可能エネルギーが利用不可能な時にエネルギーを配電網へと戻すことが可能となるよう設計されるだろう。緩和シナリオで2050年までに要する2億6300万台の電気自動車の1/3が電力源としていつでも利用可能であると仮定し、かつ充電時に多い2.5KWで配電網へ逆供給できると仮

定すると、それらはヨーロッパのシステムにおいてピーク電力要求量の50%以上である217GWを供給可能であろうと予測する。

- **需要側管理(DSM)：**供給不足である時に電力を落としたり、スイッチを切ったりすることができる新しい電気機器や設備は短期での大きな電力需要のバランスを取ることができる大きな潜在性も持っている。冷却、空調、洗濯機などや地熱ヒートポンプは全て中央制御されるDSMの先進技術にふさわしい候補であり、少なくとも短期での大きな需要においては負荷の平滑化に大きく貢献するだろう。
- **地理的バランスと資源の多様性：**ヨーロッパの再生可能エネルギーの鍵となる特徴は、異なる資源と異なる需要が大陸の異なる地域に集中しているということである。特に、ヨーロッパの水力資源の大半はスカンジナビアとアイスランドに、太陽エネルギー潜在性の大半は南ヨーロッパに（そしてEUとの境を超えて中東や北アフリカに；下記参照）地熱エネルギー潜在性の大半は地中海沿岸、バルカン、EUの東部の国々にある。同様に、特に冷暖房負荷において需要にも地域差が存在するが、これら気候の違いは、一度建物外殻の効率を大幅に改善すれば2050年までにはいくらか影響が少なくなるだろう。これら地理的变化量は負荷のよりよい管理機会を創造する。例えば、冬季により頼ることができる風力源は夏季により頼ることができる太陽エネルギーで補完されることができる。同様に、需要のピークはEUの異なる国で異なる季節の異なる時間に起こる。これら地理的变化量を有利に利用するにはヨーロッパの配電システムの大きな改善を要する。高電圧交流(HVAC)配電システムはロスが非常に大きい長距離の一国サイズの電力量を輸送するには経済的ではない。しかし、高電圧直流(HVDC)システムは、負荷を安定し現在のHVACシステムのkm当り電力ロスの半分以上で超長距離の大電力供給の輸送支援する全EUに渡る電力の「スーパーハイウェイ」として稼動する潜在性をもっている。そのようなHVDCシステムは中東や北アフリカから太陽エネルギーによる電力を輸入（下記参照）する時にも必要とされるだろう。もちろん送電網の大規模拡大はコストがかかり、その景観的影響や土地利用需要により、支持を得ないかもしれない。
- **再生可能エネルギーの貯留：**上述したように、風力や他の間欠性のある再生可能エネルギーの現在の設計は2つの理由で問題がある：まず、必要な時に利用できないことがある、しかし利用可能な時に合わせるため送電システムも巨大なものを必要とする。再生可能エネルギー資源はしばしば需要の中心から遠く離れているため、新規配電網建設コストはそれらエネルギー源を競争力のないものとするボトルネックとなりうる。再生可能エネルギーによる発電と地域化された比較的長期のエネルギー貯留はこの問題の克服に役立つだろう。すなわち間欠的な発電源を信頼できる、発送できるものへと変化させることでより価値のあるベースロード源とすることができる。多くの有望な地域の貯留選択肢は、フライホイール、バナジウムや他のバッテリー蓄電選択肢、そして集中太陽エネルギー設備と合わせて使用する溶融塩貯留タンクを含み現在積極的に開発されている。ある一つの見込みあるすでに商業化され

ている選択肢は、圧縮空気エネルギー貯留(CAES)の利用である。CAESは岩塩空洞、帯水層や他の地下の地理的特長を、風が吹いている時に圧縮空気を貯蔵するため利用する。圧縮空気はその後少量の天然ガスとともに、蒸気または燃焼タービンを駆動し風力が利用できない時に電力を供給するために使用される。CAESシステムは様々な理由から期待されている。まず、CAESはすでにヨーロッパとアメリカ両地域においてピークシェーピングプラントとして操業されている実績のある、信頼ある技術ということである。2つ目に、貯蔵は地下に設置されるため、CAESは最小限の追加的土地しか要求しない(標準的風力発電地域より15%だけ広い)。3つ目に、事前評価によると、CAESに適した地理的地域の利用可能性と風力潜在性が高い地域とは一般的に愛称が良いと予想している(ヨーロッパにおいてはもっと多くの研究が必要ではあるが)。4つ目に、CAESタービンに天然ガスを用いる時でさえ、風力/CAES施設から出るCO₂ガスは非常に少なく、高校率天然ガスコンバインドサイクル発電施設(NGCC)から発生するCO₂の約20%である。しかしながら、天然ガスは更に排出ガスを削減するために限られた量のバイオマスに最終的には置き換えられるだろう。最後に、CAESのコストはCCSを伴う石炭火力発電と競合的であると予想される。シナリオではCAES技術を伴った陸上風力がコスト見積もりを出せるようにより詳細に研究されている。しかしCAESもまた揚水システムやフライホイールのような技術に置き換えられるだろう。

- **中東及び北アフリカからの太陽エネルギー輸入：**ヨーロッパの風力ポテンシャルは非常に大きいと考えられるが、中東や北アフリカ(MENA)の太陽エネルギーの技術潜在性、ある見積もりによると数十万TWh(DLR, 2006)・理論的には長期にわたり全ヨーロッパのエネルギーニーズを供給するに十分である・に比較すると小さく見える。集中太陽エネルギー(CSP)をヨーロッパへの比較的軽度の電力ロス(15%)であるHVDC配電網と合わせて用いれば2050年までに莫大な量の電力を供給可能だろう。夜間や需要ピーク時に蒸気タービンを動かすため、CSPシステムからの熱は日中溶融塩の形で貯蔵可能だろう。CSP施設からの廃熱も水の脱塩(水不足による対立が深刻な問題となっている地域にとっては重要)に使用されるだろう。この概念はこれを促進するために最近DESERTECと呼ばれる団体が設立される程に注目を集めている。DESERTEC財団はCSPは100GWもの電力をヨーロッパとMENA地域に供給できると予測している。CSPが魅力的であるのはその巨大な潜在性のためだけでなく、北ヨーロッパの風力と水力の開発に技術的、季節的そして地理的バランスをもたらすためである。更に、そのようなシステムの基本的な技術要素はすでに比較的多く実証、商業化されている。そのようなシステムの資本コストはが、十分な調査開発と証明努力と共に時間が経つに連れて著しく下がるだろう。そのようなシステムの不利な点は莫大な初期資本コスト、供給の安全性についての懸念を生むヨーロッパ域外の立地条件とプロジェクト全体の規模の大きさを含んでいる。もし下手に実施されると、そのような巨大プロジェクトは、歴史的に石油、水力や他の巨大エネルギー計画に伴っているある種の腐敗や統治の問題を招くだろう。同様に、多量の脱塩水を利用可能とする可能性は巨大な開発の賜物であるだろうが、

そのような大規模システムはヨーロッパの人々やビジネスの利益をほぼ排他的に実施され、MENA地域の地元の人々に有益な利益はほとんどなく巨大なエンクレーブ（飛び地、少数）において実施されるだろうという懸念は残る。潜在的な欠点にもかかわらず、そのような巨大な潜在性を簡単に無視することはできない。従って、緩和シナリオでは2030年以降での再生可能エネルギーによる発電の重要な選択肢の一つとして含んでおり、2050年において総発電量のおよそ7.5%を供給する。

- **バックアップ電力源としての天然ガス：**太陽エネルギーの間欠性と貯蔵に関する制約の克服に役立つ最後の、しかし重要な選択肢は発電に天然ガスの使用を継続することであるが、ただし緊急またはピーク時の電力源としてのみである。高効率な天然ガスは石炭や石油火力発電よりKWhあたりの排出ガスは大幅に少ないが、緩和シナリオでの非常に低い排出ガス目標ではベースロード電力として天然ガスを使用することを排除している。しかしながら、緩和シナリオにおいて天然ガスの使用は風力が利用できない時にバックアップ電力の供給を支援するために風力/CAESシステムでは求められ続ける。同様に、限られた量の天然ガスバックアップは、太陽熱の輸入がベースロード電力源として機能することを可能とするために要求されると予想される。この天然ガスは2050年以降にバイオ燃料に最終的に置き換えられるだろう。この点はシナリオにおいてバイオ燃料消費上の全体的な資源の制限により緩和シナリオでは考慮されていない。

再生可能エネルギーベースの緩和シナリオに含まれる有望な技術選択肢は非常に多く存在するが、どの技術が最終的に勝ち残り現れるのか予測することは依然として困難である。これら選択肢の多くはコスト、技術的適合性や社会的許容度について大きな不確実性なままである。このため、緩和シナリオは潮力、波力、地熱、バイオマスや自治体の固形廃棄物(MSW)、太陽光発電に太陽熱利用（自国内及び中東、北アフリカからの輸入の両方）、そして陸上および海上風力を含む異なる種類の再生可能エネルギー技術のバランスの取れた開発を反映するようにしている。

この多様性はまた、異なる季節におけるより良い利用可能性を備えた技術間で、また北ヨーロッパでより利用可能な資源（風力、水力、波力、潮力発電）と南部でより利用可能な資源（太陽光、地熱）の間で良いバランスレベルをもたらす。

表1：2030年におけるEU27カ国の再生可能エネルギー潜在量

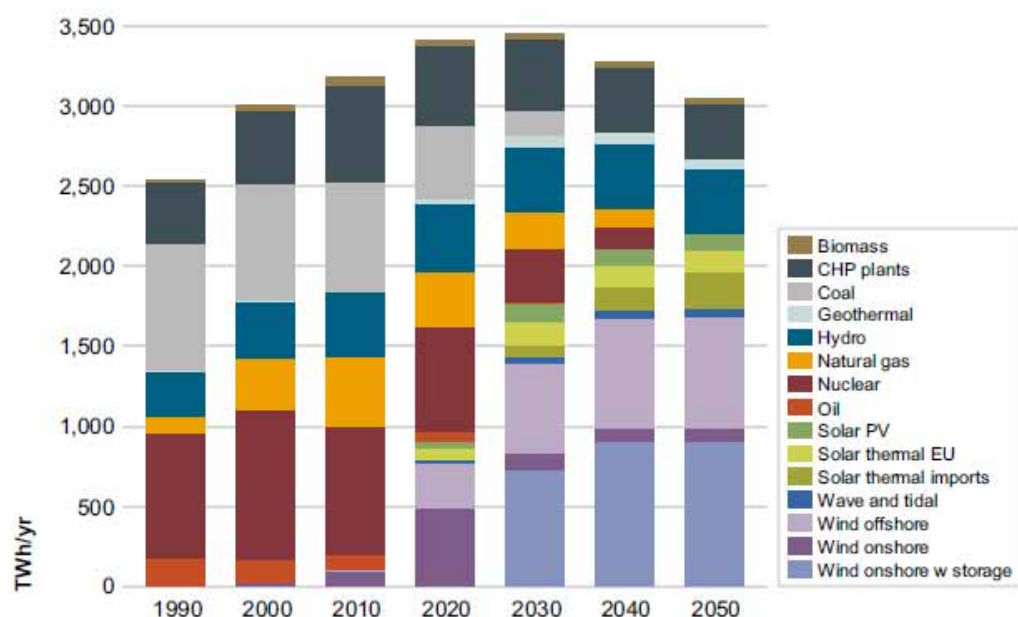
2030 Economic Potential (TWh/yr) Country	Hydro	Geo-thermal	Biomass	Solar thermal	Solar PV	Wind onshore	Wind offshore	Wave & tidal	Total
Austria	56.0	4.1	101.2		2.9	56.0	–		220.2
Belgium	0.5		26.7		2.1	425.0	30.0	0.2	484.6
Bulgaria	12.0	0.8	–		2.0	112.0	22.5		149.3
Cyprus	1.0		3.5	20.0	0.1	25.0	3.0	0.2	52.8
Czech Republic	3.0		58.2		1.1	85.0	–		147.3
Denmark	–		29.1		1.3	751.0	420.4	2.2	1,204.0
Estonia	0.4		30.2			597.0	105.1		732.7
Finland	20.0		109.3		1.7	3,359.0	210.2	2.0	3,702.2
France	72.0	14.1	551.3		23.4	3,115.0	300.3	12.0	4,088.0
Germany	26.0	28.2	502.4		23.4	2,467.0	270.3	7.0	3,324.3
Greece	12.0	9.4	44.2	4.0	3.9	372.0	120.1	4.0	569.6
Hungary	4.0	51.9	65.1		2.0	1.0	–		124.0
Ireland	1.3		15.1		1.1	1,315.0	150.1	4.0	1,486.7
Italy	65.0	19.6	288.4	7.0	17.6	334.0	127.6	3.0	862.2
Latvia	4.0		27.9			593.0	90.1		715.0
Lithuania	1.5	0.8	115.1			442.0	11.3		570.7
Luxembourg	1.0		–		0.8	10.0	–		11.8
Malta			0.5	2.0	0.1	7.0	–	0.1	9.7
Netherlands	0.1	1.3	27.9		4.3	533.0	345.3	1.0	912.9
Poland	7.0	1.7	457.1		3.1	2,609.0	75.1	1.0	3,153.9
Portugal	20.0	14.1	47.7	142.0	3.9	152.0	52.6	7.0	439.2
Romania	18.0	1.0	–		2.0	99.0	15.0		135.0
Slovakia	6.0	3.1	41.9		2.0	11.0	–		64.0
Slovenia	8.0	0.4	20.9		1.0	2.0	–		32.3
Spain	41.0	28.2	291.9	1,278.0	19.5	682.0	75.1	13.0	2,428.7
Sweden	90.0	1.3	157.0		3.7	2,539.0	225.2	2.0	3,018.2
United Kingdom	8.0	0.3	284.9		7.8	4,409.0	750.7	60.0	5,520.8
Total EU27 Potential	477.8	180.3	3,297.6	1,453.0	130.8	25,102.0	3,400.0	118.7	34,160.2
2006 Production	307.7	5.6	46.3	2.5	2.5	82.0		0.5	447.1
2050 Mitigation Production	399.2	68.7	1,393.1	295.0	104.3	898.2	700.0	46.6	3,905.1
2050 Mitigation Production/Potential (%)	84%	38%	42%	20%	80%	4%	21%	39%	11%

Sources/Notes: EEA (2006) for biomass, EEA (2009) for wind, German Aerospace Centre (DLR, 2006) for all other technologies. The "Solar Thermal" column indicates the potential for large scale concentrating solar power (CSP) facilities. It does not include the potential for solar hot water heating in buildings. The table also does not include the potential of CSP from the Middle East and North Africa estimated by DLR at several hundreds of thousands of TWh/yr.

4.6.5 結果

図24は緩和シナリオにおける発電量の変化を示している(TWh)。要求を満たすため急速に成長すると想定される再生可能エネルギー源からの発電と共に、いかに石炭、ガス、石油と原子力発電が迅速に廃止されているか注目してほしい。また、他のシナリオと異なり、ベースラインと比較して全体的な発電レベルの大幅な減少を想像するものではないことにも注意する価値がある。事実、緩和シナリオにおける発電量は需要サイドにおける大幅なエネルギー効率の改善にもかかわらず2030年まではベースラインシナリオと同様である。これは局所的な化石燃料の燃焼は可能な時期に取りやめるというシナリオ設計において用いられた全体的な電化戦略によるものである。

図24：緩和シナリオにおける発電内訳



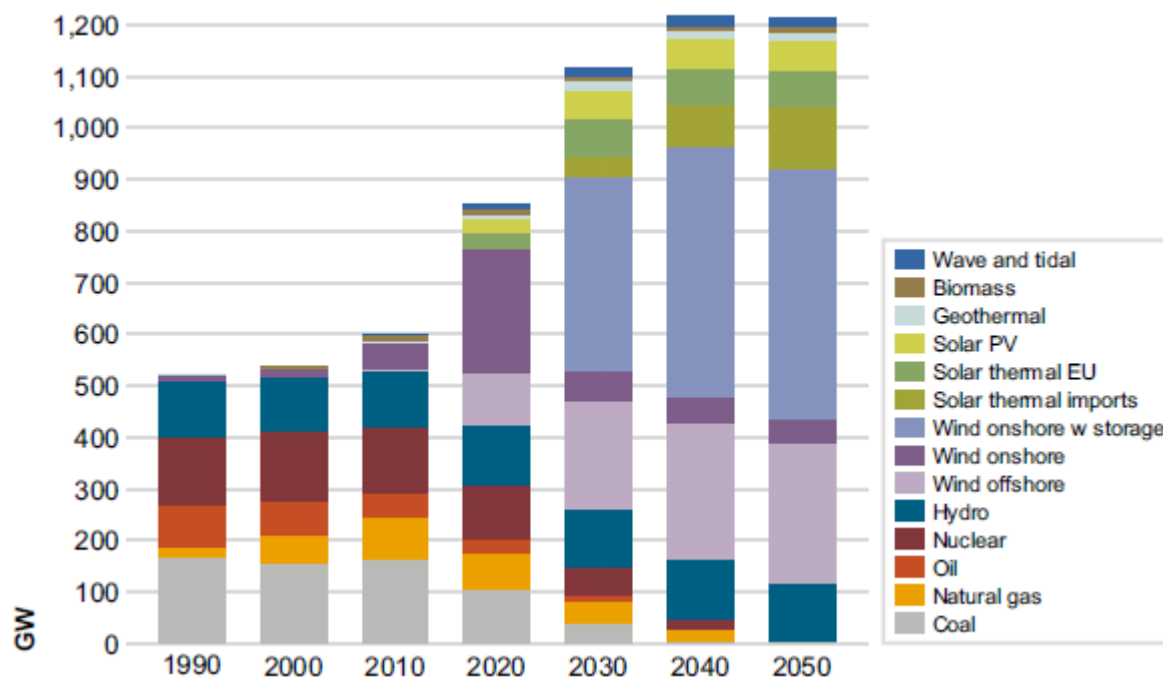
2030年以降、効率対策が支配的となり、全体的な発電レベルはわずかに下降する。この減少は、他地域へ電力輸出の機会として利用されるかもしれない、または、水素のような炭素ゼロエネルギーの生産のため動力として利用されるだろう。もし残った化石燃料利用が水素エネルギーに置き換えられれば、シナリオにおいてさらに全体的な温室効果ガスの追加的な削減が可能となるだろう。しかし、この可能性はシナリオにおいては定量化されていないことを記しておく。

緩和シナリオにおいて要求される発電所容量に関しては(GW)、求められる容量の伸びは怖気づかせるようなものに見えるが、最終的には達成可能である。化石燃料や原子力施設は図25で示しているように閉鎖を求められるため、本質的に利用可能性の低い風力、太陽、波力や潮力資源のため大容量が要求されるだろう。全体的なEUの電気システム容量(中東や北アフリカからの太陽熱輸入を含む)は2倍以上必要となり、その大半は風力と太陽熱電力からの追加的なものだろう。2025年以降、大半の風力と太陽エネルギー設備は、ベースロード電力源として供給できるように、そして末端まで新しい送電線の必要を保つために、局所的な貯蔵選択肢が含まれるだろう。

上述したように、シナリオは各国の主要な種類の再生可能エネルギーの経済的ポテンシャル(表

1参照)以下に発電レベルを保つよう設計されている。にもかかわらず、前述したようにそれら再生可能エネルギー施設が建設されなければならないスピードは、特にシナリオでは極めて早期(2020年から2030年)に大幅な追加が要求されているので並外れた難題である。

図25：緩和シナリオにおける発電潜在量



(p.37)

4.7 熱伝供給(CHP)

緩和シナリオは図26で示すように熱の地域集中生産へのかなりの需要を含んでいる。これら需要は建物の暖房(と潜在的には冷房)に利用される低温度区画熱と工業過程に利用される高温度加工熱の両方を含んでいる。前のセクションで説明したように、緩和シナリオは、特にCHPまたは区画暖房のインフラがよく整備されている国において可能な時はいつでも建物と産業は化石燃料の直接燃焼から熱へと変更すると仮定することにより熱需要を最大化するように設計されている。このアプローチにもかかわらず、緩和シナリオでの高レベルな効率化利益はCHPからの全体的な熱需要が著しくシナリオ期間後半部において減少することを意味している。

それにもかかわらず、緩和シナリオにおいてCHPが鍵となる低炭素技術を代表しているのは主に3つの理由からである。

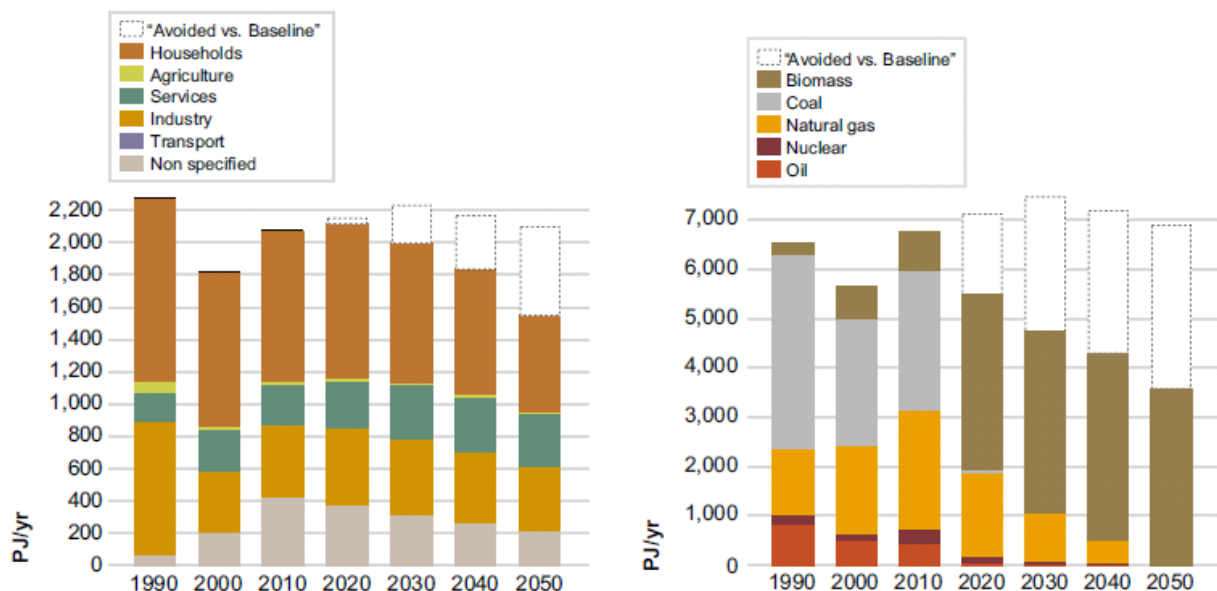
- 最初に、CHPは熱と電力の両方を産み出すことができ、その電力と熱の発生効率に合わせて2050年までに80%に近づく高効率技術であるということ。これは熱効率約40%程度で電力のみを発生している現在の先端化石燃料発電施設と比較できる。従って、CHP施設は緩和シナリオにおいて熱需要を満たすため操業されると仮定するが、それらはまた大量の電力をも供給もする(セクション4.6の電力発生量チャート参照)。
- 2つ目に、図27に示すように緩和シナリオではCHPは完全にバイオマス燃焼のものになる。

それにより熱と電力をほぼ温室効果ガスを排出することなく供給できる。すべての国が暖房システムを完全にCHPベースに、そして2050年までには完全にバイオマス使用に転換もしくは再点火すると仮定している。この作業は現在セントラルヒーティングが主に石炭で行われていて、いくつかの施設が電力を産みださない熱供給のみを目的としているポーランドやブルガリアのようないくつかの東ヨーロッパの国で最大のものとなるだろう。これらの国々はそのような変化を実行するためにはEU隣国からの資金援助を必要とするだろう。またそのようなシステムに求められるバイオマス量は表1に列挙されたバイオマス生産量の十分な制限内であることにも注目してほしい。しかし、増加している世界人口と併せて避けることのできない気候変動（特に降雨量の減少）はおそらく、生産または輸入によるヨーロッパの食料供給能力に大きな影響を与えるだろう。これはヨーロッパにおいて食糧とバイオエネルギー間での追加的な土地利用競争を作りだすだろう。これら圧力のいくらかはCO₂施肥により増加する生産とより良い種子により相殺されるかもしれないが、降雨、灌漑、より強力な気象の決定的な要因はこれらポジティブ要因を大きく圧倒するだろう。これはヨーロッパ域内でバイオマスの大規模増産がなされる前により多くの調査研究が必要な領域である。

- 3つ目に、少なくとも暖房が必要な季節においてCHPはベースロード電力と等しいものを供給するだろう。それは建設される必要のある間欠性再生可能エネルギー施設量の減少を支援し、緩和シナリオの後半年において非常に価値のあるものとなるだろう。

図26：緩和シナリオにおける熱需要

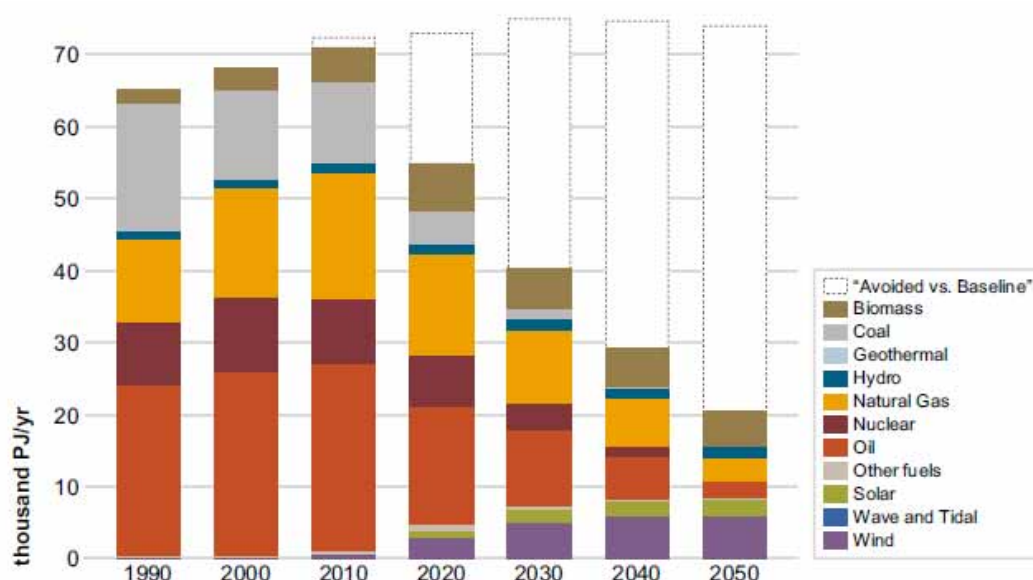
図27：緩和シナリオにおけるCHPエネルギー源



4.8 一次エネルギー需要

図28は緩和シナリオにおける一次エネルギー必要量を示したものである。すなわち全ての前述したシナリオの仮定と計算の直接結果である。原子力はより適応に長期間を必要とするフランスのようないくつかの国を除き早々に段階的廃止される。石炭は2035年までに完全に除かれる。2050年までに石油消費はいくつかの鍵となる交通輸送部門（航空旅行、船舶輸送、バス、陸上貨物輸送）を除いて排除される。天然ガスは2050年にも残っているが主として再生可能エネルギーベース電力システムのバックアップ燃料としてのみ用いられるよう制限される。水力発電は調査期間全体に渡りおよそ一定であり、バイオマス消費も同様であり、貧しい家庭でのバイオマス利用の自然減とCHPシステムでの利用増加はおよそ釣り合う。残った一次需要量はすべて、陸上および海上風力が非常に大きな選択肢であるが、異なるタイプの間欠性再生可能エネルギーである。それぞれの再生可能エネルギー資源での年間必要量はEU27カ国全体および各国内での経済的ポテンシャル（表1参照）を十分下回ったままである。

図28：緩和シナリオにおける一次エネルギー需要



4.9 排出ガス結果

図2で示したように、緩和シナリオでは温室効果ガスが大幅に減少する結果となる。これはもちろん驚くことではなく、シナリオの主な設計基準として排出目標が設定され、明快に「バックキャスト」として設計されているためである。

全体として温室効果ガスは1990年基準で2020年に40%、2050年に90%減少する。図29は異なる部門の削減への貢献を示しており、発電、交通輸送、熱生産部門が最大の減少をもたらしている。

図30は同削減を各国ごとの達成量で示したものである。大幅な削減が達成されるのは大きな、現在最も炭素集約的な国、ドイツ、イギリス、イタリア、スペイン、ポルトガル、であることは驚くべきことではない。フランスは大きな国ではあるが、その発電はすでに原子力により独占されているので温室効果ガスの削減潜在性はイギリスやドイツより低い。

図31はEU27カ国においてどの程度1人当たりのエネルギー部門別温室効果ガス排出が下降するかを表している。いかに全ての国の排出ガスが1人当たり1tCO₂の非常に低い年間温室効果ガスに向けて縮小、収束しているかに注目してほしい。2050年においても各国間での差異は残っており、それは部分的には、スタート地点の違いや各国での再生可能エネルギーベースの違いによるものである。この技術分析はEU27カ国間での負担共有問題明確に対処していないことにも注目してほしい。緩和シナリオは技術的可能性を示すことのみを意図している。EU域内での公平性問題は別途対処される必要があるだろう。

図29：セクター別温室効果ガス削減予測

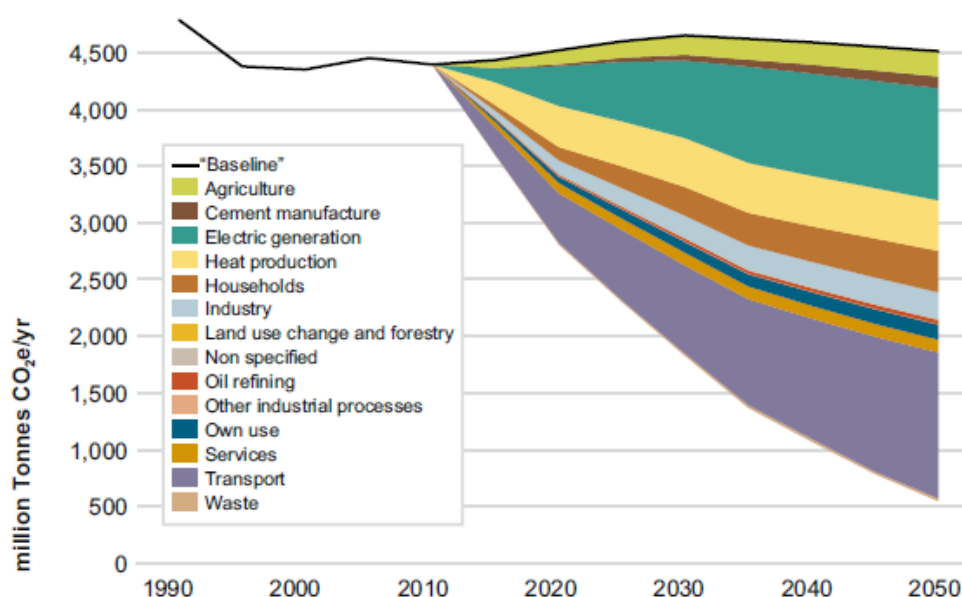


図30：国別温室効果ガス削減予測

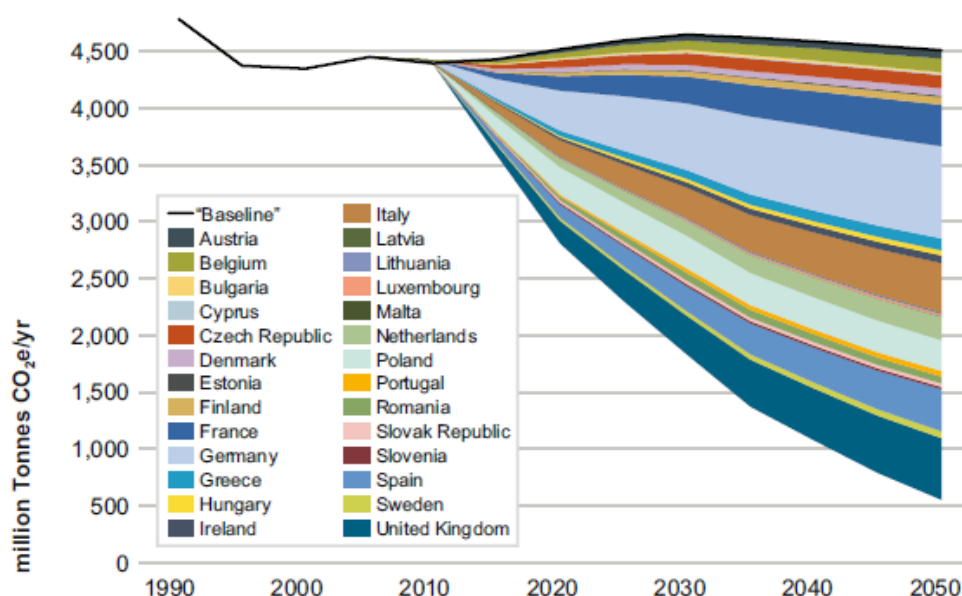
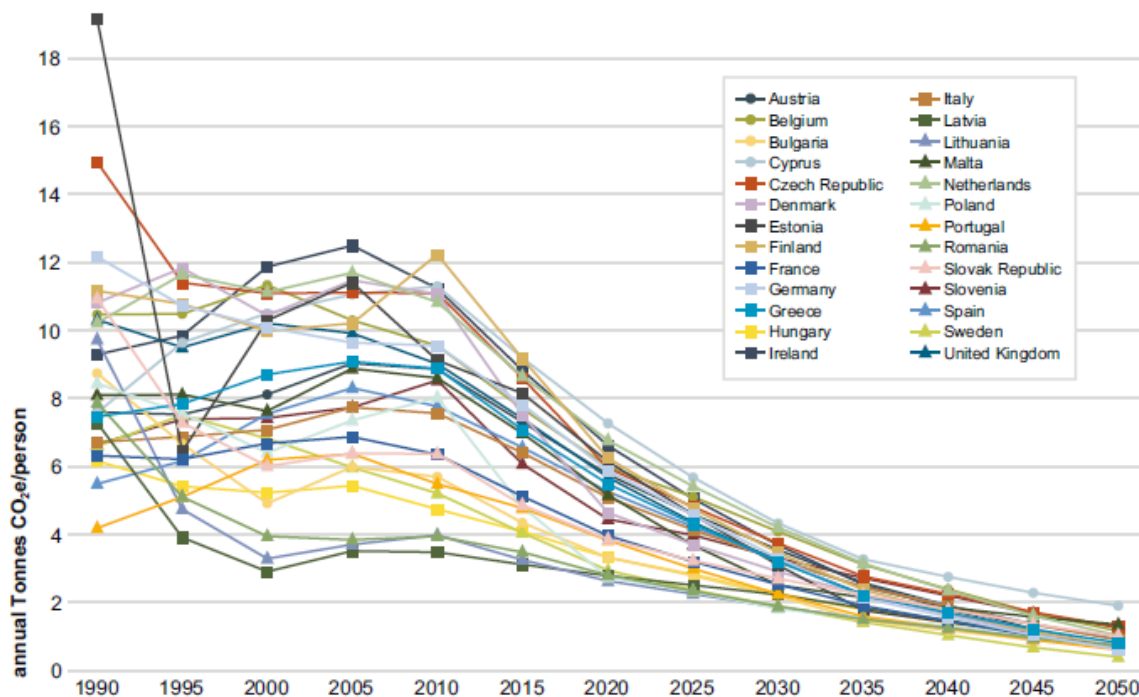


図31：各国のエネルギー部門の温室効果ガス排出（1人当たり）



(p.41)

4.10 域内対策の費用

この報告書は緩和シナリオの費用の詳細な経済的評価として意図していないが、ここにシナリオの費用計算の一部を示す。2010年から2020年の間で緩和シナリオの増分正味現在価値(net present value)をベースラインと比較して見積もっている。技術および燃料の将来費用を予想することはたとえほんのわずかの時間枠内においても困難である（あらゆるエネルギーモデラーが近年の燃料価格急騰、その後の崩壊の予測に失敗していることを我々は目撃している）。2050年に渡る期間で費用と価格の予想を試みることは、おそらく桁違いに困難である。このため、ここでは2010年から2020年の期間での緩和シナリオの非常におおまかな費用予想のみを試みている。我々の見積もりは部分的であり、いくつかの需要部門での対策の見積もりのみを含んでいる。それは家庭、サービス、交通輸送での増分資本、運転と維持費を含んでいるが、より予想が困難であり、そして更に大きな不確定性の対象である産業、農業と非エネルギー部門は含まれていない。供給サイドにおいては、発電、送電と流通での資本、運転維持費用の見積もりは含んでいるが、CHPと精製部門の費用または便益は含んでいない。

コスト見積もりはIEA (IEA, 2008d)による世界平均燃料価格予想を、IEAのEnergy Technology Perspectives Report (IEA, 2008a)を含む様々なところから参照した現在、未来の技術コスト予想と合わせて基本とし、IAEA (Howells, 2009)、ドイツ航空宇宙センター (DLR, 2006)とマッキンゼー社 (McKinsey, 2009a; 2009b)からの予測で補完されている。

LEAPモデルシステムでの費用便益の標準的な会計計算はベースラインシナリオと比較し緩和シナリオの増分累積割引費用が計算された。5%の現実的割引率が2010年以降全ての費用に適用された。

2020年までのベースラインシナリオと比較して緩和シナリオの総正味現在価値(NPV)は1兆9,400億ユーロにのぼる。

これは以下の部門別トータルで構成される（全ての数値は2005年価値での1兆ユーロ単位で示している）:

Demand-side efficiency investments 需要サイド効率化への投資: €1.84

Transmission and Distribution 送電と配電: €0.05

Electric Generation 発電: €0.59

Fuel Savings 燃料節減: - €0.54

Total NPV 総正味現在価値: €1.94

この価値は緩和シナリオにおける2010年から2020年までのヨーロッパのGDP(111兆ユーロ)のNPVの約1.7%である。上述したように、これは費用予測（特に燃料費用）に非常に敏感な、部分的でおよその予測である。

これら予測は様々な他の研究調査、最近のアッカーマン（Ackerman）らの報告「350ppmの経済学：気候変動対策の利益とコスト」”The Economies of 350: the Benefits and Costs of Climate Stabilization”（Ackerman et al, 2009）の中で再吟味、議論された研究などと一致している。その報告書の中で著者は以下のように述べている。

温室効果ガス削減シナリオの費用予想には大きな幅がある。極端なところでは、たとえ最近アメリカの法で求められているような緩やかな削減であっても経済を不自由にすると主張しているビジネスロビーもいる。他方で、幅広い削減政策（次の3世紀の間においてCO₂の350ppm安定化に要求されるものよりは緩やかではあるが）は燃料費用低下により全体的にはお金を節約できると主張する環境擁護グループもいる。

この評価を将来の見通しに適用してみるの是有用である。気候変動の費用が幅の上限、GDPの2.5%、であると仮定すると、「これは大きな費用なのか？」と尋ねることができる。これに答えるために再びアッカーマンの著述を引用する（わずかに校正している）

年間2.5%で成長する経済において、毎年気候保護にGDPの2.5%を費やすことは一年間成長を遅らせることに等しいだろう。平均的な収入が今日のレベルから2倍となるには気候保護に費用をかける場合では28年かかるのに対して（気候保護に費用をかけない場合では）29年かかるだろう²⁸。

もう一つの比較を考えると、軍事費用は世界68カ国においてGDPの2.5%よりずっと多く費やしている。従って、遠くにあるが我々の生活にとって危険な脅威から守るために、

²⁸ 注意：これは一年分のGDPを飛ばすことを意味していない。単にGDPの成長を一年飛ばすことを意味している。

我々がこの2.5%を現在の消費から取り除くことが不可能であるとは信じがたい。潜在的な危険に関する異なる話を基にすると、我々はすでに同様のことを年々行っている（毎年2.5%以上を軍事費に用いている）。

この1-3%幅はまた、気候保護のための行動をとらない場合の費用予測に対して比較が可能である。おそらくこの観点において最も権威があるであろう「気候変動に関するスターンレビュー (Stern, 2006)」によると世界的GDPロスは少なくとも5%だがおそらく20%以上に上るだろうと予測している。従って、制御できない気候変動の費用は金融危機に対処するための今日議論されている金融出動の規模よりもはるかに高いだろう。その上、大幅な温室効果ガス削減の実行遅延は費用を増加させるだろう。

従ってまとめると、気候変動の明らかに災難をもたらすリスクを本気でとることに備えると仮定すると、EU GDPの1-3%は大きな費用ではない（この議論の背景においては）。

(p.43)

5. 更なる削減のための選択肢

セクション4で説明したように緩和シナリオは、2050年までに大幅な温室効果ガスの削減が技術的に可能であり経済的に管理可能であることを示している。しかし、これらの削減レベルでさえ地球の気候を保護するに十分ではない可能性も十分ある。おそらく、世界は350ppmCO₂の大気濃度レベルへとより早く戻るために更なる削減に向かって進む必要があるだろう。では、排出ガス削減のために更に何をすることができるだろうか？

緩和シナリオに含まれていない多くの選択肢がすでに明らかである。大半は重大な欠点を伴っているが、もしすでに緩和シナリオに含まれている選択肢の十二分な活用を超えて更に努力が必要であると最終的にわかれば、そのような将来の万が一の時に可能性のあるものとして、せめてそれらを列挙しておくことは有用であるだろう。

- まず、第2世代バイオ燃料が交通輸送部門（主として陸上交通、航空と船舶輸送）において残っている化石燃料ベースの排気ガスを抹消するための重要な選択肢として持ち上がるだろう。European Environment Agency (EEA, 2006)の評価では、十分な量の第2世代バイオ燃料は緩和シナリオで提案されている残りのニーズを満たすためにヨーロッパ境界内部で持続可能に育成可能であると提案している。一部、途上国の経済的、環境的開発への潜在性における懸念のため、バイオ燃料は現在のところ多くの環境コミュニティで望ましくないものとされたままであるが、特に、もし気候危機がより深刻になると科学が明らかにするならば、バイオ燃料は有望な長期での域内選択肢となり現れるだろう。
- 2つ目に、CCSは緩和シナリオでは考慮されていないが、CHPシステムと合わせてバイオマスペースのCCSを期間後半で展開するための選択肢として再評価してみる価値はあるかもしれない。というのは、積極的に大気からCO₂を固定する潜在性があり、それゆえにたとえゆ

っくりであるとしても大気中のCO₂濃度減少への選択肢の一つたりうるためである。これはもちろん、現在の地質学的固定容量がすでに化石燃料との使用に消費されていない時にのみ利用可能な選択肢である。研究調査が初期段階であるもう一つの選択肢はCCSと併せた化学的空中捕捉である。

- 3つ目に、ヨーロッパやいたるところで自然による温室効果ガス吸収を促進するための様々な選択肢が可能である。これらの選択肢は緩和シナリオには含まれていないが、土地利用や林業のより良い管理がCO₂をより高いレベルで積極的に固定するだろう。しかしながら、ここでの主要な警告は差し迫った、ある程度すでに不可避な気候変動はヨーロッパの森林にそのCO₂固定能力減少またはCO₂放出もありえる深刻な影響を与えるかもしれないということである。
- 4つ目に、今後数十年において多くの新低炭素技術が現れることは大いにありうる。新技術がどのような形を取るのかを予想することは困難であるが、その可能性は炭素を吸収する新しいタイプの「グリーンセメント」や再生可能エネルギー発電技術の更なる拡大に由来する水素燃料を含んでいる。

現在においてこれらの選択肢を追い求めないに足る理由が存在する。それは非常に多くの研究開発資金を要し、それにより今後数十年に必要とされる排出ガス削減を産み出す可能性の高い、必要とされる開発選択肢を追い出す可能性が非常に高いためである。

最後に、もし2050年までに達成される排出ガス削減が地球保護に十分ではないならば、充足性の問題が再検討されるだろう。主要な専門家が「我々は自然と交渉することはできない」と指摘しているように、気候変動の科学において妥協することは不可能であると指摘することはもちろん重要である。シナリオでは大半の活動の排出ガス強度は大幅に削減されているとすでに仮定しているため、追加的な充足性対策が経済の残りの集約的な部分において最も有効な目標とされるだろう。最も明らかな領域の一つは更なる個人当りの航空旅行の削減である。

(p.44)

6. 国際的義務：負担の共有

気候危機に対する有意義な解決方法は、ヨーロッパだけでなく世界の排出ガスの緊急かつ全面的な軌道変更を促さなければならない。しかし、そのような世界的変化は開発を妥協しない時にのみ、実質的に実行可能であり、政治的に許容されることができると考えられる。たとえ差し迫った気候危機に面しても、途上国は同じ位に緊急で深刻な貧困と開発危機に直面し続けている。これを考慮すると、途上国は貧困撲滅や生活水準の向上を危険にさらすいかなる気候制度も拒否すると考えられる。

この論理的意味は、気候制度は発展を明確に保護する一方で国ごとの炭素緩和責任の規模を透明性をもって定義する負担共有アプローチに基づかなければならないということである。特に、

そのようなアプローチは途上国が発展の展望を弱体化させる世界的気候変化の費用負担を問われないように保証しなければならない。

以下に、そのような負担共有アプローチの一つ –Green Development Rights (GDR)フレームワーク²⁹：発展する権利を保護するように明確に設計されている- のヨーロッパへの影響を検討している。GDRsフレームワークは一方で気候危機により求められる緊急性をもって世界的排出ガスが削減されるが、他方で途上国の発展権利が保護されることを保証することを狙ったアプローチである。特定の「発展しきい値 (development threshold)」を下回る個々の国々の保護を目的とする方法で、国家間での負担共有を定義することにより後者を達成する。しきい値以下の人々は適切な優先権を持って発展するよう取りはからわれ、従って厳しく制限された世界炭素収支以内に社会全体として保つことに関連した義務を負わない。他方で、しきい値以上にいる人々は発展する権利を自覚していると見なされ、他者のために権利を保護する義務に耐えるものと見なされる。実証的研究によると、およそ1人1日約US20ドル (約13ユーロ)³⁰の発展閾値は伝統的な貧困の発生 (栄養失調、高乳児死亡率、低教育普及度、相対的高食費) が典型的に大幅に見られなくなる収入レベルに対応しているだろうとしている。

各国は「公正さに基づいて共通であるが差異のある責任とそれぞれの能力、社会的経済的状况に合わせて」気候を保護するべきであるというUNFCCCの根幹を成している基本的原則に訴えることにより、GDRsフレームワークは世界的負担共有フレームワークの元で国ごとの義務を計算している。締約国の義務における全ての位置決めと交渉のための開始点としてこの宣言の基本的な重要性を前提とし、GDRsフレームワークは各国の責任と能力を定量化するため直接的方法を用いている。

通常なされるように、GDRsアプローチは気候問題に対する責任を表示すると解釈され、累積温室効果ガスを適切な指標として採用している³¹。そして能力を気候問題解決に投資するための金融資金を表示するものと解釈し、収入を能力の適切な指標として採用している。しかし、GDRアプローチは、前述した発展しきい値に関してこれら指標の両方を分析する他の提案されている気候フレームワークとは異なる。より具体的に言うと、能力を発展しきい値以上の収入と定義し、責任を発展しきい値以上の消費に対応した排出ガスとして定義している。

これら負担共有原則は、世界的気候体制下での各付属書 国の義務の明白な量的分析のための基本を供給する。国際気候体制の次段階において、先進国はUNFCCCに記されている「気候変動およびそれが原因の悪影響との戦いにおいて先導する」という誓約を満たしているかどうかに関

²⁹ Greenhouse Development Rights フレームワークについては、Baer *et al.*, (2008)を参照のこと。資料は、www.GreenhouseDevelopmentRights.org で利用可能である。

³⁰ 注意：この収入レベルは購買力平価基準 (PPP) であり、従って市場の為替率に変換されれば、途上国通貨ではより低い収入レベルに変換される。発展しきい値の選択に関しての十分な説明は Baer *et al.* (2008)を参照のこと。

³¹ この分析のために、我々は 1750 年を累積排出ガス計算の開始年としている。これは最も包括的なデータベースが利用可能となった最初の年であり (<http://cdiac.ornl.gov> 参照) そして実質的に全ての化石燃料由来排出ガスが発生し始めた産業革命が十分に興っている年である。他の開始年の選択に関して議論が起こりうるであろうが、Annex1 国の間での責任割当を大きく変えるものではないだろう。

して慎重に判断されている。この次期間の間に先進国は貧困と炭素を基本とした成長を置き去ることができるという豊富な証拠を非付属書 国に供給するための十分な機会を持っているだろう。以下の表2は2020年までのEU27各国のGDRs分析結果を示している。RCIと表記している列は付属書 国全体に対するパーセンテージとして各国の責任と能力の平均である。このRCI指標に2020年に世界的に必要とされる緩和総量（およそ15GtCO₂e）を掛けると、各国の排出削減義務（Total Obligationと記した列の下に示される）をもたらす。総合的義務は絶対量（MtCO₂e）で示され、1990年排出量を下回り求められる削減量のパーセンテージの点で示されている（これは1990年と2020年の間で予想される各国のベースライン排出量変化、ある国ではポジティブであり他国ではネガティブである、を考慮に入れている）。EU27カ国全体として、2020年の総緩和義務は1990年レベルで103%の削減である。

このレベルの排出削減はもちろんEUの2020年目標として採用された20%削減目標と比較すると、または相応の国際合意下で提案されるある程度より意欲的な30%削減目標と比較しても、大幅なものであるように見える。明らかに、この規模の緩和義務は、一方で自国内削減の実行、他方で国際的に緩和への投資という2重の義務として理解された場合にのみ有意義である。

FoEにより立ち上げられたBig Askキャンペーンのような先進国における強力な自国内緩和と適切な国際的な支援のレベルとの両方への市民社会の支援を集めているイニシアチブの根底にあるものはこの論理である。ヨーロッパにおいて、そのキャンペーンはEUに2020年までに適切なレベルの国際支援と共に40%の域内排出削減を求めている。UNFCCCの元での先進国の義務と一致して、この支援は途上国の計測、報告、立証可能（MRV）な国家的に適切な緩和行動（NAMAs）に加えて気候変動の影響への適応支援への合意された完全な増加分コストをカバーする新規の追加的な公的資金、キャパシティビルディングや技術を交付することを意図している。このお金はODAとしてGNIの0.7%に達する現在あるEUの国々の誓約に追加的であると意図されている。

表2は”Domestic Reduction”列の下においてセクション3.5において示された緩和分析の最終結果を示しており、EUの全体的な40%目標と一致してEU各国での2020年までに達成される排出削減を示している。各国にとって、ベースラインと比較した削減量をMtCO₂eで示しており、また1990年レベルからの削減をパーセンテージで示している。

EUの40%目標に必要な自国内削減量（累積で1,713MtCO₂e）は、GDRs分析により示されたEUの総削減義務（4,685MtCO₂e）のわずか1/3にすぎず、大幅な追加努力を国際的緩和への資金や技術の形で要する。これは各国において同様に真実である（自国内削減のEUの40%目標への貢献がそれぞれの総義務を十分上回る大きさであるポーランドとルーマニアは興味深い例外である。従ってこの両国は国際的な資金義務がないだけでなく、残りのEU国から補償支援を得る資格も有するだろう）。表2はまた国際金融や技術支援を通して達成されなければならないであろう残りの緩和量である”International Obligation（国際的義務）”も、MtCO₂eで示している。

資金面において国際緩和義務の正確な規模を知ることは有益であるだろうが、削減費用についての不確実性が残る。表2は、それゆえに、2020年での2種類の想定される排出削減平均コストレ

ベル、1tCO₂eあたり50ユーロおよび150ユーロ、に換算し国際緩和義務の潜在的費用を表している。これらは、もし累積気候緩和費用が総世界生産のそれぞれ1%または3%であるとした場合の平均費用に対応した相応な境界である。最終結果は低い費用見積もりの場合に2020年において約1,500億ユーロであり、高い費用見積もりの場合は4,500億ユーロである。それらはEUの予測される2020年時GDPのそれぞれおよそ1.1%、3.3%である。

EUの総費用の大部分は15のオリジナル（そしてより裕福である）EUメンバー（EU15）により産み出されるものであることは注目に値する。EU15の国際義務はEU全体の総費用の95%以上

表2：2020年のGDRs分析結果

Country	RCI %	Total Obligation		Domestic Reduction		International Obligation			
		MtCO ₂	% below 1990	MtCO ₂	% below 1990	MtCO ₂	Additional % below 1990	Billion € (assuming €50/tCO ₂)	Billion € (assuming €100/tCO ₂)
Austria	0.6%	91	118%	30	17%	61	100%	3.0	6.1
Belgium	1.0%	140	110%	48	37%	92	73%	4.6	9.2
Bulgaria	0.2%	23	95%	11	83%	12	11%	0.6	1.2
Cyprus	0.0%	6	-24%	5	-50%	1	26%	0.1	0.1
Czech Republic	0.7%	108	82%	69	59%	39	23%	2.0	3.9
Denmark	0.6%	81	112%	37	51%	44	61%	2.2	4.4
Estonia	0.1%	12	105%	5	81%	7	24%	0.3	0.7
Finland	0.4%	63	106%	31	44%	32	61%	1.6	3.2
France	4.2%	616	136%	130	33%	486	104%	24.3	48.6
Germany	7.3%	1,078	116%	351	51%	727	65%	36.4	72.7
Greece	0.5%	81	57%	45	20%	36	36%	1.8	3.6
Hungary	0.3%	40	78%	16	50%	24	28%	1.2	2.4
Ireland	0.3%	48	48%	25	5%	23	43%	1.1	2.3
Italy	3.4%	493	107%	142	18%	351	89%	17.5	35.1
Latvia	0.0%	7	327%	3	243%	5	83%	0.2	0.5
Lithuania	0.1%	12	92%	6	76%	6	16%	0.3	0.6
Luxembourg	0.1%	12	36%	6	-33%	6	69%	0.3	0.6
Malta	0.0%	2	73%	1	-5%	1	78%	0.1	0.1
Netherlands	1.4%	199	90%	80	30%	120	60%	6.0	12.0
Poland	1.1%	159	44%	241	67%	-82	-23%	-4.1	-8.2
Portugal	0.3%	45	64%	14	13%	31	51%	1.5	3.1
Romania	0.2%	34	69%	37	71%	-3	-1%	-0.1	-0.3
Slovak Republic	0.2%	30	75%	21	61%	9	14%	0.5	0.9
Slovenia	0.1%	16	54%	15	49%	1	5%	0.0	0.1
Spain	1.9%	281	49%	116	-16%	165	65%	8.3	16.5
Sweden	0.8%	111	239%	25	33%	85	207%	4.3	8.5
United Kingdom	5.7%	835	132%	202	41%	633	90%	31.6	63.3
Total EU27	31.9%	4,685	103%	1,713	41%	2,972	62%	148.6	297.2

Results are shown as a "Total Obligation" in both MtCO₂e and as a percent reduction below 1990. The "Domestic Reduction" is taken from the results of the mitigation analysis presented in Sections 3–5. The "International Obligation" shows the additional mitigation, beyond the domestic reductions, that each country would have to undertake through international finance and technology cooperation to meet its "Total Obligation".

にのぼる。これは単にこれら国々の世界的気候変化を支援するためのより高い能力、責任や対応するより多くの義務割合を反映している。

また、たとえ必要な国際支援が費用の高い方、2020年4に、500億ユーロ、であるとしても、EUが負担可能なコストであることにも注目に値する。EU15の国々において、費用は平均で1人1日あたり3ユーロ以下であるだろう。EU12の国々では、1人あたりの平均費用は大幅に少なくなる。EUの政策決定の現状を考慮すると、全ヨーロッパに渡る40%削減に加えて世界GDPの1 – 3%間の国際緩和支援は今日では政治的に非現実的であるように見える。しかし、先進工業国においてこの規模での削減がなければ2度のしきい値を超えるだろうと科学は明らかにしている。そして途上国が気候負担の公平な割合以上に耐えることを、また先進国からの主要な支援なしに大幅な排出削減を選択するとは世界の貧困および低開発危機の現実からして考えられない。これらの教訓は、もしEUが次世代へ安全な地球を維持するという自身の誓約に敬意を払いたいののであれば、そして2度以下に温暖化を保ちたいのであれば、それは「政治的に実現可能」という定義を世界が直面している気候と開発の窮状の現実に合わせて再調整された場合にのみ起こるであろう、ということである。

(p.48)

7. 結論および提言

科学がたとえ2度の温暖化であっても我々の地球にとっては非常に危険であるだろうと明らかにしても、多くの人々はこのレベルの温暖化、またはさらに高いレベルの温暖化でさえ防ぐことが可能だろうという自信を急速に失っている。しかし気候の破滅的結末は避けることができる。そのようにすることは政治的リーダーシップと勇気ある政策指導力を要する。

本報告において、我々はいかに気候変動に対処するための負担を公正に分担するかをヨーロッパへ特定の計算と共に証明するための原則としてGDRsフレームワークを用いた。ヨーロッパは2020年までに1990年レベルで103%下回る総緩和義務、これはEUが2020年目標として採用したものよりも大幅に高い、があることを示した。明らかにこの数字は2重の義務として理解された時にのみ意味をなす。すなわち一方で自国内削減の実行、他方で国際的に緩和へ投資することである。我々の分析ではEUは1990年レベルで2020年までに40%、2050年までに少なくとも90%の域内での緩和が達成可能であることを示している。我々の計算はまたGDR分析に基づくEUの国際的な資金義務を満たす誓約に必要な資金は2020年において平均緩和費用幅により1,500億ユーロから4,500億ユーロの間、緩和シナリオで予測されている2020年のGDPのおよそ1.1%から3.3%、であるだろうと示している。そしてその圧倒的大半（95%以上）は比較的豊かであるEU15メンバーの責任となるだろう。

我々はまた上記で定めた自域内排出削減目標の達成を可能にする低炭素未来への移行にヨーロッパが着手できるかどうか、そしてどのように着手するのかについて検証している。そのような移行は国際カーボンオフセット計画を考慮しない一方で原子力施設の段階的廃止、そして化石燃

料ベースの発電へのCCSまたは交通輸送への食物燃料の利用に訴えなくても技術的に実行可能であると結論した。

しかしながら、この特定の緩和経路を唯一の支持として我々の報告を読むべきではない。この報告は科学が必要であると明らかにしている高い削減が過度の経済的痛みなしに実際に達成可能であることを示しているが、それはここで示したものより社会的、経済的そして政治的により好まれるものであるかもしれない他の道筋をたどっても等しく達成されるだろう。

どの道筋が選択されたとしても、ある一つの点は全く明らかである。すなわちそれは同時に起こらないということである。それには偉大で勇敢な政治的リーダーシップと普通は戦時中に見られる様な類いの主要な努力の結集を要する。

現在のEUの気候・エネルギー政策はそのような大幅な変化が政策において進んでいることを示している有望なシグナルを何も送っていない。それらはむしろ2度レトリックへの順応に失敗するか、また単純に「大望」である弱い目標により特徴づけられる。それは経済全体で主流化される全体に関わる気候対策の欠乏であり、EU域内での排出削減よりもむしろオフセットによる削減への依存であり、途上国の緩和や適応を可能とし支援するための公的資金や技術の欠乏である。つまり、我々を2度を超える温暖化の道筋へと確実にのせる政策の組み合わせである。

もしEUがこの傾向から転換し気候におけるリーダーシップの地位を負うならば、気候変動に取り組むインセンティブの導入は住宅から交通輸送、農業からエネルギー生成までの全てのEU政策決定において迅速に基本指針とならなければならない。EUは有意義な排出削減を迅速に達成することが可能な十分に調整された、本報告で議論、分析されたような対策からなる全体に関わる「気候保護フレームワーク」を採用する必要があるだろう。

そのようなフレームワークはメンバー国が国家レベルで経済の全ての部分において温室効果ガスを制御する強力な国家的気候法の導入を確実にすることができる。これら気候法は必要な速度で毎年排出ガスの減少を確実にするだろう。それは途上国が気候変動に取り組み、気候変動の結果に適応するための支援に必要な公平な資金分担の支払いを政府に義務化することによってより気候正義を達成するだろう。気候危機に対処するためにはEU域内および国際的に公平性の問題に対処することを求められるだろう。フレームワークは、従って、EU国間およびEU各国内間の両方で不平等に対処することを確実にするべきである。

近年気候危機に対応することへの関心が明らかに大きな波となっているが、我々は必要とされることをすることからはいまだほど遠い。さらには、この10年で世界排出ガスが下降し始めることを可能とするためには必要とされる動員はすぐさま始める必要がある。素早く、決定的な行動の失敗は実質的には2度を大きく上回る危険な温暖化を保証するものである。

2010年から2020年の間でのヨーロッパにおける自国内での流動化の初期費用はEU GDPの1 – 3%の幅であるだろう。加えて、途上国の緩和に必要な国際的支援費用は別個にEU GDPの1 – 3%であるだろう。これは決してわずかな金額ではないが、法外な費用でもない。事実、我々が直面

している喫緊の問題背景を考えるとわずかな費用であると考えられさえもする。この費用幅の上端でさえ、行動しない場合の費用よりもまだ少ない、おそらくずっと少ないものであるだろう。

この調査が示しているように、技術は開発される機会を待っている。そして経済コストは全く耐えられるものである。ヨーロッパが世界的に気候問題へのリーダーシップの地位を得ることを妨げているものは明らかに唯一政治的意思の欠落だけである。

8. 参考文献

- 1 Ackerman, F., Stanton, E.A., DeCanio, S.J., Goodstein, E., Howarth, R.B., Norgaard, R.B., Norman, C.S., Sheeran, K.A. (2009). The Economics of 350: The Benefits and Costs of Climate Stabilization. Economics for Equity and the Environment, Portland, Oregon. <http://tinyurl.com/ykbreng>
- 2 Amann, M., Isaksson, L.H., Winiwarter, W., Tohka, A., Wagner, F., Schöpp, W., et al. (2008). Emission Scenarios for non-CO2 Greenhouse Gases in the EU-27: Mitigation Potentials and Costs in 2020. International Institute for Applied Systems Analysis. Laxenburg, Austria. <http://tinyurl.com/yzslhdm>
- 3 Anderson, S.H., Metius, G.E., & McClelland, J.M. (2002). Future Green Steelmaking Technologies, Electric Furnace Conference, Iron and Steel Society. San Antonio, Texas, Nov. 10–13, 2002.
- 4 Ariyama, T., & Sato, M. (2006). Optimization of Ironmaking Process for Reducing CO2 Emissions in the Integrated Steel Works. ISIJ International, 46(12), 1736–1744.
- 5 Baer, P., Athanasiou, T., Kartha, S., Kemp-Benedict, E. (2008). The Greenhouse Development Rights Framework: The Right to Development in a Climate Constrained World. Revised Second Edition. Heinrich Böll Foundation, Christian Aid, EcoEquity and the Stockholm Environment Institute. ISBN: 978-3-927760-71-4 <http://tinyurl.com/yf585ou>
- 6 Baer, P., Mastrandrea, M. (2006). High Stakes: Designing Emissions Pathways to Reduce the Risk of Dangerous Climate Change. Institute for Public Policy Research. London, England. <http://www.ippr.org>
- 7 Biello, D. (2008). Cement from CO2: A Concrete Cure for Global Warming? Scientific American. <http://tinyurl.com/ygp4o82>
- 8 Chatterjee, A. (1993). Beyond the Blast Furnace. CRC Press. Boca Raton, Florida
- 9 Clark, J., & Deswarte, F. (Eds.). (2008). Introduction to Chemicals from Biomass. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- 10 Diener, E. and E.M. Suh (eds). (2000). Culture and Objective Well-being. Cambridge, MA and London: The MIT Press.
- 11 U.S. Energy Information Administration (2008). International Energy Outlook 2008. EIA/US Department of Energy, Washington DC, USA. <http://tinyurl.com/ygcwwmt>
- 12 European Community - Directorate General for Energy and Transport.(EC-DG TREN). (2008). European Energy and Transport: Trends to 2030, Update 2007. Brussels: EC-DG TREN. Brussels, Belgium. <http://tinyurl.com/yjetf4u>
- 13 European Environment Agency (EEA) (2006). How Much Bioenergy can Europe Produce Without Harming the Environment? EEA Report No 7/2006. EEA. Copenhagen, Denmark. ISSN 1725-9177. <http://tinyurl.com/zyyonsh>
- 14 European Commission/ENERDATA (2009).

- ODYSSEE Database. Energy Efficiency Indicators in Europe. Web Site. <http://tinyurl.com/yzhb4m7>
- 15 EEA (2009). Annual European Community greenhouse gas inventory 1990–2007 and inventory report 2009: Submission to the UNFCCC Secretariat. EEA. Copenhagen, Denmark. <http://tinyurl.com/yhjv7hs>
- 16 EEA (2009). Europe's Onshore and Offshore Wind Energy Potential: An Assessment of Environmental and Economic Constraints. EEA Technical Report. No 6/2009. EEA. Copenhagen, Denmark. ISSN 1725-2237. <http://tinyurl.com/yea9m53>
- 17 Eby, M., Zickfeld, K., Montenegro, A., Archer, D., Meissner, K.J., Weaver, A.J. (2009) Lifetime of Anthropogenic Climate Change: Time-Scales of CO₂ and Temperature Perturbations. School of Earth and Ocean Sciences, University of Victoria, Victoria, British Columbia. University of Chicago, Department of the Geophysical Sciences, Chicago. <http://tinyurl.com/yf3cnld>
- 18 ENR.com. (February 18, 2009). New Green-Concrete Process Combines Seawater, Flue Gas. Engineering News-Record. <http://tinyurl.com/bk6ra2>
- 19 European Commission, EUROSTAT. (2009). Panorama of Transport: 2009 Edition. ISSN 1831-3280. <http://tinyurl.com/ykks2bu>
- 20 Federcasa. (2006). Housing Statistics in the European Union 2005/2006: Italian Housing Federation and Ministry of Infrastructure of the Italian Republic. <http://tinyurl.com/yjpvoso>
- 21 German Aerospace Centre (DLR). (2006). Trans-Mediterranean Interconnection for Concentrating Solar Power. German Aerospace Centre. Stuttgart, Germany. <http://tinyurl.com/3yxrm5>
- 22 Global Wind Energy Council. (2008). Global Wind Energy Outlook 2008. Global Wind Energy Council. Brussels, Belgium. <http://tinyurl.com/ykftfsxr>
- 23 Greenpeace International and the European Renewable Energy Council (EREC). 2007. Global Energy [R]evolution: A Sustainable World Energy Outlook. Greenpeace and EREC. 212 Pages. <http://tinyurl.com/yz4gd4o>
- 24 Henderson, R.K., Jimenez-Gonzalez, C., Preston, C., Constable, D.J.C., & Woodley, J.M. (2008). EHS LCA assessment for 7-ACA synthesis: a Case Study for Comparing Biocatalytic Chemical Synthesis. *Industrial Biotechnology*, 4(2), 180–192.
- 25 Heaps, C. 2008. LEAP User Guide. Stockholm Environment Institute, Stockholm, Sweden. <http://tinyurl.com/yfsl9br>
- 26 Hirschler, B. (2009). Carbon-Eating “Green” Cement Wins Funds for UK Firm. Reuters News Agency Thu Aug 6, 2009. <http://tinyurl.com/ntvgfr>
- 27 Howells, M. (2009) IAEA Spreadsheet Estimating Costs and Performance of Electric Generating Technologies. Pers. Comm.
- 28 Hu, C., Chen, L., Zhang, C., Qi, Y., Yin, R. (2006). Emission Mitigation of CO₂ in Steel Industry: Current Status and Future Scenarios. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 13(6), 38–42, 52.
- 29 ICCA, & Responsible Care. (2009). Innovations for Greenhouse Gas Reductions: A Life Cycle Quantification of Carbon Abatement Solutions Enabled by the Chemical Industry: International Council of Chemical Associations and Responsible Care.
- 30 International Energy Agency (IEA). (2007). Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions. IEA, Paris, France. <http://tinyurl.com/mqed37>
- 31 IEA (2008a). Energy Technology Perspectives 2008: Scenarios & Strategies to 2050. IEA, Paris, France.
- 32 IEA (2008b). World Energy Balances 2008 Edition. CD ROM. IEA, Paris, France.
- 33 IEA (2008c). CO₂ Emissions from Fuel

- Combustion.
CD ROM. IEA, Paris, France.
- 34 IEA. (2008d). World Energy Outlook 2008. IEA, Paris, France. ISBN: 978-92-64-04560-6. <http://tinyurl.com/64pkhv>
- 35 IEA. (2009). Gadgets and Gigawatts: Policies for Energy Efficient Electronics. IEA, Paris, France.
- 36 Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). IPCC Fourth Assessment Report (AR4): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor M., Miller, H.L. (eds.). Cambridge University Press. 996 pp. <http://tinyurl.com/me6mb6>
- 37 Kahneman, D., E. Diener, and N. Schwarz (eds). 1999. Well-Being: The Foundations of Hedonic Psychology. New York: The Russell Sage Foundation.
- 38 Lankford, W.T., Jr., Samways, N.L., Craven, R.F., & McGannon, H.E. (Eds.). (1985). The Making, Shaping and Treating of Steel (10th ed.). Association of Iron and Steel Engineers. Warrendale, PA, USA.
- 39 Layard, R. (2003). Happiness: Has Social Science a Clue? Lecture 1: What is happiness? Are we getting happier? Lecture 2: Income and happiness: rethinking economic policy; Lecture 3: How can we make a happier society? London: London School of Economics – Lionel Robbins Memorial Lectures 2002/3. March.
- 40 Layard, R. 2005. Happiness: Lessons from a New Science. New York: The Penguin Press.
- 41 MacKay, D.J.C. (2009). Sustainable Energy – Without the Hot Air. UIT. Cambridge, England. <http://tinyurl.com/cclv36>
- 42 McKinsey & Company. (2009a). Pathways to a Low-Carbon Economy: Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve-Executive Summary. McKinsey & Company. New York, USA. <http://tinyurl.com/yhzzwao>
- 43 McKinsey & Company. (2009b). Roads Toward a Low-Carbon Future: Reducing CO2 Emissions From Passenger Vehicles in the Global Road Transportation System. McKinsey & Company. New York, USA.
- 44 Meinshausen, M., Meinshausen, N., Hare, W., Raper, S.C.B., Frieler, K., Knutti, R., Frame, D.J., Allen, M.R. (2009). Greenhouse-gas Emission Targets for Limiting Global Warming to 2C. Nature 458(7242): 1158
- 45 Midrex Technologies. (2008). 2008 World Direct Reduction Statistics: Midrex Technologies, Inc.
- 46 Nabuurs, G.J., O. Masera, et al. (2007). Forestry. Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave and L.A. Meyer. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- 47 Nilsson, M., Varnäs, A., Kehler Siebert, C., Nilsson, L.J., Nykvist, B. and Ericsson, K. (2009). A European Eco-Efficient Economy: Governing Climate, Energy and Competitiveness. SEI. Stockholm, Sweden. <http://tinyurl.com/yg72c82>
- 48 Olivier, J.G.J., & Peters, J.A.H.W. (2005). CO2 from Non-Energy Use of Fuels: A Global, Regional and National Perspective based on the IPCC Tier 1 approach. Resources, Conservation and Recycling, 45(3), 210–225.
- 49 Orth, A., Anastasijevic, N., & Eichberger, H. (2007). Low CO2 Emission Technologies for Iron and Steelmaking as well as Titania Slag Production. Minerals Engineering, 20(9), 854–861.
- 50 Ovando, P.A.C. (2009). Land Use and Carbon Mitigation in Europe: A Survey of the Potentials of Different Alternatives. Energy Policy 37: 992–1003.
- 51 Passive House Institute. (2009). Web Site. <http://tinyurl.com/aawoh7>
- 52 Pearce, F. (2002). Green Foundations: It's Time

- to Make the Concrete Jungle Emulate the Real Thing (New Cement Could Absorb Carbon Dioxide). *New Scientist*, 175.2351, 38–41.
<http://tinyurl.com/yla5nxs>
- 53 Reay, D. (2008). The role of process intensification in cutting greenhouse gas emissions. *Applied Thermal Engineering*, 28(16), 2011–2019.
- 54 Ribbenhed, M., Thorén, M., & Sternhufvud, C. (2008). CO₂ Emission Reduction Costs for Iron Ore-Based Steelmaking in Sweden. *Journal of Cleaner Production*, 16(1), 125–134.
- 55 Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., et al. (2009). A Safe Operating Space for Humanity. *Nature* Vol. 461. No. 24 September 2009.
- 56 Schreyer, M., Mez, L., Jacobs, D. (2008). ERENE. European Community for Renewable Energy: A Feasibility Study. Heinrich Böll Foundation.
<http://tinyurl.com/ylff22o>
- 57 Solomon, S., Plattner, G., Knutti, R., Friedlingstein, P. (2009). Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the National Academy of Science*, 106, 1704–1709.
<http://tinyurl.com/kuvpqz>
- 58 Stern, N. (2006). The Stern Review: The Economics of Climate Change. London, HM Treasury.
<http://tinyurl.com/bfenxp>
- 59 Stehfest, E., Bouwman, L., van Vuuren, D., den Elzen, M., Eickhout, B., Kabat, P. (2009). Climate Benefits of Changing Diet. *Climatic Change*.
- 60 Strezov, V. (2006). Iron Ore Reduction Using Sawdust: Experimental Analysis and Kinetic Modelling. *Renewable Energy*, 31(12), 1892–1905.
- 61 United Nations. (2007). World Population Prospects 2006 Revision. UN. New York, USA.
<http://esa.un.org/unpp>
- 62 United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). (2008). INDSTAT 4 2008 ISIC Rev. 3. CD ROM. UNIDO, Vienna, Austria.
- 63 U.S. Environmental Protection Agency (2006). Global Mitigation of Non-CO₂ Greenhouse Gases. (6207J) EPA 430-R-06-005
<http://tinyurl.com/yjgsjtw>
- 64 Vattenfall Corp. (2007). Global Mapping of Greenhouse Gas Abatement Opportunities up to 2030: Buildings Sector Deep-dive.
- 65 Wang, C., Larsson, M., Ryman, C., Grip, C.E., Wikström J.-O., Johnsson, A. (2008). A Model on CO₂ Emission Reduction in Integrated Steelmaking by Optimization Methods. *International Journal of Energy Research*, 32(12), 1092–1106.
- 66 World Bank. (2008). World Development Indicators 2008. CD ROM. World Bank, Washington DC, USA.
- 67 World Steel Association. (2008). World Steel in Figures 2008 (2nd ed.). Brussels: World Steel Association. <http://tinyurl.com/yh7e764> (2009 ed.)
- 68 World Wide Fund for Nature (WWF). (2009). Low Carbon Jobs for Europe: Current Opportunities and Future Prospects. <http://tinyurl.com/nu6nbd>
- 69 Wiedmann, T. (2008). Identifying Climate Change Impacts of Global Imports. SEI Report to UK DEFRA.
- 70 Worrell, E., Martin, N., Price, L. (1999). Energy Efficiency and Carbon Dioxide Emissions Reduction Opportunities in the U.S. Iron and Steel Industry (No. LBNL-41724). Berkeley, California: Lawrence Berkeley National Laboratory.
<http://tinyurl.com/yk9sygd>
- 71 Zimmer, W., Schmied, M. (2008). Potentials for a Modal Shift from Road to Rail to Ship: A Methodological Approach. ETC/ACC Technical Paper No. 2008/18. <http://tinyurl.com/yhleyp9>

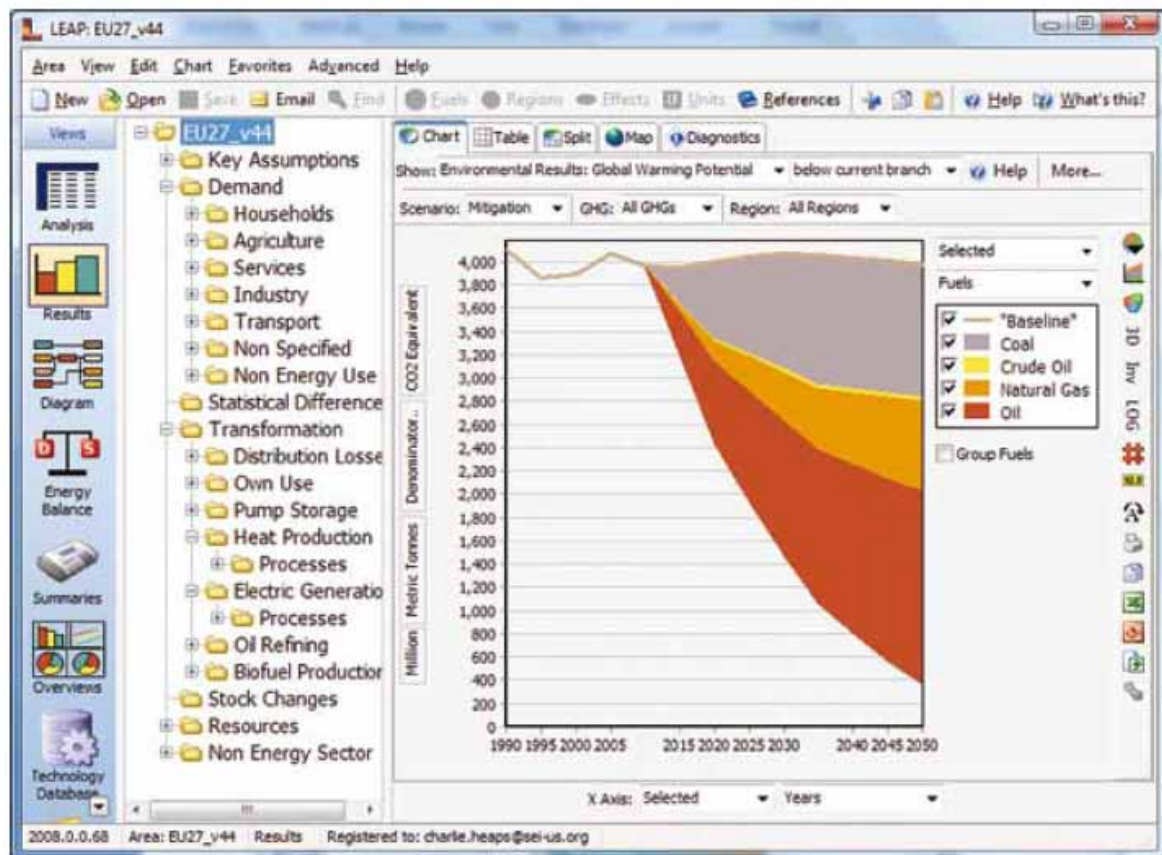
9. 付属

9.1. SEI の LEAP エネルギーモデリングシステム

本研究で描かれるシナリオは SEI の LEAP エネルギーモデリングシステム (Heaps, 2008) を使用して導き出されている。この LEAP モデルは、本研究のベースラインシナリオおよび緩和シナリオにおけるエネルギー消費・生産や温室効果ガス排出、コストと便益との分析を行ううえでの主な枠組みとして使用した。この LEAP データセットには、EU27 カ国の詳細な情報を含み、各国ごとや EU 全体での分析結果を示すことができる。

LEAP に関してさらに詳しい情報は、www.energycommunity.org を参照いただきたい。LEAP と LEAP データセットは、同ウェブサイトからダウンロードできる。

図 32 : LEAP : Long-range Energy Alternatives Planning system



9.2. シナリオデータ一覧

Indicator	Historical			Baseline		Mitigation	
	1990	2000	2010	2020	2050	2020	2050
Population(Mill)	471	482	495	498	480	498	480
GDP (Trill 2005 PPP Euros)	8	10	12	14	22	14	19
Avg. Income (Thou 2005 PPP Euros)	17	21	24	28	47	27	40
Final Energy by Sector (Thou PJ/yr)							
Households	11	12	13	13	13	11	5
Agriculture	1	1	1	1	1	1	0
Services	5	5	6	6	6	5	3
Industry	14	13	13	12	11	10	5
Transport	13	16	18	20	21	14	4
Non Specified	1	1	1	1	1	1	0
Non Energy Use	4	5	5	5	5	5	4
Total	49	52	56	57	58	46	22
Final Energy by Fuel (Thou PJ/yr)							
Biomass	2	2	2	2	3	2	1
Electricity	8	9	11	12	14	12	10
Heat	2	2	2	2	2	2	2
Natural Gas	10	11	12	11	10	10	2
Oil Products	23	26	28	28	28	19	6
Renewables	–	–	–	0	0	1	1
Solid Fuels	5	2	2	2	1	1	–
Total	49	52	56	57	58	46	22

Indicator	Historical			Baseline		Mitigation	
	1990	2000	2010	2020	2050	2020	2050
Electric Generation Capacity (GW) not including CHP							
Biomass	3	7	15	15	15	12	9
Coal	165	151	164	185	246	103	0
Geothermal	1	1	1	1	1	8	17
Hydro	108	108	111	114	115	114	115
Natural Gas	17	55	88	100	145	67	0
Nuclear	133	134	125	111	114	106	0
Oil	83	68	46	46	46	30	0
Solar PV	0	0	4	7	11	27	55
Solar Thermal EU	0	0	0	0	0	32	73
Solar Thermal Imports	0	0	0	0	0	0	121
Wave and Tidal	0	0	0	1	2	10	21
Wind Offshore	0	0	2	9	37	101	270
Wind Onshore	13	13	70	110	133	241	47
Wind Onshore w Storage	0	0	0	0	0	0	484
Total	523	537	626	699	865	851	1212
Electric Generation (TWh/yr)							
Biomass	9	25	45	46	45	38	26
CHP Plants	387	457	599	630	611	497	346
Coal	790	730	698	799	1,039	457	-
Geothermal	3	5	6	6	7	35	69
Hydro	286	360	381	398	413	419	399
Natural Gas	102	314	437	509	716	347	-
Nuclear	778	938	901	791	824	651	-
Oil	179	147	87	87	90	60	-
Solar PV	-	-	7	13	22	53	104
Solar Thermal EU	-	-	-	-	-	65	139
Solar Thermal Imports	-	-	-	-	-	-	228
Wave and Tidal	1	1	0	2	4	22	47
Wind Offshore	-	-	6	25	93	285	700
Wind Onshore	1	24	128	203	250	487	85
Wind Onshore w Storage	-	-	-	-	-	-	904
Total	2,536	3,001	3,295	3,508	4,114	3,417	3,047

Indicator	Historical			Baseline		Mitigation	
	1990	2000	2010	2020	2050	2020	2050
Primary Energy (Thou PJ/yr)							
Biomass	2	3	5	6	7	7	5
Coal	18	12	11	12	12	5	–
Geothermal	–	–	–	–	–	0	0
Hydro	1	1	1	1	2	2	1
Natural Gas	12	16	18	18	18	15	4
Nuclear	9	10	10	9	9	7	–
Oil	27	30	30	30	30	20	6
Other fuels	0	–	1	1	1	1	0
Solar	–	–	0	0	0	1	2
Wave and Tidal	–	–	–	–	–	0	0
Wind	–	0	1	1	1	3	6
Total	69	73	77	78	79	60	25
GHG Emissions (MtCO₂e)							
Energy Demand	2404	2393	2469	2440	2288	1650	259
Households	525	487	484	450	369	332	4
Industry	657	526	458	416	310	294	77
Services	198	152	170	159	114	67	0
Transport	915	1136	1273	1335	1441	902	159
Other	109	92	85	80	53	54	18
Energy Transformation	1712	1519	1512	1580	1718	789	108
Electric Generation	1147	1084	1022	1064	1221	649	97
Heat Production/CHP	523	390	444	471	453	111	7
Oil Refining/Other	42	46	45	45	44	28	4
Non-Energy Sector	670	437	415	502	506	370	183
Cement Process Emissions	119	116	124	139	179	122	75
Other Industrial Processes	127	65	58	43	17	43	17
Agriculture	579	491	482	462	408	363	213
Land Use Change and Forestry	-330	-371	-357	-234	-153	-234	-153
Waste	176	136	109	91	55	77	30
Total	4786	4349	4396	4521	4511	2808	549
% Reduction vs. 1990	0%	9%	8%	6%	6%	41%	89%

Indicator	Historical			Baseline		Mitigation	
	1990	2000	2010	2020	2050	2020	2050
GHG Emissions (MtCO₂e)							
Austria	61	65	74	80	78	50	5
Belgium	126	136	121	127	137	79	20
Bulgaria	104	36	29	29	15	17	-1
Cyprus	5	9	11	13	15	8	3
Czech Republic	169	122	124	138	133	69	17
Denmark	72	69	73	72	73	35	9
Estonia	29	9	8	11	11	5	-1
Finland	52	40	53	60	68	29	-1
France	468	475	449	446	440	315	76
Germany	1117	930	894	902	897	551	84
Greece	99	117	120	123	122	79	18
Hungary	87	69	62	60	55	44	12
Ireland	54	68	74	76	83	51	13
Italy	396	419	473	467	493	324	58
Latvia	5	-14	-13	-5	-1	-8	-8
Lithuania	40	11	14	15	13	9	2
Luxembourg	9	11	17	18	19	13	2
Malta	1	1	2	3	2	1	0
Netherlands	198	216	215	218	239	139	30
Poland	356	265	317	359	304	118	34
Portugal	60	81	72	67	60	52	12
Romania	201	85	80	96	73	59	12
Slovak Republic	66	37	39	47	39	26	8
Slovenia	16	16	16	24	25	8	2
Spain	253	355	405	411	438	295	71
Sweden	41	49	45	53	64	28	3
United Kingdom	700	670	621	613	614	411	69
Total	4786	4349	4396	4521	4511	2808	549



www.foejapan.org

FoE Japan は、世界 77 カ国に 200 万人のサポーターを有する環境団体のネットワーク Friends of the Earth International の日本のメンバー団体として、1980 年から活動しています。

気候変動、森林生態系、開発金融、廃棄物などの分野で、国際ネットワークを活かしたグローバルな課題に取り組むとともに、国内で政策提言活動や市民キャンペーンを展開しています。



「気候変動対策におけるヨーロッパの責任—地球を救うための域内対策と国際的義務」
Europe's Share of the Climate Change- Domestic Actions and International
Obligations to Protect the Planet

原文発行： 2009 年 11 月 ストックホルム環境研究所 (Stockholm Environmental Institut)
翻訳： 2010 年 3 月 FoE Japan 気候変動政策チーム 翻訳協力：野瀬 大樹

国際環境 NGO FoE Japan

〒171-0014 東京都豊島区池袋 3-30-8

TEL 03-6907-7217 FAX 03-6907-7219 URL www.foejapan.org