

### 3.2 エネルギー利用区分

エネルギー利用の目的は、人類の生活を豊かにするさまざまなサービスを提供することである。一方でエネルギー利用は多くの環境負荷を発生させる。したがってエネルギー利用に際しては、より豊かなサービスの提供と環境負荷の削減という2つの側面に留意することが必要である。ここでは環境負荷をCO<sub>2</sub>排出量で代表させる。茅恒等式(Kaya, 1990)などを参考にし、エネルギー利用全体を以下のように3つの社会的な期待として分類することとした。

$$CO_2 = \text{サービス} \times \frac{\text{エネルギー}}{\text{サービス}} \times \frac{CO_2}{\text{エネルギー}}$$

右辺の第1項「サービス」は、多様な社会的要請に応えるエネルギーサービスのことである。ここでのエネルギーサービスとは、エネルギーを消費することで我々が得られる生活や仕事などのアクティビティに必要なサービスのことをさす。第2項の「エネルギー／サービス」は、エネルギー効率の高いサービスの提供である。第3項の「CO<sub>2</sub>／エネルギー」は、低炭素化を実現するエネルギー利用である。

社会における課題には、地球環境問題の深刻化や国際協力や国際貢献などのソーシャルな面と、脱物質化や個人の価値観の多様化などのパーソナルな面がある。加えて、ネットワーク・情報化社会への対応や都市への人口集中に対応したコンパクトシティなど、そのソーシャルとパーソナル両面を横断的に考えなければならない課題もある。

上記の前提と、2.2.2.(2)で述べたようなエネルギー利用の方向性から、社会の期待と課題で分類した俯瞰図を図2.2.19に示した。

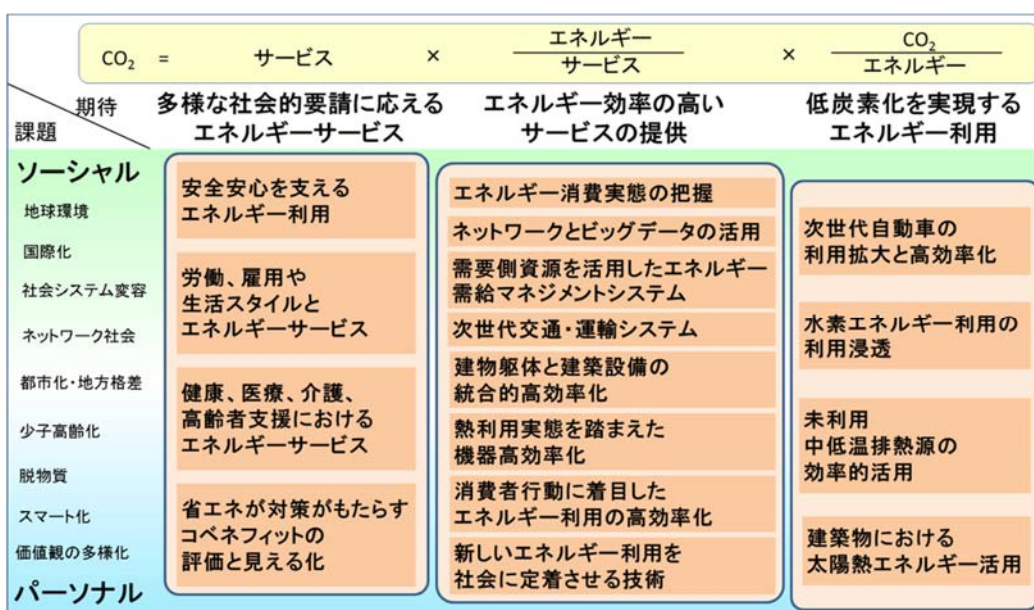


図 2.2.19 エネルギー利用区分の俯瞰図 (再掲)

本区分では、3つの社会の期待のもとに、以下に示す計16の研究開発領域を抽出した。

- 3.2.1 多様な社会的要請に応えるエネルギーサービス
  - 3.2.1.1 安全安心を支えるエネルギー利用
  - 3.2.1.2 労働、雇用や生活スタイルとエネルギーサービス
  - 3.2.1.3 健康、医療、介護、高齢者支援におけるエネルギーサービス
  - 3.2.1.4 省エネ対策がもたらすコベネフィットの評価と見える化
  
- 3.2.2 エネルギー効率の高いサービスの提供
  - 3.2.2.1 エネルギー消費実態の把握
  - 3.2.2.2 ネットワークとビッグデータの活用
  - 3.2.2.3 需要側資源を活用したエネルギー需給マネジメントシステム
  - 3.2.2.4 消費者行動に着目したエネルギー利用の高効率化
  - 3.2.2.5 熱利用実態を踏まえた機器高効率化
  - 3.2.2.6 建物躯体と建築設備の統合的高効率化
  - 3.2.2.7 次世代交通・運輸システム
  - 3.2.2.8 新しいエネルギー利用を社会に定着させる技術
  
- 3.2.3 低炭素化を実現するエネルギー利用
  - 3.2.3.1 次世代自動車の利用拡大と高効率化
  - 3.2.3.2 未利用中低温排熱源の効率的活用
  - 3.2.3.3 建築物における太陽熱エネルギー活用
  - 3.2.3.4 水素エネルギーの利用浸透

次項より各研究開発領域について説明する。

### 3.2.1 多様な社会的要請に応えるエネルギーサービス

#### 3.2.1.1 安全安心を支えるエネルギー利用

##### (1) 研究開発領域名

安全安心を支えるエネルギー利用

##### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

エネルギー利用者が安全・安心の面から期待する便益である供給安定性や価格安定性、環境・健康への負荷低減のために、エネルギー制度設計などにおいてリスク回避の便益を貨幣価値評価し、費用対便益を把握したいとのニーズがある。また今後、ICT活用などによるエネルギーの更なる高度利用や新たな付加価値サービス利用の期待に対し、得られる便益と犯罪などのリスクとのトレードオフ関係を明らかにし、社会的に受容されるサービスと対価の水準を見出す必要がある。

##### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

エネルギー利用者が安全・安心の面から期待する便益として、供給安定性（途絶リスクが小さい）、価格安定性（燃料高騰や為替変動の影響を受けるリスクが小さい）、環境・健康への低負荷性（有害物質などにより人体や生態系が悪影響を受けるリスクが小さい）があげられる。エネルギーの制度設計や価格政策、エネルギーシステムへの投資計画においては、こうしたリスク回避の便益を貨幣価値評価し、費用対便益を把握しようとするニーズがある。この領域の研究は、ライフラインの途絶抵抗係数（Resiliency Factor）という指標で評価する研究事例や、停電に対する支払意思額（WTP: Willingness to Pay）、受入補償額（WTA: Willingness to Accept）の調査事例があり、これまでに国内、海外のいずれの研究報告も、停電コストが通常の電力単価の数十倍に相当するとの結果が得られている。

また、今後スマートメーターに代表されるICTとエネルギーの需給システムの融合により、デマンドレスポンスなどのエネルギーのさらなる高度利用や新たな付加価値サービスが期待されるが、ここで用いられるエネルギー利用データは個人の生活習慣情報となることから、データセキュリティのあり方をめぐる課題が存在する。新たに得られる便益とデータ漏えいによる犯罪などのリスクとのトレードオフ関係を明らかにし、社会的に受容されるサービスと対価の水準を見出す必要がある。

##### a. エネルギーのライフラインのレジリエンスに関する研究<sup>1-3)</sup>

東日本大震災（2011年3月）や米国のハリケーンサンディ（2012年10月）など、自然災害によって広域的に生じた長時間のライフラインの供給停止や、その後続いた輪番停電、節電要請などの経験は、今日の都市のエネルギーシステムが抱えるリスクをあらためて顕在化させた。我が国では国際競争力の維持・強化に対し意識の高い大都市の自治体行政や民間の大手開発事業者を中心に、都市機能が集中するエリアのエネルギー面のレジリエンス強化のため、自立分散型電源の保有率を高めるなど、市民や企業・テナントに対するさらなる安心の確保に乗り出している。

1985年に、米国のApplied Technology Council (ATC) において地震災害発生時のラ

イフライン途絶の経済的影響の評価マニュアル化を検討した地震被害評価に関する調査報告書であるATC-13は先駆的な研究とされている。これに基づき発表されたライフラインの途絶抵抗係数は、その後多くの災害影響分析に利用されている。このほかにも特に欧米において産業分野を対象とした研究が比較的多く存在する。一方、生活者や執務者の安心の観点からの評価は、心理的な影響を含めて取り扱う必要があり、意識調査と社会科学的な視点を組み合わせた評価が不可欠と考えられているが、研究事例は少ない。

b. エネルギー利用者の安全・安心に関するWTP、WTAと費用対便益評価の研究<sup>4-6)</sup>

エネルギーの小売自由化が先行する海外では、エネルギーの安全・安心の面の品質の1つである停電と価格に対する消費者の選好に関し、WTPやWTAで定量的に計測した研究事例が比較的多く存在する。一方、我が国では小売の全面自由化に至っていないこともあり、研究事例は少ない。これまでに国内、海外のいずれの研究報告も、停電コストが通常の電力単価の数十倍に相当するとの結果が得られている。

関連する動向として、例えば環境対策として地域の再生可能エネルギーへの投資を促進する場合、同時に地域のエネルギーの自立度が高まり、安全・安心の便益をもたらす、といった副次的な便益がある。こうした便益を包含する概念として「コベネフィット」の考え方がある。これは気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）の第5次評価報告書<sup>7)</sup>で大きくとりあげられ、災害などに対するレジリエンス強化やエネルギーセキュリティ向上などの便益も含まれる。同報告書には欧米の研究者のコベネフィットに関する論文が引用されている。

c. エネルギー使用データのセキュリティ<sup>8-10)</sup>

スマートメーターやBEMS（Building Energy Management System）、HEMS（Home Energy Management System）などで取得されるエネルギー使用情報は、個人の生活習慣情報が含まれる個人情報に該当し、安全・安心・防犯などの観点からも、この情報を扱う者には、個人情報保護制度上の適切な対応が求められる。エネルギー使用データをプライバシー情報ととらえてデータコントロール権をどのように設定するかは新しい問題である。この問題に対し、米国では標準技術研究所（NIST：National Institute of Standards and Technology）がスマートグリッドのサイバーセキュリティに関するガイドライン（2010年9月）を作成しており、欧州ではEUデータ保護指令（2012年1月）の中に一定の指針が存在するが、まだ権利などの関係が明確になっていないとの認識が一般的である。日本でも今後のエネルギーシステム改革に伴い、供給サイドの多様化やサービス提供主体の構成を踏まえた、各需要家のデータを保有・管理する主体やデータコントロール権を整理する必要がある。

#### （4）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

a. 供給途絶以外の事象に対する安全・安心の研究の蓄積

エネルギー利用者にとり安全・安心の観点からは、供給途絶以外にも、節電要請の制約リスクからの解放、燃料価格高騰や為替による価格変動のリスクヘッジ、健康や生態系への影響リスクの抑制、などの多様なニーズがある。いくつかのリスクは規制的手法

がとられるが、利用者が追加的対価を支払ってこうした安全・安心を確保するニーズもあり、これを把握するとともに、費用対便益の関係を具体的に示す定量的な研究の蓄積が必要である。

#### b. エネルギー使用データの利用環境整備

スマートメーターの普及が、電力やガスなどの需要家のデータを把握するインフラとして、デマンドレスポンスなどでの利用と併せて、研究目的でのアクセスも可能な環境整備が期待される。データの保有・管理主体の明確化や、匿名化・集約化などの技術的課題の解決、サードパーティに対し提供されるべきデータを規定したルール of 早期策定が望まれる。

#### c. 安全と安心をつなぐ統合的な取り組み

例えば国際的な安全規格の基本指針であるISO/IEC Guide51 (1999年)で示された「安全」に関する定義「許容されないリスクから解放された状態」が、リスクマネジメントなどの分野で広く用いられている<sup>11)</sup>が、「安心」に関する定義はない。日本学術会議によると「安全とは、客観的にみて危険や危害の生じるおそれのないことであり、安心とは、主観的な心のあり様として不安のないこと」とされ、リスクに対する心理や社会の受容性などのアプローチが必要不可欠とされている<sup>12)</sup>。

### (5) 注目動向 (新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など)

- ・国際標準化機構 (ISO) によれば、2012年7月に持続可能かつレジリエントなコミュニティの開発をテーマとする専門委員会の設立に関するフランスの提案が採用され、ISO/TC268が発足した。2014年6月には委員会の規格原案ISO37101 “Communities Sustainable Development and Resilience – Part 1: General Principles and Requirement”<sup>13)</sup> が発表された。同委員会には政策関係者や地域エネルギーサービス事業を国際展開している実務者が参加しているほか、社会セキュリティを扱うリスクマネジメントの国際標準を議論するISO/TC223委員会からのリエゾンメンバーを招聘するなど、地域への安全・安心の提供という面で注目に値する。
- ・デンマークのコペンハーゲン市は、広域熱供給インフラが発達し、自立分散型エネルギーシステムのネットワークを形成する都市のベストプラクティスとして注目される (2013年に欧州環境首都賞を受賞)。熱搬送事業者が共同で設立した中立機関 (2008年設立当時の名称はVarmelast) は、過去の熱の需要データと、翌日の国際電力取引市場 (Nordpool Spot) の価格、天候予測と、各地の熱搬送可能容量に基づき、地区内に分散する熱電併給 (CHP: Combined Heat and Power) プラント所有者と翌日の熱生産量を調整し、熱の供給安定化と価格の最小化を図っている<sup>14)</sup>。このための熱供給に関する需要家データはVarmelastが一元管理し、運用のためのデータベースと最適化ツールなどを開発している。これまでの運用を経て予測精度や運用成績は向上しているが、今後は風力発電増加の影響を受け、電力価格が低下した場合に、CHPの稼働率が下がり熱の原価を押し上げる可能性も出ている。
- ・米国エネルギー省 (DOE: Department of Energy) や米国環境保護庁 (EPA:

Environmental Protection Agency) は、2012年10月のハリケーンサンディによる大規模停電時にCHPシステムが重要な役割を果たした実績を受け、翌年9月にCHPを集合住宅および重要施設の防災およびエネルギーインフラのレジリエンス向上に用いるためのガイドを発表した<sup>15)</sup>。この中で、CHPの便益として総合効率の高さ、省エネ性向上、消費者の電力コストの平準化とともに、非常時対応、系統インフラの新設需要抑制と系統安全性強化などをあげている（引用例：コネティカット州のGreenwich病院で、2,500 kWのCHPが7日間の停電中も通常の活動を維持）。系統電力との相互連結および切り替え制御がシームレスに行えるためには、初期コストが5～10%増大する可能性があるとしている。

- ・日本では東日本大震災以降、大都市圏の自治体行政や民間開発事業者を中心に防災・減災対策の一環で地区・街区レベルの分散型エネルギーシステムの導入を推進する動きがある。こうした意思決定に資する知見として、自立分散型電源の導入による地域の業務・生活継続計画（BLCP：Business and Living Continuity Plan）への貢献に関する便益を貨幣価値換算し、費用対便益の評価を試みた産学官の共同研究事例がある<sup>16)</sup>。また、停電コストのデータとして、例えば東日本大震災後の計画停電の実績などを踏まえた（一社）電力系統利用協議会のアンケート調査（企業3,506社、個人2,495名）で、予告がある場合の需要ピーク時間帯（2時間）に計画停電を被った場合の停電コストの具体的な調査結果がある（例えば、大口事業所については2,198～4,763円/kWh、個人については夏季5,999円/kWh、冬季4,317円、など）<sup>17)</sup>。この結果においては、東日本大震災以前の調査よりも大きい値になったとしている。海外の調査結果との比較もあり、上のような検討機会に有効と考えられる。

## （6）キーワード

支払意思額（WTP）、受入補償額（WTA）、途絶抵抗係数（Resilience Factor）、自立分散型エネルギーシステム、業務・生活継続計画（BLCP）、データコントロール権

(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>エネルギーの小売り自由化が進んでいる欧米に比べ、研究事例は少ない。</li> <li>停電コストに関するアンケート調査に基づく分析事例が産業分野、業務分野に対して存在。東日本大震災後、停電コストが増加したなどの分析あり。</li> <li>家庭分野については心理的不安や生活不便などの計量化が困難とされてきた項目も存在し、分析事例は少ない。</li> </ul>
	応用研究・開発	△	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>電力以外に、ガス、水道などの複数ライフラインが同時に途絶する事象を対象としたWTPやWTAの調査は存在するが、事例は少ない。</li> <li>大手建設会社でオフィスビルの電源多重化を実施し、潜在的テナントに対する実地見学後にWTPのアンケート調査を実施。</li> <li>スマートメーターやスマートグリッドとプライバシー保護に関し、政府により制度検討会が設立され審議中。</li> </ul>
	産業化	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>2011年3月の東日本大震災以降、国際競争力強化を目指すエリアを中心に、自治体行政や民間開発事業者が自立分散型電源を導入する動きや、住宅メーカーが太陽電池や燃料電池を含む停電対応仕様を積極的に打出している。</li> </ul>
米国	基礎研究	◎	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>小売自由化が進んでいるため電力品質（停電）と価格に関する定量分析が比較的多く存在。</li> <li>電力品質（停電）に関する消費者の選好を把握する調査に基づきWTPとWTAの乖離を説明し、供給計画や価格政策に貢献した例もみられる。</li> </ul>
	応用研究・開発	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>1985年に地震災害発生時のライフライン途絶抵抗係数（Resiliency Factor）が発表され、その後多くの災害影響分析に利用されている。</li> <li>2010年9月に国立標準技術研究所（NIST）がサイバーセキュリティに関する検討の枠組みを立上げ、ガイドラインを策定。</li> </ul>
	産業化	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>2012年10月のハリケーンサンディの経験を踏まえ、コージェネレーションを防災およびインフラのレジリエンス向上に用いるためのガイド（DOE、EPA）や、導入支援策（ニューヨーク市など）が相次いで発表。</li> </ul>
欧州	基礎研究	◎	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>EU域内で、国別の制度や電源構成、停電に対する受容性の違いなども含めた停電コストに関する分析データが多く、国際比較研究も行われている。</li> </ul>
	応用研究・開発	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>国際電力取引市場の発達により、調整可能電源やリザーブ電源などの価値が安全・安心の観点から市場で取引され、基礎データが蓄積されつつある。</li> <li>2011年12月に欧州委員会ガス&amp;エネルギー局に設置されたSmart Grid Task Forceがデータセキュリティ、データ管理、データ保護に係る規制勧告を発表。</li> </ul>
	産業化	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>今後、風力発電の増加の影響を受け電力市場価格の不安定な変動が見込まれる。ガスタービンなどの調整可能電源の価値が高まることが考えられる。</li> </ul>
中国		-	-	(評価に資する情報なし)
韓国		-	-	(評価に資する情報なし)

(註1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(註2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・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

## (8) 引用資料

- 1) 梶谷、多々納. 2007. 災害時の複数供給系ライフライン途絶による住民への経済影響の調査. 土木計画学研究論文集. Vol.24, No.2
- 2) 蟻生、後藤. 2007. 需要家から見た供給信頼度の重要性と停電影響－国内需要家調査および首都圏停電調査に基づく分析－. 電力中央研究所報告書. No.Y06005
- 3) Applied Technology Council, Earthquake damage evaluation data for California, ATC-13, Redwood City, California, 1985
- 4) 宮田. 2010. 電力の品質と価格に対する家庭部門の選好－停電へのWTPとWTAの分析から－. 行動経済学. 第3巻. p39
- 5) 西野、他. 1982. わが国における停電コストの評価, 電力中央研究所研究報告. No. 582007
- 6) Reicl, et al. 2013. Power Outage Cost Evaluation: Reasoning, Methods and an Application, Journal of Scientific Research & Report. Vol. 2(1), p.249-276
- 7) IPCC Working Group III. 2014. CLIMATE CHANGE 2014 Mitigation of Climate Change.
- 8) National Institute of Standard and Technology. 2010. NISTIR7628: Guidelines for Smart Grid Cyber Security.
- 9) European Commission / SGTF (Smart Grid Task Force) / EG2: Regulatory Recommendations for data safety data handling and data protection. 2011
- 10) 総務省情報通信政策研究所. 2012. スマートグリッド関連サービスにおけるプライバシー・個人情報保護に関する調査研究報告書.
- 11) (一財) 日本規格協会. 2011. リスクマネジメントと業務継続マネジメントの標準化.
- 12) 日本学術会議. 2005. 安全で安心な世界と社会の構築に向けて－安全と安心をつなぐ－.
- 13) ISO/TC268, ISO/CD37101 Sustainable development and resilience of communities - Management systems - General principles and requirements. 2014.
- 14) Copenhagen Energy.2008. District heating in Copenhagen: An Energy Efficient, Low Carbon, and Cost Effective Energy System.
- 15) US DOE. EPA. 2013. Guide to Using Combined Heat and Power for Enhancing Reliability and Resiliency in Buildings.
- 16) (一社) 日本サステナブル建築協会. 2014. エネルギーイノベティブタウン調査委員会報告書.
- 17) (一社) 電力系統利用協議会. 2014. 停電コストに関する調査報告書.



### 3.2.1.2 労働、雇用や生活スタイルとエネルギーサービス

#### (1) 研究開発領域名

労働、雇用や生活スタイルとエネルギーサービス\*

※) ここでの「エネルギーサービス」とは、エネルギーを消費することで我々が得られる生活や仕事などのアクティビティに必要なサービスのことを示す。

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

近年、労働・雇用のスタイル、生活のスタイルは情報化の進展などによって大きく変化しており、これらの変化は必要とするエネルギーサービスを変化させ、将来のエネルギー需要を大きく変容させる可能性をもつ。本領域では、以上の中でも近年研究が盛んな、建物内での居住者の行動の変容について、センシング技術など建築や住宅のスマート化を背景とした居住者行動の詳細なモデル化とこれを考慮した高度なエネルギーマネジメントによるエネルギー消費の削減、これらを実現するための空調や照明のパーソナル化技術の研究開発を推進する。

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

民生部門のエネルギー消費は、主として居住者が要求するエネルギーサービス要求によって発生し、エネルギーサービスは居住者の生活スタイルに大きく依存する。過去においても、第三次産業に従事する労働者の増加は我が国のオフィス需要を大きく増加させ、民生業務部門のエネルギー消費を増大させた主たる要因となっており、また家庭における少人数世帯の増加は世帯数の増加を通じて我が国における民生家庭部門のエネルギー消費を増大させた主たる要因となっている。近年でも、生活スタイルの変化に関して、例えば若者の車離れなどの事象が観察されており、我が国における地球温暖化問題やエネルギー問題の将来を議論するに当たって、単に省エネルギー技術の進展を考慮するだけでなく、将来のワークスタイル、ライフスタイルの変化を予測し、それに伴うエネルギーサービス需要の変化、さらにはエネルギー消費量の変化を中長期のエネルギー需要予測、温室効果ガス排出量予測に考慮できるようにすることは大変重要な課題となってきた。

例えば近年、特にホワイトカラー労働者においてはフレックスタイム制・裁量労働制などによる勤務時間の多様化、在宅勤務など労働場所の多様化が進行している。これらの労働スタイル、生活スタイルの変化はオフィスや住宅において必要とされるエネルギーサービスの内容や質を変化させ、民生部門を中心として将来のエネルギー利用の形やエネルギー需要を大きく変容させる可能性をもっている。例えば、在宅勤務の進展がエネルギー消費の変化に与える影響として、ロムら<sup>1)</sup>は、1997年の時点で在宅勤務などにより2007年までの10年間で全米の非住宅建築の5%に相当する30億平方フィートの事務所面積が不要になり、全米の民生用電力消費の1.5%に相当する350億kWhの電力が節減されると予想していた。我が国でも、総務省<sup>2)</sup>は、在宅勤務によってオフィスの電力消費が43%削減され、家庭でのエネルギー消費増を考慮しても全体で14%の電力消費削減が期待できるとしている。このように、労働スタイルや生活スタイルを変化させることによる、人間側のエネルギーの使い方の変容は、今後のエネルギー消費の増減に対し

て、各種の省エネルギーのためのハード面の技術開発と同等なインパクトをもっており、今後の研究が期待される分野である。

このような労働スタイル、生活スタイルの変化は、以下のようなこれまでみられなかった空間の使い方、エネルギーサービスに対する新たな需要を生じさせている。

- ・在宅勤務のようにオフィス労働のスタイルが多様化し、インターネットの進展によりオフィス労働が特定の空間に拘束されなくなったことから、空間の使われ方については従前に比べて使用時間の増大と、使用密度の低密度化が同時に進行している。
- ・女性や高齢者、外国人など室内環境に対する嗜好が異なる人々が、職場や労働環境を共有する様になり、これらに配慮したエネルギーサービスが求められるようになってきている。
- ・オフィスにおいては、健康性、快適性だけでなく、労働者の知的生産性への影響をより詳細に考慮したエネルギーサービスあるいはエネルギーマネジメントが求められるようになっている。

これらは、環境調整のためのエネルギーサービスを、空間内部で均一にとらえるものから、よりパーソナルなものへと転換していくこと、すなわちエネルギーサービスのミクロ化、パーソナル化を意味している。この背景には、当然センシング技術の発達をはじめとしたオフィスや家庭のスマート化の動向が大きく影響を及ぼしている。

これを受けて、パーソナルな環境調整技術については、スマートオフィスの研究開発の一環として、高度なセンシング技術とともに、タスク・アンビエント照明、タスク・アンビエント空調、床吹き出し空調など種々の技術が登場してきている状況である。

これらハード面での研究と平行し、ソフト面では新たな研究分野として居住者行動（Occupant Behavior）の研究分野が注目されている。センシング技術の発達により、空間内の人間の在・不在情報だけでなく、どの人間がどのような状態にあるのかまでを検知できるようになり、それぞれに最適なエネルギーサービスを供給することで、居住者の生産性向上と省エネルギー性を同時に達成することが可能になってきている。

このような人間の行動に関する研究は文理融合型研究として新たな学術分野を形成する可能性が高いことと同時に、情報通信技術の発展によるスマート化の進展に対して建築環境調整技術が対応していくうえで必要不可欠の研究開発分野であるといえる。

2014年に発表された気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）の第5次報告書第3部第9章<sup>3)</sup>（建築）においても、「behavioural and lifestyle impacts」という項目が設けられ、居住者の振る舞いが建築のエネルギー消費に対して大きな影響を及ぼすことが示されている。

#### （4）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

人間の行動パターンの変化がエネルギー需要に及ぼす影響は、それを表現できるエネルギーシミュレーションプログラムを開発したり、実空間における詳細な計測を行ったりしなければ定量的に評価することができない。しかし、今までの建築環境調整技術、エネルギー利用技術に関する研究開発ではこのような生活スタイルの変化によるエネルギー消費の変化はほとんど研究されてこなかった。

本分野は今後のスマートハウスやスマートビルの開発においても基幹となり得る研究開発分野といえ、情報分野のセンシング技術、心理・行動学分野などとの融合による以下のような新しい研究開発領域の推進が期待される。

- ・ 建築空間内における人間行動の予測手法の開発、数理モデル化。人間の時間の使い方に関する社会的な研究から、建築空間の使われ方の予測などを含む。
- ・ さまざまなセンシング技術の活用による、建築空間内の人間行動の検知技術の研究開発。これには単なる人間の行動状態だけでなく、人間の生理・心理状態、プロダクティビティなどの検知も含まれる。
- ・ パーソナル化された建築空間における環境調整技術（空調・照明など）の研究開発。床や天井といった建築躯体と一体化した照明・空調技術だけでなく、机や椅子など家具を含めた、これまでにないような発想の空間環境調整技術の研究開発。近年アンビエント側の空調システムとして温度の比較的高い冷水を利用した放射空調など省エネルギー技術の開発が進んでおり、タスク側の新しい温度調整技術の開発が求められている。
- ・ 人間行動を基軸とした、建築空間内のエネルギー消費予測。上記で述べたような、センシング技術とパーソナル化された環境調整技術が考慮できるエネルギーシミュレーションモデルの開発。

また、よりマクロな人間の労働スタイル・生活スタイルの変化とエネルギー利用の変化を見ていく上では、以下のような研究課題も存在する。我が国が地球温暖化問題などで世界をリードしていく上では、2050年、2100年など中長期の将来におけるエネルギー需要の姿を明確に描き、それに基づいた低炭素社会の姿を示す必要があり、人口や生活スタイル、土地利用の姿など社会のマクロフレームの変化とそれに伴うエネルギー利用の姿を科学的に予測する研究が必要である。

- ・ 将来の労働スタイル・生活スタイル・都市の姿の変化を考慮できる、定量的評価が可能な将来社会予測シナリオモデルの開発。
- ・ 上のモデルで描かれる将来のマクロフレームを入力条件として、ボトムアップ型（人間の生活スタイルから都市・地域・国土のエネルギー消費を積み上げる）のシミュレーションによる、中長期エネルギー需要予測技術の研究開発。
- ・ 若者の車離れなど、輸送・移動に関係する労働スタイル・生活スタイルの変化が輸送システムのエネルギー利用に与える影響（公共交通機関の利用拡大とそれに伴う都市のコンパクト化、トラック輸送業界の人手不足に起因する輸送システムの変化など）の予測、対応策についての研究開発。

#### (5) 注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

国際エネルギー機関（IEA：International Energy Agency）の国際共同研究開発プログラムEBC（建築とコミュニティにおけるエネルギープログラム）の下において、2013年より2017年までの予定でAnnex 66として“Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings（建物における居住者行動の定義とシミュレーション）”がスタートしている<sup>4)</sup>。ここではOccupant Behaviorを人間の空間内の動きだけでなく、機器の操作、窓開けなどの環境調節行為を含むものとし、その定量化とモデル化、建築のエ

エネルギー消費に及ぼす影響の評価、建築計画や運用への応用までを展望した研究計画となっている。

建築のエネルギーシミュレーションに関する国際団体IBPSA (International Building Performance Simulation Association) が主催する国際会議Building Simulationにおいて、近年“Human Behavior”のセッションが多数設けられているなど、研究の活発化が認められる。

#### (6) キーワード

パーソナル化、居住者行動、情報化、労働スタイル、生活スタイル

（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	○	→	・人間行動に関する研究分野に関して特に顕著な研究は行われていないが、一部の大学などにおいて人間行動からエネルギー消費を予測する研究についての取り組みがみられる。
	応用研究・開発	◎	↑	・スマートオフィスの研究開発では大手建設会社のモデルオフィスなど、多くの事例がみられる。
	産業化	◎	↑	・人感センサなど、多様なセンシング技術に関して国際的に優位である。
米国	基礎研究	○	↑	・国立ローレンスバークレー研究所において居住者行動およびそのエネルギー消費に及ぼす影響に関する研究が実施されている。IEA EBC Annex66の代表を中国とともに務めている。
	応用研究・開発	○	↑	・建築の情報化（スマート化）に関してはかなりの実績を有する。
	産業化	◎	↑	・建築の情報化（スマート化）に関してはかなりの実績を有する。
欧州	基礎研究	○	↑	・建築の居住者行動モデルに関する研究はスウェーデン、イギリスなどで実施されている。
	応用研究・開発	△	→	・目立った動きはない。
	産業化	△	→	・目立った動きはない。
中国	基礎研究	◎	↑	・精華大学を中心に居住者行動に関する研究が活発に実施されている。IEA EBC Annex66の代表を米国とともに務めている。
	応用研究・開発	△	→	・目立った動きはない。
	産業化	△	→	・目立った動きはない。
韓国	基礎研究	△	→	・目立った動きはない。
	応用研究・開発	○	→	・スマートコミュニティ関連の研究は各電機メーカーにより活発におこなわれている。
	産業化	△	→	・目立った動きはない。

（註1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（註2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、△：他国に比べて顕著な活動・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

（8）引用資料

- 1) ジョセフ・ロム, アーサー・ローゼンフェルト, スーザン・ヘルマン著、若林宏明訳. 2000. インターネット経済・エネルギー・環境—電子商取引がエネルギーと環境に及ぼす影響のシナリオ分析—. 流通経済大学出版社
- 2) 総務省. 2011. テレワーク（在宅勤務）による電力消費量・コスト削減効果の試算について [http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000113937.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000113937.pdf)

- 3) IPCC: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Chapter 9 Buildings  
[http://report.mitigation2014.org/drafts/final-draft-postplenary/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_final-draft\\_postplenary\\_chapter9.pdf](http://report.mitigation2014.org/drafts/final-draft-postplenary/ipcc_wg3_ar5_final-draft_postplenary_chapter9.pdf)
- 4) IEA-EBC Annex66 WEBサイト  
<http://www.annex66.org/>

### 3.2.1.3 健康、医療、介護、高齢者支援におけるエネルギーサービス

#### (1) 研究開発領域名

健康、医療、介護、高齢者支援におけるエネルギーサービス※

※) ここでの「エネルギーサービス」とは、エネルギーを消費することで我々が得られる生活や仕事などのアクティビティに必要なサービスのことを示す。

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

高齢化やライフスタイルの変化、また医療技術の進展にともない、エネルギー消費構造も大きく変化すると考えられる。消費構造の変化に伴う新たなエネルギーサービスやそれを可能にする研究開発を推進する。

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

高齢化やライフスタイル、ライフステージの変化にともない、エネルギー消費構造も大きく変化すると考えられる。一般的には、高齢化に伴い在室時間が長くなり、また世帯人数も減少するため、エネルギー消費量は増加すると考えられる。一方、医療費を抑制し、健康寿命を延伸させるには、屋内での不慮の事故防止のほか、筋肉トレーニングや屋外での活動、他者との交流などが効果的とされる。これらは都市形態や交通インフラ、地域コミュニティの状況とも密接に関係することから、間接的にエネルギー消費量にも影響すると考えられ、社会システムあるいはシステム解として対策を考える必要がある。

また、先端医療分野では粒子線照射治療のような大規模かつエネルギーを大量消費する治療法が確立されるなど局地的なエネルギー需要を発生するようになった。拠点的な病院には放射線治療に用いる直線加速器のような先端医療機器が導入されるようになり、医療機関がさらにエネルギー多消費型の施設に変化している。他方、質の高い療養生活や終末期への期待も大きく、在宅での治療や終末医療の役割が大きくなると考えられ、住宅における耐停電性にもこれまで以上の質が求められる。

#### (4) 研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

我が国が直面する少子高齢化や人口減少という局面は、先進国のみならず途上国もいずれ直面する問題であり、課題先進国として臨床的に研究開発を行える環境にある。研究開発の方法論としては、未来シナリオの作成、あるいは望ましい未来を設定してバックキャスト的に現時点における課題を抽出し、研究開発テーマとする方法がある。我が国の未来シナリオは、現時点においては単純なトレンド予測的なものが多いが、社会の複雑な因果関係を模擬するシステムダイナミクス的なアプローチをもつ予測は、分野横断的な取り組みが求められ甚だ貧弱な状況にある。

エネルギーサービス分野においても、これまでの方向性は人口増、経済の拡大に伴う需要にどう対応するかであり、需要が減少する局面にどう対応するか、あるいは生産労働人口が減少し、非労働力人口が増加する局面での多様なエネルギーサービスの有り様については議論が始まったばかりである。

研究開発推進上の課題としては以下が考えられる。

a. 人口・建物の地理的分布とエネルギー消費の関係を表すための民生・運輸部門エネルギー需要予測モデルと関連したメタデータベースの構築

高齢化および人口減少は、居住地の選択や建物の利用方法に大きな影響を与えると考えられるが、これらを加味した民生・運輸部門エネルギー需要予測モデルはみられない。モデル構築に必要な各種メタデータベースも不足しており、その収集と構築が望まれる。

b. 医療・介護施設におけるエネルギー利用に関する研究（省エネ型の医療・福祉機器の開発を含む）

医療器具の目的は生命の維持であり治療であるため、エネルギー消費量については二次的な問題といえるが、高齢化にともない医療や介護のエネルギー消費量は増加しており、本来の目的は維持しつつ、より省エネルギーの機器を開発する必要がある。また、医療機関における災害時の電力供給の確保や、きめ細やかで実効性ある事業継続計画（BCP：Business Continuity Planning）の立案など、実証的な研究が求められる。また、これらの医療機関は加湿や入浴、洗濯などの熱需要が多く、太陽熱エネルギーの活用や廃熱・未利用エネルギーの検討も必要である。

また、このような高い信頼性、あるいは高効率のエネルギー供給を実現するには、系統電力などの従来型の方式のほか、近隣と連携したエネルギー供給体制も考えられる。そのためには、都市計画的な空間計画とエネルギー供給を同時に検討する枠組みが求められる。

c. 自宅での介護・医療向けの省エネルギーとエネルギーセキュリティ

高齢人口の増加に伴い、医療・介護施設の不足が予測され、自宅で治療や介護、また終末期を迎える機会も増えると考えられる。このように自宅においても生命に関わる医療機器が利用されるようになることから、災害時における高い耐停電性を実現するエネルギーサービス、もしくは停電に対応できる医療機器の開発が求められる。

d. トランジション・マネジメント研究

あるべき社会像をいかに実現するか、そのプロセスは工学的技術革新のみならず、経済的政治的、あるいは地域的な合意形成が不可欠で複雑である。このようなトランジション・マネジメントに関する研究は、欧米では合意形成論とともに活発に行われているが、我が国では議論が始まったばかりである。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

住宅分野においては、2014年度に「スマートウェルネス住宅等推進モデル事業」が開始され、高齢者、障害者または子育て世帯の居住の安定確保および健康の維持・増進に資し、高い省エネルギー性能を有する住宅への支援が開始されている。

また省エネルギー対策による直接的便益（EB：Energy Benefit）と、例えば健康面や知的生産性の向上などの省エネ以外の間接的便益（NEB：Non-Energy Benefit）を併せ



て検討するコベネフィットの研究が、欧米や日本で行われている。

(6) キーワード

ICT、センシング、ITS、エネルギー需要予測、政策制度の設計・評価、モーダルシフト、エネルギー自立、トランジション・マネジメント

(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>・2007年に国立環境研究所他が「2050 日本低炭素社会シナリオ：温室効果ガス 70%削減可能性検討」を発表した<sup>1)</sup>。</li> <li>・2007年に国土交通省に健康維持増進住宅研究委員会<sup>2)</sup>が設置され、住宅の断熱性能と疾病の関係性を研究。</li> <li>・2014年開始のスマートウェルネス住宅等推進モデル事業<sup>3)</sup>の一環として、エネルギー消費量と健康に関するアンケート調査を実施予定。</li> <li>・コベネフィットに関連する研究が活性化。</li> </ul>
	応用研究・開発	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>・健康維持増進住宅研究委員会の成果を元として、CASBEE健康チェックリスト<sup>4)</sup>が作成される。</li> <li>・2012年、東京都は「水道版スマートメーター（使用水量の見える化、みまもりサービス）に関する技術」について、共同研究者を募集<sup>5)</sup>。</li> </ul>
	産業化	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>・住まい9つのキーワード—設計ガイドマップ<sup>6)</sup>が刊行され、健康に配慮した住宅建設が活発化。</li> </ul>
米国	基礎研究	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基礎研究としては特筆すべきものは見当たらない。</li> </ul>
	応用研究・開発	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コベネフィット研究として、LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) や国際エネルギースタープログラムの格付けと不動産価格<sup>7)</sup>や健康維持性<sup>8)</sup>との関連に関する研究が行われている。</li> </ul>
	産業化	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スマートメーターを活用した高齢者見守りサービスが実用段階。</li> </ul>
欧州	基礎研究	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基礎研究としては特筆すべきものは見当たらない。</li> </ul>
	応用研究・開発	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>・EUや研究機関によりトランジション・マネジメント研究が行われている<sup>9)</sup>。</li> </ul>
	産業化	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スマートメーターを活用した高齢者見守りサービスが実用段階。</li> </ul>
中国	基礎研究	△	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特筆すべき成果が見当たらない。</li> </ul>
	応用研究・開発	△	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特筆すべき成果が見当たらない。</li> </ul>
	産業化	△	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特筆すべき成果が見当たらない。</li> </ul>
韓国	基礎研究	×	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特筆すべき成果が見当たらない。</li> </ul>
	応用研究・開発	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2009年にサムソン物産は次世代環境共生住宅として「グリーントゥモロー」を建設。省エネルギーとともに健康管理にも重点が置かれている<sup>10)</sup>。</li> </ul>
	産業化	×	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2005年に韓国健康住宅協会が設立され、産学連携した研究開発が行われている。</li> </ul>

(註1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(註2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、  
△：他国に比べて顕著な活動・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

## (8) 引用資料

- 1) 国立環境研究所他. 2007. 2050 日本低炭素社会シナリオ: 温室効果ガス 70%削減可能性検討  
[http://2050.nies.go.jp/report/file/lcs\\_japan/2050\\_LCS\\_Scenario\\_Japanese\\_080715.pdf](http://2050.nies.go.jp/report/file/lcs_japan/2050_LCS_Scenario_Japanese_080715.pdf)
- 2) 国土交通省. 2007. 健康維持増進住宅研究委員会 WEBサイト  
[http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku\\_house\\_tk4\\_000068.html](http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_tk4_000068.html)
- 3) スマートウェルネス住宅等推進事業室. 2014. スマートウェルネス住宅等推進モデル事業 WEBサイト  
<http://iog-sw.jp/>
- 4) (一社) 日本サステナブル建築協会. 2011. CASBEE健康チェックリストの概要  
[http://www.ibec.or.jp/CASBEE/casbee\\_health/files/pamphlet.pdf](http://www.ibec.or.jp/CASBEE/casbee_health/files/pamphlet.pdf)
- 5) 東京都. 2013. 水道版スマートメーター (使用水量の見える化、みまもりサービス) に関する技術  
<http://www.metro.tokyo.jp/INET/BOSHU/2013/02/22n24201.htm>
- 6) 健康維持増進住宅研究委員会他. 2013. 健康に暮らす住まい9つのキーワード—設計ガイドマップ. 建築技術.
- 7) M. J. Nils Kok. 2012. The impact of energy labels and accessibility on office rents. *Energy Policy*. vol. 46, p. 489-497.
- 8) K. R. Smith, E. Haigler. 2008. Co-Benefits of Climate Mitigation and Health Protection in Energy Systems: Scoping Methods. *Annu. Rev. Public. Health*. 第29巻. pp. 11-25.
- 9) D. A. Loorbach. 2007. Transition Management New mode of governance for sustainable development, AD Druk.
- 10) samsungvillage. 2009. Living a Life the Sustainable and Smart Way  
<http://www.samsungvillage.com/blog/2011/11/10/samsungblog-living-a-life-the-sustainable-and-smart-way/>

### 3.2.1.4 省エネ対策がもたらすコベネフィットの評価と見える化

#### (1) 研究開発領域名

省エネ対策がもたらすコベネフィットの評価と見える化

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

居住空間における断熱向上がもたらす健康維持増進効果など、エネルギーの効率的利用がもたらすさまざまな便益、すなわちコベネフィットの評価と活用を推進する。便益に併せて副作用としての損失についても、工学と医学、人文・社会科学の学際的な研究を推進する。

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

エネルギーの効率的な利用は、さまざまな便益をもたらす。例えば省エネがもたらす多面的便益として、化石燃料の消費削減に伴う大気汚染防止やそれに伴う健康改善、さらには、燃料輸入費用の削減、エネルギーセキュリティの向上などを指摘することができる。多面的便益は、省エネルギーにつながる直接的便益（EB：Energy Benefit）と、省エネ以外の間接的便益（NEB：Non-Energy Benefit）に大別できる。EBとNEBとを合わせて、ここではコベネフィットと呼ぶ。

住宅断熱への投資を考える場合、費用対効果の観点からの判断が重要となる。断熱向上による省エネ効果であるEBのみでは投資回収は容易ではない。しかし健康改善というNEBを加えると投資回収ははるかに容易になり、断熱の普及に弾みがかかることになる。

また住宅の断熱化については、これに関係するステークホルダーごとにさまざまなコベネフィットを提供する<sup>1)</sup>。まず居住者にとってのコベネフィットは、EBとしては光熱費の削減がある。NEBとしては、健康性や快適性、遮音性、安全性の向上、メンテナンス費用削減、知的生産性向上などのさまざまな正の便益があるが、一方で住宅購入費や改修工事費の増加のような負の便益もある。次に住宅供給産業においては、断熱材を多く使用するために建設時のエネルギー消費量が増え建設コストが上昇する負の便益があげられるが、建物の付加価値向上やCSR（企業の社会的責任）推進への貢献という正の便益になるNEBがある。行政や社会というステークホルダーにおいては、EBとして化石エネルギー輸入量の減少やCO<sub>2</sub>排出量の削減があり、NEBとしては環境政策推進への貢献や環境政策に対する市民の意識向上、産業活性化の促進、雇用創出などがあげられる。

従来は、住宅断熱による便益としては光熱費削減のEBのみに価値判断をおいた評価がなされてきた。しかし、上記のとおり省エネルギー化にはさまざまなNEBという価値が含まれている。省エネルギー化による便益を考える場合、従来のEBに加えてNEBも含めたコベネフィットの評価が重要となり、この研究が必要となる。

国内でのコベネフィット評価の代表的な研究として、住宅の断熱性向上に伴う疾病改善率の定量化やコベネフィットを金額換算して断熱工事の投資回収に関する研究がある<sup>2)</sup>。住宅の転居に伴い断熱性能が向上した人々1万人以上を対象とし、有病割合の改善に関する調査（アンケート調査）を行った。その結果、心疾患や脳血管疾患など評価した10種類の疾患すべての有病割合が、転居前から転居後に大幅に低下した。この有病割合の改善をNEBとして貨幣価値換算した結果を用い、住宅の断熱工事費用の投資回収年数が約29年

から約16年に短縮されるとの試算をしている。加えて医療費の行政負担分を考慮すれば、投資回収年数はさらに短縮されると試算している。

また、オフィスにおける知的生産性の価値をNEBとする研究も行われている<sup>3)</sup>。調査結果によると、夏季屋内における執務環境が約26°Cのときに知的生産性（加算テストやタイピングテストなどの知的作業）の効率のピークが現れ、室温がそれより高くても低くても知的生産性が低下することが解った。これは節電と知的生産性のトレードオフ問題が発生することを示している。EBの観点では夏季における冷房による室温設定は高めの方がよいが、知的生産性が低下すればその分を補填するための労働時間延長や人員の増加、残業による冷房稼働時間の増加など、さまざまな負のNEBが発生することが考えられる。知的生産性が求められる職場や学習環境において省エネ化に取り組む場合には、EBだけでなくNEBを含めたコベネフィットの観点での検討が必要である。

低炭素化に向けた面的エネルギー利用におけるコベネフィットに関する研究も行われている<sup>4,5)</sup>。面的エネルギー利用とは、隣接する建物間のエネルギーの融通を通じて、建物単体では成し得ない省エネルギー化やCO<sub>2</sub>削減を図る取組みを指している。本研究では、都心の駅前地区をモデルとしたケーススタディを行い、同地区において低炭素化に向けた取組みを実施した際の、EBとNEBに着目した費用対効果について分析している。低炭素化対策にかかる総コスト（費用）とEBとの比較ではコストの方が大きいですが、NEBを金額換算してEBと合算した便益として比較すると、便益の方がコストよりも大きくなる結果が試算されている。

海外においても、建築物の断熱化が健康にもたらすNEBの定量化に向けた研究が行われている。例えば、ニュージーランドにおける大規模な介入実証実験では、断熱改修を行った住宅と行っていない住宅における室内快適性と居住者の健康状態（風邪、不眠など）の差異を定量的に調査し、住民の欠勤が減少し、主観的な健康感が向上したことを報告している<sup>6)</sup>。

建築分野におけるエネルギー消費やCO<sub>2</sub>削減を対象としたコベネフィットに関わる研究としては、健康価値の定量化のほかに、環境（生態系）の価値や経済・金融的価値、サービス提供の価値、社会的価値などをNEBとして評価した研究が、北欧や英国、米国などで行われている<sup>7)</sup>。また、NEBが本来の目的である省エネルギーの価値を超える場合があることも指摘されている<sup>8)</sup>。

また、建築分野以外の民生部門や運輸部門においても、コベネフィットの評価や見える化は重要である。例えば自動車の燃費向上や電動化によるEBは化石燃料消費量の削減であるが、NEBとなる大気汚染防止費用削減や大気浄化による健康性向上、道路維持管理コスト低減などをコベネフィットとして評価し、エネルギーの効率的利用を推進していくことも重要となる。

#### （4）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

もっとも重要な研究課題は、断熱向上などのエネルギーの効率的利用がもたらす波及効果を広く俯瞰し、新たな価値意識とともに新たな便益をなるべく数多く発見することである。そのためには幅広い視点、価値観が必要とされ、工学系の研究者だけでなく、社会学、経済学、教育学、倫理学、消費者行動学、心理学、脳生理学などの研究者が参

画した学際的な研究が必要である。

次に重要な研究課題は、発見された新たな便益を定量化し、例えば貨幣価値換算して示す、“見える化”の手法を開発することである。前述した住宅断熱化と健康増進に関する研究では、有病割合の改善を休業損失予防と医療費削減による便益として貨幣価値に換算し、“見える化”している。ただし、こうした試算はアンケート結果に基づき算定されたものであり、便益が過大評価されている可能性がある。また、疾病改善に対しての医学的・疫学的裏付けが必要である。このように、“見える化”手法の開発に当たっては、NEBの貨幣価値換算の精度向上や、得られた結果の妥当性の精査も課題と考えられる。

また、エネルギーの効率的利用は便益だけでなく副作用としての損失も発生させることがある。例えば、換気設備を設置せずに住宅の省エネのため気密性を向上させると室内空気汚染を招き、シックハウス症候群を誘発する可能性がある。したがって、エネルギーの効率的利用の計画においては、コベネフィットと損失を体系的にレビューし、前者の最大化と後者の最小化のための方策を見出す研究が必要である。なお、こうした研究を実施する際にも、上述したようなさまざまな分野の研究者の参画が必要である。

コベネフィットに関する重要な社会的課題として、エネルギーに視点を置いた価値であるEBのみが重視され、エネルギー以外の価値であるNEBが広く社会に認められていないということがあげられる。例えば、建設などの事業評価において内部収益率（IRR：Internal Rate of Return）を算定する際には、電気料金などの光熱費削減といったEBは算定に含まれるが、NEBについては算定に含まれていない。また、断熱や空調機器により建物内の温熱環境を管理・調整する際には、EBである省エネルギー化のみに焦点が当てられ、建物内にいる居住者の健康面や知的生産性の向上（または低下）といったNEBについては、あまり考慮がされていない。省エネ対策がもたらすコベネフィットの評価と見える化を推進するためには、金融機関を含めた社会全体がコベネフィットによる価値を広く認知し、実社会がこの考えを取り入れて導入していくための、政策的支援や制度化も必要である。

#### (5) 注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

- ・コベネフィットに関する国際的議論が活発化している。2014年4月に公表された気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）第5次評価報告書の気候変動の緩和策に関する第三作業部会報告書（AR5WGIII）において、建築分野における気候変動の大半の緩和策は、エネルギーコスト削減に加え、健康増進など多様なコベネフィットを提供することが明示されている<sup>9)</sup>。報告書においてコベネフィットはさまざまな面から整理されており、例えば健康・環境面では屋内外の汚染抑制やエコシステムの保全、上水・下水量の抑制などがあげられ、経済面においては雇用創出やエネルギーセキュリティ、建物の資産価値向上などがあげられている。さらに社会面においては燃料貧困緩和や騒音改善、女性や子供の生産的時間増加などがあげられている。一方で副作用面も提示されており、換気不足による有害物質の増加や燃料貧困者の支出増加などをあげている。IPCC報告書においてコベネフィットの評価が高まっているのはよい進展であり、日本でこれまで進んでいた健康に

関するコベネフィットの研究事例が世界に広く認知されるようになってきている。

- ・国土交通省における高齢者・障害者・子育て世帯の居住の安定確保および健康の維持・増進に資する事業として「スマートウェルネス住宅等推進モデル事業」が2014年度より始まっている<sup>10)</sup>。その中において、住生活空間の健康影響を医学・疫学的見地に基づく研究と追跡調査を全国で行おうとしている。本事業は、医学と建築環境工学の研究連携で行うことが、従来にない特長の一つである。
- ・省エネルギーのEB的な観点において、夏季・冬季の冷暖房による室内温度はそれぞれ「28℃」「20℃」を環境省では推奨している。近年、東京都など一部自治体では、NEBである快適性や知的生産性向上の観点からの「賢い節電」を推進しており、例えば夏季においては「実際の室温で28℃を目安に、それを上回らないように」との推奨に変化している<sup>11)</sup>。
- ・低炭素化に向けたコミュニティや街単位の面的エネルギー利用に対する取り組みにおいては、長期に渡って多額投資してもなかなか利益率向上に寄与することが難しい。品川駅前地区をケーススタディとした研究例では、街区の不動産価値向上や地域の業務・生活継続計画（BLCP：Business and Living Continuity Plan）への貢献、執務者の知的生産性向上などのNEBを金額換算することで、費用対便益が大幅に改善することを示している<sup>4,5)</sup>。
- ・欧州における効率的エネルギー経済を推進する研究協議会（ECEEE：European Council for an Energy Efficient Economy）<sup>12)</sup>においても、コベネフィットに関する研究が近年、注目されてきている。ECEEEには建築系やエネルギー系の研究者に加え、社会学者や経済学者、心理学者、哲学者などの学際的な研究者が参加している。米国にも同様の研究協議会（ACEEE：The American Council for an Energy-Efficient Economy）<sup>13)</sup>が存在する。一方日本では、建築や化学、電気などの各専門分野の学会内でそれぞれが研究推進しているのが現状であり、ECEEEのような学際的な研究協議会が存在しない。

## （6）キーワード

EB（Energy Benefit）、NEB（Non-Energy Benefit）、断熱、健康、知的生産性、貨幣価値換算、見える化、内部収益率（IRR）

（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	◎	→	・ 建築分野において健康とコベネフィットに関する研究が行われている。 ・ 知的生産性をコベネフィットとする研究は他国ではみられない研究である。
	応用研究・開発	◎	→	・ 建物断熱の普及を図るために、健康増進を貨幣価値換算した研究成果がみられる。
	産業化	○	↗	・ IPCC/AR5報告書より、コベネフィットに関する議論が活発化している。 ・ 国交省により、高齢化対応や健康維持・増進に資する住宅推進の事業が、医工連携や住宅事業者を巻き込んだプロジェクトとして始まっている。
米国	基礎研究	○	→	・ 建物の省エネやCO <sub>2</sub> 削減に対して健康価値の定量化や経済・金融的価値をコベネフィットとする研究が行われている。
	応用研究・開発	○	→	・ 建物の省エネやCO <sub>2</sub> 削減に対して健康価値の定量化や経済・金融的価値をコベネフィットとする研究が行われている
	産業化	△	→	・ コベネフィット研究に対するプロジェクトや支援はあまりみられない。
欧州	基礎研究	◎	→	・ 概論的なNEB研究への着手は、日本よりも早い時期から始まっている。 ・ 研究は日本と並んで先行しており、研究例も多い。
	応用研究・開発	◎	→	・ 研究は日本と並んで先行しており、研究例も多い。 ・ 特に北欧やイギリス、ドイツなどで研究が進んでいる。
	産業化	○	↗	・ IPCC/AR5報告書より、コベネフィットに関する議論が活発化している。 ・ ECEEEにおいて、コベネフィットに関する研究が注目されている。 ・ 2008年のリーマンショック後の景気対策のために、健康増進などのコベネフィットに着目した建物の改修やリノベーションを促進するプロジェクトがある（renovate EU <sup>14)</sup> 。
中国	基礎研究	×	→	・ 特筆すべき活動はみられない。
	応用研究・開発	×	→	・ 特筆すべき活動はみられない。
	産業化	×	→	・ 特筆すべき活動はみられない。
韓国	基礎研究	×	→	・ 特筆すべき活動はみられない。
	応用研究・開発	△	→	・ 先行する日本や欧州の研究を追って、研究が始まりつつあるようである。
	産業化	×	→	・ 特筆すべき活動はみられない。

（註1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（註2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・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

## (8) 引用資料

- 1) 村上周三. 2012. スマート&スリム未来都市構想 (エネルギーフォーラム) .
- 2) 伊香賀俊治,江口里佳,村上周三,岩前篤,星且二,水口仁,川久保俊,奥村公美. 2011. 健康維持がもたらす間接的便益 (NEB) を考慮した住宅断熱の投資評価. 日本建築学会環境系論文集. 76. 666. 735-740
- 3) 多和田友美,伊香賀俊治,村上周三,内田匠子,上田悠. 2010. オフィスの温熱環境が作業効率及び電力消費量に与える総合的な影響. 日本建築学会環境系論文集. 75. 648. 213-219
- 4) カーボンマイナス・ハイクオリティタウン調査報告書  
[http://www.jsbc.or.jp/project/2010/pdf/carbon\\_minus.pdf](http://www.jsbc.or.jp/project/2010/pdf/carbon_minus.pdf)
- 5) 工月良太,伊香賀俊治,村上周三. 2010. エネルギーの面的利用がもたらす間接的便益 (NEB) に関する研究—ステークホルダーの多面的便益の抽出とその配分に関する研究. 日本建築学会環境系論文集. 75. 653. 645-652
- 6) Philippa Howden-Chapman, Anna Matheson, Julian Crane, Helen Viggers, Malcolm Cunningham, Tony Blakely, Chris Cunningham, Alistair Woodward, Kay Saville-Smith, Des O' Dea, Martin Kennedy, Michael Baker, Nick Waipara, Ralph Chapman, Gabrielle Davie. 2007. Effect of insulating existing houses on health inequality: cluster randomised study in the community, BMJ, doi:10.1136/bmj.39070.573032.80.
- 7) Diana Ürge-Vorsatz, Aleksandra Novikova, and Maria Sharmina, Counting good: Quantifying the co-benefits of improved efficiency in buildings, ECEEE 2009 Summer Study · ACT! INNOVATE! DELIVER! REDUCING ENERGY DEMAND SUSTAINABLY, p.186.
- 8) Martin Schweitzer and Bruce Tonn. 2002. Nonenergy Benefits from the Weatherization Assistance Program: A summary of Findings from the Recent Literature, ORNL/CON-484.  
[http://weatherization.ornl.gov/pdfs/ORNL\\_CON-484.pdf](http://weatherization.ornl.gov/pdfs/ORNL_CON-484.pdf)
- 9) IPCC AR3 WG3 WEBサイト  
<http://www.ipcc-wg3.de/>
- 10) スマートウェルネス住宅等推進モデル事業  
<http://iog-sw.jp/entries/>
- 11) 東京都環境局 WEBサイト  
<http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/climate/>
- 12) ECEEE WEBサイト  
<http://www.eceee.org/>
- 13) ACEEE WEBサイト  
<http://www.aceee.org/>
- 14) RENOVATE EUROPE WEBサイト  
<http://www.renovate-europe.eu/>



### 3.2.2 エネルギー効率の高いサービスの提供

#### 3.2.2.1 エネルギー消費実態の把握

##### (1) 研究開発領域名

エネルギー消費実態の把握

##### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

エネルギーの有効利用と省エネルギー化を図るためには、時刻別や消費先別などの消費実態を把握するとともにその将来予測をする必要がある。そのために、安価で信頼性あるエネルギー消費の計測を実現するセンシング技術や効率的にデータを収集する制度的問題の解決、省エネルギー対策を立案するためのエネルギー消費の決定要因の分析、将来の需給体制の基礎となるエネルギー消費の予測の研究開発の推進が必要である。また、これらのデータを活用することにより社会構造変化を促す社会技術などの研究も必要である。

##### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

産業や運輸部門、民生業務や家庭部門におけるエネルギー消費実態は、エネルギーの有効利用と省エネルギー対策立案の基礎情報であり、技術開発の方向性を定める上でも、省エネルギー政策を立案する上でも、また将来予測を行う上でも基盤となる情報である。

事業者単位のエネルギー消費実態では、一定規模以上の事業者が、エネルギーの使用の合理化等に関する法律（以下、省エネ法）に基づき、定期報告書を政府に提出している。しかし、その指標となる「エネルギー使用に係わる原単位」はセクター別ベンチマーク指標が設定されている10事業を除き、各事業者がおの自由で設定できるため、横並びで評価できない。またデータを収集した目的以外での利用は厳しく制限されているため、政府としてもデータを収集してはいるが、活用は限定的という状況が続いている。

各業界団体もエネルギー消費実態を把握する調査を実施しているが、サンプル数が乏しかったり規模や地域に偏りがあつたりして信頼性に乏しいのが現状である。マクロ的な視点では、資源・エネルギー統計や電力調査統計、産業連関表などにより、部門別のエネルギー消費実態が把握されているが、使用先別などの詳細な内訳については推計に留まっている。我が国では2010年に、産官学が連携して作成した全国レベルの非住宅建築物のエネルギー消費量データベース（DECC：Data-base for Energy Consumption of Commercial building）が公開され、月別のエネルギー消費量に関しては一定の信頼性あるデータが入手可能になったが、サンプル数が不十分な用途や地域があることや、時刻別・消費先別のデータがないなど、依然データベースとしては十分ではない。

スマートメーターやBEMS（Building Energy Management System）、HEMS（Home Energy Management System）に代表されるICTの進化により、エネルギー消費実態の収集そのものは容易になりつつある。この大量のデータ（ビッグデータ）には、新たな技術開発の方向性を示し、また効果的な対策や政策立案を支援できる可能性が秘められている。しかし、その収集方法や取り扱いには、プライバシーの侵害や情報漏洩といったセキュリティの問題もあり、その活用には技術革新のみならず社会的な合意形成が不

可欠である。欧米はスマートメーターの導入においては日本に先行しているが、その利用については日本と同様の問題を抱えている。

我が国ではトップランナー方式として知られる家電機器などの機器別のエネルギー効率の公開は、市場メカニズムを用いたエネルギー効率の改善政策として高く評価されている。欧米や中国でも同様の制度を整備し効果を上げている。欧米では建築物においても、環境性能を公開することにより、市場メカニズムを用いて建築ストックの質の向上を図っている。米国では **Energy Star** による建築物の格付けが公開されているほか、EU加盟国では不動産取引時にエネルギー消費実態に基づく格付け情報を建物所有者が提供することを義務づけている。このように社会制度を通じてエネルギー消費実態をビッグデータとして把握し、そのデータ活用により市場メカニズムを働かせ、よりエネルギー効率の高い製品、建築が選好され、社会のエネルギー効率の改善が自律的に進む社会制度設計に関する研究が、欧米では積極的に行われている。

#### （４）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

エネルギーの消費実態の把握に関連する研究開発は、大きく次の5つに分けられる。

##### a. センシングに関連する技術開発

エネルギー消費実態の把握は、より精緻化、より社会制度化する傾向にあり、コストダウンと信頼性を高める必要がある。料金精算に使用する場合は計量法の対象となり日本では有効期間での交換が求められることから、コストと信頼性の両立が極めて重要となる。

##### b. データの収集に関連する制度的課題

制度によって収集されているエネルギー消費のデータは必要最小限のデータであることが多く、かつ使用目的が制限されている。学術目的や各種団体が収集したデータは偏りがある場合が多く、かつ守秘義務がある場合も多い。エネルギー事業者も同様に守秘義務を負っている。このような制約の中で、国民や事業者に負担をかけず、有意なエネルギー消費データを蓄積するには、守秘義務の緩和やデータの相互利用、あるいは公的的制度の中で自動的にデータ収集が進むような制度構築が求められる。このような研究成果は、途上国における制度設計支援として展開することで、より効率的にデータ収集でき、また発展段階に応じた商品開発や制度設計にも寄与できると考えられる。

##### c. エネルギー消費の決定要因の分析

エネルギー消費の決定要因を精緻に分析することにより、新たな技術開発や運用による省エネ、効果的な政策に関する示唆が得られる可能性が高い。従来の統計解析や数値シミュレーションに加え、ビッグデータやオープンデータなど新たなデータも利用可能になりつつあり、これまでとは異なった精度での決定要因分析が可能になりつつある。

##### d. 気候変動やライフスタイルの変化を織り込んだ、将来のエネルギー消費の予想

少子高齢化や人口減少による社会構造の変化、それに伴う都市の縮退やさらなる一極

集中、地球温暖化の進行やライフスタイルの変化など、エネルギー消費の環境は刻一刻と変化している。効率的なエネルギー需給体制を計画するには、変動する要素を織り込みながらベースとなるエネルギー需要を予測するモデルの構築が不可欠である。特に寿命が長い建築物に関する省エネルギー対策を立案するには、これら将来の環境変化を織り込んだLCA (Life Cycle Assessment) 的発想に基づく技術開発や設計、制度設計が必要である。

#### e. 社会構造変化を促すエネルギーデータの活用

エネルギー効率などの環境性能を格付けし、性能を見える化することで競争を促すトップランナー方式などは、自動車やエアコンなど一部の耐久消費財に導入され成功を収めている。しかし、更新サイクルが長い建築物では新築建築物の評価だけでは不十分で、既築建築物の評価手法の開発とその情報の活用に関する社会システムの開発が望まれる。日本は政策的に新築に重点が置かれてきたことから対策が遅れているが、欧米ではすでに制度の運用が開始され、不動産価格にも影響を与えていることが分かっている。特にテナントビルにおける省エネ性能の向上は、省エネルギー投資による受益者が建物利用者となり、建物所有者の投資意欲が乏しい。これらは環境性能を含む不動産情報の透明性を高めることにより改善すると考えられるが、日本は非常に遅れており対策が求められる。

### (5) 注目動向 (新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など)

近年、不動産取引時における環境性能の把握と公開を定めた欧州指令EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) や米国のCBECS (Commercial Buildings Energy Consumption Survey) やEnergy Star評価と不動産価値の統計的相関分析が積極的に行われ、数%から10%程度の差異が存在することが指摘され始めている。このような分析に基づき、環境性能の違いが投資利回りにも影響するとして、グローバル不動産サステナビリティ・ベンチマーク (GRESB: Global Real Estate Sustainability Benchmark) のような不動産投資ポートフォリオの格付けも普及し始めている。このような評価では実績値を重要視しており、我が国としても評価に耐える実績値データベースの構築が期待されている。

また、その実態把握の手法としても、国際連合環境計画 (UNEP: United Nations Environment Programme) が「COMMON CARBON METRIC (共通のカーボン指標)」として標準化を進めており、それらへの対応も重要となる。

### (6) キーワード

ICT、ビッグデータ、センシング、需要予測、消費者行動、コベネフィット、エネルギーマネジメント

（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>省エネ法のセクター別ベンチマークが10業種<sup>1)</sup>で策定されており、そのための基礎研究は概ね完了。</li> <li>民生業務部門建築物ベンチマークは現在策定に向けて検討中。</li> <li>民生業務建築物のエネルギー消費実態については、行政による届出制度<sup>2)</sup>やDECC<sup>3)</sup>などの学術研究や民間団体による調査<sup>4)</sup>が行われている。</li> </ul>
	応用研究・開発	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>スマートメーターやBEMSなどを活用した詳細なデータ取得の方法については、計測区分の定義の共通化など実効性と負担を低減する努力が必要<sup>5)</sup>。</li> </ul>
	産業化	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>スマートメーターやICTを活用した制御が自動車や一部空調機器で登場。</li> <li>実態データのオープンデータ化など、データを産業化に活かすためのさらなる法整備が必要。</li> </ul>
米国	基礎研究	◎	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>民生業務建築物ではCBECSによる実態把握が行われている<sup>6)</sup>。</li> </ul>
	応用研究・開発	◎	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>CBECSに基づく格付け評価に関する研究が積極的に行われている。</li> </ul>
	産業化	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>LEED（Leadership in Energy and Environmental Design）やEnergy Starによる格付けが民間事業として行われ、不動産価値にも反映し始めている<sup>7,8)</sup>。</li> </ul>
欧州	基礎研究	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>EU28カ国の事業種別のエネルギー消費量の原単位を調査している。エネルギー消費量効率に関するデータベース（ODYSSEE）と対策に関するデータベース（MURE）が公開されている<sup>9)</sup>。</li> <li>EPBDの基礎データとして、エネルギー消費実態調査が各国で行われている<sup>10)</sup>。</li> </ul>
	応用研究・開発	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>2010年にUNEPがCOMMON CARBON METRICとして建築物の二酸化炭素排出量の算出方法を標準化<sup>11)</sup>。</li> <li>EPBDの格付けの相違による不動産価値の違いなど、経済的観点からみた研究が行われている<sup>12)</sup>。</li> </ul>
	産業化	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>各家電製品に基準値が定められ、エネルギーラベルによる性能の見える化が行われている。</li> </ul>
中国	基礎研究	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>かつては日本との共同研究も行われていたが、積み上げ的なエネルギー消費実態については外部から詳細がわかりにくくなってきている。</li> <li>中国精華大学建築節能研究中心は、中国建築節能年度発展研究報告を毎年出版している。</li> </ul>
	応用研究・開発	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>1997年中華人民共和国節約能源法（省エネルギー法）が制定され、順次改定が続けられている。</li> </ul>
	産業化	△	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>省エネルギー法が制定され、建築物の省エネルギー対策設計基準も制定されたが、基準を満たす建物の割合は低い。</li> </ul>
韓国	基礎研究	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>民生業務建築物のエネルギー消費実態把握は学術研究として行われている段階。</li> </ul>
	応用研究・開発	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>2025年からすべての新築建築物に対して二酸化炭素を排出しないゼロ・エネルギー建築の義務化。</li> </ul>
	産業化	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>家電製品については、韓国エネルギー管理公団により1992年よりエネルギー効率の届け出とラベリング制度が開始。自動車や冷蔵庫など32製品が対象。2010年からは集合住宅のエネルギー消費量をインターネットで公開し、競争原理により選好が進むよう工夫している。</li> </ul>

## (註1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

## (註2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・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

## (8) 引用資料

## 1) 資源エネルギー庁 省エネ法の概要

[http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saving/summary/pdf/2014\\_gaiyo.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/summary/pdf/2014_gaiyo.pdf)

## 2) 東京都 地球温暖化対策報告書

<http://www8.kankyo.metro.tokyo.jp/ondanka/seido/index.html>

## 3) (一社) 日本サステナブル建築協会 DECC非住宅建築物の環境関連データベース

<http://www.jsbc.or.jp/decc/>

## 4) (一財) 日本ビルエネルギー総合管理技術協会. 2014. 建築物エネルギー消費量調査報告【第36報】

## 5) 空気調和・衛生工学会 平成26年度 学術調査研究事業 活動計画

[http://www.shasej.org/gaiyou/iinkai\\_keikaku2014/gakujuysukenkyuujigyo.pdf](http://www.shasej.org/gaiyou/iinkai_keikaku2014/gakujuysukenkyuujigyo.pdf)

## 6) EIA Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS).

<http://www.eia.gov/consumption/commercial/>

## 7) M. J. Nils Kok. 2012. The impact of energy labels and accessibility on office rents. Energy Policy. 46. 489-497.

## 8) JETROレポート.2011. 米国の省エネルギー推進(建築物に対する省エネ支援-LEED の認定効果)

[http://www.jetro.go.jp/world/n\\_america/us/environment/trends/1103005.pdf](http://www.jetro.go.jp/world/n_america/us/environment/trends/1103005.pdf)

## 9) ODYSSEE MURE PROJECT

<http://www.odyssee-mure.eu/>

## 10) E. Commission Concerted Action (CA) EPBD.

<http://www.epbd-ca.eu/>

## 11) U. SBCI. Common Carbon Metric.

<http://www.unep.org/sbci/pdfs/uNEPSBcarbonmetric.pdf>

## 12) N. Dirk Brounen. 2012. On the economics of energy labels in the housingmarket. Journal of Environmental Economics and Management. 62.166-179.

### 3.2.2.2 ネットワークとビッグデータの活用

#### (1) 研究開発領域名

ネットワークとビッグデータの活用

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

ここでのネットワークとビッグデータの活用とは、配電ネットワーク、電気自動車運行ネットワーク、HEMS（Home Energy Management System）ネットワークなどさまざまなネットワークから収集されるビッグデータを分析し、平和で安全・安心して暮らしていくためのエネルギーサービスやマーケティングの可能性を探究することである。これに向けた課題として、エネルギー消費データなどを収集できる実証プロジェクトなどの公的支援や、HEMS機器などの継続的利用に向けた技術の研究、サイバーセキュリティの確保といった取組の産官学連携があげられる。また、ネットワークとビッグデータの活用を実践するための機械学習のような基盤技術を用いた、独創的なエネルギー利用サービスの実現に向けた、産官学連携の研究プロジェクトも必要である。

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

ネットワークの活用とは、従来、Google、Yahoo、MicrosoftなどのWeb上の情報検索を提供する民間組織が、一般に開放されているネットワーク化されたWeb上のビッグデータを収集、分析、分析結果に基づいたサービスを消費者へフィードバックするということを主に意味してきた。一方、エネルギー分野では、スマートメーターの導入などにより、ネットワーク化されたスマートグリッドが構成され、エネルギー消費の膨大な詳細データが以前より低コストで収集できるような状況になりつつある。つまり、エネルギーの分野でも膨大なデータの収集、分析、分析に基づいた情報をユーザへフィードバックするというネットワークの活用ができるような状況になりつつある。エネルギー分野では、スマートメーターに基づくネットワークやHEMS間のネットワークなど、従来存在しなかったネットワークの活用の研究がしばらく継続すると予測される。

ビッグデータの活用とは、従来、Google、Yahoo、Microsoftなどが日々蓄積される情報検索情報に基づき、検索語に対するWebページのランキング更新など、ネットワーク化されているWeb上のデータを分析し、分析結果に基づいたサービスの消費者への提供というものが主だったものであった。現在は、エネルギー消費などのエネルギー利用に関連するデータが、スマートメーターやHEMSネットワークから低コストで収集可能となりつつある。そのため、ビッグデータの活用には、収集されたエネルギー利用関連のデータを分析し、エネルギーの利用や選択の場面での消費者心理の研究や、消費者心理にまで踏み込んだサービスの開発なども含まれてくる。エネルギー分野では、消費者心理にまで踏み込んだサービスを開発するために、エネルギー消費における人間の行動のセンシングや、国内外におけるスマートコミュニティ実証プロジェクトなど公的に支援された事業において、エネルギー消費行動データに基づく消費者のエネルギー利用の分析、分析結果に基づくサービス創出といった研究が、しばらく継続すると予測される。

国際比較については、ネットワークとビッグデータの活用を実践するデータマイニング、機械学習、最適化技術、可視化技術などの基盤技術の研究では、米国・日本・欧州

で非常に高い研究レベルを維持している。中国・韓国は、日欧米に留学していた優秀な学生が研究者として多数帰国しており、ある程度の基盤技術の研究レベルを維持している。エネルギー分野におけるネットワークとビッグデータの活用研究については、大きなプロジェクト研究が米国・欧州・日本においてほぼ同時期に推進されている。ネットワークとビッグデータの活用は、ネットワーク化されたある種のコミュニティが存在し、そのネットワーク上で蓄積できるデータが存在することが前提となるため、Google、Yahoo、MicrosoftなどのWeb上の膨大なデータを扱う組織がネットワークとビッグデータの活用に関する研究を先導してきた。今後は、エネルギー分野において、スマートメーターなどの継続的にデータを収集できるネットワークの構築と、収集されたデータの分析結果に基づく、新たなエネルギーサービスの創出研究が進展すると予測される。

#### (4) 研究開発推進上の課題・ボトルネック (科学技術的課題、政策的課題)

エネルギー分野におけるネットワークとビッグデータの活用においては、スマートメーターを基盤とするネットワークやHEMSネットワークなどがまだ本格的に実運用されていないため、どのようなデータが、どれくらいの時間間隔で収集されるのかも不明なところがある。そのため、エネルギー消費に関するデータを収集するネットワークが実運用されるまでは、エネルギー消費反応データなどを収集できるスマートコミュニティ実証プロジェクトなどのような公的に支援された事業によって、ネットワークとビッグデータの活用の研究を牽引する必要がある、これは世界的な課題となっている。

スマートメーターで収集されるエネルギー消費のデータやHEMSネットワークで収集されるエネルギー利用関連データなどのビッグデータを分析し、消費者心理に踏み込んだ研究やサービス開発が国内外で盛んになりつつある。しかし、消費者心理に踏み込んだ研究やサービス開発は、消費者個々人のエネルギー利用関連データが収集できることが前提となるが、HEMSにおける「見える化」が数ヶ月で飽きられてしまう状況を考えると、継続的なエネルギー利用関連データの収集は困難な状況が危惧される。そのため、今後は「見える化」に代わる「興味持たせる化」、「振り向かせる化」といった技術の研究開発が重要となると考えられる。

エネルギー分野におけるネットワークとビッグデータの活用は、デマンドレスポンスやリアルタイムプライシングなどのサービスとの関連が深い。いずれのサービスも個人情報扱う一種のフィードバックを含む制御系であり、プライバシー保護とサイバーセキュリティの確保が非常に重要となる。プライバシー保護については、JST-CRESTの「ビッグデータ統合利活用のための次世代基盤技術の創出・体系化」<sup>1)</sup>でプライバシー保護に関連する研究課題が採択されるなど、研究が進行中といった状況にある。エネルギーを制御するネットワークは、従来は他のネットワークとは分離されていたため、物理的にサイバーセキュリティが確保されていた。しかし将来、消費者への有用なサービスを提供するためには、電気自動車 (EV: Electric Vehicle) 運行ネットワークやHEMSネットワークなどさまざまなサービスネットワークとエネルギーを制御するネットワークとを物理的に分離することは難しくなってくる。安全に、安心してネットワークとビッグデータを活用するためには、さまざまなネットワーク情報との統合が求められる制御系ネットワークにおけるサイバーセキュリティの確保を継続的に研究・教育する組織

が必要となると考えられる。

我が国では、ビッグデータ分析の基礎研究に携わる研究者は多く、高い研究レベルを維持している。前述のJST-CREST「ビッグデータ統合利活用のための次世代基盤技術の創出・体系化」など、ビッグデータ活用の基礎研究に関連するプロジェクトもあり、現在、その研究レベルの維持が可能となっている。基礎研究レベルの維持は可能なものの、エネルギーの安定供給を満たしながら、消費者側の視点からのエネルギーを用いた新たなサービスを研究するような大規模なプロジェクトが我が国にはない。また、我が国の大学には、エネルギー供給の仕組みとエネルギーを利用したサービスについて、体系的に学べる専攻がない。エネルギー分野におけるネットワークとビッグデータの活用において、学術および産業応用の面で国際的な競争力を高め、我が国の成長戦略を実現するためにも、産官学が連携し、ネットワークとビッグデータを活用した独創的なエネルギー利用サービスの探索・開発・実現研究プロジェクトを継続して、立ち上げていく必要がある。

ネットワークとビッグデータの活用により、安全、安心な社会を築いていくためには、ビッグデータ分析ができる人材確保のための教育制度の設計、ビッグデータにおける個人情報保護制度の設計、ビッグデータの所有権制度の設計などが必要となる。

#### （5）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

- ・スマートメーターが導入され、初期のスマートグリッド構築が進みつつある米国、欧州、日本において、需要家から収集される大量のデータを用いたエネルギー消費分析などに関する公的なプロジェクトが散見される。従来エネルギー供給者側の視点からのデータ分析が中心であった。今後は国民全体の利便性向上などを考え、エネルギー消費者の視点からのエネルギー消費に関するデータ分析、エネルギーと情報とが融合した新たなサービスの創出が必要となることが考えられる。
- ・EVの将来の導入を考え、米国、欧州、日本において、EVの充放電サイクルの有効性検証、EV充電ステーションとの最適配置などを検討する公的なプロジェクトが散見される。今後は、交通流通ネットワーク、配電ネットワーク、HEMSネットワークなどさまざまなネットワークが混在する、より現実に即した形式で、より大規模なスマートコミュニティ実証試験を産官学が共同で行う必要があると考えられる。
- ・Google、Yahoo、Microsoft では、Web 上の大量データをビッグデータとしてもっているため、ビッグデータを活用する技術開発に早い時期から取り組んできた。現在、ビッグデータの活用については、米国、欧州、日本、中国、韓国で公的支援による大きなプロジェクトが実施されている。このプロジェクトによって、ビッグデータ分析の基礎技術は発展すると予測される。今後は、ビッグデータの活用によって、安全、安心な暮らしが実現できることを示す独創的なプロジェクトが必要になる。

#### （6）キーワード

ビッグデータ、機械学習、最適化技術、データマイニング、可視化技術、電気自動車、ネットワーク、スマートコミュニティ、セキュリティ



(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	○	→	・日本の大学・公的機関・民間機関の基礎研究レベルは高い。
	応用研究・開発	○	↑	・横浜、豊田、京都、北九州の4地域でのスマートコミュニティ実証(2010~2014)など、電力需要や自動車関連データなどを用いた国・民間レベルでの研究開発が行われている。スマートメーター導入なども始まっており、電力自由化進展に伴う電力アグリゲータなどさまざまな主体による応用研究が増えている。日本版オートデマンドレスポンス(ADR: Automated Demand Resopose)の仕様確定なども今後行われていく。
	産業化	△	↑	・インターネットやE-commerce、ゲームなどの企業は大規模のデータ分析を用いたサービスを実施している。エネルギー分野においても中規模なデータを活用したサービスが登場し始めている。交通情報によるナビゲーションなどはサービス運用されている。
米国	基礎研究	◎	↑	・米国の大学・公的機関・民間機関における基礎研究レベルは非常に高く、ほとんどの研究領域において世界をリードしている。
	応用研究・開発	◎	↑	・カリフォルニアでの自動デマンドレスポンス実証、2008年からボルダールでのスマートグリッド実証などに早期から取り組んでいる <sup>2)</sup> 。また、電力データからの用途推定などの研究も進んでいる <sup>3,4)</sup> 。 ・カリフォルニア州で1千万台(導入率55%超)、テキサス州で600万台(30%超)のスマートメーター導入が進んでおり、openADRの導入なども進みつつある。
	産業化	○	↑	・Google、Facebook、Amazonなどは自社でビッグデータに基づく検索、SNS販売などの各種サービスを提供するとともに、今後のビッグデータサービスの基盤となるクラウドサービスを適用している。 ・Opower社は電力消費データ解析に基づく情報提供による節電支援サービスを行っている <sup>5)</sup> 。
欧州	基礎研究	○	→	・欧州の大学・公的機関・民間機関における基礎研究レベルは高い。
	応用研究・開発	◎	↑	・アムステルダム(オランダ)、マルタ共和国、マラガ(スペイン)などでの各種スマートシティ実証プロジェクトがある <sup>6)</sup> 。IQDA(Irish Qualitative Data Archive)ではスマートメーターによるデータ公開などオープンデータ化も一部されている <sup>7)</sup> 。 ・BIG(Big Data Public Private Forum)-Project、European Strategic Energy Technology(SET)-Planなどで各種プロジェクトが実施されている。
	産業化	△	↑	・スマートエネルギーとビッグデータの活用をコンサルタントする企業が現れ始めている <sup>8)</sup> 。
中国	基礎研究	○		・米国への多数の留学生らが本国へ帰国し、基礎研究レベルは向上している。クラウドコンピュータを開発している。
	応用研究・開発	○	↑	・天津市など13都市のエコシティ計画などでのスマートシティ実証事業を実施している。 ・「2012年におけるハイテク・サービス業の研究開発と産業化に関する通知」でのビッグデータ分析ソフト開発と活用サービス創出を重点支援対象に指定した。
	産業化	△	↑	・実証研究レベルが主で産業化に至った例は見当たらない。

研究開発領域  
エネルギー利用区分

韓国	基礎研究	△	→	・米国への留学生らが本国へ帰国し、大学で一定レベルの基礎研究力を維持している。
	応用研究・開発	○	↑	・済州道のスマートグリッド実証団地などが実施されている。ビッグデータ分析については、2012年11月「ビッグデータマスタープラン」発表、「ビッグデータ分析活用センター」開所によるデータ処理環境整備、「公共データポータル、オープンデータ広場」など公共データ公開など国家で政策的取組みを行っている。
	産業化	△	↑	・実証研究レベルが主で産業化に至った例は見当たらない。

(註1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(註2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、△：他国に比べて顕著な活動・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

## (8) 引用資料

- 1) 独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業CREST「ビッグデータ統合利活用のための次世代基盤技術の創出・体系化」  
[http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/research\\_area/ongoing/bunyah25-6.html](http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/research_area/ongoing/bunyah25-6.html)
- 2) SMARTGRID.GOV WEBサイト  
<https://www.smartgrid.gov/>
- 3) Putting Energy Disaggregation Tech to the Test (GTM RESEARCH)  
<http://www.greentechmedia.com/articles/read/putting-energy-disaggregation-tech-to-the-test>
- 4) J. Zico Kolter, Matthew J. Johnson. 2011. REDD: A Public Data Set for Energy Disaggregation Research. In Proceedings of the SustKDD Workshop on Data Mining Applications in Sustainability  
<http://www.cs.cmu.edu/~zkolter/pubs/kolter-kddsust11.pdf>
- 5) Michela Beltracchi. 2012. Introduction to Opower Delivering customer insights and value  
<http://sedc-coalition.eu/wp-content/uploads/2012/12/Opower.pdf>
- 6) Sample of European Smart Grids Projects (Smart Grids European Technology Platform)  
<http://www.smartgrids.eu/projects>
- 7) Irish Qualitative Data Archive WEBサイト  
<http://www.iqda.ie/>
- 8) SMARTER ENERGY MANAGEMENT.  
[http://www.t-systems.com/umn/t-systems-use-case-big-data-analysis-for-utilities-1/blobBinary/T-Systems-Use-Case\\_Big-Data-Energy-Management.pdf?ts\\_layoutId=989624](http://www.t-systems.com/umn/t-systems-use-case-big-data-analysis-for-utilities-1/blobBinary/T-Systems-Use-Case_Big-Data-Energy-Management.pdf?ts_layoutId=989624)

### 3.2.2.3 需要側資源を活用するエネルギー需給マネジメントシステム

#### (1) 研究開発領域名

需要側資源を活用するエネルギー需給マネジメントシステム

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

太陽光発電など自然変動電源の大量連系時の統合制御エネルギーシステムを効率的に構築するために、これまで評価が進んでいない需要側資源を活用するエネルギー需給マネジメントシステムの技術基盤を確立する。技術進歩により低コスト化が期待される定置用ならびに自動車用の蓄電池システム、分散型電源、エネルギーマネジメントシステムを含む多様な需要側資源を活用するシステムの系統的研究とともに、省エネルギー行動リコmendなどの行動変容プログラムや人間の行動心理の解明などの社会科学的側面の研究も推進する。

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

次世代型エネルギー需給マネジメントシステム（スマートグリッド）の確立には、分散型電源やリチウムイオン電池、HEMS（Home Energy Management System）、BEMS（Building Energy Management System）などを含む多様な需要側資源を連携させる双方向通信技術およびエネルギー需給マネジメントなどの制御技術に重点的に取り組む必要がある<sup>1)</sup>。系統制御システムとしては、2030年代までに太陽光発電や風力発電など自然変動電源が大量に導入されると予想されることから、それらとの連系時の統合制御エネルギーシステムを確立する必要がある。我が国では、北海道、東北地方が風力発電の好適エリアであり、導入容量も大きい<sup>2)</sup>。これまで風力発電連系の募集枠に対して、応募の合計出力が上回っている。これは、主に周波数調整などの系統運用制約に起因するが<sup>3-5)</sup>、地域間連系線の活用により広域での周波数調整や系統用蓄電池の導入による周波数調整の実証事業が計画され、実証試験データに基づき、最適な需給変動対策のポートフォリオが構築されようとしている。現在、2020年頃の完成を目指して、電力システム改革が進んでいるが、全国規模で需給調整・周波数調整を行えるようになる。

供給信頼度を向上させる送電系統広域監視制御から需要家機器制御まで、電力システムのすべてのバリューチェーン（発電、送配電から電気利用まで）上に関わる研究プロジェクトが国内外で進行中である。2000年代以降、欧米ならびにアジアの各国が、国をあげての研究開発戦略を構築し、スマートグリッドを中心とするグリーン成長戦略に基づき、実装段階に達してきている。

米国の一部など風力発電の普及が進んでいる地域では、電力市場において、系統安定化のためのアンシラリーサービス、特に周波数制御のサービス提供に需要側資源が参画し始めている。風力発電・太陽光発電の普及が進んでいるスペインなどでは余剰発電の出力抑制が必要となっており、より低炭素化を進めるには、再生可能エネルギー電源の出力を最大限利用する次世代エネルギーネットワークの必要性が高まっている。現状では、需要機器との双方向通信が可能なスマートグリッド化が十分進んでおらず、分散型電力貯蔵装置としての利用が期待される電動車両など需要側資源が本格的に電力市場に参加できる状況にはない。我が国同様、欧米でも公的助成を受け、社会実証試験が進行

中である。国内では、電力システム改革における需要側資源活用の加速化や自動化デマンドレスポンスによるインセンティブ型デマンドレスポンス制御試験、電気自動車（EV：Electric Vehicle）やプラグイン・ハイブリッド車（PHV：Plug-in Hybrid Vehicle）のスマート充電が研究されつつある。

米国では、エネルギー省（DOE：Department of Energy）およびエネルギー規制委員会（FERC：Federal Energy Regulatory Commission）がデマンドレスポンスを供給側資源と同様に扱う政策を基本とし、需要側資源の積極的活用を目指している。我が国では、電力供給不足を背景に、ネガワット取引など市場メカニズムに基づくデマンドレスポンスが実プログラムとして導入され始めた段階である。政府は、新しいエネルギーミックスを実現する手段の一つとして、スマートメーターの導入加速や柔軟なダイナミックプライシングの検討を開始したところである。高い電力系統技術基盤の上に産業界の経験的努力により当該分野で世界に類を見ない高品質を保持してきたが、規制改革などの社会科学、需要家行動の行動科学分野の研究との融合などの面で遅れている。最近、ようやく、行動経済学に基づくデマンドレスポンス実証データ分析が始まったところであるが、米国ではすでに実用化されている。

また、大型ハリケーンによる大規模停電の発生・復旧遅れやサイバー攻撃の懸念を踏まえて、北米では、電力の供給信頼度の向上（レジリエンス向上、広域監視制御）と電力市場・運用の広域化（market to market coordination）が大きな話題となっている。欧州でも再生可能エネルギー電源の出力変動対策としてさまざまな電力市場制度（運転予備力の調達など）が導入され、産業用需要家の需給調整能力を活かす取組みがフランスなどで始まっている。

具体的な研究開発課題は、以下があげられる。

a. スマート化の要素技術

スマート化のための要素技術である、各種センサ開発やその材料開発、及びデバイス開発が必要である。

b. 建築、地域、都市スケールにおけるエネルギーのさらなる有効活用

スマートハウス、及びタウンマネジメントとリンクしたエネルギーマネジメントシステムにより、地域や都市スケールにおけるエネルギーのさらなる有効活用を実現する。

c. エネルギーマネジメントシステムの階層化と多重化

HEMS、BEMS、CEMS（Community Energy Management System）間の階層制御、及びグループ制御の仕組みが必要である。また、将来に全国連系の独立送電系統運用者（ISO：Independent System Operator）が構築される際の、システム制御や通信制御の仕組みが課題である。さらには、個別的利用から集団的利用に向けたアグリゲーターシステムの活用も検討する必要がある。

d. 消費者行動分析、行動経済学的分析

エネルギー消費や自動車走行などのビッグデータを収集・活用した、消費者行動分析

や行動経済学的分析が必要である。

e. エネルギーの供給サイド資源と需要サイド資源の統合化

再生可能エネルギー電源の出力予測の可能性を見極め、再生可能エネルギー統合（ラッピングなどシステム柔軟性の資源）により、エネルギーの供給サイド資源と需要サイド資源の統合化が必要である。

(4) 研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

現状の技術レベルは、供給サイドはかなり向上してきたが、大量データ処理、リアルタイム情報通信制御などでの根本的な障壁があり、需要サイドでは制御効果の確実性を確保する需要家行動解明など未解明の研究領域がある。現在の国内外の実証試験は、既存技術の統合が中心で、経験的に性能向上を図っている段階である。供給側、需要側の双方の要素技術群の技術進歩、センシング技術と無線ネットワーク技術が融合したセンサネットワーク、大規模データ処理などを統合した次世代エネルギーネットワークの数理的基盤、需要家行動原理をモデル化した需要予測技術・制度設計など、広範な研究開発領域が存在する。

国が関与すべき、資金投入すべき研究環境整備は、個人情報保護とユーザの受容性を確保した上で、産業振興につながるビッグデータ整備支援である。

また、開発されたエネルギーマネジメントシステムの社会実装を図る各種規制改革（交通、都市計画、税制、公共政策）の推進も課題である。

(5) 注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

- ・ 欧州における洋上風力と高圧直流配送（HVDC：High-Voltage Direct Current）によるスーパーグリッドを構築する計画がある。欧州の北海エリアは水深が浅く、着床式で大規模で洋上風力発電所やケーブルの設置が容易であり、HVDCによりそれらを連系し、スーパーグリッド構築を目指している。
- ・ 欧米における変動電源や変動需要のバランス技術、貯蔵技術があげられる。出力変動の大きい再生可能エネルギー電源を大量に需要変動に合わせて、瞬時瞬時の需給バランスをとるための電力貯蔵技術などがある。エネルギー貯蔵に関する米国のカリフォルニア州の規制などが例としてあげられる。
- ・ 風力発電など変動電源が大量に連系してきた米国テキサス州や欧州では、出力予測外れに伴う予備力供給や周波数調整型のアンシラリーサービス型デマンドレスポンス<sup>6)</sup>が導入され始めている。
- ・ 分散協調型エネルギーマネジメントシステムが注目されている。これは、需要地に設置される分散型エネルギー資源を広域エネルギーネットワークと協調的に連携制御するエネルギーマネジメントシステムである。我が国の社会システム実証事業が代表例である。
- ・ カスタマイズされた省エネルギーレポートによる行動変容プログラムが進んでいる。これは、スマートメーターなどにより計測された詳細な世帯ごとの電力消費データを用いて消費世帯特性を分析し、行動科学的知見を反映した省エネルギーアドバイスレ

ポートにより需要家行動を継続的に変容させるプログラムである。我が国で実証試験が実施された<sup>7)</sup>。

- ・EVのためのICTが注目されている。単に移動手段のインテリジェント化（例えばITS）にとどまらず、スマートグリッドでの連携による再生可能エネルギー電力の支援や分散型自立エネルギー拠点としての災害対応力強化が期待される。

#### （6）キーワード

需要側資源、分散型エネルギー資源、デマンドレスポンス、分散協調型エネルギーマネジメントシステム、アンシラリーサービス型デマンドレスポンス、次世代エネルギーマネジメントシステム、スマートグリッド

（7）国際比較 <sup>8-13)</sup>

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	◎	→	・大学（東大、北大、早大など）、研究機関で基礎研究（太陽光発電出力予測技術、エネルギーマネジメントなど）に取り組んでいる。
	応用研究・開発	◎	→	・系統技術から需要家技術までバランスよく、応用研究を推進している。特に太陽光発電の周波数変動対策や余剰電力対策について、系統側対策と需要側対策の最適な組み合わせが得られることが期待される（宮古島メガソーラー実証研究など）。
	産業化	◎	→	・送配電自動化、蓄電池、Vehicle to Home などの分野で世界をリードしている。また、実証試験を通して産業化、特に輸出産業化に取り組んでいる（スマートコミュニティ・アライアンス）。
米国	基礎研究	◎	→	・大学、DOE国立研究所などをネットワーク化し、スマートグリッド、マイクログリッドに関する基礎研究を推進している。IEEEでスマートグリッド専門誌やグループを組織し、情報通信や需要側資源の基礎研究で世界をリードしている。
	応用研究・開発	◎	→	・政府補助金により、ニューメキシコ州における日米共同プロジェクトを含め、各地でスマートグリッド、マイクログリッドの実証試験が行われている。一方で、地元への費用便益の説明不足などから、順調に試験が進んでいない事例もみられる。
	産業化	◎	→	・インフラ側に比べて、デマンドレスポンスプログラムなど下流側の産業化で進んでいる。特に、電力系統運用・市場運営が一体化された北東部や風力発電比率の高いテキサス州などで高度なデマンドレスポンスプログラムが開発・運用されている。
欧州	基礎研究	◎	→	・風力発電の大量連系を可能とする系統安定化技術（パワエレ、制御技術を含む）や他のエネルギーキャリア（水素など）との代替・補完を考慮したエネルギーシステム研究が推進されている。洋上風力の開発・利用（高圧直流送電（HVDC）を含む、北海油田で開発した基盤技術を活かせる）で世界をリードしている。
	応用研究・開発	◎	→	・EUプロジェクトとしてスマートメーター、統合システムを中心にスマートグリッド実証事業が進んでいる（JRC EC） <sup>9)</sup> 。Fraunhofer研究所（独）が事務局となり、Sandia NRELなど欧米の20の大学・研究機関が、分散型エネルギー源（DER）のスマートグリッド連系試験ネットワークを構築している <sup>10)</sup> 。電力系研究機関（CESI）が再生可能エネルギー電源の急拡大を考慮した欧州電力市場を対象として市場シミュレータを開発している <sup>11)</sup> 。
	産業化	◎	→	・電力系統運用者が再生可能エネルギー制御センターを創設し、風力発電の大量連系を実現した。国際連系を通じて、欧州大で広域運営することによって、風力発電の変動を吸収しているなど、我が国と電力システムが異なる点に注意する必要がある。欧州の特徴は、スマートグリッド開発は電力市場の域内統合と強く結び付いている点にある（欧州指令の大きな政策目標の実現に向けて、技術開発戦略と電力システムの制度設計が一体化される必要がある）。
中国	基礎研究	○	↑	・Hafei工業大学などで、マイクログリッドなどの基礎研究に取り組んでいる <sup>12)</sup> 。
	応用研究・開発	○	↑	・配電自動化など今後、中国で普及すべき技術は試験的導入段階にある。
	産業化	○	↑	・国家电网を中心に、関連するグループ企業で、スマートメーターなど要素技術の産業化に取り組んでいる。

研究開発領域  
エネルギー利用区分

韓国	基礎研究	○	↑	・KEPCO, Inha大学などで、PVなど再生可能エネルギー電源と蓄電池の最適制御などマイクログリッドなど要素研究、V2Gの基礎研究に取り組んでいる <sup>13)</sup> 。
	応用研究・開発	○	→	・済州島での実証事業を踏まえて、2013年頃に実証用のスマートグリッドを構築する予定である（実際は進捗に難） <sup>14)</sup> 。
	産業化	○	↑	・国をあげて産業界（製造事業者、設置工事、電気事業者）と一体となって輸出産業化に取り組んでいる <sup>14)</sup> 。

(註1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(註2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・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

## (8) 引用資料

- 1) 新電力供給システムの研究動向調査専門委員会. 2011. マイクログリッド・スマートグリッドを含む新電力供給システムの研究動向. 電気学会技術報告. 第1229号
- 2) NEDO再生可能エネルギー技術白書 2014  
[http://www.nedo.go.jp/library/ne\\_hakusyo\\_index.html](http://www.nedo.go.jp/library/ne_hakusyo_index.html)
- 3) 浅野浩志. 2012. 特集解説「出力変動電源の系統連系技術」. 電学論B. 132. 4. 297 - 300.
- 4) 浅野浩志. 2012. デマンドレスポンスによる需給安定化. 電気学会誌. 132. 10. 688 - 691.
- 5) 浅野浩志. 2012. 電気料金による電力需要の調整と市場機能による需給調整. 電気評論.
- 6) 浅野浩志, 山口順之. 2014. 国内外のデマンドレスポンス実証と活用の動向. 電気評論.
- 7) 向井登志広他. 2014. 高圧一括受電マンションにおける電力ピーク抑制策の実証研究：2013年夏のピーク抑制・意識変容効果の検証. エネルギー・資源.
- 8) FERC Staff Report. 2011. Assessment of Demand Response and Advanced Metering.
- 9) JRC EC. 2011. Smart grid projects in Europe.
- 10) DERlab Testing Facilities on Microgrids. 2012. Evora 2012 Symposium on Microgrids. September 2012, Evora, Portugal.
- 11) P. CAPURSO, B. COVA, E. ELIA, P. PORTOGHESE, M. STABILE, F. VEDOVELLI, A. VENTURINI. 2012. Market Integration in Europe: a market simulator taking into account different market zones and the increasing penetration of RES generation. CIGRE.
- 12) Meiqin Mao. 2012. Multi-Agent Based Simulation of Microgrid Energy Mgmt, Evora 2012 Symposium on Microgrids, September 2012, Evora, Portugal.
- 13) Dong-Jun Won. 2012. Operation of Grid-connected Microgrid on KEPCO Test-bed, Evora 2012 Symposium on Microgrids, September 2012, Evora, Portugal.
- 14) 韓国知識経済省資料.



### 3.2.2.4 消費者行動に着目したエネルギー利用の高効率化

#### (1) 研究開発領域名

消費者行動に着目したエネルギー利用の高効率化

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

人間行動に起因するエネルギー消費量のばらつきは無視できない大きさであり、効率的なエネルギー利用を促すことによる省エネルギーのポテンシャルは大きい。本研究開発領域では、エネルギー消費情報のフィードバック、削減目標の設定、他者との比較、具体的な行動指針の提示など、心理学などの人間行動に関する科学的知見に基づく多様な動機づけ手法により行動変容を促すシステムやサービスの開発を推進する。

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

家庭生活に関わるエネルギー消費量は建築物や機器の性能によって変動するが、消費者の行動も大きな変動要因であり、米国では行動変容によって約20%の省エネルギーが可能と推計されている<sup>1,2)</sup>。米国に限らず、比較的エネルギー消費量の少ない他の先進国でも同様の省エネルギーポテンシャルがあると考えられている。これは省エネルギーが、最新技術を全面的に導入する場合の物理的なポテンシャルはもちろんのこと、経済合理性のある行動によるポテンシャルと比較しても、極めて低い達成水準に留まっていると考えられるためである。

省エネルギーにおけるこのようなギャップが生じる理由については、1970年代頃から多くの研究成果が示されており、近年ではさまざまな省エネルギーバリアの存在が認識され、政府が補助金などの政策によって市場に介入する論拠となっている。省エネルギーバリアにはさまざまな種類があり、情報の非対称性(商品に関する購入側の情報不足)、テナント・オーナー問題(省エネ投資者と受益者が異なる)、資金制約(初期費用を借りる信用力がない)が良く知られているが、近年、消費者が認識の限界やバイアスによって必ずしも合理的に行動しないこと(限定合理性)も省エネルギーのバリアの一つとして注目を集めている。したがって、消費者の行動変容による省エネルギーを実現するには、心理学や行動経済学などの行動科学の知見を活用することが有効かつ不可欠と考えられるようになっている。

消費者の行動変容による省エネルギーを実現するための基本的な方策として、従来、各種の省エネルギー行動の内容と効果に関するリストの提供、建築物や機器のエネルギー消費効率や省エネルギー基準の達成状況あるいは光熱費の目安の提供(ラベリング制度など)など、消費者に対する情報提供が実施されてきた。これらの取り組みのなかで、各種の省エネルギー行動の効果測定、消費者の省エネルギー行動実施実態の把握、標準的な生活パターンや機器の使用パターンの把握が進められ、消費者行動とエネルギー消費の関係をモデル化し、行動変容の省エネルギーポテンシャルを評価することが可能となってきた。

欧米諸国では1970年代以降、消費者に対するエネルギー消費情報のフィードバック(日本では「見える化」と呼ばれることがある)によって、エネルギー消費に対する関心を高め、行動とエネルギー消費の関係を理解することを支援する取り組みが行われて

きた。具体的には、エネルギー事業者が請求書にエネルギー消費に関する詳細情報を添付する取り組みや、計測に基づくエネルギー消費情報（電気の時刻別や機器別の消費量、自動車のリアルタイム燃費など）の提供による省エネルギー効果の測定などの実証的研究がある。日本でも1990年代頃から同様の実証的研究が進められてきた。

エネルギー消費情報のフィードバックにおいては、単に消費量を見せるのではなく、適切な目標設定や他者との比較を行うことによって、消費者がもつ「目標は達成すべき」「エネルギーの浪費は恥ずかしい」といった心理（規範）に訴えることや、競争意欲を引き出すことが有効と考えられている。また、光熱費に言及する際は、行動経済学のプロスペクト理論を参考に、省エネルギー行動を実施する利益よりも実施しない損失に焦点を合わせることや、フレーミング効果（同じ条件が見せ方によって異なって見える効果）を利用して光熱費削減額をまとめた大ききさで示すこと（例えば「1日10円」より「3年間で1万円」）などが推奨されている。具体的に取り組むべき省エネルギー行動を示す場合にも、従来のように省エネルギー行動の長いリストを提示するのではなく、対象者の省エネルギーの達成レベルや実施状況に応じて限定した項目を提示することが、実行意図を高めるのに効果的と考えられている。

家庭向けの詳細情報付き請求書は、現在「ホームエネルギーレポート」と呼ばれ、米国を中心に電気・ガス事業者での導入が進んでおり、ホームエネルギーレポートの作成・送付を代行するサービスが急成長している<sup>3)</sup>。内容は消費トレンド、近隣の類似世帯との比較による省エネルギー度の評価、推奨される省エネルギー行動などであり、短時間で目を通せるシンプルな構成となっている。

住宅内のエネルギー消費量を計測してフィードバックするシステムは、国内ではHEMS（Home Energy Management System）と呼ばれている。プロトタイプの開発や実証的研究は2000年代に入ってから本格的になった。ビジネスモデルが未成熟で商業的な展開は進んでいなかったが、東日本大震災後にHEMSの補助金制度が導入され、太陽光発電などを備えたスマートホームの中核システムとして注目が高まり、徐々に普及が進んでいる。海外では、英国などが電気・ガス事業者に顧客家庭におけるCO<sub>2</sub>削減を義務づける制度を導入した結果、義務履行のためにHEMSを大量導入する動きを誘発し、欧州のHEMSビジネスの成長をもたらした。

世界各地で行われた家庭の電力消費情報のフィードバックに関する実証的研究を整理した研究<sup>4)</sup>によると、省エネルギー効果は、詳細情報付き請求書の送付で平均3.8%、日・週単位のフィードバックで8.4%、家庭全体の電力消費計測によるフィードバックで9.2%、機器別計測付きのフィードバックで12.0%とされている。この結果はまだ中間的評価と考えるべきであり、今後も研究成果の蓄積が必要である。特に効果の持続性については知見が乏しい。実証的研究成果を適切に比較するため、取得データや省エネルギー効果の評価方法を共通化させることも重要課題である。

#### （4）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

ホームエネルギーレポートについては、各地で数万世帯規模の実証試験により省エネルギー効果が一定期間（複数年間）持続することが実証されているが、具体的にどのような行動が省エネルギーに寄与しているかについては検証途上にある。今後、ホームエ

エネルギーレポートを幅広い地域で普及させるには、米国の諸州のように電気・ガス事業者に自社顧客を対象とする省エネルギープログラムの実施を義務付け、併せて実施費用を料金への上乗せなどにより回収できる制度を導入するなどの制度的インフラが整う必要がある。なお、国内ではそのような制度的インフラは未整備であるが、米国の大手サービス事業者と提携してウェブ上でサービスを実施している電気事業者や、独自のサービスを提供している電気事業者がある。

HEMSなどの計測によるフィードバックはホームエネルギーレポートに比べ高コストになるため、費用対効果の改善が課題となっている。前述のように平均的には10%前後の省エネルギー効果が実証されているが、導入先による効果のばらつきは大きく、また、効果の持続性を否定する研究もみられる。ビジネス性の向上のため、省エネルギー・省コストの側面だけでなく快適、健康、安全・安心、エンタテインメントなど総合的に住宅サービスを進化させる取り組みが競われているが、フィードバックのアプローチやインタフェースの改善のための実証的研究と効果測定が引き続き必要である。

行動に影響を及ぼす要因の多様性を考えれば、画一的なサービスやインタフェースが受容される領域は狭いため、サービスやインタフェースのカスタマイズ、ターゲティング、マーケット・セグメンテーションが重要と考えられている。年齢、性別、居住地域、所得、社会的地位、宗教といった基本属性に加えて環境意識、嗜好、気質（例えば、挑戦と失敗の回避のどちらを志向するか）などの属性も重要視されている。高い目標設定や難易度の高い行動を失敗回避志向の消費者に促せば、省エネルギー行動意欲を減退させる可能性がある。したがって、マーケティング学、環境心理学や教育心理学などの成果に学ぶことも重要である。

#### (5) 注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

欧米諸国では省エネルギーに関する研究会議において早くから行動変容の促進が着目されており、米国では2007年から毎年、行動・エネルギー及び気候変動会議（BECC：Behavior Energy and Climate Conference）が開催され、約700人の行動科学や省エネルギーの専門家、実証事業実施者らが参加し、知見を共有している<sup>5)</sup>。欧州でも同様の研究会議（Behave）がBECCに比して小規模ながら2～3年ごとに開催されている。国内では2014年に各分野の研究者らによる省エネルギー行動研究会が発足し、研究会議（BECC JAPAN）が開催されている。

国際エネルギー機関（IEA：International Energy Agency）の「デマンドサイドマネジメント（DSM）テクノロジーとプログラム」に関する実施協定（国際共同研究）では、DSMにおける行動変容をテーマとしたタスク（Task24）が2012年から開始されている。同じくIEAの「建築物とコミュニティにおけるエネルギー（EBC）」プログラムでは、建築物使用者行動の定義とシミュレーションに関する部会（Annex 66）が2013年に承認され、2014年末から開始される予定である。

行動科学の知見は当然ながら省エネルギーの分野に限らず、広く応用可能である。環境関連の分野では、ごみの分別や公共交通の利用などの環境配慮行動の促進に早くから活用されている。英国政府では、行動科学の知見を政策に活用する専門チーム<sup>6)</sup>を編成し、例えば、建築物のエネルギー性能証書（ラベル）の改定を行っている。今後、他分

野における応用例や成果に学ぶことも重要になると考えられる。

HEMSの技術的側面については、スマートフォンやタブレットの表示端末としての利用やデータをクラウドに蓄積するクラウド型HEMSが広がっている。また、機器別のエネルギー消費情報を提供するHEMSでは導入するセンサの数が増え、高コストとなるため、家全体の電力消費データを計測・解析し、機器別の消費量に分解する技術（ディスプレイアグリゲーション技術）を国内外の大学、研究機関や企業が開発を進めている。この技術をスマートメーターに実装することで、より安価に機器別フィードバックが実現する可能性がある。

家電製品自体がセンサを持ち、HEMSと連携する可能性もある。国内外の大手家電メーカーではエアコンや冷蔵庫、テレビなどの主要家電製品にエネルギー消費情報（電気代、消費電力の水準や省エネモードのステータスなど）をフィードバックする機能を搭載している。HEMSと連携して情報を一元的に管理し、遠隔で操作・設定する仕組みもある。他の機器や端末との連携は、自動車やサーモスタット（空調温度調節装置）などとも始まっており、自動車メーカーやIT系事業者がこの分野に参入している。今後、異なるメーカー・ベンダーによる機器の連携のため通信プロトコルやデータ仕様などの標準化戦略がますます重要になると考えられる。

#### （6）キーワード

フィードバック、ホームエネルギーレポート、HEMS、行動科学、スマートメーター

（7）国際比較<sup>7)</sup>

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	△	↑	・家庭のエネルギー消費行動の実態把握から、行動科学の知見を応用した省エネルギー行動の促進に関する研究に進みつつある。
	応用研究・開発	○	↑	・1990年代末頃からHEMSなどによるフィードバックの実証事業が実施された。近年はスマートコミュニティなどの実証事業において、大規模なフィードバックの実証が進められている。
	産業化	○	↑	・2011年以降、補助金制度によるHEMS導入が進み、HEMSソリューションベンダーが増えている。 ・住宅業界がスマートホームの展開に注力している。
米国	基礎研究	◎	→	・行動科学と省エネルギーに関する研究会議が毎年開催され、約700名の研究者、実証事業実施者らが参加している。
	応用研究・開発	◎	→	・電気・ガス事業者に対する省エネルギー規制などを背景に、行動科学の知見を応用した多くのフィードバックの実証事業が実施され、効果の検証が進んでいる。
	産業化	◎	↑	・ホームエネルギーレポートなどのサービス事業者が急成長している。 ・HEMSソリューションのベンダーが多い。
欧州	基礎研究	○	↑	・行動科学と省エネルギーに関する研究会議が定期的に開催され、知見が共有されている。米国の研究コミュニティとの関係も深い。
	応用研究・開発	○	↑	・電気・ガス事業者に対するCO <sub>2</sub> 削減規制などを背景に、行動科学の知見を応用したフィードバックの実証や、HEMS関連ソリューションの開発が進められている。
	産業化	○	↑	・電気・ガス事業者に対するCO <sub>2</sub> 削減規制などを背景に、HEMSの普及が進み、HEMSソリューションのベンダーが多い。
中国	基礎研究	△	↑	・IEA EBCプログラムのAnnex66（建築物使用者行動の定義とシミュレーション）に関する清華大学の研究チームが主導。
	応用研究・開発	△	→	・スマートメーターやHEMSの製造事業者は多数存在するが、フィードバックの実証の取り組み状況は不明。
	産業化	△	→	・スマートメーターの導入が進んでいるが、フィードバックの普及状況は不明。
韓国	基礎研究	△	→	・家庭の省エネルギー行動の実態把握に関する研究例があるが、行動科学の知見を応用する動きの有無は不明。
	応用研究・開発	△	↑	・済州島におけるスマートグリッド実証事業の一環として、フィードバックの実証が進められている。
	産業化	△	→	・スマートメーターの導入が進んでいるが、フィードバックの普及状況は不明。

（註1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（註2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・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

## （8）引用資料

- 1) Dietz, Thomas., Gerald T. Gardner, Jonathan Gilligan, Paul C. Stern, and Michael P. Vandenbergh. 2009. Household actions can provide a behavioral wedge to rapidly reduce US carbon emissions. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 106, 18452–18456.
- 2) Frankel, David., Stefan Heck, Humayun Tai. 2013. “Sizing the potential of behavioral energy-efficiency initiatives in the US residential market.” McKinsey & Company.
- 3) Opower社 WEBサイト  
<http://opower.com/>
- 4) Ehrhardt-Martinez, Karen., Kat A. Donnelly, John A. “Skip” Laitner. 2010. Advanced Metering Initiatives and Residential Feedback Programs: A Meta-Review for Household Electricity-Saving Opportunities. American Council for Energy-Efficient Economy.
- 5) Behavior, Energy & Climate Change (BECC) Conference  
<http://beccconference.org/>
- 6) UK Cabinet Office, Behavioural Insights Team  
<https://www.gov.uk/government/organisations/behavioural-insights-team>
- 7) 三菱総合研究所「スマートメーターの導入・活用に関する各国の最新動向」2013年11月（経済産業省スマートメーター制度検討会（第13回）参考資料1）

### 3.2.2.5 熱利用実態を踏まえた機器高効率化

#### (1) 研究開発領域名

熱利用実態を踏まえた機器高効率化

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

日本は省エネルギーに関しては世界トップレベルにあり、省エネ機器の効率でも世界を圧倒している。この状況を引き続き継続することが重要であり、本領域は、熱利用を前提とした機器の性能向上やアプリケーションなどについて言及し、その領域を、外燃機関を中心とした電力への変換技術、ヒートポンプ技術、要素技術、高度エネルギー活用術の4つに分類して現状と課題を示す。

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

排熱などの未利用エネルギーの活用は、導入コストや設置スペースの観点からメリットが少ないため、ユーザは導入には消極的にならざるを得なかった。しかし、現在の日本が抱えているエネルギーに関わるさまざまな課題、例えば温暖化ガスの削減やエネルギーのベストミックス、電力問題（電源の逼迫、電力自由化）などを考えれば、熱利用機器の技術開発が必要不可欠である。また東日本大震災後、原子力発電の停止などによって電力価格上昇が社会問題となっている。さらには紛争などによるエネルギー供給の断絶やエネルギー資源の枯渇などエネルギー資源の供給には、不安定要素も多い。これらを踏まえても熱利用の地道な研究開発が必要不可欠である。特に我が国におけるプロセス排熱は100℃未満の温水、250℃未満のガスが914 PJ/年にもものぼると推計されている<sup>1)</sup>。この温度レベルの低温エネルギーの有効利用を実現していくことが重要となる。

世界的に見れば、欧州諸国では排熱を利用したエネルギーを積極的に導入しようとしている。韓国でも電力問題から、排熱利用の導入の検討が始まっている。一方で米国は、シェールオイル活用への扉が開かれ、また電気ボイラが相変わらず多用されている現状を見れば、未利用の熱エネルギー活用の本格議論はもう少し先の話と考えられる。中国は、太陽熱の利用が進められ、現状では太陽熱集熱器の大半が中国で生産されているが、全土的に排熱を有効活用するには機器の技術レベルが追いついてきておらず、まだこれからといえる。

未利用エネルギーの活用方法は、そのまま熱のエネルギーとして活用するのか、あるいは電気エネルギーに変換するのかということに大別できる。電気エネルギーに変換可能であればそれが最善の策であるが、コストや変換効率を考えればそれは容易ではない。このため、未利用熱エネルギーを用途に応じた温度レベルまで変換したり、除湿のエネルギー源として応用したりするなどに含め、総合的な視点で熱の効果的な利用技術や利用方法を考えていく必要がある。

産業分野では、蒸気として消費する年間のエネルギー消費量は1,360 PJ/年<sup>1)</sup>と膨大である。この蒸気の温度は通常180℃程度であるため、この温度まで排熱のエネルギーを変換ができれば、適応が可能である。民生分野では、エネルギー消費量の約半分が空調や給湯で消費される。ここには、低質な熱エネルギーの応用が容易である。運輸部門では、車の走行に要するエネルギーが主となるが、車室内空調にも多くのエネルギーが費やさ

れている。暖房にはエンジン排熱を活用できるが、エンジンのない電気自動車の場合には暖房のために多くの電力を消費することが課題となっている。

本領域は以下の4つの領域に分類して説明する。

#### a. 外燃機関を中心とした電力への変換技術

未利用エネルギーを電気エネルギーに変換するためには、外燃機関の活用が有効である。低温の熱源で駆動可能なバイナリー発電やカーリーナサイクル発電の研究開発が進められている<sup>2-6)</sup>。バイナリー発電で地球温暖化係数（GWP: Global Warming Potential）の高い動作流体を冷媒として用いることは課題であり、低GWPな動作流体の探索と、それに最適な低コストの要素機器の開発が必要である。またその駆動エネルギー源としては、地熱利用に世界的な注目が集まっている。

このほかにスターリングエンジンや熱音響エンジンは、コンパクトで低騒音であるだけでなく、低GWP流体を用いて比較的低温の熱を使った発電が可能である<sup>7-9)</sup>。ただし、効率や電力密度の面からは課題も多く、利用対象は限定的となる。スターリングエンジンは潜水艦用ではすでに実用化され<sup>10, 11)</sup>、また宇宙用や車載用などにも応用検討が進められている。

#### b. ヒートポンプ技術

熱利用を考える上ではヒートポンプは非常に重要な技術である。技術面では日本が世界を圧倒している<sup>12, 13)</sup>。この背景には、日本が気候的に比較的温暖であり、エアコンを中心にヒートポンプの導入による機器効率向上の効果が大きかったこともあげられる。欧米や韓国では寒冷になる地域が多く、寒冷地で機器性能が大きく低下するヒートポンプでは、導入によるメリットが小さかった。近年、高性能な寒冷地向けヒートポンプが開発され、スプリット型（セパレート型）の高性能機器が欧米で導入され始めた段階である。韓国でもこれまでは床下暖房の一種であるオンドル（温突）の利用が中心であったが、やはり効率のよいヒートポンプの導入が本格化しつつある。中国も同様である。個別技術として、以下に分類する。

##### a) 冷媒

欧州ではF-ガス規制により高GWP冷媒の規制が始まっている。低GWP冷媒の探索とそれを用いた機器の開発が求められている。低GWP冷媒に関してはR1234yfを用いたカーエアコンの搭載が国内外で始まっているほか、我が国ではこれを用いた自動販売機も普及しつつある。空調用途に関しては、国内外の冷媒メーカーからR1234yfまたはR1234ze(E)とR32を含む複数の混合冷媒が提案されており、我が国は冷媒物性や伝熱に関する基礎研究から機器メーカーによる応用研究・開発まで、世界の先陣を切って研究開発に取り組んでいる。なお、米国には冷媒を製造する2大企業があり、その動向には注視が必要である。

##### b) 電動ヒートポンプ

電動ヒートポンプでは、利用範囲の拡大が重要な研究開発課題の一つである。100℃以下の排熱を用い、産業用途として200℃取り出しを目指した開発が始まっている（現状では120℃が限界）。そのためには、この温度レベルに対応可能な冷媒の探索や冷凍



機油の開発が求められる。また、磁気軸受の採用によりオイルフリー圧縮機の開発も始まっている。地中熱や下水熱を熱源としたヒートポンプの開発も進められている。欧州では、下水熱の利用や温室効果の小さな自然冷媒であるアンモニア-水を動作流体とするハイブリッド機器の開発も進められている。

#### c) 熱駆動ヒートポンプ

熱駆動ヒートポンプでは、産業用途として180°Cの水蒸気を取り出せる第二種吸収ヒートポンプの開発がほぼ完了している。ただし、作動圧力が大気圧を越えてしまうため、法規対応の問題が残されている。第一種吸収ヒートポンプについては機器開発がすでに終了し、現状以上の高効率化は難しい。動作流体は長年臭化リチウム-水系であったが、イオン流体のような腐食性の少ない媒体にも注目する必要がある。

#### d) 熱駆動冷凍機

低温排熱を用いた冷凍機としては、吸収冷凍機が一般的である。ただし、NEDO事業による三重効用形の開発や太陽熱を駆動源とするソーラークーリングシステムの開発により、その研究開発はほぼ終了している。駆動熱源のさらなる低温化も難しい。逆に200°C程度の熱を駆動源とできれば吸収式冷凍機を三重化することが可能となるため、トラフ方式の太陽熱集熱器により三重効用吸収冷凍機を駆動するプロジェクトも進められている<sup>14)</sup>。また吸着式冷凍では、新しい吸着材や熱交換方式、低温排熱による駆動が可能な新サイクルが期待されている。

#### e) 潜熱分離空調

ヒートポンプでは潜熱と顕熱を分離すると大幅な性能向上が期待できる。このため、ヒートポンプの熱交換器に直接吸着材を塗布したり、吸収溶液を熱交換器に直接流下させるハイブリッド型のヒートポンプも開発されている。吸着材については、高分子やメソポーラスシリカ、温度依存性のある新しい吸着材が開発されている。

### c. 要素技術

#### a) 熱交換器

熱交換器については着実な技術革新が進んでいる。特にマイクロチャンネル熱交換器に注目が集まっており、コンパクト化や伝熱管管内に滞留する冷媒充填量の低減、機器の軽量化が可能となる。また、冷媒の等分岐の実現や伝熱時の律速段階となるガス側の伝熱性能向上に関する基礎研究が進んでいる。低GWP冷媒として開発された非共沸冷媒用の熱交換器の最適化も進んでいる。特にガス側については、数値流体力学(CFD)などによる高度数値解析が比較的容易に実施可能になってきており、従来とは全く異なる発想の熱交換器の開発が期待されている。

#### b) 膨張機、圧縮機

バイナリー発電において地熱からの蒸気を直接用いるために、異物に強く、しかも低コストのタービンの開発が進められている。ヒートポンプに関しては、CO<sub>2</sub>冷媒がショーケースや自動販売機、冷蔵倉庫などへ適用され始めており、これらの用途の場合では膨張ロスが大きいため、膨張エネルギーの回収が効率向上には有効な手段である。そのために新たな膨張機の開発やエジェクタによる膨張エネルギーの回収のための研究開発が行われている。また圧縮機に関しては、インジェクション型の圧縮機などが開発さ

れており、これらの高性能化や高効率駆動が可能な運転範囲の拡大が次なる課題である。

#### c) 熱搬送

熱搬送に関して研究開発されている技術としては、シャーベット状氷や塊・粒状氷を用いた氷水搬送技術、界面活性剤の添加による配管抵抗低減技術、水和物スラリ（潜熱利用）の搬送、大温度差冷温水搬送、吸収溶液による吸収冷凍機からのダイレクト熱輸送などがあげられる。国内においてはいずれの研究開発も行われているが、実用上で普及に至っている技術は大温度差冷温水搬送のみである。コージェネレーションを活用した大規模地域冷暖房のような場合にはいかにかうまく熱融通を行うかが鍵となるので、熱輸送に要するエネルギーを削減することが極めて重要となる。

#### d. 高度エネルギー活用術

ヒートポンプや要素技術の性能はかなりのレベルにまで向上しており、単体性能向上によるシステム全体の性能向上は限界に来ている。したがって、供給側が需要側のヒートポンプの運転状態を制御するようなデマンドレスポンスの検討が始まっている。さらには、ユーザが機器の制御を知ることなく、過去のデータベースから機器の特性を学習し、予測しながら最適に運転する制御手法も提案されている。また、ヒートポンプでは制御性の悪さから機器性能が大きく低下しているケースが散見される。制御系を含めた実働運転性能については実態がなかなか掴みにくいが、制御性能の改善により50%もの性能改善の余地があるとの結果もある。

欧州ではスマート化が進められており、熱と電気の需給バランスの調整が可能なヒートポンプが非常に重要な機器と考えられている。蓄熱も改めて重要となるといわれている。韓国や中国、米国でもスマートグリッド実証実験が行われているが、熱の利用まで含めたエネルギーのトータルの有効活用については、まだこれからの課題とされている。

このほか、空間温度分布を把握する小型高感度赤外線アレイセンサや人感センサを活用した省エネや快適性制御などが実用化されている。また、機器の制御は通常は初期設定に基づいて行われることが多いが、運用データなどを中央監視側に集約し、機器ごとに最適な運転制御方法を導出して、機器そのものの制御系自体を更新する制御技術も実用化されつつある。

### （4）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

最大の課題は排熱の利用形態に関する情報があまりにも少ないことである。どの温度帯や用途に向けた機器を開発すればよいか、これではメーカーでビジネスモデルが立てられない。

#### a. 外燃機関を中心とした電力への変換技術

外燃機関に関しては、コストと効率が問題である。低温の未利用エネルギーを活用しようとする、効率はかなり低下する。にもかかわらず、通常の設定と同等かそれ以上にコストがかかる。低コスト化を実現する新しい材料開発や設計方法の確立が必要である。バイナリー発電における駆動熱源の低温化は重要であり、最適な冷媒の探索を含め

た基礎研究からの取り組みが求められる。低GWPな動作流体の探索と、それに最適な低コストの要素機器の開発も研究開発課題としてあげられる。また、一定の条件を満たすバイナリー発電設備の電気事業法の規制緩和がかなり進められているが、さらなる規制緩和が進まなければ事業展開が難しいといわれている。スターリングエンジンや熱音響エンジンなどについてもコストと効率が課題であるが、加えてこれらの機器についてはアプリケーションの探索も課題である。

#### b. ヒートポンプ技術

ヒートポンプに関しては、冷媒が大きな問題となる。低GWP冷媒が求められているが、まだ決定的な冷媒が開発されていない。新たな冷媒や炭化水素系の自然冷媒が検討されているが、毒性や引火性などの課題がある。機器設計は冷媒で決まるため、冷媒が決まらなると新しい機器開発に移りにくい。電動ヒートポンプでは利用範囲の拡大が重要な研究開発課題の一つである。熱駆動のヒートポンプでは低コストでより低温の排熱を用いて駆動可能なシステム開発が求められている。最近、吸収式や吸着式に新しい媒体や材料が登場しており、これらにも期待したい。またハイブリッド化などによるさらなる高効率化や用途の多様化の実現も期待される。

#### c. 要素技術

熱交換器では材料が大きな課題である。これまでに銅やアルミ、チタン、ステンレスなどの高価な材料が用いられており、低コストな材料や従来の発想を超越した低コスト熱交換器構造などの検討が必要である。また熱輸送技術の課題としては、シャーベット状水での搬送では低密度であること、塊・粒状水での搬送では高効率製氷方法が未着手であることがあげられる。また界面活性剤添加では導入と継続的添加のコストがかさむこと、水和物スラリーについては導入コストが膨大であることが課題としてあげられる。一方、基本的構成部品であるポンプやファンの高効率化が望まれているが、磁気軸受など搬送装置自体の高効率化には限界がある。

#### d. 高度エネルギー活用術

今後のスマート化による各機器の最適な運用が求められるが、それぞれの機器がデータをやりとりするのに必要なデータの管理方法や通信方法などの統一規格が確立されていない課題がある。技術の進展を図るためにはこうした課題の解決が必要である。欧州はこのような規格づくりが非常に早く、日本でも早急な対応が必要であると考えられる。今後、エネルギーのトータルマネージメントが求められる状況において、機器の制御とその上層階となる機器同士の連携制御が求められる。通信方法の共通化などが重要となる他に、機器の内部の運転状態も可視化されることが望まれる。

### (5) 注目動向 (新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など)

- ・資源エネルギー庁2012年～2014年「次世代型熱利用設備導入緊急対策事業」では、さまざまな最新の熱利用設備の導入に対して補助金が交付された。ここでは、ヒートポンプ、バイナリー発電、高性能熱交換器、潜熱回収ボイラなどに対する交付が多い。

継続的な熱利用設備への支援が必要と考えられる。

- ・バイナリー発電における地熱の活用として、例えば環境省委託事業「地球温暖化対策技術開発事業/温泉発電システムの開発と実証（名称：松之山温泉バイナリー発電実証試験設備）」が展開された。しかし特段の新しい技術創出はなく、今後もコストダウンを中心とした開発が主体となると考えられる。
- ・スターリングエンジンや熱音響エンジンに関するプロジェクトとして、太陽エネルギーを利用したシステム開発や発展途上国向けの簡易発電システムなどの開発が進められている。
- ・NEDOのノンフロン化プロジェクトや次世代ヒートポンプ技術開発プロジェクトでさまざまな新しい技術が確立された。これまで不可能と考えられていた200℃取り出しのヒートポンプの開発も始まっている。
- ・熱交換器について、拡散接合や3Dプリンターのような新たな製作技術が登場により、これまでとは全く異なる発想の熱交換器の開発が期待されている。
- ・熱搬送に関しては、氷の潜熱利用に関する研究がNEDOの次世代ヒートポンプ技術開発で実施され、その結果、高効率な製氷技術の開発が必要なことが示された。現状では食品業界先導で極低温の製氷に特化されており、0℃に近い製氷技術の検討も必要である。
- ・データベースから機器の特性を予測するとともに学習しながら機器を最適に運転する制御手法や、機器自体の制御手法の運転時に更新する技術などがある<sup>15, 16)</sup>。

## (6) キーワード

地熱、カーリーナサイクル、有機ランキンサイクル(ORC: Organic Rankine Cycle)、バイナリー発電、スターリングエンジン、熱音響エンジン、超臨界サイクル、低GWP冷媒、高温取り出し、第二種、新吸着材、低温熱駆動、熱交換器、3D、膨張機、低コストタービン、エジェクタ、スラリ、潜熱蓄熱材、水和物、高効率製氷、BEMS、HEMS、スマート化、人感センサ、連携制御

(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>九州大学における熱交換器や、豊橋技術科学大学におけるエジェクタのような要素技術開発の一部については、大変高いレベルにある。これがこの分野が世界を圧倒している原動力である。</li> <li>低GWP冷媒の研究で世界をリードしている。冷媒そのものの開発も進められているが、採用には安全面などの考慮も必要である。</li> <li>熱音響エンジンは、大学研究室レベルで効率3倍を実現している。</li> </ul>
	応用研究・開発	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>早稲田大学にて200℃取り出しを実現する高温ヒートポンプの開発や地熱、下水熱利用を実現するヒートポンプの開発が進んでいる。また、180℃の蒸気生成を行う第二種ヒートポンプの開発も終了している。NEDOのような公的機関の支援が有効に機能している。</li> <li>カーエアコンの世界シェアは5割を越えている。一方で、冷媒の課題がある。</li> <li>低温排熱を活用可能なバイナリー発電用の冷媒探索も始まりつつある。</li> </ul>
	産業化	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>ヒートポンプについてはさまざまな形態のものが産業化されている。CO<sub>2</sub>ヒートポンプの開発などは日本の独壇場である。</li> <li>バイナリー発電やスターリングエンジン、熱音響エンジンなどについては、どの分野に応用できるかが重要であるが、太陽エネルギー、排熱利用などのさまざまな応用分野の探索も行われている。</li> <li>規制緩和により、スターリングエンジンが10 kW未満の一般用電気工作物としての販売が可能となる。普及への突破口となる可能性がある。</li> <li>地熱発電では、九州の八丁原発電所、北海道の森発電所、東北の松川発電所があげられる。</li> <li>現在は技術主導型の商品開発であるが、今後はマーケット主導のニーズ志向の商品開発も必要と考えられる。</li> </ul>
米国	基礎研究	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>幅広い研究は世界トップクラスといえる。基礎研究に費やされている研究費が圧倒的である。例えば、イリノイ大学におけるマイクロチャンネル研究や、パデュー大学における圧縮機の基礎研究などレベルも高い。要素技術からシステム化技術までまんべんなく実施されている。</li> <li>国立標準技術研究所 (NIST) による冷媒物性のデータベース化は世界を圧倒している。</li> </ul>
	応用研究・開発	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽熱、バイオマス燃料を活用可能な有機ランキンサイクル (ORC) の開発を手がけるベンチャーが複数あり、研究を進めている。</li> <li>オークリッジ国立研究所 (ORNL) における寒冷地向けヒートポンプの開発など、ヒートポンプ普及に向けて多様な研究開発が成されている。</li> <li>軍による支援が非常に手厚い。陸軍支援用の移動型のヒートポンプなど多彩な研究開発が軍の支援によってなされている。</li> </ul>
	産業化	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>多様な中小企業が誕生し、非常に活躍するのがこの国の特徴である。このため、外燃機関を中心にさまざまな機器が開発されている。</li> <li>米国スタイルの開発 (国、大学、ベンチャー、企業を一体としたコンソーシアムスタイルで大学がリーダーシップを取る) で失敗を恐れないスタンスが最大の強みである。</li> </ul>

研究開発領域  
エネルギー利用区分

欧州	基礎研究	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>例えば、ノルウェーのSINTEFによりCO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプの基礎研究が盛んに実施されている。しかし、この分野で欧州が特段先行している技術はない。</li> <li>新技術というよりも、スマート化やFガス規制のような環境政策による推進が特徴である。</li> </ul>
	応用研究・開発	○	↗	<ul style="list-style-type: none"> <li>ドイツでは500 kWを越えるカーリーナサイクルが開発されている。またOrmat社は日本の大学も含めた研究グループを構築し、米国機械学会（ASME）を中心に活動し、有機ランキンサイクル（ORC）の開発を進めている。</li> <li>Hybrid energy社による圧縮・吸収ハイブリッドヒートポンプシステムのような複合化技術などは、今後欧州が進めていく技術の方向性を示していると考えられる。</li> </ul>
	産業化	○	↗	<ul style="list-style-type: none"> <li>産業化については常に世界の先頭を行っている。新しいヒートポンプの活用方法やコージェネレーション技術は先端を進んでいる。ただし、これらが本当に高効率で高性能な技術であるわけではない。</li> <li>スウェーデンのKockums社がスターリングエンジンを潜水艦用に実用化し、この分野では世界トップレベルである。</li> <li>スマート化、分散化には非常に力を入れており、次世代のヒートポンプは、スマートコミュニティに対応させることが重要と力説されている。</li> </ul>
中国	基礎研究	△	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>ヒートポンプについては、まだ日本を追随している状況である。</li> <li>太陽熱集熱器については、良く研究された新しいものが次々と提案されており、世界トップクラスである。</li> <li>外燃機関については、例えばスターリングエンジンを中国科学院が研究を始めている段階である。</li> </ul>
	応用研究・開発	×	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>未利用熱を有効活用する技術レベルにはまだ達しておらず、高品質なエネルギーを高効率に活用することが中心である。</li> <li>例えば、上海交通大学により吸着式ヒートポンプの研究開発が盛んに行われているが、日本が先行している。</li> </ul>
	産業化	◎	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>ヒートポンプの圧縮機などは、日本のメーカーも多くが中国で生産を行っている。特に吸収ヒートポンプはほとんどが中国の生産になりつつある。</li> <li>MEC社のCHP（熱電併給）ユニットは中国で6,000台生産し3,000台を出荷している。スターリンエンジンに関しても世界の生産工場になる可能性がある。</li> </ul>
韓国	基礎研究	×	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>あまり特筆すべき研究は見当たらない。ただし、国内の電力不足が非常に懸念されており、どのような方向に進むべきか技術の調査を進めている段階と考えられる。</li> </ul>
	応用研究・開発	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>あまり特筆すべきものはない</li> </ul>
	産業化	○	↗	<ul style="list-style-type: none"> <li>サムスンやLGといった企業における産業化するための技術開発のスピードは速く、エアコンやヒートポンプについて海外各国のニーズに合った製品をいち早く開発し、展開している。また、済州島にスマートグリッド施設を展開するなど、新しい動きも始まっている。</li> </ul>

（註1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（註2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・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

## (8) 引用資料

- 1) 齋藤潔. 2014. 180℃蒸気生成を可能とする第二種吸収ヒートポンプの開発 日本機械学会誌.Vol. 117, No.1148, p. 481.
- 2) NEDO. 2014. 再生可能エネルギー技術白書. 森北出版
- 3) 日本地熱学会. 2014. 地熱エネルギーハンドブック. オーム社
- 4) Global Geothermal WEBサイト  
<http://www.globalgeothermal.com/>
- 5) Knowledge Center on Organic Rankine Cycle technology  
<http://www.kcorc.org/en/literature/>
- 6) NEDO. 平成19年度～平成20年度成果報告書 エネルギー使用合理化技術戦略的開発／エネルギー有効利用基盤技術先導研究開発／排熱利用小型温度差発電システムの研究開発
- 7) 日本機械学会誌. 2011年8月号
- 8) 日本機械学会 講習会. 2010. スターリングエンジン・熱音響エンジンを用いた排熱利用技術の開発動向. No.10-43
- 9) 日本機械学会誌. 2013年8月号
- 10) 防衛省経理装備局 艦船武器課. 2011. 艦船の生産・技術基盤の現状について.  
<http://www.mod.go.jp/j/approach/agenda/meeting/seisan/sonota/pdf/04/001.pdf>
- 11) 日本機械学会誌. 2012年8月号
- 12) NEDO.平成21年度成果報告書 次世代型ヒートポンプシステムに関する調査
- 13) NEDO.平成21～22年度成果報告書 ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発／実用的な性能評価、安全基準の構築／エアコン用低GWP混合冷媒の物性とLCCP評価
- 14) Hajime Yabase<sup>1</sup>, Kazuyuki Makita<sup>1</sup>. 2012. Steam Driven Triple Effect Absorption Solar Cooling System. International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue.
- 15) 上田悠、太宰龍太、総田長生、伊香賀俊治、加藤彰浩. 2010. 学習/多目的最適化機能を組み込んだ空調制御技術の実験的研究. 計測自動制御学会論文集. Vol.46, No.8, 439 - 447.
- 16) Junya Nishiguchi, Tomohiro Konda, Ryota Dazai. 2011. Adaptive Optimization Method for Energy Conservation in HVAC Systems. ASHRAE Transactions.

### 3.2.2.6 建物躯体と建築設備の統合的高効率化

#### (1) 研究開発領域名

建物躯体と建築設備の統合的高効率化

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

我が国の住宅・建築部門におけるエネルギー消費量は過去20年間に於いて増加しており、省エネ基準の見直し実施や建物の省エネ基準への適合義務化の計画など、より高い省エネ性能をもった住宅や建築物への機運が高まっている。こうした背景のもとで、ネット・ゼロ・エネルギー・ビル（ZEB：Zero Energy Building）やネット・ゼロ・エネルギー・ハウス（ZEH：Zero Energy House）を実現するために、建物躯体の工夫や再生可能エネルギーの利活用、高効率な設備機器の導入を適切に行うことによって統合的効率化を推進する。

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

地球温暖化は世界人類共通の緊急かつ喫緊の課題である。先進国に限らずほとんどの国々における共通の問題として、民生用エネルギー消費の急激な増加があげられる。国際エネルギー機関（IEA：International Energy Agency）やクリーン開発と気候に関するアジア太平洋パートナーシップ（APP）、気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）などにおいて、建築物の省エネルギー施策に関する国際的な議論が行われている。

我が国の住宅・建築物部門におけるエネルギー消費量は、日本全体の3割以上を占め、かつ過去20年間に著しく増加している。一方で、東日本大震災を契機として国内のエネルギー需給が大きく変化するとともに、国民のエネルギーや地球温暖化などに関する意識が向上しつつある。また、2012年には13年ぶりに省エネ基準が見直され、住宅と建築物の省エネ基準について、一次エネルギー消費量を指標として、断熱性能に加えて設備性能や再生可能エネルギーの利用も含め総合的に評価できる基準に一本化されることになった。さらに日本政府の発表によると、2020年までにすべての建物の省エネ基準への適合を段階的に義務化することになっており、より高い省エネ性能をもった住宅や建築物への機運が高まっている。

こうした背景のもと、ZEBやZEHを実現するために、建物躯体の工夫や再生可能エネルギーの利活用、高効率な設備機器の導入を適切に行うことによって統合的効率化を進めることが大いに期待されている。

ZEBの定義<sup>1)</sup>は、「建築物における一次エネルギー消費量を、建築物・設備の省エネ性能の向上、エネルギーの面的利用、オンサイトでの再生可能エネルギーの活用などにより削減し、年間の一次エネルギー消費量が正味（ネット）でゼロまたは概ねゼロとなる建築物」とされる。この定義では、オフサイトの再生可能エネルギー活用などは含まず、都市部の特性（建築物が集中立地）を踏まえエネルギーの面的利用などのポテンシャルを加味した建物やその敷地におけるオンサイト措置を評価の対象範囲としている。また、本来は地球環境に対する影響を評価するためには建設から解体までの建築物のライフサイクルで評価することが重要であり、地球環境に与えるインパクト、すなわち環



環境負荷の大きさを定量的に評価するライフサイクルアセスメント (LCA : Life Cycle Assessment) が妥当だが、ZEBではあくまでも建築物の運用時のエネルギー消費量のみ注目している。ちなみにこれまでに欧米でも同様の論議があったようだが、ZEBの「E」はエネルギーではなく、エミッション (CO<sub>2</sub>) の頭文字と捉えることもできる。ただし今のところその考え方は採用していない。ZEHの定義もこのZEBの定義に順ずると考えてよい。一方、建物で消費するエネルギー量を正確に上回る再生可能エネルギー利用は難しいため、海外ではNZEB (Nearly Zero Energy Building) という表現を用いることもある。

建物や住宅の省エネ化を促進してZEB化やZEH化を目指すためには、太陽の光、風など自然を取り込んだパッシブ技術の活用 (自然採光、自然換気など)、躯体の断熱性能の向上 (高性能な断熱材・窓など)、高効率な設備機器の導入 (LED照明、デシカント空調、タスクアンビエント照明・空調、高効率給湯システムなど)、再生可能エネルギーなどの導入 (太陽光発電システム、蓄電池システム、太陽熱利用システムなど)、さらにこれらを最適に制御するエネルギー管理システム (BEMS : Building Energy Management System、HEMS : Home Energy Management System) の導入により、システム全体で省エネを追求することが必要となる。

さらに、建物や住宅の企画設計段階や建設段階、運用段階における取り組みが重要である。企画設計段階においては、建物躯体と建築設備を統合的に評価するための環境影響評価手法や統合的エネルギーシミュレーション手法が不可欠であり、また、建設段階、運用段階においては、システムの設計・施工・機能テストが建築主の運転・維持要求に適合するものであるかを検証するためのコミッショニング (性能検証) の仕組みが重要となる。

一方、既存ストックの環境配慮改修を行って良質な社会資産を増やすという観点からは、新築の建物や住宅に関する省エネルギー手法のみならず、既築の建物や住宅ストックの資産価値や改修要否の判断を行うことのできる性能評価手法と、それに適用可能な省エネルギー手法の開発も必要となる。

#### (4) 研究開発推進上の課題・ボトルネック (科学技術的課題、政策的課題)

ZEB化、ZEH化を目指すための省エネルギー技術について、具体的な研究開発課題として以下があげられる。

- ・建物や住宅において、自然採光や自然換気の効果を実験設計段階で正確に予測するパッシブ技術導入のためのシミュレーションツールの開発。
- ・躯体の断熱性能を向上させる高性能な断熱材と窓 (サッシおよびガラス) 材料の技術開発。
- ・高効率な設備機器の技術開発、およびその最適な利用方法検討のための建物躯体と設備機器の統合的エネルギーシミュレーション手法の開発。
- ・高効率でかつ低コストの施工を実現するための再生可能エネルギー利用システムの開発。
- ・建物や住宅に導入されるシステムの性能を正しく発揮するための最適制御を行うエネルギー管理システムの開発。

- ・ 企画設計段階や建設段階、運用段階における意思決定のための、建物や住宅の環境に関わる性能を総合的に評価する環境影響評価手法の開発。
- ・ 建物や住宅の建設段階、運用段階において運用可能なコミショニング手法の開発。
- ・ 既築の建物や住宅ストックの資産価値や改修要否の判断を正確に行うことのできる性能評価手法、およびそれに適用可能な照明や空調の簡易改修が可能な省エネルギー手法の開発。

各技術課題については、国内外において十分なレベルとはいえないが、すでに実証されつつある。日本は各技術において高い技術開発のポテンシャルを有しており、これをベースに世界を先導する総合的な開発を進めることで、よりいっそうの技術競争力を確保すべきである。

しかしながら、新規開発のシステムは総じて高価格帯のものが多く、企画設計段階における提案があっても、VE（Value Engineering）の過程を経て実際の建物に導入されることが少なくなっている。このことは結果的に、建物躯体と建築設備の統合的高効率化を推進するための技術の普及促進や技術開発そのもののペースを遅延させることになっている。また、新技術の普及、波及のためには、製造コストに加えて物流コストなどの観点からも検討が必要である。

政策的課題としては、省エネルギーに関する建物や住宅の実効的な規制や基準の整備があげられる。政府や自治体などの補助金や税制優遇などのインセンティブも期待される。

国内外では、これまでに建物や住宅に対して省エネルギー技術や再生可能エネルギーの導入を促進するための制度として、エネルギー供給事業者由省エネルギーの量的な数値目標を課すとともに、省エネルギー証書の取引制度を導入し、一般家庭における効率的な省エネの達成を促す制度や、再生可能エネルギーによる発電電力を国の定める固定価格で買い取る固定価格買取制度（FIT：Feed-in Tariff）が適用されつつある。

#### （5）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

建物や住宅に用いられる断熱材は、一般に繊維系、発泡プラスチック系、その他に大別される。繊維系には、グラスウール、ロックウール、セルローズファイバなどがあり、発泡プラスチック系には、押出法ポリスチレンフォーム、硬質ウレタンフォーム、高発泡ポリエチレン、ビーズ法ポリスチレンフォーム、フェノールフォームなどがある。このほかに注目される高性能断熱材としては、真空断熱材（VIP：Vacuumed Insulated Panel）とエアロゲルがある。VIPは、多孔質の芯材をフィルムで包み、内部を1～200 Paまで減圧したものであって、熱抵抗値が他の断熱材よりも高い。ただし、減圧するためのコストが大きく、非常に高価であることが課題であるため、日本国内では住宅の部分断熱改修に採用されるなどの限られた範囲での使用が目立つ。VIPに関して、米国の全米住宅建設業者協会（NAHB：National Associations of Home Builders）リサーチセンターなどを中心に研究が行われている。エアロゲルは、ナノメートルオーダーの空孔を有する脆弱な多孔質体で構成される。熱抵抗値が高いが原材料・製造装置が高価であることから価格が非常に高く、日本国内では住宅用にはほとんど普及していない<sup>2)</sup>。

窓におけるサッシの素材は、現在はアルミが主流であるが、高断熱サッシとして、アルミ樹脂複合サッシ、樹脂サッシ、木サッシが開発されている。またサッシの形状の設計工夫も検討が進んでいる。米国では現在、グラスファイバ（硝子繊維）を用いた高性能サッシの技術開発が行われている。ガラスの断熱性能向上のために、中空層厚みの増加、ガラス面への金属膜コーティング、中空層への低熱伝導率ガスの注入、中空層の真空化などの技術開発が進められている。その他には高性能ガラスの技術として、サーモクロミック（Thermochromic）技術やエレクトロクロミック（Electrochromic）技術がある<sup>2)</sup>。米国エネルギー省（DOE：Department of Energy）とローレンスバークレー国立研究所（LBNL：Lawrence Barkley National Laboratory）は、共同でエレクトロクロミック・ウインドウの研究開発を長く続けてきている。サーモクロミック・ウインドウは、窓を特殊なフィルムでコーティングすることで、温度に応じて可視透過率を調整し、必要以上に室内温度が上昇することを防止するものである。また、エレクトロクロミック・ウインドウは、非常に小さな電圧を印加することで、明暗の切り分けを可能にするコーティング機能を有するガラスである。

太陽熱利用システムについては、面積当たり一次エネルギー削減量で太陽電池を上回る再生可能エネルギー利用システムとしてさらなる普及が期待されており、新たな機器認証と環境価値認証制度の方向性の検討が日本国内で進められている<sup>3)</sup>。対象となるシステムは、強制循環式の給湯または暖房とソーラークーリングである。計量の要件は、家庭用は「簡易計測」または「見なし計測」、業務産業用は積算熱量計または「簡易計測」による。既存の制度では、特定計量器による計量が要件となり、申請に係るコストの低減が課題となっている。環境価値の指標は、「太陽熱利用量」、「一次エネルギー削減量」、「CO<sub>2</sub>削減量」が候補である。

日本における建物躯体と設備機器の統合的エネルギーシミュレーション手法として、The BEST Program（BEST：Building Energy Simulation Tool）があり、継続的に開発とメンテナンスが行われている<sup>4)</sup>。BESTは、建築物の企画・設計段階から運用段階にわたり、空調・照明などの各種エネルギー消費量を算出する総合的なシミュレーションプログラムである。ユーザの利用目的に合わせて、簡易版・基本版・専門版で構成されており、建築・設備設計の各段階（企画・基本設計・実施設計）、運用・改修段階に応じて、各版の使い分けができる。簡易版は、建築物規模と用途、設備の概要を入力することにより、設備システムの最大負荷と年間エネルギー消費量（装置容量と年間光熱水量）を把握することができる。基本版は、簡易版よりさらに詳細条件を入力でき、基本設計時の外皮計画（開口部仕様と断熱性能）、設備システムの検討に利用できる。専門版では、建築外皮（開口部の寸法と仕様：シングルガラス・ダブルガラス・二重サッシ・エアーフローウインドウ、庇・方立の寸法、断熱材厚さなど）や各設備システム（設備システム・空調ゾーニング・空調機容量と制御方法、ブラインド制御方法と照明設備調光システムなど）の詳細設計検討の際に、建築物全体のエネルギー消費量を把握した上での最適設計解を求めることが可能である。米国では、イリノイ大学、カリフォルニア大学、LBNLによって開発され、DOEから配布されている建築物のエネルギー消費量予測ツールであるEnergy Plusがある。

国内の建物や住宅の環境影響評価手法としては、建築環境総合性能評価システム

CASBEE（Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency）があり、継続的に開発とメンテナンスが行われている<sup>5)</sup>。CASBEEは、建築物の環境性能で評価し格付けする手法であり、省エネルギーや環境負荷の少ない資機材の使用といった環境配慮はもとより、室内の快適性や景観への配慮なども含めた建物の品質を総合的に評価するシステムである。CASBEEの特徴は、建築物の環境に対するさまざまな側面を客観的に評価するという目的から3つの理念、すなわち、建築物のライフサイクルを通じた評価ができること、「建築物の環境品質（Q）」と「建築物の環境負荷（L）」の両側面から評価すること、「環境効率」の考え方をを用いて新たに開発された評価指標「建築物の環境性能効率（BEE：Built Environment Efficiency）」で評価すること、に基づいて開発されている。このほかには、米国の非営利団体である米国グリーンビルディング評議会（USGBC：The U.S. Green Building Council）により開発された建築物の環境性能評価手法であるLEED（Leadership in Energy and Environment Design）、などがある。これらのコミッショニングへの活用も行われつつある。

#### （6）キーワード

ZEB、ZEH、パッシブ技術、高性能断熱材、高性能窓、高効率設備、統合的エネルギーシミュレーション、再生可能エネルギー利用、エネルギー管理システム、環境影響評価、コミッショニング、省エネルギー改修

（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	○	→	・技術開発に注力しているが、まだ成果が十分ではない。
	応用研究・開発	◎	→	・高機能な建材や省エネルギー機器の開発が進んでいる。
	産業化	○	→	・他国と省エネ政策レベルやそれに伴う産業化に大きな差はみられない。
米国	基礎研究	◎	→	・技術開発に注力している。
	応用研究・開発	◎	→	・高機能な建材や省エネルギー機器の開発が進んでいる。
	産業化	○	→	・他国と省エネ政策レベルやそれに伴う産業化に大きな差はみられない。
欧州	基礎研究	◎	→	・技術開発に注力している。
	応用研究・開発	◎	→	・高機能な建材や省エネルギー機器の開発が進んでいる。
	産業化	○	→	・他国と省エネ政策レベルやそれに伴う産業化に大きな差はみられない。
中国	基礎研究	△	→	・特に目立った動きはみられない。
	応用研究・開発	△	→	・特に目立った動きはみられない。
	産業化	○	→	・他国と省エネ政策レベルやそれに伴う産業化に大きな差はみられない。
韓国	基礎研究	△	→	・特に目立った動きはみられない。
	応用研究・開発	△	→	・特に目立った動きはみられない。
	産業化	○	→	・他国と省エネ政策レベルやそれに伴う産業化に大きな差はみられない。

（註1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（註2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、△：他国に比べて顕著な活動・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

（8）引用資料

- 1) ZEBの実現と展開に関する研究会. 2009. ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）の実現と展開について ～2030年でのZEB達成に向けて～
- 2) 経済産業省 建築材料等判断基準ワーキンググループ資料  
[http://www.meti.go.jp/committee/gizi\\_8/19.html](http://www.meti.go.jp/committee/gizi_8/19.html)
- 3) Takashi Akimoto, Shunichi Eguchi, and Takahiro Tsurusaki. 2014. Research on Establishment of Environmental Value of Solar Thermal Utilization, Part 1: Widespread Use

of Solar Heat and Its Policy Issues in Japan. Grand Renewable Energy 2014.

- 4) The BEST Program WEBサイト

<http://www.ibec.or.jp/best/index.html>

- 5) CASBEE 建築環境総合性能評価システム WEBサイト

<http://www.ibec.or.jp/CASBEE/index.htm>

### 3.2.2.7 次世代交通・運輸システム

#### (1) 研究開発領域名

次世代交通・運輸システム

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

本領域では、自動車の走行環境および運転の仕方の改善による省エネルギー化、小型モビリティが利用されやすい社会システムのあり方、自動車から中大量輸送機関へのシフトを促進するシステム、物流に関する研究開発を推進する。

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

日本の石油消費の約4割が自動車用燃料に使われる中、交通・運輸システムにおける省エネルギーおよびCO<sub>2</sub>発生量削減は喫緊の課題である。省エネルギー化を推進する次世代自動車の技術そのものは他の研究開発領域で扱われるが、本領域では、自動車の走行環境および運転の仕方の改善による省エネルギー化、小型モビリティが利用されやすい社会システムのあり方、自動車から中大量輸送機関へのシフトを促進するシステムに関する研究開発を推進する。

日本では自動車燃料の約1割が渋滞によって無駄に消費されているといわれる。渋滞緩和のための新技術には、まず情報提供および経路誘導による道路ネットワークの効率的活用があげられる。そのためには道路の混雑状況をなるべくもれなくリアルタイムに知る必要があり、これまでの交通情報収集方法である路上の感知器などインフラに依存するものから、個々の車をセンサと考えるプローブ情報システムへと移行しつつある。スマートフォンの普及により、一般の乗用車からも通信コストをほとんど気にすることなくプローブ情報を収集することができるようになったが、それには一般ドライバーが自車の情報を発信するインセンティブがないと実用規模での実現は難しく、そのためのエコシステムがひとつの研究課題である。

都心部などにおける交通集中による渋滞は、経済学でいう外部不経済現象であり、渋滞に加担する個々のドライバーが社会的費用を負担していないことに起因する。この費用を負担させる仕組みが、シンガポールやロンドンで実施されている「ロードプライシング」である。日本でも大都市や観光地での自動車流入抑制策として度々話題にあがるが、技術的課題と社会的受容性からいまだ実施された例はない。そこには、車載機を通して料金収集する場合、ゲートなどを設けることなく車載機の未装着車をどのように判別して取り締まるかという技術的課題と、どのようなロードプライシングなら社会的受容性が高いかという社会的課題が存在しており、その解決が望まれる。

さらに、先進諸国では道路利用料金制度の検討と社会実験が始まっている。すべての自動車がガソリンか軽油を使って走行している場合には、それらの燃料に課税することで実質的に道路の利用料を払っていることになり、その税金で道路整備や維持管理を行ってきた。しかし今後、自動車の電動化が進むことでこのメカニズムが成り立たなくなる。一方で、ICTの進展により、個々の車の位置を把握して課金することも可能になっており、今後このような「どこでもロードプライシング」ともいわれる一般道路を含む道路利用料金制度に向かって各国は大きく舵を切っていくことが考えられる。また、この

ような料金制度を導入することで、上述のロードプライシングをさらに一般化した形で渋滞をマネジメントすることができる。日本では道路利用料金制度に関する交通工学的研究、社会的研究、技術的研究開発がほとんど行われておらず、早急な取り組みが求められる。

運転の方法による省エネルギー化には、エコドライブの促進があるが、先進的な研究開発課題としては、交通流の整流化、すなわちなるべく等速度・等間隔で車を走らせる制御技術、そしてその先には世界中でしのぎを削っている自動運転技術がある。自動運転技術そのものは本領域の範囲外であるが、どのようなスペックの自動運転車両がどの程度ネットワークに混入しているかによる交通流への影響分析は今後の研究課題である。その際に使用される、路車間通信や車車間通信の技術開発もあげられる。

超小型車など次世代自動車そのものの技術開発は別領域で扱われるが、普及過程にある次世代自動車の合理的な利用方法に関する研究開発があげられる。具体的には、シェアリングの技術的・社会的課題解決、物流など商用での効率的利用方法などがある。

自動車から、よりエネルギー効率のよい交通機関への転換策としては、従来の「私的交通機関＝自家用車」「公共交通機関＝鉄道・バス」という二者択一の構図から、その中間領域を狙ったシステムの活用が考えられる。具体的には、車や自転車のシェアリング、オンデマンド型中量公共交通機関、ライドシェアリング、パークアンドライドなどのインターモーダル政策などの推進策と、それらにICTを活用して高度化し、より利便性の高いシステムの提案が必要である。

また物流に関して、共同輸配送や拠点集約などによって物流効率化が進んでいるが、商取引形態やライフスタイルの変化などによる将来の物流取扱い量の増加も懸念される。省エネルギーの観点からの技術的研究、社会的研究も必要である。

#### （４）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

個人の交通行動を分析する際のデータ取得の課題がまずあげられる。伝統的にはアンケート調査によって交通行動を詳細に尋ねていたが、そのような調査に回答してくれる人の割合は減っており、回答者が高齢者に偏るなどのバイアスもみられる。一方で、ICTの進展により、携帯端末のGPS軌跡、自動車のプローブデータ、ETCの支払い履歴、鉄道自動改札の乗車履歴などの新しいデータ取得方法が出現してきたが、これらも近年の個人情報保護意識の高まりで利用の制限が厳しくなっている。

ロードプライシングや道路利用料金制度に関しては、「道路無料開放の原則」という道路法上の制約がある。このために、規制緩和や条例制定などの法的な下ならしをした上でないと実証実験ができないことが大きな課題である。また、都心部乗り入れ課金に対しては、社会的合意形成が必要で、首長などの強力なリーダーシップが必要である。さらに、ガソリン税は常に大きな政治的課題になってきたが、ガソリン税の撤廃または低率化（環境税化など）と道路利用料金制度導入への大きな方向転換には、政治的決断が必要となる。

自動運転技術そのものは本領域の範囲外であるが、まず道路交通法上の課題や事故を起こした時の責任分担といった社会的課題、少数の自動運転車が一般車に混在して走行する場合の他車への影響といった交通工学的課題は依然として大きい。また、最近米国



で自動ブレーキなど高度走行支援車へのハッキングが可能なが実証されたが、今後ますます自動化される要素が大きくなっていく中で、自動車内LANのセキュリティ確保という課題も顕在化してきている。

また物流におけるエネルギー利用効率向上のために、その構造の解明を可能とするビッグデータを、ICTを利用して整備することが必要である。人流や物流を集約化したデータベースは、人流、物流に係るエネルギー利用における需要側資源として活用できる可能性をもつ。

#### (5) 注目動向 (新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など)

- ・米国のGoogleが2009年ごろより自動運転車の開発を進め、公道での実証実験を重ねている。2014年には、車体の設計や製造も自社で行った、ハンドル・アクセル・ブレーキのない完全自動運転車の試作車を発表した。これは、車が必要なときにだけ呼び出す、究極の自動運転を目指しており、自動運転車の公道走行を認めているカリフォルニア州、ネバダ州、フロリダ州などで実証実験を積み重ねている。
- ・ダイムラー、フォルクスワーゲン、BMW、Audi、ボルボなどの欧州車メーカー、GM、Fordなどの米国車メーカー、トヨタ、ホンダ、日産、スバルなどの日本車メーカーは、それぞれ自動運転化を視野に入れた高度な運転支援車の開発に取り組んでいる。アダプティブクルーズコントロール、レーンキープアシスタント、自動ブレーキなどのアプリケーションが市販車に実装されてきている。
- ・日本の国土交通省は、2012年より「オートパイロットシステム」と呼ばれる、高速道路上での自動運転の検討会を開催しており、2013年10月に中間報告書を発表した。
- ・2014年より戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) において、自立システムと協調型システムを組み合わせた自動運転 (自動走行) システムを実用化することを技術的目標とした産学官共同プログラム「自動走行システム」が始まった。この中での自動走行システムの開発・実証項目として、道路情報と車や歩行者の交通情報や交通規制、路面状況などの動的情報を高度複合化した地図情報 (グローバルダイナミックマップ) の構築が進められる予定である。
- ・トヨタ、ホンダ、日産の各カーメーカーは、自社車の会員のカーナビからプローブ情報を収集し、会員に渋滞情報として提供している。カーナビメーカーのパイオニアも同様の取り組みをしている。野村総合研究所は、タクシー位置情報や携帯カーナビ利用者の走行データを分析して、携帯カーナビサービスに渋滞情報を提供している。
- ・日本の国土交通省、都市間高速道路会社 (NEXCO3社)、都市高速道路会社 (首都高速道路など) は、主に高速道路上に設置されたITSスポット (DSRC (Dedicated Short Range Communication) アンテナを設置した箇所) において、ITSスポット対応カーナビからプローブ情報を収集し、道路区間の所要時間情報や急ブレーキ頻発個所などの分析を始めている。
- ・2011年3月に起きた東日本大震災の被災地では、被災直後からのカーナビ搭載車の走行履歴を「通れた道マップ」として公開し、非公式情報ながら道路の被災情報および復旧情報として日々の生活と復旧活動に役立った。その後、山梨県などにおける大雪時にも同様の情報が公開され、災害時における個々の車の通行情報が社会的価値をも

つものとして認識され、災害時にそのような情報を収集・公開するシステムティックな仕組み作りに取り組みられている<sup>1)</sup>。

- ITSを使った都心部乗り入れ課金は、1998年にシンガポールのERP (Electronic Road Pricing) に始まり、2003年のロンドンでのCongestion Charging、2006年のストックホルムのCongestion Tax、2012年のミラノのArea Cでそれぞれ運用開始されている。シンガポールでは、ガントリーに取り付けられたDSRCアンテナと車載機間の通信でICカードから料金を引き下ろすETC方式であるが、よりフレキシブルなシステムにするために、ERP IIと通称される新システムに移行しようと実証実験中である。ERP IIはDSRCと衛星測位の併用システムになる見込みである。
- 走行距離に応じた道路利用料金制度は、欧米ではRoad User Charges (RUC)、VMT (Vehicle-Mile Traveled) Fees、Usage-based Chargesなどと称されて、理論的および技術的研究と実証実験が行われている。RAND Corporation の2010年のレポートでは、距離計ベース、OBD (On-Board Diagnosis) ソケット接続、GPSベースなどさまざまな距離計測方法と料金徴収方法の利害得失を比較している。また、米国連邦道路局は米国各地における道路利用料金制度に関する調査検討レポートを整理しており、それによればミネソタ州、オレゴン州、ワシントン州において実証実験が行われている<sup>2-4)</sup>。
- EUにおける道路利用料金制度は、2016年までの第1フェーズでは、道路インフラ維持コストを利用者負担原則とするために大型車に対する道路利用料金制度を導入し、2016年から2020年までの第2フェーズでは、騒音・地域的大気汚染・渋滞という外部不経済の内部化を目的に、大型車またはすべての自動車を対象に利用料金を課すことを目標としている。一部の国、例えばドイツではすでに大型車に対する道路利用料金をGPS付き車載機を用いて課している<sup>5)</sup>。
- 世界中でカーシェアリングの会員や車両は増え続けているが、そのほとんどが、借り出したデポと同じデポに返却する「リターン型」である。EUでは、異なるデポに乗り捨てられる「ワンウェイ型」のカーシェアリングがすでに商業ベースで始まっている。パリにおいて2011年から始まったAutolib' は、Bollere社が開発した電気自動車を路側に設けた駐車・充電スペースから借り出し・返却するワンウェイ型のカーシェアリングである。2014年1月現在で、2,000台の車両、850箇所のステーション、4,400台分の駐車スペースが供給されている。ダイムラー社の子会社が運営するcar2go は、予約不要で運営地域内であればどこにでも乗り捨てられるシステムをとっており、欧州および北米の30都市において、各都市において数百台規模で運営されている。

## (6) キーワード

プローブ情報、ロードプライシング、道路利用料金制度、次世代自動車、自動運転、路車間通信、車車間通信、カーシェアリング、ライドシェアリング、パークアンドライド、オンデマンド交通

（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	○	↑	・次世代自動車や自動運転に関する基礎的研究は進んでいる。 ・ロードプライシングや道路利用料金制度に関する研究はまだ少ないが、国土交通省国土政策総合研究所が勉強会を開催している。
	応用研究・開発	◎	↑	・超小型車、燃料電池車、自動運転車などの開発は、各カーメーカーが競って行っており、世界のトップクラスにある。
	産業化	○	↑	・次世代自動車の産業化はある程度進んでいるが、例えば電気自動車の普及は予想より進んでいない。 ・運転支援システムを搭載した車両は今後普及して行く。 ・カーシェアリングやサイクルシェアリングは、他国と比べて展開が遅い。
米国	基礎研究	◎	↑	・道路利用料金制度に関する理論的・技術的研究が進んでいる。 ・自動運転に関する基礎的研究が進んでいる。
	応用研究・開発	◎	↑	・プローブ情報、特にCAN情報の活用に関して、研究開発が進んでいる。 ・自動運転車の開発と実証実験は、Googleが抜きこんでいる。 ・次世代自動車の開発も進んでいる。
	産業化	○	↑	・GMやFordは運転支援技術の搭載を進めている。
欧州	基礎研究	○	→	・道路利用料金制度に関する基礎的研究が進んでいる。
	応用研究・開発	◎	↑	・自動運転に関しては、ダイムラー、フォルクスワーゲン、BMW、ボルボなどのメーカーが競って開発している。 ・道路利用料金に関する実証研究がおこなわれている。
	産業化	◎	↑	・サイクルシェアリングのビジネスモデルが欧州から始まっている。 ・Autolib' やcar2go などの先駆的なカーシェアリングが大規模に展開されている。 ・ロードプライシングの理論発祥の地である英国をはじめ、イタリアや北欧で実運用されている。
中国	基礎研究	○	↑	・学会や研究集会において、「緑色交通」「低炭素交通」は大きなキーワードになっている。
	応用研究・開発	△	↑	・自動運転車の開発は今後着手され、実証実験なども実施されると思われる。
	産業化	△	→	・国家プロジェクトとして、新しい交通システムが導入されるケースが多いが、継続的な事業化に成功するケースは多くない。
韓国	基礎研究	○	→	・国立研究所や大学において自動運転化の研究は行われている。
	応用研究・開発	○	↑	・国立研究所や大学において自動運転化の実証実験は行われている。
	産業化	△	→	・現代自動車などのカーメーカーは、次世代自動車に関しては欧米・日本に後れをとっている。

（註1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（註2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、△：他国に比べて顕著な活動・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

## （8）引用資料

- 1) ITS Japan. 2014. 日本のITS.
- 2) Sorensen, P. (RAND Corporation). 2010. System Trials to Demonstrate Mileage-Based Road Use Charges. National Cooperative Highway Research Program. Transportation Research Board.
- 3) Max Donath, Shashi Skekhar, Pi-Ming Cheng, Xiaobin Ma. 2003. A New Approach to Assessing Road User Charges: Evaluation of Core Technologies. Minnesota Department of Transportation.
- 4) US Department of Transportation. Federal Highway Administration. Innovative Program Delivery. Road Pricing Study Report  
[http://www.fhwa.dot.gov/ipd/revenue/road\\_pricing/study\\_reports/auto\\_use\\_costs.aspx](http://www.fhwa.dot.gov/ipd/revenue/road_pricing/study_reports/auto_use_costs.aspx)
- 5) European Commission Mobility and Transport Transport Model Road  
[http://ec.europa.eu/transport/modes/road/road\\_charging/charging\\_hgv\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/modes/road/road_charging/charging_hgv_en.htm)

### 3.2.2.8 新しいエネルギー利用を社会に定着させる技術

#### (1) 研究開発領域名

新しいエネルギー利用を社会に定着させる技術

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

新しいエネルギー利用技術を社会に定着させるための取り組みとして、エネルギーやエネルギー政策の特徴や特殊性などに着目した社会的技術の開発、制度作りといった政策や対応が必要となる。またその定着のためには、ICTなどのさらなる発展と脳科学、社会心理学、行動経済学などの学問分野に基づく新たな領域の発展も期待される。

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

エネルギー技術開発・普及の現状を見ると、特に普及面で十分ではなく新しいエネルギー利用を社会に定着させるための取り組みが必要である。世界のエネルギー需給が大きく変化しつつある現在、日本も含め世界のエネルギー技術の開発・普及政策も変動期に入っていくことになる可能性が高い。今後、ますますイノベーションを促進し社会に定着させるためには、エネルギーやエネルギー政策の特徴や特殊性などに着目した社会的技術の開発、制度作りといった政策や対応が必要となる。

エネルギー政策のテーマである3つのE、すなわちエネルギー安全保障、環境保全および経済性を長期的な観点から解決する鍵は技術であることに疑いはない。どうすればエネルギー分野でイノベーションを促進し新しい技術を社会に定着させることができ、そのためにはどのような技術や制度の枠組みが求められているかを考える必要がある。

エネルギー技術やエネルギー分野のイノベーションには、他の技術分野と異なる特徴や特殊性がある。主要な点として、第一に、エネルギー技術は上記3つのEといった政策目標を含む国のエネルギー政策と密接な関係がある。例えば、1973年の第一次石油危機直後にスタートした「サンシャイン計画」のように国の政策や方針に基づき政府が予算措置を講じて進められることも多い。第二に、石油資源開発のように、国の外交政策や安全保障など必ずしも経済と直接関係しない幅広いような政策分野も関係する。例えば、石油や天然ガスの開発・採掘技術の進歩がシェール層の石油・天然ガスの経済性を向上させ、シェールガスなどの生産量が飛躍的に高まった結果、米国の外交・安全保障政策にも影響を与えているともいわれている。第三に、多くのエネルギー技術革新がCO<sub>2</sub>の排出抑制を目的とし主として環境保全の観点からの規制や外部不経済性により推進されるという側面もある。すなわち、電力がその典型的な例であるが、エネルギーは他の商品やサービスと異なり差別化が困難であるため、ともすれば外部不経済性を減少させることなど需要サイドが刺激されることが重要となる。第四点としては、長期的な視点からの投資が必要なことである。エネルギー技術はリードタイムが非常に長く、一度建設されるとエネルギーインフラの寿命は長期にわたる。したがって、このような施設の立地などに当たっては社会的な受容が重要となってくる。第五に、Global Energy Assessment 2012<sup>1)</sup>によれば、研究、開発、実証から普及に至る多段階のプロセスであるエネルギーの革新システムは、線形ではなくより複雑なものであり技術だけでなく政府や民間企業などの参加者や情報の流れ、制度、相互作用なども重要であると

の指摘がされている。先述のとおり、さまざまな相互作用、特に社会や制度との双方向の関係がより重要となるということである。また、市場との関係についても、新しいエネルギーシステムへの移行は社会技術的な側面も大きいことから、社会的側面や社会システムの対応についても一般の技術の場合と比較してより慎重に考慮されねばならない。

技術開発の現状について現状を概観すると、国際エネルギー機関 (IEA : International Energy Agency) の「エネルギー技術展望 2012 (Energy Technology Perspective 2012) <sup>2)</sup>」によれば、いわゆる「450 ppm シナリオ」、すなわち今世紀末において気温上昇を 2°C 以内とする目標を達成するためには、電力部門を中心にすべての最終需要部門でいっそうの CO<sub>2</sub> 削減を進める必要があるとしている。また、技術的側面からも省エネルギー技術、再生可能エネルギー技術、二酸化炭素回収・貯留 (CCS : Carbon Capture and Storage) などにより、CO<sub>2</sub> 削減が求められるとしている。この目標に対して技術開発の現状をみると多くの分野で十分な進展がみられないと評価されている。将来が比較的明るいのは再生可能エネルギーのうち太陽光や風力、運輸面での省エネルギーくらいで、期待される進歩を実現するためには追加的対応が不可欠とされている。また、IEA 諸国の技術開発に対する財政支出をみると、総額では最初のピークは 1980 年にあり、再上昇を始めたのは 2000 年以降である。使途としては、長年原子力が中心だったが、最近では再生可能エネルギーと省エネルギーが伸びている。

これを踏まえてエネルギー分野のイノベーションを促進するために有効な手立てとして、どのような政策の枠組みが必要か、各国のベスト・プラクティスを集め分析・検討した結果を IEA が取りまとめている。それによれば、第一に、エネルギー技術政策が全体として戦略的に優先順位がつけられ、首尾一貫性が確保されていなければならないとされている。IEA 加盟国においてはエネルギー技術をつかさどる省庁は必ずしもエネルギー政策官庁と一緒にではないからである。第二に、各主体間のよい連係が必要で、また優れたガバナンスも求められる。第三に、民間セクターとの協力が必要である。特に、政府予算が民間の資金と組み合わせることでさらに有効になる。第四に、効果的な監視 (モニタリング) と成果と資金の因果関係などの評価である。現状では多くの国では体系だった監視や評価は行われていない。最後は国際協力の必要性であり、特に財政が厳しい中ではその重要性が増す。

上記のようなエネルギー政策の特徴・特殊性やこれまでの議論などを踏まえて、具体的にどのようにエネルギー分野でイノベーションを促進し、社会に定着させるための社会的技術や制度作りといった政策や対応が必要になってくるのかについて示す。第一に、予算措置を講じて技術開発予算の充実や環境規制の導入、排出権取引制度など新たな制度の創設といった非財政的措置、あるいは環境税の賦課などいろいろな政策を柔軟に組み合わせることが必要である。先述のとおり、技術的な課題が克服されたとしても、新しい技術が社会に定着していくためには、多くの場合さまざまな社会や市場における受け入れに関する障害があり、その適切な解決のためには技術と社会・市場の特性、例えば許認可の手続きなどや電力市場の特性なども勘案した複合した政策が必要である。第二に、技術の成熟度によっても政策や対応は異なってくる。例えば、技術の成

熟度が低ければ、予算措置による研究開発助成によりさらなるイノベーションを促すことがまず重要であるし、市場における展開の段階では、市場における当該技術の競争力を補完するような政策、技術や市場の特性に即したインセンティブ(例えば固定価格買取制度など)を付与することが求められる。さらに既存技術とのコストの差が小さくなると、よりソフトで市場に対して非介入的な手法、例えば、グリーン認証などが有効になる。最終的には、省エネルギーのように、基準づくりなどが有効である。このように絶えず政策とその成果を監視し、展開させないといけない。第三として、今後地球温暖化防止の観点からは、省エネルギーがもっとも重要な技術であり、幅広い需要サイドの対応が重要となる。より一般的にも、普及段階のインパクトをみれば、需要サイドにおける政策や対応の重要性が高まる。第四に、エネルギーのみに特有というわけでは必ずしもないが、エネルギーが多分野の政策課題と関係することから、エネルギーの専門家のみならず多分野の専門家を巻き込んでいくことが重要であり、そういう場を作ることが求められる。その前提として、エネルギーやその政策に対する共通認識を醸成し、リテラシーを向上させていくことが不可欠である。具体的には、エネルギーやエネルギー政策に関連する指標およびその評価基準も作成・開発していくことで、可視化され幅広いベースで評価が可能となる。

また、多くの技術分野でもさまざまな試みがなされているが、ロードマップも共通認識を醸成し、リテラシーの向上の観点から評価されるべきものである。また、中立的な評価機関の設立なども検討されるべきである。この関係では、エネルギーやエネルギー政策に関係する人材育成も、初等教育段階から専門的な段階、また一般的な教育システムの外においても必要である。

次に、新しいエネルギー利用技術を社会に定着させる具体的な技術について解説する。本領域では、ICTの発展および社会心理学や行動経済学などの人文社会科学と脳科学などに基づく技術の開発が鍵となると考えられる。エネルギーそのものの普及促進ではないが、ICTと社会心理学に基づく普及促進技術の例としてAmazonなどによるWebアプリケーションがあげられる。こうしたアプリケーションではICTを通じて、消費者の過去のWeb上での購入実績を分析し、個別の消費者の嗜好性を推定し、それに基づいて、新たな製品などの購入を推薦する。エネルギーの分野でも、近年、スマートメーターの普及が急速に進展しており、消費される電力量の時系列での情報が利用できる可能性が高まっている。現在のところ、これは個人情報であるため、その扱いには個人情報保護法も踏まえた慎重な検討が必要であるが、将来的には、個人情報保護と新しいエネルギー利用技術の普及促進を両立させるような新たなシステムが確立される可能性はある。特に、家庭やオフィス全体だけでなく、個別の機器によるエネルギー消費の時系列推移情報があれば、機器の効率などが推定できるとともに、消費者の機器利用実態も分析できる。ここに上述した社会心理学、行動経済学、脳科学などの知見を踏まえた分析を加えることにより、個々人の限定合理性や嗜好を踏まえた効率の高い省エネ機器の購入促進や省エネルギーを考慮した機器の利用法などを、ICTを利用して消費者に直接伝達することができる。これにより、新しい利用技術を飛躍的に普及促進できる可能性がある。本領域では、文献3)、4)をはじめとして、萌芽的な取り組みがみられるものの本格的な研究開発および社会実装が期待される分野である。

#### （４）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

クリーンなエネルギー技術の開発・イノベーションとその普及が将来の世界のエネルギー問題の多くを解決することを踏まえ、一部についてはすでに言及したが、あらためて課題・ボトルネックについてまとめると以下のとおりである。

先述のとおり、エネルギー技術開発・普及については、現状では特に普及面で不十分である。このために、それぞれの政策環境に応じた横断的かつ柔軟なエネルギー技術開発政策が求められる。残念ながら、必要なイノベーションを促進し、社会に定着させるための社会的技術や制度作りといった政策や対応をすべてうまく実施している国はない。国際機関や国際会議などの場を活用して、各国がそれぞれのベスト・プラクティスから学びそれぞれの政策環境を踏まえて政策に反映させることはもっとも現実的な出発点であると考えられる。

特に、世界のエネルギー需給が大きく変化しつつある現在、日本も含め世界のエネルギー技術政策も変動期に入っていくことになる可能性が高いが、このような時にこそ中立的・客観的な技術評価を行うことは、政策決定の前提として極めて重要である。エネルギー技術は多次元的でさまざまな形で多分野に影響を与える。これらを可視化して最終的な政策判断のための科学的な（evidence-based）前提材料を作ることが大事である。また最終的な判断としては一定の柔軟性が必要で、一定の幅をもって考えるということが求められる。その幅を考えるうえでの前提としてその多様なインプリケーションをしっかりと評価しておくことも重要である。

イノベーションの成果を定着させるためには、多くの場合予算措置だけだと政策としては十分ではなく、規制緩和、税制、知的財産権保護などさまざまな政策と組み合わせる必要がある。例えば、注目を浴びている分散電源のほとんどは以前から発明されていたのだが、日本で普及しなかったのは電力市場が十分に開かれていなかったこととも関係している。またすべて市場に任せればすべてうまくいくということではなく、エネルギー政策をそれ自身だけではなく産業・経済政策の視点も組み合わせて広い視野で政策を検討していくこともますます重要となってくると思われる<sup>5)</sup>。

また、ICTの発展および社会心理学や行動経済学などの人文社会科学と脳科学などに基づく技術の開発においては、上述した個人情報保護と利用の摩擦が大きな課題となることは論を待たない。本問題の解決にはICTにおけるセキュリティの向上や情報漏洩の防止技術の開発のみならず、個人情報保護法などの法制度の分析と新たな制度設計などの検討も必須となる。

#### （５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

日本では、科学技術分野全体に関して、質の高い研究開発をイノベーションにつなげ科学技術イノベーション政策を協力的に推進するために総合科学技術・イノベーション会議の司令塔機能を与える方針などが決定されている（2014年6月「科学技術イノベーション総合戦略2014」）<sup>6)</sup>。また、「エネルギー基本計画」が決定され（2014年4月）<sup>5)</sup>、エネルギー関係技術の開発に関し、「開発を実現する時間軸と社会に実装化させていくための方策を合わせて明確化することが重要」とし、同時に、「指標の整備等についても、検討を行っていく」としている。



現在国家プロジェクトとして進められているスマートグリッドに関する実証実験においても新たな知見が得られつつあるが、今後、社会心理学、行動経済学、脳科学などの知見に基づいて、ICTなどで得られるエネルギー関連のビッグデータを分析することにより、新たな知見が生まれ、本領域が飛躍的に発展する可能性を秘めている。

(6) キーワード

3つのE、省エネルギー、ベスト・プラクティス、首尾一貫性、ガバナンス、民間セクターとの協働、モニタリング、政策の柔軟な組み合わせ、共通認識の醸成、リテラシーの向上、指標と評価基準、ロードマップ、人材育成、司令塔機能、ICT、社会心理学、行動経済学、脳科学、限定合理性

(7) 国際比較

国・地域	現状	トレンド	各国の状況・評価の際に参考にした根拠等
日本	○	→	・「エネルギー基本計画」(2014年4月) <sup>5)</sup> および「科学技術イノベーション総合戦略2014」(2014年6月) <sup>6)</sup> をそれぞれ策定。
米国	○	→	・「気候行動計画」(2013年6月)を発表、既存発電所の二酸化炭素排出基準を設定する規制案を提示(2014年6月)。CAFE(燃費基準)の引上げ(2012年8月)。
欧州	○	→	・欧州委員会は“Energy 2020”(2010年11月)および“Energy Roadmap 2050”(2011年12月)を採択、2030年に向けたエネルギー・政策枠組みを発表(2014年1月) <sup>7)</sup> 。
中国	△	→	・「第十二次五カ年計画」(2011年~2015年)(2011年3月)、「エネルギー発展第十二次五カ年計画」(2013年1月) <sup>8・10)</sup> 。
韓国	△	→	・「低炭素グリーン成長国家戦略」(2008年)、「低炭素グリーン成長基本法」(2010年1月)、「第二次国家エネルギー基本計画」(2014年1月)。

(註1) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、△：他国に比べて顕著な活動・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2) トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

(8) 引用資料

- 1) Global Energy Assessment 2012  
<http://www.iiasa.ac.at/web/home/about/news/Global-Energy-Assessment-now-available.en.html>
- 2) International Energy Agency. 2011. Good Practice Policy Framework for Energy Technology Research, Development and Demonstration (RD&D). Energy Technology Perspective 2012.
- 3) 独立行政法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター. 2014. 民生家庭部門の省エネルギー促進からの低炭素社会実現 低炭素社会の実現に向けた技術及び経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書. LCS-FY2013-PP-09.
- 4) 独立行政法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター. 2014. 家庭の省エネ促進と省エネ価値市場の創成のための政策パッケージデザイン 「電気代そのまま払い」の実現とグ

- リーンパワーモデレータ（GPM）の創出」 低炭素社会の実現に向けた技術及び経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書. LCS-FY2013-PP-08.
- 5) 経済産業省 エネルギー基本計画  
[http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/](http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/)
  - 6) 内閣府 科学技術イノベーション総合戦略2014～未来創造に向けたイノベーションの懸け橋～  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/index.html>
  - 7) European Commission (EC)  
[http://ec.europa.eu/energy/strategies/2011/roadmap\\_2050\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/strategies/2011/roadmap_2050_en.htm)  
[http://ec.europa.eu/clima/policies/2030/documentation\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/2030/documentation_en.htm)
  - 8) 電気事業連合会 海外電力関連情報 中国の電気事業  
[http://www.fepc.or.jp/library/kaigai/kaigai\\_jigyoku/china/detail/1231593\\_4770.html](http://www.fepc.or.jp/library/kaigai/kaigai_jigyoku/china/detail/1231593_4770.html)
  - 9) JOGMEC 北京事務所 習近平政権下の中国のエネルギー政策・外交の行方 ―経済改革とエネルギー安全保障の実現に向けて―  
[http://oilgas-info.jogmec.go.jp/pdf/4/4985/201309\\_001a.pdf](http://oilgas-info.jogmec.go.jp/pdf/4/4985/201309_001a.pdf)
  - 10) 中華人民共和国在日本大使館WEBサイト  
<http://www.china-embassy.or.jp/jpn/>

### 3.2.3 低炭素化を実現するエネルギー利用

#### 3.2.3.1 次世代自動車の利用拡大と高効率化

##### (1) 研究開発領域名

次世代自動車の利用拡大と高効率化

##### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

次世代自動車は、排気のクリーン度や低燃費特性、低炭素特性などの点で通常のガソリン車やディーゼル車の従来車を上回ることを特長とし、これには電気自動車やハイブリッド車、プラグイン・ハイブリッド車、燃料電池自動車などが含まれる。これらの開発・実用化と普及に関しては、我が国は国際的にリードしている状況であり、さらなる先端的な技術開発と産業振興のための政策の推進が必要とされる領域である。

##### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

次世代自動車は、排気のクリーン度や低燃費特性、低炭素特性などの点で従来のガソリン車やディーゼル車を上回ることを特長とし、今後の実用化と本格的な普及が期待されている。これには、電気自動車（EV：Electric Vehicle）、ハイブリッド車（HV：Hybrid Vehicle、またはHEV：Hybrid Electric Vehicle）、外部充電によるEV走行が可能なプラグイン・ハイブリッド車（PHV：Plug-in Hybrid Vehicle、またはPHEV：Plug-in Hybrid Electric Vehicle）、燃料電池自動車（FCV：Fuel Cell Vehicle）などが含まれる。これらの開発・実用化と普及に関しては、我が国は国際的にリードしている状況にあって、運輸分野における省エネルギーとともに、先端的な技術と産業の振興のための重要な政策対象とされている<sup>1)</sup>。

我が国の自動車メーカーは、この十数年にわたり諸外国メーカーに先んじて次世代自動車の開発・実用化に取り組み、製品化を推進している。とりわけHVは、我が国において普及が本格化しており、各社が取り組んでいる車両の製品化に関わる技術開発の面では、競争領域に入っているといえる。

しかしながら、エンジン・電動系のコンポーネントやその材料・素材のレベルでは、まだ基礎から応用にわたって研究開発が必要な対象も多い。すなわち、エンジンの高効率化のための基礎技術、次世代自動車走行用二次電池（バッテリー）の高性能化と内部現象の解明、パワー半導体と関連システムの高効率・コンパクト化、燃料電池のスタックの高性能化と内部現象の解明、さらに、各種の従来素材の改良や新素材の開発、希少金属などの使用量の抑制や代替物質の開発が必要とされている。それらの性能向上の集積が車両自体の性能の改善に大きく寄与する効果がある。これらの技術開発については、産学官の連携体制のもとで研究が推進されている事例が多い。

HVやEV、PHVの製品化はすでに実現しており、FCVについても2014年末より量産化による市場への導入がはじまっている。特にFCVの開発に当たっては、一社で担うリスクを避け、それぞれが技術を共有する国際的な協力体制の構築も進められている。すなわち、トヨタ自動車とBMWの提携、日産自動車・ルノーとダイムラー、フォード間での提携、本田技研工業とGMでの提携などの例であり、部品の共通化や生産規模の拡大によってコストダウンを図る狙いがある。

その一方で新興国を含む国際市場において、内燃機関を用いた従来車は自動車メーカーにとって、既存技術を改善し利用する点でコスト的に有利なことから依然として重要な開発対象となっている。具体的には、戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) や NEDO 事業としても実施されているエンジンシステムの高効率化技術<sup>2)</sup> や車両の軽量化技術<sup>3)</sup> の研究開発を中心として、今後も強化される燃費基準への適合、さらにはそれを上回る燃費性能の達成に向けて取り組まれているのが実情である。

#### (4) 研究開発推進上の課題・ボトルネック (科学技術的課題、政策的課題)

EVに関しては、我が国のメーカーが他国メーカーに先んじて量産化を果たしているが、今後、いっそうの普及を図るためには、バッテリーと電動系コンポーネントのコスト抑制による車両価格の低減が必要とされている。また、EVの一充電航続距離が100~200 km程度であり、NEDOのロードマップに示されているように、バッテリーのエネルギー密度の向上によるいっそうの航続力伸長が課題とされている<sup>4)</sup>。また、バッテリー残量の低下に対する運転者の不安を解消するためには、急速・普通充電設備の適切な配置と拡大が必要である。このため、経済産業省によって2012年度から2014年度の3年間、設置費用に対する大規模な助成が行われている<sup>5)</sup>。EVとFCVでは、それぞれ充電インフラと水素供給ステーションの適切な設置拡大が不可欠であり、それによって今後の本格的な普及が大きく左右される状況にある。

PHVではこれらの充電設備を利用することも可能であるが、ハイブリッド走行によってバッテリー残量に対する不安がなく、全体の航続距離が大きく伸びることが長所とされ、普及が進むとする見方もある。また、EVを小型や超小型に都市内の短距離移動の手段に特化して使う事業例も国内外でみられる。そのなかには、これらをカーシェアリング用に活用する試行例もみられる。

FCVでは、燃料電池スタックの高性能化をはじめ、低温運転性能や信頼耐久性の確保が進み、車両として製品化の域に達しつつある。2014年末にはトヨタ自動車からは世界初の本格的な量産車が発売され<sup>6)</sup>、2015年には本田技研工業、2017年には日産自動車が発売を予定している。これらの燃料電池スタックで触媒として使われる白金の量もこの十数年間で大幅に低減されている。この点では高コスト要因がある程度は抑制されつつある反面、関連コンポーネントや周辺機器類も含めた車両全体の大幅なコスト低減が課題とされている。それを克服するためには、従来車との車両価格やランニングコストの差を抑える支援策として、現在行われている公的な購入補助と税の減免措置を中長期にわたって継続する必要がある。

水素貯蔵容器については、炭素繊維などによって強化・軽量化され、35 MPaと70 MPaの充填圧のものが利用されているが、いずれも製造コストを大幅に低減するとともに、容器と充填の安全性に関わる国際基準調和を我が国が主導して推進する必要がある。また、水素供給ステーションに関しても、設置費用に約5億円を要するのが現状であり、それを半減することが目標とされている。ステーションでの水素供給に関わる課題については、水素供給・利用技術研究組合 (HySUT) によって自動車メーカーとエネルギー企業が共同して行う実証事業を通じて解決が図られている<sup>7)</sup>。

我が国では、4大都市圏を中心に2015年までに100基のステーション設置が予定されて

おり、諸外国の計画を大きく上回っている。しかしながら、これによって水素の供給によって営業収益を得ることは難しく、ステーションの維持費用も含めた国の支援が不可欠とされている。また、燃料コストについてもガソリン価格並みのレベルにまで低減しなければならない。さらに、このような新たな燃料の利用に当たっては、社会的な理解と受容性を促す官民の連携による努力も不可欠である。

FCVに使われる水素はナフサや天然ガスから改質反応によって生成しているのが現状である。しかしながら、長期的な観点からFCVの普及によるいっそうの低炭素化を実現するためには、化石系原料を脱して再生可能なエネルギーを利用した水素製造技術を開発し実用化する必要がある。その際、いわゆる “Well-to-Wheel” に基づいた低炭素特性とエネルギー効率に対する適正な評価を行うことが求められる。

また軽量化技術は次世代車のみならず従来車も含めて、車両の運動性能向上、動力システムの小型化への寄与による車両重量の低減など環境対策の負担も軽減されるという極めて好ましい循環がもたらされる。我が国の鉄鋼メーカーは高張力鋼や超高張力鋼の技術分野で先行しており、すでに採用が部分的に始まっている。その他には、アルミニウムなどの軽金属やCFRPを含むプラスチックの利用が進められている。それぞれの特徴を活かし、形成・加工の難しさやコスト増加、生産のグローバル化への対応、リサイクル性の確保などの課題を克服した上で普及することが望まれる技術である。その際、車両同士の衝突時の双方の安全性を図る “コンパティビリティ性 (共存性)” を確保することも技術的な課題となる。

#### (5) 注目動向 (新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など)

2020年以降、各国では自動車の燃費基準の強化が予定されており、中長期的にも強化の傾向は一段と強まるものと予想される。特にCO<sub>2</sub>の排出低減のためもっとも厳しい基準が提示されているEUでは、従来車の燃費改善に加えて、電動化の必要性が高まるものと予想される。また、補機類用バッテリー電源の48ボルト化やエンジンのアイドルストップと再始動、回生制動、出力の補助などの機能を有するマイクロハイブリッド化を推進しようとする動向もある。これらは、メーカー間の競争領域に入る課題といえる。

EUでは、ドイツにおける e-mobility にみられるように、小型EVを都市内の短距離移動用に利用する産学官連携の実証事業が進められている。これには、カーシェアリング事業も含まれ、フランスの各市でも同様の事業例がある<sup>8)</sup>。

米国では、2012年からエネルギー省の主導による電気や代替燃料も含めた自動車分野の基礎研究と普及に関わる支援事業が幅広く行われている<sup>9)</sup>。その一環として、2013年から “EV Everywhere Grand Challenge” を掲げ、10年以内に全米でEVやPHVの本格普及を図るため、充電インフラ設置個所の増設や関連する車両技術の目標を提示している<sup>10)</sup>。

中国では、次世代車の開発は先進国に比べて遅れているのが現状である。最近著しく悪化している大都市の大気汚染の改善策として、EVの大量導入を目指して国と自治体によるEVの購入助成が進められており、これによって内外メーカーの量産が大きく促されているものと予想される。

（6）キーワード

ハイブリッド車、プラグイン・ハイブリッド車、電気自動車、燃料電池自動車、リチウムイオン電池、次世代二次電池、燃料電池、パワー半導体、水素供給ステーション、車両軽量化技術

（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	◎	↑	・次世代自動車用のモーター、バッテリー、燃料電池、それらに関連するコンポーネント、電子制御技術や素材に関して行われている産学の基礎研究の分野では国際的に先行している。（NEDOなどの事業）
	応用研究・開発	◎	↑	・上記の基礎研究から応用研究にわたって国際的に先行しているが、各メーカーの戦略によって研究開発の対象が異なる。
	産業化	◎	↑	・我が国の自動車メーカー各社では、それぞれの技術戦略の違いはあるが、全体として、HVやEVの製品化と量産化に関しては、国際的に大きく先行している。FCVについても量産化を前提にした市場導入の準備と水素供給ステーションの設置が進められている。（各企業の実績より）
米国	基礎研究	○	→	・エネルギー省所管の各国立研究所では、広範な基礎研究が実施されている。コンポーネントに関する基礎研究や性能を評価する計算コードの開発が取り組まれている <sup>11)</sup> 。
	応用研究・開発	○	→	・カリフォルニア州による Zero Emission Vehicle Program に対応して、EVやPHV、FCVの開発を各メーカーに求めている。連邦レベルでは充電インフラ整備に取り組んでいる <sup>10)</sup> 。
	産業化	△	→	・次世代自動車はコスト高であり、短期的な収益性が従来車に劣るため自動車メーカーでは積極的な製品化に消極的な傾向がある。多様な自動車用代替燃料の普及に力点が置かれている。
欧州	基礎研究	△	→	・従来車を対象とした研究に重点が置かれている傾向がある。
	応用研究・開発	△	→	・我が国が先行しているHV技術の後追いを避け、従来車の性能改善に重点が置かれている。航続距離の伸長を目的にしたPHVが注目されている。
	産業化	△	→	・次世代自動車の製品化は行われているが、生産は小規模な状況に止まっているのが現状である <sup>8)</sup> 。
中国	基礎研究	△	↑	・次世代自動車に関連する基礎研究では、大学を中心に取り組まれているが、立ち遅れているのが現状である。
	応用研究・開発	△	↑	・大学が産業界からニーズに応じて取り組まれている例があるが、必ずしも成功していない（例として、同済大学や精華大学でのFCVの開発研究がある）。
	産業化	△	↑	・HVやEVについては量産化している企業があるが、国内市場を主な対象としており、性能や信頼性、耐久性の面では、国際市場の水準よりも劣っている。今後大都市の大気汚染の改善のため、EVの導入が予想される。
韓国	基礎研究	△	↑	・企業の研究所において行われているのが現状である。
	応用研究・開発	○	↑	・次世代自動車全般にわたって取り組まれているが、FCVに開発に重点を置いている。他の車種に関しては必ずしも顕著な成果はみられない。
	産業化	○	↑	・FCVの積極的な量産化に取り組み、2014年から欧米への限定販売を開始している。自動車用リチウムイオン電池に関しては、大規模の量産化の投資が行われており、欧米の自動車メーカーへの供給では、コスト面で極めて優位な状況にある。

（註1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

## （註2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、  
△：他国に比べて顕著な活動・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

## （8）引用資料

- 1) 経済産業省 次世代自動車戦略研究会. 2010. 次世代自動車戦略2010.
- 2) 内閣府. 2014. 戦略的イノベーション創造プログラム 革新的燃焼技術  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/>
- 3) NEDO. 2014. 革新的新構造材料等研究開発  
[http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100077.html](http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100077.html)
- 4) NEDO. 2013. 二次電池技術開発ロードマップ  
<http://www.nedo.go.jp/content/100535728.pdf>
- 5) （一社）次世代自動車振興センター. 2012年度～2014年度. 次世代自動車充電インフラ整備促進事業  
[http://www.cev-pc.or.jp/hojo/hosei\\_index.html](http://www.cev-pc.or.jp/hojo/hosei_index.html),
- 6) トヨタ自動車（株）. 2014. 燃料電池自動車の販売開始について  
<http://newsroom.toyota.co.jp/jp/detail/3274916/>
- 7) 水素供給・利用技術研究組合. 2014. WEBサイト  
<http://hysut.or.jp/>
- 8) IEA. 2013. Global EV Outlook 2013  
[http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook\\_2013.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook_2013.pdf)
- 9) 米国エネルギー省自動車技術室. 2014  
<http://energy.gov/eere/vehicles/vehicle-technologies-office>,
- 10) 米国エネルギー省. 2014. EV Everywhere Grand Challenge  
<http://energy.gov/eere/vehicles/vehicle-technologies-office-ev-everywhere-grand-challenge>
- 11) 米国エネルギー省. 2014. エネルギー関連国立研究所の活動  
<http://energy.gov/science-innovation/national-labs>



### 3.2.3.2 未利用中低温排熱源の効率的活用

#### (1) 研究開発領域名

未利用中低温排熱源の効率的活用

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

中低温熱はエクセルギー率が低いため、これまで必ずしも有効に利用されてきたとは言い難い。本研究開発領域では、未利用の中低温の熱源に対し、外燃機関、熱駆動冷凍サイクルや高温ヒートポンプなどを適用する際の課題を解決するための研究開発を推進する。

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

中低温の熱利用技術は、これまでは主として経済性の観点から技術導入とともに研究開発も遅れていた。しかしながら、マクロなエネルギーバランスから明らかなように熱需要は膨大であり、未利用の中低温排熱も同時に大量に排出されていることから、その省エネポテンシャルは非常に大きい。また、昨今のエネルギー価格の高騰や資源ナショナリズムの台頭といった環境変化から、今後いっそうの省エネルギーが不可欠となっており、中低温の熱利用に改めて注目が集まっている。我が国における熱エネルギー利用の実態を総合的に把握するとともに、熱利用技術の研究開発を推進することが急務となっている<sup>1)</sup>。

中低温熱利用における第一の課題は、熱需要の実態が明らかでないため、技術開発ターゲットを絞りきれないことにある。例えば、産業分野においては、熱の利用を示す温度や流量データは製品製造プロセスと密接に関連するため、企業秘密としてオープンにされることは少ない。また、水産加工や食品産業などといった中小規模の産業分野においては、殺菌、乾燥といった中低温熱需要が非常に多いが、利用形態や規模が多様でその実態がほとんど把握されていない。同様に民生分野においても、テナントビルに代表されるように形態、用途、規模が多様であり、その利用実態が不明である。そのため、架空の使用条件を想定した技術開発が進められることになる。まずは、これらの熱需要の実態を明らかにした上で、実使用条件における真の技術課題を抽出することが重要となる。このような状況の中、HEMS (Home Energy Management System) やBEMS (Building Energy Management System) 技術の進展とともに、実証実験が開始されるようになってきており、電力需要についてはデータ収集が進みつつある。ただし、省エネポテンシャルが大きい熱需要については、温度データの集積は比較的容易であるものの、流量データの収集が困難であるという課題がある。

数十℃～数百℃程度の温度を有する熱源には、地熱、地中熱、温泉、太陽熱などの再生可能エネルギー、熱機関や燃料電池などの発電機からの排熱、製造ラインからの工場排熱などがあるが、これらの熱源の多くは少量で空間的にも分散するため、数十kW～MW程度の中小型システムへのニーズが高い。熱利用技術は一般に成熟した技術と認識されることがあるが、中低温熱利用においては、特に費用対効果の面からいっそうの改善が必要である。温度変化する熱源との温度差の小さいサイクルの開発 (超臨界サイクル、トリラテラルサイクル、VPC (Variable Phase Cycle) など)、温暖化係数が小さ

く安全な作動流体の開発、高効率膨張機・圧縮機、低コスト高効率熱交換器、防汚、耐熱性の高い冷凍機油、オイルフリー化技術、システム研究（熱源とのマッチング）などの研究課題があげられる。例えば、熱源温度が100℃程度のバイナリー発電では、冷媒のR245faが作動流体として用いられる場合が多いが、より高温の熱源にも適用できる作動流体の開発が求められる。また、排熱発電に限らず、中低温熱で再生が可能な吸着式、吸収式などの熱駆動冷凍サイクルも同様にいっそうの低コスト化、および高効率化に向けた研究開発が必要である。

熱需要は大きくは給湯、空調、乾燥、殺菌、濃縮、蒸留などに分類される。そのほとんどは200℃程度以下の中低温であるが、現在はその多くが化石燃料の燃焼（ボイラなど）で賄われている。これは、ひとえにボイラのイニシャルコストと燃料コストが、他技術と比較して圧倒的に安価なためである<sup>2)</sup>。しかしながら、昨今の燃料価格の高騰により、従来の燃焼式に頼った加熱プロセスを見直す機運が高まっている。特に、ヒートポンプは理想的には不可逆損失無しに熱を利用することができる技術であり、このヒートポンプ技術を現状の冷凍空調用途から、暖房、給湯、乾燥、殺菌といったさまざまな用途へ拡大する動きが強まっている。例えば、近年120℃程度の蒸気を発生させる高温型のヒートポンプが製品化されている<sup>3)</sup>。しかしながら、さまざまな温度域の熱需要に対応するためには、より高温まで適用可能な高効率ヒートポンプが必要である。具体的な研究開発課題としては、高温用サイクルの開発（二段サイクル、超臨界サイクル、逆ブレイトンサイクルなど）、温暖化係数が小さく安全な作動流体の開発、高効率圧縮機・膨張機、低コスト高効率熱交換器、耐スケール性、高温に耐える冷凍機油、あるいはオイルフリー化技術、システム研究（熱源とのマッチング）などがあげられる。

中低温熱はエクセルギー率が低いために、一般に動力に比して熱交換量が圧倒的に大きくなる。例えば、我が国のエアコン性能は諸外国に比べて非常に高いレベルにあるが、その主たる要因は非常に大型の熱交換器を搭載していることによる<sup>4)</sup>。すなわち、製品競争力を向上させる上で、熱交換器の低コスト化は避けて通れない<sup>5)</sup>。また、排ガスからの熱回収などの新規な用途に対しては、熱サイクルへの耐久性や凝縮水による腐食などが課題となる。この場合、材料としてステンレスを利用することになるが、低い熱伝導率による性能低下をどのように挽回するか、良好なドレン排水をどう実現するかといった従来にない課題が発生する。熱交換器技術は、これまで用途ごとに独自に進化してきており、新規な用途にそのまま適用できるケースは必ずしも多くない。新たな用途における新規な設計を世界に先駆けて我が国で開発し、知財を確保した上で世界標準を握る戦略が望まれる。また、下水熱や温泉熱を利用する場合はスケール付着や防汚への対策が不可欠である。一般に、高性能伝熱促進面はスケール付着に弱いいため、低コスト化の大きな障壁となっている。

さらに、中低温熱を利用する場合に注意を要する点として、希薄分散する熱をバイナリー発電装置あるいはヒートポンプなどの本体まで導くための配管などの周辺機器コスト、およびその建設コストが高いことがあげられる。場合によっては、これら周辺コストが熱源機本体コストを上回るケースがあることが報告されている<sup>6)</sup>。バイナリー発電において、熱収集のためのコストが無視できる場合には、機器を高効率化し、イニシャルコストあたりの出力を高めることが有利となる。しかしながら、この場合は高温熱源

と環境温度との熱源間温度差が大きくなる、すなわち高温熱源はほとんど温度変化することなく高温のままバイナリー発電機から環境に放出されることになり、熱源の保有するエンタルピーのわずかな量しか利用されずに廃棄されることになる。これは、我が国のエネルギー問題に量的に貢献するという観点からは、望ましい形ではない。他方で、地熱発電のように熱を引き回すコストが大きい場合は、熱源の保有する有限のエクセルギーを最大限回収することが重要となる。先述のVPC、トリラテラルサイクル、超臨界サイクルなどは、熱源利用後の排出温度を環境温度程度まで低下させて仕事を回収することができるサイクルであり、熱源の保有するエクセルギーを回収するという観点から有利となる。

#### (4) 研究開発推進上の課題・ボトルネック (科学技術的課題、政策的課題)

前節までに解説してきた技術の多くは原理的には公知であるが、既存技術に対して競争力を向上させるためには、今後とも継続的な研究開発が必要である。しかしながら、これまで主として経済的な面から研究開発投資が滞ってきた。一方で、現在の燃料価格や電力料金の高騰は、従来競争力の低かった技術の経済的な導入障壁が下がってきていることを示唆している。また、エネルギー安全保障や環境問題への貢献といった視点からも、これらの熱利用技術は重要である。その技術開発は、どちらかといえば漸進的な技術の蓄積が土台となるが、一定規模の公的支援によって、基盤技術の継続的な研究開発を推進すべきである。このことは、我が国の関連産業の国際競争向上につながり、結果的に国全体としての経済効果をもたらす可能性が高い。

現状では、膨大な量の中低温熱が利用されずに廃棄されているが、これらは散在している場合が多く、またその実態が明らかでない場合が多い。この情報不足が研究開発を進める上での主なボトルネックの一つとなっている。さまざまな需要地における温度流量条件や機器の稼働実態について、環境条件も含めてその時間変動から季節変動まで情報収集する必要があるが、個別企業での対応は困難であり、公的な支援が不可欠である。

また、技術的には低コスト化が最大の課題である。地熱については固定価格買取制度 (FIT: Feed-in Tarrif) が適用され、コスト障壁はかなり低下したが、他の熱源についても同様な支援が求められる。また、コスト要因の大きな割合を占める熱交換器については、スケール、霜、煤などに耐性のある伝熱促進技術が必要とされている。これら熱抵抗となる物質の化学反応や輸送現象は非常に複雑であるが、基礎研究シーズと開発現場を橋渡しすることで、ブレークスルーが達成される可能性がある。

さらには、小型バイナリー発電の場合は、大型発電設備を前提とした電気事業法の適用が適当ではないとの意見があり、規制緩和や新たな企画の整備が求められている。

#### (5) 注目動向 (新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など)

- ・2012年度に、文部科学省と経済産業省の合同検討会である未来開拓連携の一テーマとして「未利用熱エネルギー」が議論され、2013年10月に、「未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合 (略称: TherMAT)」が設立された<sup>7)</sup>。これは、18の企業、1つの一般法人と産総研から構成される技術研究組合であり、膨大な量の未利用熱エネルギーを削減・回収・利用するための要素技術 (断熱、遮熱、蓄熱、ヒートポンプ、熱

電変換、排熱発電、熱マネジメントなど)を革新し、システムとして確立することを目的としている。

- ・地熱発電導入の三大障壁は、高い導入コスト、国立公園問題、そして温泉問題といわれている<sup>8)</sup>。FITが地熱や温泉熱にも適用され、出力15,000 kW以上は27.3円/kWh (15年間)、15,000 kW未満は42円/kWh (15年間)の買い取り価格となり、コストについては大きく前進した。ただし、環境アセスメントや適用先へのカスタマイズなどが必要であることから、太陽光発電のような短期間での導入拡大は困難である。残りの障壁である国立公園問題や温泉問題の解決とも合わせ、2020年以降の普及拡大が期待されている。
- ・大型の地熱発電用タービンは、日本メーカー3社(東芝、富士電機、三菱重工業)が全世界の7割近くのシェアを占めており、圧倒的な競争力を保っている。
- ・近年、バイナリーシステムの研究開発が活発である<sup>9)</sup>。MWクラスでは、イスラエル系米国企業のOrmat社が圧倒的な実績を有しており、非常に高い市場シェアを握っている。出力は250~15,000 kWと幅広く、空冷凝縮器などのモジュール化により低コストを実現している。富士電機も同様のシステム(2,000~10,000 kW)を2010年から販売開始している。三菱重工業もイタリアのTurboden社の数百~10,000 kWのオーガニックランキンサイクル(ORC: Organic Rankine Cycle)の販売を開始している。
- ・数百 kW以下のクラスのバイナリーシステムとして、三井造船が米国 Energent社の100、400 kW級システムを導入している。川崎重工は、ラジアルタービン出力250 kWのバイナリーシステムを2010年から発売している。第一実業は、2013年から米国 Acces Energy社のオーガニックランキンサイクル設備の販売を開始した。また神戸製鋼所は、スクリー圧縮機を転用したマイクロバイナリーシステムを販売している。75~95°Cの温水、110~130°Cの低圧蒸気を利用できる。
- ・小型のバイナリーシステムの開発も進んできている。株式会社IHIは、ラジアルタービンで20 kWという超小型のバイナリーシステムを2013年から販売している。アネスト岩田が5.5、11 kW、アルバック理工が3 kW級のいずれもスクロール膨張機を用いた小型システムを開発している。その他、上記のTherMATにおいても小型のバイナリーシステムが開発対象の一つとなっている。
- ・蒸気発生ヒートポンプに関しては、神戸製鋼、東京電力、中部電力、関西電力の4社が、65°Cの温排水から120°C/0.1MPaGの低圧蒸気を発生する製品を2011年に発表している<sup>3)</sup>。COPは3.2であり、後段に蒸気コンプレッサーを追設することで165°C/0.6MPaGまで昇温昇圧することが可能である。
- ・三菱重工業、東京ガス、三浦工業は、ガスエンジン冷却水温度を110~115°Cに高めることで、大気圧レベルのフラッシュ蒸気を生成し、これをさらに圧縮機で再圧縮して0.7 MPaGの蒸気を生成する全蒸気取り出しコージェネレーションシステムを共同開発している<sup>10)</sup>。ガスエンジンの高い発電効率を維持したまま、利用しにくい温水をニーズの高い蒸気にアップグレードできることから、中小規模の蒸気需要の多い工場などへの適用が期待されている。

（6）キーワード

断熱、伝熱、熱輸送、蓄熱、バイナリー発電、外燃機関、ヒートポンプ

（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	◎	→	・研究者数も依然多く、基礎研究もまだ競争力を有している。
	応用研究・開発	◎	↑	・冷凍空調技術を転用した新技術が近年多く開発されている。
	産業化	◎	↑	・上記技術を用いた新製品も発売が続いている。
米国	基礎研究	○	→	・基礎研究自体は地道に続いている。
	応用研究・開発	○	→	・ORCなどの開発は実施されている。
	産業化	○	→	・ターボ冷凍機やコンプレッサーを始め、既存技術や製品力は高い。
欧州	基礎研究	○	→	・自然冷媒などの基礎研究は強い。
	応用研究・開発	○	→	・伝統のある企業が地道に開発を進めている。
	産業化	○	→	・イタリアのTurboden社が小型バイナリーシステムの納入実績がある。
中国	基礎研究	○	↑	・論文発表数が近年増加している。まだレベルは高くないが、今後進展する可能性あり。
	応用研究・開発	△	↑	・技術導入の進展が進むと今後急速に力をつけてくる可能性あり。
	産業化	△	↑	・技術導入の進展が進むと今後急速に力をつけてくる可能性あり。
韓国	基礎研究	◎	↑	・エアコンなどの小型機での研究開発は大きく進んでいる。
	応用研究・開発	◎	↑	・グローバルに現地ニーズに合わせた開発が進んでいる。
	産業化	○	↑	・中大型機は現時点では強くないが、小型機の技術転用が進めば伸びる可能性あり。

（註1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（註2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・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

## （8）引用資料

- 1) 独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター. 2013. 研究開発の俯瞰報告書 環境・エネルギー分野（2013年）第2版. CRDS-FY2013-FR-02.
- 2) 鹿園直毅. 2008. 小温度差熱利用技術の可能性. 季刊すまいろん. 2008年夏号, pp. 54-58.
- 3) 中部電力. 2011. 高効率蒸気供給システム「スチームグロウヒートポンプ」の開発・販売について  
[http://www.chuden.co.jp/corporate/publicity/pub\\_release/press/3138620\\_6926.html](http://www.chuden.co.jp/corporate/publicity/pub_release/press/3138620_6926.html)
- 4) 総合資源エネルギー調査会, 省エネルギー基準部会 エアコンディショナー判断基準小委員会. 2006. 最終取りまとめ
- 5) 鹿園直毅. 2013. エクセルギー損失削減に貢献する伝熱促進技術. 機能材料. Vol.33 No. 7, pp. 13-19.
- 6) 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構. 2013. 小規模地熱発電及び地熱水の多段階利用事業の導入課題調査手引書
- 7) 経済産業省. 2013. 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合（略称：TherMAT）の概要  
[http://www.meti.go.jp/policy/tech\\_promotion/kenkyuu/saishin/48.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/tech_promotion/kenkyuu/saishin/48.pdf)
- 8) 公益財団法人自然エネルギー財団. 2013. 国際シンポジウムREvision2013・新しい自然エネルギーの未来を創造する  
[http://jref.or.jp/activities/events\\_20130226.php](http://jref.or.jp/activities/events_20130226.php)
- 9) 矢野経済研究所. 2013. バイナリー発電システムの最新動向&市場展望.
- 10) 鈴木、長面川、石田、吉栖、高井、山野. 2013. 分散型発電用ガスエンジンKU30GSIの高効率化と排熱利用技術. 三菱重工技報. 50(3), pp. 67-72.

### 3.2.3.3 建築物における太陽熱エネルギー活用

#### (1) 研究開発領域名

建築物における太陽熱エネルギー活用

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

住宅や業務ビルなどの建築物において化石燃料消費を低減させるためには、太陽光発電に加えて太陽熱を有効に利用することが課題となる。また太陽熱により温水を製造して暖房・給湯に利用するだけでなく、従来電力によって賄っている冷房空調にも応用するために、本領域では要素となる集熱技術や熱エネルギー変換・蓄熱・利用システムを構築するとともに経済性の向上を図る。

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

太陽熱利用はすでに実用化されており、太陽熱利用のシステムは太陽集熱器、蓄熱槽、ポンプなどの循環系および制御系で構成される。

太陽集熱器には、温水で回収する平板型集熱器と真空管型集熱器が普及している。世界的には真空管型の比率が高く、これは主に中国で真空管型の利用が多いためである。真空管型は温水温度が高い状態での断熱性能が良く、高温水の回収に適した技術である。一方、日本では真空管型集熱器のメーカーがなく、海外から輸入している。日本では個別住宅用の平板型集熱器の外形寸法を太陽光発電モジュールと同じにして外観デザインを改善させたり、施工性を高めるなどの技術開発が進められている<sup>1)</sup>。また、集合住宅用のセントラル給湯システムのコストダウンを目指した技術開発も行われている<sup>1)</sup>。

一方、蒸気レベルの高温で太陽熱を回収するための集光型集熱器の開発に向けた研究が日本のプロジェクト事業として実施されている。これは太陽熱発電を想定したプロジェクトであるが、太陽熱を利用した冷房（ソーラークーリング）に対する熱供給にも応用可能であり、さらには産業用のプロセス加熱への展開も見込まれる。当該プロジェクトではトラフ型ミラーを用いた線集光タイプの真空管型集熱器の性能を評価するための試験装置の開発が進められている<sup>2)</sup>。なお、集光比が高い場合には太陽追尾が必要となるが、複合放物面鏡（CPC：Compound Parabolic Concentrator）や非結像レンズを用いた非追尾型の集光集熱器<sup>3, 4)</sup>の研究も行われている。住宅や業務ビルなどに追尾装置をおくことは難しい点があることから、非追尾型の技術開発が課題と考えられる。

建築の観点からは、建物の屋根や屋上でなく、壁面に集熱器を設置する方式が海外で実用化されている。日本ではベランダ用として垂直に設置する平板型集熱器が開発され、近年一部の集合住宅に導入されている。中高層建物では屋上面積が限られていることから、建築と一体的に壁面に集熱器を設置する方法は太陽熱利用の導入促進に寄与すると予想される。

蓄熱槽については従来温水蓄熱が使用されており、住宅用として日本では200～300リットル、海外では500リットル程度の容量が利用されている。この蓄熱槽の小型化に向けた技術開発として、潜熱蓄熱材を用いる蓄熱方式<sup>5)</sup>やケミカル蓄熱<sup>6)</sup>、吸着材を用いた蓄熱の研究開発が行われている。

太陽熱が不足する場合の補助熱源としてはガス給湯器が使われることが一般的である

が、近年ヒートポンプと組み合わせたシステムも実用化している。欧州では蓄熱槽・補助熱源・制御系を一体化したコンビシステムと呼ばれる設備が提供されている。これは個別の機器を組み合わせるのではないため、システムの運用が統合的になされること、ユーザから見て一つの事業者にアクセスすればよいことなどのメリットがある。

業務ビルでは冷房負荷が住宅よりも大きいことから、太陽熱によるソーラークーリングの技術開発が求められる。世界的に見るとソーラークーリングの導入は増加傾向にあり、その大部分は欧州である。ソーラークーリングの方式には、吸収冷凍機、吸着冷凍機、エジェクタ、それからデシカント空調と組み合わせる技術があげられる。吸収冷凍機は従来の二重効用吸収冷凍機に太陽熱を受ける一重効用サイクル用再生器を付加した技術が開発されている。吸着冷凍機では、近年開発されたゼオライト系吸着材が低温駆動に適していることから65～70℃の太陽熱温水を熱源とする設備が実現している。エジェクタ方式では85℃程度の太陽熱温水を熱源とし、エジェクタにより蒸発器を低圧にすることによって冷水を生成する仕組みが開発されている<sup>7)</sup>。またデシカント空調と組み合わせる技術としては、従来のデシカントロータの再生に80℃程度の太陽熱温水を用いたり、除湿後の空気を冷却するために太陽熱駆動の吸着冷凍機で発生した冷水を用いる方式がある。いずれも技術的には実現されているものの、経済性に改善の余地がある。冬季は暖房負荷に太陽熱が利用できるが、従来は夏季に太陽熱を利用する先がなかった。ソーラークーリングは夏季の太陽熱利用を拡大する効果を持ち、太陽集熱器などの設備の通年運用を可能とする意義がある。

太陽熱利用を促進するためにグリーン熱証書制度ができていますが、証書を得るためには利用した太陽熱を計量することが不可欠である。また集合住宅のセントラル方式の熱供給においても課金のために計量が必要である。しかしながら計量装置はコストアップ要因となるため、熱量計の低コスト化が課題である<sup>8)</sup>。オーストラリアでは計量せずに「みなし」によって太陽熱利用量を評価することが制度化されている。

以上を踏まえ、太陽熱利用を促進するための研究開発課題は以下のとおり整理できる。

- ・太陽集熱器の低コスト化。
- ・建物壁面に設置する方式の太陽熱集熱器の開発。
- ・非追尾による集光集熱による太陽熱回収温度の高温化。
- ・蓄熱槽の蓄熱密度の高密度化・小型化、季節間蓄熱手法の確立。
- ・ソーラークーリング用太陽熱駆動冷凍機などの小型化・低コスト化。
- ・太陽熱計量器の低コスト化、太陽熱利用量の推定手法の確立。

#### （４）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

太陽熱給湯器の家庭への普及が低迷している理由として、経済性が低いことがあげられる。屋根置き型の太陽熱温水器をLPGを使用する世帯に導入する場合には回収年数が6年程度<sup>9)</sup>と経済性は比較的良好だが、強制循環型ソーラーシステムを都市ガスを使用する世帯に導入した場合には20～30年程度かかると試算されている。したがって、コストを下げる技術開発が極めて重要である。集熱器には輻射損失を抑えるために選択吸収膜と呼ばれる長波長の赤外光の放射率が小さいコーティングが使われているが、低コストで有効な選択吸収膜材料の開発が課題にあげられる。また、欧州で開発が進められている



ようなプラスチック製の集熱器のように、使用素材を大きく変える技術開発が日本では見受けられない。

建物に太陽熱を導入する場合、低コスト化のために屋根や壁面などの建物と集熱器が一体となる導入方法が有効である。海外では個別住宅や集合住宅で集熱器が建物と一体的にデザインされた事例が多い。このように住宅などの建物と融合する太陽熱利用システムの導入形態を確立し、ユーザに認知されることが重要である。また、蓄熱槽のコンパクト化や熱エネルギー変換を図るには高温での太陽熱回収が有効である。そのためには集光集熱技術の開発が必要であるが、現在実用化されているものは真空管型集熱器の裏側にCPCなどの反射鏡を設置した例がある程度であり、今後非追尾による集光集熱器の開発が求められる。

寒冷地であるカナダで太陽熱暖房比率90%を実現した事例<sup>10)</sup>がある。給湯を太陽熱で100%賄う住宅を実際に建築した事例はわずかながら日本にも存在する。給湯負荷が高い日本において100%太陽熱住宅の実証研究を進め、一般性のある建築方法論を確立させることの意義は大きい。

オーストリアでは太陽熱利用の産業応用を進める中で太陽集熱器や建築設備としてのエンジニアリング技術を育成し、輸出産業とする政策を取ってきている。日本ではこのような産業政策的な視点で太陽熱関連技術が捉えられていない。将来的に再生可能エネルギー利用が進むことを考えれば、集熱器単品の生産ではなく、太陽熱エンジニアリング産業を形成する技術開発が、長期的に日本の技術力を活かすことにつながる。

以上から、要素技術の研究開発に加え、太陽熱を有効かつ経済的に利用するためのエンジニアリングにつなげる系統的な研究開発を推進し、建物と一体的に導入する方法論を確立することが今後の大きな課題である。

#### (5) 注目動向 (新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など)

欧州では平板型でありながら真空式の太陽集熱器が開発された<sup>11, 12)</sup>。集光機能や太陽追尾機能がなくても200℃の高温を得られる。また、国際エネルギー機関 (IEA: International Energy Agency) のSolar Heating and Cooling Programmeでは低コスト化をめざしてオールプラスチックによる平板型集熱器の開発が進められている<sup>13)</sup>。

寒冷地であるカナダ・アルバータ州の52軒の住宅群で、地中を季節間蓄熱に利用して太陽熱で暖房の90%を賄えることが実証されている<sup>10)</sup>。数年間の運転の結果、季節間蓄熱が十分に機能する状態が観測されている。

世界最大のソーラークーリングシステムは2011年にシンガポールにあるUnited World College of South East Asiaに設置されている。集熱面積は3,900 m<sup>2</sup>にも及び、キャンパス内のすべての温水負荷と大部分の冷熱負荷を賄っている<sup>14)</sup>。東南アジアは今後冷熱負荷が増加すると見込まれること、冷熱負荷が通年あることから、ソーラークーリングに適した地域である。日本の吸収冷凍機メーカーはインドネシアでソーラークーリングの実証試験を進めている<sup>15)</sup>。

ソーラークーリングの冷熱供給の熱源機として吸着冷凍機が利用されている。実用化されている吸着冷凍機は単段型と呼ばれる吸着材熱交換器を2基ペアにして運転する方式であり、70℃程度の温水で駆動できる。さらに低温の60℃程度の温水でも運転可能な

二段吸着冷凍機が提案されている<sup>16)</sup>。熱源温度の低温化によって太陽熱を有効利用できる範囲が拡大することが期待される。

（6）キーワード

太陽熱利用、集熱器、蓄熱、ソーラークーリング、吸収冷凍機、吸着冷凍機、デシカント空調、エジェクタ、熱量計

（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>太陽集熱器の試験装置の開発が大学および企業の連携によって進められている。</li> <li>ケミカル蓄熱などの新しい材料の研究が大学で行われている。</li> <li>非追尾型集熱器の研究は大学において進められている。</li> </ul>
	応用研究	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>戸建住宅に太陽熱を利用して燃料消費を半減させるプロジェクト<sup>5)</sup>や熱量計の簡易化がNEDOで進められている<sup>8)</sup>。</li> <li>潜熱蓄熱材を用いた蓄熱方式の研究が研究機関や企業で進められている。</li> </ul>
	産業化	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>平板型集熱器のメーカーが確立している。</li> <li>ソーラークーリングのための吸収冷凍機、吸着冷凍機、エジェクタ方式、デシカント空調器の製品化ができています。</li> </ul>
米国	基礎研究	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>非追尾型の集光集熱器の研究、ソーラークーリングへの応用が大学において進められている<sup>4)</sup>。</li> </ul>
	応用研究	△	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>トラフ型など高温集熱技術の研究開発が研究機関<sup>17)</sup>において進められている。</li> <li>プラスチック製太陽集熱器の研究が研究機関<sup>17)</sup>で行われている。</li> </ul>
	産業化	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽熱発電は米国内で実用化され、発電事業が行われている。</li> <li>太陽熱を業務ビルに導入した事例は多数あり。工業プロセスにも一部で使われている。</li> </ul>
欧州	基礎研究	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>プラスチックによる平板型集熱器の研究開発がIEAのプログラムとして企業で進められている。</li> </ul>
	応用研究	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>真空式の平板型集熱器が企業で開発された。</li> </ul>
	産業化	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>小型の吸着冷凍機を供給するベンチャー企業が複数ある。</li> <li>大規模な太陽集熱器を用いるシステムの開発を扱う企業がある。デンマークでは大規模に太陽集熱する地域熱供給プラントが複数運転している。</li> </ul>
中国	基礎研究	×	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>集熱器などの要素技術に関する目立った研究は見受けられない。</li> </ul>
	応用研究	△	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽熱を利用する建築物の研究が大学で行われている。</li> </ul>
	産業化	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>中国は世界最大の太陽熱温水器の導入国であり、海外にも製品を輸出している。</li> </ul>
韓国	基礎研究	△	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>集光集熱による高温熱回収の研究が大学および研究機関で進められている。</li> </ul>
	応用研究	△	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽熱を活用する建築の研究が研究機関で進められている。</li> </ul>
	産業化	×	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>目立った太陽熱給湯器メーカーは見受けられない。</li> </ul>

## (註1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

## (註2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・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

## (8) 引用資料

- 1) 東京都環境局 新築住宅への太陽熱新技術等提案事業  
[http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/energy/renewable\\_energy/ne2/taiyonetu/new-tech.html](http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/energy/renewable_energy/ne2/taiyonetu/new-tech.html)
- 2) (一財)ファインセラミックスセンター. 2014.  
太陽熱レシーバ評価のための人工光源シミュレータ開発  
[http://www.ifcc.or.jp/25\\_press/r14\\_2.html](http://www.ifcc.or.jp/25_press/r14_2.html)
- 3) A. AKISAWA, et. al. Concentration performance of circular glass tube with internal prisms of non-imaging Fresnel lens, O-Th-6-1, Grand Renewable Energy 2014, 27 July-1 August, 2014, Tokyo.
- 4) Roland Winston. Thermodynamically Efficient Solar Concentration. UC Solar Symposium, 9 December, 2011.  
[http://www.ucsolar.org/files/public/documents/12-9-11%20present%20final\\_R%20Winston.pdf](http://www.ucsolar.org/files/public/documents/12-9-11%20present%20final_R%20Winston.pdf)
- 5) NEDO太陽熱エネルギー活用型住宅の技術開発  
[http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100037.html](http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100037.html)
- 6) T. Noguchi, et. al. Investigation of reaction accelerating and analysis model for Na<sub>2</sub>S-5H<sub>2</sub>O chemical heat storage, P-Th-19, Grand Renewable Energy 2014, 27 July-1 August, 2014, Tokyo.
- 7) 日比谷総合設備(株).2012. 廃熱・太陽熱利用エジェクタ式冷房システムの実用化について.  
[http://www.hibiya-eng.co.jp/assets/files/news/2012\\_12\\_05\\_eiyekuta.pdf](http://www.hibiya-eng.co.jp/assets/files/news/2012_12_05_eiyekuta.pdf)
- 8) NEDO 再生可能エネルギー熱利用計測技術実証事業  
[http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100043.html](http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100043.html)
- 9) 資源エネルギー庁 あったかエコ太陽熱  
[http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/attaka\\_eco/df/kankyou.html](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/attaka_eco/df/kankyou.html)
- 10) Drake Landing Solar Community WEBサイト  
<http://dlsc.ca/about.htm>
- 11) SRB Energy社 WEBサイト  
<http://www.srbenergy.com/pages/caracteristicas-del-colector>
- 12) TPV Solar社 WEBサイト  
<http://www.tvpsolar.com/index.php?context=technology>
- 13) IEA/Solar Heating and Cooling Programme, Task39

- <http://task39.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Task39-Highlights-20131.pdf>
- 14) Singapore Economic Development Board WEBサイト  
<http://www.edb.gov.sg/content/edb/en/news-and-events/news/news-archives/2011/solid-asia-unveils-solar-cooling-system-at-uwcsea-singapore.html/>
- 15) 川崎重工業(株). 2014. インドネシアで太陽熱利用空調システムの実証試験を開始(川重冷熱工業)  
[http://www.khi.co.jp/news/detail/20140120\\_1.html](http://www.khi.co.jp/news/detail/20140120_1.html)
- 16) Abul Fazal Mohammad Mizanur RAHMAN, Yuki UEDA, Atsushi AKISAWA, Takahiko MIYAZAKI, Bidyut Baran SAHA. 2012. Innovative Design and Performance of Three-Bed Two-Stage Adsorption Cycle under Optimized Cycle Time, Journal of Environment and Engineering.7(1), 92-108.
- 17) National Renewable Energy Laboratoryホームページ, <http://www.nrel.gov/solar/>

### 3.2.3.4 水素エネルギーの利用浸透

#### (1) 研究開発領域名

水素エネルギーの利用浸透

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

水素は、環境負荷低減やエネルギーセキュリティ、省エネルギー性、産業振興といった多くの意義を有するエネルギーとして注目されている。現状のところ製造・輸送を中心に研究開発が行われているが、水素の普及にあたっては利用側の技術開発をいっそう推進し、水素の大量利用を実現することが重要である。このため分散型電源、燃料電池自動車と水素ステーション、水素発電など、水素エネルギーの利用に関する研究開発を推進する。

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

水素に関する研究開発を各チェーン（製造、輸送・貯蔵、利用）で概説すると以下の通りである。

製造については、副生水素、原油随伴ガス、褐炭といった未利用エネルギーや再生可能エネルギーを含む多様な一次エネルギー源からさまざまな方法で製造が可能であり、この点が水素の特長のひとつである。原理的にはほぼ完成された技術が多く、現時点における研究開発項目はコストダウンや水素製造装置の高耐久性化がメインとなっている。

輸送・貯蔵については、すでに水素の特性を踏まえてさまざまな方式が提案されている。具体的には、高圧水素や液体水素といった体積圧縮や相変化により大量の水素を輸送・貯蔵するもの、アンモニア、メチルシクロヘキサンといった化学的に異なる物質に変換し、輸送・貯蔵を容易にするもの、に大別される。日本においてはすでに実用化されている高圧水素は別として、液体水素、アンモニア、メチルシクロヘキサンといった各キャリアにつき、内閣府の国家プロジェクトである戦略的イノベーションプログラム（SIP : Strategic Innovation Promotion Program）のエネルギーキャリア分野を筆頭に産官学による積極的な研究開発が行われている<sup>1)</sup>。

利用については、分散型電源、燃料電池自動車（FCV : Fuel Cell Vehicle）+水素ステーション、水素発電といった各用途に向けた研究開発が国内外で積極的に行われている。本項では水素利用関連の研究開発を中心に記載する。また、水素エネルギーの利用を円滑に行うために必要となる安全性の確保に向けた取り組みなどについても述べる。

##### a. 分散型電源

代表的な分散型電源のひとつである燃料電池は日本が世界に先駆けて実用化・商用化した技術である。特に家庭用向けの燃料電池については、2009年の発売後、順調に普及台数を伸ばし2013年度末時点で全国における導入台数が8万台以上<sup>1)</sup>に達している。また、海外展開も開始<sup>2)</sup>され、今後とも日本企業を中心に世界的な規模でのいっそうの普及拡大が期待されている。

現在実用化済みの燃料電池は、天然ガスやLPGといった化石エネルギーを燃料としており、化石エネルギーによる発電システムと見なすことが一般的であるが、実際にはシ

システム内部で化石エネルギーを水素に改質し、その水素により発電しており、水素駆動型エネルギーシステムである。

すなわち、水素直接供給により発電が可能であり、燃料電池は水素利用を促進するにあたって重要な技術である。水素駆動型燃料電池は、改質器が不要となるためコンパクト化・低コスト化が図られ、高効率で負荷応答性の高い分散型電源となり得る。すでにNEXT21と呼ばれる実験集合住宅でのフィールドテストも行われており、実現に向けた技術的課題はほぼ解決済みであるが、今後に向けた技術的課題として以下があげられている<sup>3)</sup>。

- ・ 現行型の化石燃料駆動型燃料電池と比較して、高い水素利用率が想定されるため、耐久性を維持しつつ、高い水素利用を可能とする燃料電池の開発・実証。
- ・ 純水素型燃料電池ユニットと組み合わせ可能な水素燃焼型バックアップボイラ（水素バーナーなど）の開発・実証。
- ・ 水素漏洩事故防止の観点から、水素付臭剤などの必要な措置に関する開発・実証。

#### b. FCV+水素ステーション

2015年の実用化開始を控えたFCVについては、国内メーカーが世界に先駆けて2014年の発売を発表するなど普及に向けて着々とプログラムが進行している。今後については、燃料電池技術をフォークリフトや船舶などに拡大するとともに、2025年度頃に同車格のハイブリッド車同等の価格競争力をもつことを目指している<sup>3)</sup>。また、欧米においては自動車に対する環境規制がさらに強化されることが想定され、この流れの中でFCVにかかる期待もますます大きくなると考えられる。ついては、この分野で世界的なイニシアティブを担うことを視野に入れた研究開発が欠かせない。

また、FCVの普及にあたっては、燃料を補給するためのインフラ整備が欠かせないが、四大都市圏を中心に2015年度内に100カ所程度の水素ステーションを確保する計画である<sup>3)</sup>。現在の水素ステーションの水素の供給源は高圧水素のローリー輸送や炭化水素改質水素が主であるが、今後の普及拡大に向けて、液体水素や有機ヒドライド、アンモニアなどの多様なエネルギーキャリアを活用するべく研究開発が行われている。

#### c. 水素発電

水素を安定かつ大量に活用するための有力な手段として水素発電の実用化があげられる。水素発電は水素消費段階においてCO<sub>2</sub>を排出しないため、水素製造段階において二酸化炭素貯留（CCS：Carbon dioxide Capture and Storage）などを活用する、もしくは再生可能エネルギーを活用する、などの技術を組み合わせることにより、環境負荷の極めて低い発電方法になる可能性を秘めている。

すでに国内外において水素タービン開発が行われているが、燃焼温度が高く、燃焼速度が速い水素を低NO<sub>x</sub>で燃焼するため水噴射型が主流となっている。国内においては、従来型の水素タービンよりも高効率かつ低コストのシステムを目指して、SIPのプログラムにおいてドライ型水素タービンの開発が開始されている。また、同じくSIPのプログラムとして水素エンジンの実用化を目指した要素開発も開始される予定である<sup>4)</sup>。これらの技術の実用化にともない、水素の安定的かつ大規模な需要が発生し、製造・輸送・

貯蔵・利用の一連の水素サプライチェーンが構築され、水素のコストが低下することで、上記の分散型電源やFCVなどへの波及効果が期待されている。

その他、安全性の確保に向けては、国内でも高圧ガス保安法をはじめとした法規制により担保されている。その一方で、法規制が普及にあたってのネックになる場合もあり、安倍政権の規制改革会議において水素インフラ整備が取り上げられるなど、規制の再点検・見直しも検討されている状況である。

#### （４）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

水素エネルギーの利用浸透に向けた研究開発については、国内外において前述した水素エネルギーのさまざまなポテンシャルが認識されており、積極的に推進されている。我が国でも、先般閣議決定されたエネルギー基本計画において「“水素社会”の実現に向けた取り組みの加速」が明記され、基礎的なエネルギーキャリア研究についてはSIPをはじめとしたプログラムが進行するとともに、各事業者も水素の事業化に向けて積極的な技術開発を推進している。

科学技術的課題としては、まずは水素エネルギー利用技術のコストダウンの実現があげられる。例えば、FCVの普及に向けては、2025年ごろに車両価格を従来型車両（ハイブリッド車）との価格競争力を有することが目標であり、水素価格についても2015年にガソリン車の燃料代と同等以下、2020年ごろにハイブリッド車の燃料代と同等以下、の実現が目標となっている<sup>3)</sup>。さらには水素発電については、2020年代後半にプラント引き渡しコストで30 円/Nm<sup>3</sup>程度、すなわち発電コストで17 円/kWh程度を下回ることを目指しており、この実現に向けた技術開発が必要である<sup>3)</sup>。

#### （５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

エネルギー自給率の低い我が国にとって、多層化・多様化した柔軟なエネルギー需給構造の構築は極めて重要であり、水素はその実現に向けた重要なエネルギー源である。国内では内閣府が文部科学省と経済産業省と連携してSIPを立ち上げ、その中の研究テーマのひとつとしてエネルギーキャリアの研究開発を推進している<sup>1)</sup>。ここでは、海外余剰水素や再生可能エネルギー由来水素を活用した、液体水素、有機ハイドライド、アンモニアといった多様な水素エネルギーキャリアの実用化に向けた研究開発を、製造・輸送・貯蔵そして利用の各チェーンをにらみながら実施しており、特に利用については水素タービン、水素エンジンの開発、アンモニアを活用した燃料電池やアンモニア発電の開発などを行う計画である。

#### （６）キーワード

水素、分散型電源、燃料電池、燃料電池自動車、水素ステーション、水素タービン、水素エンジン、液体水素、有機ハイドライド、アンモニア

（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	◎	↑	・SIPをはじめとする研究開発プログラムが進行中であり、水素利用の分野においても基礎研究が進められている <sup>1)</sup> 。
	応用研究・開発	◎	↑	・特に水素エネルギーキャリアの実用化に向けて、有機ハイドライド方式、液体水素方式、アンモニア方式といった多様な研究開発が進行中である。 ・SIPにおいて、2020年東京オリンピック・パラリンピックにおける技術実証をマイルストーンにおいており、今後のいっそうの研究開発の加速が計画に織り込まれている <sup>1)</sup> 。
	産業化	◎	↑	・家庭用燃料電池については順調に普及拡大が進んでいる。また、積極的に海外展開を図る企業も現れており、世界的に見ても最先端と位置づけられる。 ・2014年にFCVの発売がアナウンスされ、また国内100か所程度の水素ステーション建設も行われる計画である。
米国	基礎研究	○	→	・米国エネルギー省（DOE：Department of Energy）において水素関連技術の技術開発を実施しており、毎年1億ドルの予算を計上している。ただし、オバマ政権においては、一時期電気自動車とプラグイン・ハイブリッド車の開発に力点が置かれ、水素関連の技術開発については削減傾向にあったが、最近水素への関与を強めつつある <sup>3)</sup> 。
	応用研究・開発	○	→	・米国再生可能エネルギー研究所（NREL：National Renewable Energy Laboratory）により「Power to Hydrogen」プロジェクトが進められている。風力による電力から水素を製造し、電解槽の寿命や電力系統との親和性、規制との適合性などを確認している <sup>4)</sup> 。
	産業化	○	→	・カリフォルニア州を中心に燃料電池車および水素ステーションの普及が進められており、毎年2,000万ドルを投じて州内で100か所まで水素ステーションを整備することを発表済である <sup>5)</sup> 。 ・一方、州レベルの動きを支援しつつ、FCV普及と水素ステーション展開を全米に拡大するために、DOEは官民パートナーシップ「H2USA」を立ち上げるなどの対応をおこなっている <sup>6)</sup> 。 ・燃料電池については、数100 kW級SOFCを実用化しており、多数の顧客企業に導入を図っている <sup>7)</sup> 。
欧州	基礎研究	◎	↑	・広範囲において研究開発が進められている。 ・有機ハイドライド系の一種であるカルバゾール系（複素環式）化合物をキャリアに適用する研究がドイツで進められている <sup>8)</sup> 。
	応用研究・開発	◎	↑	・ドイツを中心として、欧米各国でも再生可能エネルギー由来の電力を水素に変換する Power to Gas の取組が積極的に行われている。 ・水素タービンについてはイタリアのENEL社が運転を行うなど実用化への取り組みが進んでいる。なお、この水素タービンは蒸気噴射型である <sup>9)</sup> 。
	産業化	◎	↑	・各国で水素ステーション普及に向けた取り組みが進められている <sup>10)</sup> 。 ・ドイツでは連邦政府による「水素・燃料電池技術革新プログラム（NIP）」により2007～2016年の10年間で合計14億ユーロ（官民が半額ずつ出資）を水素・燃料電池技術開発に投資中である <sup>10)</sup> 。 ・英国では英国は3つの省（運輸省、エネルギー・気候変動省、ビジネス・イノベーション・職業技能省）が連携して、水素エネルギーの実用化を目指している。特にエネルギー・気候変動省は、CO <sub>2</sub> 削減の切り札としての水素エネルギーに注目している <sup>10)</sup> 。 ・北欧においては、ノルウェーの水素ハイウェイ計画「HyNor」、デンマークの水素ハイウェイ計画「HydrogenLink」、スウェーデンの水素ハイウェイ計画「HydrogenSweden」などが進められており、これらのスカンジナビア諸国はスカンジナビア水素ハイウェイパートナーシップ（SHHP）を組み、連携して水素インフラ構築に進んでいる <sup>10)</sup> 。



中国	基礎研究	△	→	・基礎レベルではあるが、再生可能エネルギーとともに水素関連研究開発を実施している。
	応用研究・開発	△	→	・中国科学院や大学を中心に研究開発を推進している。
	産業化	△	→	・今後増加するエネルギー需要への対策として再生可能エネルギー導入に関する政策がとられている。また、各主要都市においてハイブリッド車、電気自動車、燃料電池自動車などの次世代自動車を1,000台以上導入するプログラムを実施している <sup>11)</sup> 。 ・燃料電池自動車については、2014年に全国的なデモを実施するとともに2015年に100台生産予定である <sup>8)</sup> 。
韓国	基礎研究	△	→	・水素貯蔵合金などの開発が行われている。
	応用研究・開発	△	→	・未来創造科学省を中心に第三次科学技術基本計画（2013～2017年）を策定した。推進課題「未来エネルギー・資源の確保・活用」で水素エネルギー技術が国家戦略技術にあげられている <sup>12)</sup> 。
	産業化	◎	↗	・燃料電池自動車を2025年までに世界市場に180万台、水素ステーションを2020年までに168か所建設の計画である。FCVについては、2013～2015年にEUに合計90台を導入予定であり、光州広域市でも2014年6月に運用を開始している <sup>8)</sup> 。 ・「New and Renewable Energy (NRE) 導入政策」により現状全エネルギーの3.18%の導入状況であるが、2035年に一次エネルギーの11%を導入する計画である。これに伴いNRE導入支援策も整備されている <sup>8)</sup> 。

(註1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(註2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・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

## (8) 引用資料

- 1) 独立行政法人科学技術振興機構 SIPエネルギーキャリア WEBサイト  
<http://www.jst.go.jp/sip/k04.html>
- 2) パナソニック(株). 2013. 欧州初の家庭用燃料電池コージェネレーションシステムの販売を開始  
<http://panasonic.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/2013/09/jn130910-3/jn130910-3.html>
- 3) 経済産業省. 2014. 水素・燃料電池戦略ロードマップ  
<http://www.meti.go.jp/press/2014/06/20140624004/20140624004-2.pdf>
- 4) NREL Hydrogen and Fuel Cell Research  
[http://www.nrel.gov/hydrogen/proj\\_wind\\_hydrogen.html](http://www.nrel.gov/hydrogen/proj_wind_hydrogen.html)
- 5) California Fuel Cell Partnership カリフォルニア ロードマップ (概要版)  
[http://cafcp.org/sites/files/CaFCP\\_RoadMap2012\\_JP\\_CaFCPUP\\_0.pdf](http://cafcp.org/sites/files/CaFCP_RoadMap2012_JP_CaFCPUP_0.pdf)
- 6) Hydrogen and Fuel Cells Program H<sub>2</sub>USA Update  
[http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/htac\\_apr14\\_4\\_markowitz.pdf](http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/htac_apr14_4_markowitz.pdf)
- 7) Bloomenergy WEBサイト  
<http://www.bloomenergy.com/>

- 8) 相澤芳弘. 2014. WHEC全体総括. HESS 第145回定例報告会
- 9) 科学技術・学術政策研究所 Science & Technology Trends October 2010. トピックス4 イタリアで世界初の水素火力発電設備が竣工  
<http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/2182/1/NISTEP-STT115-7.pdf>
- 10) NEDO 水素エネルギー白書  
<http://www.nedo.go.jp/content/100567362.pdf>
- 11) Fuel Cell Today. Fuel Cell and Hydrogen in China 2012  
[http://www.fuelcelltoday.com/media/1587227/fuel\\_cells\\_and\\_hydrogen\\_in\\_china\\_2012.pdf](http://www.fuelcelltoday.com/media/1587227/fuel_cells_and_hydrogen_in_china_2012.pdf)
- 12) 独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 科学技術・イノベーション動向報告 韓国編～2013年度版～  
<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2013/OR/CRDS-FY2013-OR-03.pdf>