

温室効果ガス削減に向けた新たな視点

化学産業が可能にする低炭素化対策の定量的ライフサイクル評価



INTERNATIONAL
COUNCIL OF
CHEMICAL
ASSOCIATIONS



2009年7月

国際化学工業協会協議会 (ICCA)

監訳： 社団法人 日本化学工業協会

目次

はじめに	4
評価意見書	6
エグゼクティブ・サマリー	9
序論	15
第 1 章：世界経済の低炭素化への化学産業の貢献を評価するための強固で透明性の高い手法	17
世界的背景	17
研究の目的と方法	19
結果の精度	22
第 2 章：現在の影響－化学産業の現在の排出量および化学産業が可能にしている排出量削減	24
化学産業に関連づけられる現在の CO ₂ e 排出量	24
化学産業が可能にする排出量削減	24
最も大きな排出量削減につながる製品用途	30
感度分析	38
第 3 章：今後の可能性－マッキンゼー社による 2 つの 2030 年シナリオと化学製品が低炭素化に果たしうる役割	39
現状努力継続（BAU）シナリオ	39
最大削減努力（Abatement）シナリオ	41
更なる削減への貢献が見込まれる新たな技術革新	45
第 4 章：政策的な含意：化学産業の削減ポテンシャルの最適化	47
信頼できる安定した規制枠組みの重要性：例	49
化学産業内にある排出量削減能力を解放する規制	50
結論	51
用語解説	53
参考資料	53
付録 I – cLCA 結果要約	56
付録 II – 化学産業に関連づけられる GHG 排出量	97
付録 III – 化学産業の GHG 削減コスト曲線	99
付録 IV – コスト曲線の方法論解説	102

温室効果ガス削減に向けた新たな視点

化学産業が可能にする低炭素化対策の定量的ライフサイクル評価

2009年7月

はじめに

化学産業は世界で最も大きな産業のひとつである。その売上高合計は 2008 年には 3 兆ドル以上にのぼっている。化学の製品と技術は世界経済のほぼあらゆる領域で利用されている。世界経済が成長するにつれて、化学産業の生み出す各種製品に対する需要も拡大している。この成長は製品の革新をも促すことから、生産プロセスの改善と資源のより効率的な利用に努める一方で、化学産業は新たな製品を毎年創り出している。

温室効果ガス（Greenhouse gases、GHGs）排出に対して化学製品は二重の効果を持っている。化学製品を製造する過程では GHG が排出されるが、同時に一方で、これらの製品の多くはその使用によって世界の排出量の大幅な削減を可能とする。それは、これらの製品の利用によって可能となる排出削減の量が、その製造過程で排出される GHG の量をはるかに超えるからである。この報告書で後述するように、この効果を最もよく示す事例が断熱材である。建物に高性能の発泡断熱材を使うことで、必要とされる暖房は大幅に減少し、そのことによってエネルギー消費量と GHG 排出量が減少する。

国際化学工業協会協議会（ICCA） は全世界の化学産業を代表する団体である。ICCA は、その様々な率先活動の中でも特に、化学産業が健康・安全・環境面の活動の全てにおいて継続的改善に積極的に取り組むための自主プログラムであるレスポンシブルケア（Responsible Care®）の推進・調整を行っている。また、ICCA はその活動と実績の公表にも積極的に取り組んでいる。

レスポンシブルケアに即して、化学産業は地球温暖化緩和への努力に貢献する責任を十分に認識している。この点についての化学産業の目標は、その製造工程の改善によって業界自体の排出量を削減すると共に、バリューチェーンに沿って正味の排出量削減を実現する化学製品の利用を促進することである。

ICCA はこれらの目標達成に向けた一歩として、また、GHG 排出量削減における化学産業の役割に関する透明性を示す手段として、この報告書の作成を委託した。本報告書の目的は信頼性の高い、独立した第三者機関による検証を受けた事実と分析結果を提供することであり、また、それに基づいて産業界と規制当局が排出量への化学製品の影響を向上させる意思決定ができるようにすることにある。本報告書では、化学産業が世界の GHG 排出量に与える影響を「ゆりかごから墓場まで」、つまり化学製品及びそれらが使われる各種用途のライフサイクルの全体にわたって分析を行っている。このような試みに率先して取り組んだのは、グローバルな産業の中でも化学産業が初めてである。

ICCA は、委託を受けて、方法論についての指導及び 2030 年シナリオのモデル作成を含め、

本報告書の諸分析に対しての独自の分析による貢献と全体的なプロジェクト管理を行った **マッキンゼー社 (McKinsey & Company)** に感謝したい。また、ICCA は、本報告書中の炭素ライフサイクル分析 (c LCA) に関する作業に関するクリティカル・レビューと c LCA 計算の精査を行ったドイツの **エコ・インスティテュート (Öko Institut)** にも感謝の意を表したい。更に、ICCA の共通認識を支持し、製品・用途についての必要情報の提供に関して積極的な役割を果たしてくれた多数の方々の知識と洞察なしには、この仕事は不可能であったろう。最後になるが、本報告書の第 4 章に示され、その他の箇所でも要約されている政策的な含意や提言はあくまでも ICCA のみの見解であることをお断りしておきたい。

欧州化学工業連盟 (Cefic)
会長
クリスチャン・ジュルカン

米国化学工業協会 (ACC)
会長
デヴィッド・ワイドマン

日本化学工業協会
会長
米倉 弘昌

評価意見書

エコ・インスティテュート（Öko Institut）は、国際化学工業協会協議会（ICCA）から、本プロジェクトに貢献しマッキンゼーを支援するよう依頼を受けた。エコ・インスティテュートの具体的役割は、炭素ライフサイクル分析（Carbon Life Cycle Analyses、c LCA）の諸計算についてクリティカル・レビューを行うことであった。今回のプロジェクトでこれらのc LCAは、選ばれた化学製品の全ライフサイクルに亘るCO_{2e}排出量と非化学製品の排出量とを対比して定量化し、両者の性能差に起因する使用段階での排出量の差を評価するために用いられている。これらの計算の結果は本報告書の中で総削減比（gross savings ratio）及び正味の排出削減量（net emission abatement）という二通りの方法で表されている。

ライフサイクルアセスメントに関する国際標準であるISO 14040:2006及び14044:2006は本プロジェクトで用いられた方法にそのまま適用することは出来ないが、クリティカル・レビューはこれらの標準の主要な指導原則に基づいている。即ち、評価のプロセスは次のことを保証する必要がある。

- c LCAを実施するに際して用いられた方法に科学的及び技術的な根拠があること、
- 用いられたデータが研究目的との関係で適切で妥当であること、
- 解釈が、特定された限界を反映していること、及び
- c LCAの文書化が透明で一貫性があること。

この見解に関しては、更に次の二つの事項を考慮に入れることが必要である。

- 一方で、一般論として次のことが当てはまる。即ち、クリティカル・レビューは、研究の委託者が選んだLCAに関しての目的、及びLCA結果の使い方については、その正しさも妥当性も検証することはできない。従って、報告書で導き出された結論や、表明された提言に対し同意を与えることは、評価におけるエコ・インスティテュートの役割ではない。
- 他方で、今回のICCAの研究には上記で述べたc LCAの作業の枠を超える二つの部分がある。即ち、報告書では将来展開について2つのシナリオが作成され（第3章を参照）、また政策含意が提示されている（第4章を参照）。これらの章に

おける計算及び結果は本評価意見書の対象とはなっていないし、また、必ずしもエコ・インスティテュートの見解を反映したものではない。

このクリティカル・レビューは、マッキンゼーと、個別事例研究の準備に密接に関わり、また評価対象となったいくつかの事例研究を実行した化学産業の各企業との緊密な協力の下に実施された。この点に関し、本件に関わった各当事者はエコ・インスティテュートを代表しての調査やコメントに対し適切に対処し、質問事項や追加情報の要請があれば常に対応してくれたことを強調しておきたい。要約して言えば、エコ・インスティテュートは、評価の根拠となった cLCA は方法的に最新の LCA の科学と技術に即しており、また、その根拠として用いられたデータは事例で示された用途に照らして適切なものであるとの結論に達した。なお、製品カーボンフットプリント (Product Carbon Footprint, PCF) の計算についての国際標準はまだ存在していないこと、従って、そのような標準が出来次第、ここで得られた諸結果も改めて精査を受ける必要があることは付言しておきたい。本報告書の付録は、この評価の根拠となったデータと重要な前提について適切な要約を提供している。ただ、使用期間の情報に関しては、もっと良い文書化ができたのではないかと考えられる。全体的な結果を視野に入れての、関連する個別 cLCA についての適正な評価については、そのより詳細な内容は ICCA のウェブサイトに掲載されることになっている。

従って、以下のコメントは、レビューの過程で見出された、本研究の結果を評価し、結論と提言を導くに当たって考慮すべき制約事項に焦点を合わせて進めることとする。

“肥料及び作物保護”のシナリオ事例では、耕作地の生産性の問題が、異なる耕作方法に従って変化する、腐植土の炭素保持容量として集中的に議論されている。エコ・インスティテュートの視点から見ると、関係する方法・データ上の問題は本プロジェクトの枠組みの中では徹底的に回答することは出来ず、従って、シナリオ事例との関係で言えば、結果はとりわけ議論の余地がある。エコ・インスティテュートは、本報告書の中でこのような制約が発見され、また言及されていることを評価すると共に、科学に基づいた知識の現状、方法論的不確実性及び経験的証拠の欠如に鑑み、このシナリオを定量的に分離したことを支持する。

化学製品が仲介する CO_{2e} 排出節減量をバリューチェーン中のどの産業セクター又はどのプレイヤーに帰するかという問題は、本報告書では可能化の原則 (enabling principle) に基づいて答えられている。しかしながら、我々の観点から見ると、気候保護にとり重要な多数の製品のライフサイクルは多くの産業セクターと消費者を横断しており、しかも付随する様々な政治的条件に依存することから、個別プレイヤーに製品の削減ポテンシャルの特定シェアを帰属させることには問題がある。

従って、各個別プレイヤーの貢献を正確かつ合理的に互いから分離することは困難である。しかしながら、それにもかかわらず、どんな場合にも当てはまる一つの基本的原則があり、エコ・インスティテュートもその原則を堅持している。それは、製品の環境に関する便益は究極的には価格（例えば、断熱材の価格）に内在化されるという原則である。従って、特にもしその原則を超えて金銭的な含意を導き出すのであれば、経済学的な市場システムの中では、生産者が専有的に環境に関する便益の帰属を主張することは許されない（これについては、本報告書の21ページを参照されたい）。最終的には、製品を購入して、その所有者となる消費者だけがその環境に関する便益を自らのものと主張できる。そのような消費者はまた、使用フェーズにおけるCO₂e排出の節減についても、その購入価格を以って支払いを行ったと自ら主張することが許される。可能化の原則に従って、化学企業がこの節減量を自らのものだと同時に主張をする限りにおいて、そのことから二重計算が生じるだろう。このような理由から、化学産業はそれが可能にする節減量に関して、何ら直接的な金銭的主張をしていないということを本報告書は明確に述べている。

例えば断熱材の場合では50年間というように、いくつかの事例では長期間に亘ってCO₂eの排出節減が実現される。しかし、この期間中にはCO₂e排出節減について比較対象となるもの（ここでは、特に上流のエネルギーも含めた建物の暖房などが該当する）も技術変化を受けてエネルギー効率の向上が生じるため、時間の変化に伴い断熱材によるCO₂e排出の節減量は減少するという結果が生じるであろう。このような背景に照らしてみれば、そういったシナリオ事例での結果は、大きく変動する余地があることを認識する必要がある。しかしながら、本報告書の最も重要な10のシナリオ事例の節減ポテンシャルについては、それによって結果の傾向の信頼性が損なわれることはない。

エコ・インスティテュートは、手元にあるこのICCA報告書が、化学産業の製造する重要な製品群のCO₂e排出削減ポテンシャルへの貢献を可能な限り定量化し明確化する最初の取り組みであると認識している。エコ・インスティテュートは、これによって化学産業の気候保護問題へのかかわりの重要性が更によく認められること、また、この仕事が社会の全ての方面から正当に評価されて、これらの貢献を増大させる選択肢の実現に結びつくであろうことを十分に理解している。エコ・インスティテュートは、この報告書が近い将来アップデートされて、今回の仕事に関しての今後の議論の結果と製品カーボンフットプリント評価に関しての秩序立った新知見が説明されると共に、そこから得られた結果が検証されることを推奨する。それに加え、更なる分析では、特定のLCAの結果からグローバルなレベルへの外挿を行う際に生じる可能性のある制約に焦点が当てられるべきと考える。

エグゼクティブ・サマリー

国連気候変動枠組み条約（UNFCCC）に基づき、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は科学文献を検討し、大気中の CO₂ 濃度の上昇を遅らせるためには、温室効果ガス排出量の大幅な削減が必要であると結論した。IPCC による分析は、必要な規模での排出量削減を達成するためには、削減に利用可能なあらゆる対策案を実行に移し、世界経済の速やかな「低炭素化」を進める必要があるという点を強調している。しかし、殆どの場合において、効果的な政策と規制がなければ、必要な行動変化が十分な規模で起きる可能性は少ない。化学産業に関連する可能な選択肢と対策案の効果に関して信頼できる事実を政策立案者に提供することが重要なのは、このためである。

この研究では、幅広い文献データと独立した第三者機関の監査を受けた独自の調査を元に、先ず 2005 年の排出量に対する化学産業の影響の算定を行った。次いで、マッキンゼー社が 2030 年への 2 つのシナリオ、即ち、「現状努力継続（BAU）シナリオ」とその代替案である「最大削減努力（Abatement）シナリオ」で、この影響がどのように変化するかを評価した。どちらの将来予想もマッキンゼー社によるモデル化とグローバル GHG 削減コスト曲線の研究に基づいている。

1. 世界経済の低炭素化への化学産業の貢献を評価するための強固で透明性の高い手法

この研究では、化学産業に関連づけられる温室効果ガスの排出量を求めるために、原料・燃料の採取から生産、廃棄に至るまでの、全ライフサイクルに亘る CO₂e（温室効果ガスの二酸化炭素等価量）排出量の分析を行った。

更に、化学製品が経済全体の炭素効率の向上に対して与える影響を評価するため、100 以上の化学製品利用事例について「CO₂e ライフサイクル分析」（c LCA）¹ を行った。これらの c LCA は産業の主要部門に亘っており、化学製品に関連付けられる CO₂e 排出削減の代表的部分を網羅している。そこでは化学産業の生産に関わる全ての排出量が考慮されているのに対して、化学製品の使用による排出量削減はその主要部分だけが取り上げられている。このため、更に詳細な c LCA を実施すれば、排出量削減は本研究で報告した以上の大きさとなりうるだろう。

c LCA では、採取、生産、使用、廃棄の全段階を通じて、特定用途における化学製品の CO₂e 排出量を、現在のライフスタイルが維持できる化学産業以外の次善の代替策と比較した。ここでは簡単にするために、化学産業によって生産される製品を定義するのに、化学製品という用語を使うこととする。

¹ CO₂e ライフサイクル分析：二酸化炭素等価（CO₂e）排出量のみを焦点を当てたライフサイクル評価

この報告書は化学産業が炭素排出量に与える影響を表すため2種類の評価指標を採用した。最初の**総削減比率（または X : 1）**は、化学製品の使用により節減される CO₂e 量を、その製品の全ライフサイクルの間に排出される CO₂e 量を基準として表した値である。2番目の評価指標は**正味の排出削減量**で、化学製品の使用により実現した CO₂e 総削減量と、製品の生産と廃棄処分の際に排出された CO₂e 量の差を表す。また、報告書全体を通じて、CO₂e ライフサイクル分析を指すために c LCA という用語を用いる。

CO₂e の削減量を配分するに当たっては2つの原則のいずれかを適用した。ほとんどの事例では化学産業の製品が GHG 削減を可能にする役割（enabling role）を果たすか、または GHG を削減する構成要素を提供しており、本報告書ではその場合には CO₂e 削減量の 100 パーセントを化学産業に帰するものとした。化学産業の製品の使用が CO₂e 排出量の改善に一部寄与するのみであった3つの事例では、最終製品のコスト全体に占める化学製品のコストの割合に基づいて削減量を化学産業に帰するものとした。本報告書の著者は、このアプローチを採用すれば、当該削減手段の可能化に寄与する他の関係者も同じアプローチを採用することができ、その結果として削減効果の重複計算につながりうることを認める。これらのことについての根拠は方法論に関するセクションで説明を行う。この排出削減量の配分方法は炭素市場内での CO₂e の会計原則とは異なっている。この報告書はこれらの GHG 削減量に関連して金銭的な主張をする意図は何らもっていない。

2. 現在の影響 — 化学産業の現在の排出量および化学産業が可能にしている排出量削減

化学産業はその生産現場における省エネルギー改善を継続的に進め、以下の例に示されるように、この点で過去数十年間に亘って GHG 排出量の大幅な削減を達成してきた。

- 1990年から2005年の間に、EUの化学産業の生産量は60パーセント増加したが、その間、合計のエネルギー消費量は変わっていない。つまり、化学産業は毎年3.6パーセントの割合でエネルギー原単位を引き下げてきた。一方で、GHG排出量の絶対値はほぼ30パーセント低下した。
- 日本の化学産業は2002年までにそのエネルギー原単位を1990会計年度レベルの90パーセントに削減した。これは目標よりも8年前倒しでの達成である。2006年には、更なる改善により、1990年レベルの82パーセントという実績を達成した。
- 1974年以来、米国の化学産業は生産単位あたりの燃料及び電力エネルギー消費量をほぼ半分に削減した。1990年以来、米業界のGHG排出量の絶対値は13パーセント低下し、京都議定書目標を上回る削減を達成した。
- ブラジル化学工業協会の会員は、2001年から2007年にかけて総生産量が30パーセント近く増加する間に、全体的なエネルギー原単位を25パーセント削減した。2007年現在、エネルギーの50パーセント以上は再生可能エネルギー源に由来している。CO₂総排出原単位は2001年から2007年の間に16パーセント低下した。

2005年において、化学産業に関連するCO₂eの排出量は約3.3 GtCO₂e +/- 25パーセントであった。この排出量の過半数である2.1 GtCO₂eは、化学産業に供給された原料・燃料からの化学製品の製造の結果である。

残りの排出量1.2 GtCO₂eは、本研究においてライフサイクルの考え方に従って採り入れた、原料及び燃料の採取段階と最終製品の廃棄処分段階で発生する排出量である。

総削減量は、評価の範囲と前提の置き方によって、6.9から8.5 GtCO₂eの値となる²。これは総削減比率では2.1:1から2.6:1となる。言い換えれば、**化学産業は、他の産業または利用者に提供する製品と技術を通じ、2005年に化学産業が排出した温室効果ガス1 GtCO₂eあたり2.1~2.6 GtCO₂eの削減を可能にした。**

前提の置き方と評価範囲により上下するが、2005年に、経済全体にわたり化学工業製品により可能となった正味のCO₂e排出削減量は、3.6~5.2 GtCO₂e +/- 30パーセントである。正味のCO₂e削減量とは、現在のライフスタイルに実質的な変化がないものと想定し、化学製品を使用した場合と使用しない場合とのGHG排出量の差を意味する。つまり、2005年の世界の総排出量46 GtCO₂eと比較した場合、**化学産業が存在しない世界では、2005年の排出量は3.6~5.2 GtCO₂e、即ち8~11パーセント増えていたことになる。**

現在の社会的ニーズと増加が続く世界の人口の影響を考慮に入れると、この削減量は化学産業が経済の低炭素化に果たす重要な役割を浮き彫りにするものである。現実的にも化学製品・技術の恩恵なしに同等のCO₂e削減量を達成することは不可能であろう。

化学産業が可能にする削減手段の内、評価を実施したところ最も排出削減量が大きかったものは以下の通りであった：

- 建築業界用の**断熱材**は、建物の熱損失を減らし、従って、暖房用燃料の使用量を減少させる。断熱材のみで、特定されたCO₂e総削減量の40パーセントを占めた。建築業界における更なる排出量削減が冷房用途でも予想されるが、本報告書ではこの項目は取り上げなかった。
- 農業では**化学肥料と作物保護手段**の使用により農作物の収穫高が増え、土地利用の変更による排出を回避できる。土地利用変更や収量、土壌の質の影響、異なる従来農法や有機農法プロセスにおけるCO₂固定化及び同化の様式には不確実性があるため、本研究ではこの事例を入れた場合と除いた場合の2種類の評価範囲を採用した。
- 先進的**照明ソリューション**：白熱灯よりも寿命が長く発光効率が高い電球型蛍光灯（CFL）は、相当の省エネルギーを達成する。
- 2005年時点で、これらに続き最も重要な7種類の削減手段は、**プラスチック包装材、船舶防汚塗料、化学繊維、自動車用プラスチック材料、低温合成洗剤、エンジン効率向上、プラスチック配管材料**であった。

² 後述するように、ここでの最小値は、それぞれ肥料の事例を除外した評価範囲を選んだ場合の値である。

3. 今後の可能性—マッキンゼー社による 2 つの 2030 年シナリオと化学製品が低炭素化に果たしうる役割

本研究で示す、マッキンゼー社が開発した現状努力継続（BAU : business-as-usual）シナリオは、主に量的な増加と、効率向上及び生産地域シフトについての諸前提で特徴づけられる。このシナリオでは、低炭素経済の発展を後押しするための新たな規制は想定していない。マッキンゼー社のグローバル GHG 削減コスト曲線のシナリオから導かれる最大削減努力（Abatement）シナリオでは、低炭素経済を実現するための諸対策の積極的な実施を想定する。

現状努力継続（BAU）シナリオのモデルでは、化学産業に関連するライフサイクル排出量がほぼ倍増する。この数値は本質的に現在の排出量から 6.6 GtCO_{2e} への倍増を意味し、エネルギー需要に関して石炭への依存性が比較的高い国での生産増により追加される 1.5 Gt は、BAU の場合の効率改善値として想定される~1.6 Gt で部分的に相殺される。このモデリングによる正味の結果として、2030 年に世界の化学産業に関連する排出量は、6.5 GtCO_{2e} +/- 35 パーセントと算定された。

想定と評価範囲により上下するが、BAU シナリオでは、この業界の総削減量比率は約 2.7 : 1 から 3.1 : 1 に改善される。BAU シナリオで化学工業製品の使用により可能な正味の削減量は倍以上に上昇し、11.3~13.8 GtCO_{2e} +/- 40 パーセントになる。

最大削減努力（Abatement）シナリオでは、マッキンゼーのモデルは、新たな世界的規制の導入により、使用電力の炭素排出原単位の削減を含め、産業界による生産工程での直接・間接の排出量削減が一層進むと想定する。このシナリオでは、化学産業の CO₂ 原単位は約 25 パーセント低下し、排出量は 5 GtCO_{2e} +/- 35 パーセントとなるであろう。これは生産量が倍以上に増加するにもかかわらず、排出量は現状より 50 パーセントしか増加しないということを意味する。ただし、これには重大な代償を伴う。この業界の典型的な割引率と回収期間を想定すると、最終的な増分による CO₂ 削減費用は約 50 ユーロ/t CO_{2e} から 150 ユーロ/t CO_{2e} に上昇する。従って、高い価格帯の炭素価格が世界的に広く容認されることが、このシナリオの実現のためには不可欠の要素のひとつとなる。

削減側については、このシナリオでは総削減量比率を 4.2 : 1 から 4.7 : 1、正味の排出削減量を約 16~18.5 GtCO_{2e} +/- 40 パーセントと予想している。このシナリオでは、断熱、高効率照明、リグノセルロース系（LC）エタノール、太陽光・風力エネルギー、炭素回収・貯留（CCS）の利用拡大も想定している。

上記 2 つのシナリオ間での化学産業の削減増分（業界内の排出削減量と製品を通じた削減量の両方から成る）は 4.7 GtCO_{2e} である。これは 2009 年 2 月にマッキンゼー社が発表した GHG 削減コスト曲線で特定された 38 GtCO_{2e} という削減機会の 12 パーセントに相当する。勿論この数字は化学セクター内の全ての削減機会が実現され、かつ本報告書で記述さ

れているような他セクターに跨った削減機会が全て実現されることを前提としたものである。しかし、これら2条件の実現という文脈内で、本研究は世界のGHG削減において化学産業が果たす重要な役割を強調している。

なお、現在業界内で開発中の数々の技術革新は、最大削減努力シナリオで予想される削減を超えて、化学産業の正味削減ポテンシャルを更に引き上げる可能性がある。また、絶対的な世界のGHG削減という長期的目標を達成するためには、化学産業が提供する技術的な削減手段に加えて、消費パターンの変化など、他の削減手段も必要とされるであろう。しかしながら、様々な消費パターンと連動するそのような行動変化は、本研究の対象とする範囲を超えている。

4. 政策的な含意：化学産業の削減ポテンシャルの最適化

この研究で確認した排出量削減ポテンシャルは、効果的な政策と規制なしには実現しない。低炭素経済に向けた政策立案にあたっては、指針となる以下の原則を考慮に入れることをICCAは提案する。

- GHG削減を加速し、市場の歪みを回避し、炭素リーケージ³を抑制するために、**炭素削減に関する世界的枠組み**を構築すること。
- 最初に、**最大の規模で、最大の効果を上げ、コストが最低の削減機会**に焦点を絞ること。
- 断熱などの省エネルギー製品・材料の使用に対する奨励策を提供することにより、**エネルギー効率の改善**に力を入れること。これは最も費用効率の高い形で最大のCO₂e削減を達成できる方法のひとつであるためである。
- 新しい触媒、新しい合成法、プロセス強化・統合、CHPの使用、炭素回収・貯留（CCS）など、エネルギー消費量を減らし、CO₂eを削減する**新たな技術**の開発を支援すること。数々の技術開発計画の進行を加速する必要がある、それには公共の支援と資金援助が必要とされる。これは研究・実証段階で最も重要である。技術の商品化が進むにつれ、資金援助を減らし、最終的には、市場が効果的に機能するよう、打ち切ることが望ましい。
- 前述のプロセス排出量削減技術の開発と併せ、化学物質の製造のために最も効率的で**利用可能な原料とエネルギーの持続的な使用**の発展を支援すること。
- 他に先駆けてCO₂eフットプリントを削減した**先駆者に報酬を与える**ことにより、市場が迅速な対策を優遇できるようにすること。

³ 炭素リーケージとは、生産フットプリントが高い無規制の地域に生産が移行すること、又は厳しい規制が加えられず、CO₂eフットプリントが高い製品で代用することである。

- **最も効率的で持続的な廃棄処分・回収・リサイクル**のオプションが導入されるよう、最新技術・実施策の発展を支援すること。
- 先進国と途上国の間で、削減技術の移転、共有、資金援助を行うための**技術協力メカニズム**を支援すること。
- 将来の炭素削減枠組みを補足するよう、前述の対策の導入を企画すること。地域にかかわらず、GHG 原単位の高い製品を可能な限り炭素効率の高い（生産バリューチェーン全体を考慮に入れる）ものにすることを目標として掲げる。この将来の炭素削減枠組みは、それが可能な限り費用対効果の高い形で行われるよう設計すること。
- 国際的な枠組みの開発を進める中で、各国の政策として、炭素負荷をその領域内でのみ適用することを避け、それによって市場の歪みや炭素リーケージなどの意図しない結果を回避すること。

序論

化学産業は競争の激しい、必要不可欠な産業部門である。同業界は約 700 万人を雇用し、年間売上高は 3 兆ドルを超える。それは革新性の高いハイテク業界であり、その製品は医療、農業、服飾、建設、輸送、レジャーなどの多彩な分野で生活改善における主要な役割を果たしている。

このような社会にとっての重要性に伴い、責任も生じる。二酸化炭素 (CO₂) その他の温室効果ガス (GHG) の排出量を削減することにより、地球温暖化を遅らせることは重要な課題であり、そのためには社会の生産・消費・規制・行動様式を変える必要がある。この急務を自覚し、ICAA は以下の 3 項目を目的に掲げ、温室効果ガス排出量に対する化学物質の影響に関する研究の実施を委託した。

1. 二酸化炭素換算 (CO₂e) 排出量に対する化学産業の現在の影響に関し、**実際のデータに基づく分析を行う**こと。これには、業界の生産フットプリント、その製品の使用による影響、廃棄処分による影響が含まれる。
2. 将来、炭素効率に対して化学産業が貢献できる可能性に関し、**マッキンゼーの 2030 年に関する方法を使い、実際のデータに基づく評価を行う**こと。その貢献は、業界自体の排出量の改善と、他の業界および消費者に業界が提供するソリューションの両方を通じて行うものとする。
3. 化学産業自体の改善の中で、また、その製品による削減の中で、費用と量の両面から排出量削減の最大のポテンシャルを持つものを提示することにより、**意思決定者に対して方向性を提供すること**。

原料を採取し、それを化学産業で製造される何千種類もの有用な製品に変えるには、エネルギーが必要である。このため、この業界の現在の排出量は、相当の規模に上る。業界自体の排出原単位を改善するために、業界は過去 15~20 年間に記録した改善を今後も継続し、さらにはそれを上回る成績を上げる必要がある。

その一方、化学産業は他の業界および経済界全体による排出量削減においても不可欠な役割を果たしている。多くの化学製品が、非化学製品よりも生産フットプリントが小さいという理由で、あるいはそれを使用することで、使用しない場合や非化学製品を使用した場合よりも排出量が低下するという理由で、GHG 削減を可能にする。例えば、化学製品を用いた建築用断熱材により、住宅・商業用建物の暖房に必要なエネルギーが大幅に減少する。

この研究では、こうした効果の数量化を試みる。

研究結果を要約したこの報告書は4章で構成される。

- **第1章**：世界経済の低炭素化への化学産業の貢献を評価するための強固で透明性の高い方法
- **第2章**：現在の影響－化学産業の現在の排出量および化学産業が可能にしている排出量削減
- **第3章**：今後の可能性－マッキンゼー社による2つの2030年シナリオと化学製品が低炭素化に果たしうる役割
- **第4章**：政策的な含意：化学産業の削減ポテンシャルの最適化

この研究では、地球温暖化の緩和に重点を置いたため、GHG排出量のみを取り上げた。これは Responsible Care®⁴の精神に従い、化学産業が積極的に取り組んでいる他の重要な健康・安全性・環境問題を軽視するものではない。例えば健康と安全性、環境への放出、生物多様性など、数々の問題があり、ICCAとその加盟協会の他の刊行物で、それらを広く取り上げている。

⁴ Responsible Care®は世界の化学産業による持続可能性との取り組みであり、業界の健康・安全性・環境パフォーマンスの改善に向けた他に例のない率先的試みである。Responsible Care®という倫理観は、化学企業が安全で収益性があり、将来の世代に配慮した事業経営を展開するために役立つ。

第 1 章：世界経済の低炭素化への化学産業の貢献を評価するための強固で透明性の高い方法

世界的背景

2009 年 12 月は、コペンハーゲンで開催される国連気候変動枠組条約（UNFCCC）の第 15 回締約国会議（COP15）において、人為的 GHG 排出量を削減するためのグローバルな取り決めについて世界の首脳が合意を目指し協議する重要な節目となる。ICCA は、これらの国際交渉を支持し、気候問題に対する持続可能な解決策を見出すことを支援するという会員の強い意志を表明してきた。本報告書はこのような決意のひとつの具体的な表れである。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）⁵によれば、現在の世界の GHG 排出量は地球の自然な CO₂ 吸収速度の 3 倍から 4 倍にのぼる。人為的な GHG 排出量は、京都議定書の基準年である 1990 年の 36 GtCO₂e から、2005 年には 46 GtCO₂e に増加した（WEF 2007）。最新の研究では、大がかりな世界的政策措置を実施しない限り、世界の人口増加と経済発展、及び富の増加の総合的効果によって、世界の排出量は過去と同様の速度で上昇し続ける（即ち、2030 年には約 70 GtCO₂e に達する）と予想されている。

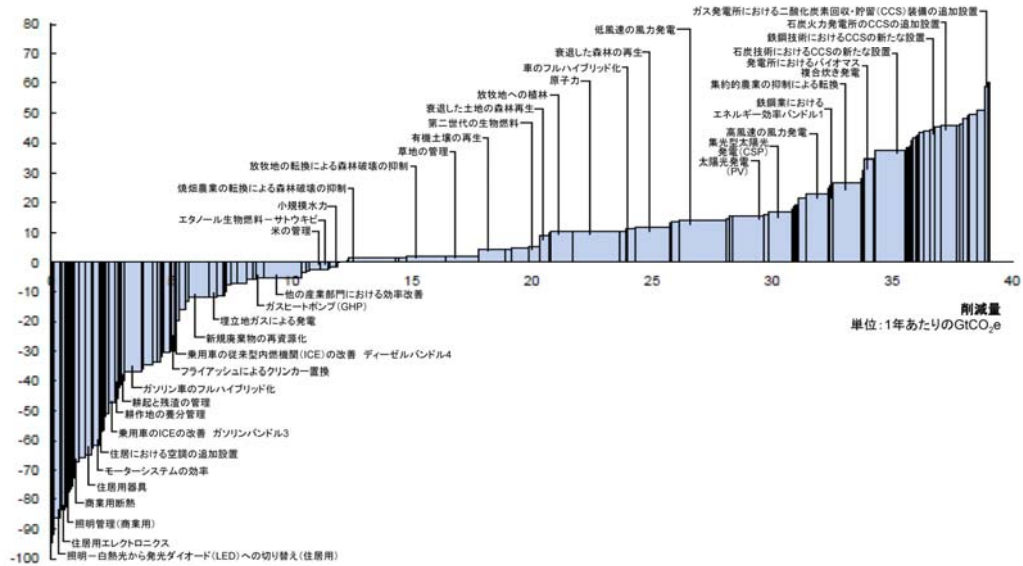
大気中の CO₂e 濃度を安定させるには、世界経済が急速に「低炭素化」する必要があり、それには社会の生産・消費・規制・行動様式的大幅な変化を伴う必要がある。ここでの課題は、世界経済にダメージを与えるのではなく、むしろそれを強化するような方法で、そうした変化を達成することである。排出量削減を達成するためにはどのような対策が最も効果的か、また、それらの対策の経済的費用（又は便益）はどの程度になるかを理解するために、数々の研究が実施されてきた。例えば、マッキンゼー社（McKinsey & Company）が開発した GHG 削減コスト曲線（図 1）は、排出量削減 1 tCO₂e 当たりの費用 60 ユーロ以下の技術的対策を、費用が最も低いものから最も高いものまで順に並べ、数量化したものである。

⁵ この研究では IPCC の示した数値を検証することは試みていない。

図 1

地球規模の GHG 削減コスト曲線

「GHG 排出削減シナリオ」(beyond BAU) による 2030 年までの地球規模での GHG 削減コスト曲線
1tCO₂e あたり 60 ユーロ以下の削減コスト



注: 本表は、tCO₂e あたり 60 ユーロ以下のあらゆる技術的 GHG 削減措置において、それぞれを積極的に追求した場合に実現できる最大ポテンシャルを推定したものであり、多様な削減措置や技術がどのような役割を果たすかを予測したものではありません。

出典: 地球の GHG 削減コスト曲線 第 2.0 版 McKinsey & Company

上のマッキンゼーのコスト曲線では、2030 年の「現状努力継続 (BAU)」での排出量 70 GtCO₂e に対して、38 GtCO₂e の削減ポテンシャルを特定している。費用は割引率と回収期間に関する社会的なパラメータのセットに基づく値である。本報告書では、2030 年の最大削減努力シナリオの基礎として、この削減曲線を使用する。

排出量削減という点で十分な進歩を遂げるためには、利用可能な削減レバーの大部分または全部に関し、対策を講じる必要がある。各国政府と世界の政策担当者は、この急務を認識している。一部ではすでに、経済の広範な低炭素化を触媒する規制と政策の導入が始まっているが、一貫した国際的枠組みはまだ確立されていない。講じる対策としては、排出量キャップ、エネルギー効率と温室効果ガス排出原単位の基準、補助金、炭素市場の構築などがある。

財界からはすでにかかなりの反応があり、再生可能エネルギー、クリーン・エネルギー等々への投資が行われ、過去数年にわたり二桁の年成長率を実現した。例えば、再生可能エネルギーへの投資額は 2007 年に 1,500 億ドルに達し、2004 年の 300 億ドルよりも 1,200 億ドル増加した (UNEP SEFI 2008)。その多くが政府の補助金で支援されている。

しかし、大規模な経済の脱炭素化を達成するには、大々的な技術革新と共に、上記よりも

はるかに多額の投資が必要である。ますます多くの削減機会を活かすには、規制と公共政策のさらなる著しい変化を必要とする。例えば、建物の断熱を通じ、白熱灯から CFL および LED 照明への切り替えを通じ、経済への正味のコストはマイナスの状態を維持しつつ、かなりの削減が可能である。しかし、優遇策や規制による介入がなければ、このような移行が十分な規模で起きる見込みは低い。重要な最新技術の一部では、十分な政策介入の必要性が一層明白である。例えば炭素回収・貯留（CCS）の発展のためには、政策による支援が必要になる。また、リグノセルロース系（LC）エタノールの開発と商品化は、規制と優遇策により多大な影響を受ける。

従って、世界を低炭素経済に移行させるという複雑な責務は、政策担当者の双肩に掛かっている。必要とされる影響力を持つ介入策を導入するためには、現在の事実と将来の影響および利用できそうな政策オプションとレバーによる成果の両方を徹底的に理解した上で、介入策を決定する必要がある。その必要性を満たすための貢献として、ICCAはこの研究を実施した。

化学企業は、多数の経済圏のエネルギー効率性向上と炭素排出原単位の低下を可能にする材料の主な供給者である。化学を利用した例としては、風力発電機用ブレード、太陽光発電パネル、断熱材、軽量自動車部品などがある。また、化学産業はエネルギーと気候に関する論議により多大な影響を受ける。それはこの業界の性質上、エネルギーを多用するためであり、化学産業は製品を作るための原材料として、また、施設に電力を供給するエネルギー源として、天然ガス、石炭、石油を使う。

研究の目的と方法

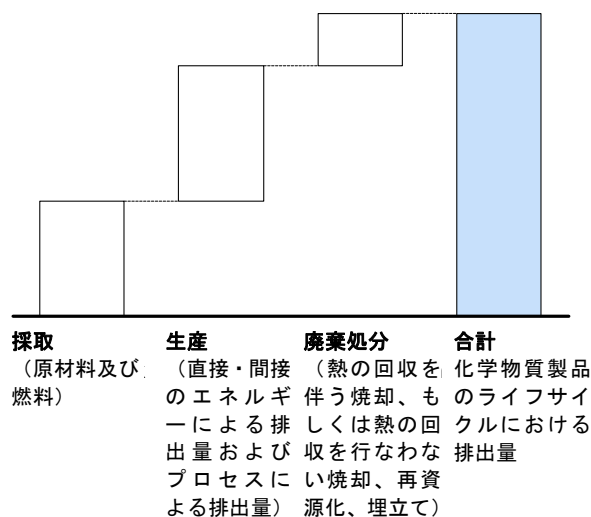
化学産業は業界が排出量に与える影響に関し、より高い世界的な透明性を心がけ、意思決定者に対し、信頼性の高い基本的事実を提供することを目指している。この報告書では、そうした透明性改善に向けた意味のある一步を意図している。ここでは幅広い既刊資料（参考資料のセクションに一覧を掲げた）を参考にだけでなく、この研究で実施した面接に加え、ICCA 会員企業が（または会員企業と共に）実施した独自の調査の結果も利用した。

このデータに基づき、完全なデータを入手できる直近の年である 2005 年の排出量に対する化学産業の影響を算出した。マッキンゼーは次に、2030 年までに 2 種類のシナリオにおいて、この影響がどのように変化するかを評価した。2 種類のシナリオは、「現状努力継続」シナリオと、低炭素経済を達成するための対策の積極的導入を想定した「最大削減努力」シナリオである。

これらの計算結果を導くために、原料と燃料の採取から生産、廃棄処分まで、化学産業と関連する GHG 排出量を分析した（図 2）。

図 2

化学物質のライフサイクル排出量は製品の全ライフサイクルを対象とする

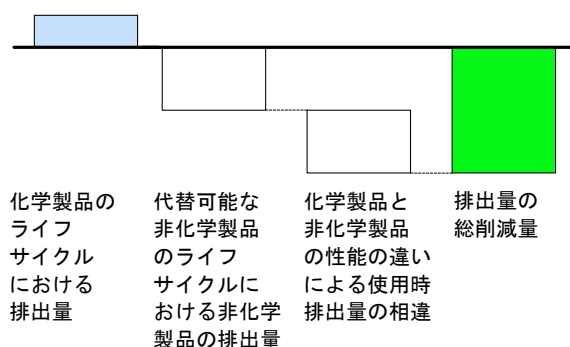


さらに、経済全体を通じ、炭素効率改善を可能にするという意味での化学物質の影響を評価するために、全産業部門を網羅し、約 100 種の化学製品用途に関する「CO₂e ライフサイクル分析」(cLCA) を実施した (図 3)。cLCA は新しい手法ではないが、わかりやすくするために、この報告書ではこれらの分析を短縮形で表すことにする。これは GHG 排出量のみを焦点を絞った手法であり、直接 ISO 14040 と ISO 14044 に従う方法ではない。cLCA では、採取、生産、使用、廃棄処分の段階を通じ、ある特定の用途における化学物質の CO₂e 排出量を、それに代わる非化学物質の排出量と比較した。

図 3

化学産業の製品の使用による削減量を算定するために評価された 100 を超える事例

化学工業製品の使用による CO₂e 排出量と、非化学工業製品を使用しないことによって回避できる CO₂e 排出量を比較するための計算スキーム



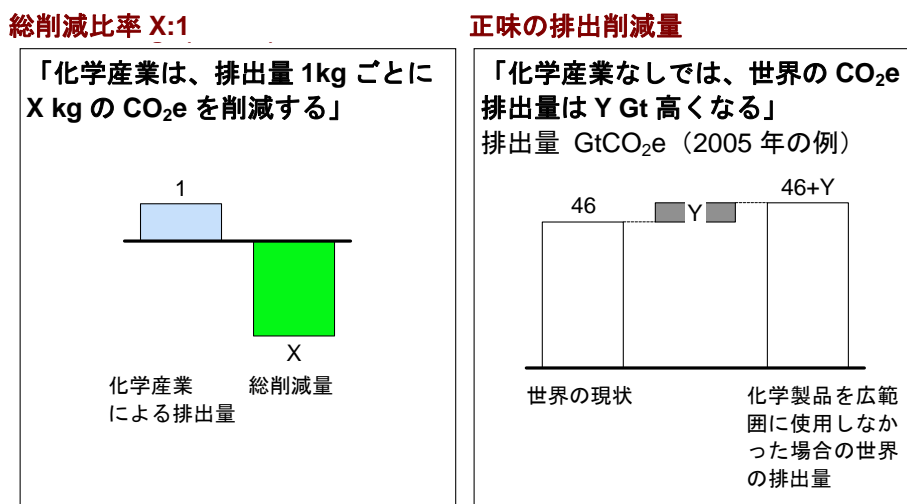
化学製品が特定 GHG 削減対策を可能にする役割を果たす場合は、CO₂e 削減量の 100 パーセントが化学産業による削減と計算した。ここで「可能にする」という言葉は、検討した製品が存在するためには、それに使われた化学製品が不可欠であったことを意味する。この定義に従い、同じ対策を可能するために寄与する業界が他にも存在する場合は、その業界にも同様のことを認め、排出削減量の 100 パーセントを割り当てる。その結果、検討する製品の GHG 削減量は重複計算されることになる。この研究で評価した 102 事例中 99 事例で、化学製品が「可能にする」役割を果たすと判定された。化学製品を使用することで、CO₂e 排出量が徐々に改善される場合は、削減量の一部のみを化学産業に割り当てた（その化学物質の寄与率に基づく）。その 3 事例は風力、地域暖房、炭素回収・貯留（CCS）である。どの事例でも、これらの削減量の割り当てでは、例えば CDM における CO₂e 会計法とは異なり、金銭的な主張は行わない。

この報告書では、炭素排出量に対する化学産業の影響を反映する 2 種類の評価指標を採用した（図 4）⁶。最初の総削減比率（X : 1）は、化学製品のライフサイクル全体を通じた市場の競合技術と同等の CO₂e 排出量を基準とし、その製品の使用を通じて削減された CO₂e 量を表す。2 番目の評価指標では、製品により達成される正味の排出削減量、すなわち化学製品の使用により実現する CO₂e 総削減量と、それ自体の生産と廃棄処分の間に排出される市場の競合技術と同等の CO₂e 排出量の差である。

⁶ この方法は BASF の企業カーボンフットプリント研究のものを採用した。

図 4

2 種の結果提示方法—総削減比率 X:1 または正味排出削減量



特定の化学製品により生じる総削減量を求めるために、この報告書では、最良の非化学物質代替品のライフサイクルを通じ、排出および削減されると考えられる CO₂e を算出する。重要な化学製品である自動車用プラスチック材料を例にとると、プラスチックは多くの場合、金属製自動車部品と交換可能である。そうした金属部品の製造では、プラスチック材料の製造よりもかなり多くの CO₂e が排出され、しかも金属部品の方が重いため、燃料消費量も多い。同等またはそれ以上の機能性を可能にすることにより、金属の代わりにプラスチック部品を使用すると、製造における排出量の増加に加え、燃料消費量の増加による使用中の排出量も回避することができ、総排出量の削減が可能になる。

エコインスティテュート (Öko Institut) は独立した第三者機関として、これら各 cLCA の算出の監査を引き受け、重要な想定、パラメータ入力値、計算、方法の検証を実施した。

結果の精度

この研究で提示した計算結果は厳密な数値ではなく、相当の変動があり、このため、ある方向性を示す値と考えることが妥当である。この不確実性には二重の原因がある。まず、事例を定義するために用いた想定に不確実性があり、次に、入力したデータ自体が不確実である。成長予測に基づく将来の予想を行う場合は、さらに変動性が増す。

2005 年の個々の事例については、結果の不確実性 (標準偏差) を +/- 30 パーセントと推定し、2030 年の予想については、 +/- 40 パーセントと推定した。これらの推定値は以下のよ

うな想定に基づき導いた。

- **個々の事例の結果（外挿した cLCA）**：この報告書で後述する感度解析に基づき、標準偏差を ± 30 パーセントとした。
- **増加予想の不確実性**：正規分布した年成長率を 3 パーセント、標準偏差を ± 150 パーセント（1950～2008 年の米 GDP 増加率に関する標準偏差の 2 倍）と想定し、数値モデリングを行った。その結果、上記の想定による cLCA の 2030 年予想値の全体的標準偏差は ± 40 パーセントである。

不確実な数値を合計した場合の収束効果により（足した数値が大きくなるにつれ、パーセント値で表す不確実性が低下する）、全体的な削減量の不確実性は、個別の cLCA の不確実性よりも低くなる。過度に正確に見えることを防ぐために、この効果は考慮に入れなかった。

原料と燃料の採取から廃棄処分までの化学工業製品による「独自の」排出量の算出における許容誤差は、2005 年の数値に関しては ± 25 パーセントと推定した。この推定値は、IPCC や SRI などの情報源から提供される個々の化学工程による排出量のフットプリントにおける不確実性に基づいている。この報告書では、統計誤差に関して詳細な見解をまとめることはせず、これらの範囲を使い、近似的な全体の不確実性を推定した。「独自の」排出量に関する 2030 年の予想値については、許容誤差を前述の数値モデリングに基づき、約 ± 35 パーセントと推定した。

本文または図中で 1 つの数値のみが示された事例についても、その結果から結論を引き出す場合は、以上のような近似的な不確実性を考慮に入れる必要がある。

この最初の研究では、このような範囲の不確実性が存在するが、その方向性は誤差の影響を受けない強固なものであり、排出量、削減量、さらなる改善の機会を適切に示している。

第 2 章：現在の影響 — 化学産業の現在の排出量および化学産業が可能にしている排出量削減

この章では、2005 年の化学産業による排出量と、世界経済全体にわたり化学産業により可能になる排出削減量の両方に関し、この研究で得た結果の検討を行う。2005 年は、入手可能な最善の完全な世界的データセットを取得できる最も近い基準年である。削減レベルを求めるために、100 件以上の cLCA を実施した。この章では、その中で最大の用途 10 種類に関し、排出量に対するそれらの影響について特に詳しく検討する。量という点で最大の排出削減効果を上げる用途は、建築用断熱材、農業用化学物質、照明、プラスチック包装材、船舶防汚塗料、合成繊維、自動車用プラスチック材料である。

化学産業に関連づけられる現在の CO₂e 排出量

2005 年に化学産業に関連づけられる CO₂e 排出量は 3.3 GtCO₂e +/- 25 パーセントであった (図 5)。

- 排出量の過半数にあたる 2.1 GtCO₂e は、化学産業が原料を仕入れ、化学物質を製造した結果である。直接・間接のエネルギー使用による影響も生産排出量およびプロセス排出量に含まれる (図 6)。
- 排出量の 0.3 GtCO₂e は原料と燃料の採取段階で生じる。
- 0.9 GtCO₂e は生産された化学物質の廃棄処分段階中に排出される。これには、主にバリューチェーンの下流で最終利用者により排出される高 GWP (地球温暖化係数) ガスによる 0.4 GtCO₂e が含まれる。

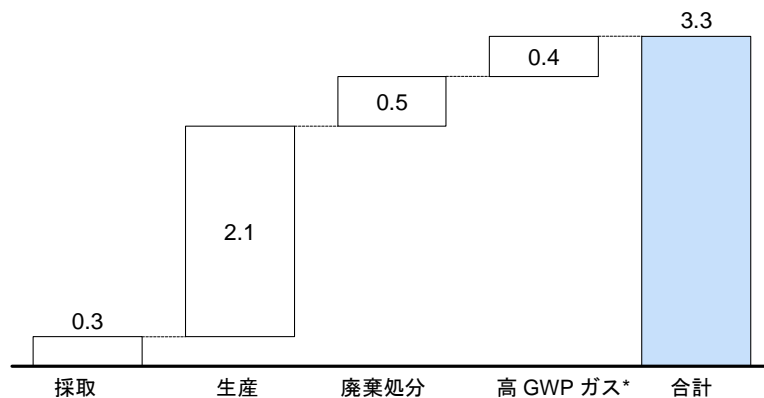
産業部門別で考える場合、こうした排出量の中には、普通は化学産業に起因すると見なされないものもある。例えば、採取による排出量は、通常は石油・天然ガス業界により報告され、HFC (ハイドロフルオロカーボン類) 冷媒の使用は、通常は家電製品と自動車に関する数値に含まれる。この研究でそうした数値を取り入れたのは、ベストプラクティス・ライフサイクルという考え方に従い、化学産業のバリューチェーン全体に関する全体論的で包括的な全体像を描くことを試みたためである。

図 5

化学産業と関連する合計ライフサイクル CO₂e 排出量は 3.3 Gt

化学製品の GHG ライフサイクル排出量 (2005 年)

単位 : GtCO₂e

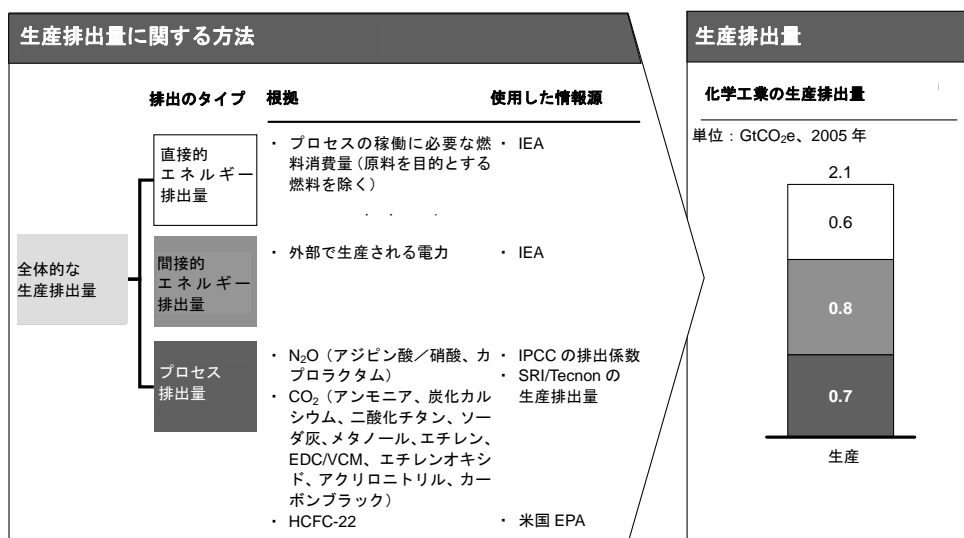


* HFC-23、HFC-32、HFC-125、HFC-134a、HFC-143a、HAFC-1521、HFC-227ea、HFC-236fa、HFC-4310mee、CF₄、C₂F₆、C₄F₁₀、C₆F₁₄、SF₆、GWP 係数は IPCC 1996 による

出典 : IEA、EPA、IPCC、WEF (「温室効果ガス削減に対する化学工業の貢献」2007 年 12 月)、マッキンゼーの分析

図 6

生産排出量はエネルギー排出量とプロセス排出量で構成される



出典 : マッキンゼーの分析

前述の「結果の精度」ですでに示唆したように、情報源の選択により、結果に重大な差が生じることがある。「業界自体の排出量」については、この研究では IEA と IPCC のデータを組み合わせて使うことにした。それらのデータの方が SRI のデータよりも完全に控え目な値と思われたためである。今後、この分野での研究が続くにつれ、さまざまな情報源に基づく結果が、やや異なる値へと収束して行くものと見込まれる。

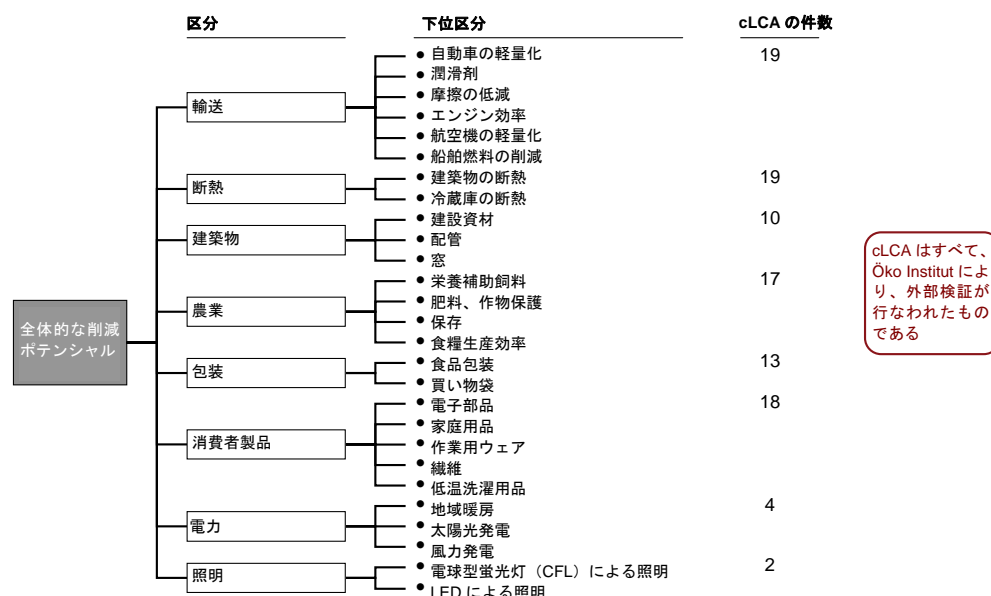
化学産業が可能にする排出量削減

化学産業はフットプリントからもわかるように、炭素排出原単位の高い業界である。しかし、化学産業は、他の業界と社会全体による省エネルギーと GHG 排出量削減を可能にする能力を持つという、他に類のない特質を備えている。

この可能化という化学産業が果たす役割を評価するために、この研究では、100 件以上の CO₂e ライフサイクル分析 (cLCA) を実施した。世界中の ICCA 会員企業が、cLCA の結果または最新 cLCA に関するデータをマッキンゼーに提出した。これらの cLCA は、業界を代表するサンプルとして選択された。図 7 は輸送、暖房、建設、農業、包装、消費者製品、電力、照明という 8 種の最終利用分野の数値を示したものである。cLCA はすべてエコ・インスティテュートによる検証を受けた。

図 7

cLCA*は 8 種の幅広い最終利用分野を対象とし、すべて外部機関による検証を受けた



cLCA はすべて、Öko Institut により、外部検証が行なわれたものである

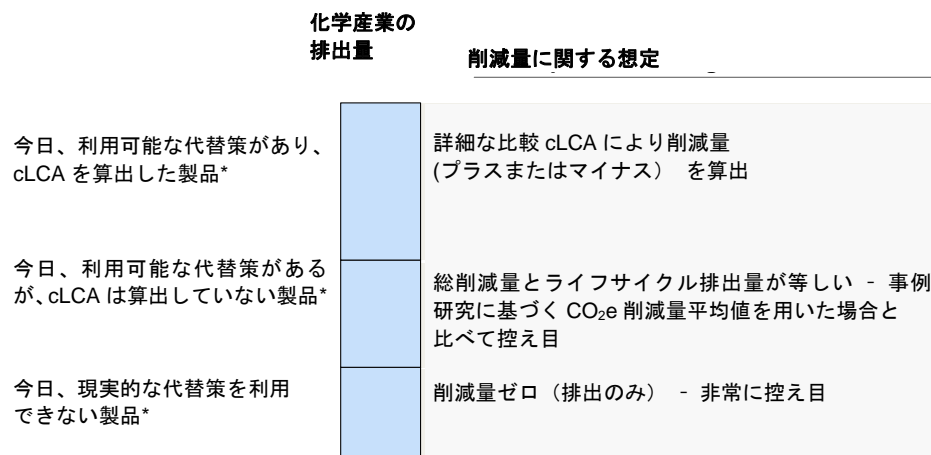
* cLCA=CO₂e ライフサイクル分析

各 cLCA で、特定用途における化学工業製品からの CO₂e 排出量と、現在のライフスタイルを維持する次善の代替可能な非化学製品の排出量とを比較した。わかりやすくするために、化学製品という用語は、化学産業により生産される製品を指すものとする。これら 100 件を超える cLCA で化学製品の世界全体を網羅することが不可能であることは言うまでもなく、また、非化学代替策が存在しない製品もある。このため、化学産業全体としての結論を引き出すことができるよう、この分析で取り上げなかった化学物質に関しては、慎重かつ控え目な形で、cLCA の結果の外挿を行う必要がある。そのような外挿を行えるよう、化学産業と関連する排出を 3 つの群に分類した (図 8)。

1. **cLCA を行った用途で使われる化学物質。** この群には、cLCA 算出により総削減量と正味削減量の明確な数値を入手可能な化学物質が入る。この群の例は、自動車の金属部品を軽量プラスチックに交換する場合である。
2. **cLCA は行わなかったが、非化学産業ソリューションが存在する用途で使われる化学物質。** これにはポリマーや多数の特殊およびファインケミカルなど、少量生産の用途が入る。例としては、食物の腐敗とそれに伴う CO₂e 排出量を回避できる食品保存料がある。別の例は、プロセス効率の改善とそれによる CO₂e 削減を可能にする石油精製用触媒の使用である。時間の制約により、研究のこの段階では、そうした事例の cLCA は行わなかった。この群に関しては、正味削減量はゼロと仮定した。cLCA で分析した事例の大部分では CO₂e 正味削減量はプラスだったことから、これは控え目な仮定である。
3. **性能を台無しにするか生活水準を落とさない限り、他の業界による現実的な代替策を利用できない用途で使われる化学物質。** これには一部の溶媒、窒素・酸素・アルゴンなどの産業用ガスなど、特別な性能基準を満たす必要があるものが含まれる。ガラス製造に使うソーダ灰などの無機化学物質も含まれる。他の例としては、医療用のポリマー、薬品の活性成分などがある。このカテゴリーに関しては、さらに控え目なアプローチを採用し、総削減量をゼロと仮定した (従って、正味削減量はマイナスになり、この業界の総削減量比率にもマイナスの影響を与える)。

図 8

cLCA の対象としなかった製品／用途に関しては外挿を行った



* または用途

この方法を応用し、本研究では化学産業の製品と関連する CO₂e の排出量と削減量をこれらの製品のライフサイクルにわたり算出した。以下に示されるように、化学産業が可能にする排出量削減に大きく貢献しているものの一つは肥料と作物保護用化学品の利用である。しかし、農業及び林業からの GHG 排出量あるいは排出削減量をどのように算定するべきかについては今も議論が続いているため、この事例については正味の削減量をゼロと仮定した代替シナリオでの評価を行った。

総削減量は肥料のケースを除いた場合 6.9 GtCO₂e +/- 30 パーセント、総削減比率にすると 2.1 : 1、また肥料のケースを入れた場合には総削減量 8.5 GtCO₂e +/- 30 パーセント、総削減比率 2.6 : 1 となる。言い換えれば、2005 年に化学工業はその排出した 1 GtCO₂e 当たりで他の業界および最終利用者の 2.1 から 2.6 GtCO₂e の削減を可能にした (図 9 及び 10)。**2005 年に化学製品により可能になった正味排出削減量は 3.6 から 5.2 GtCO₂e +/- 30 パーセントであった。**2005 年の世界の合計排出量 46 GtCO₂e と比較すると、世界に化学製品が存在しなければ、2005 年の排出量は 3.6 から 5.2 GtCO₂e つまり 8 から 11% 増えていた筈である。

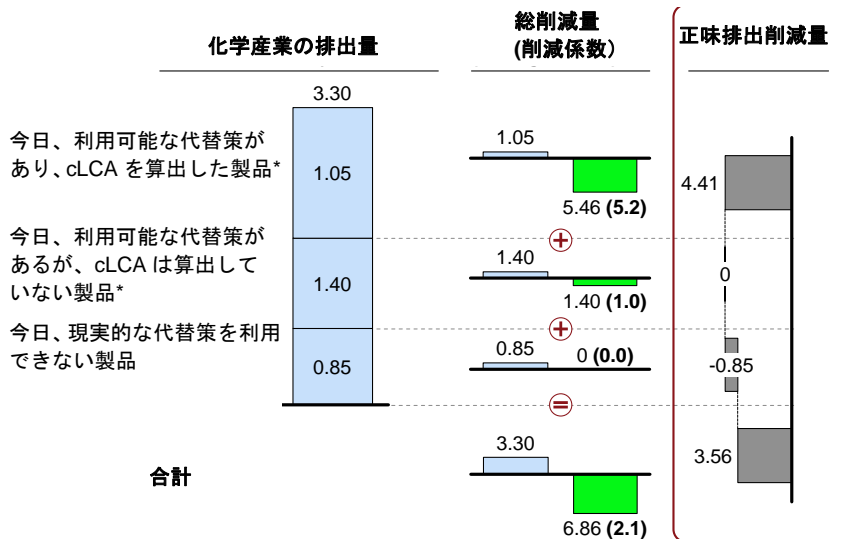
この正味削減量に対する寄与が最大の用途は、ライフサイクル CO₂e 排出量が算出された用途であり、つまり、現実的な代替策が存在する化学製品用途の大半である。この群では、平均の総削減比率は 5.1 : 1、また、特定された正味削減量は 6.0 GtCO₂e であった (肥料のケースを入れた場合)。

図 9

肥料による削減を除いたシナリオでは、化学産業は排出量 1 トンあたり 2.1 トンの CO₂e を削減する。正味削減量は 3.6 Gt となる。

化学産業の排出削減量

単位：GtCO₂e



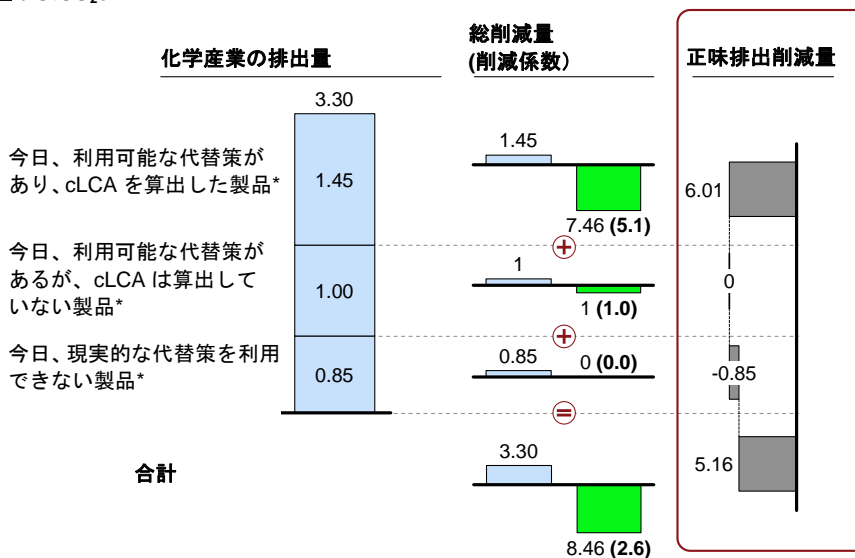
出典：ICCA/マッキンゼーの分析

図 10

肥料の事例を含めれば、化学産業は排出量 1 トンあたり 2.6 トンの CO₂e を削減する。正味削減量 5.2* Gt は 2005 年の世界排出量の～11%に相当する

化学産業の排出削減量

単位：GtCO₂e



* 肥料と作物保護製品の使用で可能になった土地利用の変更により回避できた CO₂e 排出量による削減を含む。これらの排出削減量がなければ、正味削減量は約 3.6 GtCO₂e になる。

出典：ICCA/マッキンゼーの分析

現実的な代替策はあるが cLCA を明確に算出していない群に関しては、排出量と総削減量が等しいとの仮定を置いた。これは総削減比率が 1:1 であることを意味する。上記の同様用途に関して算出した結果が 5.1:1 という比率であったことを考慮すると、これは控え目な概算である。この群の正味削減量は 0 GtCO_{2e} となる。

他の業界による現実的な代替策が存在しない群に関しては、さらに厳しい仮定を適用した。対照事例が存在しないため、今回使用した方法では総削減量を定量化できなかった。最も控え目な想定はゼロという値を使うことである。これは即ち総削減比率が 0:1 ということであり、正味削減量はマイナスで、この群で発生する排出量と等しい 0.85 GtCO_{2e} となる。

最も大きな排出量削減につながる製品用途

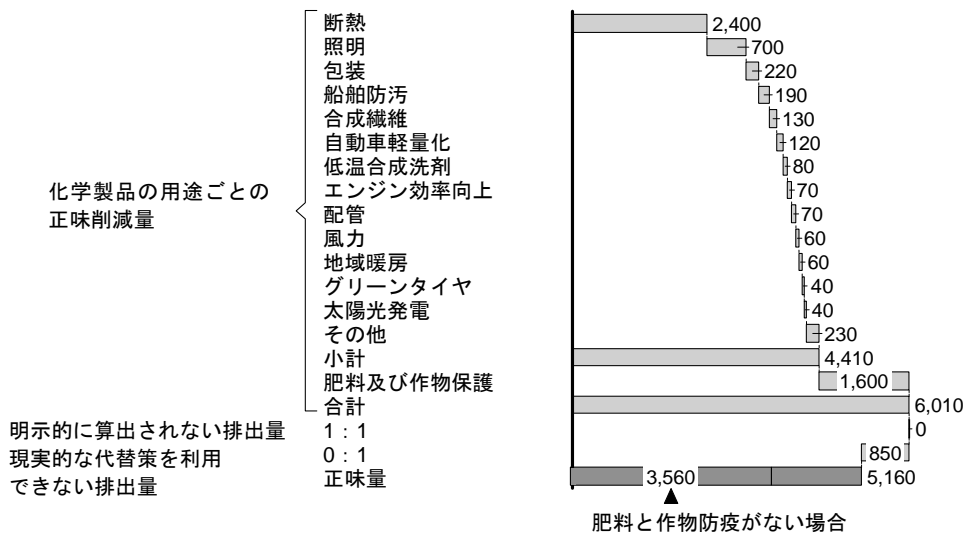
分析した cLCA から、化学産業により可能となる排出量削減の最大削減手段は、建築業界向けの断熱材、農業での化学製品の使用、先端照明ソリューションであることがわかった (図 11)。

図 11

主な寄与要因は断熱、肥料および作物保護、照明である

正味の削減量 2005

単位: MtCO_{2e}



出典: ICCA/マッキンゼーの分析

図 11 の数値は CO_{2e} 排出量に対して個々の化学製品が与える影響に関する豊富なデータに基づく。以下の段落では、最も重要な 10 製品に関し、さらに詳しく説明する。それは建築用断熱材、肥料と作物防疫、照明、プラスチック包装材、船舶防汚塗料、合成繊維、自動車用プラスチック材料、低温合成洗剤、エンジン効率向上、プラスチック配管材料である。

建築用断熱材

正味排出削減量 2.4 GtCO_{2e} の建築用断熱材は最大の寄与要因である。断熱により、建物の熱損失が激減し、断熱用エネルギーの必要量が大幅に低下する。冷房に関する削減量も含めると、正味の GHG 削減量はさらに増加する。この研究では、主な 3 種類の化学断熱材、ビーズ法発泡ポリスチレン (EPS)、押出ポリスチレン (XPS)、ポリウレタン (PU) の世界年間消費量による削減量を、地域別に算出した。これらの用途に使われる材料はアジアで 1,121 kt、ヨーロッパで 850 kt、北米で 882 kt である。アフリカと南米では少量であった。

検討対象とした 3 地域内で、気候帯、建築基準、住宅部分 (屋根、壁、床) が異なる合計 60 事例を分析した。削減量は熱流束モデルに基づき算出した。このモデルは、熱特性の改善を表す U 値の差、暖房度日数で表す 50 年間の寿命にわたり積算した温度差、年間生産量から算出する断熱材で処理された表面積、U 値から導かれる厚み (この計算の例として、下の囲みで北米における壁の断熱を取り上げる) で構成される。屋根の断熱に関する比較対象事例として、化学断熱材以外でかなりの市場シェアを持つ唯一の材料であるミネラルウールを使った。

全体として、断熱フォームの X:1 比率は 233:1 と非常に高く、正味削減量は 2,400 MtCO_{2e} である。アジア、ヨーロッパ、北米の削減量はほぼ等しい。

北米における壁の断熱の例

ここでは断熱を通じて実現される削減量の計算例を紹介する。熱流束モデルの各項に関し、北米の温帯性気候で外気に露出した壁に関する実例値を示す。

断熱を行わない場合、ある壁に関し、熱伝導を表す数値である U 値は、0.30 ワット平米毎ケルビン (W/m²K) である。1.5 インチの XPS 断熱フォームで断熱を行った後、これは 0.215 W/m²K に低下する。よって、U 値の差は 0.085 W/m²K である。次に、温帯性気候帯は 3,500 暖房度日数に相当する。第 3 の因子は表面積である。量を 17.4 kt、厚みを 1.5 インチとすると、1,670 万平米が断熱処理される。

上記 3 項を掛け合わせると、1 年間に削減される熱エネルギー量として 430,000 GJ が求められる。これにさらに断熱材の寿命 50 年と、暖房エネルギー 1MJ あたり 0.107 kgCO_{2e} の炭素排出原単位 (これには燃料の採取、輸送、燃焼、さらに暖房システムの効率 90 パーセントが含まれる) を掛ける。その結果、断熱材の寿命全体で 2.3 MtCO_{2e} という削減量が導かれる。断熱材のフットプリントは 2.8 kgCO_{2e}/kg であり、生産排出量はわずか 49 ktCO_{2e} である。

肥料と作物保護

農業用化学製品は 2 番目に大きな排出量削減に対する寄与要因である。肥料と現代的作物保護方法の利用により、過去数十年に収量は激増した。世界の食糧供給に対する肥料の重要性は、化学窒素肥料の重要な前駆体であるアンモニアの製造に不可欠なハーバー・ボッシュ法に対し、ノーベル化学賞が与えられたことに反映されている。農業用化学製品により可能になる CO₂e 削減の主な原動力は、収量増加による土地利用の変更の回避である。この研究では、肥料と作物保護が排出量に与える影響を総合し、それらの製品の相乗効果を明らかにした。比較対象事例として有機農法を使用した。(この分析では、GHG 排出量という視点からのみ農法について検討しており、硝化、水の消費、生物多様性などの農業に關係する他の環境影響は検討していない。ICCA はこれらを含む環境問題と Responsible Care[®]プログラムを通じて取り組んでいる。)

農業による排出には、農耕自体によるものと、農地への土地利用の転換によるものの 2 種類がある。

「農耕排出量」は、トラクターなどの機械を使う農作業と、肥料などの製品を土地に施すことにより生じる。肥料と作物保護を使う従来型の農法による農耕排出量は、地域によりある程度の変動があるが、作物単位量あたりで計算すると、有機農法の排出量に近い。これは肥料と植物保護の使用を回避したことによる有機農法での CO₂e 削減量が、有機農法での相当の収量減少により、ほぼ相殺されるという事実により説明できる。このため、事例によっては、ヘクタールあたりの CO₂e 排出量は有機農法の方が低いが、収量トンあたりの排出量は従来型農法と同様である。ただし、さまざまな従来型農法と有機農法の間で、収量の差が大きく、土壌の質による影響、CO₂ 固定・同化過程の影響があるため、1 つの LCA で曖昧さのない結果を引き出すことはできない。研究の目的を考慮し、従来型農法と有機農法の排出量は等しいと想定した。

肥料と作物保護を利用できなかった場合、農業の収量は大幅に低下し、低下率は作物のタイプ、土壌、技術、気候帯により、30~85 パーセントの間で上下する（パーセントの数値は農業生産データおよび専門家との面接から得た）。この研究の目的を考慮し、範囲の中間値を採用し、収量低下を 50 パーセントと想定した。この低下した収量で同じ作物量を生産するには、耕地面積を倍にする必要がある。この土地利用の増加により、植生と土壌からの固定炭素の放出という形で生じる CO₂e コストを、PAS2050 ガイドラインに従い算出した。控え目に算出するために、増えた面積 1 ヘクタールあたりの最低コストとして、米国の多年草の草地に関する 1.5 tCO₂e/ha を使用した。

この計算では、世界の農業用化学製品使用量の 56 パーセントを占める最も重要な作物 5 種（トウモロコシ、米、大豆、サトウキビ、小麦）に焦点を絞った。これら 5 種の作物の栽培に 6 億ヘクタールの耕地が使われている（FAO, 2006）。従って、全作物について有機農法に切り替えるには、11 億ヘクタールの土地が必要である。1.5 tCO₂e/ha という数値を用

いて計算すると、肥料と作物保護の使用による排出削減量は 1,600 MtCO_{2e} になる。

世界の異なる地域に関する FAO のデータは、肥料の使用と収量との強い相関関係を裏付けており、また、アフリカなどの地域の途上国において農業を改善できる可能性も示している (FAO 2006)。

土地利用の変更に関しては前述の不確実性に加え、さまざまな異論があるため、この研究では、化学物質の農業に対する寄与により正味の削減が生じる場合と、そうした正味の削減が相殺される場合という、2 種類の研究範囲を採用した。

この事例に関する注

この事例における計算は、肥料と作物保護用化学物質の GHG に対する影響のみに焦点を絞ったものである。他のエコ関連要因は、この評価では検討しない。

この研究の比較対象事例に関する全体的な定義に従い、社会が入手可能な製品のタイプと量は不変であり、消費パターンの変更は必要ないと想定した。食生活に肉が占める割合が著しく低下するなど、社会が消費パターンを変えた場合は、食料生産による GHG への影響は、現在の消費パターンの場合よりも低くなる可能性がある。

照明

照明はすでに多数の業界と政府により、炭素排出量削減の重要なレバーとして確認されている。最新の電球型蛍光灯 (CFL) は、白熱灯よりも発光効率が高く、1 ワットあたりのエネルギーによって生じる光量が多い。CFL の発光効率は白熱灯の 4 倍以上である。これに加え、CFL の寿命は通常、白熱灯よりも 4 倍以上長い。

この研究の分析では、現在の世界の CFL 生産量 (年間 28 億 2,000 万個) で達成される省電力による排出削減量を取り上げる。これらの蛍光灯の主な市場を調べると、米国が販売量の 47 パーセント、EU と日本が 34 パーセント、世界の残りの地域が 19 パーセントを占め、この数値を使い、照明の電力による排出量に関する加重平均 590 kgCO_{2e}/MWh が導かれる。平均寿命 7,000 時間の中に、1 個の CFL 球で 434 kWh の省電力が可能である。これは 1 球あたり 256 kgCO_{2e} に相当する。よって、28 億 2,000 万個の CFL による排出削減量は、製品の寿命全体で 700 MtCO_{2e} になる。

プラスチック包装材

包装材はプラスチックの主な用途の一つである。代替材料と比較すると、プラスチック包装材はかなり軽量である (用途により、2~8 分の 1 の重さ)。この優位点により、材料 1 キロあたりの生産フットプリントは高いにもかかわらず、全体的なカーボンフットプリントは低下する (プラスチックでキロあたり約 2-4 kgCO_{2e} に対し、ガラスと紙ではキロあたり 0.7 kgCO_{2e}、スズではキロあたり 3 kgCO_{2e}、アルミニウムではキロあたり 8 kgCO_{2e})。

削減量を数量化するために、包装材市場を「小型包装」、「飲料びん」、「その他のびん」、「その他の硬質包装」、「収縮・延伸フィルム」、「レジ袋」、「その他の軟質包装」という 7 種に分類した。全部で 7 種のプラスチック (LDPE、HDPE、PP、PVC、PS、EPS、PET) を 7 種の比較対象材料 (白色ガラス、スズ、アルミニウム、段ボール、厚紙、飲料用カートン、木材) と比較した。

各用途に関し、プラスチックと比較対象材料の量的な比率を求めた。これらのデータの多くは、既存の研究例 (GUA 2005) を ICCA 会員企業が提供した cLCA で補足したものである。計算には、リスト中の材料の分析全体におけるフットプリントの総計を使った。外挿には、GUA 研究結果から引用した年間生産データとプラスチック製造業者の年次報告書を使った (PlasticsEurope, 2007)。フィルムの 67 MtCO_{2e}、びんの 97 MtCO_{2e} が、合計削減量~220 MtCO_{2e} に対する最大の寄与要因である。

船舶防汚塗料

現代の海上輸送は世界経済において重要な役割を果たしている。船舶の腐食を防ぐだけでなく、船外の有機物の増殖も防ぐ塗料の使用により、海上輸送業界が消費する燃料がかなり減少する。この点で、防汚塗料は抵抗を最小限に抑え、船舶の燃料消費を最適化するために強い影響を与える。

防汚塗料なしでは、船舶の平均燃料消費量が 29 パーセント増えると推定された。海上輸送業界の年間燃料消費量 220 Mt を使って計算すると、燃料の節減量は 63 Mt になり、これは年間の総削減量 200 MtCO_{2e} に相当する。塗料の生産フットプリントと塗料の平均寿命 12 年を考慮に入れると、正味削減量は~190 MtCO_{2e} である。

合成繊維

この事例では、綿織物の生産による CO_{2e} への影響を、それと代替可能なナイロンおよびポリエステル⁷の生産による影響と比較した。CO_{2e} 削減要因は、合成素材の寿命の方が長いことを考慮に入れると、綿よりも合成繊維の方が、生産段階での GHG への影響が少ないことによる。この計算では、ライフサイクル・フットプリントをポリエステルでは 5.5 kgCO_{2e}/kg、ナイロンでは 8.2 kgCO_{2e}/kg、綿では 7.3 kgCO_{2e}/kg とする。Autex⁷による結果に基づき、合成繊維で作られた織物の寿命は綿製品の 2 倍とする。控え目な推定値を求めるために、使用中の CO_{2e} に関し、合成繊維は綿と比べて優位性を持たないものと想定した (綿タオルを乾かすには、合成の代替製品を乾かすよりも相当多くのエネルギーを必要とすることが、実験により示されている)。織物用のポリエステルとナイロンの年消費量は、それぞれ 14,760 kt と 1,566 kt である。この数値から、正味削減量は約 130 MtCO_{2e} と算出される。

⁷ Autex (Association of Universities for Textiles) Research Journal Vol.1, No. 1, 1999.

自動車の軽量化

自動車業界におけるポリマーと複合材料（例えばガラスまたはカーボンファイバー補強ポリマー）の使用は、過去 30 年間に安定した増加を示している。この業界では、ポリマーはコストを削減し、より魅力的で機能性の高いデザインを可能にするだけでなく、かなりの軽量化も可能にする。軽量化は燃料消費量の削減につながり、GHG 排出量が低下する。

自動車でのポリマーの用途として 30 種類の用途を特定した。これらの用途をシャーシ、エンジンルーム、車体、内装の 4 群にまとめた。特定した用途各々に関し、ポリマーの使用によるライフサイクル排出量（採取、生産から廃棄処分まで）、次善の代替策（ほとんどの事例では、スチール、アルミニウム、ガラスのいずれか）の使用によるライフサイクル排出量、それら 2 種の材料間の重量差を算出した。例えば、従来のアルミ製エアインテークマニホールドは、徐々にポリアミド（PA）に切り替わっている。重量差の比率は 100 パーセントで、アルミ製マニホールドの重さが 3 キロであるのに対し、PA 製はその半分である。アルミ製の生産・廃棄処分フットプリントは、PA 製よりも 24 パーセント高いのみにとどまっている（主に、アルミ製の方がリサイクル率が高いため）。

軽量化に関係する燃料削減量を算出するために、主な想定として、自動車の寿命は 150,000 km、燃料効率 は 0.35 liter/100km/100kg とした。これらの主な想定は、LCA を実施する際に広く使われているが、業界での自動車の平均寿命は 150,000 km よりも長いと、控えめな数値である。

これら 30 種類の用途全体で、世界の自動車業界では年間約 1,040 万トンのプラスチックが使われる。ガソリンとディーゼルの CO_{2e} フットプリント、ディーゼル車とガソリン車の比率、運輸部門の排出量に対するエタノール/バイオディーゼルの影響を考慮に入れると、自動車業界でのプラスチックの使用による合計排出削減量は~120 MtCO_{2e} である。

低温合成洗剤

低温合成洗剤の事例では、現在の界面活性剤と洗濯用酵素を合わせた CO_{2e} への影響を説明する。近代的な合成洗剤に含まれるそれら両方の因子により、昔よりもはるかに低い温度で優れた結果が得られ、その結果、エネルギー消費量と CO_{2e} 排出量が削減される。石けんを使用した場合、典型的な洗濯温度は 60°C 以上であるが、それに対し、合成洗剤を使用すると、温度を 30°C に下げることができる。その結果、1 回の洗濯に必要なエネルギー量が ~1 kWh から ~0.6 kWh に下がる。電力の CO_{2e} 排出原単位を考慮すると、これは 1 回分の洗濯で 321 gCO_{2e} の CO_{2e} 削減に相当する。

使用段階の排出以外に、合成洗剤は石けんよりも CO_{2e} フットプリントが低い。合成洗剤系を使う方法では、ライフサイクル排出量は 1 回の使用分あたり 65 gCO_{2e} であるのに対し、石けんでは 309 gCO_{2e} である。この差は主に、合成洗剤の効率が良く、石けんの 3 分の 1 の量しか必要としないという事実による。

全世界で、合成洗剤は毎年、約 1,580 億回の洗濯で使われている。しかし、石けんと合成洗剤のどちらを使うかとは無関係に、室温での洗濯が普通に行われる地域もある。そのような地域的な違いを考慮に入れると、洗濯用合成洗剤の使用により、世界の CO₂e 正味削減量は年間~80 MtCO₂e になる。

エンジン効率向上

「エンジン効率向上」という項目の下に、3種類の cLCA が含まれる。沈着防止のためのディーゼルとガソリンの添加剤と合成潤滑油である。これら 3 種類全部がエンジンの燃料消費を削減し、合計すると、世界の年間正味削減量は~70 MtCO₂e になる。

ディーゼル燃料添加剤 – 平均的な自動車で添加剤を用いるディーゼル燃料を消費したときの燃料消費量は、添加剤を使わない場合よりも 2 パーセント少ない。ディーゼル・エンジンで動く車の典型的な寿命は 20 万キロで、燃料消費量は 8 リットル/100 キロである。よって、寿命全体での燃料消費量はディーゼル 320 リットル分、減少する。ディーゼルの採掘から使用までのフットプリントは 2.9 kgCO₂e/kg である。これから 930 kgCO₂e という排出削減量が求められる。

ヨーロッパ、中東、アフリカ (EMEA) では、毎年合計 30 kt のディーゼル添加剤が沈着防止のために消費され (Frost & Sullivan 2005)、米国では 37 kt である (EMEA の数値はディーゼル消費量に従い増減させた)。これらの消費量から、世界の正味削減量は 24 MtCO₂e である。

ガソリン燃料添加剤 – ガソリン燃料添加剤による削減量の算出は、ディーゼル添加剤の場合と同様に行う。燃料消費量がディーゼルよりも多いため (8.7 リットル/100 キロ)、ガソリン車の寿命全体について 348 リットルの削減になる。

ガソリンの採掘から使用までのフットプリントは 2.9 kgCO₂e/kg である。正味で計算すると、自動車の寿命全体で 966 kgCO₂e の削減になる。

毎年、沈着防止用のガソリン燃料添加剤は、EMEA で 90 kt (Frost & Sullivan)、米国で 84 kt (Freedonia) 消費される。これらの消費量から、世界の年間削減量は 28 MtCO₂e である。

合成潤滑油 – 潤滑油生産のフットプリントは合成オイルで 2 kgCO₂e/kg (ICCA 会員企業)、鉱油で 1.07 kgCO₂e/kg である (SimaPro)。年間、12.7 Mt のエンジンオイルが消費される。その 7.1 パーセントが (903 kt) 合成オイルである (Freedonia 2005)。合成オイルの生産では 1.8 MtCO₂e が排出される。同量の鉱油の生産による排出量は 1 MtCO₂e である。

合成エンジンオイルは鉱油と比べ、エンジンの燃料消費量を 5 パーセント下げる (AMSoil によれば、範囲は 2~8 パーセント)。世界で 5,160 億ガロンの燃料が消費される (Tecnon)。その内 366 億ガロンが合成オイルを潤滑油として使う車で使われる。それが鉱油であったとすれば、5 パーセントつまり 5.7 Mt 余分な燃料が使われる。燃料のフットプリントとして 2.9 kgCO_{2e}/kg という値を使うと、年間 17 MtCO_{2e} である。この使用中の削減量および鉱油と合成オイルの生産排出量の差から計算すると、世界の年間正味削減量は 16 MtCO_{2e} である。

配管用プラスチック材料

プラスチック管の 70 パーセント以上が水道管で、主に排水・下水管 (~50 パーセント) と飲料水管 (~20 パーセント) である。配管に使われる主なポリマーは PVC (~70 パーセント) と HDPE (~25 パーセント) である。

削減ポテンシャルを算出するために、世界の PVC および HDPE 生産をアフリカ、アジア太平洋、ヨーロッパ、旧ソ連、中南米、中東、北米、北東アジアの 8 地域に分けた (Tecnon)。各地域に関し、管の製造に使われる割合を PVC が 41 パーセント (ECVM⁸ - ヨーロッパは例外で、25 パーセント)、HDPE が 11 パーセント (SRI) として、合計生産量を算出した。合計使用量は 16,958 kt で、内訳は PVC (80%)、HDPE (20%) である。この数値は業界のレポート (Freedonia) と照合し、一致することを確認した。

この cLCA については、2 つの事例を使用した。

- 下水管：铸铁 20 パーセント、陶器 30 パーセント、コンクリート 30 パーセント、ファイバーセメント 20 パーセント
- 飲料水管：亜鉛めっき鋼 25 パーセント、铸铁 30 パーセント、銅 30 パーセント、ファイバーセメント 15 パーセント

プラスチック管と比較対象事例の寿命はほぼ同等である。CO_{2e} 削減量はすべて原料使用量の減少と、生産・廃棄処分のフットプリントの差によって生じる。両方のプラスチック管用途について算出した CO_{2e} の合計が 33.4 MtCO_{2e} であったのに対し、比較対象事例では 75.2 MtCO_{2e} であった。年間の正味排出削減量は 41.8 MtCO_{2e} である。この計算では配管に使うプラスチック材料合計量の 64 パーセントのみを対象としたため、この数値を外挿すると、65.4 MtCO_{2e} という結果が求められる。

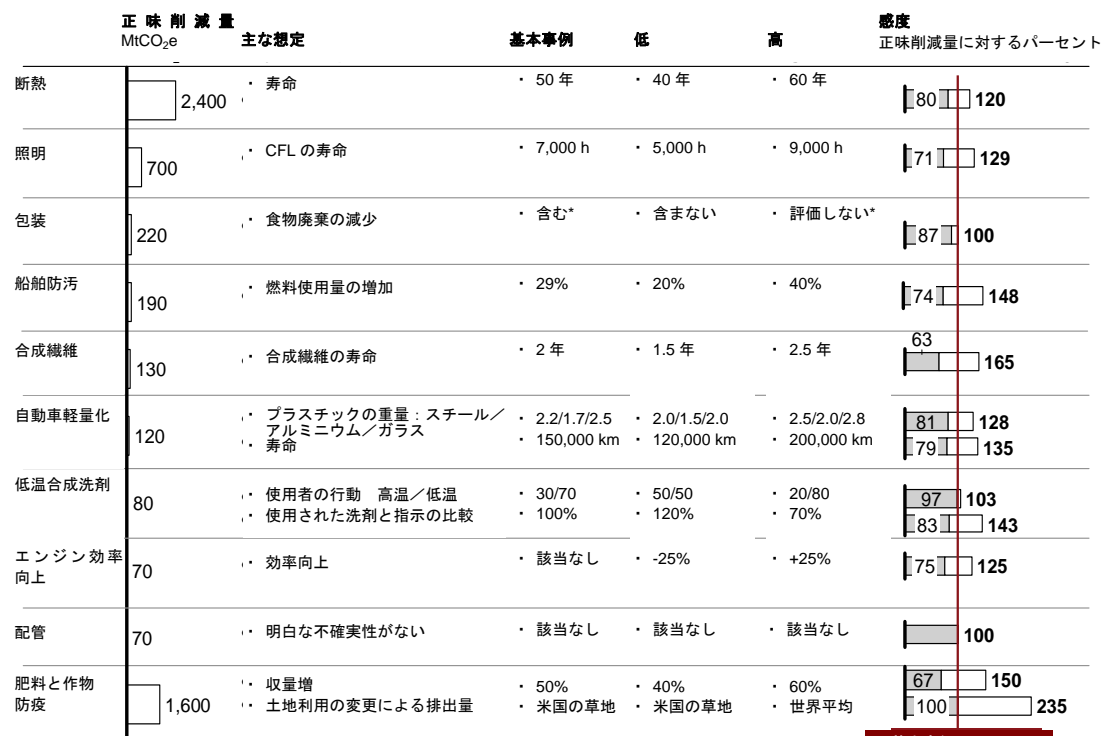
⁸ ECVM European Council of Vinyl Manufacturers.

感度分析

全ライフサイクルの研究では、得られる結果が研究対象範囲と使用する想定に強く依存する。理想的には、cLCAの数値は単一の数値ではなく、範囲で示すことが望ましい。しかし、わかりやすくするために、この報告書では、結果の説明に単一の数値を使用し、得られた結果に対する想定の影響を調べるために、感度分析を行った。最も重要な事例の感度分析を図12に示す。cLCAの算出において想定を設ける場合は、原則として、控え目な姿勢を心がけた。これは基礎の事例よりも高い部分が多い事例（例えば断熱）が多いという事実反映されている。

図 12

感度分析で控え目なアプローチが確認された最大の cLCA の感度分析



* cLCAではGUAの研究結果の中から非常に控え目な想定を採用した。上の部分の方が、実現する見込みが高い（大きい）が、この研究では、その部分は評価しなかった。
出典：ICCA/マッキンゼーの分析

基本事例 (100%)

第3章：今後の可能性—マッキンゼー社による2つの2030年シナリオと化学製品が低炭素化に果たしうる役割

これまでの章では、化学産業の現在の排出量および化学産業が他の業界や最終利用者で可能にする削減量について検討した。この章では、それに続く「これが将来、どのように変化するか」という質問について検討する。この質問に答えるために、マッキンゼーは2030年までのシナリオとして、現状努力継続（BAU）と、それよりも野心的な「最大削減努力（Abatement）」シナリオの2種を定義し、それらを評価した。

BAUシナリオの主な特徴は、GDPの上昇と現行の規制・政策という条件下での化学産業の量的拡大、製造工程のポートフォリオ全体にわたるわずかな改善、生産能力の継続的な地域的移行である。規制により低炭素化がさらに推進されることはないものと想定する。

一方、削減シナリオでは、低炭素経済を実現するための対策の効果的な実施を想定する。これには、業界のCO_{2e}排出量削減に対する優遇策を提供する世界的に歩調を合わせた規制およびイニシアティブと、プラスの削減効果を持つ製品と用途の使用拡大を促す規制が含まれる。

この章では、2種のシナリオ各々に関する研究結果を示す。また、将来的に可能な化学産業での数々の技術革新により、削減シナリオさえ上回る排出削減量を達成する可能性もあり、それらの概要についても紹介する。

現状努力継続（BAU）シナリオ

BAUシナリオの計算にあたり、さまざまな化学製品分類の生産量に対する増加率を使う必要があった。アナリストの報告書⁹から、排出量最大の小分類に関する業界固有の増加率を引用した。残りの小分類については、マッキンゼーの分析では、GDP成長率と同等の3パーセントという全体的増加率を用いた。

業界自体の排出量という点では、このシナリオの重要な推進力は量的増加、効率向上、地域的移行である。これらの推進力により、業界自体の排出量は3.3 Gt CO_{2e} +/- 25パーセント（2005年）から約6.5 Gt CO_{2e} +/- 35パーセントに増加する。

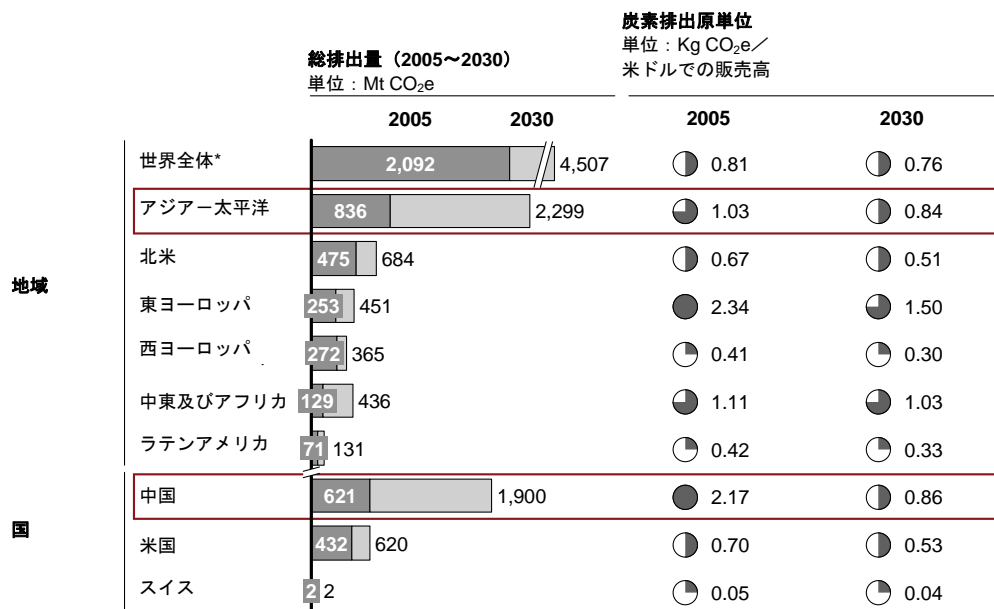
⁹ 例えば SRI、Tecnon、Freedonia。

- 将来の需要の倍増には、効率の高い工場・工程による生産量の増加で対応可能である。効率の良い工場での生産量倍増により、排出量が 1.7 Gt CO₂e 増加する。これらの改善は、石油と石炭から天然ガスへの燃料の切り替え、設備利用の改善、その他の効率改善策による過去に観察された効率向上と一致している。
- しかし、中国やインドなどの石炭中心（従って、炭素排出原単位が高い）の経済圏における生産量増加により、さらに~1.5 GtCO₂e が見込まれる(図 13)。

図 13

アジア太平洋地域と中国は炭素排出原単位が高い 化学工業における CO₂e 排出原単位の地域間比較

□ 急成長する発展途上地域



* 生産排出量のみ。採取と廃棄処分の排出量は含まない
出典: ACC による生産予測 (2005~2017)、SRI、Tecnon、国際エネルギー機関 (IEA)、McKinsey

BAU シナリオでは、エネルギー効率の向上が過去以上に強力に進行し、業界の総削減量は 6.9 から 8.5 GtCO₂e +/- 30 パーセント (2005 年、それぞれ肥料のケースを含めない場合と含めた場合) より 17.8 から 20.3 GtCO₂e +/- 40 パーセントに上昇し、総削減比率は 2.1:1 から 2.6:1 (2005 年) より 2.7:1 から 3.1:1 に改善される。

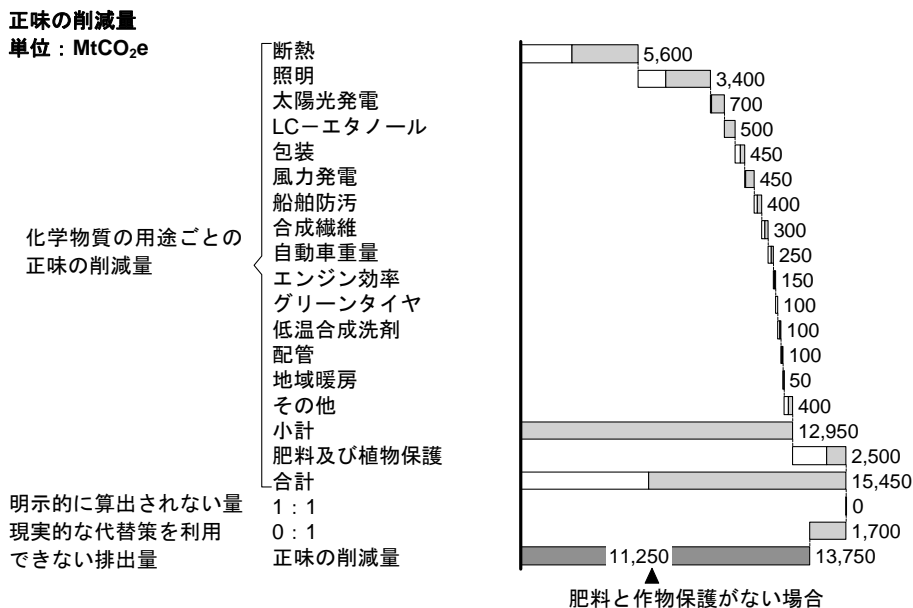
化学産業により可能になる正味排出削減量は 3.6 から 5.2 GtCO₂e +/- 30 パーセント (2005 年) より 11.3 から 13.8 GtCO₂e +/- 40 パーセントに上昇する。小分類中の正味削減量の順位は現在とほとんど変わらず、断熱が 5.6 GtCO₂e で最大の削減レバーである (図 14)。2 位の照明は肥料と作物保護を上回り、3.4 GtCO₂e である。2030 年の重要な排出削減レバーが太陽光発電とバイオ燃料 (LC エタノールを含む) である。太陽光発電は、設置された太陽光発電能力が 2020 年まで年間 20 パーセントの割合で増加し、その後、年間 10 パーセン

トの割合で増加するという予想に基づき、排出量を 0.7 GtCO_{2e} 削減すると推定される。一方、ガソリンの代用品として使われる LC エタノールにより、2030 年までに 0.5 GtCO_{2e} の排出量が削減される。

図 14

BAU 想定条件下における 2030 年の正味の削減量は 13.8 Gt になる

■ 2030 までの GHG 排出削減シナリオ
□ 2005 年現在



出典：ICCA/マッキンゼーの分析

最大削減努力 (ABATEMENT) シナリオ

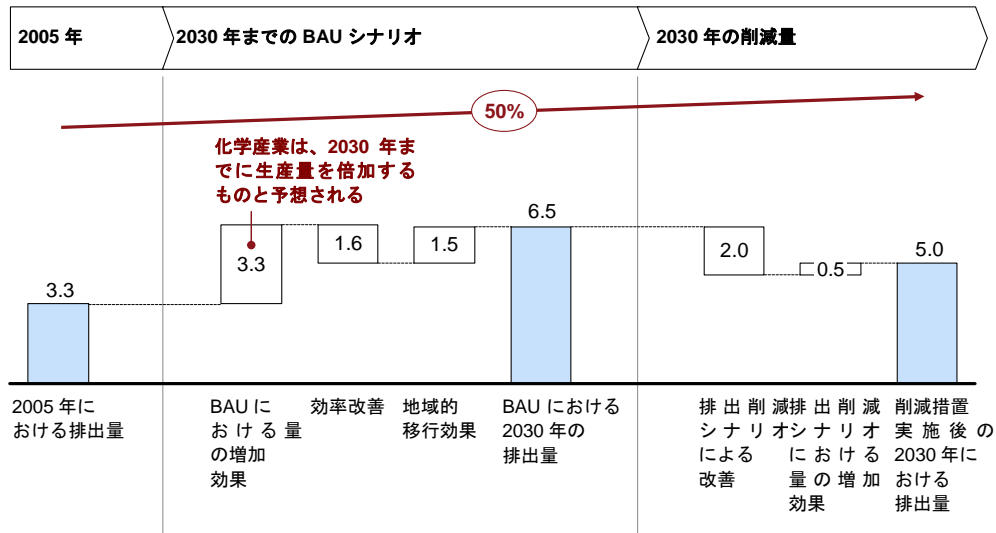
最大削減努力 (Abatement) シナリオは、マッキンゼーの 2030 年 GHG 削減コスト曲線と緊密に対応している。このシナリオには、化学産業の CO_{2e} 排出量のさらなる削減と、プラスの削減効果を持つ製品および用途の使用増加が盛り込まれている。

業界自体の排出量に関しては、削減シナリオでは、6.5 GtCO_{2e} (BAU シナリオの結果) から 5 GtCO_{2e} +/-35 パーセントに減少する。ここでは 2 GtCO_{2e} 相当のマッキンゼーの化学産業の削減コスト曲線の全レバーが導入される一方、CO_{2e} 効率の高い用途を支えるための量の増加により、この数値のうち 0.5 GtCO_{2e} が相殺されるものと想定する (図 15)。

図 15

2030 年に生産量は倍以上に増加するが、化学産業に関連する排出量は 2005 年よりも 50%高いレベルにとどまる（主に地域的移行の影響）

化学産業に関連する排出量の計算上の変化*

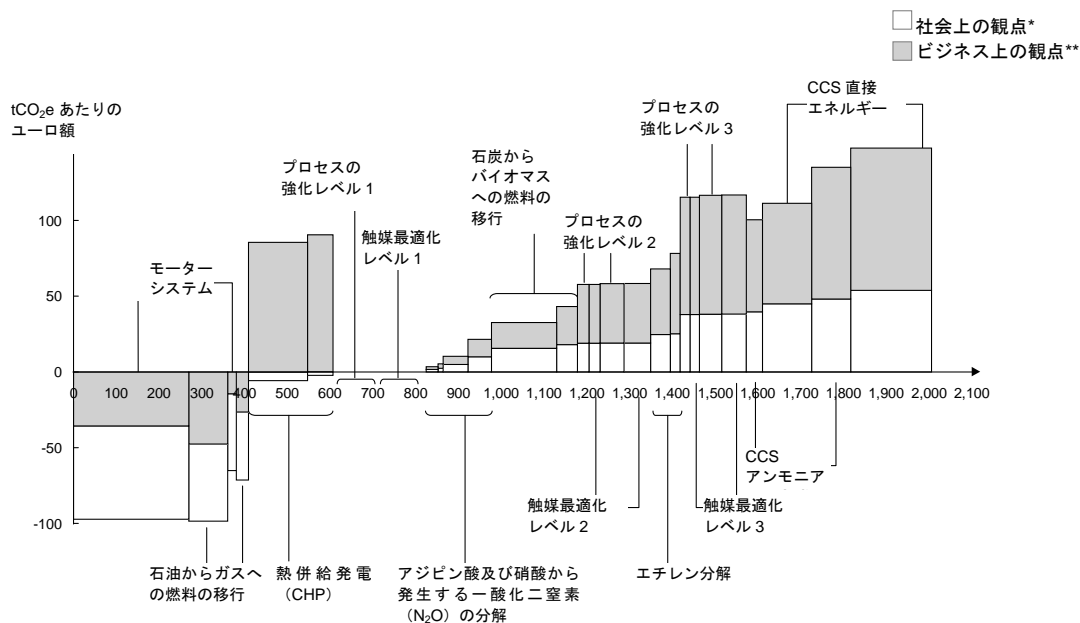


* 原料と燃料の採取から生産を経て、廃棄処分まで
出典：ICCA/マッキンゼーの分析

マッキンゼー削減コスト曲線の対策全部を採用すると、業界の年間改善率は過去の改善率よりも著しく上昇する。しかし、これは業界にとり、かなりの代償を伴う。社会的観点から見た場合（利率 4%、減価償却期間は装置の寿命）、削減コスト曲線で取り上げた対策のコストは tCO₂e あたり € 50 未満である。従って、コストが高く、ビジネス上の観点から（利率 10%、減価償却期間 10 年）多くが tCO₂e あたり € 100 を超える他分野での対策を講じるよりも、それらを実施し、優先させる方が、社会的観点から妥当である（図 16）。政府はこのギャップを埋めるために、より有利なビジネス条件を提供する必要がある。

図 16

化学産業の GHG 削減コスト曲線



注：曲線は、tCO₂e あたり EUR 60 未満（社会上的観点）の技術的 GHG 削減対策に関し、各レベルを積極的に進めた場合の最大ポテンシャルの推定値を表す。さまざまな削減対策・技術がどのような役割を果たすかという予想ではない。

* 利率 4%、減価償却期間は装置の寿命

** 利率 10%、減価償却期間 10 年

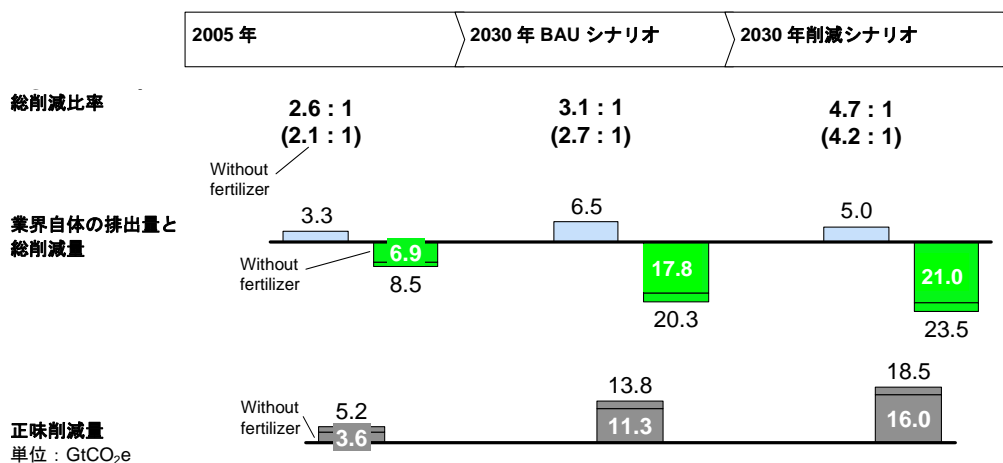
出典：地球の GHG 削減コスト曲線 第 2.0 版 McKinsey & Company

最大削減努力シナリオでは、エネルギー効率の高い用途が過去よりもさらに強力な伸びを示すために、**業界の総削減量は 17.8 から 20.3 GtCO₂e（BAU シナリオの下で、それぞれ肥料の事例を含まない場合及び含む場合）より 21.0 から 23.5 GtCO₂e +/- 40 パーセントに増加し、総削減比率は 2.7：1 から 3.1：1（BAU シナリオの場合）より 4.2：1 から 4.7：1 に改善される。**これらの数値は、2030 年にはエネルギー生産の炭素排出原単位が低下することを考慮に入れている。この結果は、化学産業製品の使用が拡大することと、それらの生産効率が上昇することの両方を考慮に入れている。

正味排出削減量は 11.3 から 13.8 GtCO₂e（BAU シナリオの場合）より 16.0 から 18.5 GtCO₂e +/- 40 パーセントに増加する（図 17）。4.7 GtCO₂e の改善をマッキンゼーの削減曲線の全産業部門を合計した世界的なポテンシャル（BAU を超える分）である 38 GtCO₂e と比較すると、化学産業はこのポテンシャルの 12%に寄与することになる（図 1）。

図 17

適切な削減対策を実施すれば、総削減比率は 4.7:1 に、正味排出削減量は 18.5 GtCO₂e に達する可能性がある（肥料のケースを入れた場合）



出典：ICCA/マッキンゼーの分析

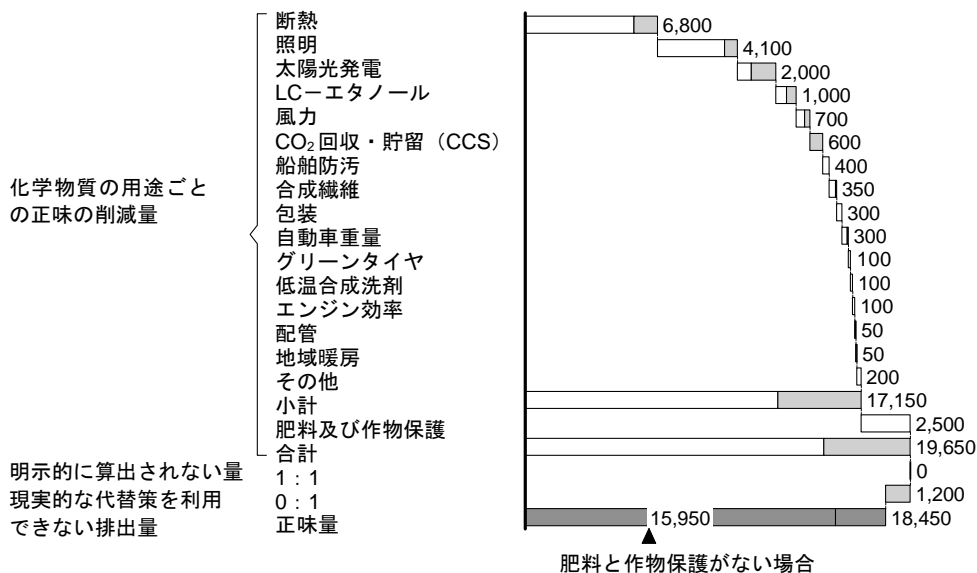
ここでも断熱が最大の排出削減レバーである（図 18）。商業用の建築物と住宅のエネルギー効率改善を目的とする断熱により、さらに~1.2 GtCO₂e が削減され、その大部分が途上国での削減である。照明については、このシナリオでは、ほぼ全部の白熱電球と CFL 電球が LED に切り替わると想定し、その結果、さらに~0.7 GtCO₂e の排出量が削減される。また、LC エタノールの普及率がほぼ倍に上昇するとし、削減量も倍増する。このシナリオでは、2030 年に太陽光発電が世界の電力需要の 10 パーセント、風力が 15 パーセントを占める。削減量は太陽光発電で~2.0 GtCO₂e、風力で~0.7 GtCO₂e に達成する。CCS の削減ポテンシャルは~0.6 GtCO₂e である。CCS による削減の 20 パーセントが化学産業に配分される。

図 18

BAU 以上の取り組みによって、さらに 4.7 Gt の削減 ポテンシャルが特定される

正味の削減量
単位：MtCO₂e

■ 2030 までの排出削減シナリオ
□ 2030 年までの BAU シナリオ



出典：ICCA/マッキンゼーの分析

更なる削減への貢献が見込まれる新たな技術革新

現状努力継続 (BAU) シナリオと最大削減努力シナリオには、すでに化学産業で商業利用されている技術か、またはすでに科学的に実証され、2030 年までに利用可能になる技術のみを盛り込んだ。業界は画期的な技術の開発に努めており、それに成功すれば、業界の正味削減ポテンシャルは削減シナリオで確認された数値を大幅に超える可能性がある。使用段階の削減に関する技術革新の例を以下に挙げる。

- 印刷可能な電子機器用の導電性ポリマー – シンプルな電子機器用の低エネルギー／低資源技術。
- 淡水化のための逆浸透膜により、プロセスのエネルギー効率が向上する。
- 炭素回収・貯留 (CCS) のための低コスト CO₂ 分離膜。
- 開発中の最先端太陽電池の材料として、有機太陽電池、高効率化合物半導体、超高効率薄膜太陽電池などがあり、それらの経済面での優位性により、太陽光発電の普及が進む。

- 最先端燃料電池の材料として、固体高分子電解質型燃料電池（PEFC）、固体酸化物型燃料電池（SOFC）、熔融炭酸塩型燃料電池（MCFC）などがあり、それらにより大幅なコスト削減と耐久性の改善が可能。
- 高性能蓄電素子の材料として、新しい概念と技術に基づく最先端のリチウムイオンおよびニッケル水素電池・蓄電器などがあり、それらにより大幅な性能改善とコスト削減が可能。

業界自体の排出量に関する画期的技術革新の例を以下に挙げる。

- 継続的なプロセスと触媒の改良、及びプロセスの強化。
- バイオマスから得られるキー構成要素の原料を含めた、再生可能原料の利用(ホワイト・バイオテクノロジー)。
- 最先端の回収・リサイクル技術。

第4章：政策的な含意：化学産業の削減ポテンシャルの最適化

この研究による結果は、原料と燃料の採取から生産、使用、廃棄処分まで、製品のライフサイクルの主な段階すべてを考慮することの重要性を強調している。その各段階で製品の全体的な影響力を改善できる。

この研究で特定された正味排出削減量のポテンシャルが確実に実現されるようにするには、世界的な枠組みの中での効果的な法律が不可欠であり、正にこの研究は総合的アプローチを必要とする、より優れた規制の必要性を評価するための基礎とデータを提供する。

マッキンゼーの2030年に関するシナリオとcLCA研究の総合結果として、今日、化学製品の適切な使用により、相当の削減が実現しており、今後数年間に、削減はさらに増大することが判明した。

しかし、これら化学物質を利用するCO₂e削減対策の実施を妨害あるいは遅滞させる可能性がある数々の問題が存在する。

ICCAは、cLCAの考え方に基づく低炭素経済に向けた政策の立案にあたり、以下の指針となる原則を考慮するよう提案する。

- **GHG削減を加速するための世界的な炭素削減枠組みを作り、市場の歪みを回避し、炭素リーケージを最低限に抑制すること¹⁰。** GHG排出は地球全体の問題であり、GHG排出の問題には地球規模の取り組みが必要である。全世界的な政策は炭素リーケージの防止に役立ち、市場の歪みという危険性を下げる。歪みが生じるのは、厳しい規制により、すべての主要産業・地域ではなく、一部においてのみコストが上昇する場合である。
 - 提言：各国の当局は、不可欠な要素として、世界市場に関する世界的な政策統一あるいは世界共通の政策を目指すこと。それまでの間、貿易の影響を受けざるをえない化学産業は、市場の歪みを回避するために、無償の炭素排出権などの各地での暫定的な規定を必要とする。
- **最大で最大の効果を上げ、コストが最低の削減機会に焦点を絞ること。** 資金は限られており、気候の安定化にはCO₂e排出量の激減が必要であることを考慮すると、資金を賢く使い、最大の影響力を持つ対策に焦点を絞ることが不可欠である。
 - 提言：政策では規模、コスト、実施速度に焦点を絞ること。

¹⁰ 炭素リーケージとは、生産フットプリントが高い無規制の地域に生産が移行すること、又は厳しい規制が加えられず、CO₂eフットプリントが高い製品で代用することである。

- **エネルギー効率向上に力を入れること。**エネルギーの生産と使用は CO₂e 排出源の中でも最大級であり、低炭素の未来を目指す取り組みにおける優先課題とする必要がある。エネルギー使用量の削減は、CO₂e 削減の最も効果的な手段である。エネルギー効率向上対策には、採算の取れる事例が多い。
 - 提言：政府の政策では、建築物の断熱など、エネルギーと資源の効率向上につながる製品と用途の支援を強化すること。
- **新しい技術の開発と導入を支援すること。**世界経済が CO₂e の排出を遅らせ、止め、逆転させ、最終的に、現在提案されている 450-550 ppm CO₂ (IEA 2008) という安定化の範囲に到達するには、新しい技術が不可欠である。この課題を解決するための新技術の研究開発には、資金と支援が必要である。一方、技術の進歩が速い分野では、最適よりも低いレベルのソリューションに固定しないよう注意することが重要である。一般に、規制においては、特定のソリューションの導入ではなく、パフォーマンスを目標に定めるべきである。
 - 提言：困難な経済状況ではあるが、各国政府は研究開発への資金提供を続けること。化学産業とその製品の重要な役割を、そうしたプログラムに反映させること。
- **入手可能な原料とエネルギーに関し、効率が最高で持続可能な利用が進むよう支援すること。**化学産業は原料とエネルギーの両方に関し、幅広い製品を使うことができる。政府は特定の原料の使用を制限する法律を義務づけるよりもむしろ、エネルギー効率と GHG 効率の改善を支援すべきである。特定の原料に対して地域内での上限や制限を設ける制度は、世界の GHG 排出量削減という実質的効果を上げることなく、経済に悪影響を与える可能性がある。
 - 提言：原料の選択肢の変更には技術開発が必要であり、それは最終的に市場により牽引される。バイオ原料の使用拡大においては、原料とエネルギーに関する側面、各地での入手可能性、食品と燃料の競合に関する懸念を考慮に入れる必要がある。
- **他に先駆けて CO₂e フットプリントを削減する早期対策実施企業に対して報酬を与えることにより、素早い対応を促すための奨励策を提供すること。**政策では、CO₂e 削減対策の実施において先陣を切った企業が、最終的に報酬を得られるようにすべきである。これと平行して、遅れを取った企業や地域において活動を加速するための効果的対策も実施する必要がある。
 - 提言：政策では、現実に達成可能な排出目標を設けるためのアプローチとして、パフォーマンスに基づく対策を用いること。

- **効率が最高で持続可能な廃棄・回収・リサイクル選択肢を支援すること。** 化学製品の廃棄処分方法（例えば、埋め立て、熱回収を伴うか伴わない焼却、リサイクル）には、いまだに地域間でかなりの不均衡が見られ、製品のライフサイクル全体にわたる総排出量に対してかなりの影響を与えている。
 - 提言：効率が最高で持続可能な廃棄・回収・リサイクル選択肢が導入されるようにする新しい技術と実務の開発を支援すること。
- **途上国における削減を支援するための技術協力。** 業界の削減ポテンシャルの3分の2は途上国に存在する。しかし、この削減ポテンシャルの実現を阻むいくつかの障害がある。削減レバーの多くが生産コストに直接影響を与え、競争力に対する技術協力の影響が懸念される（WEF 2007）。先進国におけるCO₂e削減ポテンシャルを実現するには、業界に参入した全企業に対して公平な競争を保証し、しかも地域による違いと地域ごとの急務を考慮に入れた規制、そして大きな資本を必要とする対策の導入に対する優遇策により、業界の脱炭素化を加速する必要がある。
 - 提言：先進地域と途上地域の技術協力メカニズムにより、技術の所有者とそれを受け取る側の両方にとり有益な事業機会が生まれる可能性がある。リスクを補い、継続的に技術革新に集中するために十分な財政的優遇策により、これを推進することができる。

上記の対策の実施は、将来の炭素枠組みを補うよう立案することが望ましい。どの地域であるかにかかわらず、GHG 排出原単位の大きい製品を、全生産バリューチェーンを考慮に入れ、可能な限り炭素効率の良い製品にすることを目標に掲げなければならない。一方、将来の炭素枠組みは、これが可能な限り費用対効果の高い形で行われるよう立案することが望ましい。世界的枠組み作りを進める間に、各国の政策により、炭素負担が地域内でのみ適用されないようにし、市場の歪みと炭素リーケージなどの意図しない結果を回避する。

信頼できる、安定した規制枠組みの重要性：いくつかの例

断熱

この研究では、化学産業により可能になるCO₂e削減に関し、断熱が最大のポテンシャルを持つことが明らかになった。しかし、断熱の市場の性質により、実施上の問題があり、それらを克服するために政策による支援が必要である。それらのハードルには、断熱の優位性があまり知られていないことや、所有者または不動産業者の問題、つまり、家主と借家人の間で利害が一致しないという問題などがある。

- 提言：政府は断熱材の使用を促進するための情報キャンペーン、経済的なエネルギー効率に重点を置いた建築基準の厳格化、所有者と最終利用者に対する財政的優遇策から成る政策ミックスを義務づけること。

再生可能エネルギーと CCS

再生可能エネルギーと CCS への投資の進み具合には差があり、それぞれが異なる段階にある。発見・実証段階では、公共の支援と資金提供が最も重要である。これらの技術の商品化が進むにつれ、財務支援を減らし、いずれ（最終的には）撤廃し、市場が効果的に機能するようにする。

- 提言：規制当局は技術の成熟度に従い、開発支援の対象を決定すること。成熟度が低い技術は主に研究を通じて支援を行うのに対し、成熟した革新技術に対しては、普及のギャップを埋めるために、実証支援を増やすこと。すべての技術に、透明な段階的支援終了計画が必要である。

肥料と作物保護

高品質の肥料と作物保護の適切な利用は、気候の保護に影響を与える土地利用の変更における農業の重要な役割を明らかにする。気候の保護と取り組みつつ食糧安全保障を確保することは、真に世界的な難問であり、それと取り組む規制には世界的視点が必要である。今後、あらゆる気候変動規制に、土地利用に影響を与える農業生産方式を盛り込むべきである。農業の強化は、特に貧しい国や途上国において、森林と古来の土地の破壊を減らす可能性がある。農家が農業化学物質を利用できるようにする政策には、最善の農業生産方式に関する教育を含めるべきである。

- 提言：将来の世界気候枠組みに、土地利用の変更の影響を盛り込むこと。この分野の研究がさらに拡大するよう、世界中の社会が支援すること。

化学産業内にある排出量削減能力を解放する規制

化学産業は、同業界が持続可能性に向け、すでにかかなりの進歩を達成したと考え、また、特に現在のような経済状況においては、業界の CO₂e フットプリントを削減する努力を継続し、低炭素の未来のために技術革新を行うために、政策による支援に頼るつもりである。化学産業は、気候変動と取り組むための広い地球規模の努力の一部として、独自の GHG フットプリントと取り組まねばならないことを了解している。しかし、同業界はこの点に関し、すでに立派な進歩を遂げている。これまでの数年間に、効率を改善し、あらゆる種類の排出量を削減してきた。この経路に沿った次の段階は、特に現在の経済状況の中で、ますます難問になる。この業界が広い排出量削減において果たす役割の拡大を促進する規制を同時に実施することなしに、業界の CO₂e 排出量に対して厳しい制約をかけ、早期の対策段階に関して業界に不利益をもたらすことは有害である。

結論

この研究は、気候変動との取り組みにグローバルなアプローチを採用することの必要性を再確認した。また、今後の政策構築にライフサイクルという発想を組み込むことの価値を実証した。

この研究の全体的結論として、ライフサイクル全体を対象とするアプローチを採用し、バリューチェーンの各段階で最適な寄与を達成することが、世界的な GHG 削減を目的とする最善の選択肢である。逆に、最適化されたライフサイクル・アプローチを採用しない場合、ある段階での削減が別の段階でのより大きな削減を妨げ、結局は、正味の世界的削減には寄与しないことになる。

このプロジェクトでは、GHG 削減の将来の選択肢を改善するために、強固でより透明な手法を開発するための重要な最初の一步を提供した。この研究の重要な狙いの一つは、より効果的な政策・規制作りの基礎として、より良い事実を提供することであった。このため、この研究では、政府と業界の間に必要な、より密接な協力を促進するために役立つ事実に基づく背景の提供も意図している。

GHG 排出量の大幅な削減が必要であるというコンセンサスが広がり、並々ならぬ難題を提供している。これには最終的に、より持続的な消費を伴う大きな社会的変化が必要である。この研究では、そうした考えられるライフスタイルの変化の数量化は試みていない。しかし、より持続的な生産パターンを伴う現実的シナリオにおいて、高性能の材料が不可欠な役割を果たすと想定することは論理的である。これは現在 GHG 削減を可能にしているこの業界の技術革新が、将来はさらに不可欠なものになることを意味する。

この研究で実施した CO₂e ライフサイクル分析は、すべてのシナリオで、化学産業が相当の正味の GHG 削減を可能にし、従って、その製品の全体的な使用による削減量が、生産工程と関連する排出量を上回ることを実証している。過去数十年間、こうした排出量の削減は、主に効率の向上とそれに伴う経済的利益により進められてきた。

マッキンゼー社の 2030 年シナリオは、現状努力継続ケースの下では世界の化学産業による排出量がほぼ倍増し、6.5 GtCO₂e に達することを強調している。この大部分である約 1.5 Gt が中国や中東などの炭素排出原単位の高い地域における実質的な成長による。この事実は、その成長の燃料となる炭素排出原単位を削減するための政策対策の重要性を浮き彫りにする。この成長予測では、効率改善による継続的で顕著な削減を想定しており (1.6 Gt)、従って、さらなる技術革新を加速する重要性に関する認識が強化される。

この報告書では、化学産業により可能な GHG 排出削減の現在の規模と将来の可能性を説明した。この将来の可能性を実現できるかどうかは、経済性と規制のバランスの最適化にか

かっている。化学産業は技術の費用対効果を改善する努力を今後も続ける。同時に、政府と規制機関は、世界の規制枠組みで全ライフサイクルでの影響が考慮されるよう保証する必要がある。それにより、世界経済を低炭素の道へと方向転換させる上で、化学産業はより効果的な役割を果たすことができる。

絶対値として世界的な GHG 削減を達成するには、以上の対策全部に加え、新たな技術の開発と普及に関する画期的な方法を組み合わせる必要がある。このプロジェクトでは、このような将来の作業の優先事項を設けるための支援を意図した。ライフサイクルに基づくアプローチにより、効率的なソリューションの使用が加速され、また、それらのソリューションを提供する工程も、GHG 効率の高いものになる。これら将来の改善を促進する建設的対話に参加するよう、関心のあるステークホルダーに呼びかけるために、この報告書の背表紙に、各地域での問い合わせ先を記した。

用語集

X:1	X:1 比率。化学物質のライフサイクル全体における排出量と、それにより可能な総削減量を比較した値。1:1 を超える X:1 比率は正味の CO ₂ e 削減を意味する。
BAU	Business-as-usual （現状努力継続）シナリオ。現在の政策を実施し、それ以外の追加的な政策はないと想定する。
CCS	炭素回収・貯留
CFL	電球型蛍光灯。普通の電球のソケットにはめ込むか、または小さい照明器具に接続できるタイプの蛍光灯。
cLCA	炭素ライフサイクル分析。CO ₂ 換算排出量のみ注目する評価(LCAを参照)。
CO₂e	二酸化炭素換算量。任意の混成と量の温室効果ガスを、指定期間（このプロジェクトでは100年）について測定される同じ地球温暖化係数（GWP）を持つCO ₂ 量で表した値。
GHG	温室効果ガス
GHG コスト曲線	マッキンゼー社のグローバル温室効果ガス削減コスト曲線 v.2。このコスト曲線は2009年2月に発表された。
Gt	ギガトン
使用段階	ライフサイクル中で製品が「使用」されている段階。つまり、生産後で廃棄処分前。
IPCC	気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は人間の活動が引き起こす気候変動の危険性を評価することを使命とする政府間の科学団体。
土地利用の変更	草原・森林から耕地への土地利用の変更。PAS2050では、一部の国に関し、指定された土地利用の変更から生じるCO ₂ e排出量の算出に関するガイドラインを定めている。
LCA	ライフサイクル評価。任意の製品またはサービスの存在に起因するか、またはそれにより必要になる環境影響の調査と評価。
Mt	メガトン。100万トン
PAS2050	モノとサービスにより実体化するCO ₂ e排出量の測定法に関する公的規格（PAS）。PAS2050の策定は、Defra（英国環境食糧農林省）とカーボントラストの要請により、2007年6月に始まった。

參考資料

Center for automotive industry research (CAIR) 2005

Defra, An assessment of the environmental impacts of organic farming, 2003

Du Pont, Peter, "Asian Energy Trends and Prospects for Energy Efficiency," USAID ECO-Asia presentation at TBLI Asia Conference, Bangkok, Thailand, 29 May 2008

Ecoinvent database v2.0, Life cycle inventory data, 2007

EFMA: European Fertilizer Manufacturers Association, Harvesting energy with fertilizers, 2008

FAO Fertilizer use by crop, 2006

Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007

GUA – Gesellschaft für umfassende. Analysen: "The contribution of plastics to resource efficiency" by GUA, commissioned by PlasticsEurope, 2005

ICCA review 2007-08

IEA: International Energy Agency, Feedstock and energy use of the chemical industry, 2005

IEA: World energy outlook 2008, 2008

Interview B. Krautzer Agriculture Research Center, LFZ Raumberg-Gumpenstein, December 2008

Lamps, Global Industry Analysts Inc, 2008

Market data on production volumes from CMAI, SRI, Tecnon

Market Search, Automotive plastics report 2003&2004

Meinshausen, "What Does a 2°C Target Mean for Greenhouse Gas Concentrations? A Brief Analysis Based on Multi-Gas Emission Pathways and Several Climate Sensitivity Uncertainty Estimates," in Schnellhuber (ed.) Avoiding Dangerous Climate Change, Cambridge University Press, 2006

Fischlin et al., "Brussels European Council, Presidency Conclusions", May 2007, p. 10

PAS2050: 2008 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services, Carbon Trust and Defra, 2008

Pathways to a Low-Carbon Economy, version 2 of the global greenhouse gas abatement cost curve, McKinsey, January 2009

Plastics Europe: "The compelling Facts of Plastics 2007"

SimaPro 7.1 LCA software, Pré consultants, 2008

Stern Review on the Economics of Climate Change, HM Treasury, United Kingdom, 2006

TNO study “Single use cups or reusable (coffee) drinking systems: an environmental comparison”, October 2007

United Nations Environment Program (UNEP), Sustainable Energy Finance Initiative, Global Trends in Sustainable Energy Investment, 2008

World Economic Forum (WEF), Contribution of the chemical industry to greenhouse-gas reduction, December 2007. Report available upon request

付録 I—cLCA 結果要約

以下の表は、この研究で特定し、計算した用途の一覧表である。各用途に関し、正味排出削減量、業界自体の排出量、X:1 値を掲げる。一部の用途では、複数の cLCA を総計して結果を求めた。例えば、自動車軽量化の cLCA では、アルミニウムを PA、鉄鋼を HDPE、ガラスを PC、布地を PUR に切り替えた場合の計算を合わせ、この用途での全体的な削減量を求めている。

この報告書の作成に必要としたデータの多くは機密情報であり、参加した企業から、それらを非公開扱いにするよう要求されている。これには、例えば、ある種の用途についての生産と廃棄処分の排出量に関するデータなどがある。

計算に用いた基本的な前提の詳細リスト

各 cLCA の算出には数多くのデータ源を使用している。透明性のために、15 の最も重要な事例に関して計算の主要前提を掲げた。守秘義務のために公開ができない様々な主要前提もあるが、最も重要な前提は、機密情報であるものも含めて、全てエコ・インスティテュートによる外部検証を受けている。

発泡断熱材の使用 - 地域、気候、建築基準、発泡断熱材の種類、改築/新築によるブレークダウン

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
10	233	2,407	25

全般的コメント

コメント項目	計算の前提	出典 / 根拠
Reference case	Mineral wool for roofs, none for walls and floors	
Regions considered	Europe, North America, Asia (incl. Japan)	Main relevant regions (incl. majority of insulation usage)
25 different cases	Differing in climate zone, building standard	Relevant differences for insulation
Annual volume of insulation materials PUR/XPS/EPS (kt)	North America: 533/157/192 Europe: 336/110/404 Asia: 295/139/687	Tecnon, SRI, GUA
Fuel mix	Oil: 45% Gas: 45% Wood: 10%	Conservative mix (no electricity), GUA
Carbon intensity fuel mix (incl. pre-chains)	346 gCO ₂ e/kWh	GUA
Efficiency heating system	90%	GUA

自らの排出量

インプット項目		数値	出典
Production footprint (kgCO ₂ /kg)	PUR	4.4	Participating companies, GUA
	XPS	2.8	Participating companies, GUA
	EPS	3.2	Participating companies, GUA
Production volume (kt)	PUR	1,165	Tecnon, SRI, GUA
	XPS	406	Tecnon, SRI, GUA
	EPS	1,283	Tecnon, SRI, GUA
End-of-life emissions (kgCO ₂ /kg)	PUR	0	GUA
	XPS	0	GUA
	EPS	0	GUA
Own emissions chemicals (ktCO ₂)	PUR	5,124	
	XPS	1,136	
	EPS	4,106	
Global own emissions (ktCO ₂)		10,366	

総排出削減量

化学以外の代替策の排出量

インプット項目		数値	出典
Production footprint (kgCO ₂ /kg)	Mineral wool	1.6	Participating companies, GUA
Production volume (kt)	Mineral wool	1,726	
End-of-life emissions (kgCO ₂ /kg)	Mineral wool	0	
Global own emissions non-chemicals (ktCO ₂)		2,762	

使用段階での節減量

インプット項目		数値	出典
Insulated surface (m ²)	Walls & floors	1,861,173,257	
	Roofs	465,732,476	
Difference in U-value (W/m ² K)	Walls & floors	-1.00	Company data for North America and Asia, GUA for wall data, Ecofys data for roof and floor (modified as in GUA study)
	Roofs	0	Company data for North America and Asia, GUA for wall data, Ecofys data for roof and floor (modified as in GUA study)
HDD (kdays)		2,793	Participating companies, GUA
Heat efficiency		0.6897	GUA
CO ₂ footprint of heating energy (kgCO ₂ /MJ)		0.074	Participating companies, GUA
Lifetime of insulation (years)		50	Participating companies, GUA
CO ₂ in-use savings (ktCO ₂ e)	Walls & floors	2,414,682	
	Roofs	0	
Global in-use savings (ktCO ₂ e)		2,414,682	

化学肥料及び作物保護の使用

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
312	6.17	1,614	5

全般的コメント

コメント項目	計算の前提	出典 / 根拠
Reference case	Organic farming	
Crops covered	Wheat Corn Rice Sugar cane Soy	Biggest cash crops
Total farming emissions (kgCO ₂ e/kg)	Wheat: 602 Corn: 434 Rice: 466 Sugar cane: 20 Soy: 507	Ecoinvent
Production footprint (kgCO ₂ e/kg)	N-fertilizer: 3.14 P-fertilizer: 0.7 K-fertilizer: 0.75 Pesticide: 11	Ecoinvent
Annual production (Mt)	Wheat: 607 Corn: 785 Rice: 652 Sugar cane: 1,558 Soy: 216	FAO
Amount of land currently used for crops	For each crop type, production and yield analyzed in 5 largest producing countries per crop; then extrapolated for entire crop produce	FAO, McKinsey analyses

自らの排出量

インプット項目		数値	出典
Production footprint (kgCO ₂ e/kg)	Weighted average	2.4	Ecoinvent
Volume of ammonia consumed (Mt)		153	
Share of ammonia used in fertilizer industry		85%	
Global own emissions (MtCO ₂ e)	Fertilizer and pesticide	312	

総排出削減量

化学以外の代替策の排出量

インプット項目		数値	出典
Global own emissions (MtCO ₂ e)	Organic farming	312	Assumes same footprint as for conventional farming

使用段階での節減量

インプット項目		数値	出典
Land in use today (million ha)	For all five crops	604.84	FAO Stat
Average yield reduction without use of synthetic fertilizer and crop protection	For all five crops	50%	Report European Fertilizer Manufacturers Association: 50% for fertilizers only + Expert View: 66% for fertilizers & pesticides, Defra, FAO, Expert interviews (ranging from 25-85%)
Land-use change emissions (ton CO ₂ e/ha/year)		1.5	PAS2050, Defra (most conservative, US grass land)
Share of fertilizer used for 5 largest crops		56%	FAO fertilizer used by crop, McKinsey analyses
Global own emissions (MtCO ₂ e)		1,614	

電球型蛍光灯（CFL）による照明

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
37	19.75	688	1

全般的コメント

コメント項目	計算の前提	出典 / 根拠
Reference case	Incandescent lighting	
Market share in light markets	US: 47% EU + Japan: 34% ROW: 19%	GIA
Energy footprint	US: 611 kgCO ₂ e/MWh EU + Japan: 500 kg-CO ₂ e/MWh ROW: 700 kgCO ₂ e/MWh	IEA

自らの排出量

インプット項目		数値	出典
Production footprint (kgCO ₂)	CFL	13	LCA by Rocky Mountain Institute
Production volume (lamps needed)	CFL	2,823,529,412	Worldwatch Institute
End-of-life emissions (kgCO ₂)	CFL	0	
Global own emissions (ktCO ₂ e)	CFL	36,706	

総排出削減量

化学以外の代替策の排出量

インプット項目		数値	出典
Production footprint (kgCO ₂)	Incandescent	0.65	LCA by Rocky Mountain Institute
Production volume (lamps needed)	Incandescent	2,823,529,412	
End-of-life emissions (kgCO ₂)	Incandescent	0	
Global own emissions (ktCO ₂ e)	Incandescent	1,835	

使用段階での節減量

インプット項目		数値	出典
Efficiency gain CFL	CFL	0.8	Philips, Osram
	Incandescent	78	
Power needed (Watt)	CFL	16	
Time (hours)		7,000	Osram
	Incandescent	543	
Energy needed (kWh)	CFL	109	
Energy footprint (kgCO ₂ e/MWh)		590	Weighted average based on IEA and GIA
CO ₂ in-use savings (kgCO ₂ e/lamp)	CFL	256	
Global CO ₂ in-use savings (ktCO ₂ e)	CFL	723,011	
Gross savings (ktCO ₂ e)	CFL	724,847	
Net CO ₂ savings (ktCO ₂ e)	CFL	688,141	

鉄、段ボール箱、アルミニウム、ガラス、紙、木などの従来の包装のポリマーによる代替 - 包装のタイプによるブレークダウン - 飲料、フレキシブル包装、フィルム、瓶、その他

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
295	1.75	222	13

全般的コメント

コメント項目	計算の前提	出典 / 根拠
Reference case	Tin; Aluminum; Glass white; Corrugated board; Paper, cardboard; Beverage carton; Wood	
Mass ratio breakdown of plastics used for each application	Detailed mass distribution per application	GUA study for Plastics Europe

自らの排出量

インプット項目	数値	出典
Production footprint (kgCO ₂ e/kg)	3.15	SimaPro, participating company
Production volume (kt)	90,838	Participating company, GUA study for Plastics Europe
End-of-life emissions (kgCO ₂ e/kg)	0.11	SimaPro, participating company
Global own emissions (ktCO ₂ e)	295,914	

総排出削減量

化学以外の代替策の排出量

インプット項目	数値	出典
Production footprint (kgCO ₂ e/kg)	4.28	SimaPro, participating company
Production volume (kt)	90,838	Participating company, GUA study for Plastics Europe
End-of-life emissions (kgCO ₂ e/kg)	1.12	SimaPro, participating company
Global own emissions non-chemical alternative (ktCO ₂ e)	490,617	

使用段階での削減量

インプット項目	数値	出典
Difference in in-use footprint (kgCO ₂ e/kg)	0.30	Taking into account reduced food losses
Production volume (kt)	90,838	Participating company, GUA study for Plastics Europe
Global in-use savings (ktCO ₂ e)	27,614	

防汚塗装による海上航行燃料の削減

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
10	20.00	190	1

全般的コメント

コメント項目	計算の前提	出典 / 根拠
Reference case	Without anti-fouling coating	
Annual production of anti-fouling paint (million liters)	193	SRI, company information, McKinsey analysis
CAGR of annual production of anti-fouling paint	0.8%	SRI

自らの排出量

インプット項目	数値	出典
Production footprint (kgCO ₂ e/liter)	4.50	AkzoNobel
Production volume over 12 years of corrosion paint (million liters)	2,219	SRI, company information, McKinsey analysis
End-of-life emissions (kgCO ₂ e/liter)	0	
Global own emissions (ktCO ₂ e)	9,986	

総排出削減量

化学以外の代替策の排出量

インプット項目		数値	出典
Production footprint (kgCO ₂ e/liter)	None	0	
Production volume (million liters)	None	0	
End-of-life emissions (kgCO ₂ e/liter)	None	0	
Global own emissions (ktCO ₂ e)	None	0	

使用段階での削減量

インプット項目		数値	出典
Annual marine fuel consumption (kt)		219,934	IEA
Fuel consumption reduction due to use of anti-fouling paint		29%	Participating company info, triangulated with IMO
Marine fuel footprint (incl. pre-chain) (kgCO ₂ e/kg heavy fuel)		3.65	Eco-invent, company info
Share of savings realized in one year		9%	
Time horizon (years)		10	
Global CO ₂ in-use savings (ktCO ₂ e)		199,689	

合成繊維 - ポリエステルによる木綿の代替

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
82	2.64	134	1

全般的コメント

コメント項目	計算の前提	出典 / 根拠
Reference case	100% cotton	
Volume distribution	GDP: Europe + Japan: 40% US: 40% ROW: 20%	GDP as reasonable proxy for distribution

自らの排出量

インプット項目	数値	出典
Production footprint (incl. CH ₄) (kgCO ₂ /kg)	5.6	Autex Research Journal Vol 1, No.1, 1999
Production volume (kt)	14,760	fibre2fashion
End-of-life emissions (kgCO ₂ /kg)	-0.06	Autex Research Journal Vol 1, No.1, 1999
Global own emissions (ktCO ₂ e)	81,705	

総排出削減量

化学以外の代替策の排出量

インプット項目		数値	出典
Production footprint (incl. CH ₄) (kgCO ₂ /kg)	Cotton	7.3	Autex Research Journal Vol 1, No.1, 1999
Lifetime factor		2	Lifetime half as long as for 50/50 textile
Production volume (kt)		14,760	fibre2fashion
End-of-life emissions (kgCO ₂ /kg)		0	Autex Research Journal Vol 1, No.1, 1999 (100% landfill assumption)
Global own emissions (ktCO ₂ e)	Reference for Polyester	215,496	

使用段階での節減量

インプット項目		数値	出典
Global CO ₂ in-use savings (ktCO ₂ e)	50/50 Polyester/Cotton	0	Ignored (conservative)

自動車軽量化用ポリマー材料

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
66	2.89	124	8

全般的コメント

コメント項目	計算の前提	出典 / 根拠
Reference case	Steel/Aluminum for PE/PP/PEEK/PA; Glass for PC; Textile for PUR	
Polymer production footprints	Based on company data where available; Plastics Europe database used when not available	Participating companies, Plastics Europe, SimaPro
Other material production and disposal footprints (kgCO ₂ e/kg)	Steel - production: 2.9, disposal credit: 0.92 Aluminum - production: 12.2, disposal credit: 8.24 Glass - production: 0.98 Textile - production: 6.5	SimaPro
Weight ratios	Steel - polymer: 220% Aluminum - polymer: 170% Glass - polymer: 250% Textile - polymer: 120%	GUA, BCC, SLC consortium, McKinsey analysis
Plastics use in US automotive industry, 2005 (kt)	1,983 in total, of which 1,589 is replaceable	Automotive Plastics Report 2003 & 2004, SLC consortium, BCC report, Press searches, McKinsey analyses
Regional plastics demand for automotive industry	Europe: 32.2% US: 19.1% Asia: 35.5% ROW: 13.2%	CAIR

自らの排出量

インプット項目	数値	出典
Production footprint (kgCO ₂ e/kg)	6.91	Participating companies, Plastics Europe, SimaPro
Production volume (kt)	10,360	GUA, BCC, SLC consortium, McKinsey analysis
End-of-life emissions (kgCO ₂ e/kg)	-0.58	Participating companies, Plastics Europe, SimaPro
Global own emissions (ktCO ₂ e)	65,504	

前ページからの続き

総排出削減量

化学以外の代替策の排出量

インプット項目		数値	出典
Production footprint (kgCO ₂ e/kg)		9.72	SimaPro
Production volume (kt)		16,883	GUA, BCC, SLC consortium, McKinsey analysis
End-of-life emissions (kgCO ₂ e/kg)		-6.15	SimaPro
Global own emissions (ktCO ₂ e)		60,332	

使用段階での節減量

インプット項目		数値	出典
Global weight difference (kt)		8,305	GUA, BCC, SLC consortium, McKinsey analysis
Fuel savings factor (liters/100 km for every 100 kg of car weight)		0.35	Expert interviews, most predominant number in LCA calculations
Car lifecycle (km)		150,000	Average used by industry for automotive LCAs
CO ₂ emissions (incl. pre-chain) (kgCO ₂ e/liter)	Gasoline	2.92	Gemis
	Diesel	3.13	
Gasoline/diesel car parc split	Gasoline	80%	OICA
	Diesel	20%	
CO ₂ in-use savings (ktCO ₂ e)	Gasoline	101,228	
	Diesel	27,790	
Total CO ₂ in-use savings (ktCO ₂ e)		129,018	

低温合成洗剤

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
11	9.08	81	2

全般的コメント

コメント項目	計算の前提	出典 / 根拠
Reference case	Soap	
Washing cycle energy (kWh)	US: 60C - 4.3 (vertical axis), 1.8 (horizontal axis) 37C - 2.3 (vertical axis), 1.0 (horizontal axis) EU: 60C - 0.998 37C - 0.719	Eco design, Consumer guide to home energy savings
Energy footprint (kgCO ₂ e/MWh)	EU: 500 US: 611 ROW: 700	IEA
Global detergent distribution	EU + Japan: 35% US: 20% ROW: 45%	Euromonitor

前ページからの続き

自らの排出量

インプット項目		数値	出典
Production footprint (gCO ₂ eq/wash load)	Synthetic detergents	32	Company data
	Addition of detergent enzymes	5	Company data
Production volume (million wash loads)	Synthetic detergents	158,516	Consumer market for detergents, Euromonitor,
	Addition of detergent enzymes	130,000	McKinsey analyses
End-of-life emissions (gCO ₂ eq/wash load)	Synthetic detergents	33	Company data
	Addition of detergent enzymes	0	Company data
Global own emissions (ktCO ₂ e)	Synthetic detergents	10,331	
	Addition of detergent enzymes	650	
Total own emissions (ktCO ₂ e)		10,981	

総排出削減量

化学以外の代替策の排出量

インプット項目		数値	出典
Production footprint (gCO ₂ eq/ wash load)	Soap	197	Company data
Production volume (million wash loads)	Soap	158,516	Consumer market for detergents, Euromonitor, McKinsey analyses
End-of-life emissions (gCO ₂ eq/ wash load)	Soap	112	Company data
Global own emissions (ktCO ₂ e)	Soap	49,009	

使用段階での節減量

インプット項目		数値	出典
CO ₂ in-use savings (gCO ₂ eq/ wash load)	Synthetic detergents Europe + ROW	171	Eco design, IEA
	Synthetic detergents US	599	Eco design, IEA
	Addition of detergent enzymes (corrected for overlap)	77	Eco design, IEA
Production volume (million wash loads)	Synthetic detergents Europe + ROW	93,275	Euromonitor, McKinsey analyses
	Synthetic detergents US	31,952	Euromonitor, McKinsey analyses
	Addition of detergent enzymes (corrected for overlap)	103,020	
CO ₂ in-use savings (ktCO ₂ e)	Synthetic detergents Europe + ROW	15,965	
	Synthetic detergents US	19,132	
	Addition of detergent enzymes (corrected for overlap)	7,881	
Global CO ₂ in-use savings (ktCO ₂ e)		42,978	

エンジン効率の向上

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
3.4	20.78	68	3

A. ガソリン添加剤 - 燃費の改善

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
1.4	20.76	28	1

全般的コメント

コメント項目	計算の前提	出典 / 根拠
Reference case	Without fuel additives	
Middle class car lifetime (km)	200,000	Company data
Gasoline consumption per 100 km (liter)	8.7	Company data
Reduction in fuel consumption due to additives	2%	Company data
In-use savings due to fuel consumption reduction (kgCO ₂ e/l)	2.9	Literature
Annual consumption of gasoline fuel additives (deposit control) (kt)	EMEA: 90.1 US: 183.9	Frost & Sullivan 2005 Freedonia 2008

自らの排出量

インプット項目	数値	出典
Production footprint (kgCO ₂ e/kg)	Undisclosed company data	Company data
Production volume (kt)	Undisclosed company data	Company data
End-of-life emissions (kgCO ₂ /kg)	0	

総排出削減量

化学以外の代替策の排出量

インプット項目	数値	出典
Production footprint (kgCO ₂ e/kg)	0	
Production volume (kt)	274.1	Frost & Sullivan 2005, Freedonia 2008
End-of-life emissions (kgCO ₂ e/kg)	0	
Global own emissions (ktCO ₂ e)	0	

使用段階での節減量

インプット項目	数値	出典
Production volume (kt)	274.1	Frost & Sullivan 2005, Freedonia 2008
Global CO ₂ in-use savings (ktCO ₂ e)	29,018	

B. ディーゼル添加剤 - 燃費の改善

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
0.2	111.35	24	1

全般的コメント

コメント項目	計算の前提	出典 / 根拠
Reference case	Without fuel additives	
Middle class car lifetime (km)	200,000	Company data
Fuel consumption per 100 km (liter)	8	Company data
Reduction in fuel consumption due to additives	2%	Company data
Annual consumption of diesel fuel additives (deposit control) (kt)	EMEA: 30.24 US: 37.15	Frost & Sullivan 2005, for US: derived from EMEA and diesel volumes in EMEA and US

自らの排出量

インプット項目	数値	出典
Production footprint (kgCO ₂ e/kg)	Undisclosed company data	Company data
Production volume (kt)	Undisclosed company data	Company data
End-of-life emissions (kgCO ₂ /kg)	0	

総排出削減量

化学以外の代替策の排出量

インプット項目	数値	出典
Production footprint (kgCO ₂ e/kg)	0	
Production volume (kt)	67.39	Frost & Sullivan 2005
End-of-life emissions (kgCO ₂ e/kg)	0	
Global own emissions (ktCO ₂ e)	0	

使用段階での節減

インプット項目	数値	出典
Production volume (kt)	67.39	Frost & Sullivan 2005
Global CO ₂ in-use savings (ktCO ₂ e)	24,111	

C. 自動車駆動系の効率改善のための合成潤滑剤

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
1.8	9.93	16	1

全般的コメント

コメント項目	計算の前提	出典 / 根拠
Reference case	Lubricating mineral oil	
Fuel consumption resulting from use of synthetic lubricants	Average of 5%	Synthetic lubricant producer websites, interviews (range: 2-8%)
Global engine oil demand (t)	12,720	Freedonia
Share of synthetic lubricants in global engine oil demand	7.1%	Freedonia
Global gasoline and diesel consumption 2005 (billion gallon)	516	Tecnon

自らの排出量

インプット項目	数値	出典
Production footprint (kgCO ₂ e/kg)	Synthetic lubricant	2.00
Production volume (kt)		903
End-of-life emissions (kgCO ₂ /kg)		0
Global own emissions (ktCO ₂ e)		1,806

総排出削減量

化学以外の代替策の排出量

インプット項目		数値	出典
Production footprint (kgCO ₂ e/kg)	Lubricating mineral oil	1.07	
Production volume (kt)		903	Freedonia
End-of-life emissions (kgCO ₂ e/kg)		0	
Global own emissions (ktCO ₂ e)		966	

使用段階での節減量

インプット項目		数値	出典
Fuel consumption of cars using synthetic oil (billion gallon)		36.64	Tecnon, Freedonia
Fuel consumption reduction		5%	Synthetic lubricant producer websites, interviews
Fuel footprint (kgCO ₂ e/gallon)		8.8	
Global CO ₂ in-use savings (ktCO ₂ e)		16,968	

異なるタイプの配管におけるコンクリート、ガラス、アルミニウム、鉄等のポリマー材料による代替

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
52	2.25	65	6

全般的コメント

コメント項目	計算の前提	出典 / 根拠
Reference case	Zinc coated iron, cast iron, copper, fibrece-ment, stoneware and concrete to replace HDPE and PVC drinking and waste water pipes	GUA
Share of drinking and waste water pipes	64%	GUA
Annual production (Mt)	HDPE: 31.6 PVC: 35.8	Tecnon Tecnon
Fraction of production used for pipes	HDPE: 11% PVC: 40%	SRI ECVM

自らの排出量

インプット項目		数値	出典
Production footprint (kgCO ₂ e/kg)	Drinking water pipes	2.98	Participating companies, GUA
	Waste water pipes	2.55	Participating companies, GUA
Production volume (kt)	Drinking water pipes	3,609	GUA
	Waste water pipes	8,862	GUA
End-of-life emissions (kgCO ₂ e/kg)	Drinking water pipes	0	Negligible (GUA)
	Waste water pipes	0	Negligible (GUA)
Global own emissions (ktCO ₂ e)	Drinking water pipes	10,763	
	Waste water pipes	22,616	
Global own emissions for all pipes (ktCO ₂ e)		52,155	

総排出削減量

化学以外の代替策の排出量

インプット項目		数値	出典
Production footprint (kgCO ₂ e/kg)	Drinking water pipes	2.01	Participating companies, GUA
	Waste water pipes	0.59	Participating companies, GUA
Production volume (kt)	Drinking water pipes	16,425	Participating companies, GUA
	Waste water pipes	72,224	Participating companies, GUA
End-of-life emissions (kgCO ₂ e/kg)	Drinking water pipes	0	Negligible (GUA)
	Waste water pipes	0	Negligible (GUA)
Global own emissions (ktCO ₂ e)	Drinking water pipes	32,952	
	Waste water pipes	42,262	
Global own emissions for all pipes (ktCO ₂ e)		117,522	

使用段階での節減量

インプット項目		数値	出典
CO ₂ in-use savings (ktCO ₂ e)		0	No in-use emissions

風力発電機におけるガラス及び炭素繊維の使用

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
0.5	123.29	63	1

全般的コメント

コメント項目	計算の前提	出典 / 根拠
Reference case	Non-chemical construction emissions subtracted from emission savings	Conservative
Wind turbine chosen as base for calculation	Vestas V90 - 3.0 MW	
Production footprints	Detailed per material and construction phase	Vestas
Electricity footprint per region (kgCO ₂ e/MWh)	EU + Japan: 500 US: 611 ROW: 700	IEA
Wind turbine power generation (MWh/year)	Onshore: 7,890 Offshore: 14,230	Vestas
Wind turbine lifetime (years)	20	
Wind turbine installed capacity 2007 (MW)	NA: 5,815 EU: 8,085 South and East Asia: 5,010 Pacific: 597 Africa: 86	BTM

自らの排出量

化学製品の構成部品

インプット項目		数値	出典
Production footprint (tCO ₂ e/lifetime)	Onshore	79	Vestas
	Offshore	79	Vestas
Annual new installed capacity (MW)	Onshore	19,593	BTM
	Offshore	200	BTM
End-of-life emissions (tCO ₂ e/lifetime)	Onshore	0	
	Offshore	0	
Global own emissions (ktCO ₂ e)	Onshore	513	
	Offshore	5	
Total own emissions (ktCO ₂ e)		518	

その他の構成部品

インプット項目		数値	出典
Production footprint (tCO ₂ e/lifetime)	Onshore	654	Vestas
	Offshore	1410	Vestas
Annual new installed capacity (MW)	Onshore	19,593	BTM
	Offshore	200	BTM
End-of-life emissions (tCO ₂ e/lifetime)	Onshore	0	
	Offshore	0	
Global own emissions (ktCO ₂ e)	Onshore	4,269	
	Offshore	94	
Total own emissions (ktCO ₂ e)		4,363	

総排出削減量

使用段階での節減量

インプット項目		数値	出典
Total in-use savings (tCO ₂ e/lifetime)	Onshore	88,259	IEA
	Offshore	137,780	IEA
Share of epoxy value in wind turbine value		12%	Vestas, SRI, LME, Steel business briefing, netfabrics, McKinsey analyses
Annual new installed capacity (MW)	Onshore	19,593	BTM
	Offshore	200	BTM
CO ₂ in-use savings (ktCO ₂ e)	Onshore	67,211.57	
	Offshore	1,071.02	
Total CO ₂ in-use savings (ktCO ₂ e)		68,283	

地域暖房における発泡コーティングの利用

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
0.24	231.24	55	1

全般的コメント

コメント項目	計算の前提	出典 / 根拠
Reference case	None	
Pipe lifetime (years)	30	Froling LCA
Design of system	4 MW network	Logstor network proposal
Detailed network design	2000m 150mm pipe 2000m 100mm pipe 4000m 80mm pipe 1000m 50mm pipe	Logstor network proposal
Average district heating footprint (g CO ₂ e/kWh)	139	Euroheat, McKinsey analysis - 38% coal, 7% oil, 21% gas, 8% waste, 25% renewables
Reduction of overall heating footprint over lifetime	1% p.a.	Conservative assumption
Average alternative heating footprint (alternative to district heating) (g CO ₂ e/kWh)	450	EuroHeat, McKinsey analysis
Annual mass of PUR in piping	Undisclosed	Company info

自らの排出量

インプット項目	数値	出典
Production footprint (tCO ₂ e/system)	98	Chalmers University of Technology
Production volume (Number of systems)	2,434	Froling LCA, Huntsman, IAL consultants
End-of-life emissions (kgCO ₂ e/system)	0	
Global own emissions (ktCO ₂ e)	240	

総排出削減量

化学以外の代替策の排出量

インプット項目	数値	出典
Global own emissions (ktCO ₂ e)	0	

使用段階での節減量

インプット項目	数値	出典
CO ₂ e savings over lifetime (kgCO ₂ e/kWh)	8.12	
Heat delivery of 4 MW-system (MWh)	6,257	EuroHeat
CO ₂ e savings over lifetime (t CO ₂ e/system)	50,811	
Production volume (Number of systems)	2,434	Froling LCA, Huntsman, IAL consultants
Share of plastics in 4 MW-system	45%	Logstor, Steel business briefing
Global CO ₂ in-use savings (ktCO ₂ e)	55,403	

太陽電池におけるトリクロロシランの使用

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
8	5.30	35	2

全般的コメント

コメント項目	計算の前提	出典 / 根拠
Reference case	None	
Annual output of solar cells (kWh/Wp)	1.7	Weighted average, cross-regional, Miasole
Degradation of solar cells	1% p.a.	Joint research center - EU
Global installed solar power, 2007 (MWp)	2,258 Regional breakdown: Germany 1,135.00 - Spain 512.00 - Japan 210.40 - US 206.50 - Italy 70.20 - South Korea 42.87 - France 31.30 - Portugal 14.45 - Australia 12.19 - Switzerland 6.50 - Canada 5.29 - UK 3.81 - Austria 2.12 - Netherlands 1.61 - Sweden 1.39 - Mexico 1.02 - Israel 0.50 - Norway 0.32 - Denmark 0.18	Aggregated industry reports, McKinsey analyses

自らの排出量

インプット項目	数値	出典
Production footprint (kgCO ₂ e/Wp)	3.63	Company info
Production volume (installed MWp)	2,258	Aggregated industry reports, McKinsey analyses
End-of-life emissions (kgCO ₂ e/Wp)	0	
Global own emissions (ktCO ₂ e)	8,202	

総排出削減量

化学以外の代替策の排出量

インプット項目	数値	出典
Global own emissions (ktCO ₂ e)	0	

使用段階での節減量

インプット項目	数値	出典
CO ₂ e savings (kgCO ₂ e/Wp)	1.13	IEA
Average electricity output	91%	Miasole, Joint research center – EU
Production volume (installed MWp)	2,258	Aggregated industry reports, McKinsey analyses
Lifetime of solar panel (years)	20	Industry average
TCS share of all solar cells	94%	Company info
Global CO ₂ in-use savings (ktCO ₂ e)	43,479	

飼料添加物としての合成メチオニン

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
2.3	23.12	51	1

6種類の電子部品ケーシング

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
25	2.93	48	6

オレンジからの天然ビタミンC抽出に代わる合成ビタミンCの製造

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
2.5	19.39	46	1

農業用温室におけるガラスのポリマーによる代替

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
61	1.50	30	1

綿衣料の手入れ簡単化のための仕上げ剤（アイロン簡便化）

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
30	1.90	27	1

サトウキビエタノールによるガソリンの代替

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
7	4.51	25	1

窓枠における木及びアルミニウムのポリマー材料による代替

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
11	2.73	19	2

衣料 - ナイロンによる木綿の代替

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
13	1.79	10	1

航空機の軽量化 - 炭素繊維によるアルミニウムの代替

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
0.14	70.55	10	3

'グリーンタイヤ' - 転がり抵抗改善のためのシリカ/シランの使用

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
0.19	50.76	9.6	1

タイヤでの天然ゴムに代わる合成ゴムの更なる使用

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
348.08	1.02	8.2	1

大豆油からの天然ビタミンEの抽出に代わる合成ビタミンEの製造

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
0.44	3.39	1.05	1

化学製品を用いた穀物保存

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
0.39	2.85	0.72	1

家庭用品へのプラスチックの使用 - 大型サイズ（ゴミ入れに基づく）

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
1.41	1.50	0.71	1

酵素の利用によるパンの製品寿命の伸長

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
0.60	2.15	0.69	1

肥料への補助剤の使用

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
0.42	1.93	0.39	1

飼料の栄養吸収増進のための酵素の使用

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
0.00	88.27	0.33	1

冷蔵庫の断熱

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
15.64	1.00	0.05	1

カーペットへのポリマーの使用

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
5.85	1.05	0.03	1

酵素を用いた果汁圧搾の収量の向上

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
0.00	17.78	0.01	1

酵素による大豆油の脱ガム化

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
0.00	8.33	0.01	1

ワインの安定化のための冷却に代わる酵素の使用

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
0.00	3.71	0.00	1

バイオ燃料によるガソリンの代替

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
0.00	4.00	0.00	1

削片板表面の化粧板のメラミン樹脂による代替

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
0.24	0.29	-0.17	1

家庭用品へのプラスチックの使用 - 中型サイズ (バケツに基づく)

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
4.66	0.96	-0.18	1

食器 - カップ：プラスチックによるガラスの代替

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
1.86	0.88	-0.22	1

食器 - 皿：プラスチックによる磁器の代替

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
3.24	0.86	-0.46	1

家庭用品へのプラスチックの使用 - 小型サイズ（鮮度保持容器に基づく）

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
4.66	0.84	-0.75	1

リノリウムの塩ビ・フローリングによる代替

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
8.98	0.88	-1.11	1

食器 - ナイフ、フォーク等のカトラリー：プラスチックによる鉄の代替

要約

自らの排出量 (MtCO ₂ e)	総削減比率 X : 1	正味の排出削減量 (MtCO ₂ e)	評価した事例数
4.72	0.51	-2.32	1

廃棄に関する前提

廃棄の計算においては、個別 c LCA に関して特定の情報が得られている場合を除き、以下の一般的な前提が用いられた。

■ プラスチック

	リサイクル率	埋め立て	熱回収を伴う焼却
EU、日本	20%	50%	30%
米国	15%	75%	10%
その他の地域	10%	80%	10%

■ 金属（地域分布はないものと仮定）

	リサイクル率	埋め立て
鉄	70%	30%
アルミニウム	60%	40%
銅	85%	15%

- 埋め立てで廃棄処分されるプラスチック/ガラス及び金属以外の材料の温室効果ガス排出量は 2.3 kgCO₂e/kg とする。
- 熱回収を伴う焼却による CO₂e の排出量控除は次の通り計算を行う：
地域の廃棄物熱回収率 × 燃焼エネルギー (kilojoules/kg) × 30% 電力への変換係数 × 地域の電力 CO₂e 排出係数 (CO₂e/MWh)
- 地域の電力 CO₂e 排出係数:EU、日本 – 500 kgCO₂e/ MWh、米国 – 611 kgCO₂e/MWh、その他の地域 – 700 kgCO₂e/MWh
- 燃焼エネルギー- kilojoules/kg : PE 46,000、PP 46,000、PS 42,000、PVC 20,000、PMMA 26,000、PA12 34,000、Polyester 18,000。出典 : Plastemart

付録 II－化学産業に関連づけられる GHG 排出量

図 A.II.1

化学産業と関連する GHG 排出量－エネルギー起源 GHG 直接排出量（2005）

地域名	燃料消費量 (MWh) *			総計	燃料あたりの排出量 (MtCO ₂ e) **			総計
	石炭	天然ガス	石油		石炭	天然ガス	石油	
ブラジル	1.972.087	24.018.103	30.956.781	56.946.971	0,7	4,9	8,7	14,2
カナダ	-	25.541.000	718.475	26.259.475	-	5,2	0,2	5,4
中国	348.740.419	92.207.327	59.540.483	500.488.229	124,3	18,6	16,6	159,5
フランス	4.668.387	34.492.936	26.856.196	66.017.519	1,7	7,0	7,5	16,1
ドイツ	3.858.637	60.828.500	1.066.487	65.753.624	1,4	12,3	0,3	14,0
インド	15.078.551	-	42.571.906	57.650.457	5,4	-	11,9	17,3
イタリア	157.255	33.156.925	7.843.817	41.157.997	0,1	6,7	2,2	9,0
日本	44.409.107	21.274.423	124.402.047	190.085.577	15,8	4,3	34,8	54,9
メキシコ	-	30.831.000	5.602.302	36.433.302	-	6,2	1,6	7,8
中東	-	239.807.447	37.719.288	277.526.735	-	48,5	10,5	59,0
アフリカのその他	-	6.480.500	300.926	6.781.426	-	1,3	0,1	1,4
その他開発途上アジア	317.580	13.830.752	31.943.377	46.091.709	0,1	2,8	8,9	11,8
東欧のその他	1.448.960	13.005.392	5.632.932	20.087.285	0,5	2,6	1,6	4,7
EU27 のその他	31.675.003	149.514.065	23.089.848	204.278.916	11,3	30,2	6,5	48,0
中南米のその他	1.067.518	87.541.575	4.772.271	93.381.363	0,4	17,7	1,3	19,4
OECD 欧州のその他	2.769.300	13.155.488	20.344.184	36.268.971	1,0	2,7	5,7	9,3
OECD 太平洋のその他	4.910.910	12.073.699	19.359.251	36.343.859	1,7	2,4	5,4	9,6
ロシア	180.144	91.899.548	2.696.474	94.776.166	0,1	18,6	0,8	19,4
南アフリカ	-	11.107.500	-	11.107.500	-	2,2	-	2,2
英国	946.510	37.279.750	2.121.367	40.347.627	0,3	7,5	0,6	8,5
米国	65.282.818	478.667.250	101.197.100	645.147.167	23,3	96,8	28,3	148,3
合計	527.483.187	1.476.713.179	548.735.510	2.552.931.876	187,9	298,5	153,4	639,9

* 15 種類以上の化石燃料をまとめた

** 排出係数 石炭 3.563x10⁻⁷ MtCO₂e/MWh 天然ガス 2.0215x10⁻⁷ MtCO₂e/MWh 石油 2.7954 x10⁻⁷ MtCO₂e/MWh

出典：IEA

Source: IEA

図 A.II.2

化学産業と関連する GHG 排出量－エネルギー起源 GHG 間接排出量（2005）

国名	電力消費量	電力の CO ₂ 排出原単位	CO ₂ e 排出量
ブラジル	MWh	21.094 tCO ₂ e/MWh	0,090 Mt CO ₂ e
カナダ	MWh	19.503 tCO ₂ e/MWh	0,220 Mt CO ₂ e
中国	MWh	284.190 tCO ₂ e/MWh	1,0900 Mt CO ₂ e
フランス	MWh	23.869 tCO ₂ e/MWh	0,090 Mt CO ₂ e
ドイツ	MWh	54.765 tCO ₂ e/MWh	0,650 Mt CO ₂ e
インド	MWh	88.603 tCO ₂ e/MWh	1,050 Mt CO ₂ e
イタリア	MWh	19.015 tCO ₂ e/MWh	0,500 Mt CO ₂ e
日本	MWh	53.487 tCO ₂ e/MWh	0,470 Mt CO ₂ e
メキシコ	MWh	5.908 tCO ₂ e/MWh	0,580 Mt CO ₂ e
ロシア	MWh	39.970 tCO ₂ e/MWh	1,010 Mt CO ₂ e
南アフリカ	MWh	10.081 tCO ₂ e/MWh	0,750 Mt CO ₂ e
英国	MWh	23.162 tCO ₂ e/MWh	0,520 Mt CO ₂ e
米国	MWh	254.338 tCO ₂ e/MWh	0,640 Mt CO ₂ e
中東	MWh	2.293 tCO ₂ e/MWh	0,770 Mt CO ₂ e
EU27 のその他	MWh	81.509 tCO ₂ e/MWh	0,470 Mt CO ₂ e
OECD 太平洋のその他	MWh	44.274 tCO ₂ e/MWh	0,680 Mt CO ₂ e
アフリカのその他	MWh	2.296 tCO ₂ e/MWh	0,650 Mt CO ₂ e
開発途上アジアのその他	MWh	11.327 tCO ₂ e/MWh	0,670 Mt CO ₂ e
中南米のその他	MWh	7.543 tCO ₂ e/MWh	0,320 Mt CO ₂ e
東欧のその他	MWh	11.432 tCO ₂ e/MWh	0,790 Mt CO ₂ e
OECD 欧州のその他	MWh	14.987 tCO ₂ e/MWh	0,230 Mt CO ₂ e
合計	MWh	1.073.646 tCO ₂ e/MWh	0,747 Mt CO ₂ e

出典：IEA

図 A.II.3

化学産業と関連する GHG 排出量 - GHG プロセス排出量

化学物質	世界生産量 (kt)	排出係数 (kgCO ₂ e/kg)	排出量 (MtCO ₂ e)
アジピン酸	2,549	10,97	28
エチレンオキシド	14,074	0,90	13
エチレン	92,949	1,65	154
メタノール	30,598	0,72	22
VCM	28,311	0,29	8
硝酸	49,716	2,31	115
カプロラクタム	3,415	2,79	10
アンモニア	142,239	1,40	199
炭化カルシウム	10,003	1,09	11
二酸化チタン	4,498	1,34	6
ソーダ灰	41,844	0,14	6
アクリロニトリル	4,636	1,00	5
カーボンブラック	8,788	2,62	23
HCFC-22	515	147,56	76
合計			674

化学物質の選択は、それら 14 種の製品が「世界の温室効果ガス排出量に有意に寄与する」として IPCC の評価に基づく。

付録 III－化学産業の GHG 削減コスト曲線

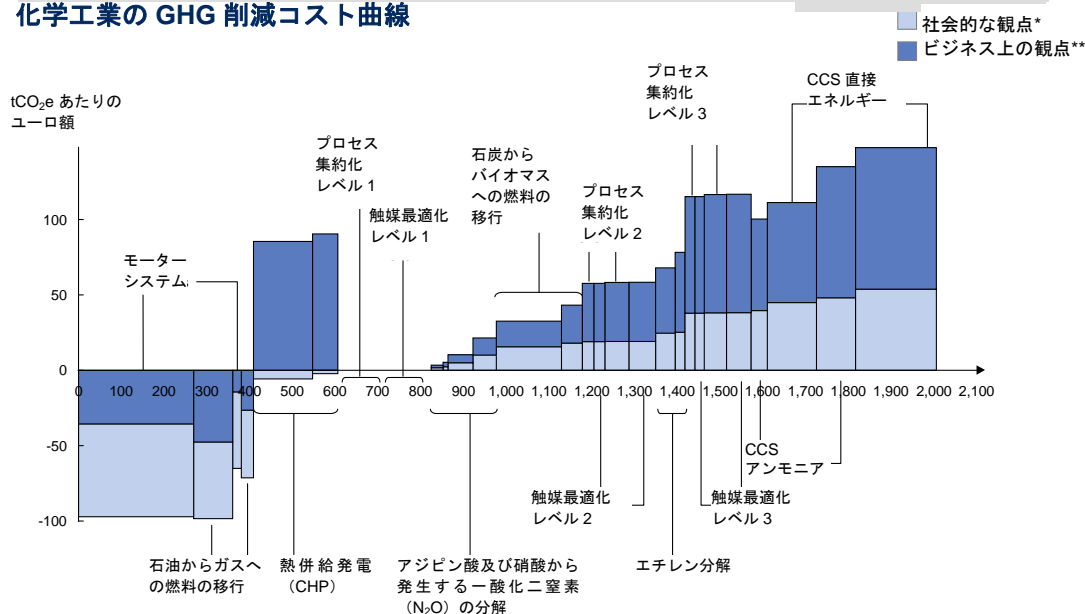
(マッキンゼー社のご好意により掲載 — 報告書 ”Pathways to a Low-Carbon Economy” に基づくと共に、追加的な分析により補足)

削減ポテンシャル

世界の化学産業は一致協力した削減努力を通じて2030年までに排出量の大幅な削減を達成できる。この研究で特定した削減対策の一部は投資純利益がプラスになる（そして少なくとも部分的には現状努力継続（BAU）シナリオの一部として起きる）が、他の削減手段は資金と技術の両面で相当の努力を必要とする。特にそれは、社会的な観点（利率4%、減価償却期間は装置の寿命）ではなく、ビジネス上の観点（利率10%、減価償却期間は10年間）から見た場合に顕著となる。以下では30の削減手段を特定し、それらを4つのカテゴリーに分類した（図A.III.1、図16と同じ）。

図 A.III.1

化学工業の GHG 削減コスト曲線



注： 曲線は、tCO₂e あたり EUR 60 未満（社会的な観点）の技術的 GHG 削減対策に関し、各手段を積極的に進めた場合の最大ポテンシャルの推定値を表す。さまざまな削減対策・技術がどのような役割を果たすかという予想ではない。

* 利率 4%、減価償却期間は装置の寿命

** 利率 10%、減価償却期間 10 年

出典： 地球の GHG 削減コスト曲線 第 2.0 版 McKinsey & Company

A. エネルギー効率向上。約 1,100 MtCO_{2e} のエネルギー効率向上対策は総削減ポテンシャルの 55 パーセントに相当し、その殆どで投資純利益がプラスになる（社会的な観点から見た場合）。この例としては、モーターシステム、熱電供給（CHP）、エチレン分解の改善、触媒の最適化などがある。

B. 燃料の移行。総削減ポテンシャルの 16 パーセントに相当する約 320 MtCO_{2e} は、例えば石油から天然ガス、石炭からバイオマスへといった、よりクリーンな代替燃料の比率の引き上げにより達成可能である。このカテゴリー内の殆どの削減対策は、社会的な視点で見て、比較的低コストで実現可能か、または純利益を生む。燃料移行対策を積極的に実施すれば、世界の総需給を考慮に入れた上で、2030 年までに現在の石炭使用量の約 50 パーセントはバイオマスに切り替えることができる。

C. 炭素回収・貯留（CCS） – 化学産業における CCS は総削減ポテンシャルの 21 パーセントに相当する約 420 MtCO_{2e} と推定される。CCS は生産サイクル中の発生源から排出された CO₂ を、地中の貯蔵場所に収納するなどの方法を使い、封鎖する新しい技術である。化学産業で利用可能な CCS 技術には、アンモニア生産で排出される純粋な CO₂ の流れを捕捉する方法と、発電における CCS と同様に、燃料の燃焼によって排出される CO₂ を回収する方法の 2 種類がある。但し、規模の経済性という要因が産業用途での小規模な適用を妨げる可能性がある。

D. CO₂ 以外の温室効果ガスの分解。地球温暖化係数の高い温室効果ガスの分解は化学産業セクターの削減ポテンシャルの約 8 パーセント、150 MtCO_{2e} を占める。このカテゴリーの削減手段には、硝酸とアジピン酸の生産で発生する N₂O の分解が含まれる。

化学産業セクターに関して特定された削減対策は、2030年には世界中で年間約2.0 GtCO_{2e}の排出削減量に達する。

冷蔵、空調、発泡剤用途で使われるオゾン破壊物質（ODS）の代用品への切り替えを通じ、2030 年には年間さらに数百メガトン CO_{2e} の削減ポテンシャルが生じる可能性があるが、この分析では、その可能性については詳細な評価を行っていない。

削減対策を社会的観点から総合的に検討すると、当初、削減コストはマイナスで、2020 年には tCO_{2e} あたりマイナス€ 3 であるが、分析期間中にプラスに転じ、2030 年には tCO_{2e} あたり約€ 5 に上昇する。この上昇の主な原因は、高コストの削減手段である CCS の導入である。燃料の移行、モーターシステムの切り替え、CHP の利用拡大によって、社会的な観点からは投資純利益が生じる、約 600 MtCO_{2e} という全体的に大きな削減ポテンシャルが実現可能である。化学産業セクターにおける削減の全体的な特徴は、初期の大規模投資と、その後の大きく、かつ増大する運転費用の節約である。最大削減努力（Abatement）ケースでは、2010 年から 2030 年に合計€ 5,200 億の設備投資が必要になる。この時間枠内に、主に燃料による省エネルギーを通じて、約€ 2,800 億の運転費用の節約を実現できる。

社会的な視点	平均コスト (tCO ₂ eあたりの€)	設備投資額 (年間€10億)	運転費用 (年間€10億)
2015	0	24	-7
2020	-3	24	-15
2025	5	29	-15
2030	5	27	-20

化学産業内でも地域によって炭素とエネルギーの排出原単位は大きく異なる。現在、中国及びそれ以外の世界の途上国地域では炭素排出原単位が欧米諸国よりもかなり大きい。生産技術が改善され、世界的に標準化されるにつれ、また、途上国地域でも排出削減手段が導入されるにつれ、この差は時とともに縮小するものと予想される。

最大の削減ポテンシャルが存在するのは、炭素排出原単位が高い地域である。例えば、主としてバイオ燃料への移行と CCS の導入による削減が予測される中国には総削減ポテンシャルの約 40 パーセントが存在する。また、途上国地域における削減手段への投資の方が、先進国におけるよりも高い投資利益率があげられる。例えば、中国は 2030 年の総削減ポテンシャルの 40 パーセントを占めるが、その必要総投資額に占める割合は 36 パーセント未満である。

実施上の課題

化学産業における削減手段により排出量の削減を成功させるためには、いくつかの条件が満たされる必要がある。

- **代替燃料の開発と供給可能性。**石油から天然ガス、石炭からバイオマスへの移行は、炭素排出量の削減における重要な一歩である。しかしながら、地域によっては、化石燃料に代わる生産用一次燃料としてバイオマスの十分な供給を確保することが難しい場合がありうるだろう。
- **技術とインフラストラクチャー。**CCS は初期段階の技術で、化学産業での導入については今後まだ試験が必要であり、負担とインフラ整備についてもまだ適切な計画が設定されていない。CCS の配備は 2020 年以降になるものと予想される。
- **経済性。**初期投資が重要であり、それは社会的な視点ではなく、ビジネス上の視点を採用した場合には更に重要になる。政府はこのような（特に、CCS のように開発中の技術のための）初期投資を促進するために、それに有利なビジネス上の条件を用意し、社会的視点とビジネス上の視点の間に存在する重大なギャップを埋める努力をする必要がある。

付録 IVーコスト曲線の方法論解説

(マッキンゼー社のご好意により掲載)

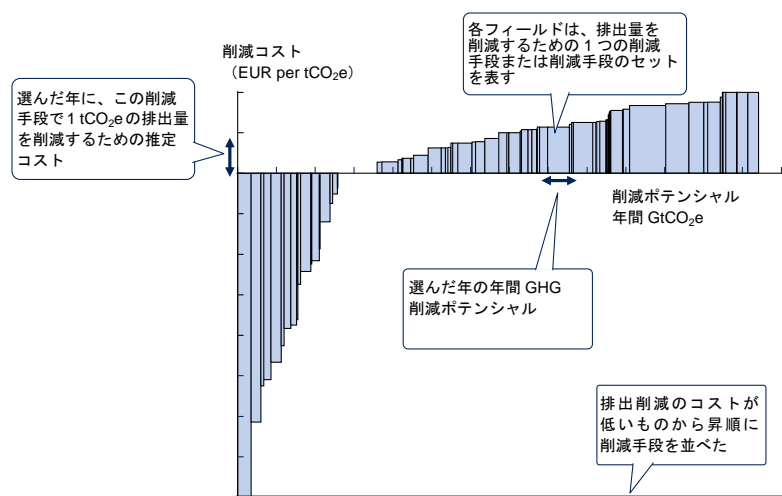
このセクションでは、削減ポテンシャル、コスト、投資の分析についての方法論的なアプローチを説明する。

削減コスト曲線の作成

削減コスト曲線の両軸は、特定の年における利用可能な技術的手段、それらの相対的影響（排出量削減ポテンシャル）、及び削減コストを表す（図 A.IV.1）。それぞれのバーは、個別に検討を行い、両軸上の大きさを数量化した。

図 A.IV.1

コスト曲線の主要構成要素



出典：地球のGHG削減コスト曲線 第2.0版 McKinsey & Company

コスト曲線の基本的な考え方は、任意の年における、従来努力継続シナリオ（「対照ケース」と呼ぶ場合もある）と比較しての、削減「手段（レバー）」の排出削減ポテンシャル及びそれに対応する削減コストを表示するというものである。

各棒グラフの幅は、その機会によって削減できる年間 GHG 排出量の経済的なポテンシャル（予測ではない）を表す。ポテンシャルの量は、各機会の実現のために 2010 年から世界的な協調により対策が開始されることを前提としたものである。このポテンシャルは、それがいつ設置された設備であるかは問わず、分析対象の年において実際に稼働中の削減手段の全設備能力を反映したものである。

各棒グラフの高さは、各機会によって分析対象の年に 1 トンの CO₂e 排出を回避するために必要となる平均のコストを表す。このコストはその機会の総稼働設備能力を反映しており、従って、機会の下位分類、地域、年全体にわたっての加重平均である。

各産業部門と排出源にわたっての比較可能性を確保するために、全ての排出量と吸収量は、トン単位の CO₂ 換算値 (tCO₂e) を使う共通の方法で測定した。削減手段は 2030 年の削減コスト (tCO₂e あたりの€単位) が最も低い対策から順番に表示している。

全体として見ると、削減コスト曲線は、削減目標（生じる可能性のある「需要」）とは独立に、削減機会の「供給」を表している。ここでは定義により、削減ポテンシャルは削減手段が実施される産業部門に帰することとする。例えば、消費部門の削減手段（例えばビル内の LED）が電力消費量を削減する場合、その結果として電力部門で生じる排出削減量は、電力部門ではなくその消費部門に割り当てられる。

このために、全ての消費部門のベースラインには、電力部門からの間接排出量が含まれる。輸送部門と石油・天然ガス部門間での化石燃料の取扱いについても、電力と同様の関係が当てはまる。排出削減量の二重計上を避けるため、生産部門（電力、石油、天然ガス）の生産量は、消費部門における削減対策を適用する前に、その相当分だけ差し引いておく。

量とコストの両方の推定値に関してかなりの不確実性が生じる可能性がある。この不確実性の主な原因は 2 つあり、現実の実施可能性に関する不確実性（これは林業と農業で最も高い）と、主要技術のコストの推移に関する不確実性である。

削減ポテンシャルの算出

削減ポテンシャルは、ベースライン排出量と削減手段が適用された後の排出量との量的な差と定義される。ベースライン排出量は、特定の化石燃料の炭素排出原単位、基礎素材の生産量、車両の燃料消費量などのいくつかの推進要因の数値から算出される。各削減手段は特定の推進要因の数値に変化をもたらす（普通は減少させる）が、その数値は文献及び専門家の意見により決定する。典型は、乗用車改善による燃料消費量 70% への下落の例である。この場合、当初の燃料燃焼による排出量の 30% という削減ポテンシャルが導かれる。

「最も低コストのものを最初に」という削減手段の配列順序の原則に従い、コストが次に高い削減手段は、それ以前の全ての削減手段による削減後の新たなベースラインに対して適用される。各削減手段は、地域ごとに個別に評価した。

削減コストの算出

削減コストは、基準事例と比較した低排出量技術の増分コストを、削減された排出量 tCO₂e あたりの€で表した数値と定義される。削減コストは資本経費と運転経費の毎年のローン返済額を含む。従って、コストは低排出量技術を設置し、運転するための純粋な「プロジェクト・コスト」を表す。資本の入手可能性は制約として考慮しない。

削減コストは図 A.IV.2 の式に従い算出する。CO₂e 効率の高い代替策の全コストには、投資コスト（資産の寿命にわたる毎年のローン返済額として算出）、運転コスト（人件費と原料費を含む）、そして代替策の使用により生じる可能性のある経費節減（特に省エネルギー）が含まれる。全コストには輸送費、通信／情報費、補助金または明示的な CO₂ コスト、税金、結果としての経済に対する影響（例えば、技術的なリーダーシップによる優位性）は含まない。

図 A.IV.2

削減コスト式

$$\text{削減コスト} = \frac{[\text{CO}_2\text{e 効率的な代替策の全コスト}] - [\text{対照手段の全コスト}]}{[\text{対照手段による CO}_2\text{e 排出量}] - [\text{代替策による CO}_2\text{e 排出量}]}$$

運転経費は各年に使われる実質費用として評価する。

資本経費は毎年のローン返済額として計算する。返済期間は装置の機能寿命である。利率については、過去の長期国債利率の平均値に基づき、4%の実質長期国債利率を使用する。

コスト曲線では、特定の意思決定者の観点ではなく、社会的な観点を採用し、社会にとってのコスト要件を表現する。税金、補助金、利率、その他のコスト要素には、国による差があることを考慮すると、世界共通の意思決定者の観点というものは存在しない。この社会的な観点により、GHG 排出量削減のためにどのような手段が存在するか、国と産業部門の間で削減の機会とコストを比較する方法、導入すべき優遇策（例えば補助金、税金、CO₂ プライシング）についての協議方法に関し、世界的な協議を行うための事実基盤として、削減コスト曲線を利用できる。例えば、この分析を使い、「政府が各種削減対策を実施しようとした場合、各種対策による排出削減量と最小コスト（社会的観点から、この排出削減量を達成するために）はどの程度になるか」という問いかけと、それに対する回答が可能になる。

このモデルにおけるすべてのコストが、現在のコストと推定される予想値に基づく。推定値は、モデル（入手可能であれば）、専門家の見解、知識に基づく外挿などの入手可能な最良の予想方法に基づく。約 25 年という長い期間を対象とするため、このアプローチはある種の推定誤差を伴う。資産の寿命、利率、石油価格、為替レートなどのマクロ経済変数は、結果

と許容誤差に対して最大の影響を与える。各削減手段個別のコスト推定値の影響力はそれよりも低く、各削減手段に関する全体的な結果を大きく歪めることはない。

技術的なプロジェクト・コストを超える経済交流に要するコスト（例えば教育、監視、実施コスト）である取引コストは、コスト曲線には含まれない。削減手段の実施コストは取引コストの一部と見なされ、情報キャンペーンやトレーニング・プログラムなどの側面を含む。

行動の変化は追加削減ポテンシャルを表すが、これもコスト曲線から除外される。行動の変化は、公教育、啓発キャンペーン、社会的なトレンド、政策の変更など、さまざまな価格・非価格要因による進む。このため、行動の移行については、削減コストを伴わない「さらなるポテンシャル」として、主なコスト曲線とは別個に分析される。

分析の適用範囲とパラメータ

この研究における分析では、世界中の既知の人為的 GHG 排出量すべてを対象とする。研究の基本年は 2005 年とし、2010 年、2015 年、2020 年、2025 年、2030 年の排出量と削減量を予想する。

コスト曲線モデルでは、10 産業部門について詳細なボトムアップ分析、3 産業部門についてトップダウン分析による推定を行い、全世界を 21 の地域／国に分けて分析する。ボトムアップ分析を行う部門は電気・熱、石油・天然ガス、セメント、鉄・鉄鋼、化学物質、道路輸送、建設、林業、農業、廃棄物である。トップダウンの評価を行った部門は、他の産業、海上輸送、空輸である。地域／国の分類はブラジル、カナダ、中国、フランス、ドイツ、インド、イタリア、日本、メキシコ、ロシア、南アフリカ、英国、米国、中東、中南米のその他、EU27 のその他、OECD ヨーロッパのその他、東欧のその他、アフリカのその他、開発途上アジアのその他、OECD 太平洋のその他である。

IPCC の定義に従い、削減コスト曲線では、tCO₂e あたり €60 未満の経済ポテンシャルを持つ技術対策を表示する。

コスト曲線に新たな技術を追加するために、次の 4 点の基準を使う。

- その技術は少なくともパイロット段階に進んでいる。
- そのレバーの中期的な技術的・商業的将来性に関し、広く共通する見解があり（遅くとも 2025 年までには始まる）、2030 年までに、削減に対するかなりの寄与が予想される。
- 技術と経済に関する課題が十分理解されている。

- 政策や業界による支援、有形の利点（例えばエネルギー安全保障）、経済的な魅力に関する期待など、その技術を支える説得力のある要因が存在する。

分析から除外した技術としては、例えば微細藻類、バイオケロシン、天然ガス増進回収による CCS、発電におけるバイオマスのガス化、波力・潮力発電、HCCI（予混合圧縮自動着火）、カムレス方式バルブ駆動がある。

この分析での主な想定は次の通りである。

- 社会的な利率は年 4%。
- 価格とコストは 2005 年の実質値。
- 石油価格はバレルあたり \$ 60（IEA WEO 2007）。
- 地域の GDP と人口の総合成長率を図 A.IV.3 に示す。

これらの成長率は IEA によるベースラインの基礎となる推進力であり、GDP 成長率の予想に使われている。それをこの研究で、経済的比較の基礎として使用する。ただし、需要の弾力性に関するモデリングは行われていない（例えば、エネルギー価格に関してこの研究で想定した変化と GDP を関連づけていない）。

図 A.IV.3

マクロ経済データ：地域別の実質 GDP・人口成長率

年成長率、パーセント

	GDP 成長率		人口増加率	
	2005-15	2015-30	2005-15	2015-30
北米	2.6	2.2	1.0	0.7
西欧	2.3	1.8	0.1	0.0
東欧*	4.7	2.9	-0.2	-0.3
OECD 太平洋	2.2	1.6	0.1	-0.2
中南米	3.8	2.8	1.2	0.9
開発途上アジアのその他**	6.9	4.8	1.1	0.8
アフリカ	4.5	3.6	2.2	1.9
中国	7.7	4.9	0.6	0.3
インド	7.2	5.8	1.4	1.0
中東	4.9	3.4	2.0	1.5

* IEA の用語では「移行経済圏」

** IEA の用語では「開発途上アジア」

出典：IEA WEO 2007

＜監訳者あとがき＞

この日本語訳についてはできる限り原文に忠実で、わかりやすい翻訳に努めていますが、その内容に疑問がある等の場合にはオリジナルの英文報告書 ICCA: “Innovations for Greenhouse Gas Reductions” (July, 2009) にて直接ご確認を頂くようお願いいたします。

メ モ

メ モ

メ モ

ICCA c/o Cefic
Avenue E. van Nieuwenhuysse 4, box 1
B-1160 Brussels, Belgium

ICCA c/o ACC
1300 Wilson Blvd
Arlington, VA 22209, USA

Contact information

Rachelina Baio
+32 2 676 74 15
rba@cefic.be

Garrity Baker
+1 703 741 5925
garrity_baker@americanchemistry.com

Birgit Engelhardt
+49 69 25 56 14 25
engelhardt@vci.de

Sachiko Kohno
+81 3 3297 2554
skohno@jcia-net.or.jp

ICCA website

Further information about the Council and its activities, including various materials for downloading, can be found on the ICCA website www.icca-chem.org

