

2.1.11 熱エネルギー利用（民生熱利用）

（1）研究開発領域の定義

本領域は、居住空間の冷暖房負荷削減のための技術であり、住宅やオフィスビルなどの居住空間の熱マネジメントを対象としている。建築外皮関連についてはパッシブ手法として断熱、蓄熱、遮熱、調光ガラス等を、設備関連についてはアクティブ手法としてスマートビル・ハウスに関する研究を対象にする。

- ①パッシブ手法：建築物において外部からの流入出熱を小さくして、夏・冬期の冷・暖房負荷を削減する技術である。ここでは、建築物向けの高性能な断熱・蓄熱材料、遮熱機能を持つ遮熱材料や遮熱窓の調光ガラスを対象とする。
- ②アクティブ手法：居住空間での省エネルギー効果の高い設備技術を含めた領域を対象とする。建物全体の省エネルギー技術について記述する。なお、地域冷暖房は含まない。

（2）キーワード

省エネルギー、省CO₂、ZEB、ZEH、NEB

（3）研究開発領域の概要

【本領域の意義】

省エネルギー・省CO₂による地球環境負荷削減が人類共通の喫緊の課題であるとして、パリ協定（COP21）において日本が提出した約束草案では、CO₂排出量を2030年までに2013年比で26%削減するという野心的な水準の目標が掲げられた。政府の長期エネルギー需給見通しでは、2030年度に最終エネルギー需要を対策前の2013年度実績と比較して5,030万kl程度削減を見込んでいる。その実現には、オイルショック後並みのエネルギー消費効率の改善（35%削減）が必要となる¹⁾。民生部門で2030年までに約4割削減することが求められるため、具体的な対策としてゼロエネルギーの住宅（ZEH）やビル（ZEB）による住宅・建築物の省エネ化・低炭素化が推進されてきている。住宅やビルにおけるエネルギー消費の多くを占める居住空間の冷暖房負荷削減は大変重要であり、様々なパッシブ手法とアクティブ手法を適切に採用した対策が求められる。現在、家庭部門の主な対策としては、LED等の導入、トップランナー制度等による機器の省エネ性能向上、住宅の省エネ化があり、また、業務部門の主な対策としては、LED照明等の導入、高効率な冷凍冷蔵庫やサーバー・サーバー等の導入、BEMSの活用等によるエネルギー管理の実施が積極的に進められている。

【研究開発の動向】

わが国では、1979年にオイルショックによる石油の調達が不安定になったことから、石油に依存していたエネルギー消費構造を変え、エネルギーの消費そのものを減らすことを目的に、「エネルギーの使用の合理化等に関する法律（省エネ法）」が制定された。当初は、エネルギー消費の多い産業分野が主であったが、それ以外の分野のエネルギー消費も増加してきたことから、業務・家庭部門、運輸部門にも対象が広がられてきた。2013年の改正において、非住宅建物では、設備ごとの性能を評価することから、建物全体の一次エネルギー消費量による評価となった。住宅では、外皮の熱性能のみの基準から、建物全体の一次エネルギー消費量の評価が加わった。一方、建築材料である断熱材、サッシ、複層ガラスなどについては、トップランナー制度で目標基準値が設けられている。さらに「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律（建築物省エネ法）」が2015年7月1日に国会において成立し、7月8日に公布された。この法律では、①大規模非住

宅建築物の省エネ基準適合義務等の規制措置と、②省エネ基準に適合している旨の表示制度および誘導基準に適合した建築物の容積率特例の誘導措置を一体的に講じることが示されている。建築物の省エネ性能表示のガイドラインに基づく第三者認証の例として、BELS（建築物省エネルギー性能表示制度）がある。これによって住宅や建築物の新築時等に、特に優れた省エネ性能をアピールすることが可能となっている。2017年度より、延床面積2,000 m²以上の大規模非住宅建築物について、新築時等におけるエネルギー消費性能基準への適合義務化、延床面積300 m²以上の中規模建築物の新築時等における省エネ計画の届出を義務化が進められている。また、建築物省エネ法の改正法が2019年5月17日に公布され、省エネ基準への適合を建築確認の要件とする建築物の対象に、延べ床面積300 m²以上中規模のオフィスビル等が追加されるなど、更なる省エネに向け、規模・用途ごとの特性に応じた実効性の高い総合的な対策を講じられている。また、2013年度より、ロックウール断熱材、グラスウール断熱材、押出法ポリスチレンフォーム、サッシ、複層ガラスを対象とした建材トップランナー制度が、2017年度より硬質ウレタンフォーム（現場吹付け品）に準建材トップランナー制度が導入されている。

一般的なオフィスビルのエネルギー消費割合は、暖房19%、冷房10%、給湯13%、厨房8%、動力・照明他47%、その他3%である²⁾。そのため全体の8割程度を占める空調設備と照明設備に高効率な設備を導入することが望ましい。外皮の断熱性能を向上させることはもちろん快適な室内温熱環境を実現するためには必要であるが、日射熱負荷と構造体熱負荷が低減されることによる効果は、空調関係エネルギー消費のうちの2割程度のみである。ただし長期的なランニングコスト削減のことも考慮すれば、外壁や開口部の断熱性能向上も検討すべきである。空調関係では熱源設備の省エネが重要であり、COP（エネルギー消費効率）やAPF（通年エネルギー消費効率）などに基づいた高効率設備の研究開発が求められる。

住宅のエネルギー消費割合は、暖房25.7%、冷房2.4%、給湯29.1%、厨房9.6%、動力・照明他33.3%である²⁾。そのため暖冷房、給湯、照明の省エネ対策が重要である。オフィスビルなどの非住宅建築物とは対照的に、床面積に対する外皮の占める比率が高く、換気回数も少ないため、日射熱負荷や伝熱負荷が暖冷房のエネルギー消費に大きく影響する。そのため外皮性能の向上は極めて重要である。開口部については、サッシ部分の材質が断熱性能の高い樹脂製の窓を、通常、低放射率で断熱性能の高い複層ガラスや3層ガラスにして断熱性能を向上させ熱の出入りを抑える技術が普及してきている。特に寒冷地を中心に高性能トリプルガラス+樹脂サッシが新築時に広く導入されている。サッシ部分をアルミと樹脂の複合で構成したアルミ樹脂複合窓もある。断熱材としては、グラスウール、ロックウール、押出法ポリスチレンフォーム、硬質ウレタンフォーム、ビーズ法ポリスチレンフォーム、フェノールフォーム、インシュレーションファイバーなどがある。設備技術としては、LED照明や潜熱回収型給湯機や自然冷媒シートポンプ式給湯機、燃料電池などが製品化されている。

（4）注目動向

〔新展開・技術トピックス〕

・ZEB¹⁾

民生部門における徹底的なエネルギーの削減を達成するために、建築物の消費エネルギーを極力低減させたZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）、住宅でのZEH（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）が求められている。建築物については、2020年までに新築公共建築物等で、2030年までに新築建築物の平均でZEB化することを目指している。また住宅については、2020年までに標準的な新築住宅で、2030年までに新築住宅の平均でZEHとすることを目指している。ZEBでは、省エネ基準より50%以上エネルギー消費量が削減された場合をZEB Readyと設定し、正味で75%以上省エネを達成したものをNearly ZEB、正味で

100%以上省エネを達成したものを『ZEB』としている。また、10,000m²以上の大規模建築物を対象として、設備の制御技術等の省エネルギーに大きく寄与する技術の活用が見込まれるものの、現時点では評価が難しい技術を活用したZEB Orientedの定義もある。

• ZEH³⁾

一方、ZEHでは、躯体の高断熱化と設備の高効率化により、省エネ基準よりも20%以上の省エネをZEH基準として設定し、正味で75%省エネを達成したものをNearly ZEH、正味で100%省エネを達成したものを『ZEH』としている。ZEBやZEHを達成するには、極力、建物の負荷を減らした上で、効率の高い機器を導入し、その上で再生可能エネルギーを用いて負荷の処理をしていく方法がとられる。また、使用する側の意識も重要で、無駄のない運転を心がけることが大切である。

• HEAT20

「2020年を見据えた住宅の高断熱化技術開発委員会(HEAT20)」は、断熱などの建築的対応技術に着目し、住宅の熱的シェルターの高性能化と住居者の健康維持と快適性能向上のための先進的技術開発、評価手法、断熱住宅の普及啓蒙を目的として2009年に設立された。そこでは、戸建住宅の目指すべき住宅像と推奨する断熱性能水準を、国内の各地域における代表的な暖房方式の調査検討・設定の上、NEB（冬期間の室内温度環境）及びEB（省エネルギー性能）に関して検討しており、「HEAT20 G1・G2・G3 断熱性能推奨水準」と「各断熱性能水準別のNEB及びEB」を提案している。

• 北方型住宅

1988年以降、豊かな住まい・住まいづくりの実現を目指し、産学官一体で「北方型住宅」の開発・普及が進められている。現在は北方型住宅2020として、特にパッシブ手法で重要となる断熱性能（UA値0.36以下）、気密性能（C値1.0以下）等において高い水準で運用されている。一方、断熱性能や耐震性能だけではなく、災害にも強く、快適で長く住み続けるために必要な4つの基本性能（長寿命、安心・健康、環境との共生、地域らしさ）を備えており、地域先行事例として挙げられる。

（以下は、建築物省エネ法のWEBPROの対象となっていない未評価技術である。ZEB Orientedの要件になっている。）

• CO₂濃度による外気量制御

室内または還気（リターンエア）のCO₂濃度センサ、画像センサ等によって外気導入量を変化させ、在室人員に合わせて適正な外気導入量に制御することで、冷暖房時の外気負荷を低減する技術である。

• 自然換気システム

煙突効果の利用、建物にかかる風圧の利用、ベンチュリー（誘引）効果の利用、またはそれらの組み合わせで、積極的な自然通風を促し良好な室内環境を形成し、中間期や下記夜間の冷房負荷とファンの消費電力を低減する技術である。

• 空調ポンプ制御の高度化

冷却水ポンプの変流量制御 (VWV)、空調1次ポンプの変流量制御、空調2次ポンプの末端差圧制御、送水圧力設定制御、等の技術である。

• 空調ファン制御の高度化

空調ファンに人感センサを備えることによって、変風量制御、適正容量分割や、厨房ファンの変風量制御、等を可能にする技術である。

• 冷却塔ファン・インバータ制御

冷却塔ファンの台数制御または発停制御に加え、冷却水温度により冷却塔ファンをインバータ制御して、冷却塔ファンの消費電力を低減する技術である。

• 照明のゾーニング制御

廊下、エントランスホール、駐車場等において、時間帯に応じて照度条件を緩和して、間引き点灯または調光による減光により、照明の消費電力を低減する技術である。

• フリークーリング

冬期や中間期の外気と冷却塔の冷却水を利用して、「熱交換器や密閉式冷却塔を用い、冷凍機を運転させず直接空調機へ冷水を送る方式」、「冷却塔の冷却水を冷凍機の予冷に利用する方式」、「冷水温度を15℃程度に上げて中温冷水として利用する方式」、等により、熱源エネルギーを低減する技術である。

• デシカント空調システム

除湿ロータの吸着剤で空気中の水分を吸着し、その吸着剤の再生熱源に再生可能エネルギー (太陽熱、バイオマスなど) や排熱 (コージェネレーション排熱、ヒートポンプ排熱など) を利用して除湿するもので、冷却と加熱を合わせた熱源エネルギーを低減する技術である。

• クール・ヒートトレンチシステム

地中温度が外気温度に比べて夏期は低く冬期は高いことを利用して、空調用の外気を樹脂管などによる独立したトレンチや建物の地下ピットなどを通過させて地中と熱交換させ、夏期は予冷、冬季は予熱して取り込むことにより、冷暖房時の外気負荷を低減する技術である。

[注目すべき国内外のプロジェクト]

• エネマネハウス

経済産業省資源エネルギー庁のエネマネハウスは、大学と民間企業等の連携により、先進的な技術や新たな住まい方を提案するZEHのモデル住宅を実際に建築し、住宅の環境・エネルギー性能の測定・実証や、展示を通じた普及啓発を行うプロジェクトである。これまでに計3回、エネマネハウス2014 (東京ビッグサイト東雲臨時駐車場)、エネマネハウス2015 (横浜みなとみらい)、エネマネハウス2017 (大阪駅前・うめきた2期区域) が開催されている。

• ソーラーデカスロン（Solar Decathlon）

米国エネルギー省（DOE）のソーラーデカスロンは、10のコンテストで構成される大学のコンテストである。2002年に最初のソーラーデカスロンが開催された後、2005年、2007年、2009年、2011年、2013年、2015年、2017年に隔年で開催された。現在は、ヨーロッパ、中国、ラテンアメリカ、カリブ海諸国、中東、アフリカにおける大会も開催されている。

• パッシブハウス

パッシブハウスは非常に高い性能をもつ省エネルギー建築向けのスタンダードである。もともとはLund大学（スウェーデン）のBo AdamsonとWolfgang Feist（ドイツ）が提唱した、住宅向けの年間の暖房エネルギーが15 kWh/m²以下、1次エネルギーが60 kWh/m²以下、気密性能がn50 ≤ 0.6 / hour以下という基準があった。現在は、住宅にとどまらない多くの建物に利用され、省エネルギー建築の代名詞となっている。また、当初はヨーロッパを中心に普及した概念であったが、現在は世界中に広がり、アジアでは特に中国で多くの建設例がある。日本においてもパッシブハウスジャパンを中心にアクティブ活動が行われている。

• きた住まいる

きた住まいるは北方型住宅の後継事業として北海道が実施している事業である。北方型住宅は北海道が1989年に開始した寒冷地向けの住宅開発、登録事業であったが登録件数が多いという欠点があったため、住宅の自由度を高めつつ、より高い性能要求に対応するための事業として2016年に開始された。主な仕組みとしては、省エネ、耐久性、耐震の基本性能の確保、BISやBIS-Eという登録技術者による設計、施工、住宅履歴保管が求められ、また登録システムからはラベリングシートが提供される。現在、きた住まいるブランドとしていくつかの住宅タイプが登録され始めており、特に2020年には北方型住宅2020というブランドが北海道から提案された。省エネに関してはUA値が0.34以下、BEIが0.8以下、C値が1.0以下の基準となっている。

（5）科学技術的課題

• 未評価技術の省エネ性能予測

上述した、建築物省エネ法のWEBPROの対象となっていない未評価技術は、その省エネ効果の推計が非常に難しい技術である。多くの事例における運用時データを用いたエビデンスベースの技術開発、及び既存技術の改良に関する研究が求められる。特に制御手法に関わるソフト技術の研究開発が重要である。

• 働き方の変化等の影響の考慮

民生部門の熱エネルギー利用は、建物の利用者、執務者、居住者等の生活スケジュールに大きく左右される。働き方改革や行動変容の影響も考えた研究開発が必要である。

• 非住宅建築へのパッシブ手法適用

ガラス外皮でありながら省エネを実現するダブルスキンや日射制御技術、等は、建築デザインへの融合が必須である。TABS（Thermo Active Building System）のような躯体蓄熱手法や、建物内のボイド（空孔）を活用した自然換気なども同様である。施工上の収まりにも配慮し、コストパフォーマンスにも優れ、かつ省エネを実現することができる技術の研究開発が必要である。

• AI・IoT技術の活用

日進月歩の進化をとげているAI・IoT技術を積極的に活用することで、多様化する建物利用者のニーズに応えるような新規の研究開発が必要である。ヒューマンファクターへの配慮が重要である。

• NEB（ノン・エネルギー・ベネフィット）の追求

省エネによる便益（Energy Benefit）以外の便益であるNEB（Non-Energy Benefit）についての研究開発が必要になる。健康・快適といったウェルネスや非常時対応としてのレジリエンス性能を併せ持った技術の研究開発が重要である。

• 新型コロナウイルス感染症（COVID-19）への対応

現在、世界中でCOVID-19が猛威をふるっている。COVID-19の感染経路としてエアロゾルによる感染が指摘されており、建築設備においては換気の重要性が指摘されている。海外では、ASHRAEやRHEVAが積極的に建築設備関係の情報を発信しており、そのなかには我が国に比べてかなり厳しい基準となっているものもある。我が国の建築設備においては、換気システムが重要視されてこなかった時期があるため、今後、国際的に求められる換気量を確保するためには多大なコストが必要となる可能性がある。一方、IEA等では、コロナ後の経済の回復に関して、クリーンエネルギーに基づいたSustainable Recovery Planを提供している。

（6）その他の課題

建築物省エネ法の改正や、ZEB・ZEHの推進など、産学官連携の下で一定の成果を見せつつある。強いと言えば、新築対応はある程度可能であるが、既存ストック建築の改修には多くのハードルが存在するところであり、そこに民生熱エネルギー利用技術を採用することは難しい状況にある。公的なインセンティブや研究補助、規制なども必要になるであろう。

また、日本のZEB・ZEHを始めとする省エネ、センサ、GPS、AI・IoT技術などを含む自動制御技術を海外に幅広く発信していくための取組が今後ますます重要な課題である。特に暑熱環境に対応した熱エネルギー利用技術（主に冷房）については東南アジアの諸外国、寒冷環境に対応した熱エネルギー利用技術（主に暖房）については中国、ロシア、北欧などを中心に展開していくことが望まれる。

（7）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	→	●産官学の共同あるいは単体による研究が継続している。日本建築学会、空気調和・衛生工学会での研究も盛んである。
	応用研究・開発	◎	↗	●ASHRAE（米国暖房冷凍空調学会）における技術賞受賞など、高い評価を受ける日本の実建物が多くある。 ●ZEHの事例が増加しつつある。年間約6万棟建設されている。
米国	基礎研究	◎	↗	●ASHRAE（米国暖房冷凍空調学会）などの研究プロジェクトが盛んである。
	応用研究・開発	◎	↗	●ZEBの事例が増加している。

欧州	基礎研究	◎	→	【EU】 ● REHVA（欧州暖房換気空調協会連合）などによる研究が進められている。 【ロシア】 ● SCANVACを中心に質の高い研究が行われている。コロナウイルスの対応でも RHEVAのなかで重要な知見を提供している。
	応用研究・開発	◎	↗	● 現在、北極域ではブラックカーボンの排出が問題となっており、AC（北極評議会）のなかでも、多くのエネルギー関連のプロジェクトが進められている。リモートエリアを再生可能エネルギーだけで賄おうとする計画もある。 【ロシア】 ● 北極域で建物からの貫流熱と気温上昇による基礎地盤の融解事故が多発しており、高いレベルの関連研究が進められている。
中国	基礎研究	○	↗	● 2060年のCO ₂ 排出量ゼロに向けた多くの質の高い研究が行われている。
	応用研究・開発	○	↗	● 非常に多くの新しい実践がある。例えば、雄安新区（スマートシティ）の計画では建物の70%以上がパッシブハウス認証を取得している。北部では断熱改修とCHPを利用した地域熱供給化が進められている。
韓国	基礎研究	-	-	-
	応用研究・開発	-	-	-
その他の国・地域	基礎研究	○	→	【シンガポール】 ● 省エネ技術の研究実績が多くある。
	応用研究・開発	○	→	【豪州】 ● ウェルネスに配慮したオフィスビル等の事例が増えている。 【シンガポール】 ● 省エネ建築の事例が増えてきている。

（註1）フェーズ

基礎研究：大学・国研などでの基礎研究の範囲

応用研究・開発：技術開発（プロトタイプの開発含む）の範囲

（註2）現状 ※日本の現状を基準にした評価ではなく、CRDSの調査・見解による評価

◎：特に顕著な活動・成果が見えている

○：顕著な活動・成果が見えている

△：顕著な活動・成果が見えていない

×：特筆すべき活動・成果が見えていない

（註3）トレンド ※ここ1～2年の研究開発水準の変化

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

関連する他の研究開発領域

・ 電気エネルギー利用（エネルギーマネジメントシステム）（環境・エネ分野 2.1.8） ・ 熱エネルギー利用（産業熱利用）（環境・エネ分野 2.1.10） ・ 地域熱供給（地域冷暖房）（環境・エネ分野 2.1.10）
--

参考・引用文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁,「ネット・ゼロ・エネルギー・ビル実証事業調査発表会2020」『発表資料』

- 2020 : 1-196, https://sii.or.jp/zeb02/uploads/ZEB_conference_2020_03.pdf (2021年1月2日アクセス)
- 2) 経済産業省資源エネルギー庁, 「第2部第1章国内エネルギー動向」『エネルギー白書2019』(2020) : 104-169, https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2019pdf/whitepaper2019pdf_2_1.pdf (2021年2月8日アクセス)
- 3) 経済産業省資源エネルギー庁, 「ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス実証事業調査発表会2020」『発表資料』(2020) : 1-256, https://sii.or.jp/meti_zeh02/uploads/ZEH_conference_2020.pdf (2021年1月2日アクセス)

2.1

俯瞰区分と研究開発領域
エネルギー区分