

ATTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC
TGA C CTAAC T CTCAGACC

戦略プロポーザル

課題解決型研究開発の提言(1)

都市から構築するわが国の新たなエネルギー需給構造

STRATEGIC PROPOSAL

Proposal for Issue-driven Research and Development I 1 0 1 0 0 0 0 1

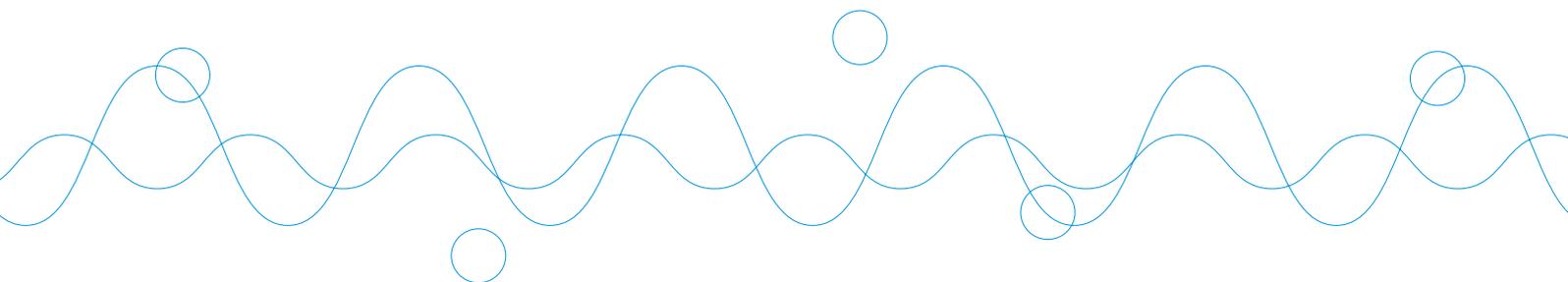
Future energy demand and supply landscape envisaged through 0 1 1 0
a framework of cities 0 1 0 1 1 1

0 1 0 1 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1

0 0 1 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 0

0 1 0 1 1 1

0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1



研究開発戦略センター（CRDS）は、国の科学技術イノベーション政策に関する調査、分析、提案を中立的な立場に立つて行う公的シンクタンクの一つで、文部科学省を主務省とする独立行政法人科学技術振興機構（JST）に属しています。

CRDSは、科学技術分野の全体像の把握（俯瞰）、社会的期待の分析、国内外の動向調査や国際比較を踏まえて、さまざまな分野の専門家や政策立案者との対話を通じて、「戦略プロポーザル」を作成します。

「戦略プロポーザル」は、今後国として重点的に取り組むべき研究開発の戦略や、科学技術イノベーション政策上の重要課題についての提案をまとめたものとして、政策立案者や関連研究者へ配布し、広く公表します。

公的な科学技術研究は、個々の研究領域の振興だけでなく、それらの統合によって社会的な期待に応えることが重要です。「戦略プロポーザル」が国の政策立案に活用され、科学技術イノベーションの実現や社会的な課題の解決に寄与することを期待しています。

詳細については、下記ウェブサイトをご覧ください。

<http://www.jst.go.jp/crds>

はじめに

科学技術分野の研究開発活動は、個々の科学領域の発展を促すと共に、研究開発から生まれる知見やその実用化を通じて社会的便益を創出すべきものであることが世界共通の認識になりつつある。わが国においても、第4期科学技術基本計画や科学技術イノベーション総合戦略の底流にある科学技術イノベーション政策の基本的方針は、従来の科学技術分野別の重点的な推進から、重要な社会的課題の解決へと転換している。

しかし、わが国で国際競争力、環境、健康といった言葉によって広義に表現される社会的期待を実現するための研究課題を特定するプロセスは、注目を浴びる研究分野や既存の研究プロジェクトからの抽出に留まることが多い。そして、社会的な期待・目標と、その達成に必要なかつ十分な研究分野・課題を論理的に導き出す、客観的で正当性のある戦略立案プロセスは未だ確立されておらず、わが国のみならず、国際的にも政策課題となっている。

このような背景から、科学技術振興機構 研究開発戦略センター（JST/CRDS、以下CRDS）は、社会的期待と科学技術研究開発テーマとの「邂逅」に基づく、課題解決型研究開発戦略の立案方法の構築に取り組んでいる（CRDS-FY2013-XR-05「社会的期待と研究開発領域の邂逅に基づく「課題達成型」研究開発戦略の立案」【1】）。そこでは、社会的期待の系統的な分析・抽出を進めているが、社会的期待と科学技術研究の「邂逅」を実現するためには複数の科学技術の領域融合・役割連携が不可欠であるという認識に至っている。

CRDSでは、平成24年度に上記の戦略立案方法の試行と課題探索を進めた結果、戦後日本の飛躍的な発展を支えてきた社会基盤であるエネルギー、インフラ、そして人の健康が直面する深刻な現状と将来見通しに関わる12の課題を特定した（CRDS-FY2013-XR-01「社会的期待と研究開発領域の邂逅に基づく「課題達成型」研究開発戦略の立案（速報版）」【2】、p.20参照）。これらは日本社会が抱える課題であるが、同時にグローバル化が進む現代においては世界とりわけ先進諸国が共有する課題でもある。それゆえ、「課題先進国」とも言われる日本が世界に率先してそれらに取り組み、克服することが期待される。

平成25年度には、課題探索の結果を基に、エネルギー、インフラ、人の健康に関する優先的な課題を1件ずつ選定した。個々の課題についてさらに詳細な検討を進め、社会的課題の構造的な把握・分析を行い、その結果に基づき、今後、国が推進すべき研究開発領域やその推進方策を検討した。本報告書は、そのうちエネルギーに関する「課題解決型」研究開発戦略の検討の結果をまとめたものである。

エグゼクティブサマリー

本提言は、エネルギーに関する課題解決型の研究開発、特にわが国の都市におけるエネルギー利用・消費の高効率化を課題とした研究開発の在り方について提案するものである。エネルギー自給率が極めて低いわが国のエネルギー資源獲得は、国際的な政治経済動向の影響を受けやすい。しかし国際情勢は予測困難な事態が頻繁に発生するため、どのようなエネルギー需給の将来見通しであっても大きな不確かさが伴う。加えて、東日本大震災及び東京電力福島第一原子力発電所事故の発生以降、わが国では国内の電力需要を賄うために火力発電が増え、結果として温室効果ガス排出量は京都議定書基準年の1990年ならびに大震災前と比べて増加した。こうした事実を踏まえつつ、今後、エネルギー消費と温室効果ガス排出を削減しながらも、なお成長や発展を期することは、社会の共通の目標といえる。

上記目標の実現に向けて、2014年には新たなエネルギー基本計画が閣議決定され、「多層化・多様化した柔軟なエネルギー需給構造」の構築に向けた基本方針が示された。当該計画では電源構成のあり方等、供給側が主要な論点のひとつであるが、需要側における社会的、制度的、あるいは技術的な変化等への対応の必要性についても言及がある。特に省エネルギーの推進を重視し、電気や熱への転換をいかに効率的に行い、無駄なく利用するかという観点から、部門ごとの取組み強化の必要性を指摘している。しかし、こうしたエネルギー問題に関する政策的検討はこれまで国全体を見渡すマクロな視点での議論にとどまる場合が多かった。今後は、よりミクロな視点から問題を精査する枠組みを設定し、より具体的かつ大胆な将来ビジョンや目標を描く必要がある。

このような視点に立つ時、市民生活に伴うエネルギー需要が集中して存在する場である都市は、わが国はもちろん、海外諸国においても、エネルギー消費の削減余地や利用形態を精査する対象として重要である。歴史的に都市は外敵や自然環境から市民の生活を守り、集約される知識と資源を多様な社会的、経済的活動に展開する場として機能し、成立してきた。ところが、そのような都市機能を維持し、さらに高めるためのエネルギー資源の投入は、近代化の歴史の中で継続的に増加を続けてきた。この間、エネルギーの需給構造は複雑化し、その全体像を把握することは徐々に困難になっている。また、専らエネルギーの需要者としての都市における経済活動や市民生活が、エネルギー資源や地球環境の制約とどのように整合性を持ちうるのかが重要な課題となってきた。こうした経緯から、今後持続可能な社会の構築に向けて、特にエネルギー需給の観点から都市を改めて精査し、果たすべき役割、またその実現における科学技術の貢献を明らかにする必要がある。具体的には、都市の多様な社会経済的機能や市民生活の向上、そして健康促進などのコベネフィットの創出にも寄与する、大胆なエネルギー利用効率の改善や省エネルギーの推進に向けた科学技術イノベーション政策を推進する必要がある。

わが国で人口が20万人を超える市と特別区は2010年時点で国内に111ある【3】¹。これらは市町村の総数（1,742）の5%程度に過ぎないが、国の人口総数（約1億2800万人）お

¹ ここでは東京都23区を1つの特別区として扱った。参考文献は巻末の一覧参照

よび最終エネルギー消費量合計（14.97EJ²）の半分近くを占める。こうした市区を対象にして都市におけるエネルギー利用の現状や問題を精査し、今後のあり方について検討することは、後述するように国全体のエネルギー問題に対しても一定の量的貢献を果たすと期待できる。本提言では、都市の特性を把握、整理するために、都市でのエネルギー利用に影響を及ぼす人口動態、エネルギー関連技術の進展や社会変化、そして都市ごとのエネルギー消費の傾向、の3つの観点から、現状の都市および2030年頃の都市の将来像に関する課題等について検討した。

前述の111都市は、三大都市圏のように周辺地域からも多くの人々を引きつける「大規模都市圏」と、人口規模が中程度で、今後の大幅な増加は見込めず、反対に一部では流出が予想されるような「中規模都市」に大別できる。前者では昼間に都市圏中心部への大量の人の移動があるのに対し、後者では都市中心部への移動はそれほどなく、むしろ人口は郊外部に分布している。これらの都市特性は既に認識されており、今後も続くと予想されている【4】。

エネルギー関連の技術進展や社会変化の動向に関しては、わが国では再生可能エネルギーの大量導入、エネルギーシステム改革の検討、スマートメーターの普及、ダイナミックプライシングの設計検討等が進んでおり、これらはその他の種々の技術開発と合わせて将来の都市内のエネルギー需給構造に大きな変化をもたらすと予想される。一方、それらを俯瞰した上で今後、都市において予想される課題は、規模拡大への対応や要素技術の一層の高度化、統合化である。例えば情報通信技術を活用したエネルギーマネジメントシステム（EMS）は、産官が主導して、地域での実証や、建物の建て替えや再開発に合わせた部分的導入が進められている。しかし、都市内のより広い範囲を覆うEMSや、そのネットワークから得られる膨大なエネルギー関連情報を利活用するための技術や仕組みが構築される見通しは、少なくとも技術的には未だ不透明である。

エネルギー消費の実態を前述の111都市を対象に調べてみても都市の課題が見えてくる。家庭部門の一人あたりエネルギー消費量は人口密度が低い都市の間でばらつきがあり、社会、経済、地形、気象といった他の要因への依存性も考慮する必要はあるが、こうした都市間で、異なるエネルギー消費の削減余地があることが示唆される。また業務部門では、人口密度によらず都市間のばらつきが見られ、家庭部門と同様に都市間で異なる削減余地があると推測される。一方で運輸部門は都市間でばらつきは小さく、人口密度の増大に伴ってエネルギー消費量は減少する傾向が見られた。また以上の傾向は、産業部門のエネルギー消費比率が大きい、いわゆる工業都市においても同様に見られた。

以上のような都市の現状と将来像を踏まえると、都市におけるエネルギー問題に取り組む基本的な方針は、「高効率化」、「低炭素化」、「平準化」に集約される。ここでの高効率化には、エネルギー利用の高効率化に加えて、都市が持つ多面的な機能の向上や都市利用者の便益向上と繋げた総合的な高効率化も含まれる。この基本方針の下、都市の規模でエネルギーマネジメントを捉え、高効率なエネルギー利用都市の実現を目指した設計に取り組む必要がある。なお都市類型ごとでは、大規模都市圏ではエネルギー需要の時間的、空間的な過度な集中を平準化させて安定かつ信頼性の高い需給構造にすること、中規模都市では分散するエネルギー需要を集約化（コンパクト化）させ効率化させることを目指す必要がある。

² 1EJは 1×10^{18} J

エネルギー利用のあるべき将来像の実現に向けた方策の組み合わせは、理想的には都市ごとに異なる。しかし、エネルギーという観点からは、とりわけ科学技術による顕著な貢献が期待できるような方策という点では一定の汎用性を持つものも多く、共通する方策群がありうる。エネルギー損失を大幅に削減し、再生可能エネルギー・未利用エネルギーの導入を拡大し、変動する需給バランスの調整を実現する方策群としては以下に示す9つの方策がある。

- ① エネルギーネットワーク上での需給調整
- ② 住宅での省エネルギー促進と再生可能エネルギー利用
- ③ 建築物での省エネルギー促進と再生可能エネルギー利用
- ④ 未利用エネルギーの地域利用促進
- ⑤ 土地利用や空間配置の見直し
- ⑥ 内燃機関の燃費向上と次世代自動車の普及促進
- ⑦ 都市内の交通流の改善
- ⑧ 多様な交通手段の使い分け
- ⑨ 配変電ロスの低減

なおこれらの方策の実施には、既存の技術やシステムの活用も望まれるが、中長期的には革新的な材料、技術、システムと、それらを社会の中へ導入、定着させるための社会化技術の組合せが必要である。とりわけ社会への量的、質的な波及効果が大きく、かつ2030年頃を見据えて国が主体的に取り組む必要があると考えられる研究開発領域は、以下の5つにまとめられる。

- A 高次・多層的なエネルギーマネジメントシステムの構築
- B 都市部街路における自動車交通の効率化
- C 都市内での創エネルギー・省エネルギー促進
- D エネルギーとそのコベネフィットの観点を加えた都市設計
- E エネルギー利用ビッグデータの活用

本提言では、前述の9つの方策を111都市において実施した場合のエネルギー消費量の削減ポテンシャルを、入手可能な文献や公開情報に基づいて推定した。その結果、2030年の都市におけるエネルギー消費量削減ポテンシャルは、2010年度比で111都市の民生・運輸部門のエネルギー消費の36%、総消費量の21%に相当し、全国の最終エネルギー消費量の10%程度に相当すると推定された。ただし、本文ならびに付録で詳細を示すように、本推定は限られたデータから大胆な仮定や単純化によって求めた値であり、今後より詳細な検討が必要である。

本提言は、多くの国民が暮らす都市という枠組みから社会全体のエネルギー需給を構想することで、具体的かつ大胆なビジョンと目標を提示し、課題解決の政策的インセンティブを高めることを意図している。その研究開発、社会導入実施に向けては、国や自治体がイニシアチブを発揮し、大学や公的研究開発機関、さらには民間企業が有機的に連携する体制を組

織して、課題解決に向けた総合的な取り組みを進めることが必要である。

特に、研究開発の実施にあたっては、関係者がビジョンを共有し、参加インセンティブを得ることができ、さらに異なる学術分野や研究開発フェーズ間での連携を円滑に行うことができるようにするための共通基盤が必要である。また得られた研究成果の有効性の評価・検証を行うため、エネルギーシステムを模擬的に再現した実証系の整備や、実地域をフィールドにした研究開発の実施を支援できる仕組みを、予め組み入れることも合わせて検討すべきである。なお、限られた国の資源を有効活用するという観点からは、既存の研究開発の仕組みや特区制度のような枠組みを利用することも考えられる。

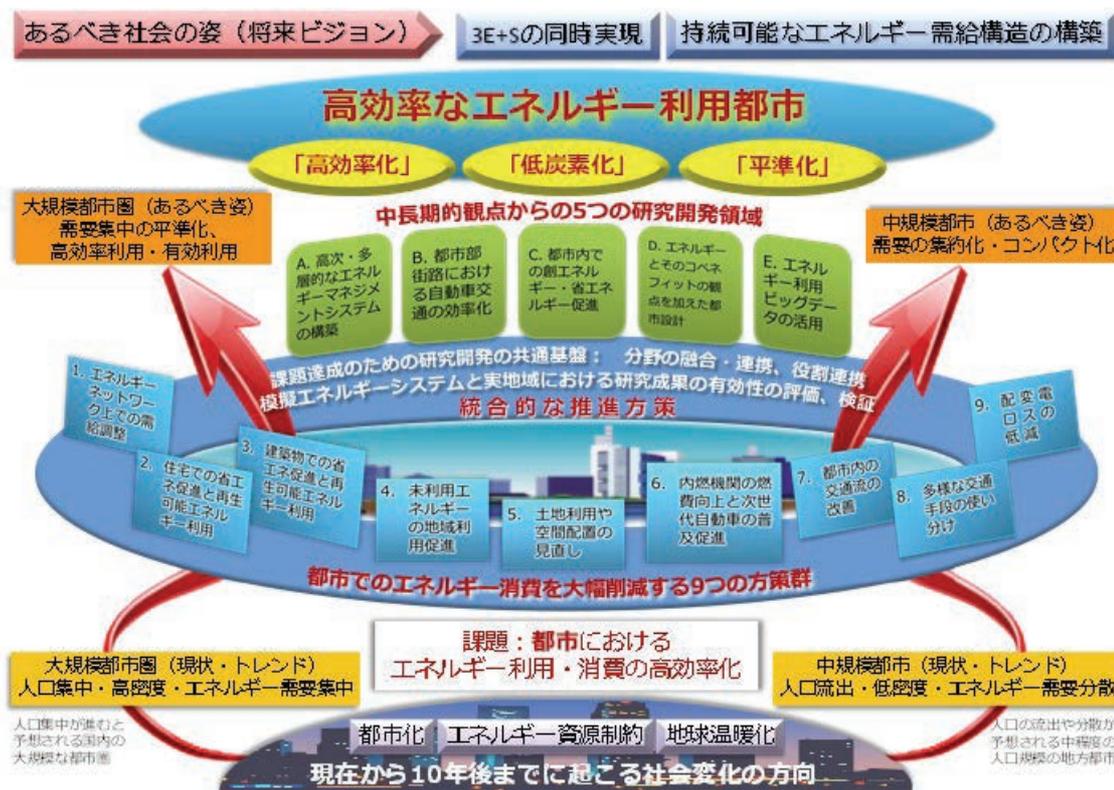


図 都市におけるエネルギー利用の高効率化に向けた課題解決型研究開発戦略の概観

Executive Summary

This proposal describes critical areas for research and development that were designed based on a framework of cities and which are expected to be effective at reducing energy consumption and improving the efficiency of energy use in Japan.

Japan is a resource-poor country that imports most of its energy feedstock, so its energy security is strongly affected by international political and economic trends. As a result, the outlook for energy in Japan is inherently uncertain. Additionally, since the 2011 Great East Japan Earthquake and the resulting nuclear accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, thermal power generation has accounted for a higher proportion of primary energy supply to meet domestic energy demands. This resulted in an increase in greenhouse gas emissions in 2011 compared with that in 1990, the reference year of the Kyoto Protocol. These circumstances increase the urgency of reducing energy consumption and meeting greenhouse gas emissions targets for a sustainable society while seeking for the economic growth and social welfare simultaneously.

The Japanese government approved the Fourth Basic Energy Plan in 2014. This plan describes the broad aim of energy policy: to construct a system of multilayered, diverse, and flexible structures at national level to satisfy energy demands. Although the Plan addresses supply-side factors, such as the balance of power generation methods, it also notes the importance of the demand-side changes that are necessary to deal with social, systematic, and technical changes relevant to energy. In its discussion of demand-side issues, the plan puts a particular emphasis on the promotion of energy conservation generally and points out the need for different sectors to strengthen their specific conservation efforts for the efficient (i.e., not wasteful) use of energy resources. So far, however, most discussions on demand-side energy policies have taken a national-level perspective and more specific plans according to local characteristics have not been provided yet. To encourage more efficient energy use, it would be helpful to establish a framework for examining energy issues in detail, taking a finer-grained perspective. This would also allow bolder and more specific goals for constructing an energy system for the future.

In this context, cities can be regarded as critical targets for reducing energy consumption and improving energy efficiency. Cities, by their nature, are places where great numbers of people live and engage in economic and social activities. Collectively, this leads to energy demand being strongly concentrated within cities. This is true not only in Japan but in other countries also, including both developing and developed

countries. Historically, cities developed as a structure to protect the lives of residents from external enemies and natural disasters and to provide opportunities to efficiently utilize the collective intelligence and resources of the city for various social and economic activities. Yet, to maintain and strengthen the functions of cities, their energy needs have continually increased over time. As a result, the system for meeting energy demands has become too complicated to understand in its entirety, and concerns about resource depletion and environmental impact have become more serious. There is a need to examine cities in more detail, especially in terms of energy infrastructure, and explore how science and technology can improve the energy infrastructure and functionality of cities. In other words, science, technology, and innovation policies should be promoted that aim to drastically lower energy consumption and strengthen energy conservation, while at the same time contribute to improving socio-economic activities, health, and quality of life in cities.

Japan has 111 cities with a population of more than 200,000.³ There are around 1,700 municipalities, so although these 111 cities account for only a small proportion of municipalities, nearly half of the 128 million residents of Japan live in these cities and they consume nearly half of all the energy used in Japan⁴. A study of the energy consumption patterns and infrastructure of these cities should identify ways in which a future energy system could contribute to reducing energy consumption at national level. Therefore, in this proposal, energy problems of cities were examined with a forward-looking approach based particularly on the following three perspectives aimed at identifying and organizing future energy use in cities: the movement of population among cities, the progress of energy-related technologies and social change, and the energy consumption trends in individual cities.

The 111 cities with more than 200,000 residents can be roughly categorized by size into two types: metropolitan areas such as Tokyo, Nagoya, and Osaka, which attract migrants from surrounding areas; and mid-sized cities, where the population is expected to be either stable or slowly decreasing. In metropolitan areas, many people commute to central districts during the day, but this is not common in mid-sized cities. In mid-sized cities, households are distributed mainly in the suburbs and population distribution has been becoming sparse. These characteristics of cities are already known and are expected to persist in the future [2].

Several trends in energy-relevant technological and social changes are seen in Japanese society. As examples, renewable energy is being promoted on a large scale, smart meters and dynamic pricing systems are being investigated, and energy system

³ Here, the 23 wards of Tokyo are collectively regarded as one city. A list of the 111 cities is provided after the references. [1]

⁴ The total annual consumption is estimated at 14.97×10^{18} J.

reform is being discussed by the government. Any of these would bring about major changes to the energy system of future cities. However, effecting such changes would be difficult because establishing a more sophisticated and highly controlled energy system requires simultaneous scale up of the energy system from local scale and integration of various technologies. Demonstration experiments of an energy management system (EMS) conducted at several sites in Japan have been mostly done at local level, and scaling up experiments have not been conducted yet. Moreover, the viability of proposed technological solutions and systems to utilize the massive amounts of energy-related information provided by the EMS and its network, which covers large areas in cities, is not yet clear.

Problems specific to different cities have also become apparent by examining trends in the energy consumption patterns of the abovementioned 111 cities. Energy consumption per capita in the household sector tended to vary in cities with a relatively lower population density. This indicates that different cities have different possibilities for reducing energy consumption although other aspects including social, economic, geographic, and climate-related conditions would have a role in household energy use as well. Differences among cities were seen in the commercial sector across all population densities, indicating that the commercial sector, too, has different possibilities for reducing energy consumption. In the transportation sector, the energy consumption per capita was negatively correlated with population density, and few differences were seen among cities of similar size.

These findings and perspectives on energy-related issues for cities lead us to recommend basic policies for energy in cities that focus on *improvement in efficiency*, *reduction of CO₂ emissions*, and *load leveling*. Here the first area, improvement in efficiency, includes comprehensive improvement in efficiency, by connecting improvements in various city functions and convenience with improvements in energy efficiency. To achieve this, it is necessary to manage the energy system at city level by designing cities around more efficient energy uses. For metropolitan areas, distributing the energy demand more evenly will be essential for making the energy infrastructure more stable and reliable, because energy demand in such areas tends to be excessively concentrated in central districts during the day. For mid-sized cities, on the other hand, concentrating and making compact scattered energy demands within a city and raising efficiency will be essential for improving the energy supply system.

Different cities may well adopt different policies in the future to realize their individual vision. Yet, in terms of energy-related technological aspects, there are several measures that should be widely adopted by cities and can be expected to improve energy systems. The following is a list of the technological measures identified. These were

explored with a view to reducing energy losses, expanding the use of renewable and unexploited energy sources, and smoothing out energy balance within cities. The nine identified measures are as follows.

1. Regulation of the demand and supply system in an energy network
2. Promotion of energy conservation and the use of renewable energy in homes
3. Promotion of energy conservation and the use of renewable energy in other buildings
4. Promotion of the use of unexploited energy sources in a district
5. Spatial planning and management of land use and city buildings
6. Improvement of the energy efficiency of internal combustion engines and promotion of next-generation vehicles
7. Improvement of traffic flows in cities
8. Appropriate use of various means of transportation
9. Reduction of power losses during distribution and transformation

To put these nine measures into practice in a city and significantly improve its energy system, innovative materials, technologies, systems, and implementation methods will be most effective, although conventional technologies, systems, and methods will also be helpful. Consequently, research and development is needed to foster various ideas and possibilities. For the mid- to longer term looking toward 2030, the following five areas of research and development were identified. Progress in these areas will have broad impacts, both quantitatively and qualitatively, on cities.

- A Development of an advanced and multi-layered energy management system
- B Improvement of the energy-related efficiency of automobile traffic in cities
- C Promotion of the use of renewable and unexploited energy sources and of energy conservation in cities
- D Urban planning that incorporates the perspectives of efficient energy use and its attendant benefits
- E Use of big data to address the problem of energy consumption in cities

The potential reduction in energy consumption was estimated assuming that, by 2030, these nine measures would be implemented in all 111 cities of Japan: in comparison with the energy consumption of these 111 cities in 2010, a reduction of 36% could be achieved for the household, commercial, and transportation sectors, which would result in a reduction of 21% in the total amount of final energy consumption. This reduction is equivalent to 10% of the final energy consumption of all of Japan in 2010. However, these estimates are based on a rough hypothesis and a simplified model of calculation that uses the limited amount of available data and resources, as shown in the attachments. More

detailed examinations are needed.

The aim of this proposal is to encourage action on social issues by various entities, including the government, by approaching problems through the framework of cities—where the most population lives—and by presenting visions and goals that are specific and challenging. The national government and local governments need to take the initiative in this and support the organization of systems for cooperation among universities, research institutions, and the private sector.

In a research and development program, establishing a collaboration platform is critical for enabling participants to share their individual vision, maintain motivation, and cooperate with those from different academic fields and at different research and development phases. A site for testing scientific theories and prototype models should also be considered before starting a program. Simulations of an energy system that may be applied to a city can be carried out at the site dedicated to this research purpose, and the effectiveness of proposed systems can be evaluated there. Alternatively, prototype models and methods may be implemented in actual regions within cities. It might also be practical to use already available systems for research and development and policy frameworks (e.g., specialized wards) in this program.

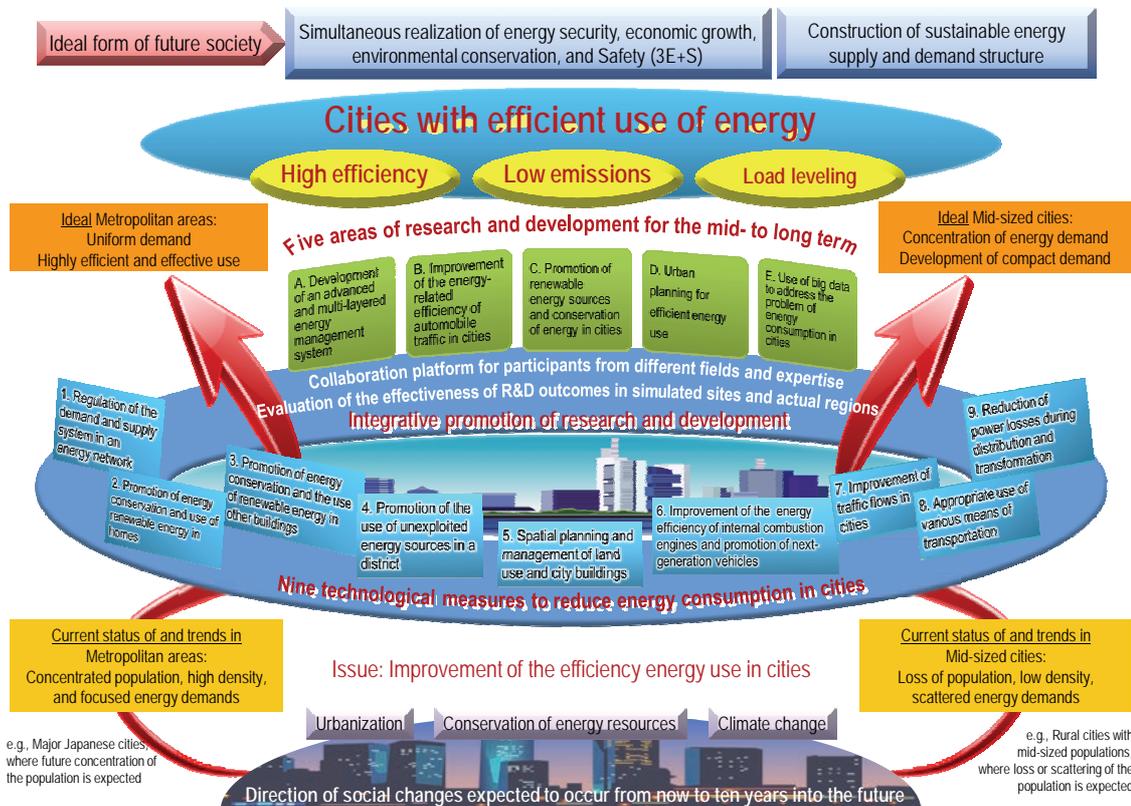


Fig. Overview of the issue-driven research and development strategy for improving the efficiency of energy use in cities.

目 次

はじめに	i
エグゼクティブサマリー	iii
Executive Summary	vii
1. 現状認識および問題点	1
1. 1. 都市という枠組みで考えるエネルギーの高効率利用	1
1. 2. 都市におけるエネルギー利用の現状と将来	3
1. 3. エネルギーの高効率利用に向けた方策	11
2. 具体的な研究開発課題	13
3. 研究開発の効果	19
3. 1. 社会・経済的效果	19
3. 2. 科学技術上の効果	24
4. 推進方法および時間軸	25
4. 1. 研究開発	25
4. 2. 制度・政策	28
4. 3. その他の留意点	28
謝辞	33
付録 1. 人口 20 万人以上の都市の一覧	35
付録 2. 都市のエネルギー消費に関する分析	39
付録 3. 都市におけるエネルギー消費量の削減ポテンシャル推計実施手順	45
付録 4. 検討の経緯	50
付録 5. 国内での関連施策一覧	52
付録 6. 専門用語説明	55
付録 7. 有識者インタビュー協力者一覧	56
参考文献	57

1. 現状認識および問題点

1. 1. 都市という枠組みで考えるエネルギーの高効率利用

■ わが国のエネルギー問題に関する政策的検討に欠けている視点

自給率のきわめて低いわが国のエネルギー資源の獲得には、国際的な政治経済の影響が大きい。そのため、エネルギー需給の将来見通しには大きな不確かさが伴う。このような状況の下、高い安全性（safety）を前提に、エネルギーの供給安定性（energy security）、環境への適合性（environment）、経済性（economy）を同時に高めてゆくことが、わが国のエネルギー政策の主題である。また、その実現のためにエネルギー消費と温室効果ガス排出を大幅に削減しつつ、なお成長や発展を期することは、社会の共通の願いといえる。

現在、政府は、2050年までに1990年またはより最近の複数の年と比して温室効果ガス排出を80%、あるいはそれ以上削減するとの目標を国際的に表明している【5】【6】。この長期目標の下、「技術で世界に貢献していく、攻めの地球温暖化外交戦略を組み立てること」との安倍総理からの指示を受けて「環境エネルギー技術革新計画」が2013（平成25）年に改訂された。加えて東日本大震災及び東京電力福島第一原子力発電所事故を始めとした国内状況の大きな変化を受け、国のエネルギー政策は改めて全体的に見直され、新たなエネルギー基本計画が2014年（平成26年）4月に閣議決定された。

こうしたわが国のエネルギー問題に関する基本政策は、国全体のエネルギー需給構造等、主としてマクロな視点に留まる場合が多い。しかし、目標設定やその達成に向けた方策をより具体的に検討するためには、それらに加え、人口分布や地域特性を考慮した枠組みにおいて検討を行うことも必要である。

エネルギーの供給側である転換部門や需要側である産業部門は、70年代の石油ショック以降市場競争に晒される中、技術進展や総合的な努力によって顕著な効率向上や省エネルギーを実現してきた。これは、関連する企業や業界の規模が比較的大きく、行動原理が主として経済合理性に基づくために目標設定が有効に機能し易かったためと考えられる。一方、需要側である民生部門や運輸部門のエネルギー消費は逡増を続けた。これは電化やモータリゼーションの進展等の暮らしの変化に依るところが大きい。関与する主体やその価値観が多様であるため、効果的にアプローチするための視点や方策が欠けていたことも影響していたと考えられる。トップランナー制度による家電製品の省エネルギー化や自動車燃費の向上はわが国の優れた成果だが、民生部門、運輸部門で一層のエネルギー消費削減余地を見出すためには、マクロな検討に留まらず、ミクロな視点からも問題を精査し、より具体的かつ大胆な将来ビジョンや目標、実現方策等を描くことが必要である。

■ 都市の重要性

市民生活に伴うエネルギー需要が集中して存在する場である都市は、わが国はもちろん、海外諸国においてもエネルギー消費の削減余地や利用形態を精査する対象として重要である。

国際エネルギー機関の報告【7】によれば都市におけるエネルギー起源 CO₂ 排出量が世界全体に対して占める割合は既に 7 割を超えており、世界的な都市化傾向を背景に今後も増加が見込まれている。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第 5 次報告書【8】でも同様の推計が示され、その上で都市規模での気候変動緩和策や、急激な大雨や異常な高温等の予想される気候変動影響への適応策の必要性を指摘している。このように、都市におけるエネルギー消費や温室効果ガス排出の大幅削減への期待は極めて大きい。

一方、多くの都市生活者にとっては、エネルギー消費や温室効果ガス排出の削減もさることながら、都市生活における安全性、快適性、利便性、効率性等、生活の質の向上は重大な関心事であろう。過去 40 年間のわが国における民生部門、運輸部門のエネルギー消費の増加はそうした生活者の欲求充足の結果とも言える。加えて、わが国は高齢化による人口構造の著しい変化が急速に進展している。さらに、建築物や道路等のインフラの老朽化が顕在化する中で、将来世代にとっても住みよい都市とするために如何にして維持・更新してゆくかも大きな課題になっている。従って、現代は、社会の構造変化が進展する中で、これまで形作られてきた都市に対する、長期に亘る総合的な改築が求められているとも言える。今後は、都市の多様な機能の強化や都市生活の向上に貢献する、エネルギー利用効率の大胆な改善や省エネルギーの推進を目指す方策を模索する必要がある。

1. 2. 都市におけるエネルギー利用の現状と将来

■ 対象とする都市

本提言では、既存の国内都市を対象に、大幅なエネルギー消費削減を 2030 年頃までに実現するための主要な方策、及びそれを支える開発目標技術、並びにそれら技術に関する研究開発推進体制や施策を検討する。都市のエネルギー需要は地理的、社会的、あるいは経済的な要因によって多様となり、新旧の関連技術の社会への普及・定着状況等も大きく影響を及ぼさう。従って、こうした都市の特性に着目して問題を精査することが必要である。

わが国で人口が 20 万人を超える市と特別区は 2010 年時点で国内に 111 ある【3】。これらは市町村の総数（1,742）の 5%程度に過ぎないが、国全体の人口数およびエネルギー消費量の過半を占める。従って、これらの都市におけるエネルギー消費の削減余地や利用形態について精査することが、わが国全体のエネルギー利用効率の改善に対しても大きな影響を及ぼす可能性がある。そこで本提言ではこれら 111 の市区に関するエネルギー消費の特性に則した消費量を独自に算出し、その結果を用いて以下に示すエネルギー需要に関する分析を行った⁵。

都市の特性を精査する際、少なくとも首都圏、中部圏、近畿圏の三大都市圏のような主要な都市圏と、それに属さない地方の中規模都市は区別して検討すべきである。わが国の全国人口は年々減少傾向にあるが、三大都市圏等では集中増加が続き、反対に比較的中小規模の都市では減少率が大きい【11】。今後もこの傾向が続くと考えられており、大規模な都市圏と中規模の地方都市のそれぞれの状況に適した施策が必要である【12】。

人口総数とそれを可住地面積で割った人口密度との関係から見ると、総数が多く密度も比較的高い都市は全国の主要な都市圏の中心的な都市であることが見てとれる（図 1）。こうした都市には引き続き人口が集中すると予想されるため、今後、エネルギー需要のさらなる高密度化⁶が予想される。反面、総数が少なく人口密度も低い都市では、人口流出の流れの中で、エネルギー需要の低密度化が進行する可能性がある。

⁵ 環境省のマニュアルで示されている都道府県別の CO₂ 排出量を市区町村単位で按分する方法【7】を用いて、2010 年度のエネルギー統計【8】から市区町村単位のエネルギー消費量を算出した。詳細は付録 2 を参照

⁶ ここでは、年間の単位面積あたりのエネルギー消費量が増加することをエネルギー需要の高密度化とする

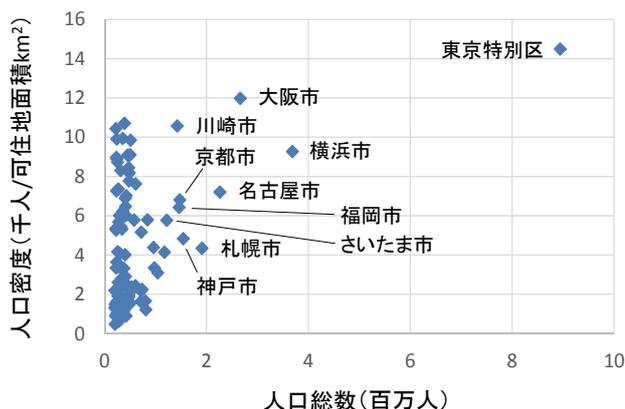


図1 111都市の人口総数と人口密度の関係

(図中に名称を付記した人口総数の多い都市は東京特別区を除き政令指定都市でもある)

年次推移に加え、人口移動の日変化でも両者は状況が異なる。図2に示すように、人口総数が多い三大都市圏の中核市には昼間多くの人が集まるが、総数が比較的少ない中規模都市では人が集まる都市とそうでない都市がそれぞれ見られる。中規模都市の中には都市圏の中核市周辺に位置してそれらのベッドタウンとして機能している都市や、大規模都市圏とは独立した形で地方の中核市として機能している都市等が含まれていると考えられる。

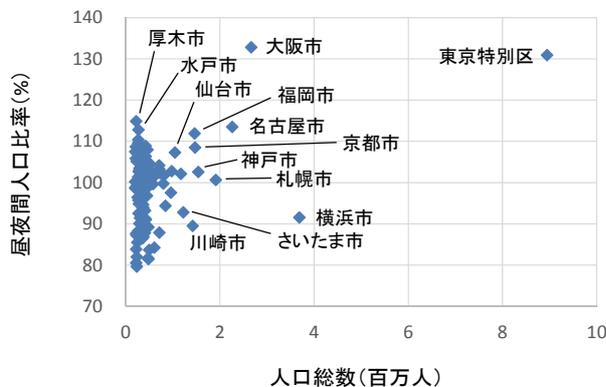


図2 111都市の人口総数と昼夜間人口比率の関係⁷

以上を踏まえ、本提言では都市類型を次に示す2種類に分類した。なお、都市の類型化や都市の総合的な計測、評価等はそれ自体が研究課題であり、よりの確な都市類型化とそれに対応するエネルギー消費量の削減余地の精査は今後の検討課題である⁸。

⁷ 昼夜人口比率が100を超えた場合は、昼間、その都市に人が集まっていることを意味する。ただし、横浜市や川崎市のように、業務の拠点としての市中心部と東京都のベッドタウンとしての市外地域の両特性をもつ場合には、日中の人の出入りが複雑で、この指標だけでは捉えられない部分がある。

⁸ 第2章の研究開発領域Dと関連

＜検討対象とする都市類型＞

- 大規模都市圏：中核的な都市を中心に人口密度が高く、多くの人口を抱える地域。今後も人口集中が続く見込み。主として三大都市圏を想定
- 中規模都市：人口規模は大規模都市圏の中核市より小さく、人口密度も相対的に低い都市。今後の人口流出が懸念される

■ 都市におけるエネルギー消費の現状

都市ごとのエネルギー消費の傾向を把握するためには、前述の類型化に加えてエネルギー消費に影響を及ぼす因子を特定する必要がある。双方を勘案することによりエネルギー消費の実態と今後予想される変化をより多面的に検討することが可能になると考えられる。

因子として特に重要なのは産業形態と人口密度である。産業形態としては、エネルギーを大量に消費する第二次産業が主要産業であるか否かが大きな違いを生む。また、人口密度はエネルギー需要の集約度を推測する上で重要な指標である。同程度の人口であっても人口密度が異なれば、エネルギーの利用状況には違いがあると予想される。これらより本提言では、以下に示す2つの定量条件を設定して111都市を分類した。

＜エネルギー消費の現状把握のための定量条件＞

- 産業形態：エネルギー消費量全体に対する産業部門の比率
(0.5以上を「工業都市」、0.5未満を「非工業都市」)
- 人口密度：可住地面積 (km²) 当たりの人口 (人)
(4000人/km²以上を「高密度都市」、4000人/km²未満を「低密度都市」)⁹

分類結果を図3に示す¹⁰。ここで「工業都市」とされた都市は次の25市である：

川崎市、尼崎市、市川市、松戸市、船橋市、八尾市、藤沢市、明石市、堺市、千葉市、平塚市、柏市、加古川市、和歌山市、姫路市、大分市、倉敷市、福山市、四日市市、岡山市、呉市、豊田市、市原市、八戸市、下関市。

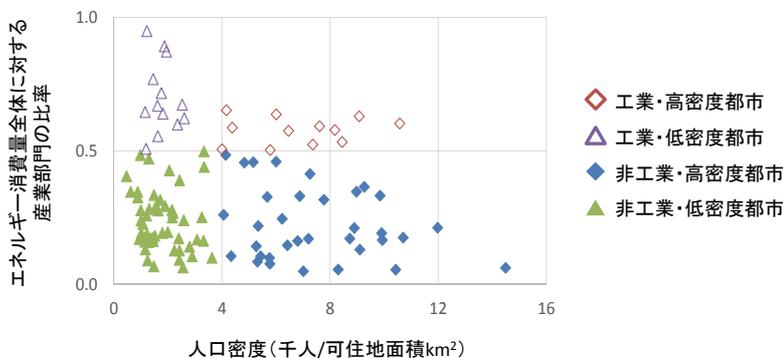


図3 111都市の分類結果

⁹ 4000人/km²は「人口集中地区」を定義する基準値でもある【13】

¹⁰ 111都市の詳細は付録1参照

部門別のエネルギー消費の現状としては以下の事柄が明らかになった。詳細は付録2にて整理したが、主な結果は図4に、また前述の2つの都市類型に基づき整理した結果を表1に示す。

- 産業部門のエネルギー消費は、工業都市で大きく、非工業都市との間に一桁以上の差がある。工業都市は製造業を主因としたエネルギー消費が極めて大きい。
- 民生（家庭・業務）部門、運輸部門のエネルギー消費は、工業都市と非工業都市との間に顕著な違いはない。
- 家庭部門のエネルギー消費は、低人口密度の都市間でエネルギー消費量のばらつきが大きい。
- 業務部門のエネルギー消費は、人口密度によらず都市間のばらつきが大きい。
- 運輸部門のエネルギー消費は、人口密度の増加に伴い減少する。

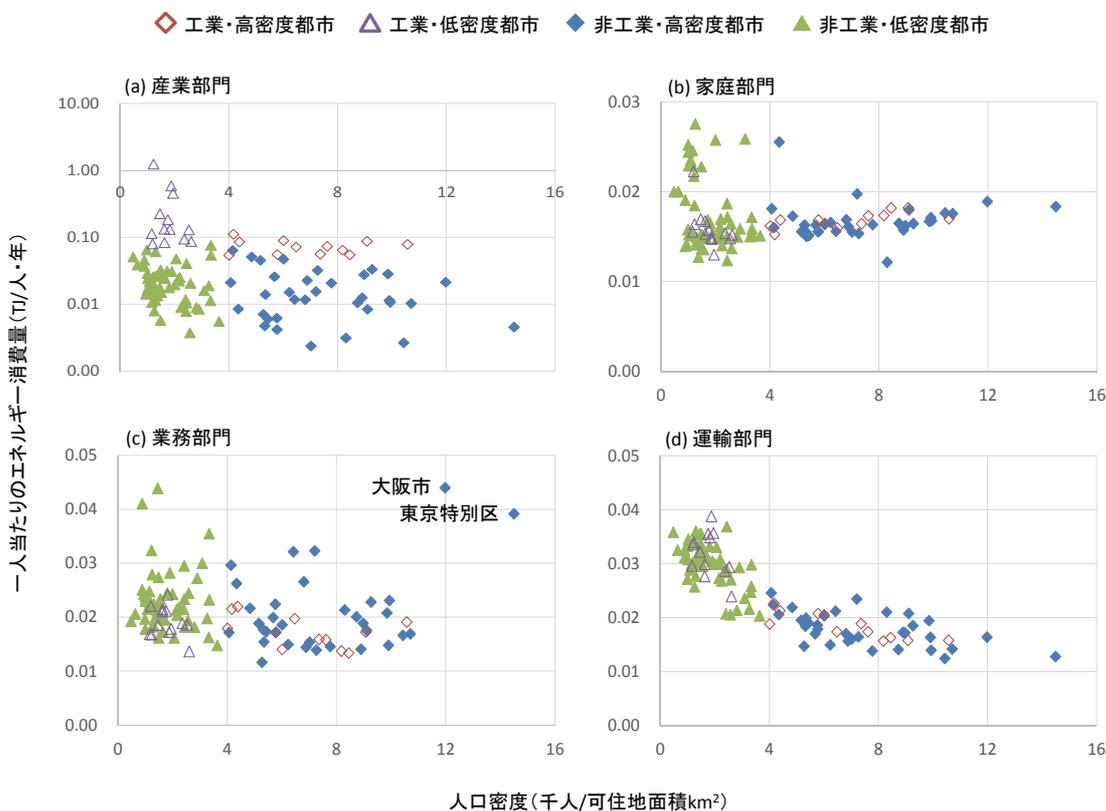


図4 人口密度と部門別の一人当たり年間エネルギー消費量
（産業部門のエネルギー消費量は対数軸で表示）

表 1 都市におけるエネルギー消費の概要

都市類型	エネルギー消費特性		
	家庭部門	業務部門	運輸部門
大規模都市圏	エネルギー消費量の都市間の差異は比較的小さい。人口集積に伴ったエネルギー利用効率の向上が見られず、改善余地がある。	エネルギー消費量の都市間の差異は大きく、エネルギー利用効率の改善余地がある。	人口集積に伴うエネルギー利用効率の向上が見られる。
中規模都市	エネルギー消費量の都市間の差異は大きく、全体的にエネルギー利用効率の改善余地が残る。	エネルギー消費量の都市間の差異は大きく、全体的にエネルギー利用効率の改善余地が大きい。	エネルギー消費量の都市間の差異は小さいが、人口密度が低くなるとエネルギー消費が高まる傾向がある。

なお、エネルギー消費に対しては人口密度以外の要因（社会、経済、地形、気候等）の影響も考えられる。例えば、図 5 に示すように、家庭部門のエネルギー消費量は気温との間に負の相関が見られる。年間平均気温が低いほどエネルギー消費量が多い傾向があるが、これは、暖房、給湯に灯油を使うことが多い北海道や東北地方のエネルギー消費の実態が反映されているためと考えられる。また図 6 に示すように、業務部門のエネルギー消費量では商業年間商品販売額が大きいほど値が大きい傾向が見られる。しかし低人口密度の都市の中には販売額が同程度であってもエネルギー消費量が著しく高い都市も見られる。こうした都市では、経済的生産性を維持または向上させつつエネルギー利用効率を改善させる余地が業務部門に残ると考えられる。こうした都市ごとの詳細な要因分析は今後の課題である¹¹。

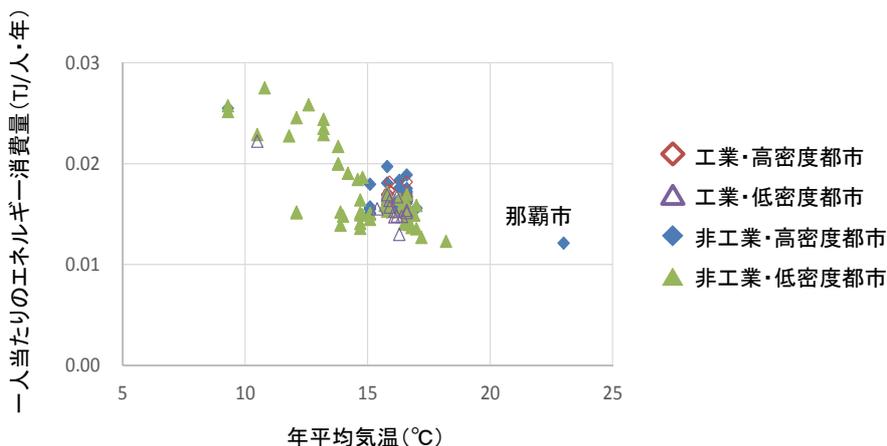


図 5 111 都市の家庭部門エネルギー消費量と年間平均気温の関係

¹¹ 第 2 章の研究開発領域 D と関連

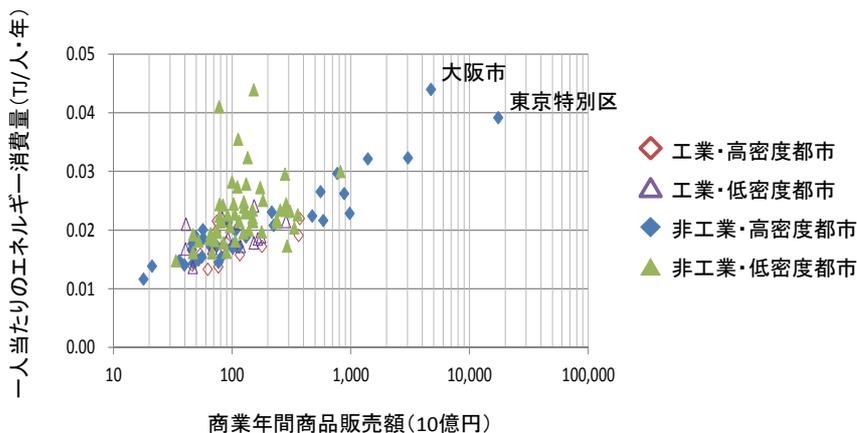


図6 111都市の業務部門エネルギー消費量と商業年間商品販売額の関係

■ 2030年頃までの間に予想される問題

東日本大震災と東京電力福島第一原子力発電所事故の発生以降、わが国では家庭部門での節電強化が継続し、また製造業の生産量が減少する一方で、火力発電の増加により化石燃料の消費量が増加した。その結果、2012年度（平成24年度）の温室効果ガスの排出量が基準年である1990年比で6.5%、前年度比では2.8%の増加となった【14】。こうした状況も踏まえてエネルギー政策のあり方が根本的に見直され、2014年4月に第4次エネルギー基本計画が閣議決定された。今後は、同計画、並びに温暖化影響への危機感や一層の対策の必要性を指摘するIPCC等の国際動向も勘案しながら、国として「多層化・多様化した柔軟なエネルギー需給構造」を構築してゆくための取組みが進められていくはずである。

新しいエネルギー基本計画の中では電源構成のあり方等、供給側が主要な論点であるが、需要側における社会、制度、技術的な変化等への対応の必要性についても述べられている。特に省エネルギーを最大限進めるために、電気や熱への転換をいかに効率的に行い、無駄なく利用するかという点について大局的な方針が示されている。需要側におけるいわゆるスマートコミュニティの実現は、わが国の成長戦略実現のための方策のひとつとしても位置づけられている。

国のエネルギーに関する基本方針が定まる中、エネルギー需給構造に影響を及ぼしうる変化が社会の中で複数起きている。例えば、ガス・電力の小売全面自由化へ向けたシステム改革、大規模供給地由来の再生可能エネルギーの導入促進、スマートメーターの全国普及、ピークカットのための柔軟な料金体系構築・導入等である。また民間企業が国と連携して主導しているスマートコミュニティ事業もある。こうした変化が今後も順調に進めば、2030年頃には現在とは大きく異なるエネルギー需給の姿が、わが国の主要な都市を中心に広く見られると予想される。

しかし、これらの動向は萌芽的な段階のものも多く、また複数の事柄が同時に進んでいるため、都市という枠組みを基に全体を統合的に概観することによって、個別の課題や課題間に生まれる課題をも系統的に見出す必要があると言える。

共通的な問題として、例えば情報についての問題がある。エネルギー、資源、環境、健康、

経済、文化等に関して都市が抱える様々な社会的コストの低減のためには、実社会の中から生成される膨大で多種多様なデータを収集、処理することが今後の課題である。また、局所的に行われる各種のエネルギー関連の取り組みが、都市の規模で見たときに、どの程度スケールアップ可能であるか、あるいは機能を拡張できるのかといった規模間のギャップの克服も課題となる。エネルギーマネジメントシステムを構想する時、この問題が重要な課題となると予想される。

次に都市類型ごとに予想される問題を考えてみると、まず大規模都市圏では今後も人口集積が続き、限られた空間や時間の中にエネルギー需要が偏って分布する状況が生じると予想される。こうした需要集中は停電リスクを高めるため、その緩和へ向けて分散・協調型のエネルギーネットワークの重要性が高まる。しかし、その導入は個別の建て替えや再開発案件ごとに部分的に進むに留まりかねない。結果として、都市という単位ではエネルギー需給の効率化は十分には進まず、さらには交通渋滞のような従来からの問題にも大きな改善が見られないままとなる可能性がある。

他方、中規模都市では大半で人口総数ならびに人口密度の減少が進むと予想される。ところがエネルギー需給は依然として効率化がなされず、改善が期待しにくい。その結果としてエネルギー需要はさらに希薄化、分散し、その非効率的なエネルギー利用・消費が構造的な問題として深刻化すると予想される。

■ 都市のエネルギー利用のあるべき将来像

以上のような現状把握と見通しを踏まえ、今後、2030年頃までの間で都市が直面すると予想される問題を克服し、さらにわが国のエネルギー需給構造の革新や成長戦略の実現に寄与するために、高効率エネルギー利用都市の実現は、最も有力な方策のひとつである。またその実現に向けた基本的な方針は、以下に示す「高効率化」、「低炭素化」、「平準化」の3点に集約される。なおこれらは平時が基準となるが、当然、具体方策の検討においては非常時の対策も考慮する必要がある。

高効率化

- エネルギー需要の空間的な集約
- エネルギー利用・消費に関連する材料、機器、システムの効率化
- 都市におけるエネルギーと他の社会インフラの統合的、一体的な効率化、コスト低減

低炭素化

- エネルギー消費あたりの温室効果ガス排出の低減

平準化

- 変動するエネルギー需給の調整、エネルギー貯蔵
- エネルギー利用の安定性、信頼性の向上

こうした基本方針の下、高効率なエネルギー利用都市の実現への基本的な考え方は次のと

おりである。

都市に共通

- 都市の設計、維持、管理においてエネルギーの観点を持つ
- 局所的な個別最適が進められがちなエネルギーマネジメントを都市の規模で捉える
- エネルギーの消費削減や有効利用を、都市の経済社会的機能の向上や都市利用者のエネルギー以外の便益の向上へ繋げる

都市の種類ごと

- 大規模都市圏では、限られた空間や時間で極端に高密度化するエネルギー需要を平準化させ、安定かつ信頼性の高い需給構造を構築する
- 中規模都市では、分散するエネルギー需要を集約化（コンパクト化）させ、効率化させる

1. 3. エネルギーの高効率利用に向けた方策

エネルギーを効率的かつ有効に利用し、エネルギー消費を削減する都市の実現に向けて採るべき方策の組み合わせは、具体的には都市ごとに異なり、都市が持つ特性や将来予想される問題に応じて選択される。ただし、エネルギーという観点から都市間で共通する方策もある。とりわけ科学技術による顕著な貢献が期待できる方策には、各種の要素技術やシステム技術、ツール、方法論等、汎用性を持つものも多い。例えば都市内の一般的なエネルギーフローを模式図として示すと図 7(a) のようになる。このフローの構成要素と関連する要素技術は、都市に共通して重要な技術群と考えられ、その中には国が主導して技術開発を推進しているものもある。一方、これを前節で示した都市類型ごとのエネルギー利用の現状ならびに将来像と照らし合わせると、図 7 の(b)、(c) に示すように、今後の主要対策が必要と思われる箇所の違いがある。

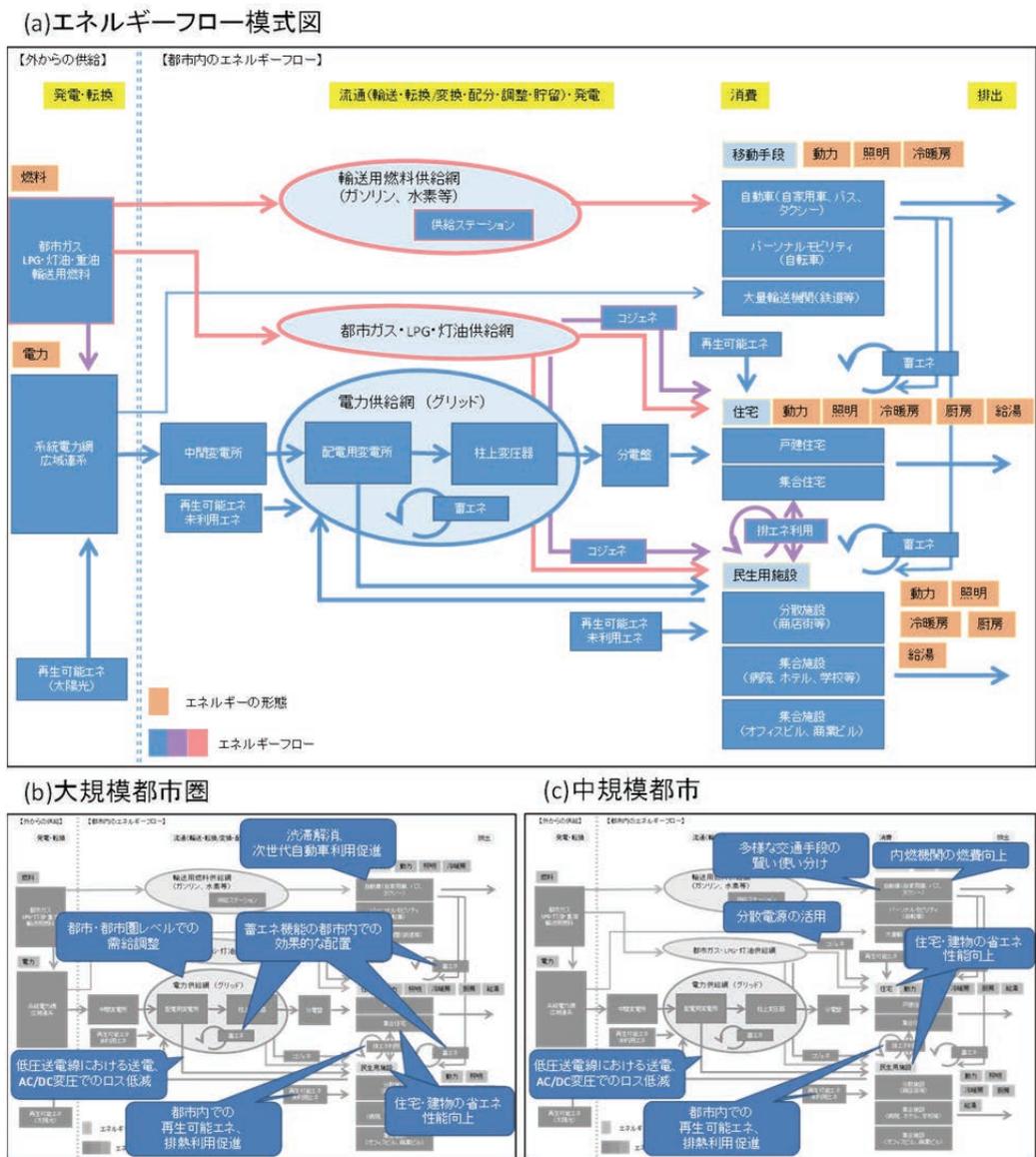


図 7 都市内のエネルギーフロー構造(a)と、都市類型ごとに必要と考えられる対策の例(b)、(c) (CRDSにて検討、作成)

ここで、こうしたエネルギーフロー上での重要課題の探索や、その他、国主導の技術開発の動向把握等の俯瞰を踏まえ、更にエネルギー損失の削減及び再生可能エネルギー・未利用エネルギーの導入拡大という観点から、高効率エネルギー利用都市の実現において比較的大きな寄与が期待される9つの技術的対策を以下に示す。

- ① エネルギーネットワーク上での需給調整
- ② 住宅での省エネルギー促進と再生可能エネルギー利用促進
- ③ 建築物での省エネルギー促進と再生可能エネルギー利用促進
- ④ 未利用エネルギーの地域利用促進
- ⑤ 土地利用や空間配置の見直し
- ⑥ 内燃機関の燃費向上と次世代自動車の普及促進
- ⑦ 都市内の交通流の改善
- ⑧ 多様な交通手段の使い分け
- ⑨ 配変電ロスの低減

各方策は、都市内のエネルギーフローや前述の都市の部門別エネルギー消費実態等を概観し、さらに科学技術による顕著な貢献が期待できると思われる対象を探索した上で整理したものである。工業都市に関しては産業部門の突出したエネルギー消費の削減が重要な標的となりうるが、他方、民生部門、運輸部門にも相当の削減余地はあると考えられ、その点是非工業都市と同様に扱うことが妥当と考えられる。

都市ごとに必要な方策を講じるためには、エネルギー消費の大幅削減に主眼を置いたとしても、都市ごとの地理的、社会的、経済的特性等を同時に考慮する必要がある。従って都市の特性分析や必要な方策群の特定及び要件定義等、都市設計技術は、それ自体も研究テーマとなるものであり、ここで示した方策群に関しても、実際の各都市との関連付けにおいてはより詳細な検討が望まれる¹²。

なお都市類型に当てはめると、まず大規模都市圏では、限られた空間や時間帯に集中するエネルギー需要を如何にして充足するか、あるいは緩和するかという観点で方策の組み合わせを検討することが重要であり、その場合には①需給調整や⑦交通流改善の方策は不可欠となる。さらに家庭や業務部門のエネルギー消費に改善余地が見られたことに基づけば、②住宅、③建築物などでの革新的な省エネルギーや創エネルギーの実現が望まれる。

中規模都市では、分散するエネルギー利用を如何にして集約させるかという観点での検討が必要であり、⑤の方策に含まれるコンパクト化やそれを支える都市設計が重要な役割を果たすと考えられる。また自動車が主要な移動手段として用いられていることを踏まえれば、⑦交通流改善も重要な方策となる。

さらに大規模都市圏と中規模都市で共通し、かつ近年のデマンドレスポンス等に関する研究開発動向や将来予想される問題を踏まえれば、①需給調整と関わりの深い、あるいはその一部となりうる都市生活者のエネルギー利用行動に関する方策も今後重要になる。エネルギー利用行動の分析や、行動変容に対する直接的、間接的な介入方策の検討等である。

なお方策ごとのエネルギー消費の削減に対する寄与ポテンシャルについては、第3章にて推計結果を示す。

¹² 第2章の研究開発領域Dに関連する

2. 具体的な研究開発課題

■ 研究開発課題の位置づけ

ここでは、国内都市での大幅なエネルギー消費削減と、関連する各種の社会的コストの低減または新たな社会、経済的な機会の創出やその発展を同時に進めてゆくために、今後、中長期的観点から科学技術研究に求められる一連の取り組みを提案する。

なお社会的コスト低減と新たな機会創出に関しては、本提言は都市でのエネルギー消費の大幅削減が第一目的である点を重視し、これと深く関連すると思われる側面を中心に検討している。

■ 方策実施のための技術のタイプ分け

都市でのエネルギー利用・消費の大幅削減に寄与する 9 つの主要な方策を 1 章で示した。これらは、都市内のエネルギーフローを概観する中で、科学技術が大きく寄与すると考えられるエネルギー消費削減の標的を整理したものである。

各方策を実施するにあたっては、直接的な手段あるいは道具として用いる技術と、それらが普及、定着して人の行動や社会の一部に実際に変化を生じさせるための技術の 2 通りが必要になる。これらは以下に示す 2 つのタイプの技術として整理できる。

タイプ a. 開発目標となる要素技術と要素技術統合のためのシステム技術

タイプ b. 開発目標技術の実証・実装等により社会の中で変化を生じさせるための技術

タイプ a の技術にはいわゆる「技術シーズ」が含まれる。ただしここでは都市のエネルギーシステムに組み込むことを前提とした要素技術や、複数の要素技術を統合したある種のシステム技術を想定している。例えば高効率なエネルギー関連機器やシステム、都市空間に適用可能かつ有用な技術等である。

タイプ b の技術はいわゆる「社会技術」あるいは「社会化技術」とよばれる。各種技術シーズを最終的には社会へ実装することに関わる技術であり、概念実証や性能実証の他、社会実装に係る要件の分析や定義、実装により期待される効果の推定、行動変容や合意形成等を通じた社会変化への働きかけ、制度設計、新たな機会創出等による社会・経済的効果の最大化といった事項に係る技術を想定している。

なお本章で提案する一連の研究開発領域／課題を、科学技術イノベーション政策の観点から整理した場合の構造については、コラム 1 にて紹介する。

■ 重要な研究開発領域／課題

ここで、本提言で示した都市類型ならびに 9 つの方策と関連が深く、実現による社会への量的、質的な波及効果が比較的大きく、かつ 2030 年頃を見据えた中長期的観点から国としての一体的な取り組みを進める必要があると考えられる研究開発領域および課題を以下に示す。

各研究開発領域と前章で示した方策の対応関係は表 2 にまとめた。

これらの領域および課題群は、前章の方策検討と同様、都市内のエネルギーフローや都市におけるエネルギー利用に関する研究開発の国内外動向の調査分析、有識者インタビュー、ワークショップ（付録 4）等を通じて探索、整理された。なお実際の施策検討にあたっては、これらの領域／課題群を基にして、より詳細な検討が必要である。

表 2 エネルギー消費の大幅削減に向けた方策（①～⑨、詳細は 1.3. 参照）と
中長期的観点から重要と考えられる研究開発領域（A～E）の対応関係
（明確な関係が期待される箇所に×印を記入）

研究開発領域	エネルギー消費の大幅削減に向けた方策								
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
A 高度・複層的なエネルギーマネジメントシステム（EMS）の構築	×	×	×						
B 都市部街路における自動車交通の効率化						×	×	×	
C 都市内での創エネルギー・省エネルギー促進		×	×	×					×
D エネルギーとそのコベネフィットの観点を加えた都市設計					×			×	
E エネルギー利用ビッグデータの活用	×	×	×				×		

領域 A 高度・複層的なエネルギーマネジメントシステム（EMS）の構築

<基本的考え方>

今後、都市内でより広い範囲を EMS でカバーするためには、現在構築されつつある局所的な EMS を上層でつなぐような高度・複層的な EMS が必要になると考えられる。しかしスマートメーターも普及していく中で爆発的に増えることが予想される膨大な量のデータを計算処理しようとするれば、現在のスパコンでも性能不足であるとも考えられ、全体の効率化向上のために必要なデータ通信、処理の制御システムに関する研究開発に取り組む。

<タイプ a>

- エネルギー配分を決定して安定的な電力供給を実現するための制御理論、システム理論、ネットワーク理論の発展と応用：分散型（分散協調／自律分散）モデル予測制御やディペンダブルシステム理論
- リアルタイムな需給予測と制御技術：膨大なデータ処理や制御計算を高速かつ安定的に行うための理論とアルゴリズム、気象観測・地理情報・過去の需給実績や学習等を組み合わせた予測技術、膨大なデータからの抽出・解析を高速に行うための情報処理技術、エネルギーと情報の両方を双方向に高速にやり取りするための情報通信技術
- 蓄電池の利用：EV、PHV 向け車載蓄電池の HEMS～CEMS への組み込み技術

<タイプ b>

- 最適化されたエネルギー供給メカニズムの設計、有効性評価：情報・モデルに基づく電力の安定かつ最適な配分決定のための方法論（制御）（調和型配分計画、需要の平準化、分散化）、需要誘導（ゲーム理論、行動経済学など）、安定かつ最適な配分のための電力価格決定メカニズム（ダイナミックプライシング、リアルタイムプライシング）

- CEMS 構築による需要家の行動変化とエネルギー需要への影響に関するデータ収集・分析

領域B 都市部街路における自動車交通の効率化

<基本的考え方>

渋滞の原因となるボトルネックへの対策や需要調整による交通流円滑化を統合的に進める。これにより都市圏中心部での渋滞を始めとして都市圏郊外部や中規模都市での渋滞の解消も目指す。制御技術に限らず、それを支えるセンサーシステム、モニタリングシステム、モデリング、予測、施策評価等に関する技術を統合的に進める。EV や FCV 等次世代車の都市部での導入を推進する一方で、2030 年以降も全車両の 5 割以上を占めると予測される内燃機関を用いた自動車（HV や PHV も含む）の省燃費化を目指す。

<タイプ a>

- 車種、動力源、積載状態など交通流の質的な分解能を向上させたセンシング： 異種センサーの最適配置、データ融合
- 街路交通流のセンサー・モニター・マネジメントシステムの開発： 施策効果感度を持つシミュレーションモデル、行動モデル、Now-cast 技術等
- 高頻度超小型衛星を用いた連続観測によるリアルタイム交通情報収集と車上への情報提供
- 青信号走行支援等のインフラとの協調による交通流改善
- V2V（車車間通信）ならびに V2P（車対人通信）を活用した通信利用型先進安全自動車
- 次世代 DSSS（路車間通信による安全運転支援システム）活用による事故防止・安全運転支援・信号情報提供による円滑通行確保・信号情報活用運転支援
- 車間自動制御のための ACC（アダプティブクルーズコントロール）及び車車間通信機能の高度化活用
- ITS や無人航空機（ドローン）等の活用による物流交通のシフトとトラフィック緩和
- 内燃機関の熱効率向上を目指した要素技術（燃焼予測、低摩擦潤滑、低熱損失燃焼等）、メカニズム解析、モデル化研究
- 車両の軽量化技術と材料

<タイプ b>

- データ収集、観測、動的モデリングによるモニタリング： 自動車交通に係るエネルギー消費特性解析
- エコドライブ等の施策支援、及び複数施策の相互作用評価
- PHV や EV 等の普及を促す充電インフラ設置、システム構築

領域C 都市内での創エネルギー・省エネルギー促進

<基本的考え方>

主として人口密度によらず都市間でのばらつきが比較的大きく、削減余地が大きいと考えられる業務部門のエネルギー消費削減に向け、都市内空間を活用した省エネルギー、創

エネルギーの促進を実現する材料、機器、システムの研究開発を進める。

<タイプ a>

- 蓄電池の高性能化：電極、電解質、セパレータ等の電池構成材料
- 変圧器の無負荷損低減：アモルファス合金等の磁性材料
- 直流・交流変換ロス低減：SiC パワーデバイス等
- 利用端における接点抵抗・内部抵抗低減：材料
- 分散型マイクロバイオリアクターを用いた微細藻類等のオンサイト生育と直接利用
- 水（上水・下水）マネジメントと分散型エネルギーシステムの統合によるエネルギー効率向上技術
- 圧縮空気を用いたエネルギー貯蔵ならびに熱マネジメントシステム
- 民生部門における中低温熱のマネジメント：非金属系で数十 W/(m・k)の熱伝導率を有する伝熱効率の高い新規材料開発、材料調製の最適化、ビル・住宅内での熱交換による空調消費エネルギーの大幅削減
- パッシブなエネルギーマネジメント：エレクトロクロミック、フォトクロミック、サーモクロミック、ガスクロミック等の材料、それらを用いた近赤外光・可視光スペクトル制御によるビル等のエネルギー消費大幅削減

<タイプ b>

- 実装置の市場適用性の検証：蓄熱、熱融通、低価格化、高効率化等
- 多目的な省エネ装置の開発とその概念実証：センシング機能を兼ね備えた省エネ照明機器等
- 域内送電・配電の昇圧による損失削減

領域D エネルギーとそのコベネフィットの観点を加えた都市設計

<基本的考え方>

都市におけるエネルギー消費の大幅削減を実現すると同時に、都市の経済的、社会的機能の向上や都市生活者の生活の質向上にも寄与しうる総合的な方策検討、設計を行う。特に個別の方策の効果や方策間の相互作用を最大化させ、反対に方策間での効果相殺を事前回避できるような総合的な設計を行う。また研究成果の評価、検証においては要素技術の統合化を担い、規制や制度に関する課題整理も行う。

<タイプ a>

- 都市設計技術：個別要素技術・都市内の空間配置関係・社会関係・災害等の危険因子を統合的に考慮した都市設計技術、新規技術導入や複数の技術進展を予め考慮した都市設計技術、統合的な観点から個別要素技術に新たな開発目標を提示する要件定義技術（都市の総合的分析、エネルギー需要分析・モデル化・シミュレーション、設計支援システム開発等）
- 都市排熱を域内高度利用可能なエネルギーマネジメント・プロセスの開発

<タイプ b>

- 都市設計の見える化技術：一人当たりエネルギー消費量や環境性能を含む総合評価

- ツール開発、施策の有効性を推定し都市間で比較できる評価ツールの開発、評価指標の開発
- 都市内移動等におけるエネルギー削減のための新規交通システムの設計、有効性評価（ITS・エアロトレイン、MRT/LRTの配置最適化とCBD（中心業務地区）への自動車流入制限等）
 - エネルギー多消費型都市内設備の最適配置検討： データセンターの北方移設、海上設置等

領域E エネルギー利用ビッグデータの活用

<基本的考え方>

社会インフラ制御システムと、実世界から取得される大量データを処理する情報システムが統合されたICT基盤の構築を目指す。その活用によりエネルギー利用者の多様なニーズを把握、分析して迅速に対応し、またエネルギー消費の削減と都市機能の向上や都市生活者の生活の質向上を同時達成するような新たな価値を探索、創出することを目指す。また環境、技術、機能などの変化に際しても信頼できる安全なサービスを提供し続けることのできる復元力に富んだ都市を実現する情報システムアーキテクチャ、設計・保全技術、評価技術に関する研究開発を進める。

<タイプa>

- センサネットワークを活用した社会インフラモニタリング技術の開発、高度化
- ソーシャル・ビッグデータ、都市における複雑な現象やシステム等の構造の解明：都市における疎構造データからの大域構造の推論、過去の経験的事実・人間行動などの定式化、計測・予測・可視化の数理
- 都市システムデザインのためのリスク管理の数理
- 都市システムの最適化と制御の数理

<タイプb>

- エネルギー利用行動の変容に影響を及ぼす行動経済学的、認知科学的、社会科学的なアプローチ探索
- 都市内エネルギー消費と都市の社会的機能の共創的改善：コベネフィットの探索、定量的評価
- 極端な環境のもとでの人間とシステムの協調、異分野を融合させた総合的、地域依存の、実験的な研究方法の開発
- 時空間的に微小から巨大まで極端なスケールの事象とデータの取り扱いの在り方検討、要素間の密接な結合と相互依存性がもたらす複雑システムの取り扱いの在り方検討
- 都市におけるエネルギー需要構造の解明：需要家のエネルギー利用行動や消費場面と都市内活動との関連性分析

コラム1 科学技術イノベーション政策の観点からの研究開発領域／課題の構造化

本章で提案する個々の研究開発領域／課題は、大きくは以下の2つの階層の中に位置づけられる。

- (1) 課題解決に向けて何が重要で、何をどう研究すべきかを明らかにすることを目的とする科学技術研究
- (2) 前項に基づき、当該テーマの中で位置づけられる、あるいはその価値が認められる個々の科学技術研究

これらは、具体的かつ大胆な将来ビジョンや目標によって互いに関連付けがなされることにより、全体としてはイノベーション・エコシステムを支える「知識のインフラ」となって課題解決に向けた一体的な研究開発推進を支えることが期待される。これまで、課題解決に向けて（2）が個別に推進されることによって一定程度の成果を上げてきたが、今後は（1）との組み合わせによって統合的な研究開発領域／課題群として推進されることが望まれる。

3. 研究開発の効果

3. 1. 社会・経済的效果

■ エネルギー消費量の削減ポテンシャル

本提言において最も重要な成果の1つは、各種取り組みを通じて、中長期的に、エネルギー消費量がどの程度削減されるかという点である。ここでは第1章で示した9つの方策に対応するエネルギー消費の削減ポテンシャルを推定する。なお推計の詳細ならびに結果に関する留意点等は付録3にまとめた。

まず、都市におけるエネルギー消費削減量 E_r の推定については以下の式で示すことができる。

$$E_r = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (E_{h_{ij}} R_{h_{ij}} + E_{c_{ij}} R_{c_{ij}} + E_{t_{ij}} R_{t_{ij}}) \quad \dots(1)$$

ここで、

i : 方策 ($N=9$)

j : 都市類型

$E_{h_{ij}}, E_{c_{ij}}, E_{t_{ij}}$: 類型 j に属する全ての都市における各部門 (h : 民生家庭、 c : 民生業務、 t : 運輸、以下同様) の方策 i に関わるエネルギー消費量総和

$R_{h_{ij}}, R_{c_{ij}}, R_{t_{ij}}$: 類型 j に属する都市に共通な各部門の方策 i による削減率である。なお異なる方策間でのエネルギー消費削減の相乗効果あるいは相殺効果がありうるが、今回の(1)式ではそれを考慮しないものとしている。

今回、 E_{ij}, R_{ij} が都市類型 j によらないと仮定すると、式(1)は以下の(2)式で近似できる。

$$E_r \approx \sum_{i=1}^N (E_{h_i} R_{h_i} + E_{c_i} R_{c_i} + E_{t_i} R_{t_i}) \quad \dots(2)$$

ここで、

$E_{h_i}, E_{c_i}, E_{t_i}$: 対象とする全ての都市における各部門の方策 i に関わるエネルギー消費総和

$R_{h_i}, R_{c_i}, R_{t_i}$: 各都市に共通な各部門の方策 i による削減率である。

以上に基づき、都市におけるエネルギー消費量の削減ポテンシャルについて次の要領により推計した。

- 対象都市：2010年度国勢調査結果に基づく人口20万人以上都市（計111都市）。ただし方策の内容によっては一部の都市のみを対象にした（表3）
- 各都市のエネルギー消費量：環境省のマニュアル【9】で示されている都道府県別のCO₂排出量を市区町村単位で按分する方法を用いて、2010年度のエネルギー統計【10】から市区町村単位のエネルギー消費量を算出した
- 削減量の推計：政府や関連業界・団体からの公開情報やその他の調査・研究事例に基づいて、2030年時を仮定し、第1章で提案した9つの方策についてそれぞれ表3のよう

な仮定と導出プロセスを用い、削減量を方策ごとに推計した。また今回の推計においては式(2)を利用したが、量的ポテンシャルが公開情報として存在するいくつかの方策については式(2)ではなく公開されているエネルギー削減量の値を引用した。削減効果の総計は方策ごとの推計結果を積算して求めた

- 前提条件の固定／変動の別：エネルギー関連機器の効率や総合性能の向上等、技術的進展を主たる変動要因とし、都市のコンパクト化（空間配置関係）や移動手段の転換（人の行動）は部分的な変動要因とした。経済状況、大多数の人の行動や価値観の変化、気候特性、地理的特性は固定要因とした

表3 方策ごとの消費削減量推計の導出プロセス

方策 <i>i</i>	2030年の推計に利用した仮定、および導出プロセス
1. ダイナミックプライシング等による電力需給調整	111 都市の民生家庭部門に対し、夏季におけるダイナミックプライシングによるピークカット等による省エネ効果 20%が年間を通して効果が発現すると仮定。
2. 住宅省エネ・再生可能エネ利用	111 都市の民生家庭部門に対し、すまいに冷暖房・給湯技術、住宅外皮性能向上、新築割合、HEMS、再エネ導入等を考慮した最終エネルギー消費量削減ポテンシャル（中位）36%を適用。
3. 建築物省エネ・再生可能エネ利用	111 都市の民生業務部門に対し、オフィス、店舗等への空調・給湯技術、外皮性能向上、新築割合、BEMS、再エネ導入等を考慮した最終エネルギー消費量削減ポテンシャル（中位）20%を適用。
4. 未利用エネルギー活用	全国主要都市及び既成市街地区における建物間エネルギー相互利用や都市廃熱や河川熱、未利用熱等に有効活用による削減ポテンシャル推測値(17 PJ)を流用。
5. コンパクト化	111 都市の民生家庭と運輸部門において、ライフスタイルを考慮したコンパクト化によるエネルギー削減効果のあるシナリオをベースに、2030年にはそれぞれ約8%の削減効果があると仮定。
6. 内燃機関効率向上による自家用乗用車燃費改善	111 都市にて保有されるハイブリッド車を含むガソリン自家用乗用車全てが、燃費 2 倍に向上した車両に入れ替えられると仮定。
7. 交通流対策による実走行燃費改善	混雑時平均速度の低い 5 都府県（東京、神奈川、埼玉、大阪、愛知）にて、平均車速が 10km/h 向上し、そこで保有される全自家用車の実燃費が 2 割改善すると仮定。
8. 自動車から自転車等への利用転換	111 都市において 1 トリップの走行距離が短い（5km 未満/トリップ）の自動車(全台数の 35%)利用者が、そのトリップを自動車から自転車または徒歩移動に転換。
9. 配電ロス低減	ここでの削減率の推定に利用できる十分な情報が得られなかったため今回は除外。

推計の結果を図8に示す。2030年の都市におけるエネルギー消費量削減ポテンシャルは、人口上位111都市の民生・運輸部門のエネルギー消費の36%、総消費量の21%に相当する。全国エネルギー消費量に対しては10%に相当する削減効果と見積もられた。これらの値は、高効率なエネルギー利用都市の実現が、わが国のエネルギー利用・消費の改善という観点からいかに社会的効果が大きいかを示している。

なお、以上の結果は、各方策を人口規模の比較的大きい都市で実施した場合の潜在的な削減効果を示す参考値として位置づけられるべきものである。付録3で詳細を示すように、ここでの推計は複数の仮定を前提としており、効果推計にはより精緻な検討が必要である¹³。また、上記の削減ポテンシャルの推計にあたっては、ある技術が導入されることによって、個別のエネルギー消費量そのものが、基準値から変化する可能性を考慮しておらず、その点でもより緻密な分析が必要となろう。

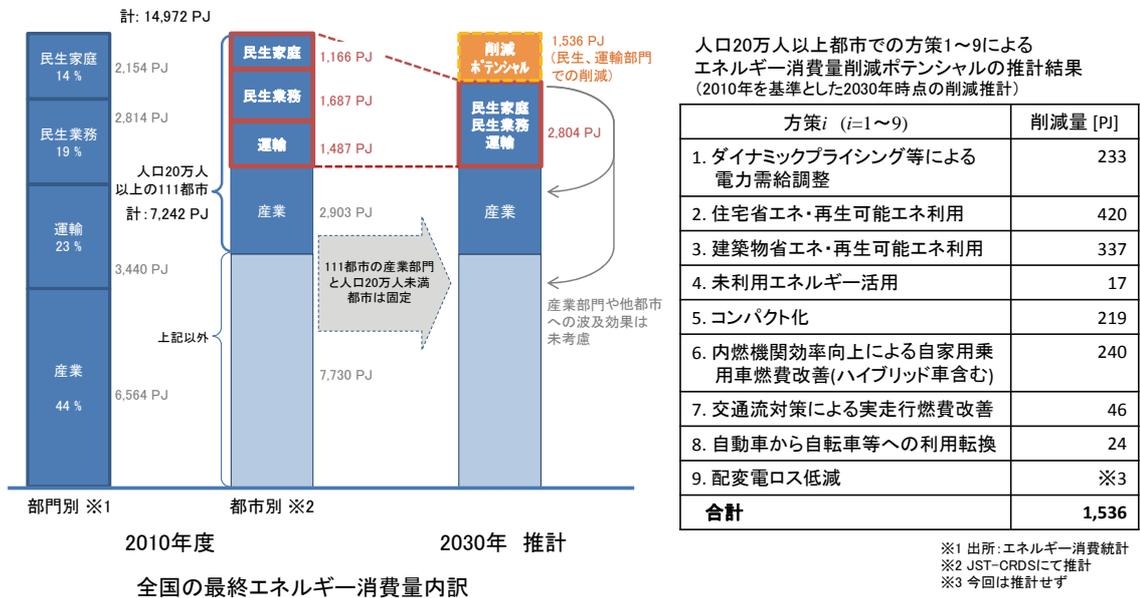


図8 国内の人口上位111都市で高効率エネルギー利用都市実現方策を実施した場合のエネルギー消費削減ポテンシャル

ここで、量的規模のベンチマークとしてNEDOが平成24年度から平成33年度までの計画で進めている「戦略的省エネルギー技術革新プログラム」を挙げる。同プログラムのアウトカム目標は2030年度に原油換算で1,000万kl (390PJ=3.9×10¹⁷J)である【15】。これは2010年度のをが国の最終エネルギー消費量に対して約2.6%に相当する。この値と比べると本提言の推計値は3~4倍と極めて大きい。しかし、本提言が構想することは、同プログラムのような研究開発推進を前提とし、その上で、個々の要素技術に対し基礎原理にまで立ち戻った研究開発を進め、さらに都市全体としてのエネルギー効率向上のために各要素を統合させてゆくことである。

また参考として、国際的にも省エネルギーへの期待は高まっている。国際エネルギー機関による2013年版のエネルギー見通し(WEO2013、【16】)では現行路線で予想される2035

¹³ 第2章の研究開発領域Dに関連する

年時点での一次エネルギー需要に対して約 7%の削減を目指す複数の方策を提案している。各方策の削減寄与割合を以下に示す。

- 需要側の省エネ（Efficient end-uses）： 70%
- 供給側の省エネ（Efficient energy supply）： 2%
- 燃料と技術の入れ替え（Fuel and technology switching）： 12%
- エネルギーサービス需要（Energy service demand）： 16%

「需要側の省エネ」はエネルギー関連機器の省エネ、断熱、システム全体での効率性改善等を、「燃料と技術の入れ替え」は電気自動車への変更等を、そして「エネルギーサービス需要」は料金体系の変更等を方策として挙げている。WEO 2013 に比べると本書の検討は大きな数値を提示しているが、WEO 2013 は民生部門での主たる標的をビル（住宅や建築物）のみに絞るなど本書が想定するよりも民生、運輸各部門での対象を限定的に捉えている点で違いがある。

なお、本書で示した数値は科学技術の観点からのポテンシャルであり、これを実現するためには以下に示す制度的措置が同時に考慮される必要がある。

- 研究開発の効果的な推進
- 新技術・新システム等の社会導入に向けた政策的対応
- 社会が新技術・新システムを受容する土壌の醸成

その他、それぞれの都市とかかわりを持つ多様な関係者が、あるべきエネルギー需給の将来像を共有あるいはともに創りあげてゆくことも重要である。また将来の経済的、社会的環境変化を定期的に観察し、必要に応じて目標や目標達成に向けた道筋の修正を行うことができる柔軟性も必要になる。

■ 温室効果ガス排出の削減

エネルギー消費量の削減と並んで重要になる社会的効果は「低炭素化」である。資源エネルギー庁によれば温室効果ガス排出の約 9 割がエネルギー起源 CO₂ であり、そのうち民生、運輸部門が占める割合は 3 割強である【17】。温室効果ガス排出の削減には供給側である産業部門と転換部門の削減努力が引き続き重要になるが、同時に需要側である民生部門と運輸部門も大幅な削減が求められるべきである。前述のエネルギー消費削減ポテンシャルは、エネルギー起源 CO₂ の排出削減を通じて一定規模の量的貢献を果たしうると期待できる。

日本政府は 2050 年までに「世界で温室効果ガスの排出量を半減し、先進国では 80%削減する」という長期目標を国際的に表明している【5】【6】。国としてこの目標を達成するためにはあらゆる方策を組み合わせる量的規模を伴った成果を狙う必要があるが、都市におけるエネルギー消費量の大幅削減とエネルギー有効利用は、これに対して前述の方策の実施を通じて量的に貢献しうる。なお 2014 年に公表された IPCC の地球温暖化に関する第 5 次報告書【8】では業務（主に建築物）と運輸におけるエネルギー消費の削減や低炭素化が重要な緩和策の標的の 1 つとして指摘されている。高効率なエネルギー利用は、都市部で予想される急激な豪雨や猛暑等の温暖化影響に関する被害リスクの低減と合わせて今後の社会インフ

ラとしても重要である。

■ 経済的効果

エネルギー消費量が大幅に削減され、再生可能エネルギーや未利用エネルギーの導入が進んだ場合、経済的にも多様な効果が期待できる。例えば一次エネルギーの輸入減による貿易収支の改善や、家庭での光熱費削減による購買力向上が考えられる。今回はエネルギー消費削減ポテンシャルに産業部門への波及効果は含まれていないが、オフィスでの光熱費削減等、国内での企業活動に伴うエネルギー消費関連費用の削減が企業の競争力強化にもつながりうると期待できる。

また第1章で示したようにエネルギー消費削減をその他の各種社会インフラも含めた総合的な効率化へ繋げることができれば、より多面的な効果、いわゆるコベネフィットを経済性という観点でも期待できる。例えば住宅の断熱・気密性能向上は、エネルギー消費の削減に加え、居住環境の改善により居住者の有病率を低下させ、さらに医療費削減等の間接的便益ももたらす可能性がある【18】。

さらに新しいエネルギー基本計画ではスマートコミュニティの実現が国の成長戦略実現のための方策として位置づけられている。前述のコベネフィットはそのひとつのアプローチとなるが、もうひとつは、都市におけるエネルギー消費の大幅削減やエネルギーの有効利用のための方策群そのものを、省エネルギー・創エネルギー統合システムとして、類似の都市特性を有する海外都市に向けて輸出するというアプローチである。日本と類似の気候特性を持つアジア地域の経済発展著しい国や地域への展開のほか、社会的な問題意識を共有する先進諸国も対象となりうる。もし国内都市を対象とした方策群の選択と実施で経験を重ねられれば、幅広い都市特性に対して比較的汎用性を発揮できるロバストな方策群を設計することも可能となる。いずれにしても、海外展開を通じた経済的効果は国の成長戦略への貢献という意味では重要な方向性である。

■ その他の社会的効果

人口構造の急激な変化や橋・道路等のインフラの老朽化は各都市を始めとした全国の地域社会が抱える問題である。これらに対する取組みは国としても継続的に行っており、特区制度や「環境モデル都市」・「環境未来都市」等はその代表例である。一方で、こうした取組みにおいてエネルギー問題が十分に組み込まれているとは必ずしも言えない。「環境未来都市」構想に参加する自治体間での課題共有と解決策検討では、「環境・エネルギー問題と社会面の問題を関連づけた解決策の想定」、「地域におけるスマートコミュニティ普及拡大の想定」、「地域のエネルギー構成の想定」、あるいは「災害やエネルギーセキュリティの想定」の難しさが指摘されている【19】。本提言はエネルギー消費の大幅削減に主眼を置きながら、その実現の過程において地域社会が抱える、その他の問題の解決に対する波及的な効果も視野に含めている。

3. 2. 科学技術上の効果

エネルギー消費と温室効果ガス排出を削減しつつ、なお成長や発展を期することは社会の共通の目標である。この目標を都市という枠組みの中で捉え直し、その実現に対して科学技術が包括的に貢献するという事は、21世紀型の科学技術の実践という観点から大きな意義がある。言い換えれば、これは社会的な期待の分析を端緒とした課題解決型の研究開発を設計、実行することによる「社会の中の科学、社会のための科学」【20】の実践であるとも言える。従ってこうした取組みが課題の達成や社会の期待の充足へとつながることは、科学技術の発展としても重要な成果と捉えられるべきものである。

エネルギー問題の克服に向けて貢献が必要な学問分野の広がりや「エネルギー学」【21】と見れば、本提言で示す一連の研究開発領域／課題は、エネルギー学が、都市におけるエネルギー利用の高効率化のための2種のタイプの技術（タイプaとb）を取り込みながら、未来の都市を設計していくための、言わば広義の「都市学」の、学術体系の整備に貢献していくものであると考えられる。

一方、要素技術の高度化にも科学技術上の重要な意義がある。第2章で示した個別の目標技術は、より多くの多種多様なデータを活用可能にするデータ通信・処理・制御システムの開発、交通流をリアルタイムに捉えるセンサー・モニタリング・予測システムの構築、次世代型の運転支援技術の開発、都市内での省エネ・創エネを可能にする新規材料の開発等、関連分野における新たなフロンティアを切り拓くものである。都市を要素システムから構成されるシステム（System of systems）と考えた場合、都市設計やエネルギー利用ビッグデータ活用に関する研究開発は、要素システムと全体システムの関係性を再構築することに寄与する科学技術として、その重要性は極めて高い。加えて、ある要素技術の高度化や革新的な技術の開発は、別の要素技術の開発に直接的に影響を与える、あるいは要素技術が組み込まれることになるシステムの設計や、より高次のアーキテクチャに影響を与える等の連鎖反応も期待できる。結果的にそうした相乗効果が新たな科学技術上の課題を生じさせ、科学技術のさらなる発展につながることを期待できる。

4. 推進方法および時間軸

本提言は、エネルギー利用・消費の高効率化という課題の解決に貢献するため、社会において複数の機能を提供している都市という枠組みに立つことで、具体的かつ大胆なビジョンと目標を提示し、社会全体としての課題解決のインセンティブを高めることを意図している。従って、その実現のためには2章に記載した個々の領域／課題に取り組む研究開発戦略に加え、国や自治体によるイニシアチブの発揮が重要である。長期的なビジョンの共有、研究開発の目標設定、達成のための体制作りや環境整備等を分野や役割を超えた視点で検討することが必要である。本章ではこうした視点から研究開発の推進体制や方策を提案する。

4. 1. 研究開発

■ 課題解決のための共通基盤

国や自治体が効果的なイニシアチブを発揮するためには、特に研究開発の計画策定や実行初期段階において共通基盤が必要である。すなわち、都市におけるエネルギー利用の高効率化に係る研究開発の各種プレイヤーが、共通基盤上で、

- 共有されるビジョンの下で参加のインセンティブを得ることができる
- 異なる領域や役割間での連携を促すネットワークに加わることができる

ことで初めて課題解決型の研究開発の特性を踏まえた研究開発推進の仕組みが実現されることになる。この2点の詳細については以下に述べる。

なお、現在、国レベルでは第4期科学技術基本計画で導入された「エネルギー戦略協議会（現在の総合科学技術・イノベーション会議の下、重要課題であるエネルギーに関する戦略推進の全体マネジメントを担う）」や、「戦略的イノベーション創造プログラム；SIP（研究課題毎に選ばれたプログラムディレクターの下で、府省の枠を超え、基礎研究から実用化・事業化まで見据えた研究開発を行う）」が展開されているが、こうした既存の枠組みを活用しながら、課題解決に向けた共通基盤を構築していくことも採り得る方法である。

(1) インセンティブ付与

都市のようにエネルギーシステムとして極めて複雑かつ大規模な対象を研究開発の対象として捉える場合には、一般的に次のような困難があると認識されている。

- 本質的なボトルネックが唯一ではなく、顕著な成果・変化を社会にもたらすためには多くの場合困難な複数の主体の連携が必要となる。
- 既存技術の活用、組み合わせが有効な場合が多く、それらの場合に基礎的な研究開発の目標が見出し難いことがある。
- 社会への実装に必要な初期投資が甚大で、また市場が未成熟である場合も多く、事業化する上でのリスクが大きい。

こうした困難により、これまで学術、産業の両面において課題解決に向けた取り組みのインセンティブが十分に高まってこなかった。従って、これを打開するため、共通基盤においては高効率エネルギー利用都市の実現に向けた長期的ビジョンを掲げ、その実現がもたらす多様な社会的便益や各種の可能性を科学的なアプローチによって総合的、客観的に見積もり、社会に明示する必要がある。具体的には社会的便益の定量的な評価等が求められるが、これに応える確立された方法論は存在しない。その取り組みは、共通基盤上で研究開発の推進と並行して進めることも構想すべきである。

（2）連携ネットワークの形成

都市におけるエネルギー利用の高効率化という課題への挑戦には異なる学問分野や技術分野が複数関わる。これらの相互の連携ないし融合を促すネットワークの形成は、研究開発におけるビジョンの共有や専門的知見等の相互補完、あるいは潜在的な相乗効果の誘発のために有効と期待される。本提言のテーマに関連する学術領域は、エネルギーマネジメントに関わる分野としてコンピュータサイエンスや情報通信、先端的な材料をもたらすナノテクノロジーや材料科学、エネルギーシステム全般に関わる工学や化学工学、都市を科学的に捉える都市工学等の理工学系の領域に加え、経済学や社会科学等、高効率なエネルギー利用都市の実現に向けた経済社会的側面に関わる人文社会学系の領域がある。

また、研究成果を社会における変化へと迅速に繋げてゆくためには研究開発フェーズ間での連携も不可欠である。研究成果の社会への実装には種々の障壁があり得るため、都市の中に顕著な変化をもたらすまでには10年単位の期間を要することを見込むのが妥当である。そのため社会実装を研究開発の当初の段階から意識して、そのための体制作りを行うことで障壁を克服し、迅速な研究開発推進による期間短縮を狙う。役割連携に関連する主体は、基礎的な研究開発の中核を担う大学や公的研究機関、応用や成果の実用化を担う企業、成果を実装する場となる自治体や地域の事業主体等、産学公民である。政府機関としては内閣府（科学技術や地域活性化関連）、文部科学省、経済産業省、環境省、国土交通省が主として関連すると考えられる（各省の関連施策に関しては付録5参照）。

なお都市を対象とした取り組みでは国と自治体の連携が極めて重要であるが、両者の橋渡しを担う存在として大学や公的研究機関、あるいは複数機関が参加する研究拠点等への期待は大きい。都市の実態を把握して本質的な課題を抽出する、客観的に都市の機能を分析して長期的なビジョンや方向性を示す、技術やシステムに精通して対象都市に有用な方策を吟味する等、研究者が担うべき役割は多様である。ただし、研究開発実施後の結果に対して研究者個人が責任を負える範囲は限定的である。また非常に長期にわたって同一の都市や地域と関わりを持ち続けることは、研究者のキャリアパスを考えると困難な場合もあると考えられる。従って実際の都市や地域をフィールドとした研究開発を行う場合の実施主体は、原則として自治体が妥当であると考えられる。なお、最近は研究者も含め複数の主体が協議会を形成して実施主体となる成功事例もある。

（3）研究開発推進の仕組み

共通基盤における研究開発推進の仕組みは2通り考えられる。1つは、個別の開発目標技術の高度化や基礎原理の探求に主眼を置いた従来型の研究開発である。原理原則の発見や要

素技術の高度化は、個々の技術の機能や有用性を高めるだけではなく、例えばある要素技術の成立が他の要素技術の開発上の前提や制約を克服し、技術間や要素システム間での連鎖反応を引き起こす可能性もある。結果として課題解決に向けた新しいアプローチや可能性をもたらすこともあり得る。従って従来型の研究開発は本テーマにおいても重要であり、目的を見据えた基礎研究から応用研究まで、自由な発想に基づき進められるべきである。

一方、もうひとつの研究開発推進の仕組みは、課題解決に向けて総合的に研究開発を進めるものであり、以下に提案する。

■ 課題解決に向けた総合的な研究開発の仕組み

都市における複雑なエネルギーシステムの高効率化に対して、例えば第2章で示した5つの領域（A～E）の単位で、あるいは特定の都市を対象にして第1章で示した方策（①～⑨）から必要な組合せを選択して、総合的に研究開発を進める必要がある。総合的に進めることで、有用な基礎研究成果を組合せ、社会への橋渡しを迅速に行うことを狙う。前述のように社会への実装には長い期間を見込む必要があるが、その期間短縮を狙うためには、戦略的かつ総合的な計画の策定とその実行が有効であると考えられる。従ってこれらの取り組みは政府の特区制度や中核研究拠点等を活用して推進することも有益と考えられる。

なお研究開発を総合的に進めるためには、（1）研究成果の有効性の評価・検証を組み込んだ仕組みの構築が必要である。ただし総合的に取り組むことで必然的に生じる困難として、（2）研究開発課題ごとのマイルストーンの時間的なずれ、を考慮した推進が有意義な研究成果を得るためには重要である。これら2点の詳細について以下に述べる。

（1）研究開発成果の有効性を評価・検証するための仕組みの整備

課題解決型の研究開発として、基礎的研究における各種成果の社会の中での有効性を評価、検証することは極めて重要である。これは、経済的な成立可能性を確認するという以前に、そもそも技術的な観点から、その技術シーズが社会の中で実際に機能しうるかを確認するという意味で重要である。また前述のとおり課題解決型の研究開発に係るインセンティブを高めるという意味でも、その有効性を、可能であればその経済的な可能性も含めて示すことは重要である。

以上より、実際の研究開発においては、得られた個々の成果（要素技術、各種機器や管理手法など）について、その有効性を都市のエネルギーシステム全体、あるいは、これらを模した試験環境において評価・検証していく必要があり、そのための環境整備が求められる。以下に2通りの評価・検証の仕組みを挙げる。

① 模擬システムを用いた実証試験

都市を構成する産業、業務、家庭、輸送部門などのエネルギー機能の内、評価対象となる機能を小規模なシステムの形で模擬した試験環境を整備し、本環境下において、個々の研究開発成果の有効性を評価・検証する。

類似の動きとして、米国エネルギー省の研究拠点である「高効率エネルギー建物ハブ」がフィラデルフィア海軍ヤードに整備した「商業用建物の設置ゾーンを模した実証試験場」

などが挙げられる（コラム2）。

② 地域の実環境における実証試験

対象地域を選び出し、地域の実環境に即したテーマ設定の下で研究開発を実施し、実証試験を行う。この場合は、必ずしも実環境の全てではなく、その一部を対象としながら、必要な試験を行う形を取る。

コラム2に示した米国国立科学財団の工学研究センターの「Three Plane Strategic Model」は具体的な社会・市場ニーズの分析に基づく研究開発計画が成果検証までを含めて事前に設計されるというものであり、こちらの例として捉えることもできる。

(2) 課題間でのマイルストーンのずれ

課題ごとに設定されるマイルストーンの時間軸上、また研究開発フェーズ上のずれは、課題解決型研究開発を推進するにあたっての構造的な問題のひとつである。例えば、新しい機能を付与した材料やそれを組み込んだ機器・装置の開発と、既存技術の組み合わせによる統合化は、研究開始から実証試験での有用性の評価、検証までにかかる時間の長さに大きな開きがあると予想される。この開きをどのように解消するか、あるいは整合させることができるかは、プロジェクト設計の初期段階で研究者間での合意形成が必要である。技術ロードマップを描く等により実現可能性を事前に検討することも考えられる。他方、資金提供（ファンディング）側も、その事前検討の内容をとときには専門的な知見も動員して、精査する責任がある。

4. 2. 制度・政策

研究成果の有用性の評価、検証は、規制や制度の変更と組み合わせることで、その潜在的なポテンシャルをより現実的に見積もることができる。例えば内閣官房地域活性化統合事務局と内閣府地域活性化推進室が所管する各種特区や、意欲的な自治体のベストプラクティスの水平展開を支援する「環境モデル都市・環境未来都市」等は、そうした場として見なすことも可能と考えられる。

4. 3. その他の留意点

■ 研究資金の柔軟性

柔軟な研究資金活用は自治体の参加動機を高め、積極的な取り組みに繋がる可能性がある。そのためにはコラム2で紹介した米国エネルギー省のエネルギーイノベーション・ハブの事例にあるように、例えば研究資金の一部をインフラ整備に充当できる枠組みなどがあることは、大きな利点となりうる。

■ プロジェクトの評価指標

インパクトファクターの高い雑誌への投稿が研究成果の評価基準である場合、いかに社会的なインパクトが大きくても、ここで提案する研究開発プロジェクトが高い評価を得る可能性は低い。従来の評価軸による学術的価値の評価は、社会的インパクトを考慮していないという点は、ここで提案する研究開発プロジェクトを推進する上で重要な留意事項である。研究開発の成果に対して、科学的、経済的、社会的、さらには文化的なインパクトをどのような評価軸で評価すべきか、慎重な吟味が必要である。

コラム 2 計画、実行段階でのプラットフォーム機能、及び研究成果の評価、検証に関する仕組みの事例

（1）米国エネルギー省 エネルギーイノベーション・ハブ

エネルギーイノベーション・ハブは米国のグリーンイノベーションを促進するための研究拠点で、2010年から導入された。基礎研究、応用研究に加え、商業化に必要な工学開発までカバーした一連の活動を、「アンダー・ワンルーフな仕組み」の中で行うことを目的としている。1つのハブに対して5年間で1億2200万ドルの研究資金が投じられ、その内の最大1000万ドルが建物の新築を除くインフラ整備に充当できる。

このハブの1つとして、2010年8月にペンシルバニア州立大学をリーダーとする研究グループの「高効率エネルギー建物ハブ（Energy Efficient Building Hub）」が採択された。同ハブはインフラ整備に充てられる資金を活用して研究拠点をフィラデルフィア海軍ヤードに設置した。この拠点にて、「2020年までに商業用建物のエネルギー消費を20%消費するための手段や方法を開発する」ことを目標に、産学連携や文理融合に基づく活動を展開している。

ハブの求心力として、年間数十億円規模で投じられる研究資金に加えて、海軍ヤード内に設置された実証試験場の存在が大きい。自然科学や社会科学といった基盤的な研究やシステム理論を試験場に持ち込むことで、研究の成果ないしその価値をエネルギーシステム全体の中で実証、評価できることが大きな魅力であると思われる。

（2）米国国立科学財団 工学研究センター

米国国立科学財団（National Science Foundation）が資金提供する工学研究センター（Engineering Research Center）は研究者からの提案に基づき計画、実行される委託研究プログラムである（【22】【23】）。支援期間は5～10年で、プログラム終了後の自立を前提とし、3年目と6年目に継続審査が行われる。NSFからの支援は年間400万ドル以下だが、大学、産業界、あるいはNSF以外の政府機関からの資金獲得に取組み、いわゆる出口側の巻き込みを常時検討しながら研究開発を推進している。結果としてNSFからの支援は10年間で全体の4割程度である。同プログラムは1985年からと歴史は古いが、継続的に改善が図られており、以下に示す現在のThree Plane Strategic Modelは2000年代に導入された。

現在のERCでは、申請者は「社会・市場に画期的な変革をもたらす革新的（Transformational）な工学システム」及び「その概念・技術を実証するための研究計画」を提案する必要がある。計画の中では、社会・市場ニーズの分析に基づいて、（1）知識基盤、（2）技術基盤、（3）技術統合、という3つの階層（plane）に関する研究開発、技術開発、あるいはその他の障壁克服のための課題を明確化させ、各層での取組み方針を示すことが求められる。さらに技術基盤や技術統合の階層では研究開発成果の有効性を評価、検証するための場（図9中のtestbed）も設定し、論文作成にと

どまらない取組みをいかに進めるかを示す必要がある。

ERC ではこうした一連の仕組みの計画、設計を事前に求めることで分野融合や役割連携を促し、また研究成果の評価、検証を行うことを可能にし、結果として当初に設定された社会・市場ニーズの充足の実現可能性を高めようとしている。そのために採択過程においては大学や連携機関のコミットメントの見極めやサイトビジット等を行い、採択後も進捗管理を詳細に行っている。

ERC の事例としては、現在スタンフォード大学をリーダーとして「都市の水資源インフラ」に関する研究が推進されている。また過去にはバージニア工科大学をリーダーとして「パワーエレクトロニクス」に関する研究が推進され（1998～2008年）、多段階電圧制御技術の開発という成果を挙げたものもあった【23】。

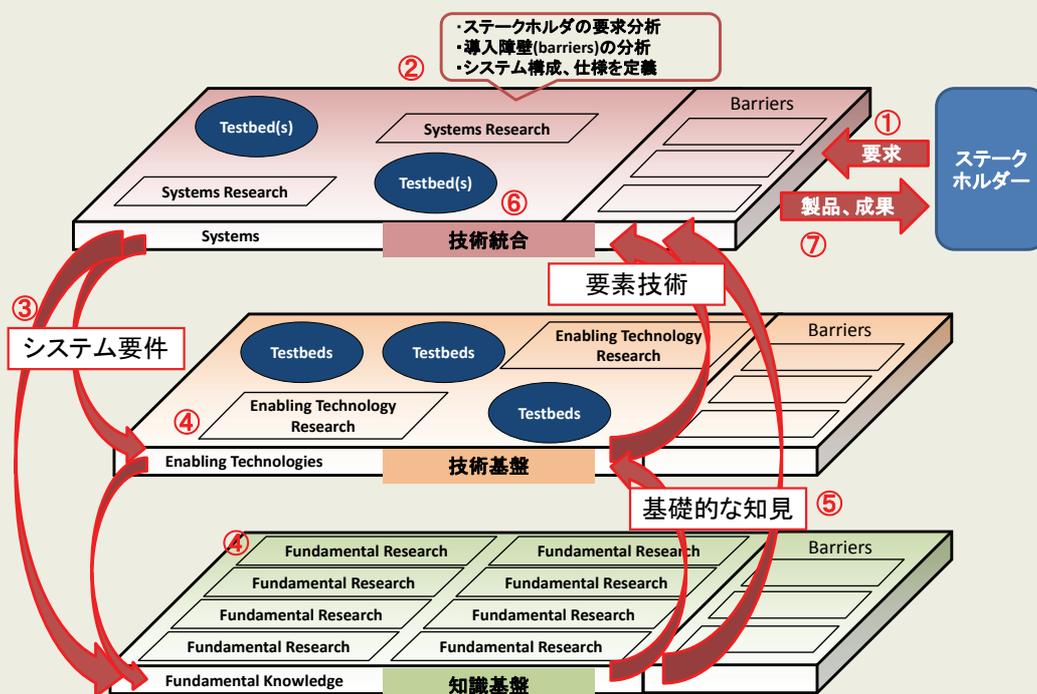


図9 ERCのThree Plane Strategic Model。申請グループはこのモデルに従った研究計画を提案し、その妥当性が審査される。ERC Strategic Framework【24】をもとにCRDSにて補足、訳出

推進方法および時間軸

謝 辞

本提言の作成にあたり、その基となる国内外の多様な情報やデータの収集、分析などにおいて、後掲する多くの専門家からご支援、ご協力をいただいた。また、インタビューやワークショップでは、関連分野の専門的見地から、あるいは将来社会を担う個人として、有益な知見やご意見をいただいた。ここに記して、執筆者一同、心より御礼申し上げる次第です。

付録 1. 人口 20 万人以上の都市の一覧

2010 年度の国勢調査結果を基に人口 20 万人以上の市町村を抽出した。該当する 111 都市の一覧を下表にて示す。都市は産業部門のエネルギー消費総量に対する比率に基づき「工業都市」（0.5 以上）と「非工業都市」（0.5 未満）に区別し、さらに人口密度の高い順に並べている（都市の定量条件に関する説明は本文 1. 2. を参照）。各都市の人口総数、可住地面積あたりの人口密度、昼夜間人口比率は同じく国勢調査結果から抜粋した。なお部門別のエネルギー消費量の比率は産業、民生（家庭、業務）、運輸部門のエネルギー消費総量に対する比率を表す。部門別のエネルギー消費量は都道府県単位の部門別エネルギー消費量からの按分により算出した（詳細は付録 2 参照）。

No.	市町村名	人口密度（人／可住地面積 km ² ）	人口総数（人）	昼/夜間人口比率（%）	エネルギー消費総量に対する各部門のエネルギー消費量の比率			
					産業	家庭	業務	運輸
<工業都市>								
1	川崎市	10,577	1,425,512	89.5	0.60	0.13	0.15	0.12
2	尼崎市	9,080	453,748	96.8	0.63	0.13	0.12	0.11
3	市川市	8,448	473,919	81.7	0.53	0.18	0.13	0.16
4	松戸市	8,183	484,457	81.5	0.58	0.16	0.12	0.14
5	船橋市	7,617	609,040	84.2	0.59	0.14	0.13	0.14
6	八尾市	7,361	271,460	95.7	0.52	0.15	0.15	0.18
7	藤沢市	6,471	409,657	93.2	0.57	0.13	0.16	0.14
8	明石市	6,012	290,959	90.1	0.64	0.12	0.10	0.15
9	堺市	5,785	841,966	94.4	0.50	0.15	0.16	0.19
10	千葉市	4,384	961,749	97.5	0.59	0.12	0.15	0.15
11	平塚市	4,168	260,780	99.6	0.65	0.09	0.13	0.13
12	柏市	4,008	404,012	89.8	0.51	0.15	0.17	0.18
13	加古川市	2,610	266,937	88.3	0.62	0.11	0.10	0.17
14	和歌山市	2,531	370,364	104.4	0.67	0.08	0.10	0.15
15	姫路市	2,361	536,270	101.1	0.60	0.10	0.12	0.18
16	大分市	1,947	474,094	102.2	0.87	0.02	0.03	0.07
17	倉敷市	1,875	475,513	98.9	0.89	0.02	0.03	0.06
18	福山市	1,821	461,357	100.4	0.64	0.07	0.12	0.17
19	四日市市	1,759	307,766	103.5	0.72	0.06	0.08	0.14
20	岡山市	1,630	709,584	104.2	0.56	0.10	0.14	0.20
21	呉市	1,621	239,973	98.6	0.67	0.08	0.11	0.14
22	豊田市	1,461	421,487	108.9	0.77	0.06	0.06	0.11
23	市原市	1,229	280,416	94.8	0.95	0.01	0.01	0.03

24	八戸市	1,197	237,615	105.1	0.51	0.14	0.14	0.21
25	下関市	1,164	280,947	98.6	0.65	0.09	0.10	0.17
<非工業都市>								
26	東京特別区	14,498	8,945,695	130.9	0.06	0.24	0.52	0.17
27	大阪市	11,981	2,665,314	132.8	0.21	0.19	0.44	0.16
28	豊中市	10,708	389,341	89.2	0.17	0.30	0.29	0.24
29	調布市	10,434	223,593	87.7	0.05	0.36	0.34	0.25
30	吹田市	9,936	355,798	98.6	0.17	0.26	0.36	0.22
31	寝屋川市	9,909	238,204	87.3	0.19	0.29	0.25	0.27
32	東大阪市	9,852	509,533	103.2	0.33	0.20	0.24	0.23
33	横浜市	9,268	3,688,773	91.5	0.36	0.18	0.25	0.20
34	川口市	9,105	500,598	83.7	0.13	0.28	0.27	0.32
35	大和市	8,977	228,186	87.2	0.35	0.20	0.24	0.22
36	草加市	8,900	243,855	85.5	0.21	0.26	0.24	0.29
37	府中市	8,732	255,506	96.4	0.17	0.27	0.33	0.23
38	那覇市	8,304	315,954	109.1	0.05	0.21	0.37	0.36
39	西宮市	7,774	482,640	89.2	0.32	0.25	0.22	0.21
40	茅ヶ崎市	7,262	235,081	79.6	0.41	0.20	0.18	0.21
41	名古屋市	7,203	2,263,894	113.5	0.17	0.22	0.36	0.26
42	町田市	7,019	426,987	91.0	0.05	0.31	0.31	0.33
43	枚方市	6,883	407,978	87.8	0.33	0.23	0.21	0.23
44	京都市	6,806	1,474,015	108.5	0.16	0.23	0.37	0.24
45	福岡市	6,423	1,463,743	111.9	0.15	0.19	0.40	0.26
46	高槻市	6,229	357,359	86.5	0.25	0.27	0.24	0.24
47	横須賀市	6,010	418,325	91.3	0.46	0.16	0.18	0.20
48	八王子市	5,772	580,053	99.7	0.08	0.28	0.31	0.33
49	さいたま市	5,762	1,222,434	92.8	0.10	0.25	0.36	0.30
50	茨木市	5,679	274,822	92.6	0.33	0.21	0.25	0.22
51	越谷市	5,433	326,313	86.7	0.10	0.26	0.30	0.33
52	上尾市	5,344	223,926	83.9	0.22	0.23	0.24	0.31
53	所沢市	5,321	341,924	86.5	0.08	0.28	0.31	0.33
54	宝塚市	5,271	225,700	80.5	0.14	0.33	0.23	0.30
55	相模原市	5,161	717,544	87.9	0.46	0.16	0.19	0.20
56	神戸市	4,832	1,544,200	102.6	0.46	0.15	0.19	0.20
57	札幌市	4,343	1,913,545	100.6	0.11	0.32	0.32	0.25
58	広島市	4,141	1,173,843	102.1	0.48	0.12	0.22	0.17
59	春日井市	4,066	305,569	91.4	0.26	0.22	0.21	0.30
60	春日部市	3,636	237,171	82.0	0.10	0.27	0.27	0.37
61	北九州市	3,342	976,846	102.7	0.44	0.13	0.19	0.24

62	厚木市	3,338	224,420	114.9	0.50	0.10	0.23	0.17
63	一宮市	3,323	378,566	86.9	0.16	0.25	0.23	0.36
64	川越市	3,263	342,670	97.1	0.25	0.20	0.26	0.29
65	仙台市	3,089	1,045,986	107.3	0.17	0.27	0.31	0.25
66	岐阜市	2,901	413,136	103.8	0.10	0.20	0.34	0.36
67	大津市	2,804	337,634	92.1	0.14	0.24	0.29	0.34
68	高知市	2,589	343,393	102.9	0.24	0.16	0.29	0.32
69	奈良市	2,566	366,591	94.6	0.06	0.27	0.32	0.34
70	岡崎市	2,437	372,357	93.9	0.39	0.16	0.17	0.27
71	鹿児島市	2,434	605,846	101.5	0.13	0.15	0.28	0.44
72	金沢市	2,425	462,361	108.0	0.09	0.22	0.35	0.34
73	長崎市	2,404	443,766	103.2	0.17	0.22	0.31	0.30
74	熊本市	2,247	734,474	102.3	0.13	0.20	0.30	0.37
75	沼津市	2,192	202,304	107.5	0.27	0.18	0.23	0.33
76	静岡市	2,166	716,197	103.3	0.25	0.18	0.23	0.34
77	松山市	2,155	517,231	101.3	0.28	0.17	0.24	0.31
78	富士市	2,057	254,027	99.5	0.43	0.13	0.14	0.30
79	函館市	2,002	279,127	102.7	0.20	0.26	0.24	0.30
80	徳島市	1,900	264,548	109.6	0.29	0.15	0.27	0.29
81	高松市	1,801	419,429	104.5	0.19	0.18	0.27	0.36
82	豊橋市	1,724	376,665	97.9	0.32	0.17	0.20	0.32
83	浜松市	1,649	800,866	99.7	0.28	0.17	0.20	0.36
84	久留米市	1,565	302,402	100.6	0.28	0.15	0.25	0.32
85	宇都宮市	1,547	511,739	104.6	0.29	0.15	0.24	0.32
86	高崎市	1,515	371,302	102.9	0.18	0.18	0.24	0.40
87	伊勢崎市	1,490	207,221	98.9	0.33	0.14	0.16	0.36
88	山形市	1,484	254,244	107.5	0.07	0.27	0.32	0.35
89	水戸市	1,459	268,750	112.8	0.16	0.14	0.40	0.31
90	前橋市	1,438	340,291	104.5	0.17	0.17	0.25	0.41
91	宮崎市	1,374	400,583	102.1	0.17	0.16	0.26	0.41
92	熊谷市	1,314	203,180	98.6	0.28	0.15	0.24	0.33
93	太田市	1,300	216,465	105.9	0.47	0.11	0.14	0.28
94	佐世保市	1,293	261,101	101.3	0.16	0.21	0.26	0.38
95	盛岡市	1,255	298,348	106.4	0.09	0.31	0.31	0.29
96	福井市	1,232	266,796	110.4	0.19	0.18	0.31	0.33
97	新潟市	1,212	811,901	101.8	0.26	0.22	0.22	0.30
98	長野市	1,169	381,511	104.2	0.13	0.19	0.27	0.41
99	秋田市	1,154	323,600	104.6	0.17	0.26	0.26	0.31
100	青森市	1,151	299,520	101.7	0.16	0.26	0.25	0.33

101	福島市	1,082	292,590	103.5	0.23	0.25	0.23	0.30
102	松本市	1,021	243,037	107.2	0.19	0.17	0.26	0.38
103	郡山市	1,011	338,712	105.7	0.24	0.23	0.23	0.30
104	いわき市	1,003	342,249	99.5	0.28	0.23	0.17	0.32
105	旭川市	994	347,095	100.5	0.17	0.27	0.26	0.29
106	津市	984	285,746	102.9	0.48	0.12	0.15	0.25
107	佐賀市	948	237,506	107.4	0.17	0.17	0.29	0.37
108	富山市	890	421,953	106.3	0.32	0.17	0.22	0.29
109	つくば市	890	214,590	108.7	0.35	0.11	0.31	0.24
110	長岡市	632	282,674	102.6	0.35	0.18	0.18	0.29
111	上越市	476	203,899	100.2	0.40	0.16	0.15	0.28

付録2. 都市のエネルギー消費に関する分析

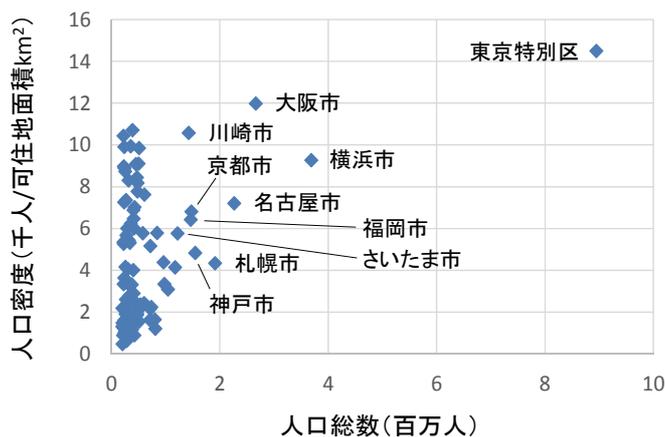
■ 市町村別のエネルギー消費量算出方法

本提言では、市町村レベルのCO₂排出量の算出に適用されている按分方法【9】を参照して、2010年度の都道府県別最終エネルギー消費量【10】から、産業部門、民生部門（家庭、業務）、運輸部門に関して市町村レベルの値を算出した。按分では部門ごとのエネルギー消費と密接に関連すると思われる市町村単位の統計を利用している。例えば産業部門は、製造品出荷額の当該都道府県と当該市町村の関係に基づき按分を行った。

■ エネルギー消費と人口の関係について

2010年度の国勢調査結果に基づき人口20万人以上の市町村を抽出したところ、111の市と特別区が該当した¹⁴。これらの都市を対象に、都市におけるエネルギー消費の現状について分析した。

最初に、人口総数と人口密度という、人口に関する2種類の指標を比較する。森林等の自然地在国土の大半を占めるわが国では、居住可能な面積が都市によって大きく異なる。そのため人口総数が同程度の都市であってもエネルギー需要の空間的な粗密に違いが生じる。図S1に示すように、人口100万人以下の都市間で人口密度に大きな開きがあることが分かり、エネルギー消費の都市間差異を見る上では重要な観点となりうる。



図S1 111都市の人口総数と人口密度の関係（本文図1の再掲）

一人当たりエネルギー消費量と人口総数または可住地面積あたりの人口密度との関係を見ると図S2のようであった。エネルギー消費をその内訳を考慮せず総量として捉えた場合、いずれの指標でも人口集積に伴うエネルギー消費の効率化の傾向は見られなかった。一方で、前述のように人口総数よりも人口密度との関係で見た方が都市間の差異がより顕著に見出せ

¹⁴ 23区は1つの特別区として扱った

ると期待された。従って以降では人口密度との関係からエネルギー消費量の現状について分析を行った。

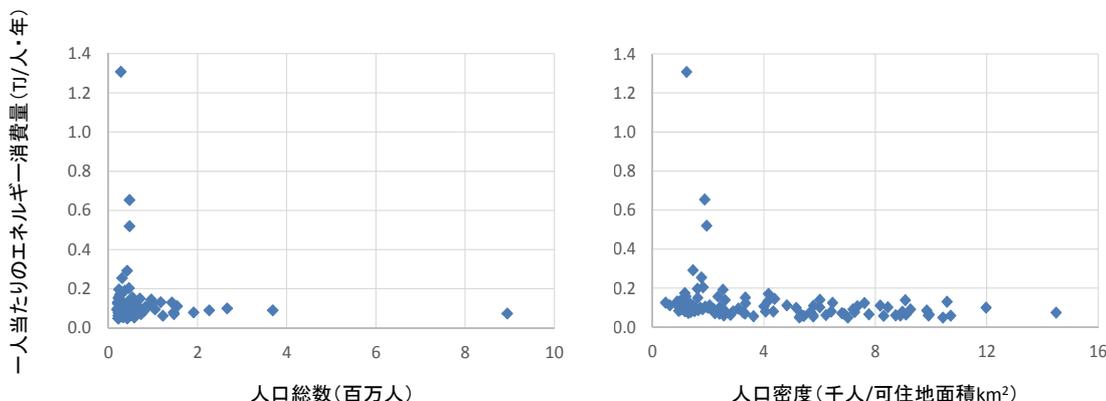


図 S 2 111 都市の人口と一人当たりエネルギー消費量の関係

■ 部門別のエネルギー消費実態

エネルギー消費量全体に対して産業部門の比率が比較的高い都市には大規模な工場や工業地帯が存在する場合が多く、一般的に工業都市と呼ばれる。ここでは、この比率が 0.5 以上であった都市を「工業都市」と呼ぶこととした。分類した結果を図 S 3 に示す（111 都市の詳細は付録 1 参照）。

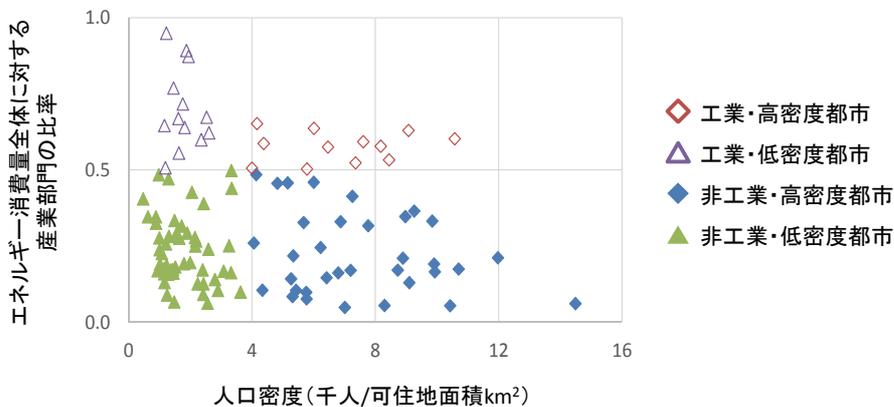


図 S 3 111 都市の分類結果（本文図 3 の再掲）

111 都市に関する部門別の一人当たり年間エネルギー消費量を図 S4 に示す。まず産業部門の一人当たりエネルギー消費量は工業都市で顕著に大きく、非工業都市との間に一桁以上の差が見られた（図 S4(a)）。これらの都市では主として製造業によるエネルギー消費が多い（その他には建設・鉱業、農林水産業）。民生（家庭・業務）、運輸両部門のエネルギー消費に関しては、工業と非工業の間に顕著な差異は見られなかった（図 S4(b)(c)(d)）。

家庭部門のエネルギー消費は、特に非工業の低人口密度都市で都市間のばらつきが比較的大きかった（図 S4(b)）。都市間のばらつきが大きいということは、同程度の人口密度でもエ

エネルギー効率に開きがあることを表すため、特にエネルギー消費量の高い都市において消費削減余地が残っている可能性を示唆する。例えば住宅ないし住宅街の点在が都市内のエネルギー需要を分散させている可能性が考えられる。

都市間でのばらつきは業務部門でも見られたが、その傾向は人口密度によらなかった（図 S4(c)）。同程度の人口密度であっても2〜3倍の差がある場合もあり、業務部門におけるエネルギー消費の削減余地を示唆している。

最後に運輸部門のエネルギー消費（図 S4(d)）は、人口密度との間に負の相関が見られた。都市間でのばらつきも小さく、一般的に人口密度が低い都市ほど一人当たりのエネルギー消費量が大きい傾向が見られた。これは、公共交通が必ずしも十分に整備されていない地方の中規模都市において自動車は主な移動手段となっている場合や、後述するように中心市街が空洞化して、代わりに郊外部で住宅街や商業施設が点在するようなエネルギー需要が分散した都市形態が形成されている場合などが背景として存在することが考えられる。

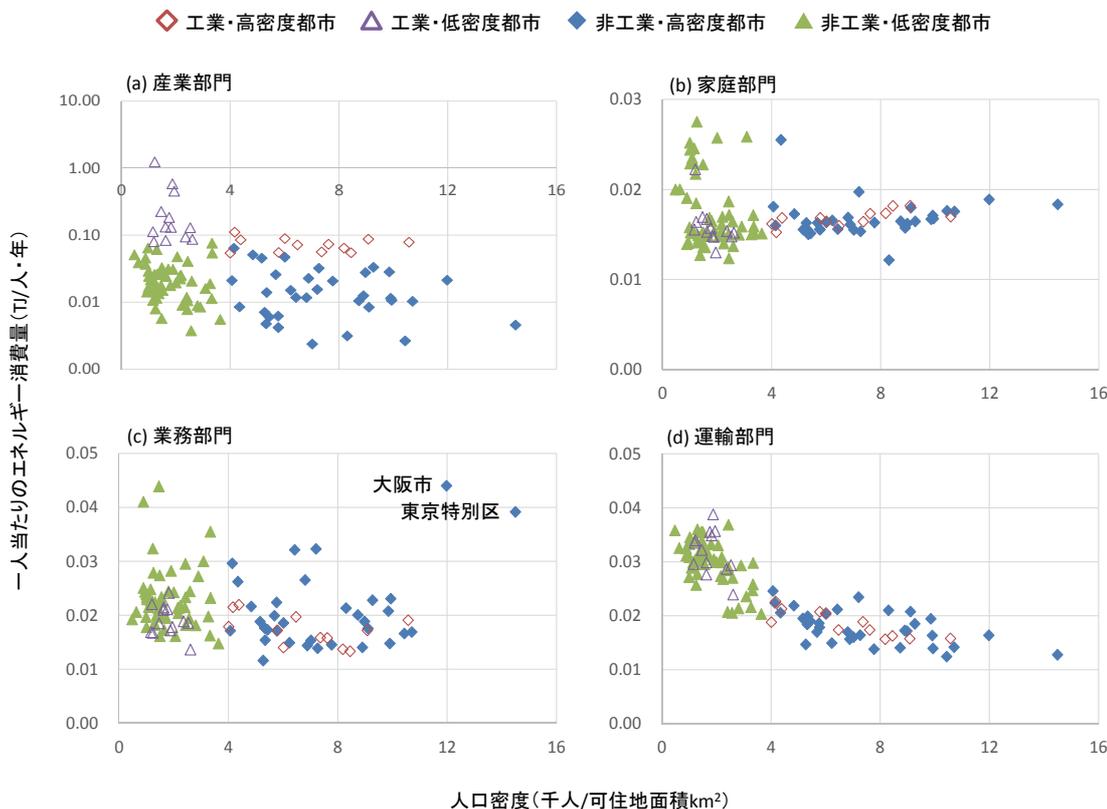


図 S 4 部門別の人口密度と一人当たりの年間エネルギー消費量の関係。
産業部門のエネルギー消費量のみ対数軸を用いた（本文図 4 の再掲）

なお、エネルギー消費に対しては人口密度以外の他の要因（社会、経済、地形、気候等）の影響も考えられる。以下では2つの事例を挙げるが、都市ごとの詳細な要因分析は今後の課題である。

図 S5 に示すように、気温との関係は家庭部門のエネルギー消費で特に顕著である。平均気温が低い都市ほど一人当たりのエネルギー消費量が多い。これは暖房、給湯に灯油を使

うことが多い北海道や東北エリアのエネルギー消費の実態が反映されていると考えられる。資源エネルギー庁の調査では、そうした傾向は特に戸建住宅で顕著に見られるとの報告もある（図 S6、【25】）。

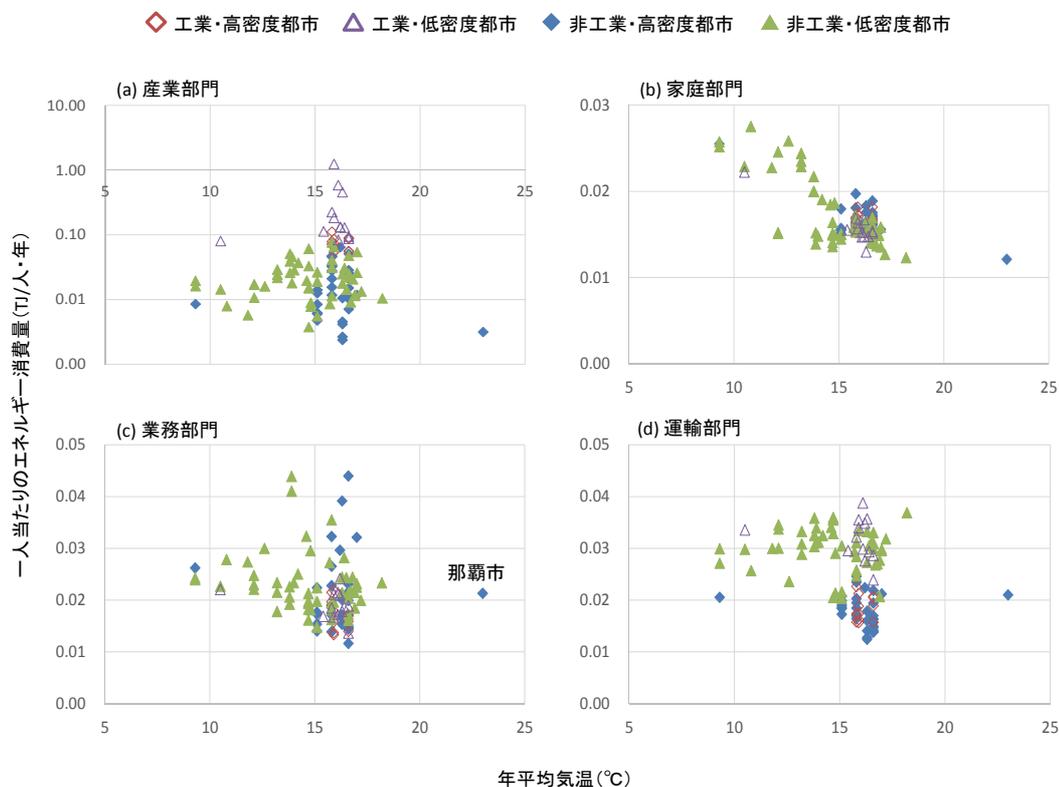


図 S 5 年間平均気温とエネルギー消費量の関係（(b)は本文図 5 の再掲）。
 気温データには各都市が属する都道府県の年間平均気温を用いた。
 産業部門のエネルギー消費量のみ対数軸を用いた

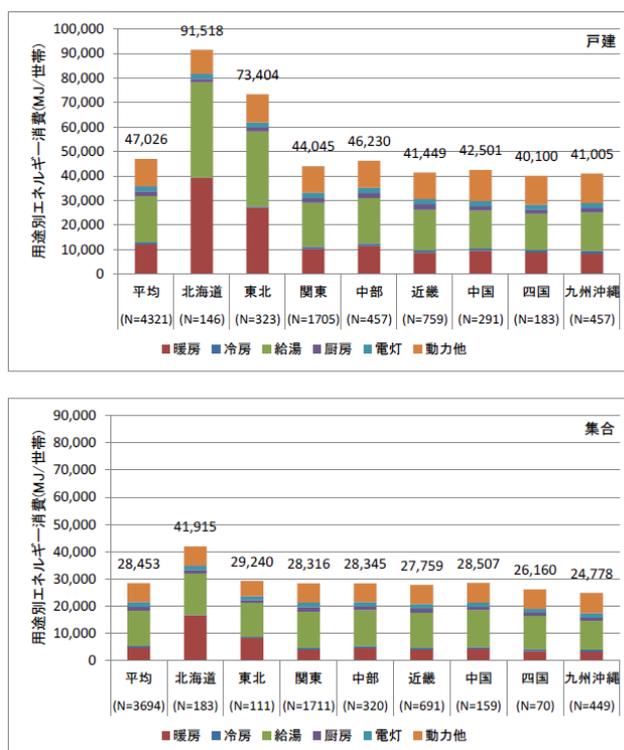
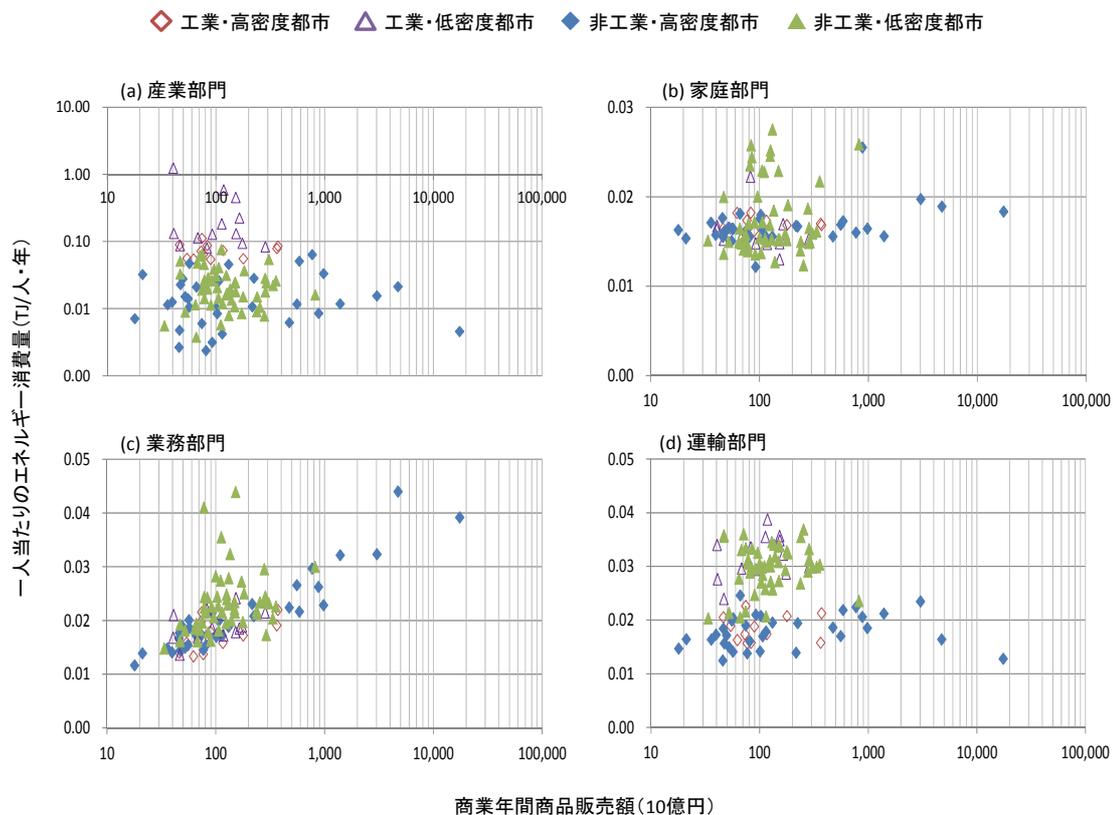


図 S 6 地域別の民生部門エネルギー消費【25】

また経済的生産性の観点では、図 S7(c)に示すように、商業年間商品販売額は、業務部門のエネルギー消費との間に一定の相関関係が見られる。ただし低人口密度都市の中には同程度の販売額であってもエネルギー消費が著しく高い都市があり、エネルギー利用効率を改善することによるエネルギー消費量あたりの生産性の向上の余地が残ると考えられる。



図S7 商業年間商品販売額【26】とエネルギー消費量の関係（(c)は本文図6の再掲）。産業部門のエネルギー消費量のみ対数軸を用いた

付録3. 都市におけるエネルギー消費量の削減ポテンシャル推計実施手順

■ 対象都市の部門別エネルギー消費量の推計

今回対象とする人口 20 万人以上（2010 年度国勢調査結果に基づく）の計 111 都市のエネルギー消費量について、部門別で推定することを試みた。

市区町村単位のエネルギー消費実態を示す方法としては、平成 18 年 6 月に資源エネルギー庁より、上記統計を元に市町村単位の換算するためのガイドライン【27】が策定されている。しかし基本的には各市町村の責任と必要性に応じて作成・利用しており、国内全都市のエネルギー消費データを統合的にまとめ、公開されているデータベースは現時点では存在しない。

そのため今回、簡易的な方法として、市区町村毎の CO₂ 排出量算出に適用されている按分方法【9】を参考とし、同等な手法によって 2010 年度の都道府県別の最終エネルギー消費量【10】から、市町村別のエネルギー消費量を独自に算出した。その上で、検討対象とする 111 都市の各部門のエネルギー消費量の合計を算出した（付録 2 参照）。

なお、全国の各部門の最終エネルギー消費量については、資源エネルギー庁の総合エネルギー統計【28】の 2010 年度のデータを使用した。

算出結果を表 S1 に示す。人口 20 万人以上の 111 都市におけるエネルギー消費量が全国に占める割合は約 48% と半分近かった。また、各部門の総計に占める割合については、全国に比べて 111 都市においては、民生（家庭・業務）部門の占める割合が多く、産業や運輸部門の占める割合が少なかった。

表 S 1 人口 20 万人以上の 111 都市の部門別エネルギー消費量 (PJ=10¹⁵J)

	総計	産業部門	民生 家庭部門	民生 業務部門	運輸部門
全国の最終エネルギー消費量（2010 年度）、E _w	14,972	6,564	2,154	2,814	3,440
各部門が総計に占める割合	100 %	43.8 %	14.4 %	18.8 %	23.0 %
111 都市の最終エネルギー消費量合計（2010 年度）、E _u	7,242	2,903	1,166	1,687	1,487
各部門が総計に占める割合	100 %	40.1 %	16.1 %	23.3 %	20.5 %
111 都市のエネルギー消費量が全国に占める割合、E _u / E _w	48.4 %	44.2 %	54.1 %	60.0 %	43.2 %

■ 削減ポテンシャルの推計における留意事項

本文第 1 章で示した 9 つの方策について、入手可能な公開情報や研究事例等を参照し、2030 年時点を想定した 111 都市におけるエネルギー消費量の削減ポテンシャルを推定した（表 S2）。なお今回の推定においては、以下の点に留意が必要である。

方策について

- CRDS の検討を通じて特定した 9 つの方策のみを対象としていること
- 方策相互の包含、複合、競合、前提関係は考慮しておらず、効果が重複している可能性もあること

都市類型について

- 人口 20 万人以上の計 111 都市を基本的に一律に扱っていること（いくつかの方策では、方策の性質上、対象都市を限定した）

エネルギー消費量について

- CRDS で推計した市区町村単位の消費量データを利用したこと
- ガソリン消費量等、他の関連情報も入手可能な公開情報や文献から引用して推計に用いたこと

削減率について

- 入手可能な公開情報や研究事例等を基に CRDS にて設定したこと

社会変化

- 将来の人口減少やそれに伴うエネルギー消費や電力消費の変化は考慮していないこと
- 方策を何も実施しない場合の 2030 年時点のエネルギー消費量は 2010 年時点の消費量と同じと仮定していること

副次的な波及効果

産業部門、あるいはその他都市（人口 20 万人未満の都市）への波及効果は考慮していないこと

表 S 2 9 つの方策による 111 都市におけるエネルギー消費量の削減ポテンシャル

No.	部門	方策	消費削減量 (PJ)	算出根拠とプロセス
1	民生家庭 (民生業務)	ダイナミックプライシング等による電力需給調整	233	<ul style="list-style-type: none"> ● 経産省「次世代エネルギー・社会システム実証事業の「次世代エネルギー社会システムにおけるデマンド・レスポンス経済効果調査事業（補助事業者：京大教授 依田高典）」【29】において、2012 年夏季にダイナミック・プライシングによるピークカットを行った豊田・けいはんな・北九州における分析結果「省エネ効果は一般家庭との比較で 20%程度」。 ● 111 都市の民生家庭部門すべてを対象として、年間を通して同等の効果が発現すると仮定すると、 ⇒ $1,166 \text{ PJ} \times 20\% = 233 \text{ PJ}$
2	民生家庭	住宅省エネ・再生可能エネ利用	420	<ul style="list-style-type: none"> ● 環境省「2013 年以降の対策・施策に関する報告書(平成 24 年 6 月)(地球温暖化対策の選択肢の原案について)」【30】より、「すまい」の最終エネルギー消費量推計の 2030 年中位予測においては、2010 年比で、2030 年には 36%(中位)が削減可能としている。 (内容： 冷暖房保有効率改善、高効率給湯器普及率、照明保有効率や家電保有源単位の改善、住宅外皮性能向上（新築割合、省エネ改修、ストック割合）、HEMS 世帯普及率、再エネ導入（太陽光発電、太陽熱利用）) ● 111 都市における民生家庭部門の最終エネルギー消費量から 36%削減すると仮定すると、 ⇒ $1,166 \text{ PJ} \times 36\% = 420 \text{ PJ}$

3	民生業務	建築物省エネ・再生可能エネルギー	337	<ul style="list-style-type: none"> ● 環境省「2013年以降の対策・施策に関する報告書(平成24年6月)(地球温暖化対策の選択肢の原案について)」【30】より、「オフィス・店舗など」の最終エネルギー消費量推計の2030年中位予測においては、2010年比で、2030年には20%(中位)が削減可能としている。 (内容：空調改善(電気式保有効率)、高効率給湯器普及率、照明保有効率や床面積あたり照明量、住宅外皮性能向上(新築割合、省エネ改修、ストック割合)、BEMS導入・普及率、再エネ導入(太陽光発電、太陽熱利用)) ● 111都市における民生業務部門の最終エネルギー消費量から20%削減すると仮定すると ⇒ $1,687 \text{ PJ} \times 20\% = 337 \text{ PJ}$
4	民生家庭・民生業務	未利用エネルギー活用	17	<ul style="list-style-type: none"> ● 全国のエネルギー需要密度の高い地区における、複数街区又は地区レベルにおける複数の建築物の間の熱エネルギーの融通や、都市廃熱、河川水・海水・地下水・下水熱・大気熱等の再生可能エネルギー熱や未利用熱などの熱エネルギーの有効活用を図ることによるエネルギー消費の削減ポテンシャルの推測を引用【31】。 ● 上記報告書において、全国主要都市開発と既成市街地区へのエネルギー面的利用導入による2030年時点におけるエネルギー削減効果ポテンシャル(累積値)は17PJと算出。 (対個別省エネルギー率が15%の場合(現状10%)、考え方の①(すべての都市開発)+考え方A(3,000㎡以上建物接続)) ● 参考として、未利用エネルギー活用による一次エネルギー削減量(累積値)として、4.5PJと算出。 (対個別省エネルギー率15%の場合(現状10%)、面的利用の導入割合(15.3%)を考慮、ケース3(高温系2km、低温系1km)の場合)
5	民生家庭・運輸 (民生業務)	コンパクト化	219	<ul style="list-style-type: none"> ● 宇都宮市を研究対象とした、ライフスタイルを考慮しつつコンパクト化に伴う人口変化が民生家庭部門(電力消費量)と運輸部門(自動車のみ)の2020年次を設定したエネルギー消費に与える影響の推計試算結果【32】より、最も削減効果の大きいシナリオ(2A)において、なにもしない場合(シナリオ0)と比較して電力消費量は4.04%減少、自動車4.20%が減少。 (シナリオ2Aの主な内容：都心エリアの住宅床面積増加を積極的に誘導し、その増加床面積分には世帯数構成比は夫婦と子供世帯が多い構成比(郊外エリア型構成比)の世帯が移住することを仮定) ● 111都市がコンパクト化によって同等のエネルギー削減効果を有すると仮定。運輸についても、旅客以外の輸送部門すべてで同等の削減効果があると仮定。 (ただし本来は都市類型ごとに効果的なシナリオと削減ポテンシャルを分類するべきだが、今回は簡略化) ● 2030年までには、2020年から10年間の間に同等の減少効果があるものと仮定すると、民生家庭部門、運輸部門でそれぞれ8.08%、8.40%の削減 ⇒ 家庭部門：$1,166 \text{ PJ} \times 8.08\% = 94 \text{ PJ}$ 運輸部門：$1,487 \text{ PJ} \times 8.40\% = 125 \text{ PJ}$ 合計：<u>219 PJ</u>

付録3、都市におけるエネルギー消費量の削減ポテンシャル推計実施手順

6	運輸	内燃機関効率向上による自家用乗用車燃費改善、 (ガソリンハイブリッド車など内燃機関を使用する車両を含む)	240	<ul style="list-style-type: none"> ● 乗用自動車国内保有台数（平成 25 年 3 月時点）は 59,357 千台【33】。 ● 乗用自動車の平均使用年数（軽自動車を除く、平成 25 年 3 月）は 12.58 年【31】なので、2030 年には全ての車両が施策対応済みの車両に入れ替わると仮定。 ● ガソリン乗用車の平均燃費の保有 10・15 モード燃費（2010 年）は 15.0km/L、実走行燃費（2009 年）は 10.1km/L【34】で、普通小型乗用車区分の JC08 モード燃費値のガソリン車におけるベスト 1 が 27.2km/L（三菱ミラージュ）なので、2030 年までには全てのガソリン乗用車（ガソリンハイブリッド車を含む）が現在より平均燃費 2 倍まで向上すると仮定。 ● 自家用車の年間平均走行距離は 10.575km/年【35】より、2030 年も同等の平均走行距離と仮定。 ● 自家用乗用車(軽自動車を含む)の普及台数（平成 25 年 3 月）から算出した全国平均の 1 人あたりの台数は 0.468 台/人【33】より、将来の都市部における一人当たりの保有台数を 0.35 台/人と仮定。（H25 年 3 月の神奈川県 of データ（0.337 台/人）相当とした） ● 都市における車両保有台数については、2010 年時点の 111 都市の人口合計数（68,017 千人）【36】を元に CRDS にて計算）の保有台数を 0.35 台/人と仮定すると、 68,017 千人 x 0.35 台/人 = 23,806 千台 ● 上記のうち、2030 年の都市においては、ハイブリッド車を含むガソリン乗用車の占める割合を 70%と仮定すると、その台数は、 23,806 千台 x 70% = 16,664 千台 ● ガソリンを燃料とする自家用旅客自動車の年間の燃料消費量は 46,416 千 kl【37】を、ガソリンの物性値（36.8 MJ/l）で熱量にて換算すると、1,708 PJ。 ● 111 都市におけるハイブリッド車を含むガソリン自動車によるエネルギー消費量は、 1,708 PJ x 16,664 千台 / 59,357 千台 = 480 PJ ● 111 都市における車両が燃費 2 倍に向上する場合、 ⇒ <u>480 PJ x 50% = 240 PJ</u>
7	運輸	交通流対策による実走行燃費改善	46 (5 都府県のみ)	<ul style="list-style-type: none"> ● 渋滞等によって平均速度が低速の場合は燃費が悪い。40 km/h までにおいては、平均車速が 10km/h 向上すると燃費は約 2 割程度向上（JC08 モードに対する割合）する。ただしガソリン車の傾向でハイブリッド車では燃費の変化は少ない【38】。 ● 混雑時平均速度が 30km/h 未満の 5 都府県（東京、神奈川、埼玉、大阪、愛知）について、保有乗用車の平均車速が各 10km/h 向上すると仮定【39】。 ● 2030 年に上記 5 都府県にて保有される乗用車台数は、2013 年時点（16,040 千台）【40】と同数と仮定。 ● 上記 5 都府県においてガソリン乗用車（ハイブリッド車を除く）の占める割合を 5 割と仮定すると、 16,040 千台 x 50% = 8,020 千台 ● 全国のガソリン自家用旅客自動車の年間消費エネルギー量（前出）1,708 PJ のうち、5 都府県のガソリン車の実燃費が 20%向上すると仮定すると、 ⇒ <u>1,708 PJ x 8,020 千台 / 59,357 千台 x 20% = 46 PJ</u>

8	運輸	自動車から自転車等への利用転換	24	<ul style="list-style-type: none"> ● 自動車移動の距離帯別割合では、自動車全体の42%が5km未満の短距離移動（【41】より算出）。さらに5km未満かつ自転車への転換が期待される利用目的のトリップの割合は、10万人以上の都市では最大約35%【42】。 ● 1トリップ5kmを年300日自動車で走行する場合、年間走行距離は1,500km/年。 ● ガソリン車の1km走行当たりの一次エネルギー投入量（10/15モード）は2.7MJ/km【43】なので、1台の年間走行距離1,500kmで消費するエネルギー量は、 $1,500 \text{ km/年} \cdot \text{台} \times 2.7 \text{ MJ/km} = 4,050 \text{ MJ/年} \cdot \text{台}$。 ● 111都市で保有されるガソリン自家用車16,664千台（前出）のうち、1トリップの走行距離が5km未満と短い距離を走行する車両の台数は、 $16,664 \text{ 千台} \times 35\% = 5,832 \text{ 千台}$。 ● 上記車両の年案1,500km走行分を、自動車から自転車に利用転換とした場合、そのエネルギー消費削減量は、 $\Rightarrow 5,832 \text{ 千台} \times 4,050 \text{ MJ/年} \cdot \text{台} = 24 \text{ PJ}$
9	（民生家庭・民生業務）	配電ロスの低減	除外	<p>ここでの削減率の推定に利用できる十分な情報が得られなかったため今回は除外。</p>

付録3. 都市におけるエネルギー消費量の削減ポテンシャル推計実施手順

付録4. 検討の経緯

■ 検討スケジュール

- 2012年度（平成24年度）：
 - ① テーマの探索、設定（「はじめに」参照）
- 2013年度（平成25年度）：
 - ① 2013年4月 「高効率都市」をテーマとした検討開始
 - ② 2014年1月 「都市のエネルギービジョンに関するワークショップ」開催
- 2014年度（平成26年度）：
 - ① 2014年4月 「高効率エネルギー利用未来都市の実現に向けた課題達成型研究開発構想ワークショップ」開催
 - ② 提言発刊、ワークショップ報告書発刊

■ 「都市のエネルギービジョンに関するワークショップ」概要

基本情報

- 開催日時：2014年1月14日（火）10:00～17:00
- 開催場所：慶應義塾大学日吉キャンパス協生館多目的教室2
- 主催：CRDS
- ワークショップデザイン・運営協力：
 - 慶應義塾大学システムデザイン・マネジメント研究科（以下、慶應SDM）
 - 前野隆司研究科委員長・教授、白坂成功准教授、石橋金徳特任助教

目的

- 都市でのエネルギー利用の高効率化に関する将来ビジョンを、社会経験や研究経験を持つ多様な方々と議論し、CRDSによる「あるべき将来都市のエネルギー利用像」の作成の参考として活用する

プログラム

項目	内容
事前説明	<ul style="list-style-type: none"> ・ワークショップの目的（CRDSから） ・ワークショップの設計趣旨、進め方（慶應SDMから）
セッション1	<ul style="list-style-type: none"> ・現在ならびに将来的に期待の高いエネルギー関連技術、及び技術的動向についての発散的議論（グループワーク）
セッション2	<ul style="list-style-type: none"> ・25年後頃の将来を想定したエネルギーに関連する社会像についての発散的議論（グループワーク）
セッション3	<ul style="list-style-type: none"> ・セッション1、2の結果を用いた、都市におけるエネルギー利用の将来像についての集約的議論（グループワーク）
まとめ	<ul style="list-style-type: none"> ・グループワーク結果の共有と総評

■ 「高効率エネルギー利用未来都市の実現に向けた課題達成型研究開発構想ワークショップ」概要（詳細はワークショップ報告書（CRDS-FY2014-WR-05）にて報告予定）

基本情報

- 開催日時：2014年4月16日（水）10:00～17:00
- 開催場所：JST 東京本部別館 2階セミナー室
- 主催：CRDS

目的

- CRDS が描き出した「あるべき将来都市のエネルギー利用像」を提示し、有識者との議論を通じ、その妥当性を検証する。
- 「あるべき将来像の実現に向けて重要な科学技術及び研究課題」のたたき台を提示し、有識者との議論を通じ、「科学技術及び研究課題の具体化・詳細化に向けた今後の検討方向（重要な事項、優先すべき事項、追加すべき事項、削除すべき事項など）」を明らかにする。
- 「研究推進体制」のたたき台を提示し、有識者との議論を通じ、本分野の研究課題に取り組む場合の「研究推進体制の基本要件（公的研究支援の規模及び期間、社会科学の参画など）」を明らかにする。

プログラム

10:00～10:10	開会挨拶・趣旨説明 笠木伸英（CRDS 上席フェロー／東京大学名誉教授）
10:10～12:00	セッション1．高効率エネルギー利用未来都市の実現に向けた提言素案 CRDS の発表；中村亮二（CRDS フェロー） / 30分 コメント①；山地憲治（地球環境産業技術研究機構 理事・研究所長） / 15分 コメント②；浅見泰司（東京大 大学院工学系研究科 教授） / 15分 コメント③；竹中章二（東芝 コミュニティ・ソリューション社 首席技監） / 15分 全体討議 / 35分
12:40～14:30	セッション2．エネルギー消費の大幅削減に向けた中長期的技術課題、研究課題 CRDS の発表；関根泰（CRDS フェロー） / 10分 コメント①；芹澤善積（電力中央研究所システム技術研究所 副所長） / 10分 コメント②；大口敬（東京大 生産技術研究所 教授） / 10分 コメント③；中上英俊（住環境計画研究所 代表取締役会長） / 10分 コメント④；加藤博和（名古屋大 大学院環境学研究科 准教授） / 10分 コメント⑤；加藤之貴（東工大 大学院総合理工学研究科 准教授） / 10分 全体討議 / 50分
14:40～15:20	セッション3．推進体制・方策 CRDS の発表；金子直哉（CRDS フェロー） / 10分 全体討議 / 30分
15:20～16:20	セッション4．総括討議 総括コメント①；黒田昌裕（CRDS 上席フェロー） / 10分 総括コメント②；岩野和生（CRDS 上席フェロー） / 10分 全体討議 / 40分
16:20～16:30	閉会挨拶 笠木伸英（CRDS 上席フェロー／東京大学名誉教授）

付録5. 国内での関連施策一覧

■ 都市・地域の活性化や実証等に関連する取組み例

関係府省	取組み名称 (担当課・室)	概要	年度
内閣府、 内閣官房 【44】	環境未来都市、環境 モデル都市（地域活 性化推進室、地域活 性化統合事務局）	先駆的な取組みを行う都市を選定・支援することで地域モデル実現の後押しを先導しようとするもの。環境未来都市は H23 年度に 11 都市・地域を選定。「環境・超高齢化対応等に向けた、人間中心の新たな価値を創造する都市」を目指して環境、社会、経済の三側面に優れた都市を選定。環境モデル都市では H20 年度に 13 都市、H24 年度に 7 都市、H25 年度に 3 都市を選定。温室効果ガス排出の大幅削減等、低炭素社会の実現を目指す都市を選定。	H20～
	構造改革特区、総合 特区、国家戦略特区	特別区域において規制・制度、税制、財政、金融等に関する特例措置や支援措置を講じるもの。	H14～
経済産業省 【45】【46】	次世代エネルギー・ 社会システム実証事 業（省エネルギー・ 新エネルギー部 新 産業・社会システム 推進室）	国内 4 地域（横浜市、豊田市、けいはんな学研都市、北九州市）における個別機器（ヒートポンプ、燃料電池、照明、家電、定置用・車載用蓄電池）の制御等による HEMS、BEMS、FEMS、交通システムの構築、および CEMS の構築に向けた実証。H26 年度は電気料金変動型のダイヤモンドリスポンスの実証、効果検証。需要家による需要削減量を供給量と見立てて取引する「ネガワット取引」等の実証を通じたダイヤモンドリスポンスの価値評価手法の構築。	H22～
	次世代エネルギー技 術実証事業（省エネ ルギー・新エネルギ ー部 新産業・社会 システム推進室）	国内 4 地域（横浜市、豊田市、けいはんな学研都市、北九州市）において、住民構成やエネルギー供給構造の特性に応じたエネルギーマネジメントシステム構築に係る実証、また事業化可能性の調査。	H23～
総務省 【47】【48】	スマートグリッドの 通信インターフェー ス標準化推進事業 （情報通信国際戦略 局 通信規格課）	地域レベルの EMS に必要な機器・システム間の制御に必要な通信インターフェースの実証実験を実施し、国際標準化を推進。宅内での機器制御のための通信インターフェース、より広域での需給制御のための通信インターフェースに関する要素技術開発及び実証実験の実施。	H24～ H26
	ICT 街づくり推進事 業（情報通信国際戦 略局 情報通信政策 課）	「ICT スマートタウン」の先行モデル実現を目指し、ICT を活用した街づくりに関する実証プロジェクトを推進。	H24～
国土交通省 【49】	都市の低炭素化の促 進に関する法律（略 称：エコまち法）	法律の策定、施行。また法律の施行に合わせた「低炭素まちづくり計画作成マニュアル」や「低炭素まちづくり実践ハンドブック」等の作成、公開。都市機能の集約化、公共交通機関の利用促進等に関する各種の予算措置、税制措置。	H24～

国土交通省、環境省 【50】	ヒートアイランド対策大綱	国土交通省、環境省が事務局となって H25 年度に見直し実施。「人工排熱の低減」、「地表面被膜の改善」、「都市形態の改善」、「ライフスタイルの改善」、また見直し後に追加された「人の健康への影響等を軽減する適応策の推進」の 5 つを対策の柱とする。この下、省エネ基準の見直し、実行計画の策定支援、制度の活用推進等に取り組む。	H16～
環境省【51】 【52】	先導的「低炭素・循環・自然共生」地域創出事業（総合環境政策局 環境計画課ほか）	地域の実行計画に基づく、地域資源を活用した再エネ・再エネ熱・省エネ等の低炭素化事業・地域づくり等のための事業化計画策定等・設備導入を支援。	H26～
農林水産省 【53】【54】	地域バイオマス産業化推進事業（食料産業局 バイオマス循環資源課）	地域の特色を生かしたバイオマス産業を軸とした環境にやさしく災害に強いまちづくり・むらづくりを目指すバイオマス産業都市の構築を関連 7 府省が連携して支援。	H24～

■ 研究開発・技術開発に関する取組み

関係府省	取組み名称	概要	年度
文部科学省	分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開（CREST）	エネルギーと情報を双方向かつリアルタイムで処理し、分散して存在する需要と供給間の状況把握や協調制御を可能とする理論及び基盤技術の研究	H24～
	現代の数理科学と連携するモデリング手法の構築（CREST）	社会現象のうち経済変動、交通流、電力・通信ネットワークの変動、災害時の住民行動、各種社会インフラの老朽化等、自然現象のうち気候変動、集中豪雨・地滑り・竜巻・津波等の突発的な自然現象等を対象分野にして、数理モデル化、その実証・検証、モデル評価のための数学理論や技術の構築に関する研究開発	H26～
	人間と調和した創造的協働を実現する知的情報処理システムの構築（CREST）	知的情報処理システムに関する研究開発と実環境での実証	H26～
	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（CREST・さきがけ）	大規模データを圧縮・転送・保管する大規模管理システムの安定的運用技術や、多種多様な情報を横断して検索・比較・可視化して真に必要な知識を効率的に取り出す技術、これらを可能にする数理的手法やアルゴリズムなどの開発	H25～
	問題解決型サービス科学研究開発プログラム（RISTEX）	採択課題「IT が可能にする新しい社会サービスのデザイン」／情報処理技術により利便性の高い公共交通システム構築と新しい価値を持つ交通サービス提供を行ない、人流と物流の停滞を提言するための汎用性のある方法論の開発と社会実装	H24～ H28

経済産業省	スマートモビリティ・デバイス開発プロジェクト（商務情報政策局 情報通信機器課、製造産業局自動車課）	次世代自動車の運転に際しての動画認識、自動制御の高度化、プローブ情報の処理等のための半導体チップの三次元実装による処理の高度化・高速化・省エネ化（三次元 LSI 実装システム技術開発）。電気自動車の電力変換の高効率化のための高効率インバーター関連技術開発（高効率・超小型電力変換技術開発）。	H25～ H29
	分散型エネルギー次世代電力網構築実証事業（NEDO）	SiC パワー半導体を用いた SVC 等の次世代電圧調整機器及びその要素技術の開発。電圧調整機器の制御アルゴリズムと制御システムの開発。複数の電圧調整機器を設置して配電網としての運用検証、共通基盤技術開発。理想的な配電網のあるべき姿に関するフィージビリティスタディ。	H26～ H30
	次世代パワーエレクトロニクス技術開発プロジェクト（NEDO）	新材料 SiC（炭化ケイ素）パワー半導体に関する基板の高品質化等の要素技術開発。SiC パワー半導体の製造プロセスの高度化、自動車や鉄道等への用途展開を踏まえたパワエレ装置の最適化・信頼性評価等の応用開発。	H21～ H26
	太陽光発電システム次世代高性能技術の開発（NEDO）	コスト削減のための太陽電池のシリコン基板を薄型にする要素技術の開発、薄膜系太陽電池の生産効率を向上させる生産技術の開発等の実施。有機系太陽電池の実使用環境を想定したシステム開発・実証の実施。	H22～ H26
	戦略的省エネルギー技術革新プログラム（NEDO）	開発リスクの高い革新的な省エネルギー技術（主として「省エネルギー技術戦略 2011」で掲げた重要技術）について、シーズ発掘から事業化までのシームレスな技術開発。	H24～ H33
	大規模 HEMS 情報基盤整備事業（エネルギー総合工学研究所）	1 万世帯程度へ HEMS を導入し、これをクラウド管理する情報基盤の構築。当該基盤を用いた大規模なエネルギーマネジメントを実施する中で、データ処理やセキュリティ等の課題抽出や対処を通じたシステムの標準化検討。プライバシールールの整備。	H26
経済産業省、国土交通省	再生可能エネルギー熱利用高度複合システム実証事業（NEPC、新エネルギー導入促進協議会）	複数の再生可能エネルギー熱源、蓄熱槽、下水・河川等の公共施設等を有機的・一体的に利用する複合システムの事業化可能性調査の実施。システム導入にあたっての制度的・技術的課題の解決のための実証。	H25～
環境省	全領域共通・領域横断区分 環境問題対応型研究領域（環境研究総合推進費）	採択課題「低炭素社会を実現する街区群の設計と社会実装プロセス」、「街区型環境未来都市モデルの構築とそれに基づく都市政策提案」等	H23～ H27

付録6. 専門用語説明

- ・ピークカット

日単位あるいは年単位で需要の高低差が存在する電力負荷曲線（ロードカーブ）の高負荷（オンピーク）部分を低減すること。電力需給がタイトになり電力価格が急騰した場合、電力使用を抑えるといった価格誘因に基づく行動のほか、省エネルギーなどによっても実現し得る。【55】

- ・デマンドレスポンス

卸市場価格の高騰時または系統信頼性の低下時において、電気料金価格の設定またはインセンティブの支払いに応じて、需要家側が電力の使用を抑制するよう電力消費パターンを変化させること。【56】

- ・ダイナミックプライシング

電力料金を地域の電力需給の状況に応じて変更するもの。このうちリアルタイムプライシングは、翌日の電力需要や再生可能エネルギーの発電量の予測を基に、系統電力の効率運転を目標に、季節別・時間帯別に設定される基本料金（ベーシックプライス）に係数をかけて料金を変動させる。電力需給バランスに応じて料金が日々変動する。【57】

- ・スマートメーター

電力会社等の検針・料金徴収業務に必要な双方向通信機能や遠隔開閉機能を有した電子式メーター。さらに広義ではエネルギー消費量などの「見える化」やホームエネルギーマネジメント機能等も有したもの。【58】

- ・エネルギーマネジメントシステム（EMS）

需要側の省エネルギーを推進し、エネルギー消費量を大幅に削減するため、IT 技術を活用してエネルギー消費機器などをネットワークで接続し、最適な方法などで複数の機器を自動制御し、省エネルギーを促進させるシステム。【55】

付録7. 有識者インタビュー協力者一覧

インタビューやセミナーを通じて本提言作成にご協力頂いた方々を、以下に示す。

（敬称略、五十音順、所属はインタビュー時点）

浅野浩志	一般財団法人電力中央研究所 社会経済研究所、副研究参事
岩野和生	CRDS 情報科学技術ユニット、上席フェロー
大方潤一郎	東京大学 工学部 都市工学科、教授
川久保俊	法政大学 デザイン工学部 建築学科、助教
菊池康紀	東京大学 総括プロジェクト機構「プラチナ社会」総括寄付講座／化学システム工学専攻、特任講師
須田義大	東京大学 生産技術研究所 次世代モビリティ研究センター、教授／センター長
徳本 勉	東京ガス株式会社 エネルギーソリューション本部 ソリューション技術部、部長
花木啓祐	東京大学 大学院 工学系研究科 都市工学専攻、教授
藤井康正	東京大学 生産技術研究所／大学院 工学系研究科 原子力国際専攻、教授
堀 洋一	東京大学 生産技術研究所／大学院 新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学専攻
丸山竜司	株式会社東芝 コミュニティ・ソリューション社 コミュニティ・ソリューション事業部、事業部長
村上周三	一般財団法人建築環境・省エネルギー機構、理事長
森 靖	株式会社東芝 コミュニティ・ソリューション社 コミュニティ・ソリューション事業部 事業企画部、参事
米田收二	株式会社東芝 コミュニティ・ソリューション社 コミュニティ・ソリューション事業部 事業企画部、部長

参考文献

- 【1】 CRDS（2013年）、平成24年度 報告書「社会的期待と研究開発領域の邂逅に基づく「課題達成型」研究開発戦略の立案」（CRDS-FY2013-XR-05）
- 【2】 CRDS（2013年）、平成24年度 報告書<速報版>「社会的期待と研究開発領域の邂逅に基づく「課題達成型」研究開発戦略の立案」（CRDS-FY2013-XR-01）
- 【3】 総務省（2010年）、国勢調査、<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/>
- 【4】 国土交通省（2011年）、国土審議会政策部会長期展望委員会「国土の長期展望」中間取りまとめ、http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/kokudo03_sg_000030.html
- 【5】 外務省（2009年）、G8 ラクイラ・サミット（ラクイラ、2009年7月8日～10日）概要、http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/summit/italy09/sum_gai.html
- 【6】 環境省（2012年）、『第4次環境基本計画』（2012年4月27日閣議決定）、http://www.env.go.jp/policy/kihon_keikaku/plan/plan_4.html
- 【7】 International Energy Agency（2008年）、World Energy Outlook 2008、<http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2008-1994/weo2008.pdf>
- 【8】 Intergovernmental Panel on Climate Change（2014年）、第5次評価報告書第2作業部会（2014年3月31日）報告書および第3作業部会報告（2014年4月13日）報告書
- 【9】 環境省（2009年）、「地球温暖化対策地方公共団体実行計画（区域施策編）策定マニュアル（第1版）2009」、http://www.env.go.jp/earth/ondanka/sakutei_manual/manual0906/full.pdf
- 【10】 資源エネルギー庁（2010年）、都道府県別エネルギー消費統計、http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/energy_consumption/ec002/
- 【11】 国土交通省（2011年）、国土審議会政策部会長期展望委員会「国土の長期展望」中間取りまとめ（2011年2月21日）、http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/kokudo03_sg_000030.html
- 【12】 国土交通省（2013年）、都市再構築戦略検討委員会 中間とりまとめ（2013年7月31日）、<http://www.mlit.go.jp/common/001006353.pdf>
- 【13】 総務省、人口集中地区とは、<http://www.stat.go.jp/data/chiri/1-1.htm>
- 【14】 環境省（2014年）、2012年度（平成24年度）の温室効果ガス排出量（確報値）について、<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2012.pdf>
- 【15】 NEDO（2012年）、「戦略的省エネルギー技術革新プログラム」基本計画、http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100039.html
- 【16】 International Energy Agency（2013年）、World Energy Outlook 2013
- 【17】 資源エネルギー庁（2013年）、総合資源エネルギー調査会基本政策分科会第2回配布資料「地球温暖化をめぐる動向について」（平成25年8月）、http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/002/
- 【18】 伊香賀ら（2011年）、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、vol.76、pp.735-740
- 【19】 パシフィックコンサルタンツ（株）（2013年）、「環境未来都市」構想推進協議会 低炭素都市づくりの課題共有・解決策検討WG 平成24年度活動報告書、<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/kankyo/pclcc/P16.html>

- 【20】 United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) 及び International Council for Science (ICSU) (1999 年)、「科学と科学的知識の利用に関する世界宣言」(ブダペスト宣言) World Conference on Science (Budapest, June 1999)、
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu4/siryo/attach/1298594.htm
- 【21】 山地憲治 (2004 年)、エネルギー学の視点、電気新聞ブックス、(社)日本電気協会新聞部
- 【22】 文部科学省 (2005 年)、科学技術・学術審議会 基本計画特別委員会 第 9 回資料、
http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/giji/_icsFiles/afiedfile/2013/04/22/1333885_001.pdf
- 【23】 西尾好司 (2009 年)、産学連携拠点としての米国の大学研究センターに関する研究、富士通総研 経済研究所 研究レポート No.339、
<http://jp.fujitsu.com/group/fri/downloads/report/research/2009/no339.pdf>
- 【24】 Engineering Research Centers, National Science Foundation、
http://erc-assoc.org/funding_opportunities
- 【25】 資源エネルギー庁 (2012 年)、平成 24 年度エネルギー消費状況調査 (民生部門エネルギー消費実態調査、http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2013fy/E003078.pdf)
- 【26】 経済産業省 (2009 年)、2009 平成 21 年版 わが国の商業、
<http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/syogyo/dms/2009/index.html>
- 【27】 資源エネルギー庁 (2006 年)、市町村別エネルギー消費統計作成のためのガイドライン (平成 18 年 6 月)、https://www.env.go.jp/earth/ondanka/suishin_g/3rd_edition/ref3.pdf
- 【28】 資源エネルギー庁、総合エネルギー統計
http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/
- 【29】 (一財)新エネルギー導入促進協議会、次世代エネルギー・社会システム実証事業」成果報告「次世代エネルギー社会システムにおけるデマンド・レスポンス経済効果」調査事業 (補助事業者:京大教授 依田高典)、http://www.nepc.or.jp/topics/pdf/130626/130626_139.pdf
- 【30】 環境省 (2012 年)、2013 年以降の対策・施策に関する報告書(平成 24 年 6 月) (地球温暖化対策の選択肢の原案について)、<http://www.env.go.jp/earth/report/h24-03/index.html>
- 【31】 経済産業省 (2012 年)、平成 23 年度委託調査報告書「新エネルギー等導入促進基礎調査 熱エネルギーの有効活用の促進に関する調査事業報告書」、
http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2012fy/E002694.pdf
- 【32】 中井 (2008 年)、コンパクトシティ政策が民生・交通部門のエネルギー消費量に与える影響に関する研究、土木学会論文集 D 64(1)、pp.1-10
- 【33】 (一財)自動車検査登録情報協会
- 【34】 (社)自動車工業技術会
- 【35】 国土交通省、自動車の使用実態
- 【36】 国勢調査 (2010 年)
- 【37】 国土交通省、自動車輸送統計 自動車燃料消費量統計 年報 (平成 24 年度分)
- 【38】 (社)日本自動車工業会、環境レポート 2013、
http://www.jama.or.jp/eco/wrestle/eco_report/pdf/eco_report2013.pdf
- 【39】 日本自動車工業会 (2011 年)、国土交通省 社会資本整備審議会環境部会・交通政策審議会 交通体系分科会環境部会 第 14 回合同部会 運輸部門の温暖化対策へ向けた自動車業界の取り組みと考え方、<http://www.mlit.go.jp/common/000133535.pdf>

- 【40】（財）自動車検査登録情報協会、都道府県別・車種別自動車保有台数（軽自動車含む）、
<http://www.airia.or.jp/number/index.html>
- 【41】国土交通省（2005年）、24時間交通量（平成17年度道路交通センサス）、
<http://www.mlit.go.jp/road/census/h17/>
- 【42】橋本ら（2012年）、自動車から自転車への利用転換可能性に関する基礎分析、第44回土木計画学研究発表会
- 【43】（財）日本自動車研究所、JHFC総合効率検討結果、
http://www.jari.or.jp/Portals/0/jhfc/data/report/2005/pdf/result_main.pdf
- 【44】内閣官房地域活性化統合事務局 内閣府地域活性化推進室、
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/index.html>
- 【45】経済産業省（2014年）、平成26年度資源・エネルギー関係予算の概要、
http://www.meti.go.jp/main/yosan2014/131224_energy2.pdf
- 【46】経済産業省（2012年）、平成25年度から開始された事業に係るレビューシート エネルギー対策特別会計、http://www.meti.go.jp/information_2/publicoffer/review2012/ene_h25.html
- 【47】総務省（2013年）、ICT街づくり推進事業について、
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon_bunka/sinsangyou/dai1/siryous8.pdf
- 【48】総務省（2014年）、スマートコミュニティ構築に向けた取組、
<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/juyoukadai/energy/4kai/siryos3-3.pdf>
- 【49】国土交通省、都市の低炭素化の促進に関する法律（略称：エコまち法）
http://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/eco-machi.html
- 【50】国土交通省（2013年）、ヒートアイランド対策大綱の見直し、
http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo10_hh_000080.html
- 【51】環境省、平成26年予算案における低炭素地域づくりの先導的自治体支援プログラム、
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/biz_local/subsidy/program_h26-lg.pdf
- 【52】環境省（2013年）、平成26年度環境省重点施策、
<http://www.env.go.jp/guide/budget/h26/h26juten-2.pdf>
- 【53】農林水産省、バイオマスの活用の推進、
http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/
- 【54】バイオマス産業都市関係府省連絡会議（2014年）、
http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/pdf/zentai.pdf
- 【55】電気事業連合会、電力用語集、
http://www.fepc.or.jp/library/words/keiei/eigyuu/jukyuu/1225664_4551.html
- 【56】経済産業省、デマンドレスポンス（Demand Response）について、
http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/denryoku_system_kaikaku/002_s01_01_05.pdf
- 【57】北九州スマートコミュニティ創造事業、
<http://www.kitaq-smart.jp/saasiteminfoths/listview?nn=SMT&sg=102>
- 【58】経済産業省（2011年）、スマートメーター制度検討会報告書、
http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004668/report_001_01_00.pdf

■戦略プロポーザル作成メンバー■

総括責任者	笠木 伸英	副センター長・上席フェロー	(環境・エネルギーユニット)
	黒田 昌裕	上席フェロー	
	中村 亮二	フェロー	(環境・エネルギーユニット)
	馬場 寿夫	フェロー	(ナノテクノロジー・材料ユニット)
	金子 直哉	フェロー	(海外動向ユニット)
	斎藤 広明	フェロー	(環境・エネルギーユニット)
	鈴木 至	フェロー	(環境・エネルギーユニット)
	関根 泰	フェロー	(環境・エネルギーユニット)
	渡辺美代子	フェロー	(環境・エネルギーユニット)
	的場 正憲	フェロー	(情報科学技術ユニット)
	邢 嘉驊	フェロー	(システム科学ユニット)

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2014-SP-01

戦略プロポーザル

課題解決型研究開発の提言(1) 都市から構築するわが国の新たなエネルギー需給構造

STRATEGIC PROPOSAL

Proposal for Issue-driven Research and Development I

Future energy demand and supply landscape envisaged through a framework of cities

平成 26 年 6 月 June 2014

ISBN978-4-88890-400-1

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
環境・エネルギーユニット

Environment and Energy Unit, Center for Research and Development Strategy
Japan Science and Technology Agency

〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 番地

電 話 03-5214-7481 (代表)

ファックス 03-5214-7385

<http://www.jst.go.jp/crds>

©2014 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.

Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC

CT CTCGCC AATTAATA

TAA TAATC

TTGCAATTGGA CCCC

AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC

ATAAGA CTCTAACT CTCGCC

AA TAATC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT

CTCGCC AATTAATA

ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

CTCGCC AATTAATA

TTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

ATTAATC A AAGA CCT

GA CCTAACT CTCAGACC

0011 1110 000

00 11 001010 1

0011 1110 000

0100 11100 11100 101010000111

001100 110010

0001 0011 11110 000101

