

## 2.3 業務・家庭部門のゼロエミ化・低温熱利用

### 2.3.1 地域・建物エネルギー利用

#### (1) 研究開発領域の定義

民生（業務・家庭）部門の省エネルギー効果を対象とする。カーボンニュートラルの実現を目指す中で、都市における民生部門のエネルギー消費の大きな部分を占める、冷暖房給湯に供する熱エネルギーを少なくするかが課題である。建物側ではZEB（Zero Energy Building）、ZEH（Zero Energy House）などを中心とした建築分野のパッシブ手法とアクティブ手法を扱う。エネルギー供給側からは、再生可能エネルギーや未利用エネルギー利用の現状について扱う。

#### (2) キーワード

省エネルギー、ZEB、ZEH、未利用エネルギー、スマートコミュニティ、ヒートポンプ、再生可能熱、事業継続計画（BCP）、デマンドレスポンス（DR）、コージェネレーション、最適制御

#### (3) 研究開発領域の概要

##### [本領域の意義]

パリ協定（COP21）にて日本が提出した約束草案では、温室効果ガスを2030年度に2013年度比で26%削減する目標を掲げたが、この目標を46%削減に引き上げた国が決定する貢献（Nationally Determined Contribution：NDC）を2021年10月に決定して国連へ提出した。これをうけ同月に第6次エネルギー基本計画が閣議決定された。同計画では、業務・家庭部門の脱炭素化に向けて、太陽光発電や太陽熱給湯等の再生可能エネルギーの最大限の活用や脱炭素化された電源・熱源によるエネルギー転換、住宅・建築物における断熱性能の強化や高効率機器・設備の導入を推進し、既築住宅・建築物についても省エネルギー改修・機器更新等を進め、2050年に住宅・建築物のストック平均でZEB・ZEH基準の水準の省エネルギー性能を確保する目論見を掲げている。また、同日に地球温暖化対策計画が改訂され、2030年の温室効果ガス削減を、2013年度実績に対して業務その他部門で51%、家庭部門で66%にすることが目標とされた。この目標達成においては、各分野における省エネルギーの深堀が前提とされ、建築物の省エネルギー化の他、エネルギー利用の合理化・高効率化と再生可能エネルギー利用促進のためのシステム高度化ならびに再生可能エネルギーによる変動を伴う電源供給に対する柔軟な調整力の確保が重要となる。

##### [研究開発の動向]

2013年の「エネルギーの使用の合理化等に関する法律（省エネ法）」改正において、非住宅建物では、設備ごとの性能評価から建物全体の一次エネルギー消費量による評価を採用し、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。

2015年には「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）」が公布され、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た。これに合わせ、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、建築物省エネルギー性能表示制度（Building-Housing Energy-efficiency Labeling System：BELS）が設けられた。2017年度からは、延床面積2,000 m<sup>2</sup>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 m<sup>2</sup>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が義務化されている。2019年5月に公布された改正では、省エネ基準への適合が建築確認の要件とする建築物の対象が拡大されている。それまでの延べ床面積の2,000 m<sup>2</sup>以上から、300 m<sup>2</sup>以上に見直され、中規模のオフィスビル等も

対象に拡充されている。同改正では、300 m<sup>2</sup>未満の小規模住宅や建築物についても強化され、省エネ性能向上の努力義務から、省エネ基準に適合する努力義務と建築士から建築主への説明義務がづけられ、2021年4月から施行されている。2022年6月の同法改正で、全ての新築住宅・非住宅に省エネ基準の適合義務を拡充する大幅改正がなされ、2025年4月から施行予定である。

建築材料（断熱材）については、2013年度に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を対象に「建材トップランナー制度」が施行されている。2014年には窓（サッシ・複層ガラス）が追加されている。2017年度には「準建材トップランナー制度」が導入され、吹付け硬質ウレタンフォーム（断熱材）がその対象となっている。

民生部門における徹底的なエネルギー消費削減のために、非住宅建物でZEB、住宅でZEHへの移行が推進されている。この達成には、建物負荷をパッシブ手法によりできるだけ低減した上で、高効率な機器と再生可能エネルギーの投入により建物の一次エネルギー消費を可能な限り減らす方法がとられる。

ZEBでは、省エネ基準に対して建物のエネルギー消費量を基準値に対して50%以上削減する場合をZEB Ready、正味で75%以上をNearly ZEB、正味で100%以上を『ZEB』と経済産業省資源エネルギー庁「ZEBロードマップフォローアップ委員会とりまとめ」（平成31年3月）で定義されている。10,000 m<sup>2</sup>以上の大規模建築物を対象に、事務所や工場、学校などは40%以上、ホテル、病院、百貨店、飲食店、集会所などは30%以上の削減を達成したものをZEB Orientedとされている。官庁施設については、今後予定する新築事業は原則ZEB Oriented相当以上とし、2030年度までに新築建築物の平均でZEB Ready相当を目指すことが計画されている。

ZEHでは、住宅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』と経済産業省資源エネルギー庁「ZEHロードマップフォローアップ委員会とりまとめ」（平成30年5月）で定義されている。都心などの狭小地に建てる住宅のために、太陽光発電などの設備がなくてもZEHと認められるZEH Orientedのカテゴリーが設けられている。また、蓄電池を活用し再エネの自家消費を増大するとともに、災害時の電源供給も考えたZEH+、次世代ZEH+の普及も国が推進している。

地域熱供給は北欧を中心に都市の生活基盤として地域暖房として整備されてきた。日本では1970年に大阪千里ニュータウンで初めて導入され、当初は大気汚染防止の観点で北海道を中心に整備が進められたが、東京など大都市中心部の都市開発に合わせて導入が進み、冷房用の冷水供給割合が高まっている。省エネルギーの観点から、熱源が石油系燃料から都市ガスや電力に移行し、未利用エネルギーの活用や、コージェネレーションシステムの導入が進んでいる。このような中で、熱源システムとしてはヒートポンプ・冷凍機技術、コージェネレーション技術の開発が進められた。ヒートポンプ・冷凍機技術は、家庭用エアコンから地域熱供給の大型冷凍機まで幅広く用いられる重要な技術である。日本では世界をリードして多様な技術開発が行われ、インバーターボ冷凍機、三重効用吸収式冷凍機等の高効率冷凍機は、大型ビルや地域熱供給での導入が進み、熱源システムの高効率化に貢献している。複数種類の冷凍機を負荷や気象条件に応じて最適に運用するための技術<sup>1)</sup>、機械学習を用いて運転中の不具合を検知する研究<sup>2)</sup>等も進んでいる。コージェネレーション技術は、ガスエンジンコージェネレーションの大型化によって、発電効率が系統電力の受電端効率を上回る高効率のもの開発・導入が進んでいる。次世代の高効率コージェネレーションとしては固体酸化燃料電池（Solid Oxide Fuel Cell : SOFC）、熔融炭酸塩型燃料電池（Molten Carbonate Fuel Cell : MCFC）の技術開発が進められており、SOFCに関しては九州大学で250 kW級の実証実験が行われている。また、地域熱供給においては熱を搬送する配管/導管の敷設、搬送動力がコスト面、エネルギー面での課題であり、熱搬送技術の高度化、新技術の開発が重要である。以前は単位流量当たりの熱量を増加させるため、熱媒に氷等の潜熱を活用する技術開発が行われていたが、最近は流量を制御する技術、需要家建物の輻射空調システムと連携して通常の冷水還水を輻射冷房に利用することで大温度差熱利用をする事例などがある<sup>3)</sup>。地域熱供給システムは本来、建物側の空調機と一体となって制御されることで最適な運用となるが、従来は

建物受け入れ端での温度や圧力が規定されており、このような最適化ができていなかった。しかし、近年ではIoT技術の応用により、建物で受け入れた熱を建物内の各室に供給する設備まで同時に制御することで全体の最適化を図るシステムも登場している<sup>4)</sup>。未利用エネルギーの活用に関しては、近年、下水熱や地中熱の活用が注目されている。下水熱の利用技術では、都市内にある下水管から未処理の下水が持つ熱を直接採熱する技術開発が行われている。地下水の利用技術では、地下水をヒートポンプの熱源や放熱先として直接利用し地盤沈下防止のために利用後の地下水を再び地下に涵養する実証実験が行われている。地中熱の利用技術では、地中熱交換パイプを建物の杭と合わせて施工してコスト低減を図る技術が実用化している。地中熱に関しては、地中の地層構造や地下水の流れを調査して、地中熱ポテンシャルマップが作成されている。建物の熱源設備を熱供給プラントに集約せず、建物個々の熱源設備の採熱源や放熱先として低温未利用エネルギーを供給し、建物の個々の熱源設備の高効率化を図る方法としては、データセンターの冷房排熱を冬季に隣接する建物のヒートポンプの熱源水として利用する事例等がある。

#### (4) 注目動向

##### [新展開・技術トピックス]

###### ・断熱材・窓・日射遮蔽材料の開発

戸建て住宅では、床面積に対する外皮面積の比率が高く、換気回数も少ないため、日射熱負荷や貫流熱負荷が暖冷房のエネルギー消費に大きく影響する。近年は、特に窓（複層ガラス・サッシ）などの開口部における断熱性の向上に資する製品が開発されている。高価であった真空断熱材や高性能ナノテク断熱材の開発が進み、建材利用へと展開している。体積の9割以上を空気が占める多孔質材料エアロゲルを窓やガラスウールと組み合わせた複合材料により、高断熱性能・薄型の建築材料（断熱材・窓）が考案されている。

非住宅用の窓面の日射遮蔽については、窓の外側への日射遮蔽物や植栽、外壁と窓面位置のデザインの工夫などを行う事例が増えている他、low-eガラスなどの高性能窓の採用が増加している。高い可視光透過性を確保しながら、近赤外光に対する強力な選択吸収性を持った近赤外線吸収材料が実用化されており、ガラス面への塗布や薄いフィルムを貼り付ける簡易な施工が可能である。

###### ・太陽光発電・蓄電池・燃料電池システム

建物において太陽光発電パネルの設置面積を増やす目的で、太陽光発電パネルの壁面設置やシースルー型をベランダの手すりや窓開口部の部材として利用する、建材一体型太陽光発電ガラス（Building Integrated PhotoVoltaics：BIPV）が開発・導入されている。高性能ペロブスカイト太陽電池の技術開発も進んでおり、建物外壁などへの設置も想定されている。蓄電池については、家庭用を中心に長寿命型の製品開発が進んでおり、太陽光発電量と電力需要の需給バランスを考慮して充放電量を適正化するAI制御を搭載した製品や、平常時は建物に設置した太陽光発電による電気自動車の充電をしつつ、災害時には電気自動車から建物に電力を供給可能とするV2H（Vehicle to Home）用のパワーコンディショナが市場投入されている。住宅用のヒートポンプ給湯機では、昼間の太陽光発電の余剰電力を用いた沸き上げ機能が追加されている。燃料電池は、固体酸化燃料電池（SOFC）が汎用化され、太陽電池、蓄電池と合わせて3電池でシステムを構成する住宅も現れている。また、蓄電池・燃料電池ともに、停電時でも電力供給が可能となる災害対策機能が搭載されている。固体高分子形燃料電池（PEFC）は、従来の家庭用から5 kW程度のモジュール形式の純水素型燃料電池が開発され、複数台連結することで最大50 kW程度の出力を確保し、小規模の商業施設への対応も可能となっている。

###### ・地中熱等の再生可能エネルギー熱利用

再生可能エネルギー熱利用として、冷却塔を利用したフリークーリングや地中熱利用システムの導入が進んでいる。地中熱利用としては、取入外気を敷地内の土壌や建築躯体と熱交換して空調外気負荷を低減する

アースチューブ、地下水またはボアホール等の地中熱交換器を用いてヒートポンプチラーのヒートソース/ヒートシンクに活用する熱源システム、あるいは空気を直接冷却して涼房に用いる空調システムなどが主流である。また、放射冷房では、冷房顕熱負荷の処理であれば中温冷水（15℃程度）が利用できるため、地下水などの再生可能エネルギー熱利用との組み合わせも可能である。中間期において、自然換気の促進や外気冷房運転を柔軟に切り替えるウォールスルー型のパッケージ空調ユニットも登場している。さらに、木質バイオマス燃料、雪氷利用による冷房システム、温泉水利用など、地域特有の再生可能エネルギー源を活用するシステム開発も増加している。

### • 空調システムの高度化

オフィスをはじめ、LED照明やOA機器の省電力化製品の採用、人員密度の低下などの要因により室内の顕熱負荷が減少しているため、冷房時には取入外気の除湿を適切に行い、室内は放射空調などにより顕熱負荷を主体的に処理する潜熱・顕熱分離空調が注目されている。放射冷暖房では、金属製パネルを放射板とするものの他、建物の床スラブやコンクリート壁を用いるTABS（Thermo-Active Building System）の採用も見られる。TABSでは特に温度制御の応答性に大きな遅れが生じるため、適切な制御方法に関する検討<sup>5)</sup>がされている。

外気処理用の空調機には、乾式・液式デシカントによる除加湿や冷却除湿後の再熱を取入外気で行うもの、外気と還気（返り空気）を別コイルで分離処理するものなど、多くの方式が現れている。期間エネルギー消費量の低減を目的に、運転方法や送水・吹出温度等の制御設定値を季節毎の適正化も試みられている。

空調システム分野にも、IoT・AIを活用した最適制御が開発されている。人流予測や居住者の属性・行動を画像解析から読み取ってフィードフォワード制御を行う事例<sup>6)</sup>や、深層ニューラルネットワーク（Deep Neural Network：DNN）等を活用し、空調システムの計測データからシステム全体の挙動やエネルギー消費に対する予測モデルを作成して最適制御を行う、モデル予測制御（Model Predictive Control：MPC）が適用が試行<sup>7), 8)</sup>されている。

### • 熱搬送システムの高度化

熱搬送システムには、空気や水などの熱媒をより高効率に搬送する技術が求められている。空調機から室内へは空気が熱媒として用いられるが、ファン単体技術として、空気搬送に用いるファンに高効率な直流（DC）モータを用いた「DCファン<sup>9)</sup>」により従来比約33%減を実現する技術が市場化しつつある。空調の制御技術として複数吹出口の風量を能動的に制御する技術も開発されており、室内環境を保ちつつファン動力を約44%減を可能とする技術提案<sup>10), 11)</sup>も行われている。一方、空調機から熱源機までは水が熱媒として用いられるが、余剰な流量が生じないように調整・制御することが肝要であり、近年は空調機への往還温度差を一定にする自動制御弁<sup>12)</sup>の導入が進められている。冷温水ポンプのインバータ制御幅は長らく60～100%のレンジがメーカー推奨とされてきたが、10～100%に変更することでさらなる省エネルギー効果享受する動向もある。このような流れを受け、従前は建築設備の引き渡し時に冷暖房の設計ピーク負荷を満足するための初期調整が行われてきたが、「往還温度差の担保技術」と「インバータ最低周波数の見直し」を前提とした、省エネルギー効果を最大化するための「初期調整方法<sup>13)</sup>」が提唱されつつあり、今後の計画・設計・施工に反映される方向に向かいつつある。

### • 熱源システムの高度化

空気調和に要する冷温熱を効率的に生産・消費する技術は、これまで機器単体の効率向上を中心に組み込まれてきたが、近年はカーボンニュートラルを目的としてシステム構成機器の制御による省エネルギー技術への注目が集まっている。東日本大震災時の節電メニューにもあった冷水温度緩和（例えば7℃冷水を10℃とすることによる効率向上）については、熱源機効率向上のみではなく、冷水需要側の制御も含めた「中温水

利用<sup>14)</sup>、<sup>15)</sup>」の計画・設計が散見されるようになってきている。また建物単位での「DR」や「バーチャルパワープラント (VPP)」への貢献として、熱需要と熱供給の時間と量のミスマッチを解消する「蓄熱槽」を有効活用した機器制御の実証事業<sup>16)</sup>が行われ、ポテンシャル (賦存量) の情報も整備されつつある (実プロジェクトは後述)。さらに蓄熱槽と構成機器のインバータ制御を組み合わせ、熱生産と熱搬送を「各構成機器の最高効率点で制御する技術<sup>17)</sup>」の提案がされている。一方で、DX・IoT・AIなどデータサイエンスからの技術移転も検討が進んでおり、熱源システム制御への「AI実装<sup>18)</sup>」や、「MPC<sup>19)</sup>」の検討が行われ、一部では建物のBIMと連携した「デジタルツイン<sup>20)</sup>」も実装が始まりつつある。

#### • 建物間エネルギー融通

地域熱供給システムは、熱供給導管の道路占用やコストの問題があるため、既成市街地などでの導入は容易ではない。そこで既存建物の熱源設備更新や小規模な再開発に合わせて、隣接する2-3棟の建物の既設の熱源システムや電気システムを熱配管や電力ケーブルで相互接続し、効率の良い熱源機を優先的に稼働させるなどの制御を行い、接続した建物間で熱や電力を融通利用するシステムの導入事例が増えている<sup>21)</sup>。

#### • 地域冷暖房のネットワーク化 (スパイラルアップ効果)

日本の地域熱供給は大規模な面的開発地区を中心に普及してきた。しかし、近年は拠点開発 (建物単体、街区) に移行しているため、地域熱供給の普及において拠点開発に適応した施設整備が進んでいる。既存の地域熱供給内や隣接街区における段階的な拠点開発ではサブプラントが設置され、既存の熱供給プラントと連携し、既存地区内全体の高効率化を図るスパイラルアップが行われている<sup>22)</sup>。また、拠点開発街区の新しい熱供給のみならず隣接する街区の既築ビルにも熱供給することで、地域全体の高効率化を図る事例も出てきている。

#### • 災害時の地域レジリエンス性能向上

日本での大型コージェネレーション発電機を備えた地域冷暖房は、災害時などの都市の電力供給確保にも大きな役割を果たすと考えられている。東日本大震災後の電力需給逼迫時、特定電気事業者として街区へ電力供給していた六本木エネルギーサービスは、東日本大震災後の電力需給逼迫時に供給区域内のみならず外部へも電力供給を続けて注目を浴びた。最近では東京の日本橋地区でコージェネレーションシステムによる特定送配電事業および地域冷暖房事業が開始され、災害時の高いエネルギー安定供給能力により地域のBCPに多大な貢献を行っている<sup>23)</sup>。

#### • 自然変動電源の大量導入に伴う電力需給調整機能

地域熱供給システムは、容量の大きな蓄熱槽や大型のコージェネレーション発電機、多数の電動冷凍機と吸収冷凍機の組み合わせにより、電力需要を変化させるポテンシャルを有している。今後のスマートグリッドの構築において、ピーク電力の抑制や再生可能エネルギー電源の変動など、広域電力システムの要求に応じて電力負荷を増減させるDRが容易かつ大規模に行いうるという点は地域熱供給システムの重要な特性と言える。

#### • 次世代デジタルインフラの整備

DXの進展に伴って将来的に増大するIT関連消費電力を抑制するため、次世代デジタルインフラの整備計画が進んでいる。デジタル機器、情報通信のグリーン化およびデジタル化によるエネルギー需要の効率化に加えて、データセンターのゼロエミッション化やレジリエンス強化が課題とされている。

世界大手のデータセンター事業者を中心に積極的な取り組みがみられ、国内でも冷却が容易な寒冷地での建設や外気冷却など再生可能エネルギー熱利用システムを採用したグリーンデータセンターの建設事例が増

加している。

#### • 運用/維持/保全/管理の高度化

建物の運用管理では従前は経済性が優先事項であったが、カーボンニュートラルや今後の人材不足への対応が急務であり、空調システムの構成機器のライフサイクルを通じた維持・保全・管理の高度化が進められている。そこでエネルギーシステムの運用管理の省力化を目的として、「AIによる運転支援<sup>24)</sup>」や、各種計測器の目視確認が負担となっている既存システムにおける「画像認識技術による計測器指示値のリアルタイム電子データ化<sup>25)</sup>」の実装が始まっている。長期運用される冷温水配管や冷凍空調機器の熱交換器銅チューブには防錆剤が用いられてきたが、腐食対策として水の改質・防蝕状況のモニタリング技術・竣工時の水張り手順に関する技術開発<sup>26)</sup>と実装も始まっている。

### [注目すべき国内外のプロジェクト]

#### ■国内

##### • TABSを用いた放射冷暖房の実装事例<sup>27)</sup>

国内に建つSRC造のオフィスビルに対して、TABSによる放射冷暖房の採用事例がある。天井スラブに通水して放射板として活用するため、建物を逆梁構造として通常天井内に収納される電気配線やダクト、配管類は二重床内に収めている。室内環境やスラブ表面温度や熱流の計測から、放熱の時間遅れの程度や放熱速度などが検討されている。

##### • 地下街全体の人の行動予測と気流制御<sup>28)</sup>

人の行動を予測し空気の流れを制御する次世代の空調制御技術が開発されている。AIを用いた人流予測に基づき、人が居ると予測された場所に必要な最小熱量と換気量を計算し、近傍のやや快適な空気に扇風機で気流を加えて、必要最小限のエネルギーで空調と換気を行う技術の実効性が検証されている。

##### • 再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発事業<sup>29)</sup>

熱源水ループを介して地中熱・太陽熱・大気熱の再生可能エネルギーを活用する冷暖房・給湯ヒートポンプ熱源システムにおいて、再生可能エネルギー利用ならびに熱源水ループの熱バランスを維持するためのヒートポンプユニット開発に関する実証試験が行われている。このヒートポンプユニットには、太陽集熱器、空気熱交換器が接続され、日射量や外気条件によってはコンプレッサーを運転せずに熱源水を直接加熱・冷却する運転モードが設けられている。

##### • スマートエネルギーシステム<sup>30)</sup>

スマートエネルギーシステムの事例として、みなとアクルスのスマートエネルギーシステム<sup>30)</sup>がある。低温の排熱を利用したバイナリー発電によるコージェネレーションや太陽光発電、外部からの木質バイオマス電力により、エリア内の電力需要の約半分を充足し、自営線で各施設へ電力が供給されており、NAS電池に夜間の余剰電力を蓄電して、昼間のピークカットに活用している。また運河水をヒートポンプの熱源水として活用し、機器効率を向上させている。さらに電気・熱・情報のネットワークCEMS (Community Energy Management System) を構築し、BEMS (Building Energy Management System) と住宅向けHEMS (Home Energy Management System) の各エネルギー制御システムとの連携による、双方向参加型エネルギーマネジメント<sup>31)</sup>が実施されている。

##### • 自然換気の効果の見える化<sup>32)</sup>

横浜市役所では、自然換気の効果の見える化に取り組んでいる。自然換気扉および外ルーバー組込み薄型

ダブルスキンを有する外皮計画や、外装パターンや方位に併せて適切に配置した高性能外皮による負荷低減に加え、自然換気有効時にランプ表示と音により手動開閉の促進を図り自然換気の効果的利用を実現している。自然換気利用の課題であった効果の定量化を初めて実現するために、RFID (Radio Frequency Identification) タグセンシングを用いて自然換気口の開閉状況のロギングを行い、さらに空気流出入方向を判定することで、方位別の自然換気風量をリアルタイムで算出可能とし、自然換気の効果の見える化を実現している。

#### • 需要家のエネルギーリソースを活用したVPP (Virtual Power Plant) 構築実証事業<sup>33)</sup>

2017年より始まった同事業では、電力グリッド上に散在するエネルギーリソースを統合的に制御することで、発電所 (Power Plant) のような電力創出・調整機能を仮想的 (Virtual) に構築することを目的としており、再生可能エネルギー発電設備・蓄電池等、またDR等のVPPリソースを実証事業の対象としている。この事業により、エネルギーリソースを供給力・調整力等として活用するビジネスモデルの構築やネガワット取引の拡大が期待される。

#### • 電脳建築最適化世界選手権<sup>34)</sup>

建物は一品生産品であるがゆえに、各種機器のパラメータ設定が省エネルギー性能を大きく左右する。そこで同選手権では、極めてリアリティの高い建築シミュレーションモデルを対象として最適化技能を競うことにより、関連技術者の職能の向上を図っている。この取り組みにより、建築物のデジタルツインやモデル予測制御の普及促進が期待される。

#### • 地域熱供給長期ビジョン<sup>35)</sup>

1972年に熱供給事業法が施行され50年が経過するのを契機に、日本熱供給事業協会では、これからの社会課題に地域熱供給が応えるべく「地域熱供給長期ビジョン」を策定した。

低炭素社会から脱炭素社会への動き、技術革新に伴うサービス形態の多様化と複雑化、自然災害への備えと国際競争力強化、地方創生という4つの社会課題に対して、街区全体の低炭素・脱炭素化、街区のエネルギーマネジメント、街区の強靱化、地方創生に向けたまちづくりとの連携という4つのソリューションを2030年に提供するとしている。

街区全体の低炭素・脱炭素化ソリューションは、用途ミックスによる電力/熱負荷の平準化、高効率大型コージェネレーションシステム (Co-Generation System : CGS)、高効率大型熱源機の導入による更なる効率向上、地域冷暖房ネットワークの拡大といったスケールメリットを活かした省エネ技術の提供と、蓄熱システムの導入、未利用エネルギーの活用、搬送エネルギー最小化システムの導入、需要家との連携制御システムの導入といった高度な省エネ技術や新技術の提供である。

街区エネルギーマネジメントソリューションは、CGSや蓄熱槽を活用した電力需給調整機能、多様なエネルギーを受け入れる柔軟性の向上といった幅広い電力需給調整機能・サービスの提供と、需要家との連携による街区全体の最適なエネルギーマネジメントの提供、運転ノウハウのAI活用による更なる運転最適化、常駐の専門オペレータによるまちの省エネサポートといった街区サポートの提供である。

街区強靱化ソリューションは、日常の供給設備を活用した災害時の電気・熱供給の継続、信頼性の高い運転管理・技術を地域資源として提供することである。

地方創生ソリューションは、地域エネルギー事業によるエネルギーの地産地消と域外移出といった地域経済の活性化、再生可能エネルギーと未利用エネルギーの活用、需要家との情報連携による需要家の電気・熱の最適制御といった地域の低・脱炭素化とエネルギーマネジメント、地域の災害対策拠点の強化と復興支援といった拠点エリアの強靱化である。

この4つのソリューションを実行するために担うべき役割として、エネルギートランスレーター (エネルギー

転換者)、エリアエネルギーサービスプロバイダー (サービス提供者)、レジリエンスサポーター (強靱化支援者) の3つに整理している。2050年に向けてさらなる脱炭素化やエネルギーにおける需給形態の変化に対応するとともに、ビッグデータを活用した都市や街区の強靱化と活性化、そして街の魅力向上に資する新たなサービスの提供を測ることにより、地域総合サービス事業 (District Total Service : DTS) へと進化していくとしている。

## ■ 国外

### • イギリスの第5世代地域暖房

石炭を燃料とした蒸気供給 (第1世代)、石炭や石油ボイラー、熱電併給による高温水供給 (第2世代)、廃棄物焼却排熱やバイオマス熱電併給による温水供給 (第3世代)、省エネルギーが進み熱負荷密度の小さくなった建物に対して、より多様で低温の再生可能エネルギーを熱源として取り込む (第4世代) に続き、第5世代地域暖房<sup>36)</sup> が興った。これは、0~30°Cの熱原水をサブステーションに供給し、水熱源ヒートポンプで温水、冷水を製造して建物に供給するとともに、電力システムと熱システムを統合するコンセプトに基づいている。ロンドン・サウスバンク大学のバランスエネルギーネットワーク、ブリストルのオーウェンスクエア地域冷暖房などが事例に挙げられる。

### • SO WHAT (Supporting new Opportunities for Waste Heat And cold valorisation Towards EU decarbonization) project,<sup>37)</sup> (2019年6月~2022年11月、全体約420万ユーロ)

EUのHorizon2020 研究イノベーションプログラムの枠組みの中で、再生可能エネルギー源や産業排熱を統合し、地域の予測される冷暖房需要を費用対効果の高い方法でバランスさせて有効利用するための支援ツール開発と需要と賦存量を可視化するプロジェクトが11のデモサイトを対象に実施された。

## (5) 科学技術的課題

### • 未評価技術の省エネ性能予測

現状の建築物省エネルギー法は定石的な技術を対象としており、より高水準の省エネルギー性能を得るために適用される「先導的省エネルギー技術」に関しては評価対象となっていない、もしくは評価手法の対応が不十分な状況にある。そこで、現状評価が難しい自然換気などのパッシブ技術の評価手法確立や、制御方法により省エネルギー性能が異なる変風量・変流量制御の評価手法改定が望まれる。

### • AI・IoT技術の活用

AI・IoT技術を活用した、計画・設計段階における「ライフサイクルを通じた未来予測」と、運用段階における「近未来予測による最適運用」が望まれる。仮にデジタルツインによるシミュレーションを計画・設計・運用段階に適用することが可能となれば、エネルギー・コスト・ヒューマンリソースの最適化が期待できるが、データのプラットフォーム整備が課題となっている。

一方で、建築・設備設計や設備システムの運転・管理へのIoT・AIの活用の増加が予想されるが、建物内のスペース利用状況や人流、各種IoTやウェアラブル端末などを含むライフログデータを集約し、建物全体としての運用最適化をはじめ、建物居住者の知的生産性の向上ならびにヘルスケア、防犯・防災・見守りなど、様々な用途・目的で活用されることも想定されるため、これらに対応した技術開発が必要である。これらのデータを集約するプラットフォームの開発、運用時のエネルギー削減のためには、エキスパートの暗黙知の代替として、管理技術者向けのアドバイザリーシステムの開発も重要課題になる。この分野の推進にはデータサイエンティストと技術者の連携が必須である。

## 2.3

業務・家庭部門のゼロ  
エミ化・低温熱利用



### • 脱炭素燃料熱源装置

脱炭素社会に向けて、建築・地域エネルギーシステムの高効率化はもとより、その使用エネルギーの脱炭素化が極めて重要である。再生可能エネルギーによるカーボンニュートラル電力、カーボンニュートラルガスの普及に加え、地域エネルギープラントで木質バイオマスやバイオガス、カーボンフリー水素等に対応できる熱源システムの開発が必要である。また、Power-to-X (P2X) を建築・都市設備のオンサイトでを行い、活用する技術開発も重要である。この分野の推進には、領域・業種横断的な研究体制の構築が重要である。

### • 熱負荷の減少と地域冷暖房の優位性に関する議論

今後ZEBをはじめとする低エネルギー建築が普及すると、冷暖房熱需要も小さくなり、地域の熱負荷密度が下がって地域冷暖房システムの省エネルギー性や経済性の低下が懸念される。これは、前述の第4世代、第5世代の地域熱供給システム開発への契機となっている。

### • 冗長性を持つエネルギーシステム

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) のような感染症対策への備えとして、空調設備としては非常時における外気導入量の増加が容易であり、かつ常時の省エネルギー性を確保できる冗長性を備えた機能に対する技術開発が重要である。働き方改革などがもたらす空調負荷の変容への対策として、空調負荷の発生時間/量と冷温熱源の運転時間/量の差異を吸収する技術開発が望まれる。地域熱供給では、需要家建物が段階的に増加する場合もあり、建物個別熱源システムに比べて計画段階の負荷想定が難しいことから、運用段階において計画負荷 (量、パターン、冷温熱比、熱電比等) が想定と異なった場合にエネルギー性能の極端な低下を招かぬよう、冗長性のあるシステム構築や運転技術が重要である。

## (6) その他の課題

### • ZEBの普及と技術投入

ZEBの普及率は未だ低く、その原因はコスト増にあるため、効果的な技術要素の普及と低コスト化が課題となる。民生部門におけるエネルギー消費削減には、建物改修時のZEB化が最も重要であるため、新築のみならず、リニューアルZEBに関する省エネならびに創エネルギー技術の開発も推進する必要がある。

### • 住宅・建築の快適性と健康性

建物内の快適性と健康性の向上に向けたセンシング・制御技術は、人間活動を行う場のウェルビーイングを高め、豊かな社会の形成に重要である。このために、物理環境下や生活習慣における人体の生理・心理反応や健康影響を環境心理・医学分野とも連携して究明し、適切な活動環境の形成条件を整理した上で、環境制御システムの計画・設計や運転制御技術に反映させる必要がある。

### • まちづくりとエネルギーの連携

コンパクトシティ化 (集約型都市構造化) によって都市機能が集約した拠点に、域内の行政や企業を中心に地域エネルギー事業を立ち上げるなどのまちづくりとエネルギーの連携が重要である。地産エネルギーの活用などを中心とした街区の脱炭素化や、災害時の街区機能継続のためのエネルギー供給の確保など地域や街区の高付加価値化を図っていくことが期待される。電力供給網にできるだけ負担をかけない、エネルギー供給の自立性を高めたまちづくり (Zero Energy Districts : ZED) が重要である。

### • 地域エネルギーシステムの多様な評価

省エネルギーや脱炭素化効果だけでなく、災害時の街区のエネルギー供給継続による街区機能継続効果、CGSや蓄熱槽を活用した電力需給調整機能等の多様な効果を総合的に評価する技術が必要である。コベネ

フィットやノン・エネルギー・ベネフィット (Non Energy Benefit:NEB) は、環境行動に伴う副次的・間接的・相乗的な便益を評価する概念である。地域エネルギーシステムに対しては地球環境保全と防災・減災の効果コスト評価する手法が必要である。そのためには、付加価値に対する支払意思額や環境・防災対策のコスト評価が必要で、経済行動学や環境会計などの経済学との協働が求められる。

・熱供給・空調のサブスクリプションサービス

スウェーデンのイエテボリエネルギー公社ではエネルギーサービスの一環として気候契約 (Climate Agreement) を展開しているが、国内においては空調のサブスクリプションサービスが進められている。家庭用としては環境省が熱中症予防の対策としてモデル事業<sup>38)</sup>を開始した。事業者向けとしては既に事業化<sup>39)</sup>されており設備ではなくサービスを提供することで、安全・安心に加えてライフサイクルコストとヒューマンリソースの低減を利点として提供している。ライフサイクルの視点が個人ユーザには受け入れられにくいことと、得られる付加価値の可視化が事業者には困難であることが課題である。

(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	◎	↗	<ul style="list-style-type: none"> <li>● AI活用などDXの推進に向けて産官学の共同あるいは単体による研究が進行しており、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。</li> <li>● 地域熱供給については防蝕に関する基礎研究が継続的に進められている。</li> <li>● 災害に強く、地球環境保全に配慮したまちづくりを目的とした研究が継続している。地域熱供給施設におけるDR対応<sup>40)</sup>や、AI活用に関する研究が増えている。</li> </ul>
	応用研究・開発	◎	↗	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 産官学民による社会実装バックキャスト型の研究が増加している。</li> <li>● ZEB達成のための要素技術の開発を実装した建物が多く建設されており、米国暖房冷凍空調学会 (ASHRAE) の技術賞受賞など、高い評価を受けている。</li> <li>● 地域熱供給施設については、AI制御の実装がはじまっており<sup>41)</sup>、リニューアル事例も増加している。</li> </ul>
米国	基礎研究	◎	↗	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ASHRAEなどの研究プロジェクトが盛んである。</li> <li>● 建物・都市の電力・熱需要予測や、建築設備の最適制御あるいは不具合予知・診断に機械学習を用いる手法論の開発が盛んである。</li> </ul>
	応用研究・開発	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ZEBにおける建物計画手法の開発、ガラス窓など建材開発が増加している。</li> <li>● セントポール市におけるバイオマス利用地域暖房など、ヨーロッパと変わらない開発も見られる。</li> </ul>
欧州	基礎研究	◎	↗	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ゼロエネルギー・カーボンニュートラルに対する建築・設備分野の将来計画ならびに改修方策に関する研究が増加している。</li> </ul> <p>【EU】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 欧州暖房換気空調協会連合 (REHVA) などによる研究が進められている。住宅などのゼロエネルギー化改修技術の研究が進められている。</li> </ul> <p>【デンマーク】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 地域熱供給施設のエネルギー効率向上に関する研究が継続されている。</li> <li>● 第4世代地域熱供給の研究センター 4DH Research Centreを有する。</li> </ul> <p>【フランス】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● エネルギーシステムのMPCに関する研究がなされている。</li> <li>● 政府が環境・国土整備等に関する研究開発のため設置した公設法人 CEREMAが熱供給に関する研究を実施。</li> </ul> <p>【イタリア・スペイン】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 建物改修における熱性能向上のためのファサードエンジニアリングに関する研究に多く取り組まれている。</li> <li>● ZEBに関する建築要素、太陽光発電・熱利用技術の開発が増加している。</li> </ul>

2.3  
業務・家庭部門のゼロ  
エミ化・低温熱利用

	応用研究・開発	◎	↗	<ul style="list-style-type: none"> <li>●ZEBに関する建築要素、太陽光発電・熱利用技術の開発が増加している。</li> <li>【オーストリア】</li> <li>●地域熱供給用の大規模蓄熱・産業用の高温蓄熱・建築用PCM・寒冷地の地域暖房ネットワーク・TABSの活用などの蓄熱技術に関するプロジェクトがある。</li> <li>【ノルウェー】</li> <li>●新建築基準法では新築・改築された建物の暖房給湯エネルギーの60%以上を電気や化石燃料以外のエネルギーで賄うことが義務付けられている。</li> <li>【スロベニア】</li> <li>●プロジェクトとして、地域暖房ネットワーク、木材チップと太陽熱集熱器による熱生産、ショッピングセンターでの氷蓄熱などが進められている。今後、石炭火力の代替電源として再エネ+蓄エネか、原子力発電所新設かの判断が迫られている。</li> </ul>
				<ul style="list-style-type: none"> <li>【ドイツ】</li> <li>●ZEBの事例が増加している。</li> <li>●地中熱利用は44万か所以上のシステムがあり、住宅用蓄熱（地中熱以外）は2020年新たに116,000台が導入された。地下貯蔵は洞窟などを活用、EUのストレージ容量の24%がドイツに存在する。</li> <li>【デンマーク】</li> <li>●放射冷房に関する研究に多く取り組まれている。</li> <li>●第4世代・第5世代地域熱供給に関する多くの研究開発が進んでいる。太陽熱活用型地域暖房（SDH）の普及が進められている。</li> <li>【フランス】</li> <li>●電力は原子力が主体のため再生可能エネルギーの拡大余地が小さく、再生可能エネルギー活用拡大の手段としてバイオマス・地熱などを利用した地域暖房システムの拡大が図られている。</li> </ul>
中国	基礎研究	◎	↗	<ul style="list-style-type: none"> <li>●2021年10月「CO<sub>2</sub>ピークアウトとカーボンニュートラルのための作業指針」が策定され、2060年のカーボンニュートラルに向けた多くの質の高い研究が行われており、各種統計データの充実も図られている。</li> <li>●機械学習を活用した地域・建築物のエネルギー消費予測、最適制御の研究が多くおこなわれている。</li> </ul>
	応用研究・開発	◎	↗	<ul style="list-style-type: none"> <li>●2022年には「1+N」セクター別カーボンピーキングアクションプランが策定され、2023年にかけて「クリーンヒーティング」「太陽光発電都市」「ゼロカーボン都市」「NearlyZEB都市」が先行して進められている。</li> <li>●非常に多くの新しい実践があり、空調調機器の開発や空調制御をはじめAI活用の研究が盛んである。除湿・放射空調、PCMの蓄熱システムや建材利用に関する研究が多く、また電力負荷平準化の観点から水蓄熱、北部における空気熱源利用において暖房時の着霜による能力不全などの課題から地中熱ヒートポンプの採用事例が増えている。</li> </ul>
韓国	基礎研究	—	—	
	応用研究・開発	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>●住宅や地域の電力需要予測、太陽光発電、蓄電池、V2Hに関する研究が多くおこなわれている。</li> <li>●コージェネレーションや清掃工場排熱を活用した地域暖房の普及が見られる。</li> </ul>
その他の国・地域(任意)	基礎研究	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>【シンガポール】</li> <li>●省エネ技術の研究実績が多くある。</li> </ul>

	<p>応用研究・開発</p>	<p>○</p>	<p>→</p>	<p>【ロシア】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●SCANVACを中心に質の高い研究が行われている。COVID-19の対応でもRHEVAのなかで重要な知見を提供している。</li> <li>●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。</li> </ul> <p>【シンガポール】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●省エネ建築の事例が増えてきている。世界最大規模の地域冷房ネットワークを有している。</li> </ul> <p>【オーストラリア】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●ウエルネスに配慮したオフィスビル等の事例が増えている。</li> <li>●シドニーではEnergy Master Plan2010-2030として、2030年までにCO<sub>2</sub>排出量を2006年比70%削減するため市内の電力供給の70%をトリジェネレーション（冷暖房発電でトリジェネレーションと呼ぶ、日本のコージェネレーションと同じ）、30%を再生可能エネルギーで供給する目標を実行中ギーで賄う計画である。これは、オーストラリア政府のエネルギー政策に則ったもので、オーストラリアではこれらの政策は、連邦政府から州政府、市当局へと引き継がれ、地方行政が積極的に推進している。市の具体的な計画の実施段階では、連邦政府や州政府がプロジェクトを支援している。</li> </ul>
--	----------------	----------	----------	---

(註1)「フェーズ」

「基礎研究」：大学・国研などでの基礎研究レベル。

「応用研究・開発」：技術開発（プロトタイプの開発含む）・量産技術のレベル。

(註2)「現状」 ※我が国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。

◎：他国に比べて特に顕著な活動・成果が見えている      ○：ある程度の顕著な活動・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」

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

関連する他の研究開発領域

蓄エネルギー技術（環境・エネ分野 2.2.1）

産業熱利用（環境・エネ分野 2.2.4）

エネルギーマネジメントシステム（環境・エネ分野 2.5.1）

エネルギーシステム・技術評価（環境・エネ分野 2.5.2）

都市環境サステナビリティ（環境・エネ分野 2.8.3）

再生可能エネルギーを利用した燃料・化成品変換技術（ナノテク・材料分野 2.1.4）

参考・引用文献

- 1) Kenji Ueda, Yoshie Togano and Yoshiyuki Shimoda, “Energy conservation effects of heat source systems for business use by advanced centrifugal chillers,” *ASHRAE Transactions* 115, no. 2 (2009) : 640-653.
- 2) 宮田翔平, 他「機械学習を用いた空調熱源システムの不具合検知・診断」『空気調和・衛生工学会論文集』43巻261号(2018) : 1-9., [https://doi.org/10.18948/shase.43.261\\_1](https://doi.org/10.18948/shase.43.261_1).
- 3) 一般社団法人日本熱供給事業協会「熱供給の放射冷暖房・デシカント空調への活用①：プラント入居建物空調システムと協調した高効率面的融通熱供給システム（プラント側）」『熱供給』86巻(2013) : 18-19.
- 4) 坂齊雅史, 他「スマートエネルギーネットワークによる省CO<sub>2</sub>まちづくり（第12報）：SENEMS（セネ

ムス)による街区の需給最適制御の実践と見える化について』『平成28年度大会(鹿児島)学術講演論文集』2巻(東京:公益社団法人空気調和・衛生工学会,2016),21-24.,[https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2016.2.0\\_21](https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2016.2.0_21).

- 5) 小川陽平,白石靖幸「モデル予測制御を用いた躯体蓄熱型放射空調システムの最適制御に関する研究」『日本建築学会環境系論文集』85巻771号(2020):379-387.,<https://doi.org/10.3130/aije.85.379>.
- 6) 金子研,橋本達也,廣川純一「AIによる解析を利用した快適性を損なわない省エネルギー空調方式の提案と検証」『令和2年度大会(オンライン)学術講演論文集』6巻(公益社団法人空気調和・衛生工学会,2020),293-296.,[https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2020.6.0\\_293](https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2020.6.0_293).
- 7) 松田侑樹,大岡龍三「建築設備のデジタルツイン生成に関する研究(第1報):運転データに基づく熱源設備を摸するANNモデルの予測精度の検証」『日本建築学会環境系論文集』85巻770号(2020):267-275.,<https://doi.org/10.3130/aije.85.267>.
- 8) 池田伸太郎,他「人工知能による大規模展示場のリアルタイム熱源最適運用支援プログラムに関する研究(第2報):最適化プログラムの詳細と最適化効果検証」『令和2年度大会(オンライン)学術講演論文集』9巻(公益社団法人空気調和・衛生工学会,2020),137-140.,[https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2020.9.0\\_137](https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2020.9.0_137).
- 9) ダイキン工業株式会社「天井埋込形(FWMF)」[https://www.daikinaircon.com/central/fancoil/ceil\\_duct.html](https://www.daikinaircon.com/central/fancoil/ceil_duct.html),(2023年2月9日アクセス)。  
新晃工業株式会社「ファンコイルユニット(FCU)」<https://www.sinko.co.jp/product/fcu/>,(2023年2月9日アクセス)。  
暖冷工業株式会社「製品概要:空調設備機器」[http://www.danrey.co.jp/products\\_01.html](http://www.danrey.co.jp/products_01.html),(2023年2月9日アクセス)。
- 10) 鹿島建設株式会社「分散ファンによる省エネ空調システム「OCTPUS」を開発」<https://www.kajima.co.jp/news/press/202101/14a1-j.htm>,(2023年2月9日アクセス)。
- 11) アズビル株式会社「セル型空調システム」<https://www.azbil.com/jp/product/building/cell-airflow-control/index.html>,(2023年2月9日アクセス)。
- 12) 株式会社ソーワエンジニアリング「還り温度制御弁「Eco-V [エコヴィ]」(大温度差対応)」[http://www.sowa-eng.com/products\\_ecov\\_1.html](http://www.sowa-eng.com/products_ecov_1.html),(2023年2月9日アクセス)。
- 13) 特定非営利活動法人建築設備コミッション協会(BSCA)「VWVシステムの設計・施工・調整・検証技術シンポジウム」<http://www.bsca.or.jp/event/?p=1476>,(2023年2月9日アクセス)。
- 14) 浅利直記,他「大規模オフィスビルでの中温冷水を利用した高効率熱源・空調システムに関する研究(第1報~第19報)」『空気調和・衛生工学回大会学術講演論文集』(2015~2021)。
- 15) 竹部友久,他「超高層ビルによる自立エネルギー型都市づくりに関する研究(第1報~第15報)」『空気調和・衛生工学回大会学術講演論文集』(2014~2021)。
- 16) アズビル株式会社「VPP・DRとは」<https://www.azbil.com/jp/erab/merit/vpp-dr/>,(2023年2月9日アクセス)。
- 17) 佐藤文秋,他「蓄熱による高効率熱源システムに関する研究」『空気調和・衛生工学会論文集』45巻280号(2020):13-23.,[https://doi.org/10.18948/shase.45.280\\_13](https://doi.org/10.18948/shase.45.280_13).
- 18) 一般社団法人日本建築学会 AIの利活用に関する特別調査委員会「AIの利活用に関する特別調査委員会 報告書(2021年3月)」一般社団法人日本建築学会,<http://www.aij.or.jp/jpn/symposium/2021/210511aihokokusyo.pdf>,(2023年2月9日アクセス)。
- 19) International Energy Agency (IEA),“Annex 81 - Data-Driven Smart Buildings,”<https://annex81.iea-ebc.org/>,(2023年2月9日アクセス)。

## 2.3

業務・家庭部門のゼロ  
エミ化・低温熱利用

- 20) 三菱電機株式会社「SASTIE (ZEB関連技術実証棟)」<https://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/randd/sustie/index.html>, (2023年2月10日アクセス)。
- 21) 吉田聡, 他「既成市街地における分散型電源を用いた建物間エネルギー融通に関する研究: 横浜市新横浜地区における実例検証」『空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集 (平成20年)』2巻 (公益社団法人空気調和・衛生工学会, 2008), 1579-1582., [https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2008.3.0\\_1579](https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2008.3.0_1579).
- 22) 佐藤文秋, 他「地域冷暖房の負荷実態に基づく省エネルギー手法に関する研究: その2 プラント連携運転によるスパイラルアップ効果の概念と実際」『平成28年度大会 (鹿児島) 学術講演論文集』2巻 (公益社団法人空気調和・衛生工学会, 2016), 85-88., [https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2016.2.0\\_85](https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2016.2.0_85).
- 23) 小林主英, 他「既成市街地における自立分散型熱電併給プラントの構築による環境負荷低減効果と都市防災力強化の実現 (第1報): プロジェクトの背景と全体計画」『令和2年度大会 (オンライン) 学術講演論文集』2巻 (公益社団法人空気調和・衛生工学会, 2020), 105-108., [https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2020.2.0\\_105](https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2020.2.0_105).
- 24) 丸の内熱供給株式会社, 新菱冷熱株式会社「丸の内エリア・大規模熱源システム向けAI制御システムを開発」新菱冷熱工業株式会社, <https://www.shinryo.com/news/20220302.html>, (2023年2月10日アクセス)。
- 25) TEMS株式会社「施設管理をスマート化させたい」<https://www.tm-es.co.jp/solutions/problem/smart/>, (2023年2月10日アクセス)。
- 26) 新菱冷熱工業株式会社「環境にやさしい防食施工技術でサステナブル社会の実現に貢献」<https://www.shinryo.com/news/20170906.html>, (2023年2月10日アクセス)。
- 27) 村松宏, 野部達夫「躯体熱容量を活用する天井放射空調システムの運用手法に関する研究」『日本建築学会環境系論文集』84巻 766号 (2019): 1095-1104., <https://doi.org/10.3130/aije.84.1095>.
- 28) 神戸大学, 他「人流・気流センサを用いた屋外への開放部を持つ空間の空調制御手法の開発・実証」環境省, [https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cpttv\\_funds/pdf/db/226.pdf](https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cpttv_funds/pdf/db/226.pdf), (2023年2月10日アクセス)。
- 29) 天空熱源ヒートポンプ (SSHP) システムのライフサイクルに亘るコスト低減と運転性能の高度化, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)「再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発」[https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100154.html](https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100154.html), (2023年2月10日アクセス)。
- 30) みなとアクルス「スマートエネルギーシステム」<http://minatoaqls.com/concept/effort/smart/>, (2023年2月10日アクセス)。
- 31) 三井不動産レジデンシャル株式会社, 東邦ガス株式会社「国土交通省 平成29年度サステナブル建築物等先導事業 (省CO<sub>2</sub>先導型) 採択: 名古屋「みなとアクルス」の集合住宅で実現する自立分散型電源の高効率燃料電池群による地産地消への取組と双方向参加型エネルギーマネジメントによる省CO<sub>2</sub>と防災機能の充実」国立研究開発法人建築研究所, <https://www.kenken.go.jp/shouco2/pdf/ppt/H29-2/05kanryou.pdf>, (2023年2月10日アクセス)。
- 32) 渡邊啓生, 他「SDGs未来都市における視聴者のZEB実現に関する研究 (第3報): RFIDによる環境センシングネットワークと建築環境制御への活用」『令和元年度大会 (札幌) 学術講演論文集』10巻 (公益社団法人空気調和・衛生工学会, 2019), 333-336., [https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2019.10.0\\_333](https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2019.10.0_333).
- 33) 一般社団法人環境共創イニシアチブ「平成29年度「需要家側エネルギーリソースを活用したバーチャルパワープラント構築実証事業費補助金」(VPP)」<https://sii.or.jp/vpp29/>, (2023年2月10日アクセス)。

- 34) 電脳建築最適化世界選手権 (WCCBO) , <http://www.wccbo.org/>, (2023年2月10日アクセス) .
- 35) 一般社団法人日本熱供給事業協会「地域熱供給の長期ビジョン(概要版)(2021年1月28日)」経済産業省, [https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/2050\\_gas\\_jigyo/pdf/005\\_09\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/2050_gas_jigyo/pdf/005_09_00.pdf), (2023年2月10日アクセス) .
- 36) Akos Revesz, et al., “Developing novel 5th generation district energy networks,” Energy 201 (2020) : 117389., <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117389>.
- 37) SO WHAT, <https://sowhatproject.eu/>, (2023年2月10日アクセス) .
- 38) 環境省「サブスクリプションを活用したエアコン普及促進モデル事業の実施事業者の公募結果について」 <https://www.env.go.jp/press/110842.html>, (2023年2月10日アクセス) .
- 39) Air as a Service, <https://airasaservice.com/>, (2023年2月10日アクセス) .
- 40) 木虎久隆, 宮田翔平, 赤司泰義「蓄熱槽を有する地域冷暖房システムのデマンドレスポンス制御の実現可能性と効果推定」『令和3年度大会(福島) 学術講演論文集』2巻(公益社団法人空気調和・衛生工学会, 2021), 93-96., [https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2021.2.0\\_93](https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2021.2.0_93).
- 41) 丸の内熱供給株式会社, 新菱冷熱工業株式会社「「丸の内エリア・大規模熱源システム向けAI制御システム」を開発」新菱冷熱工業株式会社, <https://www.shinryo.com/news/20220302.html>, (2023年2月10日アクセス) .

## 2.3

業務・家庭部門のゼロ  
エミ化・低温熱利用