



省エネ住宅・建物の 技術ロードマップ

居住用建物および商業建物の省エネルギーと
温室効果ガス排出量削減へ向けた化学産業の取り組み



Responsible Care®
OUR COMMITMENT TO SUSTAINABILITY



INTERNATIONAL
COUNCIL OF
CHEMICAL
ASSOCIATIONS

Table of Contents

目次

Preface	
まえがき	iii
Introduction	
序文	iv
ロードマップの根拠、目的および展望	iv
ロードマップの範囲と構造	v
Executive Summary	
エグゼクティブ・サマリー	vi
The outline of the phase I	
フェーズIの概要	1
制限事項	1
Chapter 1	
第1章：建築ストック	2
地域および建物の種別について	2
基準となる建築ストックと増加率	2
建物の改修	5
解体	6
Chapter 2	
第2章 使用フェーズにおけるエネルギー消費・GHG排出量のモデリング	7
Chapter 3	
第3章 化学建材	15
概要	15
断熱材	16
配管および配管用断熱材	18
気密材	19
屋根用反射塗装材と顔料	20
窓	22
製造時の環境負荷	23
まとめ	23
Chapter 4	
第4章 化学建材の利用によるライフサイクル全体の省エネルギー効果・GHG排出抑制効果	25
建物エンベロップのエネルギー効率向上による居住用建物と商業建物のGHG排出削減	25
建物エンベロップの改善、燃料切り替え、電気の低炭素化による省エネルギー効果・GHG排出削減効果	29
化学製品のバリューチェーンによる削減効果	29
最終用途別の分析結果	32
製品カテゴリー別の分析結果	34
化学製品によるエネルギー消費・GHG排出の正味削減量	36
Chapter 5	
第5章 高成長地域(ブラジル、中国、インド)に関する予測	43
概要	43
予測	44
暖房エネルギー	45
冷房エネルギー	45

給湯エネルギー	46
化学建材による消費エネルギーの削減	46
まとめ	47
The main point of the phase I	
フェーズIの要点	48
The outline of the phase II	
フェーズIIの概要	50
Chapter 6	
第6章 化学建材の利用促進へ向けた課題	51
概要	51
化学製品に関連する問題	55
結論	55
Chapter 7	
第7章 技術開発	56
概要	56
製品グループ別のRD&D要件	57
RD&Dのその他の機会	60
最新技術の商品化に影響を与える主な要因、 および研究開発資金の調達	60
Chapter 8	
第8章 省エネ対応建築技術政策の戦略的目標と措置	63
概要	63
政策過程	63
公共投資	64
教育と啓蒙活動	64
財政	64
結論	65
Chapter 9	
第9章 協力とパートナーシップ	66
パートナーシップによる省エネルギーの促進	66
結論	67
The main point of the phase II	
フェーズIIの要点	68
ロードマップ	68
国際化学工業協会協議会について	70
付録 I：図一覧	71
付録 II：表一覧	72
付録 III：最新化学技術の開発状況	73
付録IV：略語一覧	74
参考文献	76

化学産業は、革新的な製品と、より効率的なテクノロジーの開発により、省エネルギーとGHGの削減問題に国内、地域、ならびに国際的なレベルで重要な役割を果たしている。2009年、ICCAはさまざまな産業分野のGHG排出量削減における化学産業の役割を解析した「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」という研究結果を発表した。

ICCAの省エネルギービル・住宅ロードマップのレポートは、高性能のプラスチック発泡断熱材、プラスチック配管と配管断熱材、反射屋根材、空気の侵入やヒートロスによるエネルギーの無駄を削減するための商品や材料、化学を利用したエネルギー効率の良い窓の部品など、建築分野における省エネとGHG削減に対する化学産業の貢献に焦点をあてている。このレポートの目的は、化学技術を利用した建築資材の生産と普及による正味の削減貢献量を科学的に定量化し、詳細かつ信頼できるデータを提示することである。化学に基づく建築資材の使用が貢献する地球温暖化の大幅な軽減のために必要な意思決定を行い対応に取り組む上で、この情報が業界・規制当局のお役に立てば幸いである。

化学技術を利用した建築資材を使用することで、建物の冷暖房に使うエネルギー量とそれに伴うGHG排出量を大幅に削減できるが、原材料の抽出を含め

化学製品の製造に伴う地球温暖化への影響も考慮する必要がある。このレポートの解析は、化学技術を利用した建築資材の使用によるGHG削減量が、建築資材の生産中に発生するGHG量を大きく上回り、その有用期間を通してGHG量を大幅に削減できることを示している。

ICCAは、方法論と2050年のシナリオモデルに対する指針を含め、プロジェクトの総合的な管理ならびにライフサイクルを通じたエネルギーとGHGの解析についてご協力頂いたERGの一部門であるFranklin Associatesに感謝いたします。また、ロードマップの作成において、AEA化学技術を利用した建築資材の幅広い導入に伴う課題、国際的な政策についての詳細な知識、協力の機会、ならびにこうした課題を克服する戦略について専門的な解析を行って頂きました。Building Insight, LLCには市場解析、建築規範および建築シナリオの面でサポートして頂きました。ICCAはこのレポートの裏付けとなる重要な背景データを提示してくれたInternational Energy Agencyにも感謝いたします。また、この取り組みは、ICCAの共通見解をサポートし、必要な製品と利用法に関する情報の提供に積極的に協力して下さった方々の知識と洞察なくしては不可能でしたので、皆さま方に感謝申し上げます。

このレポートの政策的に意図することと提言はICCA独自の見解である。



Mr. Otsuka Shigenori
Executive Consultant, Mitsubishi Chemical Holdings Corporation and
Chairman, ICCA Energy and Climate Change Leadership Group

ロードマップの根拠、目的および展望

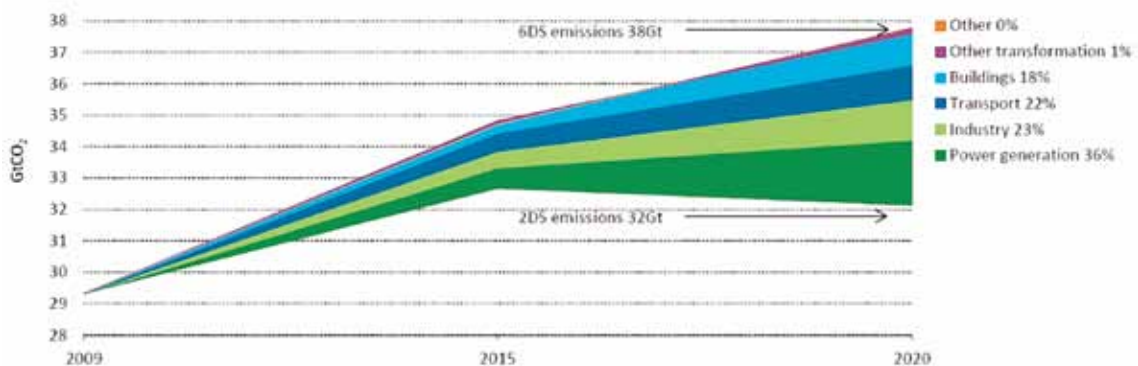
1980年以降、世界のエネルギー需要は約2倍になり、現在の傾向が続くと2050年までにエネルギー需要はさらに85% (さらに約2倍) 増加すると見込まれる。エネルギー消費に伴うCO₂排出量は、世界のGHG排出量全体の約3分の2を占めることから、これが気候変動に対する課題の1つとなっている。この規模で排出量が増加すると世界の平均気温が摂氏6度(°C)上昇するという科学的エビデンスがある。増加する現在のエネルギー需要とそれに伴うGHG排出量の増加は持続可能なものではなく、エネルギー技術とエネルギー効率の向上がこうしたエネルギー消費とGHG量増加を抑える上で重要な役割を果たすと考えられる。

国際エネルギー機関(IEA)が発表した「エネルギー

技術展望2012(ETP 2012)」では、世界的に合意された目標として世界の平均気温の上昇を2°Cに抑えるというシナリオに注目している。このシナリオでは、エネルギー消費に伴うCO₂排出量を2009年と比較して2050年までに半分にすることを目指している。2°Cシナリオ(2DS)では、エネルギー分野の改革は重要だが、非エネルギー分野のGHG排出削減量も重要であると指摘している。建築分野だけでなく、さまざまな分野において省エネを加速し、エネルギー効率を向上し、エネルギー消費に関する知識を強化できる可能性があることが強調されている。

ETP 2012は、2DSの達成には建築分野で排出量全体の18%を削減する必要があると示している(図を参照)。全体として、2DSは建築分野に対し2050年までにCO₂排出量を60%以上削減するよう求めている¹。

図1：世界のCO₂排出量の削減に対する主要分野の貢献度



Source: ETP 2012, Figure 2.1

2009年に建築分野において原油換算(oe)で27億5,900万トンのエネルギーを消費したが、これは世界のエネルギー使用全体の32%、エネルギー使用に直接関わるCO₂排出量全体の約10%に相当する。発電による排出と地域暖房を含めると、エネルギーの利用に伴うCO₂排出量全体の30%強が建物から排出されている。

建物のエネルギー需要の世界的シェアは急増する

と予想され、ETP 2012は建築分野のエネルギー需要が2050年までに2倍以上になると指摘している。大都市では、建物のエネルギー使用が二酸化炭素排出量の80%を占めることもある。既に建設されている建物の多くは、2050年まで存続すると見込まれる。こうした建物の多くはエネルギー効率を考えた設計になっていないが、通常の建物なら最新のテクノロジーとシステムを後から導入し、運用を最適化

¹ <http://www.iea.org/media/etp/FactsheetETP2012EndUseSector.pdf>

することでかなりのエネルギーを削減できる。ETP 2012は、各国において建物のエネルギー効率強化政策の実施、つまり、エネルギー効率の良い最終利用技術を導入し、新築および既築建物に対するエネルギー効率に関する規範と基準を改善する余地があるとしている。

化学業界は、すでに利用、あるいは開発中のさまざまな技術的ソリューションを用いて、建物のエネルギー効率のアップと将来的にゼロに近いエネルギーで運用できる建物の実現をサポートする上で、不可欠と言わないまでも重要な役割を果たしている。

このレポートの意図は、建築分野におけるエネルギー効率とGHG排出削減量に対する化学業界の現在および未来の技術的貢献を明確化し、二酸化炭素排出がゼロまたは低い建物のロードマップを作成することによって、ソリューションの考案に向けたIEAロードマップ作成の取り組みを補うことである。このレポートでは、こうした排出削減量を達成するための必要なテクノロジーと政策ソリューションについても言及している。

レポートでは、今日から2050年までの製品群の開発予想も行っている。レポートの全体目標は、これらの製品によって達成が期待できるエネルギー利用の削減量を公表し、人々がそれをできるだけ実現できるようサポートすることである。レポートではこれらの目標を達成するための課題と、そうした障害を克服するための対応が記されている。

ロードマップの範囲と構造

ロードマップは2段階で作成されている。第I段階の目標は、居住用および商業の建築分野ですでに導入されている建築技術によって、2050年までに技術的に達成可能なエネルギー効率化とGHG排出削減量を判断することである。この段階については、このレポートの第1章から第5章で検討する。

第II段階では、化学に基づく建築資材の使用に伴う課題と機会を検討し、期待される削減を達成するために推奨される一連の活動をまとめた。この活動を第6章から第9章にまとめた。注目すべきは、第II段階の主な焦点は建築分野独自の問題であるということである。二酸化炭素の総排出量に関する政策や法律など、世界経済のすべてのセクターに影響する大きな問題もあるが、こうした広範囲の政策が科学に基づく建築資材の生産と利用にどう影響するかについての掘り下げた調査は、今回の解析の対象外である。

このレポートは2000年の欧州、日本および米国(U.S.)における建設環境をベースラインとしている。排出削減量の予測は既存の製品と技術を中心に行われている。IEAのETP 2012では、2050年までのGHG削減のうち、人口増加と都市化が著しい経済新興国(例：ブラジル、中国、インド)が大きな割合を占めると予測している。しかし、これらの国の建物については、欧州、日本および米国ほどの詳しい情報がないので、このレポートでは建物のエネルギー効率の改善によるエネルギー消費量とGHG排出量の削減可能性についてハイレベルな予測を示すにとどまっている。

国際エネルギー機関の「エネルギー技術展望2012」によると、全エネルギー消費の約32%、ならびに全エネルギーの最終利用に伴う二酸化炭素(CO₂)総排出量の26%を、直接的・間接的に建築分野(マンションや住宅・オフィスなど)が占めている。建築エンベロップからの熱の吸収や損失により、世界中で膨大な量のエネルギー(2009年は原油換算で9億7,000万トン超)が建物の冷暖房に使用されている。エネルギー使用量とそれに伴う温室効果ガス(GHG)排出量は寒冷地方でも熱帯地方でも同様に相当な量になる。包括的な気候目標(2050年までに80%から95%のGHG排出量削減)の達成には、建築分野での大幅な貢献が必要である。

化学産業は、建築分野でのエネルギー効率を向上させ、将来的にゼロに近いエネルギーで運用するという目標に向けた道筋を作る上で必要不可欠な産業である。現在、エネルギー効率の良いプラスチックなど、効果的な化学製品がすでに販売・利用されているが、さらに効果的で新しいテクノロジーの開発も続けられている。このレポートは、化学技術を利用した建築資材の使用によって2050年までに達成可能な省エネルギーとGHG排出量削減ポテンシャルを解析したものである。解析では欧州、日本、および米国の建物に焦点を置いているが、ブラジル、中国、インドなどの新興国で増加する建物についても簡単に解析する。

欧州、日本および米国の居住用および商業建物の面積は、2000年の590億平方メートルから2050年には930億平方メートルに増加すると予想される。この規模で建物が増加し、新築・既築建物のエネルギー効率が改善されない場合は、冷暖房、温水設備

に使用されるエネルギーは約60%増加し、GHG排出量も2000年の二酸化炭素換算(CO₂e)で34億トンから2050年には52億トンCO₂eになると予想される。

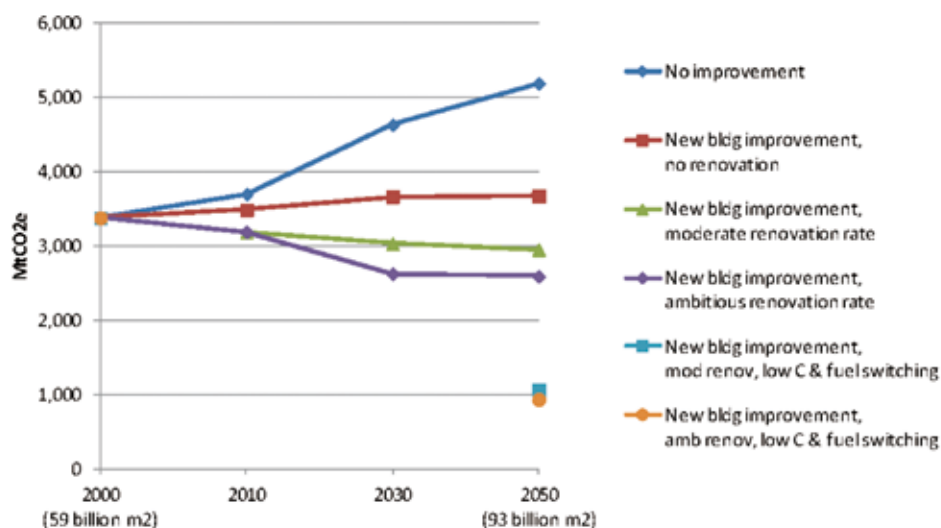
新築建物を改良し、エネルギー効率の悪い古い建物を徐々になくすだけでは建物数の増加による影響を相殺できない。新築に対する基準を厳格化することで2000年から2050年のGHG増加量を3億トンCO₂eに抑えることができるが、それでも建築分野のGHG排出量の純増加は約10%になる。建築物が増加する中で、建物のエネルギー使用とそれに伴うGHG排出量の純減を実現するには、既存の大型の居住用建物や商業建物のエネルギー効率も改善しなければならない。新築建物に、より厳しいエネルギー効率基準を適用し、2000年時点の建物にある程度の改修を行うことで、2050年までにエネルギー使用量とGHG排出量を12%削減できると考えられる。一方、新築建物にさらに厳しい基準を適用し、既存の建物の改修を積極的に行うとすると、エネルギー使用量とGHG排出量は、2000年と比べて23%削減になると見込まれる²。

上記の削減量予測は、建築エンベロップと温水配管のエネルギー効率の向上だけを考えた場合である。これらの改善に、二酸化炭素回収・貯留や再生可能燃料の利用増加による電力の脱炭素化など、低炭素燃料への移行を組み合わせた場合、2050年のGHG排出量は2000年の約70%削減となると見込まれる。

(エグゼクティブ・サマリー1は複数の将来のシナリオにおけるGHG排出量の違いを示している)

2 中程度のシナリオと積極的なシナリオにおける地域と建物の種類別の10年毎の改修率は第1章で説明する。削減量は10年単位で建築エンベロップのエネルギー効率を新築建物の効率の70%まで改善する改修に基づいて算出する。

エグゼクティブ・サマリー 1：2000年から2050年の建物増加について考えられるGHGのシナリオ (欧州、日本、米国における居住用および商業建物の総合)



上記の数字は、建築分野でのエネルギー効率を向上させるために化学技術を利用した壁および屋根のあらゆるタイプの断熱材、温水配管材料、エアバリアとエアシーリング材、クールルーフィング、窓、ならびに、これらのカテゴリの代替品を使用した場合のGHG排出量を示したものである。2050年の化学技術を利用した建築資材(断熱材、配管、エアバリアとシーリング材、クールルーフ塗膜および顔料)によるGHG削減量は、10年毎の市場シェア予測に基づいている。2050年までに、これらの資材によるGHG削減量は、中程度の改修率で9億7,000万トンCO₂e、積極的な改修率で11億トンCO₂e超になる。エネルギー効率の良いプラスチック製の窓枠を使用することでGHGをさらに3億トンCO₂eから3億7,000万トンCO₂e削減でき、化学製品を利用した窓の部品が窓全体のパフォーマンスに重要な役割を果たす。

長期的には、化学技術を利用した建築資材の使用による排出削減量が、建築資材の製造時のエネルギー使用量およびGHG排出量の数倍になる。建物に使われている建築資材は、そのライフサイクルを通して省

エネ効果を発揮し続ける。2000年から2050年までに、化学技術を利用した建築資材を使用した場合の累積正味GHG削減量(使用段階削減量－化学製品を導入したことによる製造時排出量の増分)は、欧州、日本、米国で300億トンCO₂eと見込まれる³。

化学技術を利用した資材が、建築分野におけるエネルギー消費とGHG排出量の大幅な削減に重要な役割を果たすことは明らかである。

化学産業はすでに建築分野にエネルギー効率の良いソリューションを提供することに大きな一歩を踏み出しており、以下のような取り組みを通して、エネルギー効率の良い建築資材の受け入れと使用を引き続き進めている。

- 省エネ住宅、パッシブハウス、二酸化炭素排出ゼロ建物がどの程度目標を達成し、社会だけでなく個々の投資家にとって、長期的にどの程度コスト効率の良いものとなるかを証明するプロジェクトに参加する。
- 化学を利用した建築技術に関し、全ライフサイクルを通じて消費する正味エネルギーとGHGに対す

るベネフィットを科学的に定量化し、信頼できるデータを提供することでライフサイクル評価試験を支援する。

- 長いライフサイクルを通してさらに高いエネルギー効率を達成する新規および改良資材の研究開発への投資を継続し、GHG排出削減量を増加させる。
- エネルギー効率の良い建築資材の適切な使用と設置という目標を掲げ、建築家から職人に至るバリューチェーンと協力する。

化学産業の取り組みに加え、政府、政策決定者、施設、協会、建築エネルギーの効率化に関わるバリューチェーンといったステークホルダーによる、省エネ建築技術の実現に向けた以下のような支援も非常に重要である。

- 環境規制と建築基準において、エネルギー効率の良い化学技術の利用と普及強化をサポートする。
- 改修率の増加と新技術の助成に必要なインセンティブを提供する。
- 建築基準の調整、重要な情報源の共有、ならびに政策決定者、業界の専門家、その他エネルギー効率の良い建物に詳しい関係者の対話を推進するプラットフォームとして国際フォーラムを活用する。
- 政府、業界、施設、協会の総合的な取り組みを通して建物のエネルギー効率を高めることの経済的・社会的ベネフィットについての認識を向上させる。

相互に協力することで、ステークホルダーは地理的・気候的に異なる地域に住む世界の人々のニーズに対応し、かつ地球温暖化の影響を最小限にすることで持続可能な未来を保障する環境の構築というビジョンを達成できる。

フェーズIでは、化学建材を利用して建物エンベロップのエネルギー効率を向上することで、2050年までにエネルギー消費量とGHG排出量をどの程度削減できるかを定量化する。建築セクターは正味排出量ゼロの建物を目指しているが、この目標を達成するにはさまざまな測定基準が必要となり、その多くは今回の分析の対象外である。ここでは、化学製品のバリューチェーンにおけるエネルギー消費とGHG排出量の削減に焦点をあてる。対象カテゴリーは、壁と屋根の断熱材、プラスチック配管と配管用断熱材、エアバリア・気密製品、屋根用反射塗装・塗料、および窓である。

以下の体系的アプローチにより、エネルギー消費とGHG排出の削減量を推算した。

- 各地域の建築ストック数とそれらの特徴を10年単位で明らかにする（第1章）
- 建物の冷暖房や温水システムで使用される燃料の比率、およびそれに伴うエネルギー消費とGHG排出量を地域ごとに把握する（第2章）
- 建築ストックで使用される化学建材の数量を年代ごとに推算する（第3章）
- 化学建材を製造するにあたり、ライフサイクル全体で発生するエネルギー消費とGHG排出をカテゴリーごとに明らかにする（第3章）
- 各製品カテゴリーについて、エネルギー消費量削減を計算するための方法を明示する（第3章）
- 建築エンベロップのエネルギー効率が年代とともに向上することを考慮し、使用フェーズにおけるエネルギー消費・GHG排出量削減を2000年をベースラインとして算出する（第4章）
- 建築ストックで使用される化学建材の数量に基づいて、化学建材のバリューチェーンに対する使用フェーズでのエネルギー消費・GHG排出量削減効果を算出する（第4章）
- 化学建材を使用するメリットと、それらの製造に伴うエネルギー消費・GHG排出を比較する（第4章）

フェーズIの各章では、今回の調査で使用したデータソース、算出方法、および得られた結果について詳しく説明する。この調査では、化学製品を使用して建

物のエネルギー効率を高めた結果、エネルギー消費とGHG排出をどの程度抑制できるかに焦点をあてる。さらに第4章では、エネルギー効率の向上に加え、電気の低炭素化と燃料切り替えに関するIEA予測（2050年）を加味した相乗効果についても取り上げる。

制限事項

フェーズIの結果は、建築ストックの特徴および建物エンベロップ製品の綿密な分析に基づいているが、参照にあたって以下の点に注意していただきたい。

- この分析は欧州、日本、米国を対象としており、一部、ブラジル、中国、インドに関するデータも含まれる。分析対象はこれらの国に限定されるので、建築セクター全体のグローバルな削減予測とこの分析結果とを比較することはできない。
- この分析では、居住用建物および商業建物の床面積増加、発電の燃料比率、建物の暖房、冷房、および温水システムで使用する燃料の比率に関する予測など、IEA ETP 2012の重要な情報を利用している。ただし、ETP 2012の建築セクターの結果には、建物の照明、調理、電気器具など、今回の分析対象ではない分野のエネルギー消費・GHG排出量も含まれている。したがって、この分析の削減予測は、ETP 2012に記載されている建築セクターの調査結果と一致しない。
- この分析結果には、冷暖房空調（HVAC）機器の改良や、建物エンベロップのエネルギー効率向上によるHVAC機器の縮小は反映されていない。
- フェーズIにおける削減量の算出は、既存の建材と建築技術の使用を前提としている。現在開発中であったり、まだ一般的でない最新の建材や建築技術は対象とならず、これらによってもたらされる予想削減量は数値化されていない。最新技術の製造と使用に関する情報が不十分なため、それらを導入し、実際に使用した場合の影響を推算できなかった。
- 化学製品の製造と設置には、原材料の調達から化学物質の生産、製品の製造、職人による取り付けまで、バリューチェーン全体を通じてさまざまな活動が伴う。この分析では、化学製品技術のバリューチェーンを構成する工程ごとには削減量を細分化しない。

居住用および商業建築ストックのエネルギー消費・GHG排出削減量を予測分析するには、まず、既存の建築ストックの数量と特徴を明らかにし、2050年までの建築ストックの変動を10年単位で予測する必要がある。

地域および建物の種別について

今回の分析は、欧州、日本、米国の3つの地域を対象としている。これらの地域をさらに分割し、合計7つのエリアに対して調査を実施した。

- 米国－温暖エリア(ダラス)
- 米国－寒冷エリア(シカゴ)
- 欧州－温暖・先進エリア
- 欧州－温暖・発展途上エリア
- 欧州－寒冷・先進エリア
- 欧州－寒冷・発展途上エリア
- 日本

気候の違いと建物エンベロップの特徴をより正確に反映するため、欧州と米国については上記のように分割した。これら7つのエリアそれぞれについて、5種類の商業建物と2種類の居住用建物を評価。居住用建物としては戸建て住宅と中層集合住宅を評価対象とし、商業建物としては、病院・その他の医療施設、ホテル、教育施設、店舗、オフィスビルを評価対象とした。代表的な商業建物ストックとしてこれらを選択したが、当然、商業建物はこの5種類だけではない。たとえば、スポーツ施設、レジャー施設、倉庫などはここに含まれていない。また、工場などの工業用建物も対象外となる。

基準となる建築ストックと増加率

このモデルでは、地域別および建物タイプ別に示された2000年の建築ストックを基準値(ベースライン)とする。米国の居住用建物ストックについては、政府の統計データに基づいて2000年～2010年の増加率を計算した(EIA 2001、EIA 2009)。2000年および2010年における日本の建物数については、政府の統計データに加え、2007年～2015年の増加率に関するIEAデータ(IEA 2011、MLIT 2011)を用いている。欧州諸国における建築ストックと増加率については、Buildings Performance Institute Europe (BPIE) 発行の2011年報告書を参考にしている。2010年以降の住宅増加率については、IEAの予測を主な情報源としている。住宅面積(平方メートル)の地域別年間増加率についてもIEAのデータを用いた。米国、欧州、および日本の年間住宅増加率は、それぞれ0.5%、0.4%、0.2%と予想されている(IEA 2012)。IEAの居住用建物データは対象が戸建てのみなので、戸建て住宅と集合住宅はいずれも同じ増加率(戸数と面積の両方)であると見なす。居住用建物の年代別増加率を表1に示す。日本では、2040年と2050年に住宅戸数がわずかに減少している。

表1：住宅増加率－住宅戸数の年間増加率を10年単位で表示

	2010*	2010**	2020	2030	2040	2050
U.S. cool	0.2%	0.8%	1.1%	1.1%	0.6%	0.6%
U.S. warm	1.0%	0.8%	1.1%	1.1%	0.6%	0.6%
Europe, cool developed	1.2%	-0.3%	1.0%	1.0%	0.4%	0.4%
Europe, cool undeveloped	-0.1%	0.0%	1.0%	1.0%	0.4%	0.4%
Europe, warm developed	1.7%	2.0%	1.0%	1.0%	0.4%	0.4%
Europe, warm undeveloped	0.8%	1.6%	1.0%	1.0%	0.4%	0.4%
Japan	0.7%	0.7%	0.3%	0.3%	-0.1%	-0.1%

*Single-family and **multi-family growth rates from 2000 to 2010 were available separately in some regions. U.S. growth rates during this period represent 2001-2009, and European rates are for 2000-2008.

2000年～2030年における米国の商業建物増加率については、「2012年米国年間エネルギー展望(EIA 2012)」の予測データを使用した。最後の20年間は、米国内のすべての種類の商業建物に関してEIAの予想増加率を使用している(表2を参照)。

表2：米国における商業建物の増加率－床面積(単位は百万平方メートル)の年間増加率を10年単位で表示

U.S.	2010	2020	2030	2040	2050
Education	0.6%	0.6%	0.6%	0.8%	0.8%
Hospital	1.3%	1.3%	1.3%	0.8%	0.8%
Hotel	1.2%	1.2%	1.2%	0.8%	0.8%
Retail	0.9%	0.9%	0.9%	0.8%	0.8%
Office	1.0%	1.0%	1.0%	0.8%	0.8%

2000年～2020年における欧州の商業建物増加率はIEAのデータに基づいて算出(表3)。2020年～2050年における日本の建物増加率は、2012 ETPモデルのIEAデータに基づいて算出した(表4)。図2～図4は、欧州、日本、米国の7つの分割エリアについて、2000年から2050年にかけて居住用建物、商業建物、および建物全体の床面積がどのように増加しているかを示している。

表3：欧州における商業建物の増加率－床面積(単位は百万平方メートル)の年間増加率を10年単位で表示

Europe	2010	2020	2030	2040	2050
Education	2.5%	2.5%	2.0%	1.3%	1.3%
Hospital	2.5%	2.5%	2.0%	1.3%	1.3%
Hotel	2.5%	2.5%	2.0%	1.3%	1.3%
Retail	2.5%	2.5%	2.0%	1.3%	1.3%
Office	2.5%	2.5%	2.0%	1.3%	1.3%

表4：日本における商業建物の増加率－床面積（単位は百万平方メートル）の年間増加率を10年単位で表示

Japan	2010	2020	2030	2040	2050
Education	1.2%	1.2%	1.2%	0.4%	0.4%
Hospital	1.2%	1.2%	1.2%	0.4%	0.4%
Hotel	1.2%	1.2%	1.2%	0.4%	0.4%
Retail	1.2%	1.2%	1.2%	0.4%	0.4%
Office	1.2%	1.2%	1.2%	0.4%	0.4%

図2：居住用建物の床面積（エリア別）

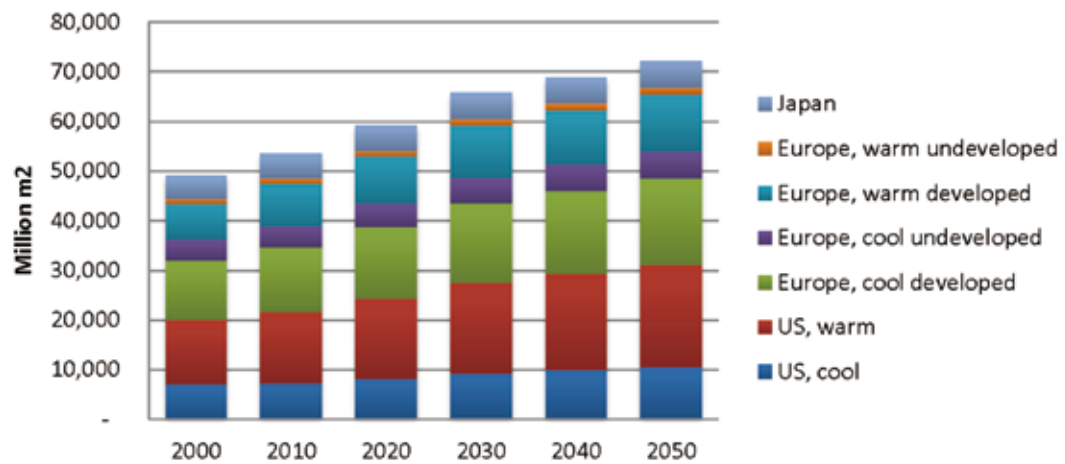


図3：商業建物の床面積（エリア別）

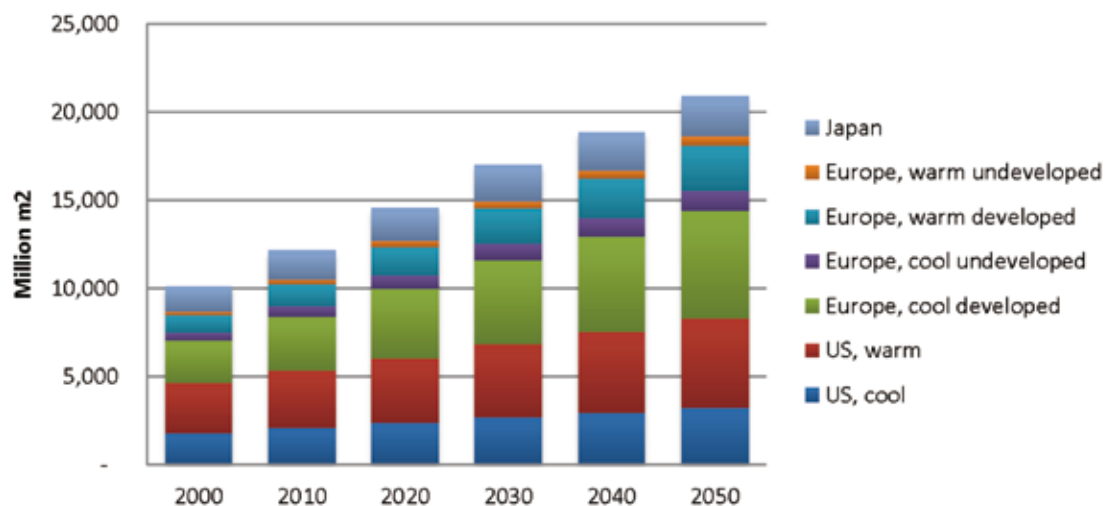


図4：建築ストックの総床面積（エリア別）

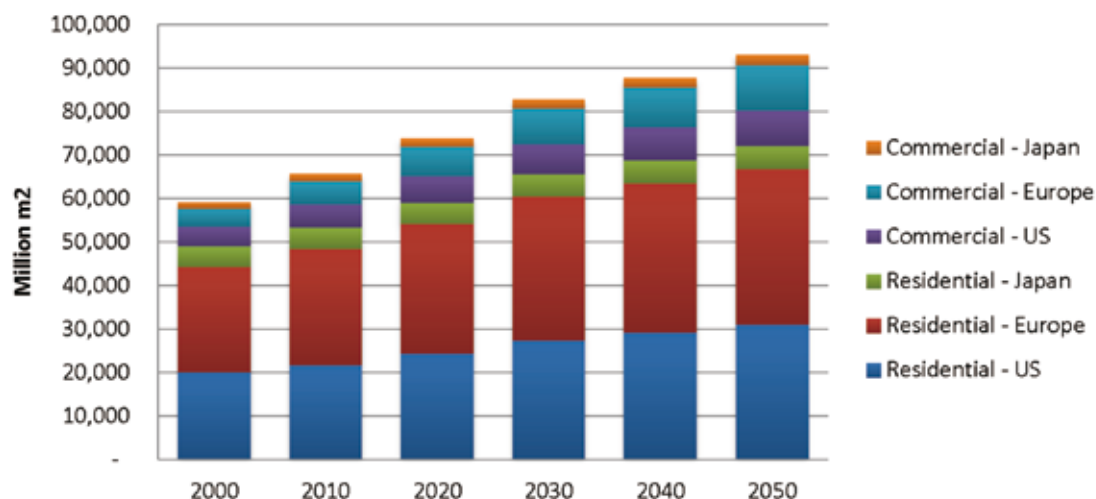


図4を見ると、今回調査した全空調スペースの75%以上を居住用スペースが占めていることがわかる。とくに欧州と米国でこの傾向が顕著だ。また図2と図3から、居住用床面積と商業床面積の両方において、欧州の寒冷地域および米国南部の温暖地域が大きな割合を占めていることがわかる。米国の温暖地域では、ほとんどの建物が暖房と空調を併用している。したがって、建物エンベロップのエネルギー効率を向上すれば、暖房と空調両方のエネルギー消費を削減できる可能性がある。欧州のエネルギー消費を削減する上で、建物の暖房は最も改善の余地がある分野といえる。

建物の改修

エネルギー消費（およびそれに伴うGHG排出量）を削減するには、2000年までに建てられたエネルギー効率の悪い膨大な建築ストックをどの程度改修し、将来へつなげていくかが大きなポイントとなる。その際、「漸進的な改修」と「急進的な改修」という2つのシナリオが考えられる。この分析では、2000年の建築ストックのみを改修対象とする。建築ストック全体の中で2000年ストックは大きな割合を占めており、エネルギー効率の向上が最も期待できる。

既存の建物を改修する際の物理的な制約（断熱材を追加するスペースが限られているなど）に対処するため、いずれのシナリオについても改修の深度を目安と

する。具体的には、建物の壁、屋根、窓を改修することで、その10年間に新しく建てられた建物の最大70%のエネルギー効率が高えられるようにする。

表5に示すように、漸進的シナリオの改修ペースは、IEAのETP 2012報告書にある年2.5%（10年間で25%）を下回っている。空調スペースに対する建物エンベロップの割合が最も大きい戸建て住宅は、省エネ効果を一番期待できる建物だ。したがって、これらの建物の改修ペースは、集合住宅や商業建物を若干上回ると予想される。当初の調査結果が示すように、ライフサイクル全体のエネルギー消費・GHG排出量を抑制するには寒冷地域の建物を改修するのが効果的なことから、北ヨーロッパおよび米国の寒冷地域で漸進的改修が最も促進される。

2010年について、急進的改修シナリオは漸進的改修シナリオの前提に基づいている。2010年以降については、あらゆる地域のすべての建築ストックで改修ペースが早まる（年3%）と予想した。2050年までにIEA 2DS気候目標を達成するには、この期間に2000年建築ストックを大幅に改修しなければならない。[Roadmap to a Resource Efficient Europe]（ヨーロッパ資源効率化ロードマップ）、[German Energy Concept]（ドイツエネルギー計画）など、欧州の指針には2%の改修ペースが既に目標値として盛り込まれている。

表5：漸進的改修シナリオにおける改修ペース（10年単位）

	Cool Regions	Warm Regions and Japan
Single-family	15%	5%
Apartment building	10%	5%
Commercial	10%	5%

上記の改修ペースが適用されるのは2000年ストックのみなので、徐々に取り壊しが進み、対象となる建物数が減少していく。2000年時点での建築ストックの中にも、古い建物と比較的新しい建物が存在する。このモデルではこれらを区別しないので、断熱が不十分であったり、換気回数(ACH)が多かったりする平均以下のストックを改修した場合の削減効果は考慮されない。また、年数を経るにしたがい、「複合型ストック」に改修がなされるようになる。つまり、2000年ストックの一部は複数回にわたって改修される可能性がある。

解体

建物の老朽化に伴い、既存のストックが徐々に取り壊されていく。この状況をわかりやすくモデル化するため、2000年時点での建築ストックのみを取り壊し対象とする。商業建物の取り壊しペースは、米国エネルギー情報局(EIA)の「National Energy Modeling System (NEMS)」モデル文書(EIA 2010a)に記載されている式に基づいて算出。このモデルでは、各建物種別の年数分布が考慮されている。

表6：商業建物の取り壊し—今後取り壊される2000年建築ストックの割合を10年単位で表示

	2010	2020	2030	2040	2050
Hospital stock	14.6%	13.9%	13.1%	11.4%	9.3%
Hotel stock	15.0%	13.5%	12.1%	10.2%	8.4%
Retail stock	17.1%	14.4%	12.4%	10.1%	8.1%
Education stock	13.0%	11.7%	10.8%	9.5%	8.1%
Office stock	12.0%	11.1%	10.5%	9.4%	8.1%

居住用建物の取り壊しペースを正確に予測するのは難しく、データに矛盾も見られる。EIA NEMSモデルによると、居住用建物のうち戸建て住宅の年間残存率は99.6%、集合住宅の年間残存率は99.9%となっている。つまり、50年後には、それぞれ82%と95%の建物が残っていることになる。一方、2012 ETPIは、

OECD諸国に現存する居住用建物のうち、2050年まで残っているのは約60%と予測。前述の数値と比べてかなり低い。この調査では、米国および欧州の戸建て住宅については年間解体率を1.0%とし、日本の戸建て住宅については年間解体率を1.2%とした。集合住宅の解体率は、どの地域についてもこれらの値の半分となる⁴。

4 日本の居住用建物の解体率(1.2%)はICCA運営委員会のデータに基づいている。

欧州、日本および米国をモデリングするにあたり、材料間の熱流や空気の侵入など、シンプルな物理特性に基づいて冷暖房の必要性を決定した。第1章で説明したように、気候と技術水準に基づいて3つの地域を7つのエリアに分けている。さらに、分割した各エリアに平均的な暖房日 (HDD) と冷房日 (CDD) を割り当てた⁵。米国は2つのエリア (寒冷と温暖) に分割し、寒冷エリアではイリノイ州シカゴの気候データを使用し、温暖エリアではテキサス州ダラスの気候データを使用している。欧州は、温暖・先進エリア、寒冷・先進エリア、温暖・発展途上エリア、寒冷・発展途上エリアの4つに分割した。日本は地理的に1つの気候エリアとして扱う。

分割した各エリアについて、7つの建物タイプ (居住用2種類と商業5種類) を設けた。居住用建物の代表的なタイプは「戸建て住宅」と「中層集合住宅」となる。各セクターに属する建物タイプの特徴は地域によって異なる。地域ごとに異なる規模の商業建物を定義するのではなく、米国エネルギー省 (DOE) の報告書に基づいて標準的な建物を想定し、それを全世界に適用する。米国 (2つの気候エリアに分割)、欧州 (4つのエリアに分割)、および日本を対象に、居住用建物2種類と商業建物5種類を評価するので、建物シナリオは全部で49種類となる。これらすべてについて以下の特性を明らかにする。

- 空調エリア
- フロア数
- 壁の高さ
- 縦横比
- 屋根傾斜
- 窓ガラス率
- フレーム構造または石造構造
- 壁、屋根、窓のR値⁶
- 時間あたりの換気回数 (ACH)
- クールルーフ設置エリア

各分割エリアのHDD情報とCDD情報から、建物エンベロップ (屋根、壁、窓) の熱流と建物への空気侵入による熱損失を予測できる。

省エネルギーを実現するには、熱流と空気侵入を抑える他、プラスチック配管と配管用断熱材を使用して建物内の温水供給時の熱損失を防いだり、反射率の高いクールルーフを取り付けたりする方法もある。クールルーフは従来の屋根材より反射率が高く、建物内の

気温上昇を防ぐ効果がある。クールルーフを取り付ければ夏季には空調の必要性が低下するが、冬の間はエネルギー損失が増大する可能性もある。配管やクールルーフによる省エネ効果は、当モデルの別の熱流計算によって別途予測される。

ベースラインとなる2000年の建物エネルギー消費量を把握するため、政府の統計データと公開されている文献をもとに、すべての分割エリアについて、既存のストックの断熱レベルと気密レベルを建物タイプ別に明らかにする。2000年～2050年の間に新築される建物については、年代が進むにつれてエネルギー基準が徐々に厳しくなり、基準内容は地域によって異なる。将来の建築エンベロップのR値を予測するため、いくつかのデータを参照した。2010年までに米国で新築された居住用建物については、『Energy Savings Measure Packages: Existing Homes』 (NREL 2011) を参考にしている。また、イリノイ州とテキサス州 (2006年/2009年) での窓の選択については、International Energy Conservation Code (IECC: 国際省エネルギー規定) 順守ガイドを参照した。2010年以降における米国居住用建物のR値は、IECC表R402.1.1を基に予測している。2010年までに米国で新築された商業建物のR値は、米国再生可能エネルギー研究所 (NREL) の商業建物に関する報告書から引用。2010年～2020年のR値は2012 IECC基準から引用。2030年～2050年のR値については、米国暖房冷凍空調学会 (ASHRAE) の関連する詳細ガイドを参照した。欧州の居住用建物については、2010年までのR値を『U-Values for Better Energy Performance of Buildings』 (Ecofys 2007) に基づいて算出、2010年から2020年の建物のR値を2011 BPIE報告書『Europe's Buildings Under the Microscope』に基づいて算出した。2020年～2050年に欧州で建設される建物のR値算出では、2007 Ecofys報告書、および欧州硬質ポリウレタンフォーム協会が依頼した報告書『Insulation for Sustainability』 (XCO2 2002) の低熱基準 (Low Heat standard) を使用した。寒さが厳しい欧州の建物は、温暖な地域に比べてエネルギー効率に優れている。日本の建物のエンベロップについては、ICCA運営委員会のメンバーが推定した。表7～表9に、建築ストックの屋根、壁、窓で使用されるR値を地域別および年代別に示す。

5 暖房日と冷房日は、1日の平均気温と基準温度 (19°C) との差によって決定される。この差が大きいほど、暖房または冷房の必要性が高くなる。

6 R値とは熱抵抗値を意味し、建築・建設業で使用される。

表7：屋根のR値（2000年～2050年）

	Window R-value in (square meter °K)/Watt						
	U.S.		Europe				Japan
	Chicago	Dallas	Cold/ developed	Cold/ undeveloped	Warm/ developed	Warm/ undeveloped	All
戸建て住宅							
2000	1.76	1.76	1.96	1.19	1.44	0.98	1.20
2010	6.69	6.69	5.00	3.33	2.17	1.43	1.60
2030	8.63	6.69	6.67	6.67	5.00	5.00	2.27
2050	8.63	6.69	6.67	6.67	5.00	5.00	2.27
集合住宅							
2000	2.63	1.94	1.96	1.19	1.44	0.98	1.20
2010	2.79	2.79	5.00	3.33	2.17	1.43	1.60
2030	4.40	3.52	6.67	6.67	5.00	5.00	5.50
2050	4.40	3.52	6.67	6.67	5.00	5.00	6.00
教育施設							
2000	2.62	1.93	1.96	1.19	1.44	0.98	1.20
2010	2.79	2.79	5.00	3.33	2.17	1.43	1.60
2030	4.40	4.40	6.67	6.67	5.00	5.00	5.50
2050	4.40	4.40	6.67	6.67	5.00	5.00	6.00
病院							
2000	2.65	1.96	1.96	1.19	1.44	0.98	1.20
2010	2.79	2.79	5.00	3.33	2.17	1.43	1.60
2030	5.28	4.40	6.67	6.67	5.00	5.00	5.50
2050	5.28	4.40	6.67	6.67	5.00	5.00	6.00
ホテル							
2000	2.69	2.00	1.96	1.19	1.44	0.98	1.20
2010	2.79	2.79	5.00	3.33	2.17	1.43	1.60
2030	3.52	3.52	6.67	6.67	5.00	5.00	5.50
2050	3.52	3.52	6.67	6.67	5.00	5.00	6.00
オフィス							
2000	2.75	2.05	1.96	1.19	1.44	0.98	1.20
2010	2.79	2.79	5.00	3.33	2.17	1.43	1.60
2030	5.28	4.40	6.67	6.67	5.00	5.00	5.50
2050	5.28	4.40	6.67	6.67	5.00	5.00	6.00
店舗							
2000	2.64	1.95	1.96	1.19	1.44	0.98	1.20
2010	2.79	2.79	5.00	3.33	2.17	1.43	1.60
2030	3.52	3.52	6.67	6.67	5.00	5.00	5.50
2050	3.52	3.52	6.67	6.67	5.00	5.00	6.00

表8：壁のR値（2000年～2050年）

	Window R-value in (square meter °K)/Watt						
	U.S.		Europe				Japan
	Chicago	Dallas	Cold/ developed	Cold/ undeveloped	Warm/ developed	Warm/ undeveloped	All
戸建て住宅							
2000	1.41	1.23	1.37	0.86	1.35	0.90	1.31
2010	2.29	2.29	3.33	2.50	2.00	1.43	1.70
2030	3.17	3.17	5.00	5.00	3.33	3.33	2.22
2050	3.17	3.17	5.00	5.00	3.33	3.33	2.22
集合住宅							
2000	1.29	0.84	1.37	0.86	1.35	0.90	1.31
2010	2.10	1.42	3.33	2.50	2.00	1.43	1.70
2030	3.61	3.61	5.00	5.00	3.33	3.33	3.30
2050	3.61	3.61	5.00	5.00	3.33	3.33	3.50
教育施設							
2000	1.29	0.84	1.37	0.86	1.35	0.90	0.80
2010	2.10	1.42	3.33	2.50	2.00	1.43	2.20
2030	3.61	2.96	5.00	5.00	3.33	3.33	3.30
2050	3.61	2.96	5.00	5.00	3.33	3.33	3.50
病院							
2000	1.26	0.67	1.37	0.86	1.35	0.90	0.80
2010	1.17	0.45	3.33	2.50	2.00	1.43	2.20
2030	2.34	2.01	5.00	5.00	3.33	3.33	3.30
2050	2.34	2.01	5.00	5.00	3.33	3.33	3.50
ホテル							
2000	1.35	0.87	1.37	0.86	1.35	0.90	0.80
2010	2.10	1.42	3.33	2.50	2.00	1.43	2.20
2030	3.61	3.61	5.00	5.00	3.33	3.33	3.30
2050	3.61	3.61	5.00	5.00	3.33	3.33	3.50
オフィス							
2000	1.40	0.89	1.37	0.86	1.35	0.90	0.80
2010	2.10	1.42	3.33	2.50	2.00	1.43	2.20
2030	5.04	3.61	5.00	5.00	3.33	3.33	3.30
2050	5.04	3.61	5.00	5.00	3.33	3.33	3.50
店舗							
2000	1.30	0.85	1.37	0.86	1.35	0.90	0.80
2010	2.10	1.42	3.33	2.50	2.00	1.43	2.20
2030	3.61	3.61	5.00	5.00	3.33	3.33	3.30
2050	3.61	3.61	5.00	5.00	3.33	3.33	3.50

表9：窓のR値（2000年～2050年）

	Window R-value in (square meter °K)/Watt						
	U.S.		Europe				Japan
	Chicago	Dallas	Cold/ developed	Cold/ undeveloped	Warm/ developed	Warm/ undeveloped	All
戸建て住宅							
2000	0.20	0.20	0.36	0.20	0.36	0.20	0.22
2010	0.50	0.35	0.50	0.59	0.40	0.34	0.26
2030	0.55	0.50	0.91	0.91	0.83	0.83	0.35
2050	0.55	0.50	0.91	0.91	0.83	0.83	0.35
集合住宅							
2000	0.29	0.14	0.36	0.20	0.36	0.20	0.22
2010	0.31	0.14	0.50	0.59	0.40	0.34	0.26
2030	0.39	0.29	0.91	0.91	0.83	0.83	0.52
2050	0.39	0.29	0.91	0.91	0.83	0.83	0.55
教育施設							
2000	0.29	0.14	0.36	0.20	0.36	0.20	0.10
2010	0.31	0.14	0.50	0.59	0.40	0.34	0.21
2030	0.42	0.39	0.91	0.91	0.83	0.83	0.52
2050	0.42	0.39	0.91	0.91	0.83	0.83	0.55
病院							
2000	0.29	0.14	0.36	0.20	0.36	0.20	0.10
2010	0.31	0.14	0.50	0.59	0.40	0.34	0.21
2030	0.61	0.41	0.91	0.91	0.83	0.83	0.52
2050	0.61	0.41	0.91	0.91	0.83	0.83	0.55
ホテル							
2000	0.29	0.14	0.36	0.20	0.36	0.20	0.10
2010	0.31	0.14	0.50	0.59	0.40	0.34	0.21
2030	0.50	0.43	0.91	0.91	0.83	0.83	0.52
2050	0.50	0.43	0.91	0.91	0.83	0.83	0.55
オフィス							
2000	0.29	0.14	0.36	0.20	0.36	0.20	0.10
2010	0.31	0.14	0.50	0.59	0.40	0.34	0.21
2030	0.50	0.43	0.91	0.91	0.83	0.83	0.52
2050	0.50	0.43	0.91	0.91	0.83	0.83	0.55
店舗							
2000	0.29	0.14	0.36	0.20	0.36	0.20	0.10
2010	0.31	0.14	0.50	0.59	0.40	0.34	0.21
2030	0.46	0.43	0.91	0.91	0.83	0.83	0.52
2050	0.46	0.43	0.91	0.91	0.83	0.83	0.55

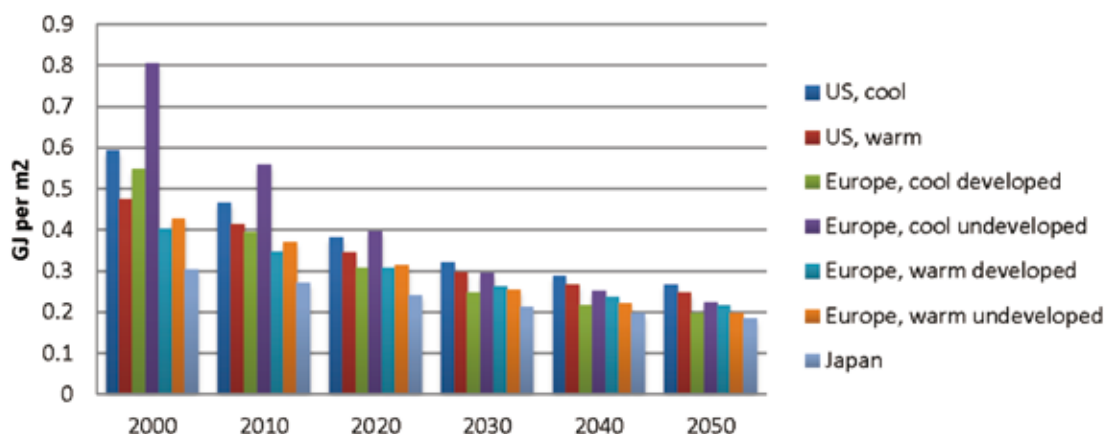
ここでは、2000年から2050年までの値を建物タイプ別および地域別に10年単位で算出した。その際、毎年取り壊される建築ストックを2000年ストックから差し引き、新築分を2000年ストックに追加した。な

お、年数が経つにしたがって建築基準は徐々に厳しくなる。前章の「改修」セクションで説明したように、残存する2000年ストックの一部は厳しい基準に合わせて改修される可能性がある。

図5は、新築時の基準が厳しくなり、2000年建築ストックの取り壊しと改修が進むにつれて、床面積1平方メートルあたりのエネルギー消費量がどのように変化するかを示している。単位はGJ(10⁹ J)。この図の調査結

果は、ライフサイクル全体ではなく、各建物で直接使用されたエネルギーに基づいている。また、エネルギー消費量の減少には、化学製品だけでなく、建物エンベロープの「あらゆる」改善が複合的に影響している。

図5：建物レベルでの複合的エネルギー損失（漸進的改修シナリオ）



2000年の時点で、エネルギー消費量(床面積1平方メートルあたりのエネルギー消費)が最も大きいのは欧州と米国の寒冷地域である。その後は建築基準が徐々に厳しくなり、エネルギー効率の悪い従来のストックが解体または改修されていく。それに伴い、これらの地域でも建物のエネルギー消費量が大幅に低下し、2030年には他の地域と同レベルまで改善する。漸進的改修シナリオでは、2050年までに、すべての地域のエネルギー消費量が2000年比で37~71%改善される。この減少率が最も小さいのは日本の建築ストックである。日本の建物はもともとエネルギー消費が少なく、改善の余地が小さい。(このグラフには示されていないが)急進的改修シナリオでは、2050年の時点で、すべての地域のエネルギー消費量が2000年比で51%から77%減少する。

このモデルでは、建築ストック、新築時および改修時に使用される建物エンベロープ製品(断熱材、窓、ハウスラップなど)、伝導や空気侵入による熱損失を10年単位で追跡する。冷暖房機器エネルギー効率や使用状況を考慮した上で、これらのエネルギーデータがエネルギー購入量に変換される。さらに、この購入エネルギーがライフサイクル全体のエネルギー消費量とGHG排出量に変換される。

ライフサイクルを対象にエネルギー消費を算出するという事は、燃料を燃やして得る有用なエネルギーだけでなく、それらのエネルギーを抽出、処理、供給する際に必要となるエネルギーも結果に含まれることになる。建物の暖房、冷房、温水システムで使用される電気の場合、ライフサイクル全体で必要となるエネルギーには、供給される電力量(kWh)の送配電に伴う損失を補うためのエネルギーも含まれる。燃料についても同様だ。ライフサイクル全体でのGHG排出量には、自然環境から燃料資源を取り出し、その燃料を燃やしてエネルギーを生成し、そのエネルギーを各建物へ供給するまでのすべてのGHG排出が含まれる。

建物の冷暖房に伴うライフサイクルレベルでのエネルギー消費とGHG排出にはさまざまな要因が影響しており、建物エンベロープはより大きなシステムの1つにすぎない。建物エンベロープ内の空調で使用する実際のエネルギー量は、冷暖房空調システムのエネルギー効率によって大きく左右される。さらに、病院などの特殊な建物では、建物内の温度を一定に保つだけでなく、それ以外のエネルギーも必要となる。直接暖房についても、発電についても、使用する燃料比率が時代とともに変わり、結果として、ライフサイクル全

体のエネルギー消費量とGHG排出量に変化する。建物エンベロープ製品の影響を明らかにするには、すべての年度において、エネルギー効率、燃料比率、およびライフサイクル要因を同じにする必要がある。実際のところ、既に低炭素燃料への切り替えが進みつつあり、建物でのエネルギー使用に伴うGHG排出量は減少している。エネルギー効率に優れた建物エンベロープと低炭素燃料の複合効果については、調査結果に関するセクションで検証する。

2009年における発電、暖房、温水システムのIEA燃料比率を下図に示す。対象地域は、欧州のOECD加盟国、日本、米国。さらに、高成長地域としてIEAが指定したブラジル、中国、インドも含まれている。2009年には、居住空間のすべての冷房が電力で賄われていた。また、日本以外のすべての地域では、商業建物の冷房でも電力が主要エネルギーだった。IEAの報告によると、商業冷房エネルギーのほぼ70%が天然ガスを燃料としている。

図6：発電の燃料比率(2009年)

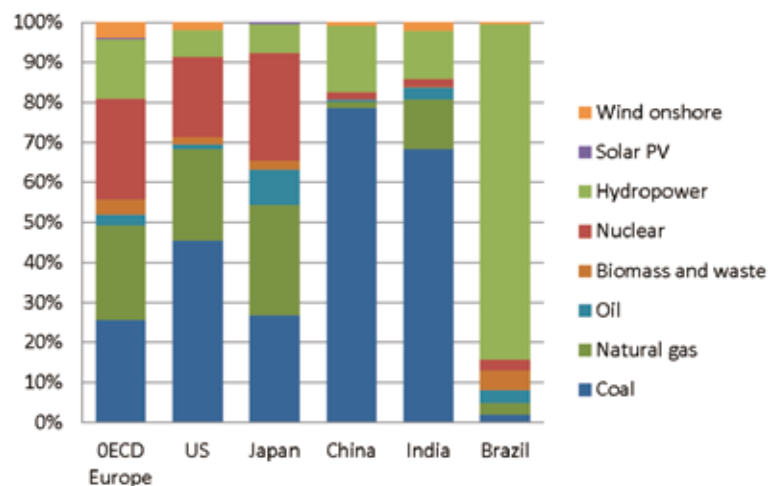


図7：住宅用暖房の燃料比率(2009年)

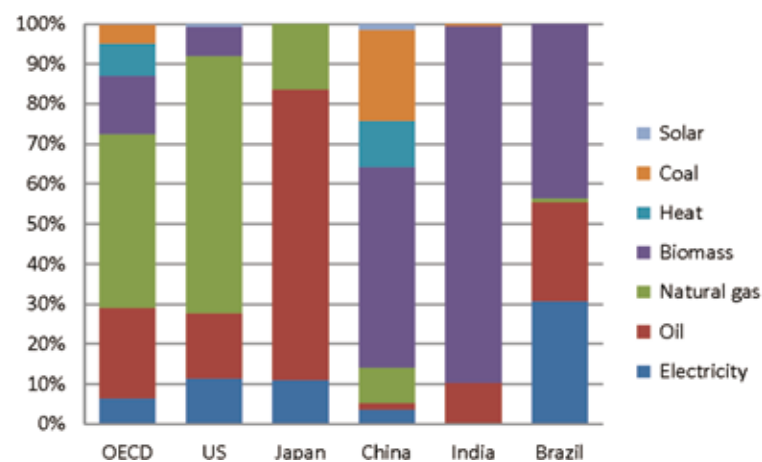


図8：商業建物用暖房の燃料比率 (2009年)

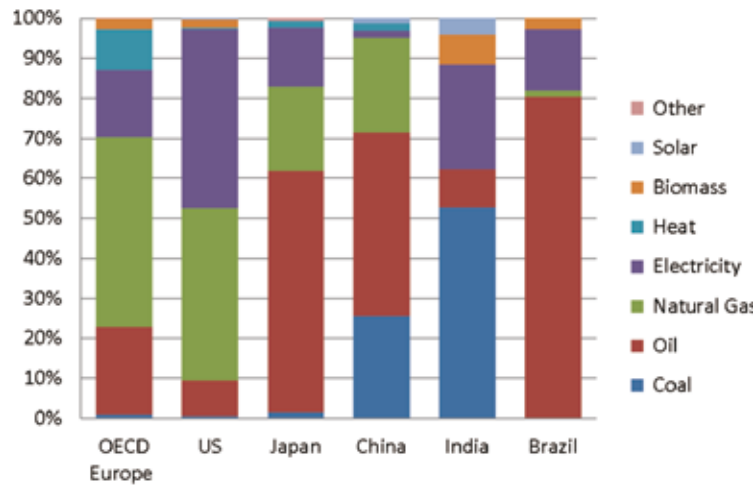


図9：住宅用温水システムの燃料比率 (2009年)

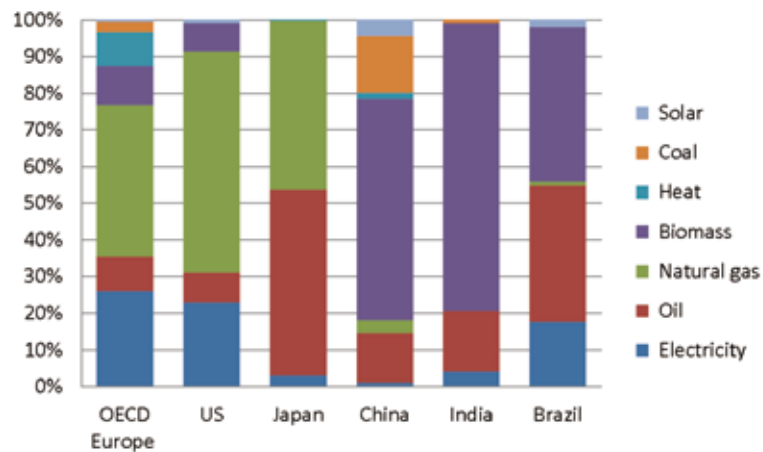
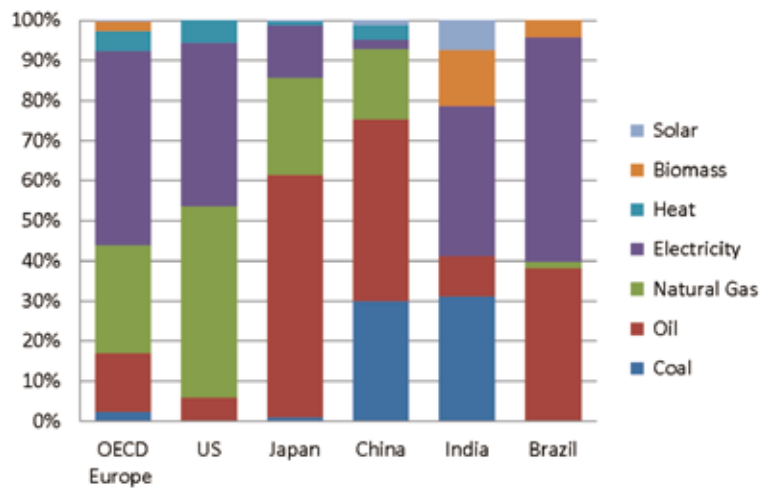


図10：商業建物用温水システムの燃料比率 (2009年)



下のグラフは、建物の暖房、冷房、および温水システムで必要となる平均的な直接エネルギー (MJ) に対して、全体のエネルギー消費量とGHG排出量がどの程度であるかを示している。これらの要素はライフサイクル全体を対象としている。つまり、暖房、冷房、

温水を実現するために各地域で利用されている燃料と技術、使用機器のエネルギー効率、燃料の抽出・処理・配送・燃焼に伴うライフサイクル全体の影響を考慮している。

図11：ライフサイクル全体のエネルギー消費－必要な総エネルギー量 (MJ) / 直接エネルギー (MJ)

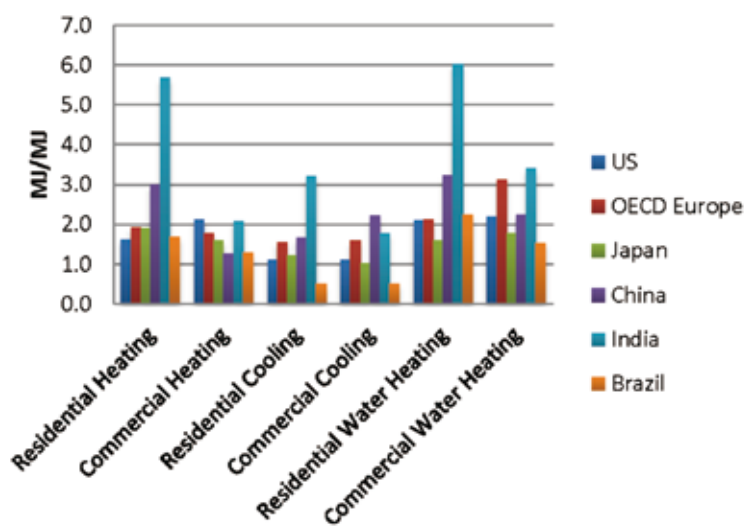
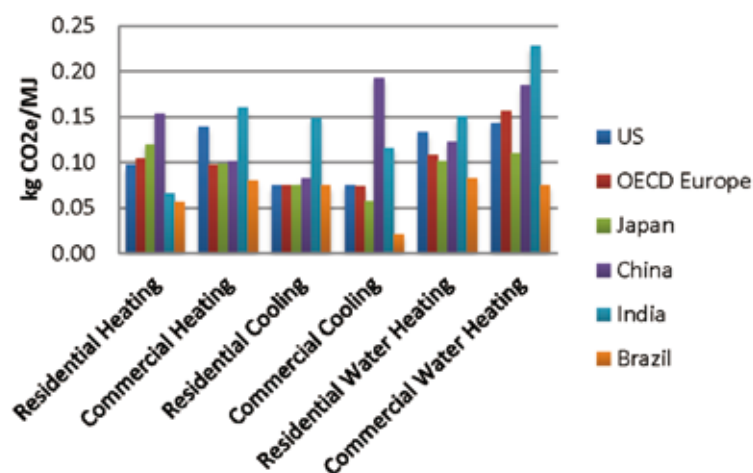


図12：ライフサイクル全体のGHG排出量－CO₂eの総排出量 (kg) / 直接エネルギー量 (MJ)



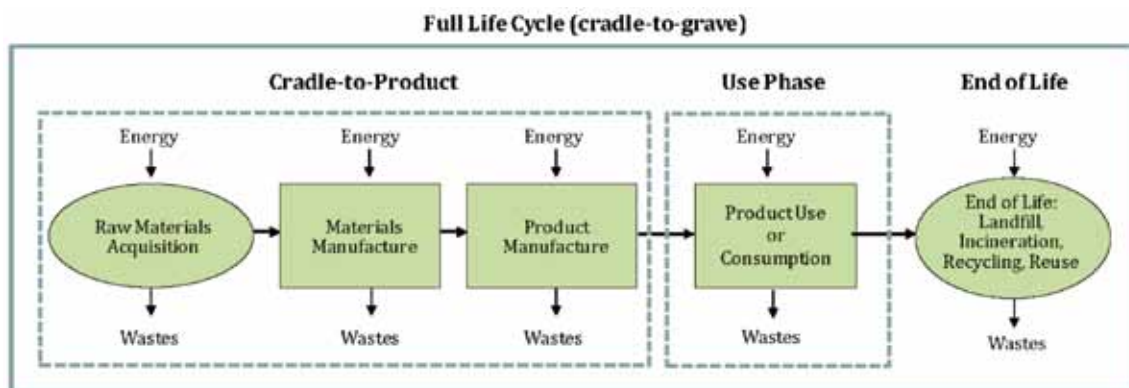
概要

化学製品を利用して建物エンベロップのエネルギー効率を向上すれば、建物の使用フェーズにおけるエネルギー消費量・GHG排出量が大幅に削減される。ただし、化学製品の製造時にもエネルギーが消費され、GHGが排出されるので、削減幅がそのぶん小さくなる。この後のセクションでは、2000年から2050年において新築・改装建築物で使用される化学建材の量、および「原料入手から製品製造まで」のエネルギー消費量・GHG排出量を定量化するためのプロセスを説明する。自然環境から原材料を取り出し、建材を製造して居住用建築ストックや商業建築ストックに取り付けるまでのあらゆるステップが対象となる。「原料調達から製造まで」に消費するエネルギー

には、原材料である石油化学原料のエネルギーも含まれる。また、化学製品のGHG排出量には、原材料の抽出から最終製品の製造まで、あらゆる段階での燃料に関連するGHG排出量が含まれる。

さらに、建築材のライフサイクル全体を評価するには、使用済み建築材の処理も考慮しなければならない。ただし、建築材のライフサイクルに関する調査によると、断熱材、配管、窓などの最終処理で発生するエネルギー消費・GHG排出は製造時より小さく、さらに、ライフサイクルの使用段階より小さいことがわかっている。たとえば、配管と断熱材を埋め立て処分する際のGHG排出量は、これらの製品の製造に伴う総排出量の1%未満である⁷。下図の点線で囲まれた部分は、この分析で使用するライフサイクルステージを示している。

図13：製品ライフサイクルの各ステージ



この分析の定量モデリングには、現在一般的に利用されている技術のみが含まれる。より高い省エネ効果・GHG削減効果を期待できる新しい建築技術も開発されているが、それらをモデリングに含めることで製造にどのような影響があり、どのようなメリットが得られるかまだ十分に検証されていないため、このモデルでは扱わない。

地域ごとに、一連の製造工程に必要な電気を賄うための燃料比率を考慮し、SimaPro LCAソフトウェアを使用して製品モデリングを行った。電気を地域別にモデリングすることで、建材を製造する際のエネルギー消費量とGHG排出量が地域によって異なることが明らかになった。発電用の地域別燃料比率については、前出の図6を参照していただきたい。

使用段階モデルでは、建物で使用する建材のエネルギー消費量・GHG排出量を1年単位で算出するので、製造時のエネルギー消費量・GHG排出量も建材ごとに年間ベースで表す必要がある。そのためには、「製造時のエネルギー消費・GHG排出総量」を「製品の耐用年数」で除算する。これによって、化学建材の省エネ効果と製造時のエネルギー消費・GHG排出量を年間ベースで比較できるようになる。年間ベースで数値化すれば、経時的な比較も容易になる。たとえば、製品の耐用年数が10年の場合、その製品の1年あたりの環境負荷を算出するには、「製造に伴うエネルギー消費・GHG排出総量」を10で除算する。同じ製品を50年以上使用した場合の削減量を予測するには、製造に伴う1年あたりの環境負荷（製造当初の環境負荷÷10

7 米国立標準技術研究所のBEESモデル（環境的および経済的に持続可能な建物）

年)に50を乗算する。製品は10年ごとに交換されるので、50年間の合計環境負荷は製造当初の環境負荷の5倍となる。

化学製品の製造に伴う環境負荷を算出するには、段階的な計算が必要である。

1. 建物の新築時および改修時に取り付けられる製品の合計数量を明らかにする（化学製品と非化学製品の両方）
2. 化学製品の使用比率を明らかにする
3. 化学製品内での製品種別を明らかにする
4. 化学建材の使用比率に基づいて、化学製品の製造時エネルギー消費・GHG消費量の加重平均係数を求める

この後のセクションでは、建材の使用に伴うエネルギー消費の算出方法など、建材を種類別に詳しく説明する。このセクションの最後には、建材の原料調達から製造までのエネルギー消費・GHG排出係数がまとめられている。

断熱材

概要

断熱材が入っていない住宅では、およそ半分の熱が建物エンベロップから失われている(壁、屋根、窓)。したがって、建物エンベロップの断熱処理は、エネルギー消費を抑え、CO₂排出量を減らすための非常に効果的な方法といえる。

建物エンベロップの化学断熱材として、今回の調査では以下のプラスチック系製品を評価した。

- ポリスチレンフォーム(発泡または押出し)
- ポリウレタンフォーム(硬質、軟質、スプレー)
- ポリイソシアヌレートフォーム

発泡ポリスチレン(EPS)フォームは、発泡材(通常はペンタン)を浸み込ませたポリスチレンプラスチック樹脂ビーズを蒸気で発泡させる独立気泡断熱材。独立気泡断熱材は連続気泡タイプより密度が高く、小さくコンパクトな気泡構造を特徴としている。この材質は空気や水蒸気を遮断する機能に優れている。

押出し法(XPS)フォームは耐水性のある硬質材であ

り、上記と同じく小さな独立気泡からなる。EPSと同じようにポリスチレンでできているが、プラスチック樹脂ビーズに発泡剤を含浸させるのではなく、ポリスチレン樹脂に発泡剤を加えて押出し成形する。

ポリウレタン(PUR)やポリイソシアヌレート(PIR)などPU系断熱材も独立気泡構造であり、架橋密度が高い。これによって、優れた熱安定性、高い圧縮強度、低い熱伝導率が得られる高性能な断熱材となる。

モデリング

居住用建物および商業建物の壁や屋根に施されている発泡プラスチック断熱材について、カテゴリ別の詳細な数値データは得られなかった。そこで、居住用建物および商業建物の壁と屋根の断熱材の量を地域別にボトムアップ方式で算出した。まず、10年ごとに、建築ストックの壁の総面積(平方メートル)と断熱材のR値(化学製品と非化学製品の両方)を計算した。その際、建築ストックの数量と容積、および建物の壁と屋根のR値基準が年代とともに厳しくなることを考慮した。第2章の表7と表8には、屋根と壁のR値が地域別および年代別に示されている。次に、使用されている各種断熱材について、1インチあたりのR値を使用して、面積と断熱に必要なR値を立方メートルに換算する。欧州と米国については、発泡プラスチック断熱材と非化学断熱材(主にガラス繊維とミネラルウール断熱材)の相対シェアに関するフリードニアの市場データを使用して、発泡プラスチック断熱材の省エネ比率を算出した。日本については、建築環境・省エネルギー機構(IBE)が公表しているデータ(居住用建物および商業建物で使用されている断熱材の量)を参照した。また、欧州と米国で使用されている発泡プラスチック系断熱材の種類については、以前のICCA報告書を参照した(McKinsey 2009)。ただし、建物種類別(居住用建物と商業建物)の情報は得られなかったため、どちらの建物に対しても同じデータ(使用されている発泡プラスチック系断熱材の種類)を適用した。日本の場合は、居住用建物と商業建物それぞれについて、使用されている発泡プラスチック系断熱材の種類をIBEから入手した。

表10：発泡断熱材の種類（使用比率・地域別）

	Europe – all	U.S. – all	Japan residential	Japan commercial	Japan residential	Japan commercial
	All years	All years	2000	2000	2010 on	2010 on
EPS	48%	22%	13%	9%	12%	12%
XPS	13%	18%	38%	58%	44%	58%
PUR	40%	60%	49%	33%	44%	30%

断熱条件は年代とともに厳しくなるので、他の種類の断熱材に比べ、プラスチック系断熱材の市場シェアが今後増加すると見込まれる。発泡プラスチック系断熱材は他の断熱材に比べて「単位厚さあたりのR値」が大きいので、少ない断熱材でも高いR値が得られる。これは、高いR値を必要とする寒冷地域や、断熱材を入れるスペースが限られている建物構造などに適している。また、発泡プラスチック系断熱材は、EIFS（外断熱塗装工法）やSIP（構造断熱パネル）ウォールアセンブリなどの成長市場で用いられて

いる。短期市場動向に基づく発泡プラスチック系断熱材の市場シェア成長予測（フリードニア調べ）を下表に示す。欧州の一部の国では既に発泡プラスチック系断熱材が使用されており、欧州全体の2050年の予想シェアと同レベル、あるいはそれ以上のレベルに達している。したがって、今後、発泡プラスチック系断熱材は予想を上回るペースで導入が進むと思われる。その場合、断熱材全体における省エネ効果・GHG削減効果の向上は、化学断熱材に起因するといえる。

表11：新築建物および改築建物におけるプラスチック系断熱材の市場シェア（10年単位）

	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Europe	34%	37%	38%	39%	40%	41%
U.S.	32%	35%	36%	37%	38%	39%
Japan residential	26%	28%	30%	32%	33%	34%
Japan commercial	51%	57%	60%	61%	62%	63%

どの年代においても、建物の新築時または改修時に取り付けられる発泡プラスチック系断熱材は、その後50年間使用されるものと推定。断熱材がもたらす50年間の省エネルギー効果・GHG排出削減効果を求めるには、断熱材の製造に伴うエネルギー消費・GHG排出量を差し引く必要がある。50年を経過しても同じ断熱材を使用し続ける場合、製造時の環境負荷はそのまま、使用段階削減量が減少し続けることになる。

注目すべきは、ほぼすべての断熱材で化学製品が使

用されている点である。ガラス繊維断熱材やミネラルウール断熱材では化学結合剤が使用されており、セルロース断熱材では化学難燃剤が使用されている。ただし、断熱材に含まれている結合剤や難燃剤の割合を明確にするのは難しい。この分析では、繊維ガラス断熱材、ミネラルウール断熱材、またはセルロース断熱材による省エネルギー効果・GHG排出抑制効果のうち、どの程度の割合が化学物質に起因しているかを明らかにしていない。

配管および配管用断熱材

概要

プラスチック管は金属管より熱伝導率が小さい。プラスチック配管や配管用断熱材を使用することで、給湯管を流れる温水の熱損失を防ぎ、水加熱エネルギーの無駄を減らすことができる。ひいては、全体的な省エネルギー効果・GHG排出抑制効果を期待できる。

モデリング

断熱材と同様、給湯管と配管用断熱材についても詳細な統計データが得られなかった。そこで、居住用建物と商業ストックについて、カテゴリごとにボトムアップ手法でデータを見積もった。具体的には、標準の配管レイアウトから床面積1平方メートルあたりの配管長(メートル)を求め、使用フェーズモデルにおける新しい建築ストックの延べ床面積(平方メートル)を乗算する。

居住用建物のレイアウトは、住宅配管に関する査読済みのライフサイクル調査(PPFA 2011)に基づいている。商業建物のレイアウトはBuilding Insightsのデータを参照した。プラスチック配管と銅管を使用した3種類の住宅配管レイアウトを対象に、2つの温水使用パターンを評価したところ(PPFA調査)、給水中に温水が冷えるため、住宅用給湯システムで使用されるエネルギー総量の最大30%が無駄になっていることがわかった。これらのシナリオおよび使用パターンにおいて、プラスチック配管を使用した場合の熱浪費は、銅管を使用した場合に比べて平均20%少ない。給湯に

必要なエネルギー総量の30%が無駄になっていたところ、金属管の代わりにプラスチック管を使用すれば、その無駄が20%減少する。つまり、給湯に必要なエネルギー総量の6%になる。プラスチック給湯配管を使用するすべての地域の新築建物にこのエネルギー削減量を適用した。

プラスチック給水管の現在の市場シェアについては、建物内の飲用水プラスチック管(本管と配管)の総使用量をまとめたフリードニア市場調査、および建物内の配水で使用されているプラスチック管に関する論文を参照した。軽量、低コスト、現場での窃盗が少ない、取り付けが容易、優れた断熱性など、プラスチック管には金属管にはないメリットが多数ある。新しい居住用建物や商業建物では、給湯用プラスチック配管の使用率が今後数十年で急速に増加すると予想される(下表を参照)。米国の商業建物におけるプラスチック配管の市場シェア拡大は、他の地域よりいくぶん低迷すると思われる。米国の一部の都市や地域の商業建物基準を改正し、プラスチック配管の使用を追加する必要がある。ただし、米国の商業ストックにおいても、最終的には他の地域と同様、プラスチック配管の使用比率がかなり高くなると予想される。給水管でプラスチックが使用されている割合、およびポリ塩化ビニール(PVC)配管とポリエチレン配管の比率についてもフリードニア市場報告書を参照した。

給湯配管で断熱材を使用することも建築基準で定められている(2012 IECCなど)。建物内の給湯配管に必要な断熱材の量も同様のボトムアップ手法で算出

表12：新築建物における給湯用プラスチック配管の市場シェア（10年単位）

	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Europe	41%	56%	66%	71%	76%	81%
U.S. residential	39%	54%	64%	69%	74%	79%
U.S. commercial	39%	47%	54%	64%	74%	79%
Japan	67%	77%	85%	87%	89%	91%

した。Davis Energy Groupが作成した「給湯配管シミュレーションモデルのテストと検証に関する論文」によると、配管用断熱材を追加することで、1日あたりの温水の無駄が10.2ガロンから8.1ガロンに減少、温水システムの無駄が21%減少している(HWSIM)。プラスチック配管用断熱材は、一般にポリウレタンフォーム、ポリエチレンフォーム、またはポリスチレンフォームでできている。ポリエチレンフォームの製造に関するデータを入手できなかったため、ポリスチレンフォームとポリウレタンフォームのデータに基づいて配管用断熱材をモデリングした。

プラスチック配管と配管用断熱材を使用することにより、温水に必要なエネルギー消費・GHG排出がどの程度抑制されるかを定量化するため、IEA ETP 2012の温水関連データを使用した(IEA 2012b)。既存建物の温水システムで使用する地域別エネルギー量のベースラインとして、居住用建物(1世帯あたり)および商業建物(床面積1平方メートルあたり)の温水エネルギーを用いた。その後の数十年間に建てられる、プラスチック配管と配管用断熱材を使用した新しい建物については、温水エネルギーが6%減少した。これは、プラスチック配管壁と配管用発泡断熱材によって加熱損失が小さくなることに起因する。なお、敷設された配管の寿命はその建物と同じであるとする。

既存の建物の非プラスチック配管をプラスチック配管に交換した場合の省エネ効果は推算していない。通常、配管を交換するには既存の壁、床、天井を壊さなければならないので、新しい建物に比べ、既存の建物の配管がプラスチックに交換されるケースは非常に少ない。既存の建物の一部の給水配管は露出しており、断熱材を巻くことも可能だが、ほとんどの給水配管は壁、基礎部、天井裏など、工事の難しい場所に埋設されている。既存の建物の場合、断熱材を追加できるのは給湯用配管の一部のみなので、既存の配管に順次断熱材を取り付けたとしても、その省エネルギー効果・GHG排出抑制効果は新築建物のプラスチック配管や配管用断熱材に比べて非常に小さいと予想される。したがって、今回の分析ではこの点を考慮していない。

気密材

概要

建物エンベロープの伝導熱損失に加え、建物の熱損失の大きな要因が外気の侵入である。ドアや窓の周

辺、壁、屋根、床の接合部分などでは、外気が建物内に入り込み、建物内の空気が外へ逃げる可能性がある。こうした空気の入れ替わりにより、建物内を快適な温度に保とうとする空調システムへの負荷が大きくなる。

コーキング材、シーリング材、隙間充填剤、エアバリア材などを使用し、適切な施工を行うことで建物の気密性が高まる。エアバリア材など、気密目的で使用される材料のほとんどは化学製品である。今回分析する他の製品と同様、建物の新築時および改修時に使用されるエアバリア材と気密材の量をボトムアップ手法で推算する。

モデリング

外気の侵入を防ぐため、躯体工事ではエアバリアフィルム(ハウスラップ)が広く用いられている。このフィルムは、主に不織ポリエチレンとポリプロピレンでできている。石造構造で使用されるエアバリアには、液体コーティングやスプレーフォームがある。これらの材料の使用量を建築ストックモデルに基づいて推算した。スプレーフォーム式エアバリアを使用する石造建築では、このフォームが断熱と気密両方の効果をもたらす。フォーム断熱材の環境負荷は既に断熱材カテゴリで扱っている。二重カウントを防ぐため、スプレーフォームエアバリア材の製造時環境負荷は気密カテゴリに含めない。エアバリア材は少しの量で高い省エネルギー効果を期待できる。居住用か商業かにかかわらず、フレーム構造と石造構造両方において、2020年までにほぼ100%の建物でエアバリア材が利用されるようになる見込みである。建物外装の内側に施したエアバリア材の耐用年数は建物と同等(50年)とする。既存の建物にエアバリア材を追加するには外装を撤去しなければならないので、改修時のエアバリア材取り付けは対象外とする。

密閉を要する接合部の長さや建物の表面積は、建築ストックモデルに基づいて算出した(窓と床の周辺はコークやフォームのシーリング材、ドア周辺は隙間充填材、屋根は防水気密テープ)。コーキング材、シーリング材、隙間充填材の総量は、密閉対象となる表面積1平方メートルあたり、あるいは接合部1メートルあたりの材料使用量をもとに推算する。密閉用の主な材料と、単位面積あたり、あるいは単位長さあたりの必要量は、市場レポートのデータ、エネルギー効率に関

する政府のWebサイト、メーカー各社のWebサイトと設置ガイド、およびCCA運営委員会の調査資料(フリードニア、EERE 2001)を参照した。外装のコーキング材とシーリング材には、シリコン製品、合成ゴム製品、発泡フォームが含まれる。隙間充填材としては、主に塩ビ製品と合成ゴム製品を想定。屋根用防水気密テープとしては、熱可塑性オレフィン(TPO)、PVC、合成ゴムを想定している。気密目的で使用されるほとんどの材料はキログラムあたりのエネルギー消費量・GHG排出量が同じなので、気密製品カテゴリの製造時環境負荷は、どの気密製品がどのような比率で使用されているかにほとんど左右されない。

建物外装の内側に取り付けるシーリング材(土台コーキング材など)の耐用年数は建物と同じとする。一方、外部に露出しているコーキング材、およびドアや窓周辺の隙間充填材は耐用年数を10年とする。屋根用防水気密テープは、建物の屋根を交換するときに貼り替えるものとする。

気密製品を使用した場合の省エネルギー効果を算出するため、建物内(建築ストックモデル)の空気の体積、気密製品の使用と建設施工の向上に起因する1時間あたり換気量の減少、換気によって失われた空気容量を冷暖房するのに必要なエネルギー量を使用した。

屋根用反射塗装材と顔料

概要

屋根の主な目的は建物を天候から保護すること。クールルーフ用の塗装材や顔料を塗布することで、屋根材の反射率が高くなり、屋根に吸収される太陽光熱が減少する。したがって、建物内の冷房の必要性が低下する。ただし、寒い季節には、太陽光熱の吸収を抑える反射塗装によって暖房損失が発生する。この分析では、クールルーフによる省エネルギー効果・GHG排出削減効果を算出するため、気候区分と建物タイプに分けて、暖房損失と冷房節減の両方を明らかにした。クールルーフによって屋根の温度が低く保たれるので、屋根材とその下の断熱材の寿命も長くなる。この分析は、クールルーフの使用フェーズにおける省エネルギー効果・GHG排出削減効果のみを対象としている。他の屋根材の耐用年数が延びるというクールルーフのメリットは定量化しない。

クールルーフの効果は屋根自体の断熱材にも大きく

左右される。エネルギー消費をパッシブハウスと同レベルにまで抑制するには、断熱材を増やすしか方法がない。クールルーフの最大の利点は、少ない断熱材でエネルギー消費量を削減できることにある。使用する断熱材が多くなれば、クールルーフの省エネルギー効果がそのぶん希釈化されてしまう。

モデリング

クールルーフの生産量と取り付け件数に関する数量的データがほとんど得られなかったため、必要な数値をボトムアップ手法で推算した。どの地域についても、クールルーフについては前述の建築ストックモデルに基づいてデータを予測している。各地域における各種屋根材の使用比率は、世界の屋根材に関するフリードニア市場レポートを参照した。

クールルーフ顔料が屋根材自体に配合されているのか、別途塗装する必要があるのかは、屋根の種類によって異なる。化学製品としてのクールルーフの環境負荷は、クールルーフで使用されている顔料および顔料キャリア材に基づいて計算している。顔料はすべて化学製品とみなし、モデリングにあたっては、代表的な顔料として二酸化チタン(広く用いられているクールルーフ顔料)のライフサイクルデータを使用した。クールルーフのエネルギー消費量・GHG排出量には、クールルーフ塗装用顔料の化学キャリアを製造する際の環境負荷、およびクールルーフ顔料を用いた屋根用シーリング材(エチレンプロピレンジエンゴム(EPDM)、TPO、PVC)を製造する際の環境負荷も含まれる。屋根の耐用年数はその種類によって異なるので、クールルーフの種類別に算出した製造時環境負荷を耐用年数で除算して、調整している。平屋根と傾斜屋根で使用される各種クールルーフを対象に、製造時環境負荷の加重年平均を算出。さらに、耐用年数50年未満の屋根の交換頻度を考慮した上で、耐用年数(50年)に相当するクールルーフの製造時環境負荷と省エネルギー効果を求める。

商業建物に多く見られる平屋根の場合、新しいクールルーフの設置や、既存の屋根からクールルーフへの切り替えにかかる費用は、その後の冷房費削減により短期間で回収できる。温暖地域では特にその傾向が顕著だ。傾斜屋根が多い一般住宅の所有者は、美観を損なう、コストがかかるなどの理由で、クールルーフへの交換や設置に前向きでない可能性がある。クール

表13：クールルーフの設置率（新設および交換）－10年単位

Residential	2000	2010	2020	2030	2040	2050
U.S. & Europe warm	0%	0%	10%	20%	30%	40%
U.S. & Europe cool, Japan	0%	0%	2%	4%	6%	8%
Commercial						
U.S. & Europe warm	0%	5%	20%	40%	60%	80%
U.S. & Europe cool, Japan	0%	2%	4%	6%	8%	10%

表14：クールルーフの省エネルギー効果と暖房損失

	Warm commercial	Cool commercial	Warm residential	Cool residential
Energy savings (MJ/m ²)	17.7	15.2	10.0	8.5
Heating penalty (MJ/m ²)	2.7	10.5	1.1	4.4

フルによって電気料金が安くなっても、その家に長く住む予定でない場合は、最初にかかった費用を十分に回収することができない。当初のクールフル材はほとんどが白系やグレーだったが、現在ではさまざまな色を選択できる。一般住宅に取り入れても美観を損なわないので、設置に対する抵抗が弱まると思われる。上表は、居住用建物と商業建物それぞれについて、クールルーフの設置状況と今後の予測を気候区分別に示している。

居住用建物（傾斜屋根）と商業建物（平屋根）、および温暖地域と寒冷地域について、クールルーフを設置した場合の冷房節減と暖房損失を上表に示す（Levinson 2010）。この表を見ると、寒冷地域でクールルーフを設置した場合の暖房損失は、温暖地域に設置した場合の遮熱効果を大きく下回っている。クールルーフの使用フェーズにおける環境負荷を計算するには、居住用建物と商業建物の両方を対象に、新しい屋根および交換された屋根の面積（平方メートル）を地域ごとに求

め、その値に、表13のクールルーフ設置率と表14のエネルギー係数を掛ける。

前述のとおり、クールルーフの省エネルギー効果は、屋根用断熱材の使用量が少ない建物で最大となる。表14で紹介するデータ（クールルーフの省エネルギー効果）の参照元には、これらの効果が認められた時点で使用されていた屋根用断熱材の量が明示されていない。したがって、屋根用断熱材の使用が増えるにつれ、クールルーフの省エネルギー効果がどの程度希薄化するかを、この情報だけで予想することはできない。将来、クールルーフの設置率が上がり、屋根用断熱材の使用量も増加した場合、省エネルギー効果が二重カウントされる可能性がある。ただし、第4章で説明するように、欧州、日本、米国におけるクールルーフの予想省エネルギー効果は、断熱材の使用による省エネルギー効果よりかなり小さい。したがって、屋根改修の省エネルギー効果が二重カウントされたとしても、その影響はわずかである。

窓

概要

窓のエネルギー効率はさまざまな要因に左右される。エネルギー効率に優れた窓には、フレーム材、複層ガラス、低放射コーティング、窓枠間のガス層、窓枠間のフィルム、断熱効果の高いウォームエッジスペーサーなど、さまざまな技術が取り入れられている。窓のR値はこれらの技術が組み合わされた結果なので、窓枠のどの部分がどの程度省エネルギーに貢献しているかを断定することはできない。

使用フェーズモデルでは、居住用建物および商業建物でエネルギー効率の高い窓を使用した場合の全体的な省エネルギー効果を地域別に算出する。化学フレーム材および化学スペーサー材の製造に伴うエネルギー消費・GHG排出量についても、予想生産量に基づいて地域ごとに算出した。ただし、窓の使用がもたらす省エネルギー効果を、窓枠や窓スペーサーの化学成分ごとに細分化する作業は行っていない。

モデリング

プラスチック窓枠の現在の市場シェアは、樹脂製ドア・窓に関するフリードニア市場レポートを参照した。居住用建物における樹脂製窓の成長予測は、Ducker Worldwide (American Architectural Manufacturers AssociationおよびWindow & Door Manufacturers Association) が作成した「2010年業界統計情報と予測」に基づいている。この文献には、新しく窓を設置する場合と窓を交換する場合のデータが記載されている。欧州の成長率は米国と同程度。日本の居住用建物は伝統的にアルミ窓を使用しているが、「2020年までに窓のエネルギー効率を向上させる」とした新しい基準を政府が設けていることから、今後、樹脂製窓が急増すると予想される。市場シェア予測を下表にまとめた。樹脂製窓枠およびウォームエッジスペーサーの製造に伴う環境負荷を予想耐用年数(30年)に割り当てる(NREL 2012)。

窓の使用段階削減量は、断熱材と同じ方法で算出し

表15：居住用建物および商業建物における窓の市場シェア

	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Residential Windows						
Europe - New	40%	54%	67%	67%	67%	67%
Europe - Replacement	58%	68%	78%	78%	78%	78%
U.S. - New	43%	56%	70%	70%	70%	70%
U.S. - Replacement	58%	68%	78%	78%	78%	78%
Japan - New	10%	30%	50%	55%	60%	65%
Japan - Replacement	10%	30%	50%	55%	60%	65%
Commercial Windows (new and replacement)						
Europe	5%	7%	9%	11%	13%	15%
U.S.	5%	7%	9%	11%	13%	15%
Japan	2%	4%	6%	8%	10%	12%

た。まず、建築ストックの数、壁面積、ガラス窓がはめられている壁面積の割合に基づいて、建築ストックにおける窓の総面積(平方メートル)を10年単位で求める。窓のR値(地域別および年代別)は第2章の表9を参照のこと。次に、年代とともに窓のR値が向上し、窓ガラスからの熱損失が少なくなることを考慮し、省エネルギー・GHG排出抑制効果を算出。さらに、各地域における樹脂製フレーム窓の市場シェアに基づいて、省エネルギー・GHG排出抑制効果に対する樹脂製フレーム窓の寄与比率を求めた。前述のように、窓のR値はさまざまな構成部(フレーム、スペーサー、窓ガラス、コーティング、ガス層)が組み合わせられた結果であり、非化学材料も含まれている。したがって、得られた省エネルギー効果と、窓枠で使用されている化学製品との関係を明らかにしていない。

既存の窓に太陽光反射フィルムが貼られる場合もある。窓の交換より低コストですむが、省エネルギー効果は小さい。反射フィルムの目的は太陽光のカットのみであり、R値の大幅な向上は期待できない。複層ガラス窓に反射フィルムを貼ると、内側窓と外側窓に温度差が生じ、熱応力が働いてガラスが割れる可能性がある。したがって、窓用反射フィルムが役立つのは、貼り付ける窓が一重であり、建物の冷房負荷に直射日光が大きくかかっている場合となる。既存の窓に貼られる反射フィルムについては詳しい情報が得られなかった。この分析は、省エネルギー効果の高い窓に交換するケースのみを対象としている。既存の窓に貼り付けるフィルムの製造時環境負荷および使用時の省エネルギー効果は含まれない。

製造時の環境負荷

次ページの表16に、化学製品製造時のエネルギー消費量・GHG排出量を地域別および建物タイプ別に示す。この表から、各種化学製品の原料調達から製造までの環境負荷がわかる。なお、建築ストックの物理

特性に基づいて製品データを計算したときの基準単位を用いている。たとえば、断熱材の重量(kg)は、新しい建物および改修された建物ストックの屋根と壁の面積、使用されている断熱材のR値、断熱材の密度に基づいて算出した。配管の長さ(メートル)は、総床面積(平方メートル)、および建物床面積1平方メートルあたりの給湯配管の平均長(メートル)に基づいて算出した。コーキング材とシーリング材の量は、密閉するドア、窓、屋根、土台の周囲長に基づいている⁸。

まとめ

建物エンベロープや建物内給湯配管システムのエネルギー効率を高めるため、現在さまざまな化学製品が使用されており、その割合は今後ますます増加する見込みだ。気密材、コーキング材、シーリング材などの製品群では、すべてではないにしろ、そのほとんどが化学製品である。クールルーフ材は、顔料やコーティングなどの化学製品によって優れたエネルギー効率を実現している。

断熱材、プラスチック配管、窓枠など、選択肢として化学製品と非化学製品がある製品カテゴリでは、優れた特性を持つ化学製品が圧倒的な市場シェアを獲得しており、現在も増加傾向にある。化学製品は、非化学製品に比べてコスト面でも優位にある。たとえば、プラスチック管は銅管より値段が安い。

この分析で検討したほとんどの化学製品は、使用フェーズのメリットをその製品に含まれる化学物質と直接関連付けることができる。化学物質は窓のエネルギー効率向上にも大きく貢献しており、フレーム材、ウォームエッジスペーサー、フィルムなどで用いられている。ただし、窓全体のエネルギー効率は、窓ガラス、金属コーティング、窓枠間のガス層といった非化学物質にも左右される。したがって、この分析では、窓による省エネルギー効果に占める化学物質の割合を明らかにしていない。

8 この表は、ライフサイクル全体(建物あたり)のエネルギー消費量・GHG排出量を年間ベースで明らかにすることを目的としている。何らかの結論を提示するものではない。

表16：化学建材の原料入手から製品製造までの環境負荷（製品の耐用年数を基準に年間ベースに換算）

製品データの基準単位	壁と屋根の断熱材	プラスチック配管	配管用断熱材	壁のエアバリア材		気密材				防水気密テープ	クールルーフ	樹脂フレーム	フィルム	窓
				フレーム	石造	コーキング材	土台コーキング材	窓コーキング材	隙間充填材					
/kg	/kg	/m	/kg	/m ²	/m ²	/m	/m	/m	/m	/m	/m ²	/m ²	/m ²	/m ²
製品データの耐用年数(年)	50	50	20	50	50	50	50	10	10	20	混合*	30	15	30
製品の耐用年数(年)	50	50	20	50	50	50	50	10	10	20	混合*	30	15	30
製造時エネルギー消費量(MJ)														
居住用建物の製品														
米国	1.74	0.38	4.89	0.20	0.28	0.044	0.044	0.22	1.30	1.72	0.13	17.1	0.95	0.010
欧州	2.01	0.40	5.25	0.22	0.30	0.048	0.048	0.24	1.43	1.89	0.39	18.7	1.07	0.011
日本	1.96	0.39	4.98	0.20	0.28	0.045	0.045	0.23	1.33	1.76	0.36	17.5	0.98	0.010
商業建物の製品														
米国	1.74	0.38	4.89	0.20	0.28	0.044	0.044	0.22	1.30	1.72	3.14	17.1	0.95	0.010
欧州	2.01	0.40	5.25	0.22	0.30	0.048	0.048	0.24	1.43	1.89	2.58	18.7	1.07	0.011
日本	2.11	0.39	0.39	0.20	0.28	0.045	0.045	0.23	1.33	1.76	2.67	17.5	0.98	0.010
製造時のGHG排出量(kg CO₂)														
居住用建物の製品														
米国	0.07	0.012	0.17	0.0073	0.0058	0.0020	0.0020	0.0100	0.058	0.067	0.008	0.74	0.042	0.00045
欧州	0.07	0.011	0.17	0.0072	0.0057	0.0020	0.0020	0.0099	0.057	0.066	0.021	0.74	0.042	0.00045
日本	0.08	0.012	0.16	0.0065	0.0052	0.0019	0.0019	0.0093	0.053	0.061	0.020	0.69	0.038	0.00042
商業建物の製品														
米国	0.07	0.012	0.17	0.0073	0.0058	0.0020	0.0020	0.0100	0.058	0.067	0.12	0.74	0.042	0.00045
欧州	0.07	0.011	0.17	0.0072	0.0057	0.0020	0.0020	0.0099	0.057	0.066	0.10	0.74	0.042	0.00045
日本	0.08	0.012	0.01	0.0065	0.0052	0.0019	0.0019	0.0093	0.053	0.061	0.10	0.69	0.038	0.00042

* 居住用建物および商業建物におけるクールルーフの環境負荷は、耐用年数が異なる複数種類の屋根に基づいて算出。この表に記載されている数値は、それぞれの耐用年数で正規化された各種屋根の相対シェアを表している。居住用建物の屋根の環境負荷は、傾斜屋根1平方メートルあたりのクールルーフ顔料の使用量を基に算出（瀝青セメントおよび繊維セメントの屋根板、瓦ぶき、コンクリートタイル）。商業建物の屋根の場合、金属屋根やクールルーフ材に顔料と化学顔料キャリア材（アクリル樹脂塗料など）が含まれているので、居住用建物に比べて環境負荷が大きくなる。

今後、居住用建物と商業建物に化学製品がどのようなペースで導入され、それにより、建物エンベロープや建物内給湯システムのエネルギー効率などの程度向上するかを把握することで、分析対象である各先進地域について、2050年までの省エネルギー効果・GHG排出抑制効果を予測できる。ここでは、地域、建物種別(居住用建物と商業建物)、建物内での最終用途(暖房、冷房、給湯)、製品カテゴリー(壁と屋根の断熱材、クールルーフ、気密製品、給湯配管と配管用断熱材、窓)の観点から省エネルギー効果・GHG排出抑制効果を予測分析する。製品カテゴリー別の詳しい算出方法は第3章を参照のこと。

この章に記載されている分析結果は、暖房、冷房、および給湯に必要な建物レベルでの直接エネルギー総量をもとに、冷暖房機器や給湯器のエネルギー効率を考慮して調整されている。結果データには、これらの機器で使用する燃料やエネルギーを抽出、処理、供給するためのエネルギー量・GHG排出量も含まれる。GHG排出削減量の計算例を右に示す。

この章では、エネルギーの分析結果を石油換算百万トン(Mtoe)で表す。1Mtoeは $[41.868 \times 10^{15}]$ ジュールのエネルギー量に相当する。GHG排出量は二酸化炭素換算百万トン(MtCO₂e)で表す。

建物エンベロープのエネルギー効率向上による居住用建物と商業建物のGHG排出削減

欧州、日本、米国における省エネ型建物エンベロープの環境負荷予測として、以下の図は、将来へ向けてのライフサイクルエネルギー消費量を示している。ここでは、建築ストックが増加する一方、R値や空気侵入率は変わらない(つまり、建物床面積1平方メートルあたりのエネルギー消費量・GHG排出量が変わらない)ケースを想定している。燃料混合率と電気の炭素強度が一定だとすると、GHG排出量は増加傾向をたどり、2000年の3,400 MtCO₂eから2050年には5,200 MtCO₂eに達する。

たとえば、3m×3m(9平方メートル)の壁があるとすると。この壁の熱損失量は、内側と外側の温度、および壁自体のR値によって異なる。壁の初期R値が1.5m²K/ワットであり、この建物が年間暖房日(HDD)1000の地域に建てられている場合、壁9m²の伝導熱損失は1年あたり518MJとなる。

壁で失われた熱は建物内の加熱炉で補う。エネルギー効率80%のガス炉を使用する場合、この熱損失を埋め合わせるには「518/0.8=648MJ」の天然ガスが必要となる。ライフサイクル全体(天然ガスの抽出、処理、燃焼)のGHG排出量は天然ガス1MJあたり0.07kgCO₂eなので、ガス炉で使用するガスのCO₂e量は「648×0.07=45.4kgCO₂e」となる。

建物を改修し、R-2フォーム断熱材を壁に追加した場合、壁のR値がR-3.5に増加し、壁の熱損失が減少する。R-3.5の壁で上記と同じ計算を行うと、この壁の熱損失は222MJ、天然ガス消費量は278MJ、GHG排出量は19.5kgCO₂e。したがって、R-2フォーム断熱材を追加することによって削減されるGHG排出量は、面積9m²について1年あたり「45.4-19.5=25.9kgCO₂e」となる。つまり、壁面積1m²あたりの年間GHG排出削減量は「25.9 / 9m²=2.9kgCO₂e」である。

米国の一般的な戸建て住宅の壁面積はおおよそ180平方メートルなので、フォーム断熱材を追加した場合の年間GHG排出削減量は「2.9kgCO₂e/m²×180m²=518kgCO₂e」となる。米国では約5,200戸が1000HDD/年地域にある。これらの住宅で壁の熱損失が改善された場合、GHG排出削減量は年間2,700万トンCO₂eに達する。同様に空調についても、冷房日、空調機器を作動するための電力(MJ)、電力1MJあたりの排出係数(kgCO₂e)に基づいて削減量を算出する。

図14：建築ストックの増加に伴うライフサイクルエネルギー消費量の推移－建物エンベロップのエネルギー効率が向上しない場合

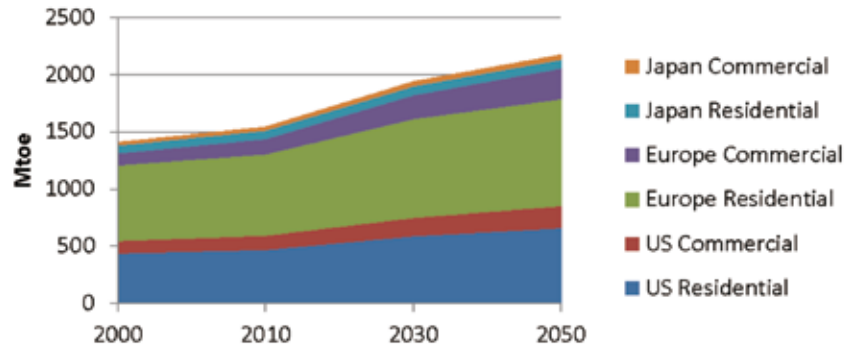
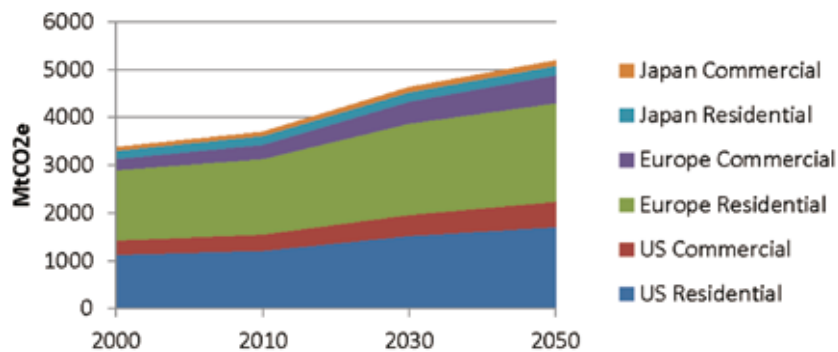


図15：建築ストックの増加に伴うライフサイクルGHG排出量の推移－建物エンベロップのエネルギー効率を改善しない(燃料と電気の炭素排出原単位が変化しない)場合



2000年から2050年にかけて、欧州、日本、米国では建築ストックが次第に増加していく。もし、2000年以降の新しい建物が何も改善されないとすると、建物のエネルギー消費量は54%増加し、GHG排出量は1,800 MtCO₂e増加する結果となる。

実際には、建築エンベロップのR値が大きくなり、空気侵入率も低下するので、戸建て住宅または商業スペース1平方メートルのライフサイクルエネルギー消費量・GHG排出量は年代とともに減少していく。以下のグラフに示すライフサイクルエネルギー消費量・GHG排出量は、米国Life Cycle Inventory (LCI) データベースで公開されている燃料生産に関するFranklin Associatesのデータ、およびIEA提供の地域別電力供給網に関する情報を基に算出した。

これらのグラフの分析結果には、壁や屋根の断熱、給湯システム、気密、クールルーフ、窓で利用される“あらゆる”建材の省エネルギー効果・GHG排出削減効果が含まれている。この後のセクションでは、これらのカテゴリーの“化学製品”を使用した場合、エネルギー消費量・GHG排出量がどのように減少するかを詳しくみていく。

図16と図17は、エネルギー効率が劣る古い建築ストックを取り壊し、年代とともに厳格化する建築基準に従って新しい建物を建てた場合、エネルギー消費量・GHG排出量がどのように変化するかを示している。これらのグラフを見ると、新しい建築ストックのエネルギー効率を改善し、古い建築ストックを順次取り壊すだけでは、戸数と規模が共に増加する新しい建

図16：建築ストックの増加に伴うライフサイクルエネルギー消費量の推移－新しいストックのエネルギー効率は向上するものの、既存のストックを改修しない場合

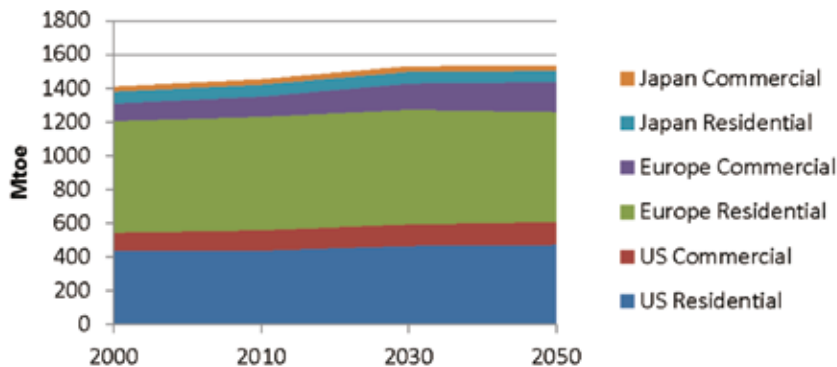
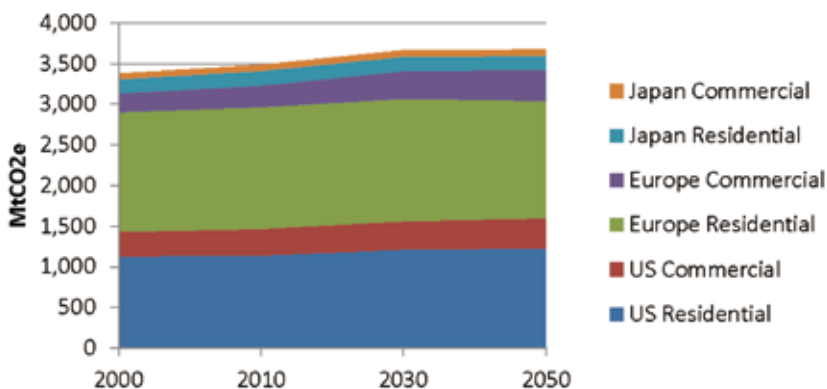


図17：建築ストックの増加に伴うライフサイクルGHG排出量の推移－新しいストックのエネルギー効率は向上するものの、既存のストックを改修しない(燃料と電気の炭素排出原単位が変化しない)場合



物に対処できないことがわかる。

新しい建築基準の厳格化に伴い、建物のエネルギー消費量はおよそ9%の増加、GHG排出量は約300 MtCO₂eの増加に抑えられると予想。一方、建物の床面積は2000年から2050までに57%増加する。建築ストックがこのペースで増加すると、新築基準の厳格化だけでは建物によるGHG総排出量を抑制できない。

建築ストックが増加する状態でも、建物のエネルギー消費量とGHG排出量を削減するには、既存の膨大な居住用建物と商業建物のエネルギー効率を高める必要がある。図18と図19は、第1章で説明した2種類の改修シナリオ(漸進的と急進的)の経時変化を示している。一般住宅の戸数(と広さ)が増大し、商業

スペースの面積が広がった場合でも、1章と2章で説明した方法で建物エンベロップを改修すれば、全体的なエネルギー消費量とGHG排出力を削減できる。2000年ストックに対する漸進的改修と新しい建築基準を組み合わせた場合、2050年までにエネルギー消費量・GHG排出量が12%減少する。また、急進的改修と新たな厳しい建築基準を組み合わせた場合は、エネルギー消費・GHG排出量が2000年比で23%減少する。この間、これらの地域の建築ストックは59億平方メートル(2000年)から93億平方メートル(2050年)に増加する見込み。最も大きな削減を期待できるのは居住用建物である。とくに欧州と米国は削減効果が高く、漸進的改修シナリオでのGHG排出削減量はそれぞれ450MtCO₂と107MtCO₂、急進的改修シナリオ

図18：建築ストックの増加に伴うライフサイクルエネルギー消費量の推移－新築ストックのエネルギー効率を高め、既存のストックを改修する場合

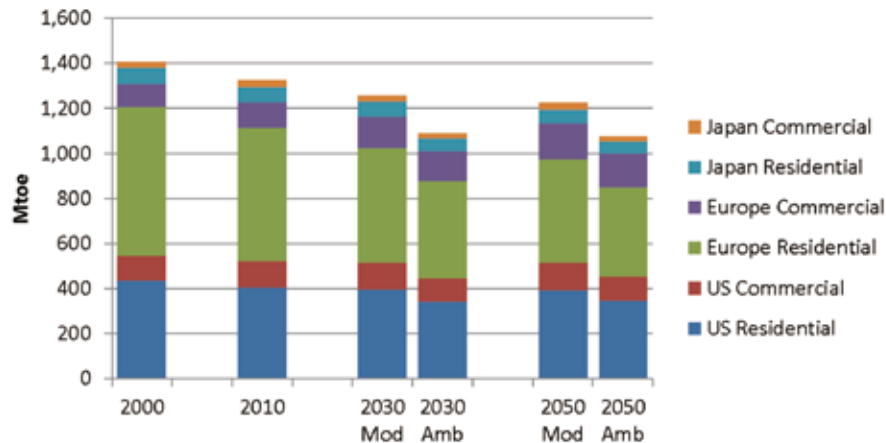
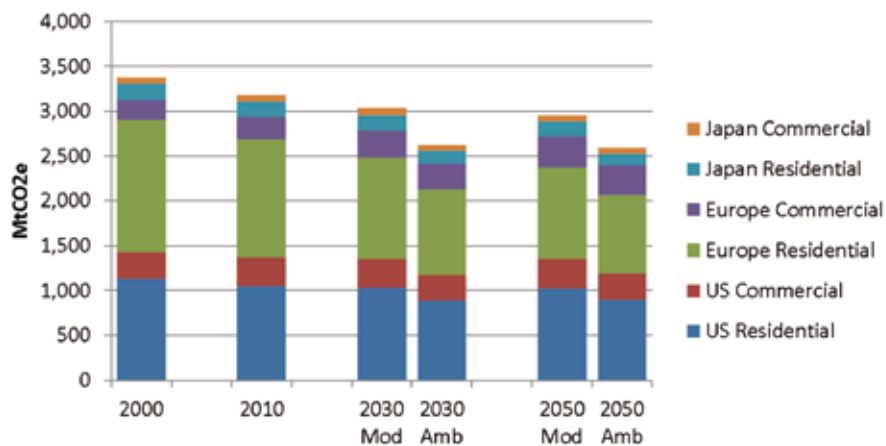


図19：建築ストックの増加に伴うライフサイクルGHG排出量の推移－新築ストックのエネルギー効率を高め、既存のストックを改修する場合（燃料と電気の二酸化炭素強度は変化しない）



でのGHG排出削減量は592MtCO₂eと232MtCO₂eとなっている。日本の居住用建物ストックにおけるGHG排出削減量は、漸進的改修シナリオでは23MtCO₂e、急進的改修シナリオでは48MtCO₂eである。商業建物ストックについては、戸数増加率が商業建物エンベロップのエネルギー効率改善を上回る見込みだ。漸進的改修シナリオを見ると、米国の商業ストックではGHG排出量が33MtCO₂e増加、欧州の商業ストックでは118MtCO₂e増加する。急進的改修シナリオによると、欧州における商業ストックのGHG排出量は97MtCO₂eまで減少する見込み。米国の商業ストックでもGHG排出量がわずかに(5MtCO₂e)減少すると思

われる。どちらの改修シナリオでも、日本の場合は商業建物ストックのGHG排出量がわずかに減少（漸進的改修シナリオで1MtCO₂e、急進的改修シナリオで8MtCO₂e)する。

厳格化された新しい建築基準に従う一方、既存のストックを改修することで、建築ストックが34億平方メートル増加したとしても、建物によるGHG排出を抑制できる可能性がある。3つの地域の建物から排出されるGHGは、漸進的改修シナリオでは2050年までに合計427MtCO₂e削減、急進的改修シナリオでは合計786MtCO₂e削減される見込み。この間、建物の床面積は57%増加する。

建物エンベロープの改善、燃料切り替え、電気の低炭素化による省エネルギー効果・GHG排出削減効果

これまでのセクションでは、建物エンベロープと給湯システムのエネルギー効率向上がもたらす影響に焦点をあてるため、2050年まで燃料混合率を一定にしていた。このセクションのグラフを見ると、建物エンベロープのエネルギー効率を高めると同時に、暖房、冷房、給湯で使用する燃料と電気の混合率を変えた場合、エネルギー消費量・GHG排出量がさらに抑制されることがわかる。燃料混合率はIEA ETP 2012 2DSの情報に基づいている。2DSシナリオでは燃料の利用状況が大きく変化しており、建物で使用する直接エネルギーについても、発電についても、従来の化石燃料から太陽光などの再生可能エネルギーへとシフトしている。2DSの燃料混合は、低炭素化を促進し、かつエネルギー効率が高まるように考慮されている。たとえば、天然ガスヒーターから太陽エネルギーへ切り替えればエネルギー効率が向上する。化石燃料は燃焼時にエネルギー損失が発生するが、太陽エネルギーはそれがなく、建物レベルで直接エネルギーを使用できる。2DSでは、残りのほとんどの化石燃料発電で炭素回収技術を利用することにより、発電をさらに低炭素化する。建物エネルギーの効率が向上し、CO₂強度が大幅に低下する。

図20と図21は、建物エンベロープのエネルギー効率を高めつつ、燃料と発電の低炭素化を促進した場合の付加的メリットを表している。図20に示すように、燃料を“変えずに”、建物のエネルギー効率を向上しつつ、既存の建物を改修した場合、ベースラインからの減少率は漸進的改修シナリオで13%、急進的改修シナリオでは24%。建物エンベロープのエネルギー効率向上と2DS燃料切り替えを組み合わせた場合、エネルギー消費量はさらに減少し、ベースラインからの削減率は漸進的改修シナリオで33%、急進的改修シナリオで41%となる。

GHG排出量はそれ以上に飛躍的に減少する(図21を参照)。化石燃料から再生可能燃料への切り替えによるCO₂削減に加え、2DSには、化石燃料を利用した火力発電で二酸化炭素を回収・貯蔵(CCS)する技術も含まれている。CCSはCO₂削減につながるが、CO₂の回収と貯蔵にはそのためのエネルギーが必要となる。建物エンベロープのエネルギー効率を向上すると同時に、

低炭素2DS燃料シナリオを促進した場合、2000年ベースラインからの減少率が漸進的改修シナリオでは12%から68%に向上し、急進的改修シナリオでは23%から73%に向上する。このレポートでは、エネルギー効率に優れた化学建材の役割に焦点をあてているが、GHG排出抑制を促進するエネルギー供給の低炭素化でも化学が重要な役割を担っている。たとえば、二酸化炭素の回収・貯蔵技術や再生可能エネルギー(バイオマス精製、太陽エネルギーを捕獲・変換する新素材の開発、塗装、硬化剤、コンクリート添加剤など、風力エネルギーシステムで使用する新素材の開発)では化学技術が欠かせない。

各種燃料および電気の低炭素化が進むにつれ、エネルギー1MJあたりのGHG排出量が次第に減少していく。つまり、エネルギー消費量を同じだけ削減したとしても、それによるGHG削減効果は徐々に小さくなる。とはいえ、2000年ベースラインと比較すれば、全体的なGHG削減効果は次第に大きくなっていく。

化学製品のバリューチェーンによる削減効果

建物エンベロープのエネルギー効率向上が必ずしも化学製品の使用によるものとは限らないので、化学製品のバリューチェーンに直接起因する省エネルギー効果・GHG排出削減効果を分けて考える必要がある。化学製品の寄与を明確にするには、エネルギー消費・GHG排出の合計削減量を製品カテゴリーごとに求め、地域ごと、および建材種別ごとに、各化学製品の市場シェアに基づいて調整を加える。化学製品の製造と設置には、原材料の調達から化学物質の生産、製品の製造、職人による取り付けまで、バリューチェーン全体を通じてさまざまな活動が伴う。この分析では、化学製品技術のバリューチェーンを構成する工程ごとには削減量を細分化しない。これら化学製品の製造に伴うライフサイクル全体のエネルギー消費量・GHG排出量を予想使用年数に配分する。

エネルギー消費・GHG排出の削減量は化学製品の使用状況に基づいている(第3章を参照)。図22と図23のグラフは、化学製品(窓を除く)がもたらすライフサイクル全体の年間省エネルギー量・GHG排出削減量を示している。樹脂フレームやその他の化学物質を利用した省エネ型窓はエネルギー消費量・GHG排出量の削減に大きく貢献しているが、窓全体のエネルギー効率は、フレーム、窓ガラス、フィルムや塗装、ガス

図20：燃料切り替えがエネルギー消費量にもたらす付加的影響

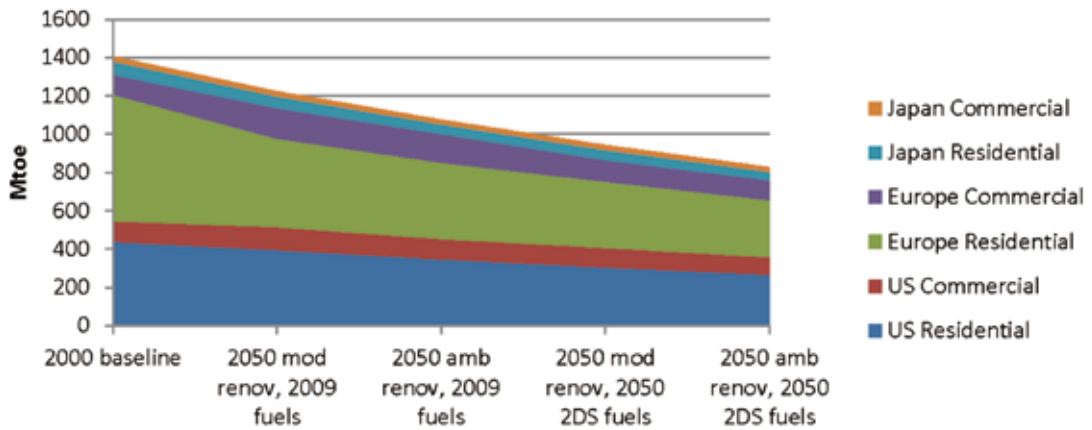
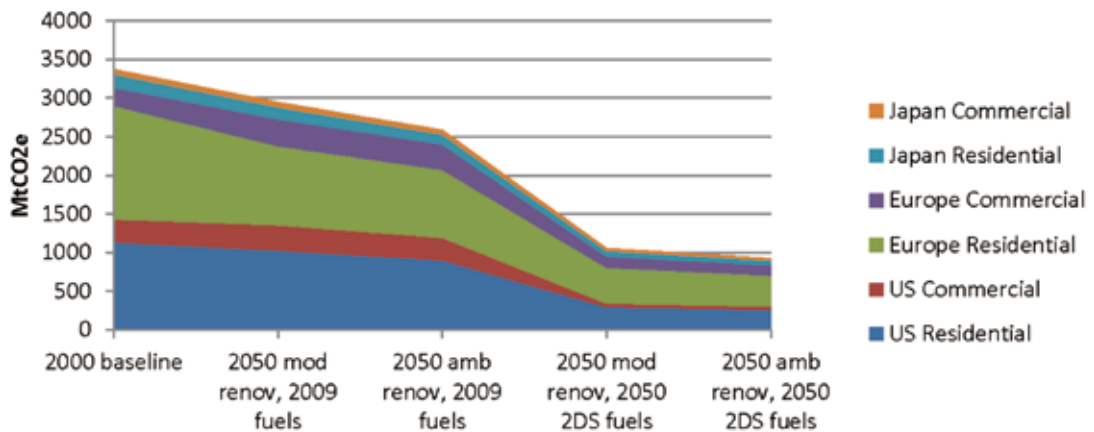


図21：燃料切り替えがGHG排出量にもたらす付加的影響



層、およびウォームエッジスペーサーを組み合わせた結果である。この調査では、窓全体の省エネルギー効果・GHG排出削減効果を、窓を構成する化学素材レベルでは分析していない。

次のグラフは、漸進的改修シナリオ (Mod) と急進的改修シナリオ (Amb) について、化学製品による省エネルギー量・GHG排出削減量を示している。化学建材の効果に焦点をあてるため、燃料混合と炭素強度は一定にしている。急進的改修シナリオでは、化学製品の使用量を増やすことでエネルギー消費・GHG排出が大幅に減少している。2010年については、想定した改修シナリオが1つだけなので、結果グラフも1つしか表示されていない。2010年には、年3%の急進的改修ペースを遡って適用しなかった。

図22と図23のグラフは、エネルギー効率を2000年ストックレベルと想定し、2050年の建築ストック数に基づいて表されている。図14と図15に示すように、エネルギー効率が2000年レベルのままだとすると、建築ストックが93億平方メートルに増加する2050年には2,200Mtoe以上のエネルギーを消費し、およそ5,200MtCO₂eのGHGを排出することになる。図19に示すように、新しい建物のエネルギー効率を高めつつ、既存の建物の改修を進めた場合、2050年時点でのGHG排出量は漸進的改修シナリオでおよそ3,000MtCO₂e (2,200MtCO₂eの削減)、急進的改修シナリオで2,600MtCO₂e (2,600MtCO₂eの削減)。このうち“化学”建材(窓を除く)に起因する削減量は、漸進的改修

図22：ライフサイクル全体の年間エネルギー消費削減量－化学建材（窓を除く）を使用した場合

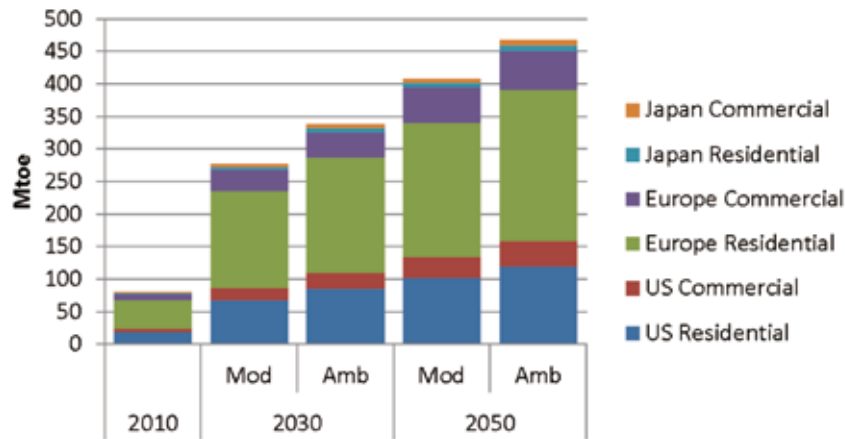
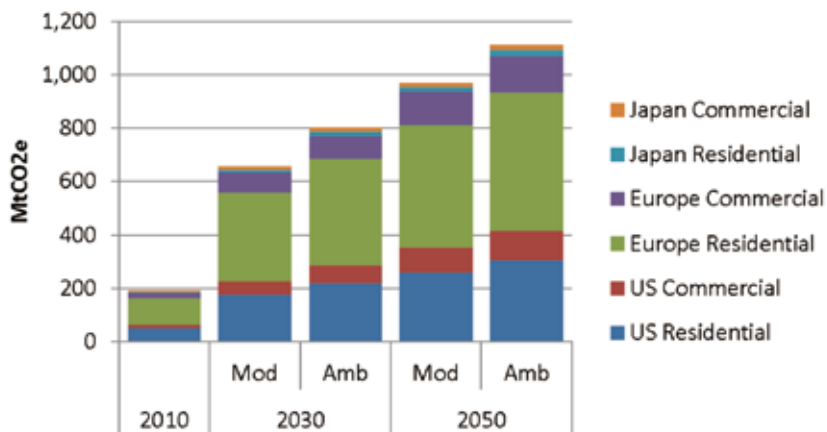


図23：ライフサイクル全体の年間GHG排出削減量－化学建材（窓を除く）を使用した場合



シナリオで970MtCO₂e、急進的改修シナリオで1,113MtCO₂eである(図23)。

エネルギー消費・GHG排出削減の地域別内訳で最も大きな割合を占めているのは、欧州と米国の居住用建物である。これには、一戸建て住宅と集合住宅の両方が含まれる。居住用建物のうち、削減幅が最も大きいのは一戸建て住宅であり、平均して75%以上の熱損失がある。一戸建て住宅と集合住宅のエネルギー効率が増すにつれ、一戸建て住宅でのエネルギー損失の割合は2050年までほぼ75%のままとなる。これは、一戸建て住宅と集合住宅の両方に同じ増加率を適用しているため。2050年における住宅用建物の総床面積は欧州も米国も同じだが、エネルギー消費・GHG排出削減量は欧州が米国を大幅に上回ってい

る。欧州の方が、ゼロエネルギー建物を目指して積極的に省エネを促進しているためだ。

どの10年間についても、各地域のすべての種類の商業建物に同じ増加率を適用した。つまり、地域内の学校、病院、ホテル、店舗、オフィスビルが同じ割合で増加すると見なしている。ただし、2010年～2030年の米国については、商業建物の種類別データを参照している⁹。したがって米国だけは、商業建物の種類別エネルギー使用比率に変化がみられる。いずれにしても、米国内ではオフィスビルが最大比率のまま推移する。欧州の場合、エネルギー使用比率が最も大きい商業建物は店舗。日本では、オフィスビル、教育施設、小売店舗がほぼ同等の割合となっている¹⁰。

9 2030年までの米国の予測は、「2012年米国年間エネルギー展望」に基づいている。2010年については、米国と欧州の両方で商業建物の種類別データを参照した。

10 ヨーロッパの小売店舗には卸売も含まれるので、エネルギー使用比率が大きくなっている。

図24：商業建物の種類別エネルギー使用比率－米国

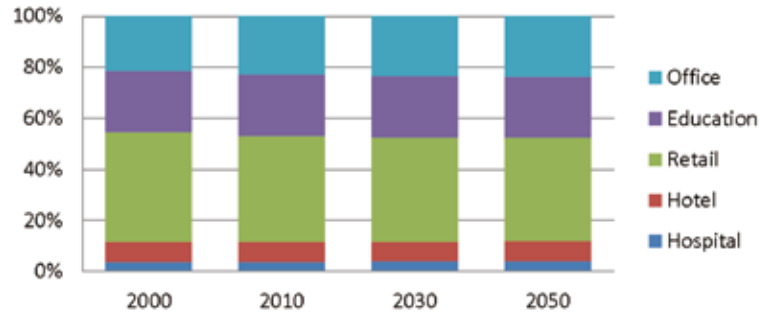


図25：商業建物の種類別エネルギー使用比率－欧州

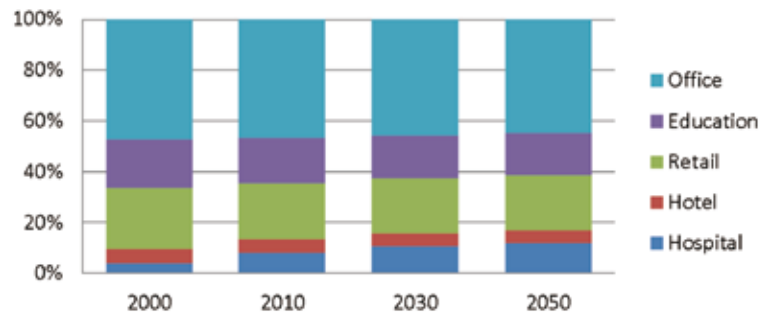
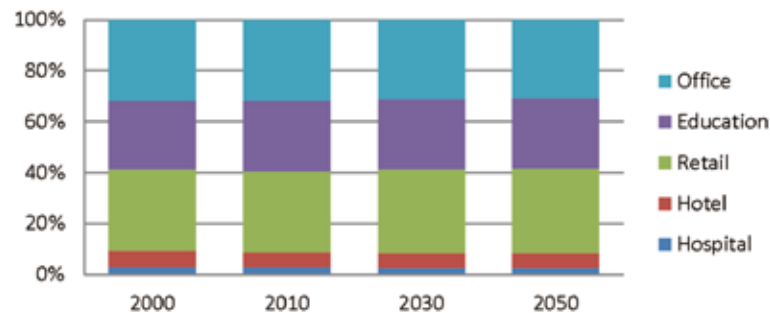


図26：商業建物の種類別エネルギー使用比率－日本



最終用途別の分析結果

3つの最終用途(暖房、冷房、給湯)のうち、どの地域(欧州、日本、米国)においても、ライフサイクルの省エネルギー効果が最も高いのは暖房である。たとえば、壁や屋根に断熱材を入れて熱伝導損失を抑えたり、建物の気密性を高めて外気の侵入を防ぎ、熱損失を小さくするなどの方法がある。暖房エネルギーと冷房エネルギーの相対シェアは、建物による実際のエネルギー損失量だけでなく、冷暖房で使用されるエネルギーの種類や効率にも影響される。たとえば、米国の居住用建物における“熱損失”の34%は建物内の冷房に起因する。しかし、多くの空調(冷房)機器は暖房シ

ステムよりエネルギー効率が優れているので、購入したエネルギーに占める冷房の割合は12%にすぎない。空調機器に供給した電力の消費効率が悪ければ、供給電力1kWhあたりにより多くの“一次エネルギー”が必要となる(図11を参照)。その結果、“ライフサイクル全体のエネルギー消費”における冷房の割合が26%になってしまう。2050年までに達成されるGHG排出削減量とエネルギー源にはわずかな相違があるが、結果は概ね同じである。次のグラフは、各地域の建物種別ごとに、暖房、冷房、給湯で消費するエネルギーの削減総量を相対比率で表している。

図27：最終用途で化学建材を使用した場合の省エネルギー比率（2050年）

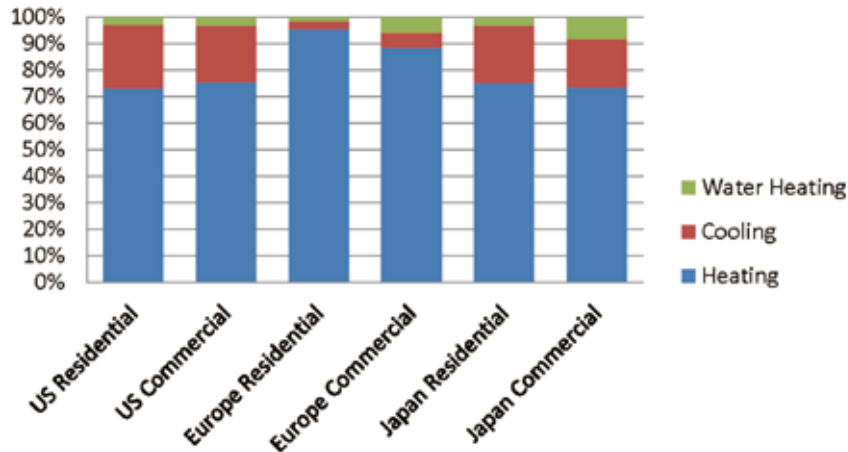
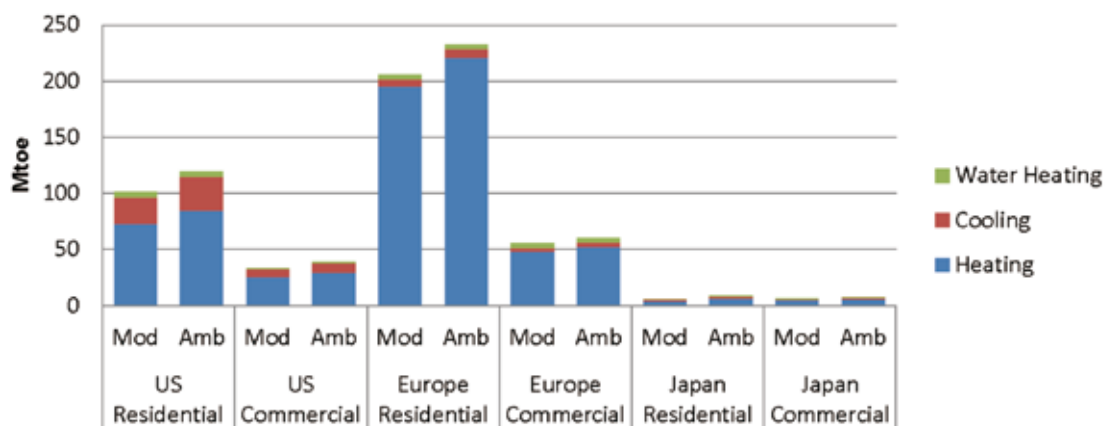


図27を見ると、欧州における2050年時点での消費エネルギー削減量は、日本や米国と比べて暖房の比率が非常に高い。欧州で冷房の消費エネルギー削減比率が低いのはいくつか理由がある。寒冷な欧州諸国では、南米より冷房日が少なく、暖房日が多い。さらに、欧州の住宅は日本や米国ほど空調が普及していない。冷房を必要とする日が少なく、必要であってもあ

まり空調を使用しないので、建物エンベロープのエネルギー効率が向上したとき、欧州では冷房に関連するエネルギー消費・GHG排出がほんのわずかしこ減少しないことになる。建物エンベロープのエネルギー効率向上は、暖房に必要なエネルギー量（およびGHG排出量）により大きな影響を与える。

図28：各地域の最終用途における消費エネルギー削減量（2050年、建物種類別）



欧州と米国の居住用建物では消費エネルギー削減量が大きく、日本の建築ストックでは消費エネルギー削減量が小さいが、どちらも初期エネルギー消費量（2000年建築ストックの数量と特性、および各地域の気候条件によって算出）に基づいており、各地域で、今後建物エンベロープがどのように向上す

るかも考慮されている。欧州および米国の寒冷地域では、建物の新築時と改修時にエネルギー効率を大幅に改善する必要がある。気候が穏やかであり、断熱材を取り入れた建物が非常に少ない日本では、断熱材の使用量が増えたとしてもあまり影響を受けない。

図29：各地域の最終用途におけるGHG排出削減量（2050年、建物種別別）

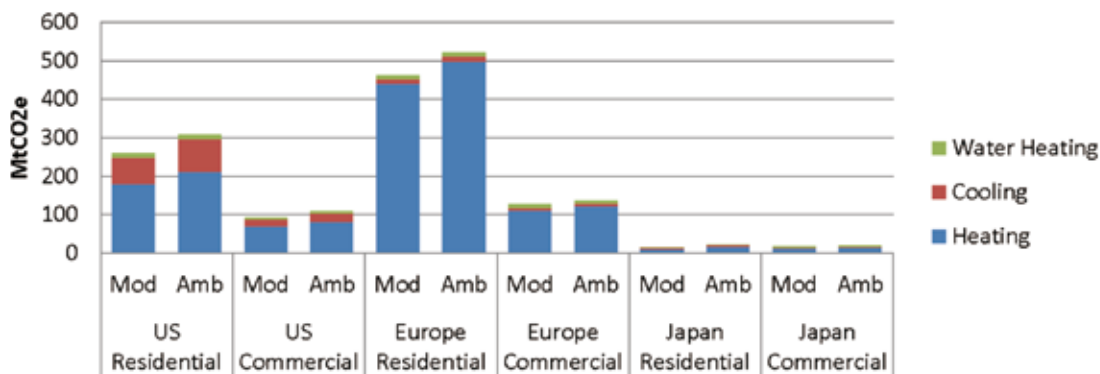
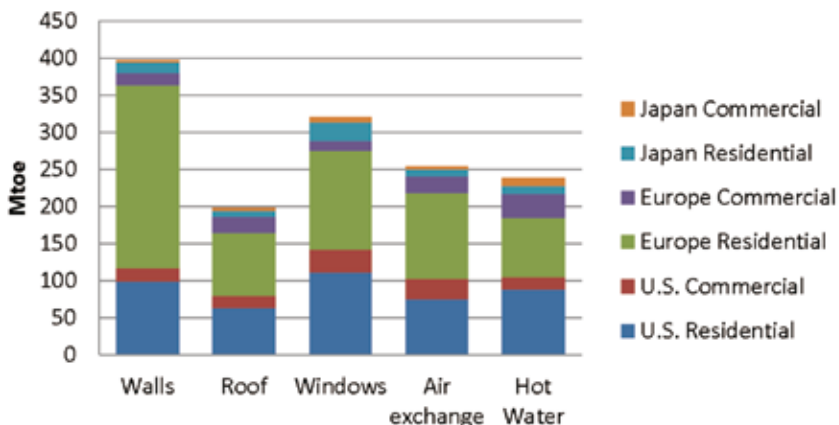


図30：エンベロープの構成要素別ライフサイクルエネルギー消費量（2000年）



製品カテゴリー別の分析結果

建物エンベロープの各構成要素は、(屋根、壁、窓)の熱伝導を抑制したり、外気の侵入を防いだりすることによって熱損失の軽減に貢献している。さらに、この調査は給湯で使用するエネルギーにも焦点をあて、プラスチック配管と配管用断熱材を使用することで、建物用給湯システムが温水を供給する際の熱損失をどの程度抑制できるかを検証する。各地域の居住用建物および商業建物における構成要素別の年間(2000年)エネルギー消費量を図30に示す。前述のように、エネルギー消費量(およびそれに伴うGHG排出量)のほとんどを欧州と米国の居住用建物が占めているが、これにより、建物エンベロープの各

部からどれくらいのエネルギーが失われるかを推測できる¹¹⁾。

図31は、2050年建築ストックにおいて、エネルギー消費削減に最も関係する化学製品を示している。消費エネルギー削減の大部分は、壁と屋根の断熱を強化し、建物の気密性を改善することによってもたらされる。製品カテゴリー別の削減量を図32に示す(図23の合計削減量に、図31の比率を掛けて算出)。このグラフのデータには、窓関連の削減量は含まれていない。

樹脂製のフレームやウォームエッジスペーサーなど、化学素材を用いた窓もエネルギー消費量・GHG排出量の削減に大きく寄与する。ただし、これらの化

11 石造壁のR値は小さいので、ここでは壁関連のエネルギー消費量を15%ほど大きくしている。これによって壁のエネルギーフローは影響を受けるが、全体的な削減量が正しく調整される。壁関連の実際のライフサイクルエネルギー消費量は、窓のそれより若干大きい。

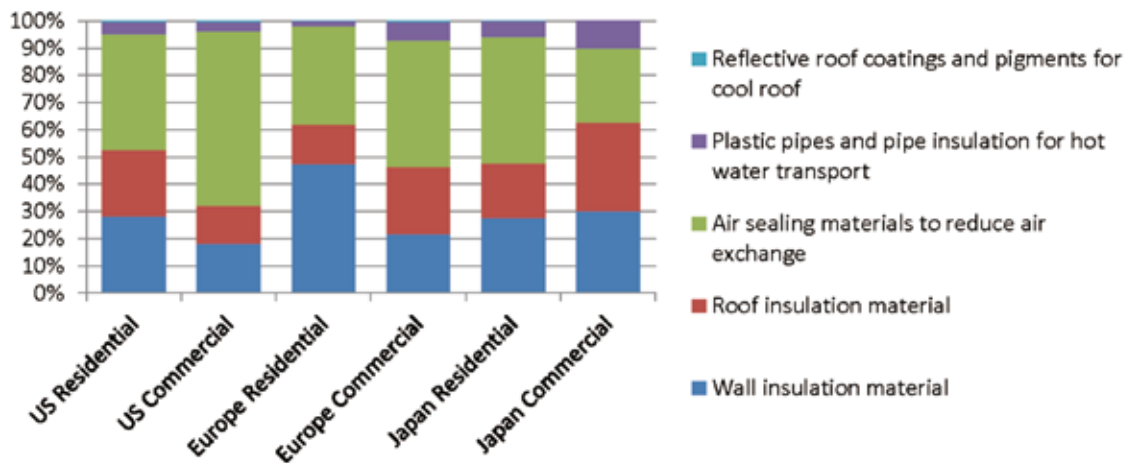
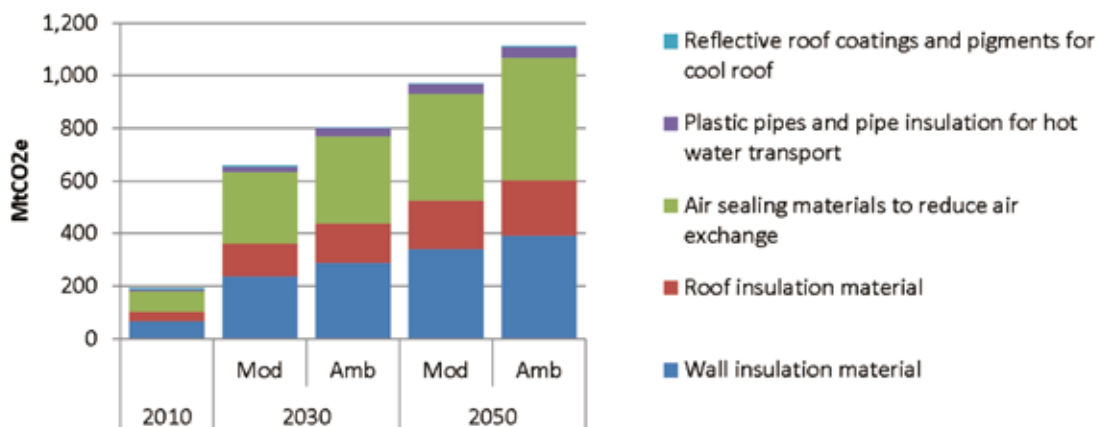
図31：化学建材の種類別消費エネルギー削減比率（2050年）¹²

図32：化学建材の種類別GHG排出削減量（窓を除く）



学素材は、化学由来でない他の省エネルギー技術（複層ガラス窓やEコーティングなど）と組み合わせて使用される。そのため、エネルギー消費・GHG排出削減量に占める窓用化学製品の割合を明らかにするのは難しい。ましてや、2050年までに取り付けられるすべての窓を検証するのは非常に困難である。したがって、“樹脂製フレーム”（およびその他の化学技術）を用いた省エネルギー型窓のエネルギー消費・GHG排出削減量については、化学製品との関連付けが容易なデータには含めず、別のグラフとして表示する。図33および図34に示す窓の消費エネルギー削減量・GHG排出削減量には、ウォームエッジスペーサーやフィルムなど、化学物質含有量の少ない非樹脂製フ

レーム窓のデータが含まれていない。

樹脂フレームを用いた省エネルギー型窓がもたらすすべての省エネルギー効果・GHG排出削減効果が窓自体の化学成分に起因するとは限らないが、樹脂フレーム窓を使用した場合、省エネルギー効果・GHG排出削減効果が居住用建物で顕著になる。2050年時点で、漸進的改修シナリオではGHG排出削減量が294MtCO₂e増加し、急進的改修シナリオでは349MtCO₂e増加する。商業建物では樹脂製フレーム窓があまり利用されないため、2050年における商業ストックでの削減効果は漸進的改修シナリオで17MtCO₂e、急進的改修シナリオで19MtCO₂eと、それほど大きくない。

¹² 窓による消費エネルギー削減分を除く。

図33：省エネルギー型の樹脂フレーム窓による消費エネルギー削減量

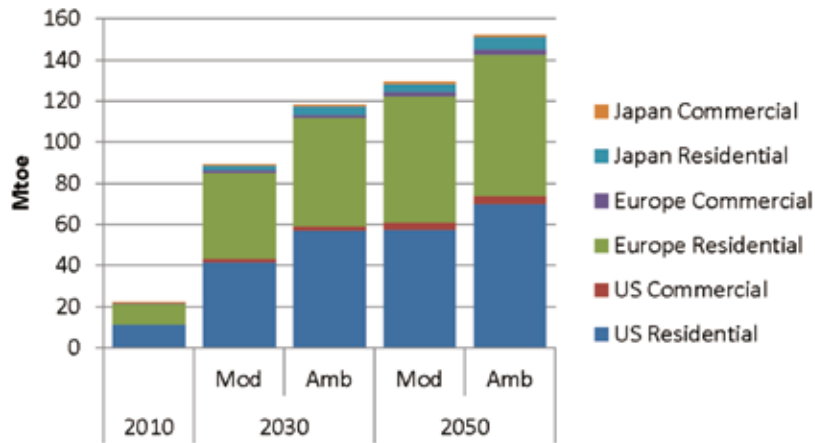
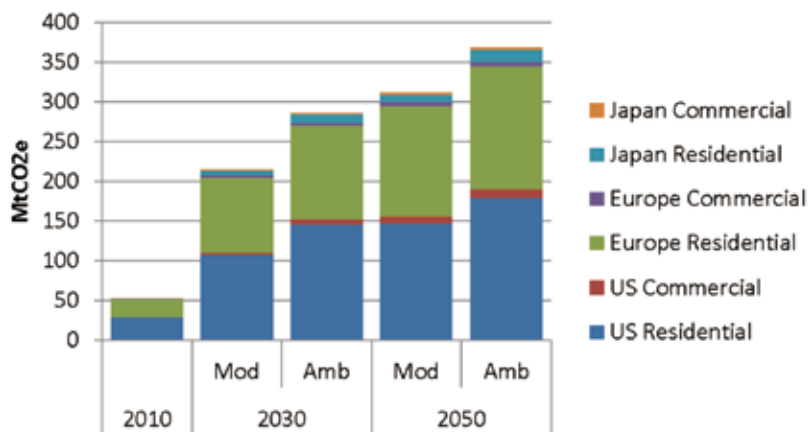


図34：省エネルギー型の樹脂フレーム窓によるGHG排出削減量



化学製品によるエネルギー消費・GHG排出の正味削減量

化学由来の建物エンベロップ製品を使用すれば、エネルギー消費量が減少し、GHG排出量が抑制される。一方で、これらの製品の製造時にはGHGが排出される。化学製品の使用段階で排出されるGHGが製造時の排出量を上回らないかどうかを見極めるため、化学製品の原料調達から製造までの排出量を算出した。これ以降、化学製品を施工するまでのバリューチェーン工程(化学製品の追加処理、職人による取り付け)で排出されるGHGはこの分析の対象外とする。同種の化学建材に対して実施されたライフサイクル調査によると、これらのGHG排出量は、「原料調達から

製造まで」のGHG排出量に比べると非常に少ない。

表17～表20は、化学建材の製造に伴うライフサイクル全体の累積エネルギー消費量・GHG排出量、およびこれらの化学建材を使用することによって達成される累積消費エネルギー削減量・GHG排出削減量を示している。これらの値には、窓の環境負荷および省エネルギー効果は含まれていない。各表の上部は漸進的改修シナリオの結果を示しており、下部は急進的改修シナリオの結果を示している。「原料調達から製造まで」の環境負荷と、使用フェーズの省エネルギー効果を比較してみると、これらの化学製品の製造にはエネルギー消費とGHG排出が伴うものの、実際の建物で使用すればその何倍ものメリットが得られることがわかる。

表17：化学建材(窓を除く)の製造に伴う累積エネルギー消費量 (Mtoe)

	2010	2020	2030	2040	2050
MODERATE RENOVATION RATE					
U.S. Residential	2.1	7.3	13.6	19.4	24.3
U.S. Commercial	0.3	0.9	1.7	2.6	3.4
Europe Residential	2.5	7.9	15.0	21.8	27.4
Europe Commercial	0.6	2.1	4.1	6.0	7.9
Japan Residential	0.3	0.8	1.3	1.6	1.9
Japan Commercial	0.2	0.6	1.0	1.4	1.7
AMBITIOUS RENOVATION RATE					
U.S. Residential	2.1	8.5	17.3	25.4	32.5
U.S. Commercial	0.3	1.1	2.2	3.5	4.7
Europe Residential	2.5	9.1	18.7	28.5	36.8
Europe Commercial	0.6	2.3	4.7	7.1	9.4
Japan Residential	0.3	1.0	1.7	2.4	3.0
Japan Commercial	0.2	0.6	1.3	2.0	2.5

表18：化学建材(窓を除く)の使用がもたらす累積消費エネルギー削減量 (Mtoe)

	2010	2020	2030	2040	2050
MODERATE RENOVATION RATE					
U.S. Residential	98	416	976	1,740	2,672
U.S. Commercial	23	105	261	489	788
Europe Residential	222	925	2,147	3,771	5,682
Europe Commercial	44	192	461	847	1,344
Japan Residential	8	31	67	114	169
Japan Commercial	8	31	67	114	169
AMBITIOUS RENOVATION RATE					
U.S. Residential	98	461	1,155	2,099	3,211
U.S. Commercial	23	117	309	587	941
Europe Residential	222	1,000	2,445	4,361	6,548
Europe Commercial	44	203	503	932	1,474
Japan Residential	8	38	94	168	251
Japan Commercial	8	33	81	143	215

表19：化学建材(窓を除く)の累積GHG排出量 (MtCO₂e)

	2010	2020	2030	2040	2050
MODERATE RENOVATION RATE					
U.S. Residential	3.7	12	23	33	41
U.S. Commercial	0.5	1.5	2.9	4.3	5.7
Europe Residential	3.5	11	21	31	39
Europe Commercial	0.9	3.0	5.7	8.6	11
Japan Residential	0.5	1.3	2.0	2.6	3.0
Japan Commercial	0.3	0.9	1.6	2.3	2.8
AMBITIOUS RENOVATION RATE					
U.S. Residential	3.7	15	30	44	56
U.S. Commercial	0.5	1.8	3.7	5.8	7.9
Europe Residential	3.5	13	26	40	52
Europe Commercial	0.9	3.3	6.6	10.1	13
Japan Residential	0.5	1.6	2.8	3.9	4.8
Japan Commercial	0.3	1.0	2.1	3.2	4.0

表20：化学建材(窓を除く)の累積GHG排出削減量 (MtCO₂e)

	2010	2020	2030	2040	2050
MODERATE RENOVATION RATE					
U.S. Residential	252	1,068	2,506	4,471	6,864
U.S. Commercial	63	289	715	1,340	2,161
Europe Residential	498	2,074	4,814	8,458	12,744
Europe Commercial	100	437	1,050	1,927	3,059
Japan Residential	20	77	168	284	420
Japan Commercial	19	76	172	297	446
AMBITIOUS RENOVATION RATE					
U.S. Residential	252	1,184	2,971	5,400	8,261
U.S. Commercial	63	322	847	1,610	2,581
Europe Residential	498	2,241	5,483	9,778	14,682
Europe Commercial	100	461	1,145	2,121	3,355
Japan Residential	20	94	234	418	624
Japan Commercial	19	84	203	361	541

このセクションで最も重要なデータは表21と表22である。これらの表には、化学製品製造時の環境負荷と化学製品使用時のメリットを比較した比率が記載されている。これらの表の数値は、実際の建物で化学建材を使用した場合、それらの製造に伴うエネルギー消費量・GHG排出量の何倍のメリットが得られるかを示している。たとえば、表21の最初のデータを見ると、米国(2010年)の居住用建物では、化学建材を使用した場合の累積消費エネルギー削減量が、化学建材製造に必要なエネルギー量の46倍であることがわかる。一度設置された化学建材はその後も省エネ効果を上げ続け、同時に新しい化学建材も追加されるので、この比率は年代が進むにつれて次第に大きくなる。図35と図36は、エネルギー消費およびGHG排出の累積正味削減量を示している。具体的には、化学製品使用フェーズの累積メリット(表19

と表20を参照)から、製造時の累積環境負荷(表17と表18を参照)を差し引いた値となる。

表21のエネルギー比率は、表22のGHG比率と多少異なる。化学製品の製造時に消費するエネルギーは、GHGを排出する燃焼エネルギーではなく、原料として使用する石油や天然ガスの内包エネルギーが大きな割合を占めている。したがって、エネルギー消費量の削減比率はGHG排出量の削減比率と異なる。

製品レベルで見ると、エネルギー消費削減比率が最も大きいのは気密製品である。施工が適切であれば、少量の気密材でも、空気の入替わりによるエネルギー損失を大幅に改善できる。断熱材などの製品は使用フェーズでの高い省エネ効果を期待できるが、そのためには大量に使用しなければならない。したがって、製造時の環境負荷が増大し、製造時環境負荷に対する使用時メリットの比率が低下する。

表21：エネルギー比率－製造時の累積環境負荷に対する累積省エネルギー効果(窓を除く)

	2010	2020	2030	2040	2050
MODERATE RENOVATION RATE					
U.S. Residential	46	57	72	89	110
U.S. Commercial	83	115	152	191	231
Europe Residential	89	116	143	173	207
Europe Commercial	68	91	114	140	171
Japan Residential	27	38	53	69	88
Japan Commercial	39	55	68	83	103
AMBITIOUS RENOVATION RATE					
U.S. Residential	46	54	67	83	99
U.S. Commercial	83	109	139	170	200
Europe Residential	89	110	131	153	178
Europe Commercial	68	88	108	131	157
Japan Residential	27	39	54	69	84
Japan Commercial	39	53	63	73	87

図35：化学建材の累積正味消費エネルギー削減量（「使用段階の消費エネルギー削減量」－「製造時の環境負荷」）

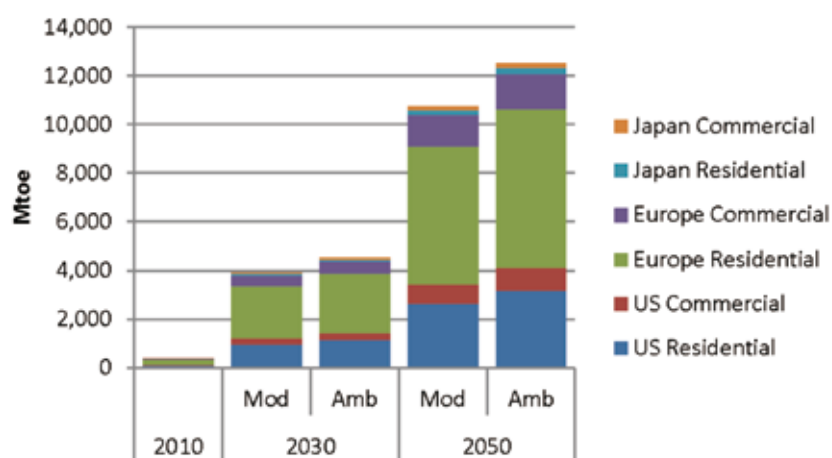


表22：GHG比率－製造時の累積環境負荷に対する累積GHG排出削減効果(窓を除く)

	2010	2020	2030	2040	2050
MODERATE RENOVATION RATE					
U.S. Residential	68	86	108	135	165
U.S. Commercial	134	187	249	313	380
Europe Residential	140	184	228	275	330
Europe Commercial	108	146	183	225	274
Japan Residential	42	59	83	109	138
Japan Commercial	61	86	107	130	162
AMBITIOUS RENOVATION RATE					
U.S. Residential	68	81	100	124	149
U.S. Commercial	134	177	226	277	327
Europe Residential	140	174	207	243	282
Europe Commercial	108	141	174	210	251
Japan Residential	42	60	84	107	129
Japan Commercial	61	82	98	115	136

図36：化学建材の累積正味GHG排出削減量（「使用段階のGHG排出削減量」－「製造時の環境負荷」）

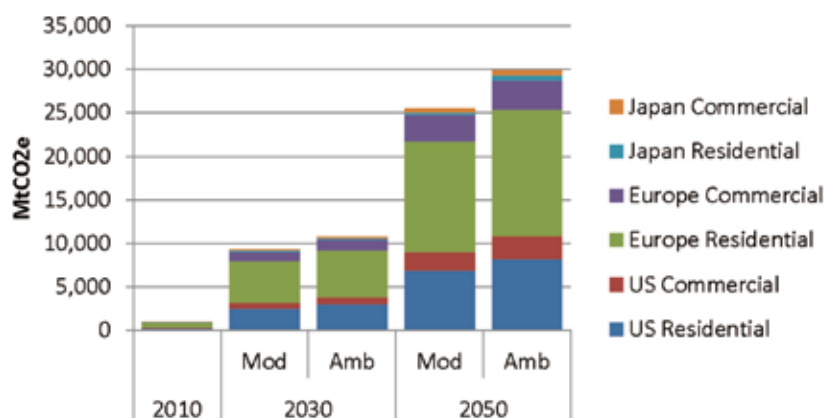


表17～表22に示されているライフサイクル全体の消費エネルギー・GHG排出削減量と環境負荷は、いずれも化学建材（エンベロップ）の製造時と使用時のものである。表23には、2000年～2050年に製造され、居住用建物と商業建物で使用される化学製品の合

計数量をまとめた。設置数は、表16（第3章の後半）に示す製造時環境負荷と同じ単位で表されている。ここでは、建築ストックの物理特性に適した単位が用いられている（壁、屋根、窓ガラスの面積は合計平方メートル、密閉するドア、窓、基礎部は周囲長など）。

表23：化学製品の設置状況（2000年～2050年）

	Wall & roof insulation (kg)	Cool roof (m ²)	New/upgraded windows (m ²)	Pipe insulation (kg)	Frame air barrier (m ²)	Masonry air barrier (m ²)	Foundation caulk (m)	Window caulk (m)	Roof perimeter membrane (m)	Door weather-strip (m)
U.S. Residential	4.5E+10	2.2E+09	1.8E+09	2.3E+08	1.0E+10	1.0E+10	3.1E+09	3.1E+10	3.1E+09	1.4E+09
U.S. Commercial	5.2E+09	8.1E+08	5.6E+07	1.0E+08	1.0E+09	1.3E+09	1.9E+08	2.4E+09	1.9E+08	1.0E+08
Europe Residential	3.4E+10	2.7E+09	1.6E+09	2.3E+08	6.7E+09	1.1E+10	2.9E+09	2.0E+10	2.9E+09	1.3E+09
Europe Commercial	5.8E+09	1.4E+09	5.1E+07	1.0E+08	1.3E+09	1.4E+09	2.4E+08	3.0E+09	2.4E+08	1.1E+08
Japan Residential	2.2E+09	5.1E+07	3.2E+08	2.8E+07	1.2E+09	1.2E+09	3.3E+08	3.7E+09	3.3E+08	2.6E+08
Japan Commercial	2.7E+09	5.3E+07	9.3E+06	2.3E+07	2.9E+08	3.3E+08	6.3E+07	6.7E+08	6.3E+07	2.9E+07

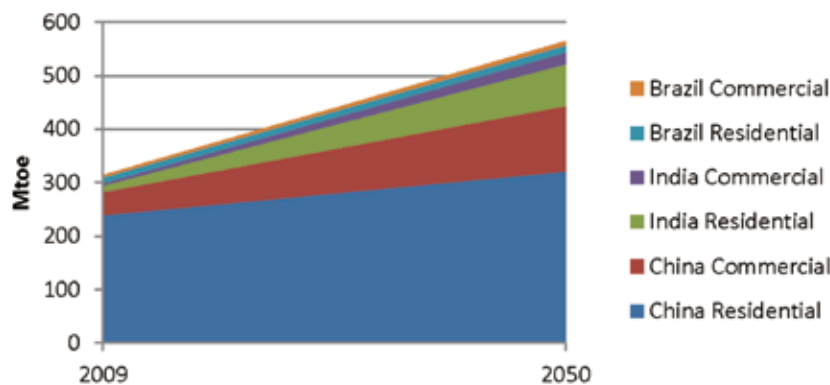
概要

この調査は欧州、日本、米国の建築ストックを対象としているが、今後数十年間でグローバル建築ストックが著しく増加すると思われる。とくに、ブラジル、中国、インドなどの都市部で建築ストックが急増する見込みだ。たとえばIEAは、ブラジル、中国、インドの居住用建築ストックは2000年から2050年にかけて460億平方メートル増加し(増加率ほぼ70%)、商業建築ストックは90億平方メートル増加(増加率80%以上)すると予想している(ETP 2012)。中国の居住用建物面積は25%以上の増加が見込まれており、これはブラジルやインドの2倍以上に相当する。商業建物の床面積については、中国とブラジルで約60%の増加、インドでは4倍に増えると予想される。ここで重要なのは、厳しいエネルギー効率基準に従ってこれらの地域に建物を建て、建築時のエネルギー消費量とGHG排出量を最小限に抑えること。

高成長地域に多数の建築ストックが追加されるだけでなく、新しいストックや既存のストックが空調などのサービスも備えるようになる。経済的に豊かになるにつれ、快適な居住空間を求めて冷暖房システムの利用が今以上に増えるだろう。たとえば、より多くの住宅が空調システムを設置し、既に空調が整っている住宅は使用頻度が高くなる。経済活動が盛んになれば、快適さを求めて商業建物の冷暖房需要が増加し、仕事でオフィスビルを利用する時間も増える。

ETP 2012の予測によると、建築ストック数が増加し、サービスの種類と利用頻度が増える一方で、エネルギー効率がこのまま向上しない場合、これら3か国における暖房、冷房、給湯の合計エネルギー消費量が2050年までに80%増加する(図7を参照)。増加傾向にあるエネルギー消費の中で、最も大きな割合を占めているのが中国の居住用建物、次いで中国の商業建物、インドの居住用建物となっている。

図37：建築ストックの増加に伴うエネルギー消費量(暖房、冷房、給湯)の推移



予測

表24に、ブラジル、中国、インドのエネルギー消費量（暖房、冷房、給湯）に関するIEA ETP 2012の予測データを示す。この表で2050年の予測はETP 2012 2DSのものである。2DSは、二酸化炭素強度の低いエネルギー源や燃料への切り替え、エネルギーシステムの効率向上など、エネルギー部門の転換に焦点をあてている。2DSの予測には非エネルギー部門の改善による影響も含まれるが、2DSの前提に関する詳細情報は得られなかった。

表24の上半分は、建築ストックの増加、燃料切り替え、HVACシステムのエネルギー効率向上、建築ス

トックのエネルギー効率向上、経済活動の発展などの影響を含め、エネルギー消費量の実質変化を示している。これらの要素は、ETP 2012の情報では細分化することができない。同表の下半分は、各国の建築ストックにおけるエネルギー消費量の変化を示している（エネルギー消費量を床面積（平方メートル）で除算）。GHG予測ではなく、建物のエネルギー消費量とエネルギー強度に焦点をあてることで、低炭素燃料への切り替えに関する前提の影響が最小限ですむ。ただし、経済活動の活発化による影響と、建物エンベロップの改善による影響を切り分けることはできない。

表24：高成長地域におけるエネルギー消費量の変化

		暖房エネルギー		冷房エネルギー		給湯エネルギー	
		居住用	商業	居住用	商業	居住用	商業
エネルギー消費量 (Mtoe)							
ブラジル	2009年ベースライン	2.3	0.1	0.3	1.4	8.5	2.1
	2050 2DS	1.9	0.3	1.7	2.4	7.2	3.1
	2009年に対する 2050年の割合%	85%	174%	558%	177%	85%	149%
中国	2009年ベースライン	142	25	8.8	4.1	88	14
	2050 2DS	125	38	34.4	17.0	69	23
	2009年に対する 2050年の割合%	88%	151%	389%	415%	78%	163%
インド	2009年ベースライン	0.5	0.1	2.0	2.4	9.6	1.9
	2050 2DS	0.7	0.5	29.6	9.0	11.5	4.3
	2009年に対する 2050年の割合%	152%	330%	1451%	372%	121%	227%
エネルギー強度 (MJ/m²)							
ブラジル	2009年ベースライン	30	17	4.0	153	111	236
	2050 2DS	13	18	11.0	173	47	225
	2009年に対する 2050年の割合%	42%	111%	277%	113%	42%	95%
中国	2009年ベースライン	139	107	8.6	17	86	58
	2050 2DS	96	98	26.5	43	53	58
	2009年に対する 2050年の割合%	69%	92%	307%	254%	62%	99%
インド	2009年ベースライン	1.0	6.8	4.1	118	19.4	93
	2050 2DS	0.6	5.5	23.9	107	9.3	51
	2009年に対する 2050年の割合%	60%	80%	577%	90%	48%	55%

暖房エネルギー

図38は、2009年～2050年のブラジル、中国、インドで、居住用建物および商業建物の暖房で使用するエネルギー量の正味変化を示している（ETP 2DSシナリオ）。インドやブラジルに比べ、中国ではかなり多くのエネルギーを暖房に費やしていることがわかる。中国の居住用暖房エネルギーは減少しているものの、中国の商業建物での暖房エネルギーが増加しているため、暖房エネルギー全体ではわずかな減少にとどまっている。

気候が温暖であるインドとブラジルでは、居住用建物と商業建物どちらについても、暖房のエネルギー消費量が中国に比べて格段に少ない。事実、ブラジルとインドを合わせた暖房エネルギーは中国の暖房用エネルギーのおよそ2%にすぎず、このグラフにもほとんど表示されていない。したがって、暖房に伴うエネルギー消費・GHG排出を最も大幅に削減できるのは中国といえる。

冷房エネルギー

図39は、2009年から2050年のブラジル、中国、インドにおいて、居住用建物と商業建物の冷房で使用する

エネルギーの増加状況を示している。このグラフを見ると、3か国すべてで冷房エネルギーが著しく増えていることがわかる。2050年には、これら3か国の建築ストックが大幅に増加するだけでなく、空調を備えた建築ストックも増える。これには、新しい建物に取り付けられる空調と、既存の建物に追加される空調が含まれる。経済活動が盛んになるにつれ、快適な空間を求めて建物内の空調を利用する頻度が高くなると予想される。

2DS予測によると、2050年には居住用建物の冷房エネルギー消費量がブラジルで2倍以上、中国で3倍、インドではほぼ6倍に増加する見込みだ。前述のように、冷房エネルギー消費量の大幅な増加は、新築住宅と既存の住宅の両方において、空調システムの設置数と使用頻度が増えることに起因する。

中国の商業建物の冷房エネルギー強度も2009年から2050年にかけて大きく増加している（17～43 MJ/m²）。とはいえ、2050年の中国における商業建物の冷房エネルギー強度は、インドやブラジルの半分以下となっている（インドは107MJ/m²、ブラジルは173MJ/m²）。

図38：高成長地域の暖房エネルギー

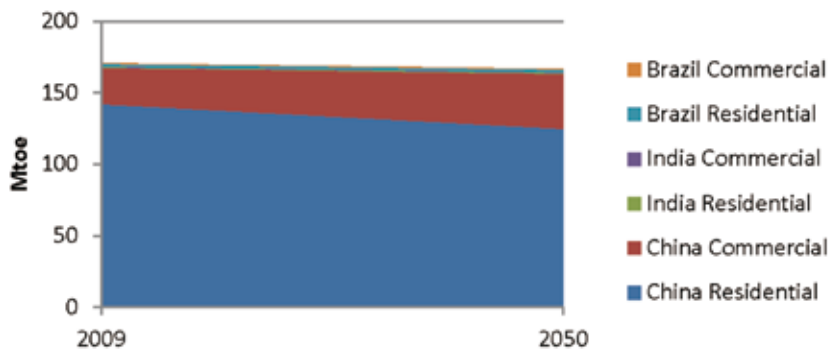


図39：高成長地域の冷房エネルギー

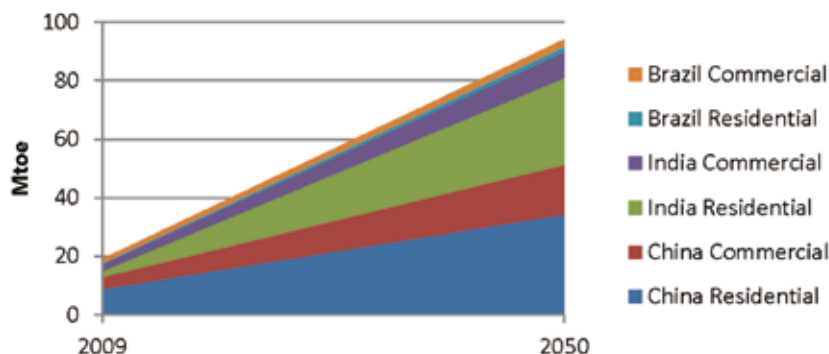
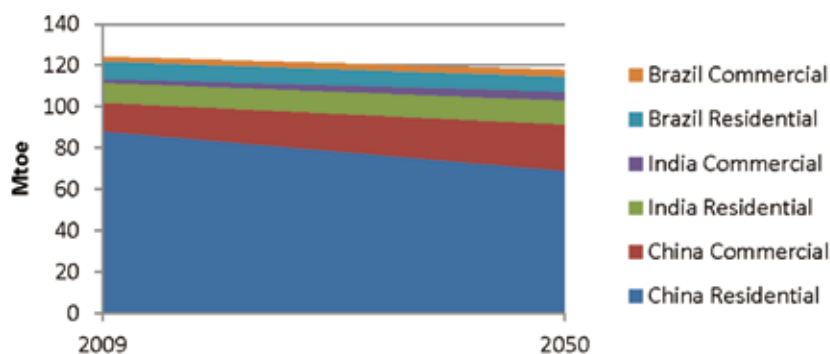


図40：高成長地域の給湯エネルギー



給湯エネルギー

図40は、ブラジル、中国、インドの居住用建物と商業建物で、給湯で使用するエネルギー量が2009年～2050年で実質減少することを示している。ETP 2012の燃料切り替えデータによると、給湯のエネルギー強度が低下しているのは、給湯における太陽エネルギーの割合が増え、エネルギー効率の悪いバイオマス燃焼の割合が減ることが主な理由と考えられる。つまり、給湯配管システムの改善は第一の理由ではない。

ETP 2012は、給湯用燃料の切り替えが進むことで、3か国すべてにおいて、居住用建物の給湯エネルギー強度が大幅に低下すると予測。2050 2DSによると、商業建物の給湯エネルギー強度がブラジルでは大きく低下するが、中国とインドではほとんど変わらない。ブラジルの商業建物の給湯エネルギー強度は、中国やインドにくらべて非常に大きい。ETP 2012にはその理由が説明されていないが、温水の使用量が多い商業建物（病院、レストランなど）が大きな割合を占めているためと思われる。

化学建材による消費エネルギーの削減

前のセクションでは、高成長地域の建築ストックにおけるエネルギー消費量の変化について検証した。給湯エネルギーの消費量など一部の変化は、主に燃料切り替えと電気の低炭素化によるものである。しかし、ETP 2012は、建物エンベロップのエネルギー効率に関する情報や、ビルサービスの設置数と利用状況に関する情報を提供していない。これらの前提情報がなければ、建築ストックを改善しない場合、2050年時点

表25：化学建材の市場シェア拡大

(合計販売高に対する化学製品の販売高の割合)

発泡プラスチック系断熱材	1999	2019
ブラジル	36%	45%
中国	64%	82%
インド	56%	65%
樹脂フレーム窓	2000	2020
ブラジル	3%	7%
中国	21%	43%
インド	9%	16%

出展：世界の断熱材および窓・ドアに関するレポート（フリードニア）

でこれらの地域のエネルギー消費量・GHG排出量がどれくらい増加するかを定量化できない。ただし、いくつかの重要な所見を述べることは可能だ。

第3章で説明したように、建材の種類によってはそのほとんどが化学製品であるか（エアバリアや気密材）、化学素材によって優れたエネルギー効率を実現している（クールルーフや顔料など）。断熱材や省エネ窓など、化学製品と代替材料の両方が使用されているカテゴリーでは化学製品が大きな市場シェアを占めており、今後も急速に増加すると予想される（表25を参照）。これら高成長地域でエネルギー消費量・GHG排出量を最小限に抑えるには、化学製品の利用促進が要となる。

断熱材と省エネ窓の使用を増やした場合、暖房エネルギーの抑制を最も期待できる高成長地域は中国である。表25の市場予測を見ると、中国は樹脂製品（断熱材および窓）のシェアが大きく、今後も増加傾向にある。中国の建築ストックにおける暖房エネルギーを削減する上で、発泡プラスチック系断熱材と樹脂フレームを使用した省エネ窓が大きな役割を果たすことになるだろう。

前述のように、気候が温暖なブラジルとインドでは、冷房エネルギー消費量がより重要な考慮事項となる。温暖地域では、建物の壁や屋根に断熱材を入れた場合、その建物に適切な換気システムが備わっていない限り建物の冷房負荷が大きくなる。温暖地域での冷房負荷を軽減するには、太陽光を反射するクールルーフを屋根に取り付ける方法がある。表26は、ブラジルとインドでクールルーフを使用した場合、エネルギー消費がどの程度抑えられるかを推算している。これらの消費エネルギー削減量は、クールルーフの設置率（新設および交換）に基づいている。さらに、2020年～2050年にかけての屋根面積（平方メートル）に関するフリードニアのデータ、および温暖地域・平屋根の係数（第3章、クールルーフに関するセクションの表14）を使用した。表右端の列は、インドとブラジルの居住用建物および商業建物に取り付けられるすべての屋根（新設と交換）がクールルーフだった場合、2050年時点で、「クールルーフによる消費エネルギー削減効果」が「冷房エネルギー全体」のどの程度にあたるかをパーセンテージで示している。屋根の新設時および交換時に100%クールルーフを使用した場合、ブラジ

ルの居住用建物では合計冷房エネルギーが9%減少することがわかる。インドにおける冷房エネルギー削減量も非常に大きいですが、合計冷房エネルギーに占める割合はそれほどでもない。

まとめ

ブラジル、中国、インドの建築ストックは、2009年時点での床面積880億平方メートルから2050年には1330億平方メートルに増加する見込み。このように建築ストックが急増する中、建物ストックのエネルギー効率を改善せず、使用燃料の見直しも行わなければ、建物の暖房、冷房、給湯で消費するエネルギー量は80%も増加する。

建築ストックが急増するこれらの地域でエネルギー消費とGHG排出を抑制するには、化学製品が重要な役割を担う。中国の場合、エネルギー消費が最も多いのは住宅の暖房である。2020年には、中国で使用される断熱材の80%以上が発泡プラスチック系断熱材になり、窓の売上高の40%以上が樹脂フレーム窓になると予想される。したがって、中国の建築ストックの暖房エネルギーを削減する上で、発泡プラスチック系断熱材と樹脂フレームを使用した省エネ窓が大きな役割を果たすことになるだろう。化学製品であるエアバリアと気密材も熱損失の削減に役立つ。

ブラジルとインドでは、冷房エネルギーが重要な考慮事項となる。化学顔料や化学塗装によって太陽光を反射するクールルーフは、これらの地域での冷房エネルギー削減に大きく貢献する。

表26：ブラジルとインドのクールルーフ予測データ（2050年）

	2050年の 屋根面積 (百万㎡) (新設および交換)	クールルーフによる 消費エネルギー削減量 (設置レベル別) (Mtoe)				2050 2DS 冷房エネルギー (Mtoe)	2050 2DS 冷房エネルギーに占める クールルーフ省エネ 効果の割合 %
		25%	50%	75%	100%		
ブラジル							
居住用	363	0.04	0.08	0.12	0.15	1.7	9.1%
商業	110	0.01	0.02	0.03	0.05	2.4	1.9%
インド							
居住用	616	0.07	0.13	0.20	0.26	29.6	0.9%
商業	842	0.09	0.18	0.27	0.36	9.0	4.0%
合計（ブラジルとインド）							
居住用	979	0.10	0.21	0.31	0.41	31.3	1.3%
商業	952	0.10	0.20	0.30	0.40	11.4	3.5%
合計	1931	0.20	0.41	0.61	0.82	42.7	1.9%

今 後数十年間で居住用建物と商業建物が大幅に増加すると予測される中、建物エンベロップのエネルギー効率を高め、GHG排出を抑制しなければならない。新しい建物および既存の建物のエネルギー効率を向上し、エネルギー消費とGHG排出を大幅に削減するには、化学建材が大きな役割を担う。

この分析のフェーズIの主要目的は、欧州、日本、米国において、居住用建物と商業建物の断熱、配管、エアバリア、気密、クールルーフ、窓で化学製品を使用した場合、どの程度の省エネルギー効果・GHG排出削減効果が得られるかを定量化することにある。さらに、急成長を遂げている3つの国（ブラジル、中国、インド）についても考察した。フェーズI分析の要点は以下のとおり。

第1章

- 欧州、日本、米国における居住用建物および商業建物の総床面積は、2000年の590億平方メートルから2050年には930億平方メートルに増加する見込み。
- 一戸建て住宅と集合住宅は、490億平方メートル（2000年）から720億平方メートル（2050年）に増加。居住用床面積で47%の増加率となる。
- これらの地域の商業建物床面積（医療施設、ホテル、教育施設、店舗、オフィス）の予想増加率は2倍以上。100億平方メートル（2000年）からおおよそ210億平方メートル（2050年）に増加する見込み。
- 欧州、日本、米国のすべての居住用建物と商業建物のうち、最も数が多いのは欧州寒冷地域の居住用建物（2050年における建物総床面積の25%）。次いで、米国温暖地域の居住用建物（2050年における建物総床面積の22%）となる。

第2章

- 2000年の時点で、エネルギー消費量（床面積1平方メートルあたりのエネルギー消費）が最も大きいのは欧州と米国の寒冷地域である。以降、建築基準が徐々に厳しくなり、既存の建物が改修されるにつれ、これらの地域でも建物のエネルギー消費量が大幅に低下。2030年には、欧州と米国の温暖地域や日本と同レベルまで改善する。
- 漸進的改修シナリオでは、2050年までに、すべての地域のエネルギー消費量が2000年比で37~71%改善される。急進的改修シナリオでは、2050年の時点で、すべての地域のエネルギー消費量が2000年比で51%~77%減少する。

第3章

- エアバリアや気密材など、一部の種類の建材はほとんどが化学製品である。クールルーフで使用される顔料と塗装のエネルギー効率は、化学素材によって実現される。
- 断熱材、配管、窓枠などの製品には、化学材料に加え、化学技術をほとんど（あるいはまったく）利用していない製品もある（繊維ガラス断熱材、銅管、木枠やアルミフレームの窓など）。これらの種類の製品では、優れた特性を持ち、場合によっては他の素材より低コストである化学製品の市場シェアが非常に大きく、今後も増加傾向にある。

第4章

- 欧州、日本、米国の建築ストックが予想どおりのペースで増加した場合、新しいストックや既存のストックを改善しないとすると、GHG排出量は3,400MtCO₂e（2000年）から5,200MtCO₂e（2050年）に増加する。
- 建築ストックの純増加に対応するには、新規ストックのエネルギー効率を向上するだけでは不十分である。新築基準が厳しくなることで、2000年~2050年までのGHG増加が300MtCO₂eに抑制される（建物床面積がほぼ60%増加するのに対し、GHG増加率は10%未満）。とはいえ、やはり、建物によるGHG排出が増加することに変わりはない。
- 建築ストックの増加に対応し、建物のエネルギー消費量とGHG排出量を削減するには、既存の膨大な居住用建物と商業建物のエネルギー効率を高める必要がある。
- 新築時には新しい建築基準に従いつつ、2000年ス

ストックを漸進的に改修した場合、2050年までにエネルギー消費量・GHG排出量が12%減少する。また、厳格な新しい建築基準と急進的改修シナリオを組み合わせた場合は、エネルギー消費量・GHG排出量が2000年比で23%減少する。

- エネルギー消費量・GHG排出量を最も削減できる可能性が高いのは、欧州と米国の居住用建物。欧州と米国の居住用建物は、欧州、日本、米国の居住用と商業を合わせた総床面積の70%以上を占める。
- 建物エンベロップのエネルギー効率を向上すると同時に、低炭素IEA ETP 2012 2DS燃料シナリオを促進した場合、2000年ベースラインからの減少率が漸進的改修シナリオでは12%から68%に向上し、急進的改修シナリオでは23%から73%に向上する。
- 評価対象の製品カテゴリー全体で、化学建材(窓を除く)のバリューチェーンに起因するGHG削減量は、漸進的改修シナリオで970MtCO₂e、急進的改修シナリオで1,113MtCO₂eとなる。
- 樹脂フレームを用いた省エネ窓のすべての省エネルギー効果・GHG排出削減効果が窓自体の化学成分に起因するとは限らないが、樹脂フレーム窓を使用した場合、省エネルギー効果・GHG排出削減効果が居住用建物で顕著になる。漸進的改修シナリオではGHG排出削減量が294MtCO₂e増加し、急進的改修シナリオでは349MtCO₂e増加する。
- 3つの最終用途(暖房、冷房、給湯)のうち、どの地域(欧州、日本、米国)においても、ライフサイクルの省エネルギー効果が最も高いのは暖房である。たとえば、壁や屋根に断熱材を入れて熱伝導損失を抑えたり、建物の気密性を高めて外気の侵入を防ぎ、熱損失を小さくするなどの方法がある。
- 化学建材の使用フェーズにおける消費エネルギー削減効果・GHG排出削減効果は、原料調達から製造までのエネルギー消費量・GHG排出量より何倍も大

きい。一度設置された化学建材は、その建物が存続する間は省エネルギー効果を上げ続ける。

第5章

- ブラジル、中国、インドの居住用建物と商業建物は、床面積880億平方メートル(2009年)から1330億平方メートル(2050年)に増加する見込み。
- 高成長地域に多数の建築ストックが追加されるだけでなく、新しいストックや既存のストックが空調などのサービスも備えるようになる。経済的に豊かになるにつれ、快適な居住空間を求めて冷暖房システムの利用が今以上に増えるだろう。
- 建物の床面積とサービスの利用頻度が急増することを考えると、これらの地域に新しく建設される建物には厳しいエネルギー効率基準を適用し、建物全体のエネルギー消費量とGHG排出量を最小限に抑えることが重要となる。建築ストックのエネルギー効率を改善せず、使用燃料の見直しも行わなければ、建物の暖房、冷房、給湯で消費するエネルギー量は80%も増加する。
- これら高成長地域でエネルギー消費量・GHG排出量を最小限に抑えるには、化学製品の利用促進が要となる。
 - 断熱材と省エネ窓の使用を増やした場合、暖房エネルギーの抑制を最も期待できる高成長地域は中国である。中国は樹脂製品(断熱材および窓)のシェアが大きく、今後も増加傾向にある。中国の建築ストックにおける暖房エネルギーを削減する上で、発泡プラスチック系断熱材と樹脂フレームを使用した省エネ窓が大きな役割を果たすことになるだろう。
 - ブラジルとインドでは、冷房エネルギーが重要な考慮事項となる。化学顔料や化学塗装によって太陽光を反射するクールルーフは、これらの地域での冷房エネルギー削減に大きく貢献する。

建物への投資は、何年も経った後で大きな恩恵を受けることができる長期的なインフラ投資である。エネルギー消費とGHG排出をできる限り抑制するには、適切なフレームワーク条件を定める必要がある。このロードマップレポートのフェーズIIでは、削減目標を達成する際の障壁、およびそれらを克服するための手段について検証する。

化学業界は、エネルギー効率に優れた建材を提供するという重要な役割を担っている。これにより、建物環境でのエネルギー消費とGHG排出を削減できる。このレポートのフェーズIでは、2050年に向けて消費エネルギー・GHG排出を削減するにあたり、2種類の建物改修シナリオに基づいて化学製品がどのように寄与するかを検証した。ゼロ排出建物を実現し、地球温暖化を食い止めるには、今後も化学製品が重要な役割を果たすことは間違いない。

化学製品には、建物のエネルギー効率を高め、GHG排出を抑制できる可能性があるにもかかわらず、現在の市場に存在するさまざまな問題によって省エネ用化学製品の普及が妨げられている。化学製品を使用して、建物のエネルギー消費量とGHG排出量を大幅に削減するには、これらの技術の導入を妨げる問題を克服しなければならない。

この調査のフェーズIIでは、次の事項について検討する。

- 化学技術を利用してエネルギー効率を高めるにあたり、どのような重要課題があるか (第6章)
- 利用率と市場浸透率を高め、市場で受け入れられるようにするには、どのような技術を開発する必要があるか (第7章)
- 化学技術の普及と受け入れを促進するには、どのような対策をとるべきか (第8章)
- 化学技術の市場シェアを拡大するにあたり、どのように国際協力をしていけばよいか (第9章)

ステークホルダーを対象とする重要措置はフェーズIIの要点を参照のこと。

概要

今回の調査の一環として、省エネルギー型建材を普及させるために克服すべき課題について、ICCA関連組織の専門家から意見を募った。これらの課題は、今回の分析対象地域（欧州、日本、米国）だけではなく、世界各国に関連している。関係者から情報を収集すると共に、近年発表された文献も参照した。

この章では、第3章で取り上げた化学製品グループ

の利用を促進し、市場に浸透させ、受け入れを促進するための重要課題について詳しく説明する。確かに、対処すべき問題はいくつもあるが、それらの問題を克服して市場に参入する機会も多数ある。この章では、問題と共にこれらの機会もいくつか取り上げる。また、第7章～第9章では、さまざまな問題の対処方法について説明する。表27に示すように、化学製品の普及に伴う課題と商機を大きく6つのカテゴリーに分類した。

表27：課題と商機の一覧

	Opportunities	Policy & Legislation	Incentives	Building Codes	Product LCA & Specification Guidelines	Investment Opportunities for New Technologies	Open up Markets for New Technologies
	Challenges						
Financial Costs	Up-front costs	✓	✓			✓	
	Demonstrating ROI / payback	✓	✓		✓	✓	✓
Information Availability	Knowledge gap	✓			✓		✓
	Negative perceptions	✓		✓	✓		✓
Technology Application	New technology	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Difficulties in renovation	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Incorporating products	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Ease of use		✓		✓	✓	✓
Market Structures	New technologies	✓			✓	✓	✓
	Value of energy efficiency	✓	✓			✓	✓
	Paths of deployment	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Behavior and Organizational Characteristics	Purchasing decisions		✓	✓	✓	✓	
	Product familiarity	✓	✓		✓	✓	✓
	Lifestyle choices		✓				
Institutional and Administrative Challenges	Regulatory, planning and administrative systems	✓		✓	✓		
	Multi-stakeholder issues		✓		✓		
	Aesthetics and design	✓	✓	✓	✓		✓

費用

- **直接費用と投資収益率**：エネルギー効率の向上に伴う課題の1つは初期費用が必要なことだ。さらに、投資収益を得られるのが何年も先であることも、建物所有者が投資に積極的になれない理由だろう。多くの営利組織は、エネルギー効率向上のための投資を短期(1年～3年)で回収しなければならない。したがって、商業建物で利用してもらうには、投資回収期間が短く、投資効果の高い製品であることを実証する必要がある。
- **誘因分離**：誘因分離とは、住宅所有者または建物所有会社に不動産を長期間所有する予定がないため、省エネルギー建築技術に投資したとしても、その金銭的メリットを十分に得られないことをいう。この問題は、賃貸オフィスビルと賃貸住宅の両方でみられる。2007年の調査によると、米国の居住用建物で消費されるエネルギーの50%は誘因分離問題の影響を受けている(Prindle 2007)。

情報の入手

- **知識ギャップ**：消費者、ベンダー、製造会社、銀行、政策立案者は、省エネルギー技術とそのメリットについて十分な知識を持たない場合が多い。
- **否定的な見方**：化学建材の製造に伴う環境負荷と、化学建材を利用することで得られる省エネルギー効果についての知識が不足しているため、化学製品が否定的にみられがちである。この認識が省エネルギー技術の受け入れを妨げている。

解決策/商機：

- 省エネルギー技術に**奨励金**(省エネ住宅ローン手当、税制優遇、報奨金、補助金、エネルギー報酬など)を設けることで、建物の改修時と新築時にエネルギー効率の高い建築技術が利用されるのを促進する。
- **回収期間=収益性ではない**。収益性を計算するには、製品の耐用年数全体にわたる利得とコストを考慮する必要がある。たとえば、ある製品への投資はわずか1年で採算が取れるが、1年後には製品価値が完全に低下しているとする。また、別の製品に投資した場合、投資費用を回収するまでに長期間(たとえば3年)かかるが、その後も15年間はその製品を使用できるとする。他の条件がすべて同じだとすると、回収期間は長くても、後者の投資の方が収益性が高いといえる。回収期間だけでは真の収益性を正しく判断できない。

解決策/商機：

- 消費者が十分な情報に基づいて判断を下せるようにするため、実績があり、信頼できる最新技術であることを消費者に伝える。また、化学製品がもたらす環境負荷と省エネ効果に関するライフサイクル調査を公開し、誰でも簡単に参照できるようにする。仲介業者(施工業者)に省エネルギー製品のメリットを知らせる。
- 情報センターとして総合Webサイトを設け、ベストプラクティスと最新技術に関する情報を発信する。たとえば欧州委員会は、「建物のエネルギー効率に関する指令」に従うEU加盟国を支援するため、2009年にBUILD UPプロジェクトを発足させた。加盟国で開発されたさまざまな技術、知識、ツール、リソースがこのWebサイトを介して共有される。

技術の利用

- 製品の技術性能が**不確実**であることが、省エネルギー製品の開発や市場投入の妨げとなる。
- 「費用効率に優れた高性能な最新技術は将来的なもの」という**認識**が消費者の選択に影響を及ぼし、省エネルギー技術の購入と設置の時期を遅らせている可能性がある。
- 壁に断熱材を入れると内部スペースが犠牲になる、外壁に断熱材を入れるスペースがないなど、**改修時の問題**によって省エネルギー建材の利用が妨げられる。
- 部分的な改修時には**化学製品を取り入れるのが難しい**。
- 設置業者や施工業者に技術的な知識が不足していると、**省エネルギー製品の導入が困難**となる。
- **建物全体を1つのシステムとして考える必要がある**。消費者や施工業者は、断熱材を適切に使用することで冷暖房の必要性が低下し、さまざまな削減効果(費用、施工など)が生まれることをよく理解していない。

市場構造

- **新しい技術が建築基準に盛り込まれている必要がある**。建築基準で定められていない技術や、建築基準で言及されていないメリットを持つ技術は、市場に投入するのが難しい。その1つにパッシブソーラー設計がある。現在のところ、この技術は、Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)、Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)、Green Globesなど、建築基準と環境アセスメントシステムをサポートする評価プログラムで承認されていない。
- **市場がエネルギー効率を正しく評価する必要がある**。省エネに配慮していない低価格の建物は、エネルギー費用を考慮すると、結局高コストになる可能性が高い。ほとんどの営利組織は、二酸化炭素排出量の削減を最優先事項としていない。ICCAは、適正価格を市場に提示するなど、CO₂排出量抑制を目指す国際的および地域的な取り組みを支援している。

解決策/商機：

- 建築技術製品によって得られる効率性を、消費者と地域社会に密接したメリットやコストに換算する必要がある。
- 建物のエネルギー要件を理解し、適切な技術製品を選択できるように、施工業者を十分に教育する必要がある。
- 新築時や改修時の例として低エネルギーの「ほぼゼロ排出」建物やパッシブハウスを紹介し、総合的アプローチを提示する。その他の技術は、他地域の将来の建設プロジェクトで利用できる。

解決策/商機：

- 政府や組織と連携して、化学製品（とくに最新技術）のメリットを正しく伝え、その価値を理解してもらい、必要であれば建築コストに組込んでもらう。
- 構築物（建物や家）に対する省エネルギー基準の透明性を高める必要がある。
- 新製品を市場へ投入し、消費者に受け入れてもらうには、**参入方法や販売ルート**（既存の販路と新しい販路）が非常に重要。販路が既に存在すれば、製品の販売が格段に容易になる。

消費者および組織の行動特性

- **購入の優先度が低い**：新しい家を購入する際、予算が限られている多くの消費者は、光熱費を長期的に削減する製品より、家具や電化製品などに予算を使いたいと考える。さらに、空間設計、サービス供給、快適さなどのライフスタイル条件も省エネルギーより優先される場合が多い。こうした傾向は建築現場でも見られる。たとえば、住宅開発業者に与えられた予算が少ない場合、長期的メリットをもたらす省エネルギー製品よりも、当面の建設コスト削減が優先される。これを認識の問題と考える場合もあれば、金銭的な問題として対処する場合もある。
- **製品の理解度**：消費者や施工業者は、自分たちがよく知っている製品を選ぶ傾向がある。家やビルを建てる際、施工業者は自分たちがよく知らない製品を使おうとはしないだろうし、使ったとしても正しく取り付けることができない。まったく使ったことがない最新技術や製品を取り入れる可能性は低い。設計レベルでも同様だ。設計者やエンジニアが化学製品の機能、特性、メリットをよく知らなければ、その製品を使おうとは考えないだろう。

制度的な課題と管理面での課題

- **規制と計画**：混乱、不明確さ、ポリシーの細分化、遅延、公的制度の規制措置における差異を防ぐには、規制間の不一致を特定して対処する必要がある。これらすべてが、省エネルギーの基準を建築に取り入れようとする動きを大きく促進する。
- **制度**：上記と関連して、管理システムを簡素化する必要がある。計画方針や認可の管理システムが複雑だと、新築時および改修時に、省エネ技術や“リスク”を伴う最新技術を利用しようとしなくなる可能性がある。
- **複数の利害関係者の問題**：建物のオーナーや居住者が複数いる場合は、上記2つの問題がさらに深刻になる。所有と責任が明確でない場合、省エネルギーへの投資に賛同するのは難しい。たとえば、スロベニアでは、アパートの所有権が複雑であり（1990年代に民営化）、所有者が複数存在する建物では、75%の合意がなければ技術的な改善を行えない。
- **製品的美観とデザイン**も受け入れに影響を与える。たとえば、歴史的景観の保全や環境保全の理由から、最新技術の導入が妨げられる場合がある。ただし、美観を損なわない画期的なデザインを採用することで、この問題を克服できる。さらに、これは特定の地域だけの問題であり、歴史的建造物の絶対数は世界中でもそれほど多くない。

解決策/商機：

- トレーニングを実施して、設計者、仕様書作成者、開発者に省エネルギー技術のメリットを伝え、これまでの行動を変えるよう促す必要がある。
- 省エネルギー建築技術の早期利用者を奨励することで、従来の技術と競合する最新技術を広めることができる。

化学製品に関連する問題

すべての省エネルギー技術が直面している上記の問題に加え、化学製品ならではの障壁もある。化学製品の利用、受け入れ、市場浸透を促進するには、これらの障壁を取り除かなければならない。ここでは、化学製品に関連する問題をいくつか紹介する。これらは化学製品の特性や最終用途の状況に基づいている。

- 一部の気候帯では、気温が高くなると暖房需要が低下し、冷房需要が増える。こうした需要バランスの変化が、断熱材の必要性や化学技術の利用度に影響を与える。したがって、断熱レベルや建物特性が気候変化にどのように対応し、暖房需要と冷房需要がどのように変化するかを明確に把握する必要がある。こうした変化は、相変化材料や応答性材料といった化学製品の商機でもある。これらの機会を利用するには、気候変化による冷暖房需要の増減を理解すると共に、さらなるR&Dが必要。
- 建物の気密性は重要度が増しており、そのほとんどは化学製品の使用によって達成される。BREEAMやPassivhausなど国内レベルを超えた建築基準は、これまで以上に建物エンベロップの気密性に注目している。通常、高レベルの気密性を実現するには、建築施工を現場で細かく管理・監視するか、別の場所で施工する必要がある。気密性を高め、熱が逃げのを防ぐには、適切な施工と優れた取り付け技術が不可欠だ。製品の所定の性能を確保するには、熟練した職人が施工する必要がある。
- 建築業界では、ライフサイクル全体の環境負荷を軽減するため、天然繊維や再生繊維の断熱材に注目が集まっている。ただし、これらの素材が最終利用段階でより“持続可能”であることを示す調査データは見当たらない。ここで重要なのは、科学的データではなく、人々のイメージによって化学製品が不利な立場に置かれているという点だ。たとえば、化学製品の製造時に発生する二酸化炭素量だけに注目される場合が多い。ライフサイクル全体の二酸化炭素排出量を削減するには、使用フェーズでの製品性能を正しく評価し、他製品との相対的な違いを考慮する必要がある。
- 設計段階では、製品材料の実際の作用が十分に理解されなかったり、考慮されなかったりする。これが製品メリットの定量化を複雑にしている。たとえば、屋根用太陽光反射塗料は、屋根にあたる太陽光を反射し、熱吸収を防ぐことによって建物内部の温

度を低下させる。つまり、室内の冷房負荷が軽減される。ただし冬には、反射塗装が不利に働いて暖房負荷が増加する。しかも、その建物の内部だけでなく、建物が密集した地域ではヒートアイランド現象¹³によって他の建物にも影響が及ぶ。この技術には、環境全体の温度を低下させる働きがある。同様に、窓用フィルムは強い太陽光を遮り、冷房負荷を小さくすることを目的としている。しかし、自然光も遮ってしまうので室内が暗くなり、照明が必要となる。こうした作用を詳細にモデリングし、製品を利用した場合のメリットとその影響を正しく理解する必要がある。

- 多くの場合、評価システムと非コンセンサス基準、つまり“疑似基準”は地域によって異なる。これらは建築基準とは別のものだが、市場で広く用いられている。各地域での、建築基準要件と“環境対応ビル構想”を明確に区別することが重要だ。“グリーン”プログラムによって、特定の製品や素材に対する偏見が生じる場合がある。たとえば、毒性問題に関する根拠のない不安や、たった1つの属性(再生率など)で化学製品が排除されたり、ライフサイクル全体の環境負荷や、使用フェーズのメリットを他の製品と比較せずに、安易に製品が選択される可能性がある。使用される基準によっては、“グリーン”評価システムが化学製品に不利に働くことがある。化学業界は、バリューチェーン全体(化学製品の原料調達から製造まで)を対象にライフサイクル評価を実施し、その結果データを公開する必要がある。また、信頼できるサードパーティを通じて、製品の供給、取り付け、維持に関する正確な費用対性能比データも公開する必要がある。化学製品の使用による省エネルギー効果・GHG排出削減効果は、その製品を利用する建物によって異なる。各製品のメリットを具体的に伝えるには、建材の総合評価に、建物種類別の使用フェーズ情報を含めなければならない。

結論

化学製品の利用と受け入れを促進するにあたり、化学業界はいくつもの問題に直面している。とはいえ、適切に対処すればそれらの克服は可能である。第7章と第8章ではこれらの具体的な対策を取り上げる。第9章では、GHG抑制目標を達成し、化学産業が引き続きこの分野に貢献するには、今後の協力体制が重要であることを説明する。

13 都市部の開発に伴い、その景観に変化が生じている。空地や植物の代わりに建物が建ち、道路が作られ、さまざまなインフラが整備される。かつては浸透性のある湿った状態だった土地表面が、水を通さず、乾いた状態となる。こうした変化により、郊外に比べて都市部の気温が高くなり、異常な高温を示す“アイランド”を形成する(出典：米国EPA)。

概要

中国、ドイツ、日本、米国、シンガポールをはじめとする世界各地で、既存の建物を改修し、CO₂を“まったく”あるいは“ほとんど”排出しない最先端の建物やパッシブ建築物が建てられている。設計者、建設業者、消費者はこれらの建物をモデルとし、それぞれの地理的条件や建築要件に応じて必要な技術を取り入れることができる。モデルとなるこれらの建物では、当レポートのフェーズIで取り上げた、既に効果が実証されている化学製品技術を利用している。中には、最新技術を取り入れている建物もある。

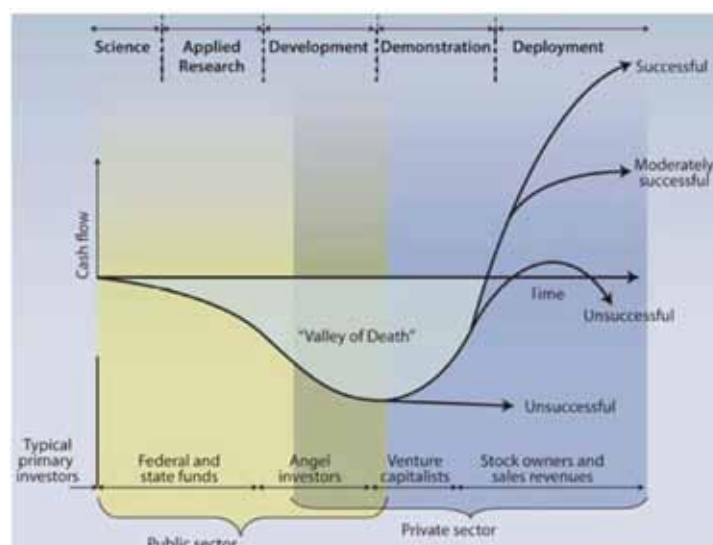
このセクションでは、既存の技術をさらに向上し、第6章で明らかにした問題を克服するための研究・開発・実証(RD&D)に焦点をあて、その必要性和機会について検証する。研究・開発・実証によって化学製品の可能性を最大限に高め、建物のエネルギー消費とGHG排出をさらに抑制することができる。

最先端技術は市場で成功するのが難しい。そこには次のような問題点がある。

- 新しい技術は市場投入までに長期間かかる。新しい技術を開発・テストしている間に、消費者のニーズが変化してしまう。つまり、最新技術を市場に投入したときには、その技術の必要性が低下している。あるいは、顧客のニーズに答えられなくなっている。
- RD&D活動の資金不足により、最新技術の市場投入までに時間がかかる。または、最大限の効果を提供する製品を開発できない。
- 最新技術はアピール方法が限られるので、資金提供者や顧客に技術内容を十分に伝えられない。
- 最新技術が受け入れられるまでには多くの時間と労力が必要。そのため、開発者や資金提供者は投資に消極的になる。

図41は、試験段階から開発、市場投入まで、最新技術がたどる一般的なプロセスを表している。ネガティブキャッシュフローの段階で十分な支援を得られない場合、その最新技術は失敗となる。最新技術が市場に受け入れられ、最終的に利益が出るようになるまでのつなぎとして、公共部門から支援を受け、製品へ直接投資する必要がある。

図41：最新技術の研究・開発から市場投入までのプロセス



出典：米国エネルギー省(2008年)「Carbon Lock-In: Barriers to Deploying Climate Change Mitigation Technologies (二酸化炭素の抑制－気候変動緩和技術の普及に伴う障壁)」

初期調査で新技術が有望であると分かった場合は、さらに投資をして、商品化の可能性をテストする。この段階ではまだ、商業生産コストや長期的な性能など多くの不確定要素があるため、技術開発者は投資収益を予想できない。ここでは最新技術の研究施設が重要な役割を担うが、実際には資金や人材に限りがあるので、多くの場合、研究段階で発見したすべての技術を開発することはできない。代わりに、組織の専門分野内で最も有望な技術に特化してRD&Dを実施する。

製品グループごとに以下の観点から技術を評価し、RD&Dの優先度（財政支援の優先度）を決定する。

- 技術および知識における現在の“最高水準”
- RD&Dの必要性
- 必要な知識と技術進歩
- 社会に対する影響

最新技術の商機を含め、すべての商機はタイミングが重要となる。したがって、RD&Dニーズに適したタイミングを考慮しなければならない。最新技術を成功させるには、市場のニーズが高まっている間に「コンセプト」から「製造」までを達成する必要がある。

製品グループ別のRD&D要件

このレポートの前半で紹介した消費エネルギー・GHG排出削減予測は、世間で既に利用されている市販の製品に基づいている。これらの既存の技術に加え、RD&Dが進む将来は、さらに大幅な向上を期待できる。とくに、幅広い用途に合わせて製品を最適化できるようになるだろう。IEAが目指す消費エネルギー・CO₂排出量削減を達成するには、こうした技術向上が不可欠である。

エネルギー消費量とGHG排出量の削減に加え、RD&Dはコスト削減にもつながる。たとえば、製造工程や設置工程を効率化すれば、そのぶんコストを削減できる。ただし、これらの製品の取り付けには多大な費用がかかるので、削減幅が少なくなってしまう。製品の取り付けを効率化できれば、特に、多くの労働力を必要とする改修時の取り付け効率を向上できれば、プロジェクトの遂行に必要な労力を軽減できる。この後のセクションでは、今回の分析対象である5つの技術グループについて製品開発動向を検証する。

- 断熱材
- 配管および配管用断熱材
- 屋根用反射塗装材と顔料
- 気密材
- 窓

これらの各製品カテゴリーについて、最新技術のRD&D状況をまとめた表を付録IIIで紹介する。

断熱材

ほとんどの建物では、エネルギー消費量のおよそ60%を冷暖房が占める¹⁴。熱損失を防ぐことで、建物内の冷暖房で使用するエネルギー量を減らすことができる。生活に必要な燃料が不足している家庭（つまり、他の出費を切り詰めない限り、快適な生活温度を維持できない家庭）は、高性能な断熱材から直接恩恵を受ける。さらに、住宅の断熱が向上すれば居住者の健康状態が良くなり、社会の医療費負担も軽減されるだろう。ただし、こうしたメリットは定量化が難しい。

新しい断熱製品の市況は、対象となる断熱材の種類によって大きく異なる。発泡プラスチック系断熱材（EPS、XPS、ポリイソシアヌレート、ポリウレタンスプレー）は既に広く利用されているが、エアロジェル、真空断熱パネル（VIP）など、他の種類の化学断熱材はまだ十分に開発されていない。

どのような技術であっても、長期にわたって現場で実際に利用し、時間とともに性能が低下しないことを確認する必要がある。幸い、初期のライトハウスプロジェクトの多くの経験を生かすことができ、これらの技術を最初に取り入れた地域の調査データも存在する。EPSフォームは1970年代から利用されているので、既に長期の利用実績がある。

断熱材と被覆材は適切に取り付けることが非常に重要だ。断熱材の取り付けが不適切だと、建物を損傷する危険性がある。また、断熱材によっては特別な取り扱いが必要となる。これについては、新しい断熱材と被覆材のRD&Dで検討する。最新製品の取り付けに関する留意事項は、施工業者が取り付け慣れている従来の製品と異なる可能性がある。したがって、実証フェーズには、施工業者、現場監督、さらには居住者に対して、最新製品の正しい使用法を教える作業も含

14 IEA (IEC 2012年7月)は、家庭用の給湯も含めて75%と発表

まれる。設置工程では、取り付け状態をチェックして品質管理を徹底する必要がある。

気候変動により、湿度が高くなったり、豪雨が長期間続く地域もある。また最近では、一部の国で洪水の発生率が高くなっている。氾濫原の開発が進むにつれ、気候変動に耐えられる洪水対応型建築の使用が増加するだろう。これは、硬質フォームなど、水の作用に耐性がある化学製品の商機となる。RD&Dを実施して、これらの製品の省エネルギー効果を実証する必要がある。さらに、洪水が発生した後でも、非化学系断熱材(ミネラルウールなど)を交換する必要がなく、そのぶんコストがかからないことも実証しなければならない。

配管および配管用断熱材

配管の熱損失を抑えられれば、居住用建物においても、非居住用建物においても、給湯システムのエネルギー消費量が減少する。熱伝導率の小さい配管を使用するか、あるいは配管用断熱材を巻き付ければ、配管を流れる温水の熱損失が減少し、次の温水を使用するとき短時間で設定温度に達する。これは、給湯のエネルギー消費を抑制するだけでなく、冷えた水を流す量が少なくなるので、水の消費量も減少する。

管壁からの熱伝導を減らすことに省エネルギー効果があるのは明らかだが、現在のところ、各種レイアウトの建物で高性能な配管用断熱材を使用した場合、エネルギー消費がどの程度抑えられるかは詳細に調査されていない。そのため、通常は経験によって削減量が見積もられている。さらに詳しく調査し、建物の場所や利用条件に応じた削減量を明らかにする必要がある。給湯システムの構成もエネルギー消費量に大きな影響を与える。これらの重要な可変要素を考慮して幅広く調査し、統計的に信頼できる結果を入手する必要がある。さまざまな建物での消費エネルギー削減量が明らかになれば、プラスチック配管と配管用断熱材の使用が促進されるだろう。

配管用断熱材は、建物の耐用期間の最後まで同じ断熱効果を提供する。フェーズIで実証したように、配管用断熱材には省エネルギー効果がある。一方、ほとんどの給湯用配管は壁の内側などに設置されており、途中での交換は難しい。したがって、配管用断熱材の効果が配管システムの寿命と同じだけ続くことが重要だ。管壁からの熱損失を減らすことでエネルギー消費

量が抑制される事実をデータとして明確に示せば、寿命の長い断熱材を開発するためのRD&D資金を募りやすくなる。

屋根用反射塗装材と顔料

スペースに制約があったり、レイアウトや予想耐用年数などの理由で従来の断熱材を設置できない建物でも、屋根用太陽光反射製品を使用すれば冷房需要を抑制できる。この種の製品は、大規模な商業ビルで使用した場合に大きな省エネ効果を期待できる。この技術はヒートアイランド現象を緩和する手段として有望視されており、この分野の詳細な調査が待たれる(フェーズIのエネルギー量は個々の建物レベルで算出されており、ヒートアイランド現象は考慮されていない)。

疎水性材料やサーモクロミック材料を用いた屋根技術を開発するには、さらなるRD&Dが必要。抗吸塵性を長期間維持する技術や、微生物の増殖を抑える白エラストマー屋根コーティングを研究している会社もある。ブラジルでは、セメントやセラミックに代わる屋根素材として、PVC屋根用タイルの市場開発プロジェクトが進められている。PVCタイルは熱伝導率が小さく、熱光線を反射する明るい色を使用できるので、空調を作動しなくても建物内が快適な環境に維持される。

米国のDOEは、従来の屋根素材を高反射エラストマー屋根コーティングに変えることで、商業ビルの年間空調エネルギー消費量が最大25%減少すると予測している。一方、都市部のヒートアイランド現象に対する太陽光反射コーティングの影響は、どの気候においてもまだ明らかになっていない。この分野のRD&Dが進めば、太陽光反射コーティングにヒートアイランド現象を緩和する効果があることが明らかになるだろう。その結果として、利用が広まるに違いない。

相変化材料

さまざまなRD&Dが実施されている中、とりわけ注目されているのが相変化材料の分野だ。相変化材料は、固体から液体、液体から固体に相が変化する材料であり、比較的一定の温度で大量の潜熱を吸収または放出する。

気密材

建物の気密は、主に2種類の製品(ハウスラップとシーリング材)によって実現される。ハウスラップ

は、主に木造骨組みの建物を新築する際に使用され、建物全体を効果的に気密するための基盤となる。石造建築では、液状塗布エアバリアが使用されることが多い。窓やドアの隙間、あるいは熱を保持する壁・屋根・床のつなぎ目から外気が入り込んだり、内気が逃げたりするのを防ぐには、気密材が必要になる。シーリング材は、現在の規制で定められている新築時および改修時の気密性要件を実現する上で重要な役割を果たす。とくに、ハウスラップを使用しない場合、壁、屋根、床の接合部が適切に密閉されていない場合、熱膨張率と熱縮小率が異なる材料を隣合せて取り付ける場合などに重要となる。

シーリング材

隙間風防止は、建物の熱損失を防ぐ最も低コストな方法の1つである。材料は安価で、建物エンベロープ材を大幅に交換する必要がない。一般に、窓やドアそのものより、窓やドアの隙間からより多くの熱が失われる。隙間をふさぎ、空気の漏れや侵入を防ぐ製品にはさまざまな種類があり、現在すべて市販されている。

過酷な気象条件にさらされたり、使用する材料の熱膨張率と熱縮小率が違っていたりすると、いずれはシーリング材が劣化する。つまり、定期的に交換しなければならない。調査が進めば、既存の材料の耐用年数が明らかになる。さらに、耐用年数が長く、環境負荷の小さい新材料が開発される可能性もある。これは、気密性を高めるため、交換の難しい建物内部で使用されているシーリング材に大きなメリットをもたらす。このメリットの恩恵を受けるのは主に改修時である。新築時には、耐用年数が限られた建築要素を使用して設計することが目的となる。

断熱材が向上するほど、熱損失の原因となり得る気密性が重要になってくる。つまり、隙間充填材、コーキング材、シーリング材が建物全体の性能を大きく左右する。さまざまな種類の既存の建物のシーリング効果は、ドア送風テストによって測定できる。その結果を見ると、施工の質に大きく依存することがわかる。このテストを幅広く利用して、施工技術を高める必要がある。

室内空気の品質問題も考慮しなければならない。この問題は、無制御の通気の軽減に影響される。現在のところ、“気密性が高いと建物内の空気がよどむ”（つまり、室内空気の質が悪い）と考えられているため、空気

交換システムを提供している他産業との協力体制がなかなか築けない。制御された換気システムで熱回収を使用する場合、非制御の通気を防ぐ隙間風防止がさらに重要になる。

壁用エアバリア：ハウスラップと塗布バリア

ハウスラップは木造家屋のエアバリアとして広く利用されている。一方、塗布バリアは石造建物で使用されることが多い。これらのバリアの主な機能は水の侵入を防ぐことだが、外気の侵入を防ぐ効果もある。ハウスラップで使用される技術は、現在すべて市販されている。

今のところ、透湿性の重要度については合意が得られていない。理論的には、壁の内部が湿った場合でも、ラップの透湿性が十分であれば壁材を乾かすことができる。同時に、ハウスラップは、壁内に水蒸気が入り込むのを防ぐ必要がある。一方向浸透性の材料（水蒸気を外に逃がし、中には侵入させない）はまだ開発されていない。さらに複雑なのは、季節によって状況が変わることだ。冬の寒い時期は透湿性の高い方が望ましいが、暑くて湿度の高い季節はその限りではない。飽和状態の外壁に直射日光が当たると蒸気が発生する。

前述のように、不透過性膜の役割の1つは、水蒸気が壁に入り込むのを防ぐことである。濡れると断熱効果が失われる断熱材を使用している建物では、この特性がとくに重要となる。一方、フォーム断熱材は、水に濡れた状態でも構造特性と断熱効果が両方とも維持される。各種ハウスラップを詳しく調査し、非化学断熱材が濡れないように保護する効果を明らかにする必要がある。なお、水蒸気は壁の内側または外側から流れ込む。さまざまな構造について透湿性の問題が解決できれば、透湿性（クローズ）ラップの幅広い利用を妨げる障害がなくなり、熱損失を防ぐハウスラップの効果が高まる。これは、利用を促進する大きな理由となる。

窓

窓の技術は、ここ数年で急速に進歩している。断熱フレームを使用した三重窓は、窓からのエネルギー損失を最小限に抑える。窓製品とドア製品を製造しているある大手メーカーは先頃、再生法の下でDOEと提携し、フレームキャビティと熱断層に優れ、熱特性が最適化されたフレームを開発している。高性能な断熱フ

レームと窓ガラスを併用することで窓の複合R値を高め、(従来の)壁のR値に近づけることができる。高断熱窓は既に市販されているが、非常に高価な価格設定が普及を妨げている。今後の調査で、これらの価格を下げる手段が見つかるかもしれない。あるいは、高断熱窓の多数のメリットを消費者に伝えることで、価格の問題を克服できる可能性もある。

熱や光の入射に応じて窓の物理的状態を変化させる、いわゆる“スマートウィンドウ”技術の開発が進んでいる。スマートウィンドウ技術には次の種類がある。

- **エレクトロクロミック**—電気エネルギーを利用して窓の透明度を切り替え、光や熱の出入りを制御する。
- **サーモクロミック**—窓ガラスが熱に反応して、透過状態から白色の拡散(反射)状態に変わり、太陽光熱を遮る。不透過度が変化するので、利用場所が制限される可能性がある。たとえば、見晴窓よりも天窗などに適している。
- **フォトクロミック**—入射光に反応して窓ガラスの色合いが変化する(感光性眼鏡レンズと同じ)。

フォトクロミック窓ガラスについてはさらなるRD&Dが必要。サーモクロミックガラスとエレクトロクロミックガラスは実証段階に入ったばかりである。今後、耐久性を高め、コストを下げるとともに、美観の問題も解決する必要がある。新技術によって、窓ガラスの透明性が損なわれてはならない。

反応型フィルムの開発と利用がとくに役立つのは、温暖気候地域にある窓ガラス面積の大きいビルだ。これらのビルで反応型フィルムを利用すれば、冷房負荷が大幅に削減される可能性がある。今後、気候変動によって温暖化や異常気象が加速するようであれば、反応型建築材、とりわけ窓の重要性が高まるだろう。

RD&Dのその他の機会

前のセクションでは製品カテゴリー別に説明したが、このセクションでは化学製品全般のさまざまな問題を取り上げる。

耐久性は樹脂製品の大きなメリットである。たとえば、樹脂製の建築材は、性能や外観が劣化することなく長期間利用できる。しかし、耐久性要件は建築基準に盛り込まれておらず、耐久性を測定・報告するため

の基準もないので、現在のところ耐久性を強みとして強調するのは難しい。非化学製品の方が早く劣化することを調査で実証できれば、化学製品の利用を促す材料となるだろう。製品の製造から使用フェーズ、リサイクルまで、ライフサイクル全体の環境負荷を分析することで、化学製品のメリットを示すことができる。樹脂製造の原料として再生不能炭化水素資源を使用した場合と、バイオマスを使用した場合を比較したライフサイクル分析も貴重な情報となる。バイオマス原料は、新しいポリマーの開発で使用される(現在のところ、建築に必要な特性を備えたポリマーは存在しない)。ただし、持続可能性を評価するには、エコロジーの観点だけでなく、経済的・社会的な基準も考慮しなければならない。

非強化プラスチックは他の建設資材に比べて構造強度が劣るため、大型窓のフレームなど、一部の用途では使用が制限される。強化材を使用することで強度が高まる。

商業建物の改修は大きな可能性を期待できる分野だが、導入までには課題も多い。建物全体を詳細に調査し、より簡単に、より低コストで改修する方法を見つける必要がある。この調査は、さまざまな地域の各種建物を対象に実施する。建物を改修した場合の環境負荷を(建物レベルではなく)地域ごとに調査すると、大規模なプロジェクトほど費用効率に優れていることがわかるはずだ。その結果、あらゆる種類の化学建材の需要が増加する。総合建築戦略では、より綿密なアプローチも必要となる。たとえば、新しい窓を設置し、壁に断熱材を入れるなど、建物を部分的に改修する場合でも全体的な計画に従う必要がある。化学製品の役割は、建物とその住人への影響を最小限にとどめる改修資材とプロセスを提供することである。改修の増加に伴い、改修時の混乱を最小限にとどめる資材とプロセスの開発が急務となる。改修中、住人が移転せずにすむような対策が必要だ。1つの例として、窓用反射フィルムの使用がある。既存の窓ガラスに貼るだけで熱を遮断できるので、窓を取り外したり、交換したりする必要がない。

最新技術の商品化に影響を与える主な要因、および研究開発資金の調達

最新技術の商品化に影響を与える大きな要因の1つに“コスト”がある。昨今の経済情勢を受け、官民共

にRD&D資金の制約が厳しくなっており、この状況はしばらく続くと予想される。まずは、現在のRD&D資金を有効かつ効果的に使うことだ。重要なのは、建築部門の目標に従って資金調達の優先順位を決定し、消費エネルギー・GHG排出量を最も削減できる製品を集中的に開発することである。RD&Dへの継続的な支援も非常に重要だ。現在進行中の開発プロジェクトが資金不足のため中止になる事態は避けたい。したがって、どの部門、どの技術開発に資金を提供するか、関係者間でコンセンサスを得ておく必要がある。フェーズ別の調査結果がその判断材料となる。

最先端製品の開発には多大なコストがかかるため、どうしても当初の販売価格が高くなり、消費者の購入意欲を低下させる。どの最新技術もまずは限定生産となるので、販売当初はスケールメリットが得られない。とはいえ、これらの問題にはいくつかの対処方法がある。

- 規制、規約、基準が厳しくなるにつれ、高品質な製品の需要が高まる。多くの場合、国の規制より、自治体レベルの規制の方が短期間で影響が顕れる。ただし、多数の地域を対象とする統一基準が設けられている場合、製品開発時にその基準に準拠すればよいので作業が最小限ですむ。
- 性能基準の適用範囲が広がれば、革新的な最先端製品の受け入れが促進される。
- 設計者と仕様書作成者に対して、省エネルギー建物の実現を支援する新製品とそのメリットについて詳細に伝えることが非常に重要。従来の製品より取り付け費用が高くても、投資の回収に関する詳しい情報が得られれば、建物の所有者や開発者は最新技術への投資に前向きになれる。
- 高性能製品の購入を促す政府の奨励策は、最新技術の初期コストを削減するだけでなく、市場でのアピール効果も期待できる。

材料供給の問題

材料供給の問題には、世界的なものや地域的なものがある。地域によっては、最先端製品に必要な材料を入手できない場合や、材料の供給量が限られている場合がある。最新技術製品の製造と設置に伴う環境負荷を減らすには、その材料を調達・製造する場所の近くで使用するのが最も効率的だ。小さい部品でも、それ

を離れた場所から調達するとなると、その負荷は製造全体の環境負荷に含まれる。

商業的リスク

最新技術を最初に市場へ出す場合、いくつかの商業的リスクを伴う。製品の性能が期待どおりでなかった場合、製造会社はその責任を負い、問題を解決するための措置を取らなければならない。他の建築資材と併用する場合、最新技術の性能を初期段階で予測したり、評価したりするのは難しい。想定外の結果となる可能性を減らすには、十分かつ綿密に調査し、現在の施工例から得られる広範な情報を活用するしか方法がない。それにはコストがかかるが、製品を設置した後で不具合が見つかった場合、問題解決にそれ以上の費用が必要になる。したがって、多少のコストがかかっても、新製品を市場へ出す前に徹底的に調査しておくべきだ。これらの商業的リスクは、優遇税制の導入によってある程度軽減される。基準や規制に頼って需要を喚起する方法と違い、短期間で確実な効果を期待できる。

教育とコミュニケーション

現在、建物を建てようとしている消費者、あるいは建物を改修しようとしている消費者は、選択肢としてどのような製品があるのか十分に知らない可能性がある。この状態を改善するには、製造会社と政府の両方が広く情報を公開し、新製品がもたらす環境負荷とメリットのバランスを多くの消費者に伝える必要がある。その際、対象者に適した形式で情報を配信することも大切だ。同時に、エネルギーに関するデータをより分かりやすく伝える方法も考えなければならない。たとえば、家庭のエネルギー消費量を合計エネルギー量の単位(家全体の年間MJまたはkWh)で表した場合、大きい家のエネルギー消費量は小さい家より多いということは分かるが、これら2つの家のエネルギー効率を直接比較することはできない。建物のエネルギー消費量を共通の基準(MJ/m²/年)で表すことで、消費者は、大きさや種類の異なるさまざまな建物のエネルギー効率を把握し、互いに比較することができる。ちょうどマイル/ガロン値を使用して、車種やサイズの異なる自家用車の燃費を互いに比較するのと同じだ。

省エネルギー効果より美観を重視している消費者に

対しては、説得力のある方法で省エネ効果をアピールしなければならない。IT技術の利用が広まれば、新しい製品の省エネルギー効果をリアルタイムで実証できるようになる。たとえば、反応型窓はそのよい例だ。新製品の商品化に伴う問題を克服するには、建設業者や施工業者のトレーニングと教育も必要である。

消費者の優先順位

一部の消費者（経済的に豊かな消費者など）は、建物の省エネルギー効果やGHG排出削減量より、室内の快適さや空気の質など、個人的な問題により大きな関心を向ける傾向がある。社会的・環境的に省エネルギーの重要性が高くなるにつれ、この問題は徐々に解決されるだろう。より重要なのは、消費者がさまざまな製品のLCAデータを意識するようになってきたことだ。これについては、LCAを設計プロセスに含め、消費者が製品のメリットを正確に理解できるようにすることで対処する。

結論

GHG排出量削減を目的とする化学製品の使用を促進するにあたり、研究・開発で得られた重要な成果は次のとおりである。

- セクターの目標に基づいて資金調達の優先順位を決定することで、RD&Dへの支援を継続し、目標達成へ向けてRD&D活動を実施できる。
- 長期にわたる現場での製品性能テストにより、長期的なメリットを実証し、性能劣化の問題を特定できる。製品の使用経験が長い各地域から情報を得ることが大切。
- さらに研究を続け、断熱材を使用していない配管の熱損失を各種建物について定量化することで、プラスチック配管と配管用断熱材の利用を促進できる。
- 暖房と冷房のトレードオフなど、クールルーフの本物のメリットを完全に理解し、定量化するには、さらなる調査が必要。また、屋根用太陽光反射材によるヒートアイランド現象の緩和効果についても詳細に調査する必要がある。
- エアバリア材の効果を高めると同時に、透湿性の問題に対処するには、適切な使用方法と取り付け方法に関する明確で一貫性のあるガイダンスが必要。

- 耐久性と透過性に優れた製品を開発するには、フォトクロミック、サーモクロミック、エレクトロクロミックの窓ガラスに関する詳細な研究が必要。

建物全体を改修する場合のメリットについて広く情報交換し、材料間の作用について理解を深める必要がある。さらに、建物全体のシステムを理解し、環境負荷の小さい効率的な改修方法を検証することで、改修市場が格段に大きくなる。現在、既存の多数のライトハウスプロジェクトに関する情報が蓄積されており、それらの性能をチェックできる。化学業界は、化学建材を利用し、最高レベルの省エネ基準に従って自社ビルを建設または改修することで、理想的なモデルを提示できる。

地域によって地理的条件や気候条件が異なるので、最新技術が必ずしもすべての地域に適合するとは限らない。それぞれの地域に合った製品や材料が開発されることになる。

新製品を短期間で商品化するには、商業的リスクに対処しなければならない。また、コストの制約を克服するには、より想像力に富んだアプローチが必要になる。教育は必須条件。問題を克服して利用を促進するには、顧客、設計者、建築業者、施工業者を対象に新製品のトレーニングを行う必要がある。

概要

このセクションでは、GHG低排出建物を目指し、省エネ型建物エンベロップ技術の利用を促進する規制とその他の国策¹⁵について検証する。一部の政策と規制は新築建物を対象としており（設計基準と建築基準）、その他は既存の建物の改修を対象としている（供給業者の義務と認可計画、改修時の責任など）。この章で説明する措置は、あらゆる種類の省エネ建材の利用を促進し、ひいては、建物のエネルギー消費量とGHG排出量を大幅に削減することを目的としている。

この章で取り上げるカテゴリーは次のとおり。

- 政策過程、規制、自主協定
- 公共投資
- 教育と啓蒙活動
- 奨励金と補助金

前述の各カテゴリーについて、既存の規制がまとめられている。また、省エネルギー・GHG排出削減を促進する既存の政策を強化および拡張する機会も検討する。

政策過程

近年、欧州、日本、米国で、既存の建物の省エネルギー化を目的としたさまざまな政策や計画的活動が実施されている。地球規模の気候変動やエネルギー供給に対する不安、エネルギー効率への社会的関心、さらには建物エンベロップ技術の大幅な進歩により、建物の省エネルギー化への関心が高まっている。効果的な

プログラムと政策に加え、最新技術に対する関心の高まりにより、建築部門のエネルギー効率が大幅に向上する。

短期的な財政または政治の優先事項を変更するにあたり、政治的な姿勢が一貫かつ安定していなければならない。多くの消費者と業界関係者は計画範囲が限られ、資金調達にも制限がある。こうした状況を克服する上で、確かな証拠に基づく強力な政策協調が重要な役割を果たす。

建築部門に多数の利害関係者がおり、それぞれ課題や優先事項が異なる。したがって、政策や規制は“広く”（すべての課題に対処できる）、“深い”（課題を確実に解決する）ことが条件となる。中央政府は、利害関係者の関与とコンセンサス形成を優先させなければならない。

化学製品の受け入れと利用を妨げる既存の政策・規制を特定し、対処する必要もある。前述のように、化学業界が率先して信頼できる情報を提供し、化学製品の製造、使用、廃棄に対する否定的な見方を改善しなければならない。

フランクフルト市のように、自治体の法律が状況を改善するケースもある。同市の建築法では、「都市部に家を新築する場合はパッシブハウス基準を満たしていなければならない」と定められている。これをきっかけに同市の建築業者は、パッシブハウス建築技術についての知識を習得していった。その結果、現在では多くの建築業者がパッシブハウスを建設できる。

有効な規制と自主規制の例

欧州委員会の「建物のエネルギー効率に関する指令」(EPBD)は、建築基準とゼロカーボン建物に関する国策と共に、EU加盟国の新規および既存の建築ストックにおいてエネルギー効率を向上するための重要な政策。EPBDは、2020年までにすべての新築建物をゼロエネルギーにすることを要求している。

EPBDをサポートする最初の基準セットは、欧州標準化委員会(CEN)によって発行された(2007年~2008年)。比較可能で客観的なエネルギー効率評価を実現するには、一貫した欧州基準が不可欠だ。それぞれの加盟国が別々に基準を作成すると、コストがかかり非効率なので、そのような事態を避けるためにも一貫した基準が必要となる。同時に、国と地域を分化するための柔軟性も求められる。現在、これらの要件を満たす第二世代CEN基準を作成する作業が進められている。

さらに、「エネルギー効率化指令2012」の合意も建築ストックの改修を促進している。加盟国は、官民両方において、居住用および商業の国有建築ストックを改修するための長期戦略を策定する必要がある。この戦略では、一連の措置に基づく国有建築ストックの概要を網羅し、統計的サンプリングと、費用効果に優れた改修方法を建物タイプと気候帯ごとに明らかにする。さらに、費用効果に優れた大規模な建物改修(段階的な改修を含む)を促進する政策・措置、個人、建設業界、および金融機関の投資を促す前向きな見解、省エネルギーと各種メリットの証拠に基づく予測が含まれる。

¹⁵ 国際的な取り組みについては別の章で説明する。

自主協定

世界のさまざまな地域で、規制要件に加え、いくつかの自主的な環境アセスメント評価システムが使用されており、新しいシステムが登場している。たとえば、既存のシステムには、LEED、Green Globes、BREEAM、ドイツDGNBラベルなどがある。ASHRAE 189.1と国際グリーン建築コード(IGCC)は最近の新しい基準である。これらは多くの場合、“環境にやさしい”製品のエネルギー効率と調達に関する最低基準を設けている。

公共投資

現在、公共セクターは、省エネルギー建物による財政的メリットおよび環境に対する意識が非常に強い。近年、公共セクターは、省エネルギー建物に関する知識ベースを拡張するため多大なリソースを投資している。さらに、その環境的・財政的目標を支援する自主イニシアチブと自主基準の両方を推進している。公共セクターが省エネルギーを奨励しているものの、さらなる取り組みが必要だ。たとえば、公共調達政策には重要な政策機会が存在する。公共セクターは、省エネルギー製品の指定と調達を義務付ける政策を設けることで指針を示している。公的資金を受けた建物を手本とし、最良の導入例を実証している。

教育と啓蒙活動

地球温暖化問題の意識が高まるにつれ、省エネ型建物の消費者需要を促すには、地域全体への教育と啓蒙活動が非常に重要となる。すべての市場関係者(政府、建築業者、消費者など)に情報を幅広く公表し、コスト要件と省エネルギー要件を満たす製品を購入できるようにしなければならない。ゼロ(またはほぼゼロ)エネルギー基準に従って建てられた建物は、意欲的な目標が達成可能であることの証拠となる。世界には、ドイツの“3リットルハウス”、シンガポールのゼロエネルギービル(ZEB)、パッシブハウス研究所の建物など多数の成功例がある。

従来の平均的な集合住宅は1平方メートルあたり年間20リットル以上の灯油を使用するのに対し、“3リットルハウス”は、1平方メートルあたり年間3リットル以下の灯油で暖房を賄える。“3リットルハウス”では、化学断熱パネル、不活性ガスを封入した三重窓、太陽エネルギーを利用した給湯と発電など、さま

ざまな技術が組み合わされている。同様に、シンガポールのZEBは、太陽電池パネル、自然光をフル活用する装置、低放射ガラスと遮蔽装置などの技術を利用している。屋根、壁、床材、太陽電池システム、窓コーティングなどZEB建物では先端化学と材料科学が重要な役割を果たしている。

パッシブハウス協会のWebサイトでは、オフィスビル、小売店舗、学校、体育館など、さまざまな種類のパッシブ建物に関する技術アドバイスを提供している。パッシブハウスと気候帯との関係や改修についてのアドバイスも参照できる。前に紹介したBUILD UPも優れた総合情報センターだ。建物のエネルギー効率に関するヨーロッパのWebポータルであり、事例紹介、ツール、省エネルギー関連のニュースとイベント、国内法および国際法に関する刊行物とリンクなど、さまざまな情報を入手できる。米国DOEのエネルギー効率および再生可能エネルギーのWebサイトも、建物のエネルギー効率に関するさまざまな情報を公開している。住宅および商業ビルに関する技術、プログラムとイニシアチブ、事例紹介、他の情報源へのリンクなどで構成されている。

財政

最近の調査で報告されているように、既存の建築ストックの改修は低コストでCO₂排出量を削減できる方法の1つである(コペンハーゲンエコノミクス-2012年10月の報告書を参照)。多くの場合、エネルギー効率の向上を目的とする改修は投資を十分に回収できる。輸入化石燃料への依存度が低下するので、エネルギーセキュリティが向上する。また、大気汚染が軽減され屋内環境がよくなるので、従業員の生産性と健康状態が向上する(ただし、健康メリットによる省エネ効果は極めて不明確であり、具体的に見積もるのは難しい)。改修プロジェクトは、仕事を増やして景気を刺激するだけでなく、エネルギー費用を削減し、補助金の支出を抑えることで公共財政も向上させる。

省エネ対策に投資した場合の財政的・環境的なメリットをエンドユーザーに伝えるため、教育用のリソースを割り当てる必要がある。電気器具やガス機器を対象とする同種の多くの市場転換プログラムを利用すれば、省エネルギー型建築資材の使用を増やすことができる。たとえば、融資、奨励金、技術サポート、報奨金、教育、意識向上プログラムなどが効果的だ。

結論

戦略的目標と措置に関する重要な結論は次のとおり。

- 現在のところ、国の規制には一貫性がないが、省エネルギーを推進する上で重要な役割を果たしている。さらに、各地域が取り組んでいる目標は長期的なものなので、今後もその事実は変わらない。
- 化学製品の使用を妨げる既存の政策・規制を特定し、対処する必要がある。
- 化学業界は、バリューチェーン全体(化学製品の原料調達から製造まで)を対象にライフサイクル評価を実施し、その結果データを公開する必要がある。また、信頼できるサードパーティを通じて、製品の供給、取り付け、維持に関する正確な費用対性能比データも公開する必要がある。
- 国会議員、仕様書作成者、施工業者、消費者など、あらゆる関係者に明確な情報を伝えて教育する必要がある。情報を広く公開することが重要。関係者が情報を確実に入手し、理解し、実施できるようにするため、多層的アプローチをとる必要がある。
- 法律または必須の建築標準が存在しない場合は、建築基準の“グリーン”項目やエネルギー効率項目に基づいて市場を開発し、グリーン技術での革新性を促進する。また、国内政策の要件を満たすため引き続き開発を続行する。
- 報奨金など金銭的インセンティブの影響は地域によって異なる。法的な背景と方策案に大きく左右される。直接的な補助金と財政的インセンティブを組み合わせた一連の方策は、これまでのところ市場転換の促進に役立っている。ただし、補助金や助成金が終了した後もこの状態を維持するには、有益な情報を消費者に提供する必要がある。
- この市場を成長させるとともに、GHG排出抑制目標の達成へ向けた省エネルギー型の画期的な製品を開発するには、研究・開発に加え、教育と知識共有に公共投資することが大切。

気候変動は、21世紀における重大な世界的政策課題の1つだ。世界各国の政府は、気候変動を緩和するための措置を講じるべきだとの見解で一致している。特に、今後数十年間でGHG排出量を減らすことが重要とされている。省エネ型建物エンベロップ技術を取り入れることで、建物は消費エネルギー・GHG排出量を大幅に削減でき、同時に最も優れた費用効果を期待できる。省エネルギー・GHG排出削減に関連する国政課題、国際政治課題、政策立案でも、建物エンベロップの改善がより注目されるようになるだろう。グローバル規模での協力体制を築けば、建築部門のエネルギー効率を大きく変えることができる。

この章では、1) 持続可能なエネルギー技術を効率的に開発・導入する上で、協力と連携が不可欠である理由、2) 連携を通じ、世界のリーダーたちが国際的な政府間機関において政策の一貫性を実現し、化学建材などの重要な手段を使用してこれらのグローバル課題に対処するにはどうすればよいか、について検討する。

パートナーシップによる省エネルギーの促進

建築部門におけるエネルギー消費・GHG排出の意欲的な削減目標を達成するには、政府から環境対応型建物の関係者まで、チェーン全体が密に協力し合い、市場での大規模なエネルギー効率改善を促進する必要がある。既に多くの協業ネットワークが存在する。IEAには最も大規模なネットワークがあり、世界中の何千人もの技術エキスパートがそれぞれのエネルギー技術プログラムに取り組んでいる。多種多様な仲間が互いに連携することで、エネルギー効率を継続的に向上するとともに、それを支援する市場環境を形成するための活動を行っている。内容は次のとおりである。

- 国内外を問わず、建築部門のさまざまなエネルギー利用者と連携する
- エネルギー評価、トレーニング、ツール、技術支援へのアクセスを拡大する
- ライフサイクル全体、建物システム全体を対象に、技術的および財政的な省エネルギー奨励プログラムを開発・実施しようとしているパートナーを支援する
- 省エネルギー型建築技術のパイロットプロジェクトを促進する
- 省エネルギー対応建築技術の導入を最適化する政策措置を一元的に支援する

- 環境対応ビル基準など、あらゆる関係者のコンセンサスに基づき、透明性の高い手法でオープンに策定された政策に関して、それらのメリットを最大化するための政策およびプログラムを交換する
- 国内外のRD&Dコラボレーション、デモンストレーション、および教育プログラムを奨励する
- 発展途上国の厳しいエネルギー効率基準を総合的にサポートする—これらの国では建物の新築率が高く、建物の消費エネルギーを大幅に削減できる可能性がある

地域内、国内、および世界中に多数のパートナーシップが存在し、共通のメッセージを発信するとともに、建物のエネルギー効率を高める活動を行い、成功しているパートナーシップの例を2つ紹介する。

- **米国エネルギー省の産業技術プログラム (ITP)** は、IEAの「産業エネルギー関連技術およびシステムの実施協定」と「エネルギー効率向上に関する国際パートナーシップ」を支援。これらは、世界の産業部門におけるエネルギー消費量、GHG排出量、およびコストの削減を目指している。現在ITPは、エネルギー問題と気候問題について、インド、中国（産業エネルギー効率の産学提携など）、ロシア、ブラジル、カザフスタン、アルゼンチンとの二国間協定によりサポートしている。国際協力活動として、評価トレーニングモジュールを交換したり、省エネルギーワークショップを開き、ISO50001エネルギー標準についてアドバイスしたりしている。

- **エネルギー効率向上に関する国際パートナーシップ** は、グローバル市場を対象に、エネルギー効率認定プログラムの推進を目指す多国間プロジェクトである。国内基準を策定・調整し、省エネルギーに関する教訓や成功事例を共有する。

国際政策レベルでみると、建築部門、とりわけ建物エンベロップのエネルギー効率は、地球の気候変動に関する方針決定に際してあまり注目されていない。政府は、建物のエネルギー効率政策の一貫性を地理的境界を越えて調査し、それを実行に移す必要がある。国際政策では、省エネルギー・GHG排出削減に関する国内措置を支援・強化する。気候変動に関する国際連合枠組条約の関係者は、各国の経済界のリーダーに働きかけ、建築部門のエネルギー効率向上へ向けた方策と最良実践モデルを策定する必要がある。各国の政府がそれぞれ単独で対処するのではなく、互いに協力し合うのが望ましい。

結論

さまざまな技能、リソース、専門知識が結集された協業イニシアチブは、省エネルギー型建材の利用を促進するプロジェクトの成功につながる。また、生産性、規制の枠組み、社会的基盤と研究基盤、財政面および法律面の効果的な枠組みや制度も重要。協業プロジェクトを実施し、既存の技術や最新技術の受け入れを支援するにはこれらが欠かせない。さまざまなイニシアチブが協力し合うことで、個々の経験とリソースを最大に活かすことができる。

ロードマップ

➡ の低排出建物ロードマップのフェーズIでは、化学産業の現在の技術と今後開発が予定されている技術について、建築部門の省エネルギー・GHG排出量削減目標にどの程度貢献できるかを明らかにした。フェーズIIでは、これらの目標達成を支援する重要な技術と政策措置を取り上げている。



化学産業は既に、省エネルギー型建材の受け入れと利用に多大な貢献をしている。たとえば、次のような活動をしている。

- パッシブハウス、ゼロエネルギー・ゼロ排出ハウス、消費量以上のエネルギーを生産するプラスエネルギー建物など、注目を集めやすい実証プロジェクトで化学製品を使用する
- トレーニングプログラムを実施し、化学製品の正しい使い方と設置方法を設計者や施工者に教える
- 化学建材のライフサイクル全体を評価する研究プロジェクトに資金援助し、省エネルギー効果・GHG排出削減効果に関する信頼性の高い実証・定量化データを提供する
- 継続的なRD&Dを通じてエネルギー効率に優れた製品を開発し、製品使用時のGHG排出をこれまで以上に抑制する

フラウンホーファー協会提供の次の図を見ると、業界による技術開発が立法活動に先行していることがわかる。この図で、WSVOは「Wärmeschutzverordnung」(断熱に関するドイツの条例)、EnEVは「Energieeinsparverordnung」(ドイツのエネルギー法令)の略。技術が制限要因でないことはこの図で明らかだ。建築技術の進歩により、暖房エネルギーゼロの建物が可能になり、さらには消費量以上のエネルギーを生産する建物も開発されている。これらの技術を実現し、今後数十年にわたって増加し続ける建築ストックのGHG排出量を削減するには、国内外の関係者が前向きに取り組んでいくことが重要となる。

このロードマップに示すビジョンの達成へ向け、各関係者が担う短期的な優先実行リストを表28に示す。

図42：省エネルギー対応建築の技術動向

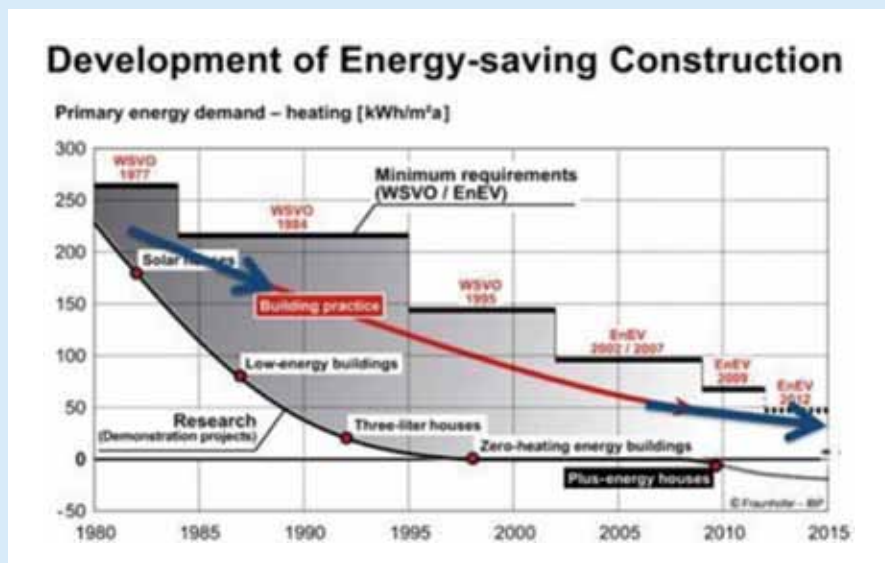


表28：各関係者の優先実行リスト

主な関係者	活動内容
政府 (国内レベル)	<ul style="list-style-type: none"> ● 省エネルギー対応建築技術の導入が促進されるように規制環境を整える <ul style="list-style-type: none"> ■ 既存の基準を定期的に見直し、性能が向上した製品の省エネルギー効果を取り入れる ■ 新しい製品を網羅できるように基準を拡張する ● 建築基準および建築性能評価の手順の整合性を高める ● 該当する化学建材を建築基準に盛り込む ● 市場に働きかけ、省エネルギー対応製品の受け入れを促進する ● 資金調達と奨励金を充実させ、省エネルギー効果の高い技術と施工法の初期投資コストをカバーする ● R&D へ継続的に資金援助する
政府 (国際レベル)	<ul style="list-style-type: none"> ● 国際フォーラムを利用して、建築確認基準の一貫性を高める ● 国際フォーラムを利用し、情報やリソースを広く交換する ● 国際的な RD&D コラボレーションを構築する ● 規制に関する能力向上・トレーニングを実施し、建築物の省エネルギー化を促進する ● 国際フォーラムを利用し、政策立案者、業界専門家、およびその他関係者が省エネルギー対応建材について話し合えるようにする
化学産業および 省エネルギー対応 建物のバリューチェーン	<ul style="list-style-type: none"> ● エネルギー効率を高め、GHG 排出量を削減する建材技術の開発を促進する ● 省エネルギー対応建築技術への投資を促し、R&D の商品化を迅速化する ● 政府、機関、協会など、官民パートナーシップと協力体制を促進し、建物のエネルギー効率を高める ● 省エネルギー型建物がもたらす経済的メリットと社会的メリットを広く知ってもらう ● 省エネルギー対応の建築技術と施工について、最終利用時にどのようなメリットがあるかを実証データとして提示する ● 施工者のトレーニングなどを通じて市場転換イニシアチブを支援し、省エネルギー対応技術と施工例を建築市場に紹介する
大学、機関、協会	<ul style="list-style-type: none"> ● 省エネルギー技術と施工の R&D に積極的に参加する ● プログラム提供者間の調整を促進し、省エネルギー対応建築イニシアチブに最大限の効果がもたらされるようにする ● トレーニングと能力向上プロジェクトに参加—すべての市場関係者が最新技術と施工法を正しく理解し、既存の知識を取り除いてスキルギャップを解消する ● 新しい建物および既存の建物における省エネルギー基準の実施状況を定期的に調査し、その有効性を高める

環境対応型ゼロエネルギー建物で利用される化学製品



国際化学工業協会協議会 (ICCA) は、全世界の化学メーカーの中で、化学工業界を世界的に代表する立場にある。グローバルな見解を表明する必要性から、国際的な関心が寄せられている問題やプログラムに対する化学企業や協会の取り組みをまとめる目的で、1989年に設立された。ICCAは化学産業を代表する産業団体で構成されている。

現在、ICCAは化学製造業の75%以上にに関わり、その生産量は年間1.6兆米ドルを超えている。そのうち約30%は国際的に取引されている。ICCAは Responsible Care® (レスポンシブル・ケア) などの化学業界の自発的イニシアチブを推進し、調整を行っている。

ICCAは、世界の化学産業で情報交換したり政策問題についての意見報告書を作成する上で中心的な役割を担っている。また、ICCAは、国連環境計画 (UNEP)、世界貿易機関 (WTO)、経済協力開発機

構 (OECD) など、健康、環境、商取引に関して各国国際機関との主要なコミュニケーションチャンネルでもある。

ICCAは情報交換と国際的に重要な政策問題に対する共通の立場を明確化することで、加盟団体とその加盟企業の取り組みの調和を図っている。

ICCAが注目する3つの重要な課題は以下の通りである。

- Chemicals Policy & Health (化学品政策と健康)
- Climate Change & Energy (エネルギーと気候変動)
- Responsible Care® (レスポンシブル・ケア®)

また、ICCAはこうした国際的な問題に関わる国際政府間組織 (IGO) やNGOなどの各種国際団体と業界の主要なコミュニケーションチャンネルの役割も果たしている。

The International Council of Chemical Associations c/o Cefic
Avenue E. Van Nieuwenhuyse 4, box 1
B-1160 Brussels, Belgium

ICCAウェブサイト

資料のダウンロードを含め、本協議会とその活動に関する詳しい情報は、ICCAのウェブサイトをご参照ください。

www.icca-chem.org

図 1 : 世界のCO ₂ 排出量の削減に対する主要分野の貢献度	iv
図 2 : 居住用建物の床面積 (エリア別)	4
図 3 : 商業建物の床面積 (エリア別)	4
図 4 : 建築ストックの総床面積 (エリア別)	5
図 5 : 建物レベルでの複合的エネルギー損失 (漸進的改修シナリオ)	11
図 6 : 発電の燃料比率 (2009年)	12
図 7 : 住宅用暖房の燃料比率 (2009年)	12
図 8 : 商業建物用暖房の燃料比率 (2009年)	13
図 9 : 住宅用温水システムの燃料比率 (2009年)	13
図10 : 商業建物用温水システムの燃料比率 (2009年)	13
図11 : ライフサイクル全体のエネルギー消費 - 必要な総エネルギー量 (MJ) / 直接エネルギー (MJ)	14
図12 : ライフサイクル全体のGHG排出量 - CO ₂ eの総排出量 (kg) / 直接エネルギー量 (MJ)	14
図13 : 製品ライフサイクルの各ステージ	15
図14 : 建築ストックの増加に伴うライフサイクルエネルギー消費量の推移 - 建物エンベロップのエネルギー効率が向上しない場合	26
図15 : 建築ストックの増加に伴うライフサイクルGHG排出量の推移 - 建物エンベロップのエネルギー効率を改善しない (燃料と電気の炭素排出原単位が変化しない) 場合	26
図16 : 建築ストックの増加に伴うライフサイクルエネルギー消費量の推移 - 新しいストックのエネルギー効率は向上するものの、既存のストックを改修しない場合	27
図17 : 建築ストックの増加に伴うライフサイクルGHG排出量の推移 - 新しいストックのエネルギー効率は向上するものの、既存のストックを改修しない (燃料と電気の炭素排出原単位が変化しない) 場合	27
図18 : 建築ストックの増加に伴うライフサイクルエネルギー消費量の推移 - 新築ストックのエネルギー効率を高め、既存のストックを改修する場合	28
図19 : 建築ストックの増加に伴うライフサイクルGHG排出量の推移 - 新築ストックのエネルギー効率を高め、既存のストックを改修する場合 (燃料と電気の二酸化炭素強度は変化しない)	28
図20 : 燃料切り替えがエネルギー消費量にもたらす付加的影響	30
図21 : 燃料切り替えがGHG排出量にもたらす付加的影響	30
図22 : ライフサイクル全体の年間エネルギー消費削減量 - 化学建材 (窓を除く) を使用した場合	31
図23 : ライフサイクル全体の年間GHG排出削減量 - 化学建材 (窓を除く) を使用した場合	31
図24 : 商業建物の種類別エネルギー使用比率 - 米国	32
図25 : 商業建物の種類別エネルギー使用比率 - 欧州	32
図26 : 商業建物の種類別エネルギー使用比率 - 日本	32
図27 : 最終用途で化学建材を使用した場合の省エネルギー比率 (2050年)	33
図28 : 各地域の最終用途における消費エネルギー削減量 (2050年、建物種類別)	33
図29 : 各地域の最終用途におけるGHG排出削減量 (2050年、建物種類別)	34
図30 : エンベロップの構成要素別ライフサイクルエネルギー消費量 (2000年)	34
図31 : 化学建材の種類別消費エネルギー削減比率 (2050年)	35
図32 : 化学建材の種類別GHG排出削減量 (窓を除く)	35
図33 : 省エネルギー型の樹脂フレーム窓による消費エネルギー削減量	36
図34 : 省エネルギー型の樹脂フレーム窓によるGHG排出削減量	36
図35 : 化学建材の累積正味消費エネルギー削減量 (「使用段階の消費エネルギー削減量」 - 「製造時の環境負荷」)	40
図36 : 化学建材の累積正味GHG排出削減量 (「使用段階のGHG排出削減量」 - 「製造時の環境負荷」)	41
図37 : 建築ストックの増加に伴うエネルギー消費量 (暖房、冷房、給湯) の推移	43
図38 : 高成長地域の暖房エネルギー	45
図39 : 高成長地域の冷房エネルギー	45
図40 : 高成長地域の給湯エネルギー	46
図41 : 最新技術の研究・開発から市場投入までのプロセス	56
図42 : 省エネルギー対応建築の技術動向	68

表 1：住宅増加率－住宅戸数の年間増加率を10年単位で表示	3
表 2：米国における商業建物の増加率－床面積(単位は百万平方メートル)の年間増加率を10年単位で表示	3
表 3：欧州における商業建物の増加率－床面積(単位は百万平方メートル)の年間増加率を10年単位で表示	3
表 4：日本における商業建物の増加率－床面積(単位は百万平方メートル)の年間増加率を10年単位で表示	4
表 5：漸進的改修シナリオにおける改修ペース(10年単位)	6
表 6：商業建物の取り壊し－今後取り壊される2000年建築ストックの割合を10年単位で表示	6
表 7：屋根のR値(2000年～2050年)	8
表 8：壁のR値(2000年～2050年)	9
表 9：窓のR値(2000年～2050年)	10
表10：発泡断熱材の種類(使用比率・地域別)	17
表11：新築建物および改築建物におけるプラスチック系断熱材の市場シェア(10年単位)	17
表12：新築建物における給湯用プラスチック配管の市場シェア(10年単位)	18
表13：クールルーフの設置率(新設および交換)－10年単位	21
表14：クールルーフの省エネルギー効果と暖房損失	21
表15：居住用建物および商業建物における窓の市場シェア	22
表16：化学建材の原料入手から製品製造までの環境負荷(製品の耐用年数を基準に年間ベースに換算)	24
表17：化学建材(窓を除く)の製造に伴う累積エネルギー消費量(Mtoe)	37
表18：化学建材(窓を除く)の使用がもたらす累積消費エネルギー削減量(Mtoe)	37
表19：化学建材(窓を除く)の累積GHG排出量(MtCO ₂ e)	38
表20：化学建材(窓を除く)の累積GHG排出削減量(MtCO ₂ e)	39
表21：エネルギー比率－製造時の累積環境負荷に対する累積省エネルギー効果(窓を除く)	40
表22：GHG比率－製造時の累積環境負荷に対する累積GHG排出削減効果(窓を除く)	41
表23：化学製品の設置状況(2000年～2050年)	42
表24：高成長地域におけるエネルギー消費量の変化	44
表25：化学建材の市場シェア拡大(合計販売高に対する化学製品の販売高の割合)	46
表26：ブラジルとインドのクールルーフ予測データ(2050年)	47
表27：課題と商機の一覧	51
表28：各関係者の優先実行リスト	69

最新の化学断熱製品

技術	状況
エアロジェル	研究中
ナノ技術*	研究中
真空断熱パネル	商品化 / 研究中

最新の屋根用反射塗装材と顔料

技術	状況
防泥効果のある高疎水性材料	開発中
サーモクロミック屋根材：温度によって色 / フェーズが変化	商品化 / プロトタイプ

最新の窓技術

技術	状況
エレクトロクロミック（電流で相が変化）	プロトタイプ
サーモクロミック	プロトタイプ
フォトクロミック	研究中

* たとえば、発泡断熱材のナノスケール気孔など

2DS	2°Cシナリオ(国際エネルギー機構ETP 2012報告書の最低炭素量シナリオ)
ACC	American Chemistry Council(米国化学工業協会)
ACH	Air Change per Hour(時間あたりの漏気回数)
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers(米国暖房冷凍空調学会)
BPIE	Buildings Performance Institute Europe(欧州建築物性能協会)
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CASBEE	Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency(建築物総合環境性能評価システム)
CCS	Carbon Capture and Storage(二酸化炭素の回収・貯蔵)
CDD	Cooling Degree Days(冷房日)
CEPIC	European Chemical Industry Council(欧州化学工業連盟)
CEN	European Committee for Standardisation(欧州標準化委員会)
DOE	Department of Energy(米国エネルギー省)
EERE	Energy Efficiency and Renewable Energy(エネルギー効率および再生可能エネルギー) 米国エネルギー省内の部門
EIA	Energy Information Administration(米国エネルギー情報局)
EIFS	Exterior insulation and Finish System(外断熱塗装工法)
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive(建物のエネルギー効率に関する指令)
EPDM	Ethylene Propylene Diene Monomer(エチレンプロピレンジエンゴム)(合成ゴムの一種)
EPS	Expanded polystyrene(発泡ポリスチレン)
ETP	Energy Technology Perspectives(エネルギー技術展望)(ETP 2012は2012年6月に発行された本レポートのバージョン)
GHG	GreenHouse Gas(温室効果ガス)
HDD	Heating Degree Days(暖房日)
HVAC	Heating, Ventilation, and Air Conditioning(冷暖房空調)
IBEC	Institute for Building Environment and Energy Conservation(建築環境・省エネルギー機構)
ICCA	International Council of Chemical Associations(国際化学工業協会協議会)
IEA	International Energy Agency(国際エネルギー機関)
IECC	International Energy Conservation Code(国際省エネルギー規定)
IGCC	International Green Construction Code(国際グリーン建築コード)
JCIA	Japan Chemical Industry Association(日本化学工業協会)
LCA	Life Cycle Assessment(ライフサイクル評価)
LCCM	Life Cycle Carbon Minus(ライフサイクルカーボンマイナス)
LCI	Life Cycle Inventory(ライフサイクルインベントリー)
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design(エネルギーと環境に配慮したデザインにおけるリーダーシップ)
METI	経済産業省(日本)
MLIT	国土交通省(日本)

MtCO ₂ e	二酸化炭素換算百万トン
Mtoe	石油換算百万トン
NEMS	National Energy Modeling System (米国エネルギーモデリングシステム)
NGO	Non-Governmental Organization (非政府組織)
NREL	National Renewable Energy Laboratory (米国再生可能エネルギー研究所)
nZEB	Nearly Zero-Energy Building (ゼロエネルギー建物)
OECD	Organisation for Economic Co-operation & Development (経済協力開発機構)
PIR	Polyisocyanurate (ポリイソシアヌレート)
PPFA	Plastic Pipe and Fittings Association (樹脂配管・取り付け具協会)
PUR	Polyurethane (ポリウレタン)
PVC	Polyvinyl chloride (ポリ塩化ビニル)
RD&D	Research, Development, and Demonstration (研究・開発・実証)
ROI	Return On Investment (投資収益率)
SIP	Structural Insulated Panel (構造断熱パネル)
TPO	Thermoplastic Olefin (熱可塑性オレフィン)
UNEP	United Nations Environment Programme (国連環境計画)
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change (気候変動に関する国際連合枠組条約)
USD	米国ドル
VIP	Vacuum Insulated Panel (真空断熱パネル)
WTO	World Trade Organization (世界貿易機関)
XPS	Extruded Polystyrene (押し出し法ポリスチレンフォーム)
ZEB	Zero Energy Building (ゼロエネルギー建物)

- 2000 IECC: International Energy Conservation Code, IECC Compliance Guide to Window Selection in Illinois Designed to Comply with the IECC Requirements for New Single-Family Residential Buildings in Illinois, ICC: International Code Council, 2000
- 2000 IECC: International Energy Conservation Code, IECC Compliance Guide to Window Selection in Texas Designed to Comply with the IECC Requirements for New Single-Family Residential Buildings in Texas, ICC: International Code Council, 2000
- 2000 IECC: International Energy Conservation Code, IECC Compliance Guide to Windows Used for Replacement and Remodeling in Illinois Designed to Comply with the IECC Requirements for Existing Single-Family Residential Buildings in Illinois, ICC: International Code Council, 2000
- 2000 IECC: International Energy Conservation Code, IECC Compliance Guide to Windows Used for Replacement and Remodeling in Texas Designed to Comply with the IECC Requirements for Existing Single-Family Residential Buildings in Texas, ICC: International Code Council, 2000
- 2006 IECC: International Energy Conservation Code, Energy Code Compliance Guide to Window Selection in Illinois, ICC: International Code Council, 2006
- 2006 IECC: International Energy Conservation Code, Energy Code Compliance Guide to Window Selection in Texas, ICC: International Code Council, 2006
- 2009 IECC: International Energy Conservation Code, Energy Code Compliance Guide to Window Selection in Illinois, ICC: International Code Council, 2009
- 2009 IECC: International Energy Conservation Code, Energy Code Compliance Guide to Window Selection in Texas, ICC: International Code Council, 2009
- ANSI/ASHRAE: American National Standard Institute/American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., ANSI/ASHRAE Addendum b to ANSI/ASHRAE Standard 90.2-2001, ASHRAE Standard, Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings, 2003
- ASHRAE: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Advanced Energy Design Guide for Medium to Big Box Retail Buildings, Achieving 50% Energy Savings Toward a Net Zero Energy Building, ASHRAE, 12/30/11
- ASHRAE: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Advanced Energy Design Guide for Highway Lodging, Achieving 30% Energy Savings Toward a Net Zero Energy Building, ASHRAE, 4/27/11
- ASHRAE: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Advanced Energy Design Guide for K-12 School Buildings, Achieving 30% Energy Savings Toward a Net Zero Energy Building, ASHRAE, 4/27/11
- ASHRAE: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings, Achieving 50% Energy Savings Toward a Net Zero Energy Building, ASHRAE, 9/27/11
- BPIE: Building Performance Institute Europe, "Europe's Buildings Under the Microscope, A country-by-country review of the energy performance of buildings", October 2011
- Copenhagen Economics. Multiple benefits of investing in energy efficient renovation of buildings: Impact on Public Finances. Commissioned by Renovate Europe. 5 October 2012.
- Deru et al., "U.S. Department of Energy Commercial Reference Building Models of the National Building Stock", NREL: National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-5500-46861, February 2011
- ECOFYS, "U-values For Better Energy Performance of Buildings", 10/2007
- EIA (2001), U.S. Department of Energy, Energy Information Administration, 2001 Residential *Energy Consumption Survey*.

EIA (2009), U.S. Department of Energy, Energy Information Administration, 2009 Residential *Energy Consumption Survey*.

EIA (2010a), U.S. Energy Information Administration, Commercial Sector Demand Module of the National Energy Modeling System: Model Documentation 2010, DOE/EIA-M066(2010), May 2010

EIA (2010b), U.S. Energy Information Administration, Model Documentation Report: Residential Sector Demand Module of the National Energy Modeling System, DOE/EIA-M067(2010), May 2010

EIA (2012), U.S. Energy Information Administration, Annual Energy Outlook 2012. DOE/EIA-0383(2012)

Emmerich et al., "Investigation of the Impact of Commercial Building Envelop Airtightness on HVAC Energy Use", NIST: National Institute of Standards and Technology, NISTIR 7238, June 2005

International Council of Chemical Associations (ICCA), Innovations for Greenhouse Gas Reductions, A life cycle quantification of carbon abatement solutions enabled by the chemical industry, July 2009

International Energy Agency (IEA), Energy Technology Perspectives: Pathways to a Clean Energy System, June 2012

IWAMURA, Kazuo, "The Existing Housing Typology in Japan and Proposals to Improve Insulation Performance Levels", The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27-29 September 2005

Levinson, Ronnen, "The case for cool roofs", Berkley Lab Heat Island Group, 15 Nov 2011

MLIT: Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Residential Building Stock Statistics. http://www.mlit.go.jp/report/press/joho04_hh_000255.html. Accessed November 2011.

Oakdene Hollins, Environmentally Beneficial Nanotechnologies: Barriers and Opportunities. A report for the Department of Environment, Food, and Rural Affairs, May 2007

Origgi et al., "Influence of Thermal Insulation and Phase-Change Material on Energy Demand and CO₂-Emissions in Different European Climates", Passiv Haus Institut, July 2006

The Freedonia Group, Inc. World Roofing: Industry Study with Forecasts for 2014 & 2019. Report #2656. July 2010. Selected tables.

The Freedonia Group, Inc. World Insulation: Industry Study with Forecasts for 2014 & 2019. Report #2707. February 2011. Selected tables.

The Freedonia Group, Inc. World Plastic Pipe: Industry Study with Forecasts for 2015 & 2020. Report #2748. May 2011. Selected tables.

The Freedonia Group, Inc. World Windows & Doors: Industry Study with Forecasts for 2015 & 2020. Report #2790. October 2011. Selected tables.

The Freedonia Group, Inc. World Housing: Industry Study with Forecasts for 2014 & 2019. Report #2692. September 2010. Selected tables.

The Freedonia Group, Inc. U.S. Sealants & Caulks: Industry Study with Forecasts for 2012 & 2017. Report #2393. September 2008. Selected tables.

Wallace et al., "Continuous measurements of air change rates in an occupied house for 1 year: The effect of temperature, wind, fans, and windows", Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, Nature Publishing Group, 2002

XCO2 consibee, "Insulation for Sustainability: A Guide", XCO2, 2000

Yanfeng, Qian, "Most homes to be demolished in 20 years", China Daily, SHANGHAI, 2010-08-07



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



一般社団法人 日本化学工業協会

〒104-0033 東京都中央区新川1-4-1 (住友六甲ビル7階)
TEL 03-3297-2555 FAX 03-3297-2615
URL <http://www.nikkakyo.org/>



本冊子はICCAが発行した“ICCA Building Technology Roadmap”を翻訳したものです。