



さっぽろ エネルギーの未来

札幌市

「さっぽろ・エネルギーの未来」とは

「さっぽろ・エネルギーの未来」は、長期的な視点からのエネルギーに対する理解・関心を深め、エネルギーから見た持続可能な社会の実現について考え、行動するきっかけとするため、半世紀先の札幌の可能性を示すものです。

この「さっぽろ・エネルギーの未来」は、半世紀先のエネルギー関連技術やライフスタイルなどを見通すため、北海道大学に蓄積されているエネルギー関連分野をはじめとする幅広い分野の専門的な知見をいただき、作成をいたしました。

北海道大学は、幅広い分野の最先端の知的資源が集積し、かつ、持続可能な社会の実現に向けた教育研究や環境負荷の少ないキャンパス構築において先進的な取組を行っている大学であることから、2013年（平成25年）7月に、札幌市と「まちづくりに関する地域連携協定¹」を締結し、双方の協力・連携の下、エネルギーから見た半世紀先の札幌の可能性について、同大学から専門的な知見をいただきながら、検討を重ねてきました。

具体的には、連携協定締結後の約2年間で、主に北海道大学の教授から、エネルギーから見た半世紀先の札幌の可能性についての意見をいただくとともに、その内容を踏まえたレポートを執筆していただいたほか、同大学サステイナブルキャンパス推進本部と「さっぽろ・エネルギーの未来」についての意見交換などを行いました。

この「さっぽろ・エネルギーの未来」は、これらの内容を反映したものであり、北海道大学と札幌市が連携して取り組んだ成果をまとめたものでもあります。

平成27年（2015年）3月
札 幌 市

¹ 【北海道大学と札幌市のまちづくりに関する地域連携協定】2013年7月、北海道大学と札幌市が、相互が有する資源等の効果的な活用により、地域課題の解決を図り、地域の活性化に寄与することを目的に締結した協定。

目 次

第1章 「さっぽろ・エネルギーの未来」の背景 1

第2章 エネルギーから見た半世紀先の札幌を描くための視点 3

- 2. 1 未来像を描くための基本的な視点 3
- 2. 2 エネルギーから見た持続可能な社会を実現するための技術 4
 - (1) 省エネルギー技術 4
 - ①建物の省エネルギー技術 4
 - ②地域単位の省エネルギー技術 6
 - (2) 再生可能エネルギーの導入技術 8
 - ①再生可能エネルギーの利用技術 8
 - ア 太陽光発電 8
 - イ 風力発電 8
 - ウ 地熱発電 8
 - エ 地中熱利用 9
 - オ 雪氷冷熱利用 10
 - カ バイオマス 10
 - コラム～微細藻類由来のバイオ燃料～ 11
 - ②再生可能エネルギーの貯蔵技術 12
 - ア 蓄電池 12
 - イ 蓄熱技術 12
 - (3) 水素社会 14
 - ①水素製造・貯蔵・輸送 14
 - ②水素利用 15
- 2. 3 エネルギーから見た持続可能な社会に相應しいライフスタイル 16
- 2. 4 省エネや再生可能エネルギーへの転換を地域経済に取り込む視点 17
 - (1) 北海道の再生可能エネルギーの活用 17
 - (2) エネルギー関連産業の育成 17
 - (3) 再生可能エネルギー導入による収益の地域への還元 18

第3章 エネルギーから見た半世紀先の札幌の未来像 19

- 3. 1 エネルギーから見た半世紀先の札幌のまち 19
- 3. 2 エネルギーから見た半世紀先の都市機能の集積地 21
- 3. 3 エネルギーから見た半世紀先の住宅地 22
- 3. 4 エネルギーから見た半世紀先のライフスタイル 23

半世紀先の未来に向けて 28

参考1 検討経過 30

- 1 北海道大学との連携 31
 - (1) まちづくりに関する地域連携協定の締結 31
 - (2) 北海道大学教員が有する専門的な知見の活用 31
 - (3) 北海道大学サステイナブルキャンパス推進本部との意見交換 32
- 2 札幌市環境審議会 33
- 3 市民参加 34
 - (1) エネルギーから札幌の未来を考えるワークショップ 34
 - (2) こども出前講座を活用した子どもの意見の把握 35

参考2 北海道大学教授・准教授のレポート集 38

- 1 FM 的視点に立ったエネルギー需要の徹底的な削減 39
- 2 障がい者福祉施設の省エネルギー化，省コスト化 43
- 3 民生部門におけるエネルギー自給可能性検討と住宅のネットゼロエネルギー化方策 46
- 4 雪冷熱の活用 53
- 5 蓄エネルギーとしての水素の活用 55
- 6 経済発展と両立した再生可能エネルギー利用社会の形態 58
- 7 再生可能エネルギーなどの道産エネルギーの活用と地産地消の推進による経済循環の確立 62
- 8 蓄電池と ICT 技術の組み合わせによる再生可能エネルギーの有効利用 65
- 9 創エネ・省エネのための新しいライフスタイルに向けて 69
- 10 創エネ・省エネの新たな付加価値 73

第1章 「さっぽろ・エネルギーの未来」の背景

第1章では、「さっぽろ・エネルギーの未来」を作成する背景となった世界の動向や日本の動向、札幌市の動向を整理します。

(1) 世界の動向

世界のエネルギー需要（石油換算）は、2011年（平成23年）の127億トンから2035年（平成47年）に約1.3倍の169億トンに増加する見込みです。その増加分の約96%は、非OECD加盟国²によるものです。

現在のエネルギー需要を支えている化石燃料などのエネルギー資源は、2012年（平成24年）時点の可採年数³で、石油53年、天然ガス56年、石炭109年、ウラン111年となっており、この限りある資源の激しい獲得競争が、世界各地で繰り広げられている状況です。

また、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）⁴の第5次評価報告書によれば、人為的な温室効果ガスの排出量の増加が、20世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な原因であった可能性が極めて高いとされています。この温室効果ガスの削減には、「持続可能な開発を阻害せずにエネルギー効率性を向上させ、行動様式を変化させることが、鍵となる」と同報告書では報告しています。

(2) 日本の動向

日本では、エネルギー源のほとんどを海外からの輸入に頼っているため、エネルギー供給体制に根本的な脆弱性を有することや、2011年に発生した福島第一原子力発電所の事故を契機として、原子力発電の安全性に対する懸念が高まっている状況です。

このような状況を踏まえ、2014年（平成26年）に国が策定したエネルギー基本計画では、エネルギー需給の安定等の観点から、化石燃料の効率的な利用、再生可能エネルギーの導入拡大等により、原発の依存度を可能な限り低減させるなど、多層化・多様化した柔軟なエネルギー需給構造の実現を目指す方針が明記されました。

(3) 札幌市の動向

札幌市が2011年度に実施した「エネルギーに関する市民意識調査」では、約8割の市民が将来的に原子力発電の縮小・廃止を望んでいることが明らかにされました。

また、東日本大震災とそれに伴う福島第一原子力発電所の事故を踏まえ、札幌市議会

² 【非OECD加盟国】ここでいう非OECD加盟国の代表的な例としては、中国とインドが挙げられる。なお、OECDは、経済協力開発機構（Organisation for Economic Co-operation and Development）の略で、ヨーロッパ、北米等の先進国によって、国際経済全般について協議する国際機関のこと。

³ 【可採年数】今後何年間、採算性が確保できる範囲で、現在と同じ生産量を継続できるかを示す指標。なお、本文中の可採年数は、エネルギー白書2014のデータより推計した。

⁴ 【気候変動に関する政府間パネル（IPCC）】IPCCはIntergovernmental Panel on Climate Changeの略。二酸化炭素等の温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化の科学的・技術的（および、社会・経済的）評価を行っており、その報告書は、各国の政策決定などに活用されている。

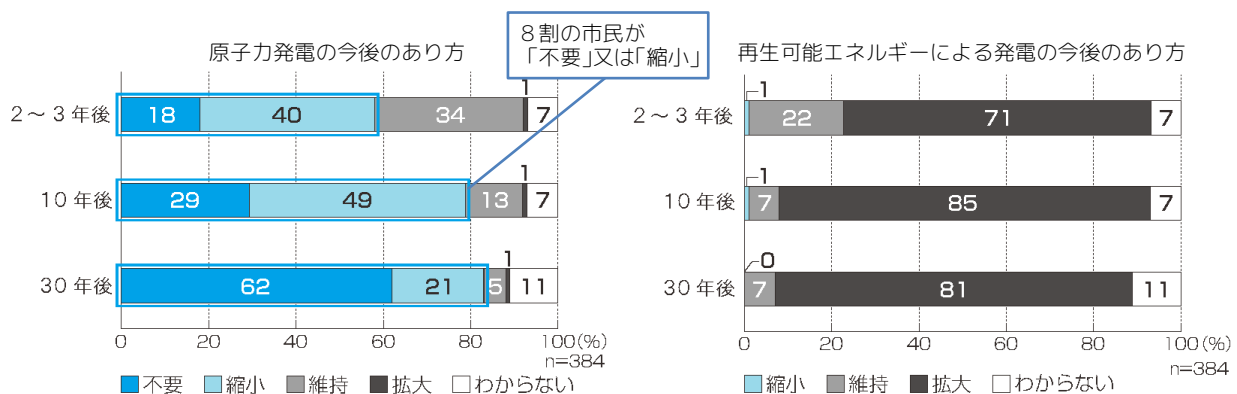
において、国に対し「原発に頼らないエネルギー政策への転換を求める意見書⁵」、「原発に依存しない社会の実現と再生可能エネルギーの利用拡大を求める意見書⁶」を全会派一致で採択しました。

これらを踏まえ、札幌市では、主にエネルギーを利用する観点から、脱原発依存社会の実現に向けた道筋を示す「札幌市エネルギービジョン」を2014年10月に策定しました。

このエネルギービジョンでは、概ね20年先までを見据え、省エネルギーの推進、再生可能エネルギーや分散電源⁷の導入拡大により、主に原子力発電相当分の電力を転換する脱原発依存社会の実現に向けた道筋を示しています。

一方で、将来的な地球温暖化問題やエネルギー問題を見据えると、エネルギービジョンで目指す姿が実現した後も、省エネルギーの推進や再生可能エネルギーの導入拡大などをさらに進め、化石燃料への依存度をできる限り低減させた社会の実現を目指し、まちづくりを進めることが重要と考えられます。

こうしたまちづくりを進めるに当たっては、まちの再構築に合わせた既存の建物の建て替えやエネルギーネットワーク⁸の構築に係るインフラの整備、新たなライフスタイルへの転換など、長期的なまちづくりの視点が不可欠であり、インフラの更新サイクルを考慮すると、半世紀程度先の未来のまちの姿を見通すことが必要です。



札幌市「平成 23 年度エネルギーに関する市民意識調査」

【参考】札幌市民の原子力発電と再生可能エネルギーの今後のあり方に対する意識

⁵ 【原発に頼らないエネルギー政策への転換を求める意見書】2011年(平成23年)6月採択

⁶ 【原発に依存しない社会の実現と再生可能エネルギーの利用拡大を求める意見書】2013年(平成25年)3月採択

⁷ 【分散電源】ここでは、事業用コージェネレーションや家庭向け燃料電池などのことをいう。なお、コージェネレーションとは、発電機で電気を作るときに同時に発生する熱を「温水」や「蒸気」として同時に利用するシステムのことであり、燃料電池とは、水素と酸素を電気化学的に反応させることによって、電気を発生させる発電装置の一種のこと。

⁸ 【エネルギーネットワーク】ここでは、地域熱供給の熱導管や電力網をネットワーク状に整備し、通信技術を用いて効率的なエネルギー利用を図るシステムのことをいう。

第2章 エネルギーから見た半世紀先の札幌を描くための視点

2. 1 未来像を描くための基本的な視点

「さっぽろ・エネルギーの未来」において、エネルギーから見た持続可能な社会とは、生活の質を維持・向上することを前提として、エネルギーを賢く使うことで消費量を最小限にするとともに、そのエネルギーを可能な限り、再生可能なエネルギーで賄っている社会のことを言います。

このような社会が実現した未来像を描くためには、以下に示す3つの基本的な視点が必要となります。

基本的な視点

- ◆エネルギーから見た持続可能な社会を実現するための技術を導入する視点
- ◆エネルギーから見た持続可能な社会に相應しいライフスタイルに転換する視点
- ◆省エネルギーや再生可能エネルギーへの転換を地域経済へ取り込む視点

第2章では、この3つの視点から、札幌市と「まちづくりに関する地域連携協定」を締結している北海道大学の専門的な知見、国がまとめたエネルギー技術の動向、市民の意見などを整理して示します。

2. 2 エネルギーから見た持続可能な社会を実現するための技術

(1) 省エネルギー技術

①建物の省エネルギー技術

建物は、全エネルギー消費量に占める割合が高いことから、まち全体での省エネルギーを進める上では、建物の省エネルギーに取り組むことが重要となります。

ここでは、省エネ型建物の技術開発の動向や大学の専門的な知見を示します。

国がまとめた技術開発の動向

1973年（昭和48年）の石油危機以降、日本の家庭・業務部門のエネルギー消費量は2.4倍に増加しています。これを抑制するためには、住宅・ビルなどの断熱性能の向上に加え、空調設備や給湯設備などの効率化と運用改善が必要とされています。

そこで、国では、断熱材などの建材と、再生可能エネルギーによる発電システムやエネルギーマネジメントシステム（EMS）⁹のパッケージ化により、受け入れられるコストで生活の質を向上させる省エネ住宅・ビルの開発を進めることとしています。

また、国は、2030年（平成42年）に新築ビルの平均と新築住宅の平均で、それぞれネットゼロエネルギー建物¹⁰が実現することを目指すこととしています。

（エネルギー関係技術開発ロードマップ 2014年経済産業省）

大学の専門的な知見

環境建築の導入

札幌市の全エネルギー消費量のうち、建物でのエネルギー消費量は約71%を占めますが、そのうち、暖房用途の消費量は約42%を占めており、これは、札幌市の全エネルギー消費量の約27%と推定されます。したがって、札幌市のエネルギー政策の検討には、建物のエネルギー消費量削減が欠かせないものであり、そのためには、高断熱化・高気密化・計画換気に配慮した環境建築の導入による「建物本来の性能向上」が必要です。

ところで、寿命40年の建物のライフサイクルコスト¹¹を計算すると、26～27%は建設コストであり、残りの73～74%は改修・修繕などの維持管理費や光熱水費などの運用コストになります。したがって、エネルギー消費量が多い建物は、生涯に渡って光熱水費を浪費することにつながるため、建物は、建設コストと運用コストを建物の生涯に渡って評価し、ライフサイクルコストを最小にすることが重要となるのです。

建物は、一度建設すると長い期間に渡って使い続けることになるため、50年先の「エネルギーから見た札幌の未来像」の実現には、今から建物の省エネルギー対策を着実に行うしか方策はないのです。

（北海道大学大学院工学研究院教授 羽山広文氏）

⁹ 【エネルギーマネジメントシステム】情報通信技術を活用して、家庭、オフィスビル、工場などのエネルギーの使用状況をリアルタイムに把握、管理士、最適化するシステム。

¹⁰ 【ネットゼロエネルギー建物】一次エネルギー消費量が年間で概ね正味ゼロとなる住宅やビルなどの建物。

¹¹ 【ライフサイクルコスト】ここでは、建物の建築から使用、廃棄までの期間を通じたトータルの費用をいう。

建物の性能向上と運用面の工夫

北海道伊達市の福祉施設では、計画段階から、ファシリティマネジメント¹²評価や様々なシミュレーションを行うとともに、建設後は、センサーによる電力と熱量の詳細な実測とその結果を活用した空調機器などの運用の最適化を行いました。その結果、大きな建設費の増加を伴わずとも、建物の利用者にとっての快適性を確保しながら、約50%の省エネルギーを達成することができました。

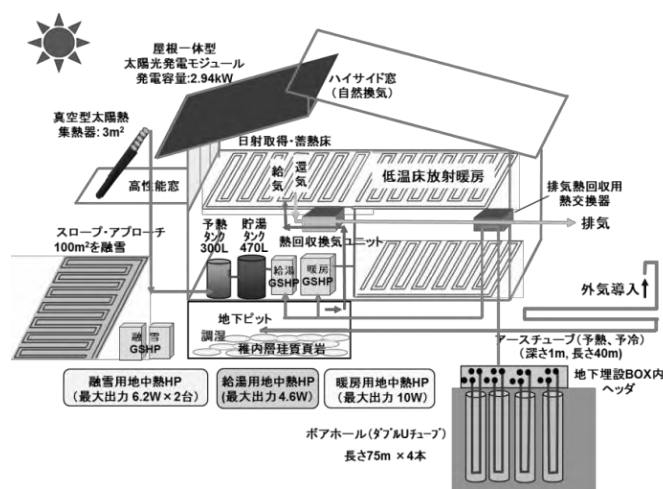
これは、建物の建設時に、高断熱・高気密・計画換気システムなどを導入することや、建物性能に応じた最適な運用を行うことにより、大きなコスト増加をしなくても、50%程度の省エネルギーが達成できることを示しています。

(北海道大学 羽山広文氏)

ネットゼロエネルギー住宅の実現

戸建て住宅については、地産地消型の再生可能エネルギーへの依存可能率¹³を計算すると、66%と高いことから、建物で消費されるエネルギーの削減により、ネットゼロエネルギー住宅の実現が十分に可能と考えられます。

具体的には、建物の高性能化とパッシブ手法¹⁴の導入による熱需要の削減や、高効率機器の採用による省エネルギー化、再生可能エネルギー・排熱利用を上手く組み合わせることにより、現在の経済価値においても受け入れられる回収年数で、ネットゼロエネルギー住宅の実現が可能となってきています。



【参考】 ネットゼロエネルギー住宅の環境設備システム概要

(北海道大学大学院工学研究院教授 長野克則氏)

¹² 【ファシリティマネジメント】公益社団法人日本ファシリティマネジメント協会の定義によれば、「企業・団体等が保有又は使用する全施設資産及びそれらの利用環境を経営戦略的視点から総合的かつ統括的に企画、管理、活用する経営活動」のことをいう。

¹³ 【地産地消型の再生可能エネルギーへの依存可能率】ここでは、全エネルギー消費量のうち、電力は太陽光発電と小型風力、熱は太陽熱、下水、燃ごみの焼却熱で、どれだけ賄うことができるのかを示す比率をいう。

¹⁴ 【パッシブ手法】太陽や自然の風、気温の変化といった自然エネルギーを利用することで、機械に頼らずに室温の調整を行うこと。

②地域単位の省エネルギー技術

省エネルギーを進めるためには、余剰エネルギーの融通などにより、地域全体のエネルギー利用効率を高め、地域全体で省エネルギーを進める視点も重要となります。

ここでは、地域全体で省エネルギーを進めるためのエネルギーマネジメントシステムとエネルギーネットワークについて、技術開発の動向や大学の専門的な知見を示します。

国がまとめた技術開発の動向

エネルギーマネジメントシステム（EMS）は、省エネルギーやピークカットに役立てるため、建物や地域等のエネルギー需給分析や需要予測等を消費者に提供する技術です。

EMSは、現在、エネルギー使用量の見える化¹⁵など、エネルギー管理サービスとして活用されていますが、今後は、消費者がエネルギーの需給管理に主体的に参画し、賢いエネルギー消費へつなげるための技術として活用が期待されています。

そこで、国では、エネルギーの需給管理に必要な技術として、電力需要・太陽光発電等の発電量の予測技術や各種センサーによる行動予測技術、ディマンドレスポンス¹⁶などの制御技術の研究開発を進め、EMSの導入・普及を図ることとしています。

（エネルギー関係技術開発ロードマップ）

大学の専門的な知見

EMSによる地域のエネルギー需給の最適化

将来を見据えた場合、エネルギー価格が需要と供給の関係で頻繁に変動したり、コージェネレーションによって発電した電気を電力系統¹⁷に逆潮流¹⁸させたりする時代になることが想定できます。この場合には、BEMS¹⁹や HEMS²⁰などのシステムが、単に個別利用者にとっての省コストだけではなく、地域のエネルギーの需要と供給を最適に制御し、地域全体で省エネルギーとなるように運用されることが重要となります。

（北海道大学大学院工学研究院教授 近久武美氏）

分散協調型コージェネレーションシステムの実現

熱電併給が可能なコージェネレーションは、熱需要の多い北国にとって、化石燃料の有効利用ができる省エネルギーシステムです。

コージェネレーションの普及方策の一つとして、「分散協調型コージェネレーションシステム」と呼ばれるシステムの導入が考えられます。これは、熱需要の大きな複数の建物にコージェネレーションを設置し、各コージェネレーションの運用を中央制御しながら、余剰電力を電力系統に逆潮流して電力系統ネットワーク内で有効利用するシステム

¹⁵ 【見える化】企業や家庭の消費電力量などを計測し、その結果をパソコンなどで分かりやすく表示すること。

¹⁶ 【ディマンドレスポンス（DR：Demand Response）】電力のピーク時間帯に高い電気料金を設定するなどにより、電力の供給力に合わせて、需要者が需要量を変動させて需給バランスを一致させること。

¹⁷ 【電力系統】発電、送電、変電など、電力の生産から消費までを行う設備全体のこと。単に系統ともいう。

¹⁸ 【逆潮流】通常とは逆に、電力の需要家側が、電力系統へ電気を送り出すこと。

¹⁹ 【BEMS】Building Energy Management Systemの略。情報通信技術を活用したビル内のエネルギー管理システム。

²⁰ 【HEMS】Home Energy Management Systemの略。情報通信技術を活用した家庭内のエネルギー管理システム。

で、実現できれば、地域全体でも省エネルギーにつながる可能性があります。

また、余剰電力を利用して水素を製造する構造ができた場合には、燃料電池をネットワーク化することで、地域の電力と熱を供給できる可能性もあります。

（北海道大学 近久武美氏）

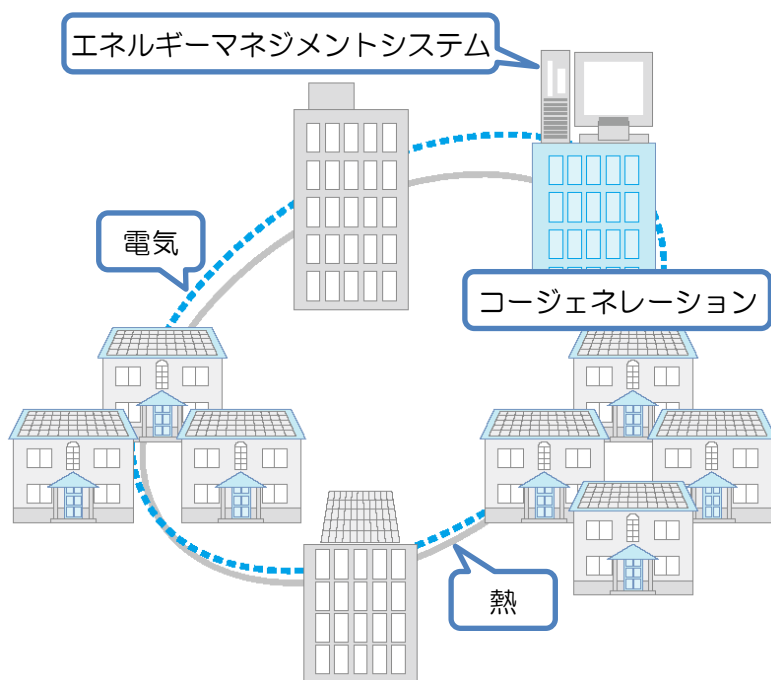
再生可能エネルギーと分散電源の連携

容積率の大きな業務用の建物が多く個別住宅の割合が少ない札幌市内中心部²¹では、再生可能エネルギーへの依存可能率を試算すると、23.0%と低いことから、地産地消型の再生可能エネルギーシステムだけでは、エネルギー需要を賄うことができません。

これを補う方法として、可燃ごみやバイオマス燃料による熱電併給システムや、天然ガスコージェネレーション、地下蓄熱を有するヒートポンプ熱供給施設との連携が考えられ、これらによってエネルギーを効率的に利用できるようになります。

このうち、地下蓄熱を有するヒートポンプ熱供給施設については、地下水の温度差だけを利用した地下帯水層²²蓄熱とヒートポンプによる暖房システムが実現すれば、冬季の採熱で地下帯水層の水温が低い夏季には、地下水の冷熱を直接使った建物冷房が、逆に夏季の冷房排熱の蓄熱で地下帯水層の水温が高い冬季には、地下水を直接路盤で循環させることによる融雪システムが実現する可能性があります。

（北海道大学 長野克則氏）



【参考】エネルギーネットワークのイメージ

²¹ 【札幌市内中心部】ここでは、JR線路以南・中島公園以北、創成川以西・石山通以東に囲まれたエリアを指す。

²² 【地下帯水層】地下水で満たされている地層。

(2) 再生可能エネルギーの導入技術

①再生可能エネルギーの利用技術

再生可能エネルギーの導入には、高コストであることや利用場所が限られることなどの課題があります。ここでは、今後、各種再生可能エネルギーの利用を図っていくための技術開発の動向や大学の専門的な知見を示します。

ア 太陽光発電

国がまとめた技術開発の動向

太陽光発電は、重要な低炭素のエネルギー源として、昼間のピーク需要を補うものであり、消費者が設置できる電源として、導入が期待されています。

一方で、消費者に近接する未利用空間で太陽光発電を最大限活用するためには、太陽光発電機器の高性能化や低コスト化を図ることが必要とされています。

そこで、国では、発電コストを 2014 年の 23 円/kWh から 2030 年には 7 円/kWh に引き下げること为目标とした技術開発を進めることとしています。

(エネルギー関係技術開発ロードマップ)

※2011 年に国が公表したコスト等検証委員会報告書²³によれば、2010 年の発電コストは、原子力 8.9 円、石炭火力 9.5 円、LNG 火力 10.7 円と試算されています。

イ 風力発電

国がまとめた技術開発の動向

風力発電は、大規模に開発できれば発電コストが火力並であるため、コスト低減により、更なる経済性を確保することが重要です。特に、洋上では、陸上と比較すると、風況が良く、発電効率が高い大規模な風車を設置できることから、再生可能エネルギーの導入を図る上で、洋上風力発電の技術開発・導入拡大は不可欠とされています。

そこで、国では、発電コストを低減するため、耐久性に優れ、メンテナンスしやすい風力発電機の開発や、洋上風力発電の実用化に向けた技術開発を進めることとしています。

(エネルギー関係技術開発ロードマップ)

ウ 地熱発電

国がまとめた技術開発の動向

地熱発電は、地下に存在している地熱貯留層²⁴から取り出した高温の蒸気で発電を行う技術です。設備利用率²⁵が約 80%と高く、再生可能エネルギーの中でも比較的発電

²³ 【コスト等検証委員会報告書】政府の国家戦略室に設置されたコスト等検証委員会が、2011 年に発表した発電コストの試算結果。なお、2015 年 3 月現在、経済産業省において、各電源の発電コストの検証が行われている。

²⁴ 【地熱貯留層】地下深部のマグマによって加熱状態にある地下深部の岩盤によって地下水が加熱されている地層のこと。熱せられた地下水は「地熱水」と呼ぶ。

²⁵ 【設備利用率】発電設備が、ある期間に実際に発電した電力量と、その期間休まず最大出力で運転したと仮定したときに得られる電力量との比率。

コストの低いベースロード電源²⁶となり得るものです。

一方で、開発コストの低減や、自然や地域と共生した形での地熱資源の活用が課題とされています。

そこで、国では、これらの課題解決に向け、高度掘削技術の開発のほか、地熱貯留層をより正確に把握する技術や、環境に配慮した高性能な地熱発電システムの開発などを進めることとしています。

また、低温地熱資源を有効活用できるバイナリー発電²⁷の高効率化を進めるほか、2030年頃には、地熱の活用範囲を拡大するために人工的な地熱貯留層を作り出す EGS²⁸技術の確立を目指すこととしています。

(エネルギー関係技術ロードマップ)

エ 地中熱利用

国がまとめた技術開発の動向

地中熱利用は、地盤中に存在する季節変動が少ない熱を活用する技術で、エネルギー消費に占める割合が大きい冷暖房や給湯などの熱需要を賄うことができる再生可能エネルギーです。

しかし、日本の地盤は、掘削すると崩壊しやすく、地下水も出る場所が多いなど、欧米と比較すると掘削コストなどの初期コストが高いため、地中熱利用が進んでいないことが課題とされています。

そこで、国では、地中熱利用の初期コストの低減を図るため、日本の地盤に適した掘削手法・技術などの開発を進めることとしています。

(エネルギー関係技術開発ロードマップ)

大学の専門的な知見

地中熱の利用による「札幌版次世代コミュニティ暖房」の可能性

地中熱利用の高額な初期コストに対し、暖房・給湯コストの削減効果を十分に得るための手法として、数世帯で地中熱を共有する「コミュニティ暖房」が考えられます。

この手法を導入した場合、住宅の断熱改修を行うことを前提とした簡易な試算ではありますが、初期投資の回収期間は、6世帯で地中熱源を共有すると10年程度となり、経済的に受け入れられる可能性が示されました。

※平成24・25年度札幌市大学提案型共同研究事業²⁹報告書より
(札幌市立大学デザイン学部准教授 斉藤雅也氏)

²⁶ 【ベースロード電源】発電コストが低廉かつ安定的な発電が可能で、昼夜を問わず継続的に稼働できる電源。

²⁷ 【バイナリー発電】従来の地熱発電では利用することが出来なかった温度の低い蒸気や熱水で、沸点の低い媒体(例：ペンタン、沸点36℃)を加熱し、媒体の蒸気でタービンを回して発電する技術。

²⁸ 【EGS】Enhanced Geothermal Systemの略。人工的に地熱貯留層の作成や熱水量を増大させる技術。地熱水不足などから開発が出来なかった地域での新たな開発を可能にする技術。

²⁹ 【札幌市大学提案型共同研究事業】札幌市が抱える中長期的な政策課題の解決に寄与する研究について、大学研究者と札幌市職員が共同で取り組み、研究成果を札幌市の施策に活用することを目指す事業。斉藤氏の報告内容は、<http://www.city.sapporo.jp/somu/machikiso/kyodo-seika24.html> 及び <http://www.city.sapporo.jp/somu/machikiso/kyodo-seika25.html> を参照。

オ 雪氷冷熱利用

国がまとめた技術開発の動向

雪氷冷熱利用は、冬の間に降った雪などを保管し、冷熱が必要となる時期に活用する技術です。雪氷冷熱の利用には、貯雪庫の設置が必要など、初期コストが高いことに加え、雪の運搬費用を必要とすることなどが課題とされています。

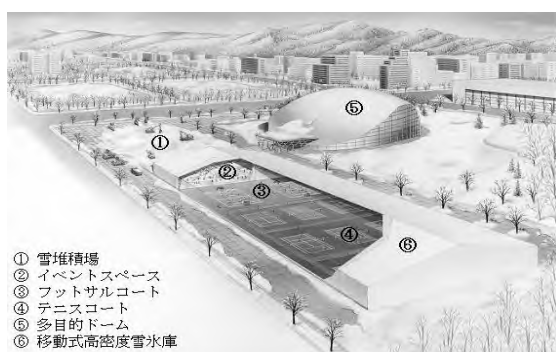
そこで、国では、断熱・採熱技術などの低コスト化を図るとともに、除排雪された雪を利用する技術の開発によるコスト低減を目指しています。

(エネルギー関係技術開発ロードマップ)

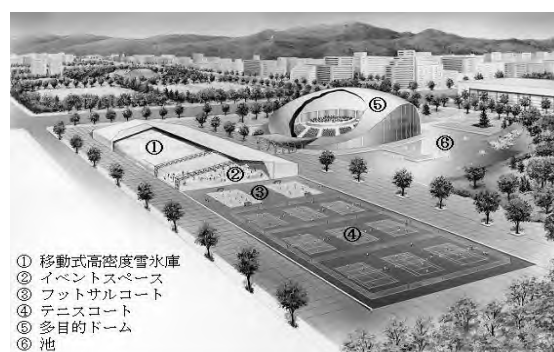
大学の専門的な知見

都市冷泉構想の実現

冬は雪堆積場として、屋外の敷地に圧雪をしながら雪山を形成し、春に移動式の雪氷庫を雪山にかぶせ、夏に雪氷庫の冷熱を活用する移動式高密度雪氷庫は、通常の雪氷庫よりも高密度に雪を貯めることができるため、雪氷庫を小さくできるなどのメリットがあります。これをコミュニティ規模で活用する都市冷泉構想が実現できれば、都市部における中小規模の雪堆積場の確保と雪氷冷熱活用が両立する可能性があります。



【冬季】



【夏季】

【参考】都市冷泉構想

(北海道大学大学院工学研究院教授 濱田靖弘氏)

カ バイオマス³⁰

国がまとめた技術開発の動向

バイオマスは、石油の代替エネルギーとして、発電・熱利用の燃料や輸送燃料として利用できるエネルギーです。導入拡大に向けては、原料の収集・運搬に多額の費用を要するなど、構造的にコスト高となりやすいことから、スケールメリットや原料の安定的な調達、生産地近傍での利用を確立する必要があるとされています。

³⁰ 【バイオマス】動植物などを由来とする生物資源の総称（化石燃料は除く）。

そこで、国では、木質バイオマス³¹や都市型バイオマス³²の直接燃焼などによる発電・熱利用のコスト低減を図るとともに、2020年頃までにガソリン代替燃料となる食料と競合しないセルロース系バイオエタノール³³の低コスト化・ポテンシャル³⁴拡大、2030年頃までに軽油等の代替燃料となる微細藻類由来バイオ燃料³⁵などの本格導入を目指すこととしています。

(エネルギー関係技術開発ロードマップ)

コラム～微細藻類由来のバイオ燃料～

微細藻類は、土地生産性が高く、限られた土地で大量に培養できることから、次世代のエネルギー源として世界的に期待されています。

実用化の鍵とされているのは、油分の抽出・精製技術の開発や、効率的な培養方法の確立、搾油後の有用成分の利用により、コストを低減することと言われており、日本では、こうした課題の解決に向けた研究開発が本格化しています。

現在、日本で研究されている主な微細藻類は以下のとおりです。

微細藻類の種類	特長
ボリオコッカス	光合成によってオイルを生成し、体外へ排出。
ミドリムシ(ユーグレナ)	光合成によってオイルを生成し、体内に蓄積。
オーランチオキトリウム	光合成によらず、有機物を栄養源としてオイルを生成し、体内に蓄積。

³¹ 【木質バイオマス】主に、樹木の伐採や造材のときに発生した枝、葉などの林地残材、製材工場などから発生する樹皮やおが屑等のほか、住宅の解体材や街路樹の剪定枝など、木材由来のバイオマスのこと。

³² 【都市型バイオマス】主に食品廃棄物や建築廃材などのことをいい、例えば清掃工場で焼却する際の廃熱が発電や地域熱供給の熱源として利用されている。

³³ 【セルロース系バイオエタノール】稲わらなど、食用ではない植物の茎や葉に含まれるセルロース（植物の繊維質）から製造するアルコール燃料。

³⁴ 【ポテンシャル】潜在的な力。可能性としての力。

³⁵ 【微細藻類由来バイオ燃料】一般的に水中に存在する顕微鏡サイズの藻である微細藻類が、一般の植物と同様に光合成を行う代謝産物として産出されるオイル。

②再生可能エネルギーの貯蔵技術

太陽光発電などの天候で出力が変動する再生可能エネルギーの導入拡大には、変動を吸収する技術の導入が必要となります。ここでは、再生可能エネルギーの貯蔵技術として、蓄電池と蓄熱技術の技術開発の動向や大学の専門的な知見を示します。

ア 蓄電池

国がまとめた技術開発の動向

蓄電池は、天候で出力が変動する再生可能エネルギーを導入する際、その変動を吸収する技術として期待されていますが、長寿命化や低コスト化が課題とされています。

そこで、国では、2030年頃までに、寿命が10～15年、コストが5～10万円/kWhである現在のリチウムイオン電池³⁶などよりも、長寿命・低コストである革新電池³⁷の実用化を目指すこととしています。

（エネルギー関係技術開発ロードマップ）

大学の専門的な知見

蓄電池とICT技術³⁸を組み合わせたシステムの導入

蓄電池は、非常に高価という課題はあるものの、導入によって再生可能エネルギーの導入の限界を増大させることができます。

特に、電力会社の供給エリアよりも小さなエリアで、自分たちで消費するエネルギーを再生可能エネルギー主体のエネルギーで賄う「エネルギーの地産地消」の場合、蓄電池とICT技術と組み合わせたシステムの導入により、大規模電源への依存度を低減しながら、再生可能エネルギーの導入拡大と電力安定供給の両立が可能となります。

具体的には、再生可能エネルギーの発電量予測やエネルギー需要の監視・予測・制御を行うICT技術と、蓄電池や天然ガスコージェネレーションなどの分散型電源による電力需給調整を組み合わせたエネルギーマネジメントシステムを導入することです。

（北海道大学大学院情報科学研究科教授 北裕幸氏）

イ 蓄熱技術

国がまとめた技術開発の動向

蓄熱は、熱を貯蔵し時間差で利用することで、エネルギーの有効活用を図る技術ですが、体積当たりの蓄熱量や熱の保持時間の向上、低コスト化が課題とされています。

そこで、国では、蓄熱技術や断熱技術等の性能向上と、これらを組み合わせた熱マネジメント技術等の開発を進め、住宅などの分野へ活用していくこととしています。

（エネルギー関連技術開発ロードマップ）

³⁶ 【リチウムイオン電池】携帯電話などのバッテリーとして用いられている電池で、+極と-極の間をリチウムイオンが移動することで充電や放電を行う電池。

³⁷ 【革新電池】リチウムイオン電池のエネルギー密度の理論限界（250Wh/kg）を超えての実用化が期待できる蓄電池。全固体電池、多価カチオン電池、金属空気電池等

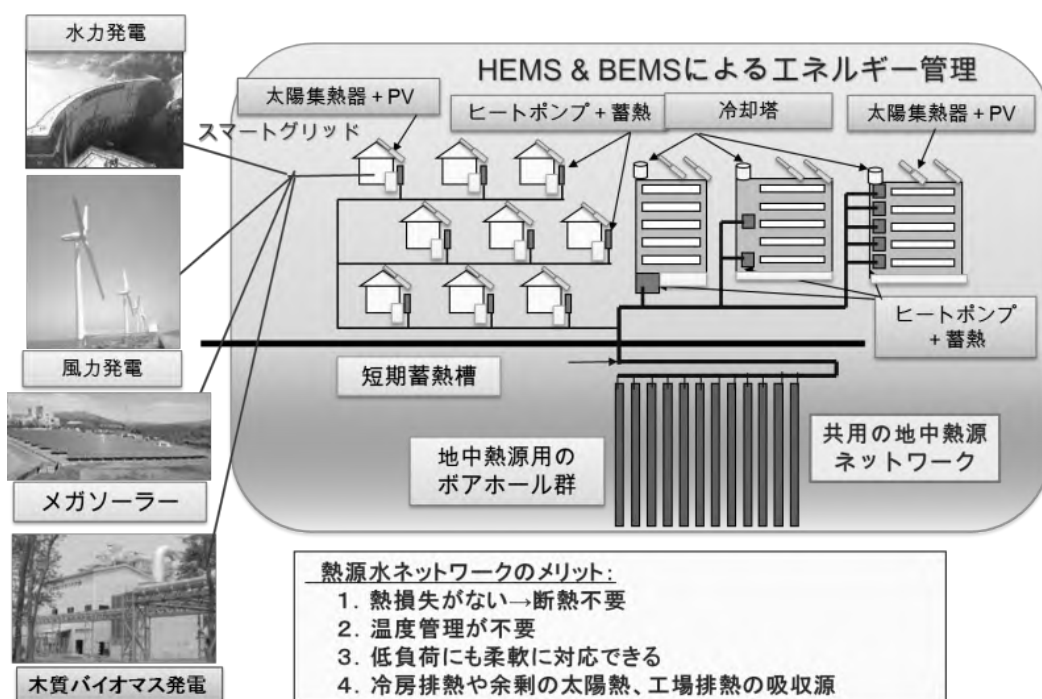
³⁸ 【ICT技術】コンピュータやネットワークに関連する技術など、情報処理や情報通信技術の総称。

大学の専門的な知見

スマート地中熱ネットワークの実現

再生可能エネルギーによる発電電力で稼働する分散型のヒートポンプで、各建物を循環する地下水から冷温熱を汲み上げ、冷暖房や給湯に使用する「地中熱を核とするスマート熱ネットワーク」が実現できれば、再生可能エネルギーの変動や熱需要の変動に柔軟に対応できるエネルギーシステムを構築することができます。

これは、再生可能エネルギーの発電量に余剰がありながら熱需要が少ない時間帯に、余剰電力を熱へ転換し地中や蓄熱層などへ蓄熱し、熱需要の多い時間帯にこれを利用することができるため、蓄電池だけに頼らずに、再生可能エネルギーの蓄エネルギーシステムを構築することができるのです。



【参考】地中熱を核とするスマート熱ネットワーク構想

(北海道大学 長野克則氏)

(3) 水素社会

①水素製造・貯蔵・輸送

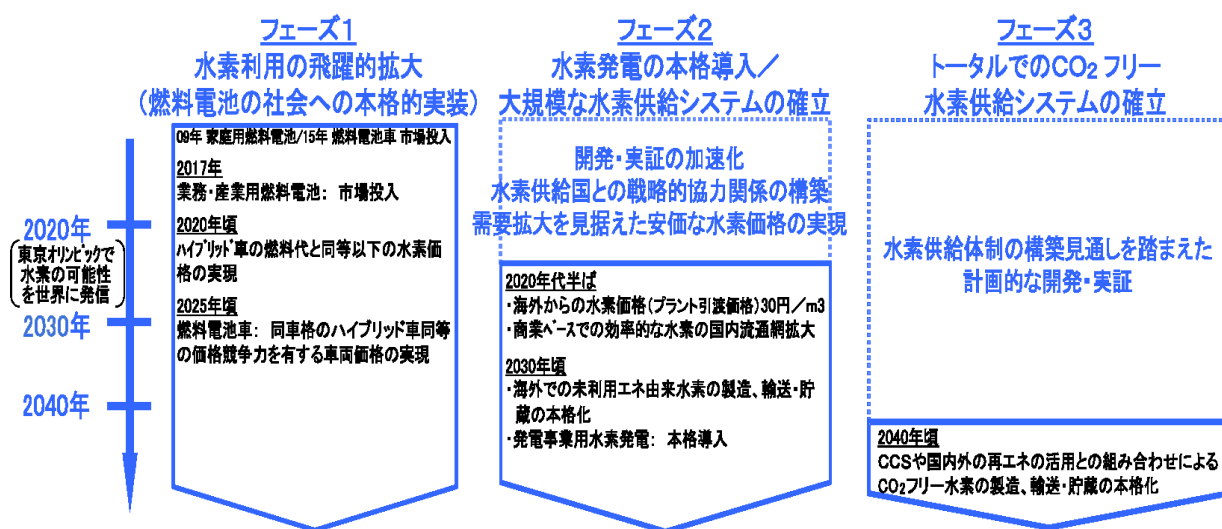
水素を次世代のエネルギーとして活用するためには、低コスト・低環境負荷で、安定的に水素を供給できるシステムの構築が必要です。ここでは、将来的な水素社会の実現を見据えた水素の製造・貯蔵・輸送についての技術開発の動向を示します。

国がまとめた技術開発の動向

水素は、様々なエネルギー源から製造することができるため、エネルギー源の安定的な確保や低炭素社会の実現に大きく寄与する可能性があります。特に、将来的に再生可能エネルギーを使って水素が製造されるようになれば、製造から利用までのトータルで、環境負荷を低減できる可能性があります。

しかし、大量の水素を安定的に供給するためには、常温では気体で体積が大きい水素を、生産地から消費地まで長距離輸送する技術や、大量に貯蔵する技術が必要とされています。

そこで、国では、水素を液化水素³⁹や有機ハイドライド⁴⁰等の形にすることで、小さな体積で大量の水素が貯蔵・輸送できる技術の開発を進め、2030年頃に水素ステーションの自立的展開、2040年頃に再生可能エネルギー由来などのCO₂フリー水素の製造、輸送・貯蔵の本格化を目指すこととしています。



【参考】水素・燃料電池戦略ロードマップ（2014年経済産業省）

（エネルギー関係技術開発ロードマップ、水素・燃料電池戦略ロードマップ）

³⁹ 【液化水素】液体になった水素のこと。水素を液体にするためには-253℃まで冷やす必要がある。

⁴⁰ 【有機ハイドライド】触媒を介して水素を貯めたり、放出したりできる有機化合物。水素を常温の液体で貯蔵する技術として利用されている。

②水素利用

水素は、家庭用燃料電池や燃料電池自動車に加え、船舶や鉄道車両等の輸送分野、水素発電など、幅広い分野におけるエネルギーとしての利用が期待されています。

ここでは、水素利用技術である燃料電池の技術開発の動向や大学の専門的な知見を示します。

国がまとめた技術開発の動向

既に実用化段階にある家庭用燃料電池や燃料電池自動車は、現在の火力発電やガソリン自動車などと比べるとエネルギー効率が高いため、導入が拡大すれば、社会全体の大幅な省エネルギーにつながる可能性があります。

また、長期的には、低環境負荷で安価・安定的な水素供給技術が確立されれば、水素発電の導入により、クリーンで大規模な発電が実現できる可能性があります。

さらに、水素発電の導入によって、安定的かつ大規模な水素需要が生じ、それによって、水素サプライチェーンの構築がより一層促されるという好循環を生む可能性もあります。

こうしたことから、国では、2020年代に燃料電池自動車の普及拡大・本格普及、2030年頃には、5年で投資回収が可能な家庭用燃料電池の実現や、発電事業用水素発電の導入開始を目指すこととしています。

（エネルギー関係技術開発ロードマップ、水素・燃料電池戦略ロードマップ）

大学の専門的な知見

再生可能エネルギーと水素を組み合わせたシステムの導入

住宅における水素の活用方法として、再生可能エネルギー由来の水素を活用した燃料電池と太陽光などを組み合わせたシステムが考えられます。これは、住宅の屋根に設置した太陽光発電などの余剰電力を水素に変換して蓄え、電力が足りない時間に、この水素を燃料として燃料電池で発電するものです。

また、コミュニティ・都市規模における水素の活用については、バイオマスや太陽光発電、風力発電などの余剰エネルギーから水素を生成・貯蔵し、大型の高効率燃料電池で利用するシステムが考えられます。

（北海道大学 濱田靖弘氏）

2. 3 エネルギーから見た持続可能な社会に相応しいライフスタイル

ここでは、半世紀先のエネルギーから見た持続可能な社会において相応しいライフスタイルを描くための視点について、大学の専門的な知見や市民の意見を示します。

大学の専門的な知見

新たな環境技術を導入するメンタリティを持ったスタイルの模索

「エコロジカル・フットプリント⁴¹」の基準によると、地球を持続可能な状態に維持するためには、日本人一人当たりの石油などの化石燃料の消費量を現在の半分以上、1967年（昭和42年）頃の水準にまで減らす必要があると言われています。

しかし、1967年頃は、急速に近代化が進んだことによって、ライフスタイルそのものが石油の大量消費を必要とするものへと変化していたため、ライフスタイルから見た持続可能な社会にとって定常的な目標となるのは、近代化が始まる直前の1955年（昭和30年）頃の水準である現在の1/6まで、化石燃料の消費量を減らすことかもしれません。

もちろん、太陽光などの再生可能エネルギーを大胆に導入すれば、現在の生活水準を維持し得るかもしれません。しかし、新しい技術への挑戦は、省エネルギーや省資源のみならず、エネルギーそのものの使い方を見直す要因にもなることから、持続可能な社会の実現に向けて検討すべきことは、新たな環境技術を大胆に導入するメンタリティを持つ、新しいスタイルを模索することです。

また、新しいライフスタイルを浸透させ、低炭素社会を実現するために、家庭用の太陽光発電を補完する燃料電池の共同利用など、地方自治体が、コミュニティ単位で新しい省エネ・創エネの技術導入を促進することも考えられます。コミュニティ単位で燃料電池を導入する場合は、各家庭単独の場合と比べて、エネルギー効率と経済性が向上するとともに、自らが積極的に発電システムを導入しなくても、コミュニティによってライフスタイルの見直しが啓発され、電力の消費パターンの見直しにつながられます。

（北海道大学大学院経済学研究科 橋本努氏）

市民の意見

エネルギーと暮らしをシェアするライフスタイルの実現

半世紀先の札幌のライフスタイルなどについて話し合った「エネルギーから見た札幌の未来を考えるワークショップ」では、主に以下の3つの意見が出されました。

- ◆半世紀先の札幌では、住宅や食事の場をシェアするとともに、住宅地の周りで食料とエネルギーを生み出すなど、少ないエネルギーでも無理なく暮らしています。
- ◆雪をエネルギーとして活用することや、風力や水力などの自然エネルギーを積極的に活用することでエネルギーを自給しています。
- ◆エネルギーをみんなで競い合って節約したり、発電したりすることを意識するライフスタイルが確立しています。

⁴¹ 【エコロジカル・フットプリント】人間活動が環境に与える負荷を、資源の再生産および廃棄物の浄化に必要な面積として示した数値。通常は、生活を維持するのに必要な一人当たりの陸地および水域の面積で表す。

2. 4 省エネや再生可能エネルギーへの転換を地域経済に取り込む視点

(1) 北海道の再生可能エネルギーの活用

2011年度（平成23年度）に実施した「札幌市エネルギー転換調査」の結果では、北海道における再生可能エネルギーの利用可能量⁴²（年間）は、3,616.3億kWhと推計されています。これは、2010年度（平成22年度）の北海道電力の発電量373億kWhの約10倍に相当します。

特に、陸上風力発電の利用可能量が3,319.3億kWhと最も多く、この約1割を利用するだけでも、北海道の電力消費量のほぼ全量を賄うことができます。

今後、エネルギーから見た持続可能な社会の実現に向けては、北海道の再生可能エネルギーが持つポテンシャルを最大限活用しながら、エネルギーの転換を図っていくことが重要です。

	北海道	札幌市
太陽光発電	72.1億kWh	18.5億kWh
陸上風力発電	3,319.3億kWh	11.1億kWh
小水力発電	24.5億kWh	1.1億kWh
地熱発電	197.4億kWh	30.0億kWh
合計	3,613.3億kWh	60.7億kWh

北海道と札幌市の再生可能エネルギーの利用可能量

(2) エネルギー関連産業の育成

北海道には再生可能エネルギーの大きなポテンシャルがあり、これを生かしていくことが重要です。ここでは、北海道の再生可能エネルギーのポテンシャルを産業に結び付ける視点について、大学の専門的な知見を示します。

大学の専門的な知見

再生可能エネルギーのポテンシャルを生かした産業の育成

北海道に適した再生可能エネルギー関連技術の開発などが十分に行われていないため、北海道は、再生可能エネルギーのポテンシャルを生かせていないことが課題です。

したがって、今後は、北海道の厳しい気象条件に適したエネルギー関連技術の開発を行うとともに、予防保全などのメンテナンス体制を整備することが重要となります。

また、新たな電力システム運用に必要な蓄電池などの製品分野で、国などの再生可能エネルギーの拡大策と連携した国際競争力のある製造業の育成も必要です。

危機はチャンスであり、電力危機をきっかけに、北海道の再生可能エネルギーと省エネルギーを地域再生に活かす道をつくり上げていくことが、日本の未来を切り開く可能性を生むのです。

（北海道大学大学院経済学研究科特任教授 吉田文和氏）

⁴² 【利用可能量】太陽光パネルなどを設置できる場所に最大限導入した時に得られる理論上のエネルギー量。

(3) 再生可能エネルギー導入による収益の地域への還元

再生可能エネルギーは、導入により得られる収益を地域へ還元することができれば、地域住民の所得や雇用の創出に結びつく可能性があります。ここでは、再生可能エネルギーからの収益を地域へ還元することについて、大学の専門的な知見を示します。

大学の専門的な知見

行政主導による地元住民・企業が参画する仕組みの構築

地元住民や企業が、再生可能エネルギーの生産に参加していれば、その収益を地元へ還元することができますが、日本ではそれらの参加が、少ないことが課題です。

再生可能エネルギー導入の先進地であるドイツ、デンマークでは、導入推進の鍵は、地元の住民・企業・金融機関が参加し、利益・メリットを地域へ還元するとともに、情報を公開することとされています。日本においては、ドイツやデンマークの例を参考にしながら、行政が主導して、地元住民・企業に再生可能エネルギー導入への参画を促し、その収益を地元へ還元するため、地元事業者による起業支援や地元がメリットを得られるシステム、地元金融機関が融資しやすい枠組みなどを構築する必要があります。

(北海道大学 吉田文和氏)

再生可能エネルギーへの転換による雇用の創出

再生可能エネルギーが豊富な北海道では、その利用を通じて雇用を創出することができれば、若年層の域外流出や少子化に歯止めがかかる可能性があります。例えば、化石燃料などの海外のエネルギーから、地域資源である再生可能エネルギーに替えていくことで、そのシステムの構築・維持・管理に必要な雇用につなげることができます。

再生可能エネルギー導入は、地球温暖化対策への貢献や雇用創出による少子高齢化等の地域課題解決へつなげることで自ずと進むと考えられますが、加えて、再生可能エネルギー固定価格買取制度⁴³のような経済的なインセンティブ⁴⁴を与えることも重要です。

(北海道大学大学院地球環境科学研究院准教授 藤井賢彦氏)

エネルギーに対して支払うコストの道内への還元

北海道の理想的な将来社会像は、豊富な再生可能エネルギーと広大な耕地をベースとしたエネルギーと食糧の供給基地となることで、豊かな雇用のある地域になることです。

北海道において、太陽光発電などの再生可能エネルギーの導入拡大を進めることで、関連設備の建設・維持や運用に多くの人々が雇用され、道民が支払うエネルギーコストのうち、海外へ流出している部分の大半が、道内へ還元されるようになります。この場合、エネルギーコストが高くなったとしても、トータルで経済的に成立すると考えられます。

(北海道大学 近久武美氏)

⁴³ 【再生可能エネルギー固定価格買取制度】略称FIT (Feed-in Tariff)。再エネにより発電された電力を、電力会社が一定価格で買い取ることを義務付けた制度。買取費用はすべての利用者に賦課金となる。

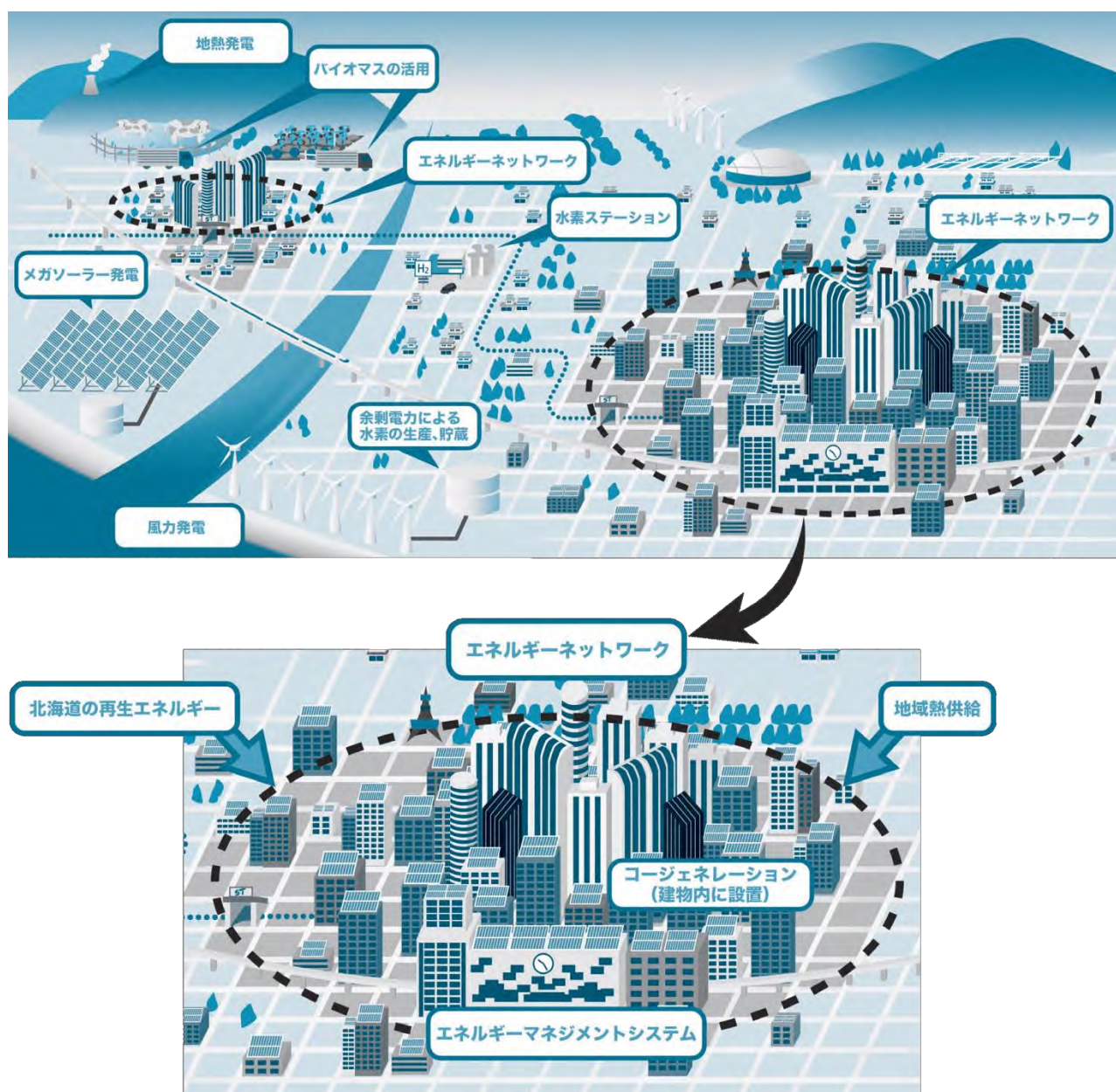
⁴⁴ 【インセンティブ】人の意欲を引き出すために、外部から与える刺激、動機づけ、誘因。

第3章 エネルギーから見た半世紀先の札幌の未来像

第3章では、第2章で整理した視点を踏まえ、エネルギーから見た半世紀先の札幌の可能性を未来像として提示します。

3. 1 エネルギーから見た半世紀先の札幌のまち

ここでは、道内他地域との連携を含む札幌のまち全体におけるエネルギーから見た半世紀先の未来像をモデル的に提示します。



北海道の再生可能エネルギーを最大限に活用するまち

北海道におけるエネルギーの大消費地として、太陽光、風力、地熱、バイオマスなど、北海道の多種多様な再生可能エネルギーを最大限に活用しています。

また、札幌の市民や企業が、北海道の再生可能エネルギー電力や木質バイオマス燃料などの道産エネルギーを優先的に選択するとともに、その開発に参画しています。

さらに、水素ステーションなど、北海道の再生可能エネルギーから生産される水素の供給インフラが整備され、燃料電池自動車・バスや家庭用燃料電池・産業用大型燃料電池が普及した本格的な水素社会が到来しています。

少ないエネルギー消費で快適に暮らせるまち

環境建築（高断熱・高気密・計画換気システム）や高効率給湯・暖房機などの省エネルギー機器の普及により、少ないエネルギー消費でも快適に暮らせるようになっています。

また、省エネルギーに加えて、再生可能エネルギーや建物排熱等の未利用熱を組み合わせ活用するネットゼロエネルギー住宅などの普及により、化石燃料をほとんど使用しない暮らしが実現しています。

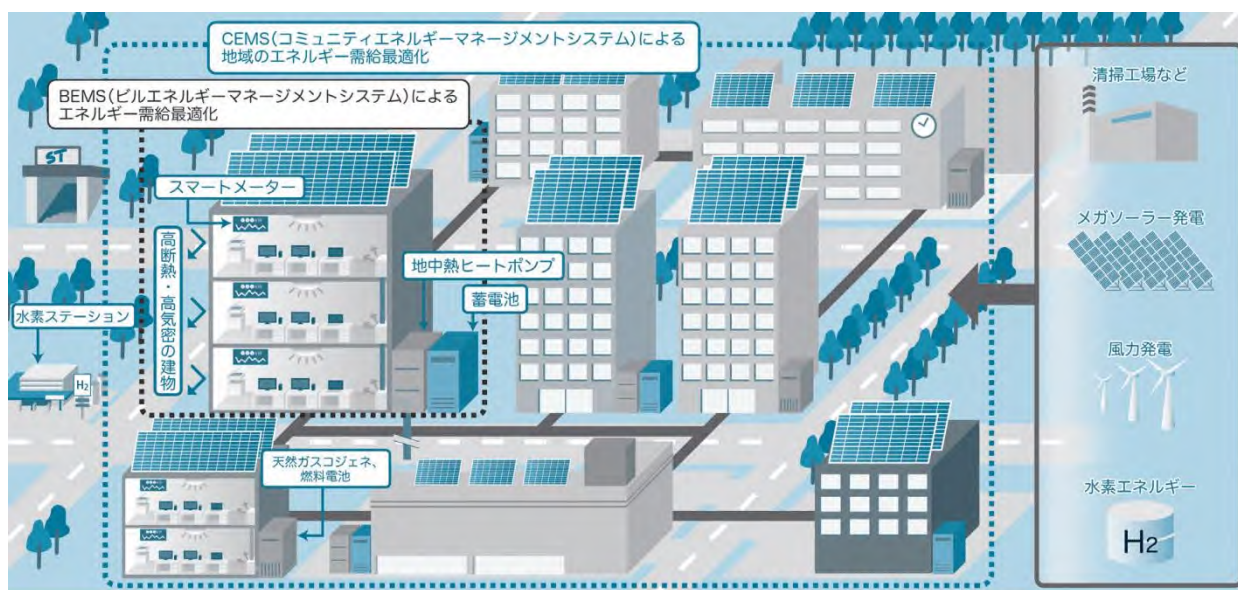
スマートなエネルギーネットワークの構築が進んだまち

蓄電池などの蓄エネルギーシステムやコージェネレーションなどの分散電源と、ICT技術を組み合わせたエネルギーマネジメントシステムが普及し、再生可能エネルギーを最大限に導入しながら、建物単位や地域単位でエネルギー需給の最適化が図られています。

また、既存の熱供給基盤を活用した熱と電気のネットワークや、コージェネレーション等を核とした新たなエネルギーネットワークなど、エネルギーを効率的に利用するためのインフラが導入されています。

3. 2 エネルギーから見た半世紀先の都市機能の集積地

ここでは、商業・業務・医療・行政などの都市機能が集積する場所におけるエネルギーから見た半世紀先の未来像をモデル的に提示します。



エネルギーを効率的に利用する建物が普及した都市機能の集積地

環境建築や省エネ機器の導入により、最小のライフサイクルコストでエネルギー消費量が最大限削減された建物が普及しています。

加えて、太陽光や地中熱等の再生可能エネルギーと建物の排熱が利用されているほか、ビルのエネルギー需給を最適化する BEMS が導入されるなど、化石燃料をほとんど使わず、かつ、エネルギーを効率的に利用する建物が普及しています。

自立分散型エネルギーネットワークが構築された都市機能の集積地

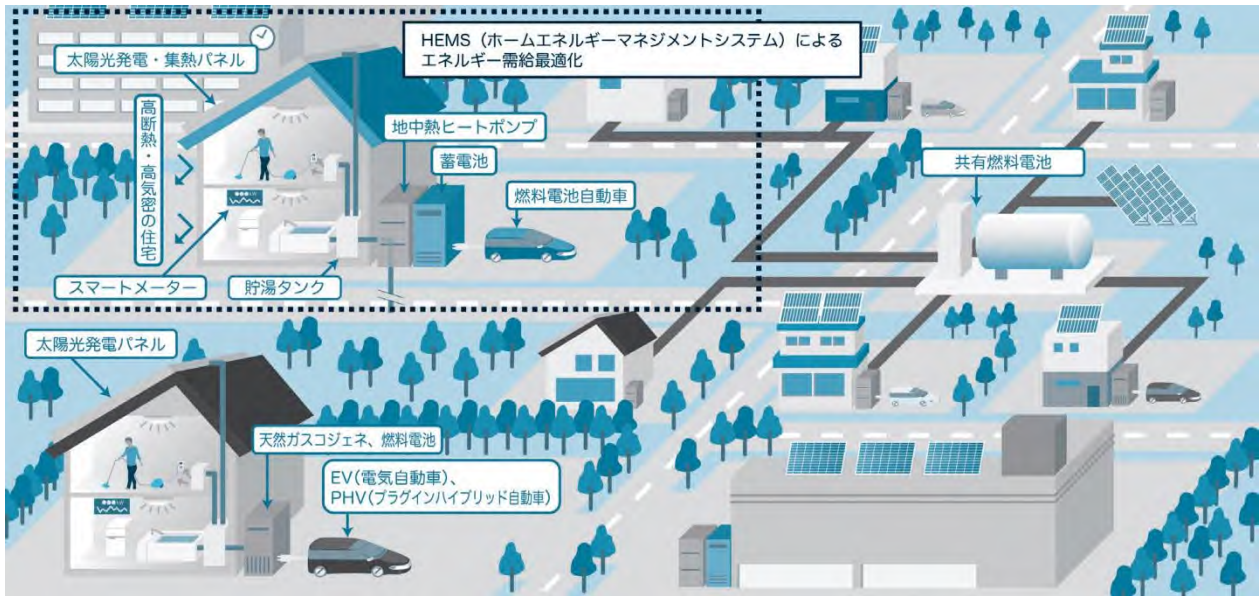
大型ガスコージェネレーションや大型燃料電池、地下蓄熱システム、エネルギーセンター化した清掃工場などを核とした自立分散型のエネルギーネットワークが形成され、エリア内で消費されるエネルギーが安定的・効率的に供給されています。

また、エリア内にある再生可能エネルギーや分散電源と、北海道の再生可能エネルギーを効率的に組み合わせながら、エネルギー需給を最適化するエネルギーマネジメントシステムが導入され、エネルギー効率的な利用と地産地消が進んでいます。

これらによって、災害時でも最小限のエネルギーを供給することができる災害に強い地域になっています。

3. 3 エネルギーから見た半世紀先の住宅地

ここでは、豊かな自然と調和した暮らしができるなどの良好な環境を備える住宅地におけるエネルギーから見た未来像をモデル的に提示します。



ネットゼロエネルギー住宅が普及した住宅地

パッシブ手法を取り入れた環境建築の導入により、厳寒期でも暖房がほとんど必要のない住宅が普及しています。

加えて、太陽光パネルと余剰電力貯蔵システム、太陽熱や地中熱を活用した高効率給湯・暖房システム、住宅でのエネルギー需給を最適化する HEMS の導入により、ネットゼロエネルギー住宅が普及しています。

また、電気自動車やバイオ燃料で動くプラグインハイブリッド自動車が、住宅の蓄電池の役割を果たすとともに、燃料電池自動車とプラグインハイブリッド自動車は、非常時の電源としても活用されています。

エリア単位でネットゼロエネルギー化が実現した住宅地

地域で共有する太陽光発電や、数戸単位で共有する燃料電池・地中熱ヒートポンプなどと、住宅地内のエネルギー需給を最適化するエネルギーマネジメントシステムの導入により、住宅地単位でネットゼロエネルギー化が実現しています。

3. 4 エネルギーから見た半世紀先のライフスタイル

ここでは、半世紀先の札幌におけるエネルギーから見たライフスタイルをモデル的に提示します。

省エネ型ライフスタイル

建物の断熱・気密性能が格段に向上したことにより、冬でも、わずかな暖房エネルギーで快適に暮らしています。

また、住宅では、HEMSにより、自動的に創エネ、省エネ、蓄エネが最適に制御されているため、特別に意識しなくても、省エネルギーな暮らしを実践しています。

コミュニティ活動拠点では、エネルギーシェアが行われるなど、エネルギーを賢く利用する暮らしが根付いています。

再生可能エネルギーと水素を融合して利用するライフスタイル

住宅やビル、学校などの大部分の建物に、太陽光発電や燃料電池などが普及したことにより、エネルギーを自ら創り出すことに関心を持って暮らしています。

また、再生可能エネルギー由来の水素を利用するためのインフラが構築されたことにより、再生可能エネルギーと水素を積極的に活用しながら暮らしています。

さらに、地下蓄熱システムや建物排熱利用などによる新しい融雪技術が普及したことにより、例えば、自宅玄関前の除排雪から解放されるなど、化石燃料をほとんど使わなくても快適な冬の暮らしが実現しています。

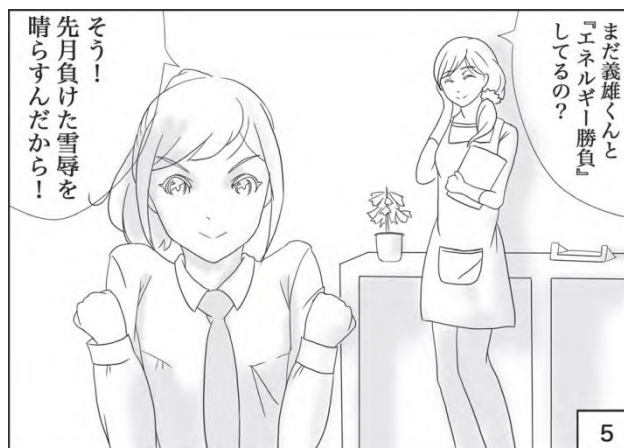
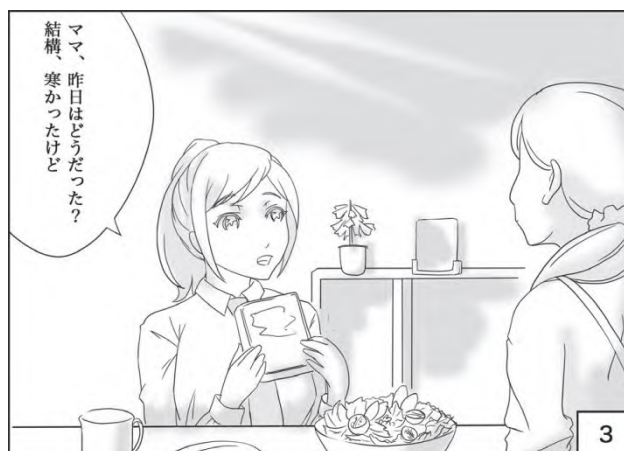
北海道の再生可能エネルギーを積極的に選択するライフスタイル

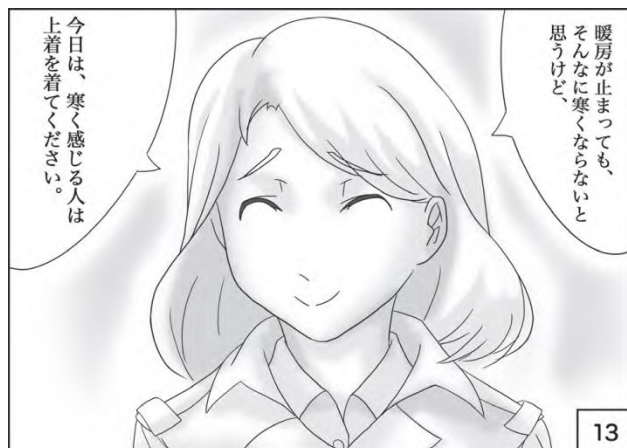
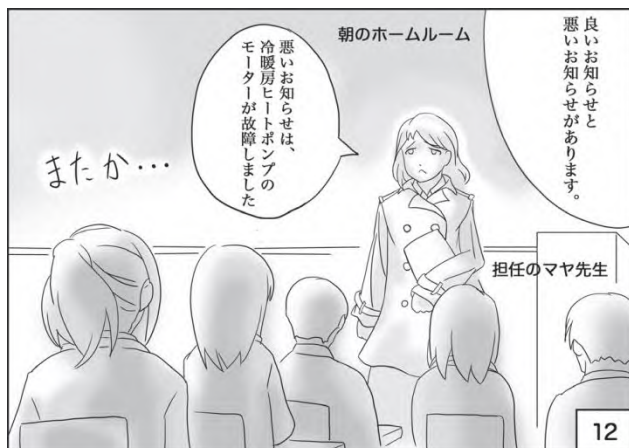
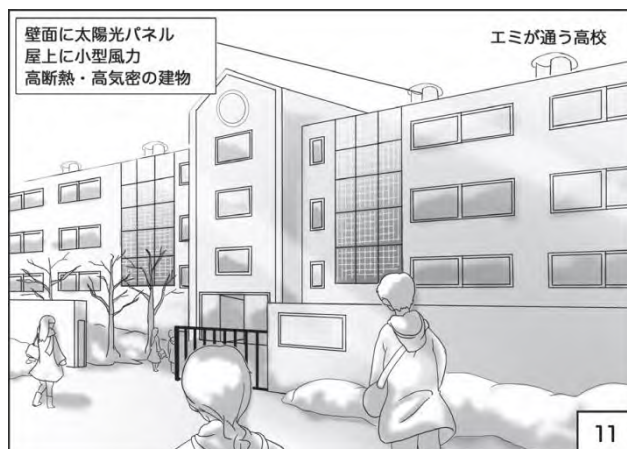
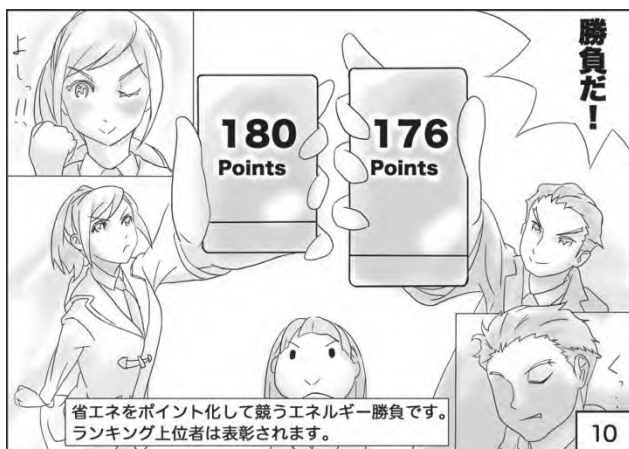
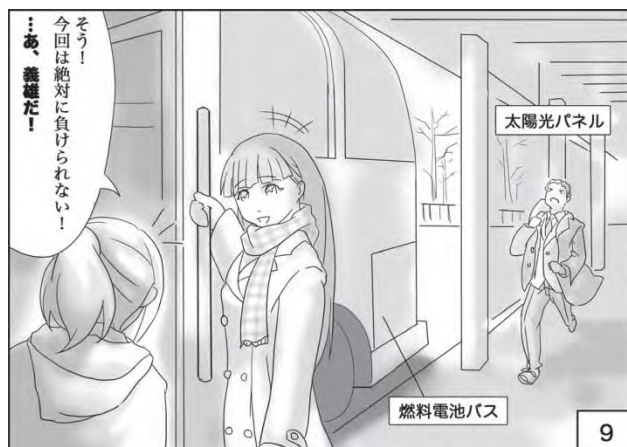
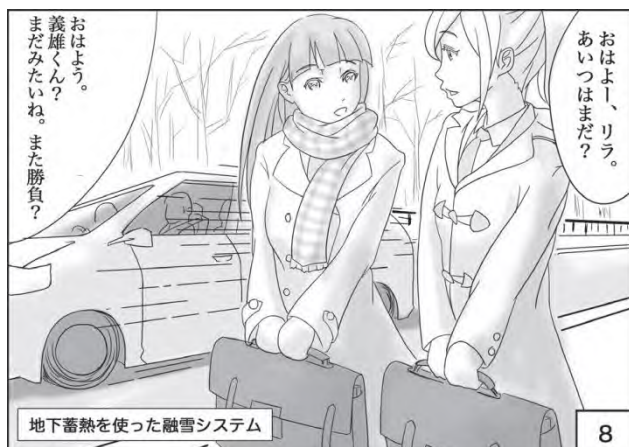
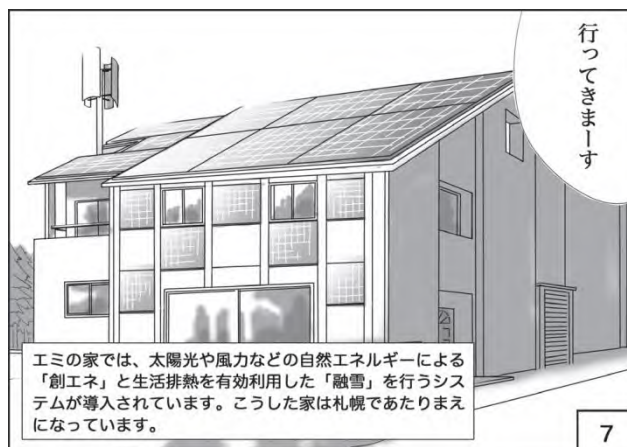
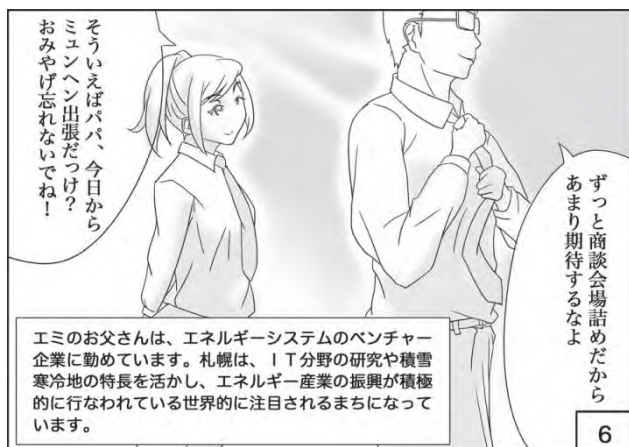
エネルギーの購入先は、各個人のライフスタイルに合わせて選択できるようになっており、札幌市民は北海道の再生可能エネルギーを積極的に選択しています。

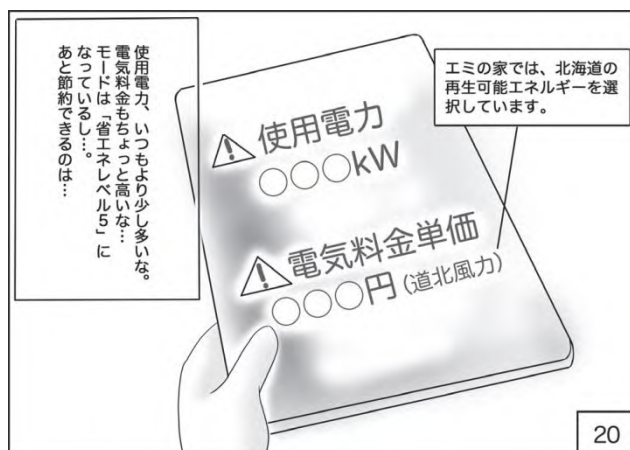
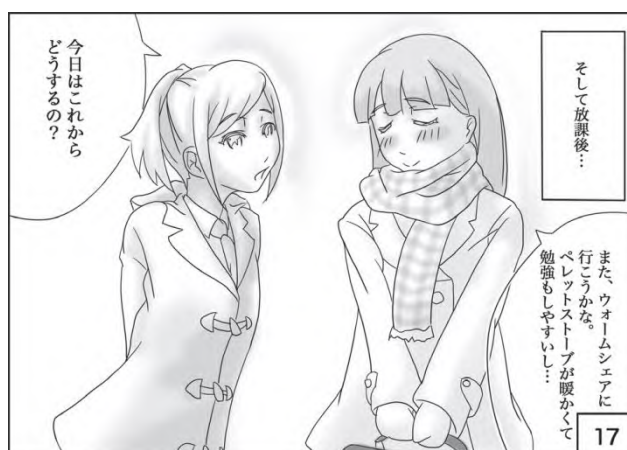
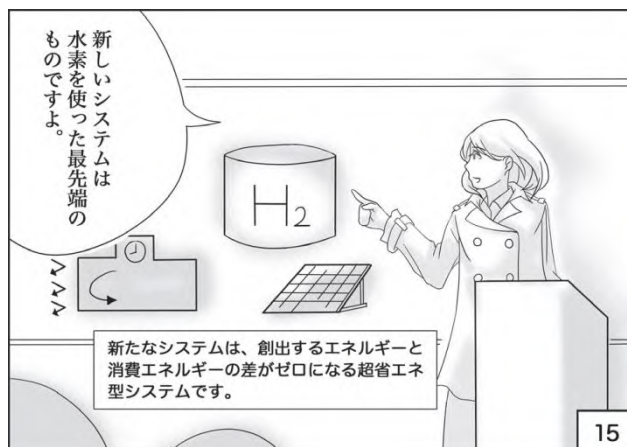
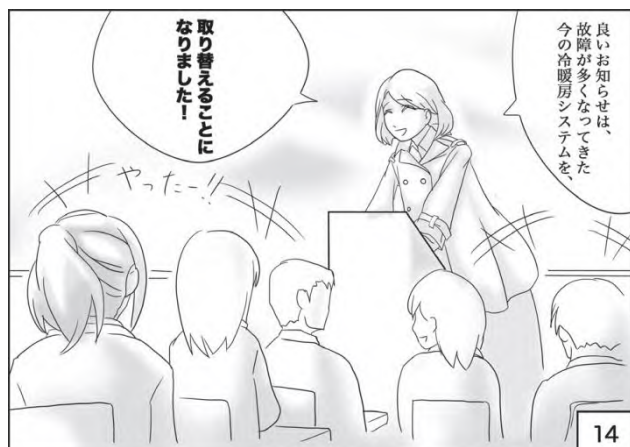
また、このことによって北海道の再生可能エネルギーの開発が進み、それに伴って、札幌にエネルギー分野の企業や研究機関が集積するとともに、多くの市民がそこで働いています。

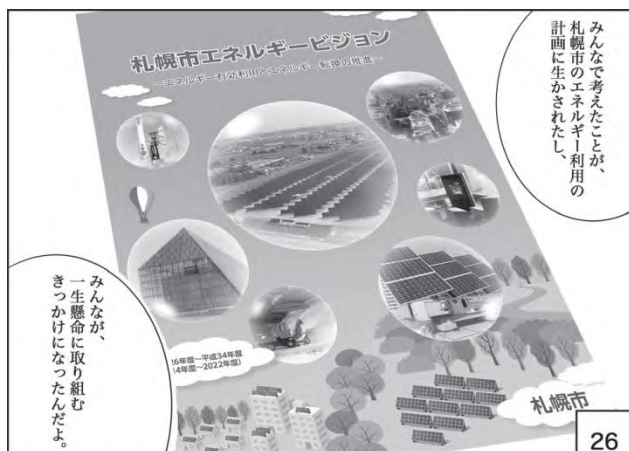
マンガで見るエネルギーから見た半世紀先の札幌のライフスタイル

50年後、エネルギーから見た持続可能な社会が実現した札幌ではどのような暮らしが営まれているでしょうか。高校2年生（16歳）のある1日を通して未来の暮らしを見てみましょう。









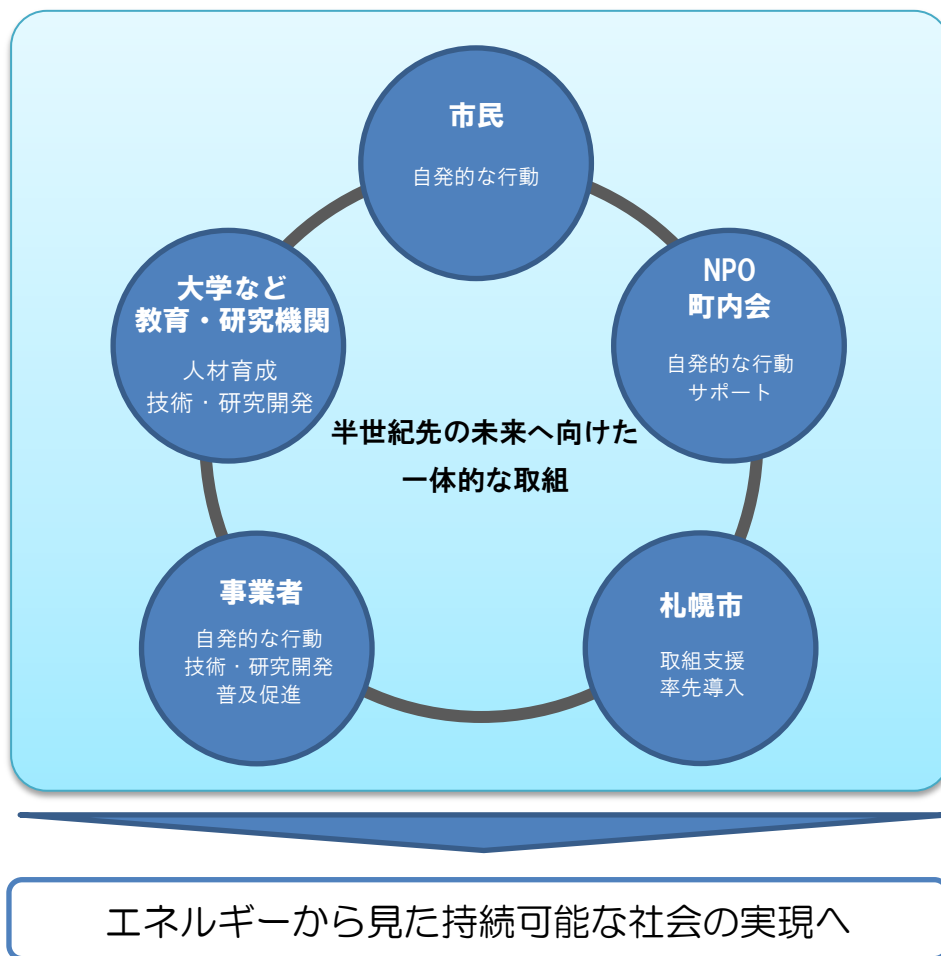
半世紀先の未来に向けて

地球規模の環境・エネルギー問題や福島第一原子力発電所の事故を踏まえると、原子力や石油などの化石燃料に依存せず、現在の生活の質を維持・向上させながらも、エネルギーを賢く使うことで消費量を最小限にする社会を目指していく必要があります。

そのためには、まちの再構築に合わせた既存の建物の建替えやエネルギーの面的利用に係るインフラの整備、新たなライフスタイルへの転換など、長期的な視点を持った取組が必要となります。

そこで、この「さっぽろ・エネルギーの未来」では、長期的な視点からのエネルギーに対する理解・関心を深めるためのものとして、半世紀先を見据えたエネルギーから見た札幌の未来像を提示しました。

この「さっぽろ・エネルギーの未来」を、エネルギーから見た持続可能な社会について考え、行動するきっかけとし、エネルギーを利用する全ての市民、事業者、NPO・町内会等の団体、大学をはじめとする教育・研究機関、行政などが、半世紀先の未来に向け、今から一体となって取り組んでいくことが重要です。



参考 1 検討経過

1 北海道大学との連携

(1) まちづくりに関する地域連携協定の締結

平成25年7月10日(木)、北海道大学と札幌市は、それぞれが持つ資源・機能の効果的な活用により、地域課題の解決を図り、地域の活性化に寄与することを目的として、まちづくりに関する地域連携協定を締結しました。

この連携協定締結に基づき、北海道大学の専門的な知的資源を活用しながら、札幌市が作成する「さっぽろ・エネルギーの未来」に関する検討を共同で行いました。



(2) 北海道大学が有する専門的な知見の活用

ヒアリング

エネルギーから見た半世紀先の札幌の可能性について、北海道大学に蓄積されている専門的な知見をいただくため、北海道大学の教授・准教授から、ヒアリングを行いました。

日時	ヒアリング先	主なヒアリングのテーマ
平成25年9月5日(木) 9:00~10:20	大学院工学研究院 教授 長野 克則 氏	・ 地中熱等を熱源とした暖房の可能性 ・ 帯水層を活用した地域熱供給の可能性
平成25年9月20日(金) 10:00~11:00	大学院情報科学研究科 教授 北 裕幸 氏	・ 再生可能エネルギー発電の変動吸収方法 ・ 蓄電池の可能性
平成25年10月2日(水) 13:30~15:10	大学院工学研究院 教授 近久 武美 氏	・ コージェネレーションの可能性 ・ エネルギー転換と北海道の経済
平成25年10月30日(金) 9:00~10:00	大学院経済学研究科 特任教授 吉田 文和 氏	・ 欧州のエネルギー転換政策 ・ 欧州の事例を踏まえた札幌の方向性
平成25年11月13日(木) 13:30~15:00	スラブ研究センター 教授 田畑 伸一郎 氏	・ ロシアを巡る世界のエネルギー情勢 ・ 北海道のチャンスとしてのロシア
平成25年11月26日(火) 13:30~15:30	大学院地球科学研究院 准教授 藤井 賢彦 氏	・ 地域のエネルギーを活用したCO ₂ の削減 ・ エネルギー転換推進のための政策
平成25年12月16日(月) 13:30~15:30	公共政策学連携研究部 准教授 高野 伸栄 氏	・ 冬の暮らしとエネルギー ・ モビリティマネジメント
平成26年1月23日(木) 13:30~14:30	大学院文学研究科 教授 宮内 泰介 氏	・ 原子力発電の社会コスト ・ 今後の札幌の環境・エネルギー施策
平成26年1月28日(木) 15:00~16:30	大学院経済学研究科 教授 橋本 努 氏	・ 原子力発電の今後 ・ 半世紀先に向けたエネルギー政策

エネルギーから見た半世紀先の未来を描くためのレポート

ヒアリングの内容から、エネルギーから見た半世紀先の未来を描くために必要なテーマを整理し、それらのテーマに関するレポートを北海道大学の教授・准教授に執筆していただきました。

テーマ	執筆者
FM的視点に立ったエネルギー需要の徹底的な削減	大学院工学研究院 教授 羽山 広文 氏
障がい者福祉施設の省エネルギー化、省コスト化	大学院工学研究院 教授 羽山 広文 氏 大学院工学研究院 准教授 森 太郎 氏
民生部門におけるエネルギー自給可能性検討と住宅のネットゼロエネルギー化方策	大学院工学研究院 教授 長野 克則 氏
雪冷熱の活用	大学院工学研究院 教授 濱田 靖弘 氏
蓄エネルギーとしての水素の活用	大学院工学研究院 教授 濱田 靖弘 氏
経済発展と両立した再生可能エネルギー利用社会の形態	大学院工学研究院 教授 近久 武美 氏
再生可能エネルギーなどの道産エネルギーの活用と地産地消の推進による経済循環の確立	大学院経済学研究科 特任教授 吉田文和 氏
蓄電池と ICT 技術の組み合わせによる再生可能エネルギーの有効利用	大学院情報科学研究科 教授 北 裕幸 氏
創エネ・省エネのための新しいライフスタイルに向けて	大学院経済学研究科 教授 橋本 努 氏
創エネ・省エネの新たな付加価値	地球環境科学研究院 准教授 藤井 賢彦 氏

(3) 北海道大学サステナブルキャンパス推進本部との意見交換

まちづくりに関する地域連携協定に基づき、連携協定を所管する北海道大学サステナブルキャンパス推進本部と札幌市市長政策室が、「さっぽろ・エネルギーの未来」についての意見交換を行いました。

日時	主な意見交換の議題
平成25年7月19日（金） 13:30～15:00	・（仮称）エネルギーの総合的な施策大綱のイメージ ・意見交換を行うテーマと教員のリストアップ
平成25年10月3日（水） 15:00～16:00	・（仮称）エネルギーの総合的な施策大綱の策定に向けた課題整理
平成26年4月4日（金） 16:00～18:00	・平成25年度の検討内容の総括 ・（仮称）エネルギーの総合的な施策大綱策定に向けた今後の進め方
平成26年4月11日（金） 10:30～11:30	・エネルギーから見た半世紀先の札幌を描くための論点整理①
平成26年4月18日（金） 10:30～11:30	・エネルギーから見た半世紀先の札幌を描くための論点整理②
平成26年5月1日（木） 10:30～11:30	・エネルギーから見た半世紀先の札幌を描くための論点整理③
平成26年5月15日（木） 16:00～17:30	・エネルギーから見た半世紀先の札幌を描くための論点整理④
平成26年6月3日（火） 10:30～12:00	・エネルギーから見た半世紀先の札幌を描くための論点整理⑤ ・レポートのテーマと執筆する教員のリストアップ
平成27年1月15日（木） 10:00～12:00	・（仮称）エネルギー未来構想の骨子案についての意見交換

2

札幌市環境審議会

学識経験者、関係行政機関、公募委員からなる札幌市環境審議会において、「さっぽろ・エネルギーの未来」についての審議を行いました。

日時・場所

- 平成 27 年 1 月 27 日（火）15:00～16:30
- 札幌市役所 14 階 1 号会議室

主な意見

- 立候補を表明している 2026 年の札幌オリンピックを見据え、水素社会が実現している姿を描くべき。
- 世界の積雪寒冷地のモデルとなるような未来像を考えてはどうか。
- 住宅地のイメージは、小さな集中型が良いのではないか。
- 建物の省エネを重点化するなど、省エネの記述にメリハリをつけてはどうか。
- エネルギー効率の向上、エネルギー需要の最小化、エネルギー需給の最適化のすべてを満たすのは難しいので、社会全体のコストを最小限にするという観点を入れてはどうか。
- ライフスタイルには、若者や子どもにも、エネルギー転換で得られる便益が自分にも関係していることを分かりやすく描いてはどうか。
- インセンティブを与えることで市民の行動を促すなど、社会政策的なツールの記載も必要ではないか。
- 市民がエネルギーを作るという観点での記載も必要ではないか。
- 市民・企業・行政・NPO・大学などが、どういう役割を果たしているのかを描いてはどうか。

3 市民参加

(1) エネルギーから札幌の未来を考えるワークショップ

「さっぽろ・エネルギーの未来」の策定にあたり、一般市民から半世紀先の未来像に関する御意見を伺うことを目的として、KJ法によるワークショップを開催しました。

開催日時・場所

- 平成26年12月7日（日）13:00～16:00
- 札幌市民ホール2階「第2会議室」

参加者

広報さっぽろと札幌市公式ホームページで公募し、10名の市民が参加しました。

話し合いの流れ

5人ずつのグループに分かれ、以下の流れで話をしました。

- ①50年後の札幌が掲げるキャッチコピー「〇〇な札幌」を出し合おう！
- ②「〇〇な札幌」では何が行われているか考えよう！
- ③50年後の札幌が掲げるキャッチコピー「〇〇な札幌」を考えよう！

意見の概要

■Aテーブル～「創エネ」と暮らしをシェアする札幌

- ◇エネルギーをみんなが競い合って節約したり発電したりすることを意識するライフスタイルが確立している。
- ◇みんながエネルギーについて考え、使わない電気を消したり、移動の際は電車を使うだけではなく歩きをプラスしたり、室内の温度を下げて保温性のある上着を着たりするなど、エネルギーに対する意識を高く持った生活をしている。
- ◇雪をエネルギーとして活用する方策を考え出したり、風力とか水力などの自然エネルギーを積極的に活用したり、温度差をエネルギーとして活用したりするなどエネルギーを自給するとともに、都市農園などで食料の自給率を上げる、交通や通信の手段を多様化・効率化させてより自給していく。
- ◇ハウスや食事の場をシェアしたり、銭湯を無料にしてお風呂をシェアしたり、まきストーブなどの火をみんなで囲んだり、人々が色々な形で集まってエネルギーを節約している。

■Bテーブル～暮らしも、食べものも、エネルギーもHappy Sapporo!

- ◇現在、高齢者やそれよりも下の世代でも独居・単身が問題になっているが、最終的なあり方として、皆がある程度まとまって同じ建物に住み、その周りの畑や田んぼで食料と最低限のエネルギーを生み出している。
- ◇建物とその周辺の地域で生活していく暮らしを、世界の最先端に行くものとして、色々なところへ発信していく。
- ◇今の技術と昔の生活のハイブリッドのような暮らしが未来の暮らしになっている。

(2) こども出前講座を活用した子どもの意見の把握

こども出前講座の機会を活用して、エネルギーから見た50年後の札幌の未来像について、子どもから御意見を伺いました。

日時・場所

- 平成 26 年 11 月 19 日（水）14:00～15:00
- 札幌市立光陽中学校

意見把握の方法

50 年後の札幌をイメージしたイラストを見て、50 年後の札幌のエネルギーについて考えたことなどを、自由に記述していただきました。

意見の概要

- 太陽光発電などの再生可能エネルギーがたくさん使われているまちになって欲しい。

（具体的な意見）

- ◇石油や石炭などのように二酸化炭素を出さない、太陽光発電や水力発電などの再生可能エネルギーを今より増やして、地球に優しい発電をして欲しい。
- ◇自分で簡単に家に太陽光パネルが設置できるようになり、発電所の電気をあまり使わずに生活している。
- ◇50 年後の札幌では、すべての建物に太陽光パネルが設置されている。
- ◇50 年後は、バイオマスエネルギーを中心とした生活に変わっている。

- 余った電気で水素をつくり、それを利用する社会になっていて欲しい。

（具体的な意見）

- ◇余った電気で水素をつくるのはすごいことなので、本当に実現して欲しい。
- ◇50 年後の札幌では、水素を燃料とする車がまちを走っている。

- 市内に設置された発電所などから、電気が供給されるまちになっていて欲しい。

（具体的な意見）

- ◇50 年後は、札幌で使う電気は札幌で作るようになっている。
- ◇50 年後の札幌では、発電所もあり、色々な所から電気の供給を受けている。

- 今より省エネが進んでいるまちになっている。

（具体的な意見）

- ◇今はエネルギーがなくなるかもしれないと言われているが、すごく省エネをすることで、逆にエネルギーが余りそうだ。
- ◇機械を使わずに素手で畑の手入れをする。

- 市民みんながエネルギーについて考え、行動することで、未来の人たちも快適に暮らせるようにしている。

50 年後の札幌をエネルギーの面から考えてみよう



☆札幌市では、環境・エネルギーの面から見た 50 年後の札幌の姿を描く「さっぽろエネルギー未来構想」をつくっています。50 年後の札幌をイメージしたこのイラストを見て、思ったこと、考えたことを何でも自由に書いてください。

例えば、

- ・50 年後の札幌市民の暮らしを変えるエネルギーは「〇〇」だ
- ・50 年後の札幌では、今は余り使われていない「〇〇」をエネルギーとして使っている
- ・50 年後の札幌市民は「〇〇」で動く車に乗っている
- ・50 年後の札幌では、「〇〇」から電気をつくっている
- ・50 年後の札幌では、「〇〇」から暖房や給湯の熱を作っている

（具体的な意見）

◇自分たちの暮らしが豊かになっても、地球に優しいエネルギーを使うことで、未来の人たちも快適に暮らして欲しい。

◇50年後の札幌市民はエネルギーについて考え行動している。

■今よりも多くの電気自動車などの次世代自動車が走るまちになっていて欲しい。

（具体的な意見）

◇50年後は、充電ステーションが増えて、電気自動車が走りやすくなっている。

◇50年後の札幌市民のほとんどは、電気自動車に乗っている。

◇50年後の札幌では、空中のパイプの中を磁石で動く車が走っている。

◇50年後の札幌では、水素を燃料とする車がまちを走っている。（再掲）

■みどりあふれるまちになっていて欲しい。

（具体的な意見）

◇みどりが多いまちになっていたらいいなと思う。

◇緑のカーテンが多くなると地球にいいと思う。

◇屋上の緑化が増えている。

参考2 北海道大学教授・准教授のレポート集

「さっぽろ・エネルギーの未来」の検討に当たり、まちづくりに関する地域連携協定を締結している北海道大学に蓄積された専門的な知見を活用するため、同大学の教授・准教授から、以下のテーマに関するレポートを執筆していただきました。

- (1) FM 的視点に立ったエネルギー需要の徹底的な削減

大学院工学研究院 教授 羽山 広文

- (2) 障がい者福祉施設の省エネルギー化、省コスト化

大学院工学研究院 教授 羽山 広文、准教授 森 太郎

- (3) 民生部門におけるエネルギー自給可能性検討と住宅のネットゼロエネルギー化方策

大学院工学研究院 教授 長野 克則 氏

- (4) 雪冷熱の活用

大学院工学研究院 教授 濱田 靖弘 氏

- (5) 蓄エネルギーとしての水素の活用

大学院工学研究院 教授 濱田 靖弘 氏

- (6) 経済発展と両立した再生可能エネルギー利用社会の形態

大学院工学研究院 教授 近久 武美 氏

- (7) 再生可能エネルギーなどの道産エネルギーの活用と地産地消の推進による
経済循環の確立

大学院経済学研究科 特任教授 吉田 文和 氏

- (8) 蓄電池と ICT 技術の組み合わせによる再生可能エネルギーの有効利用

大学院情報科学研究科 教授 北 裕幸 氏

- (9) 創エネ・省エネのための新しいライフスタイルに向けて

大学院経済学研究科 教授 橋本 努 氏

- (10) 創エネ・省エネの新たな付加価値

大学院地球環境科学研究院 准教授 藤井 賢彦 氏

1 FM 的視点に立ったエネルギー需要の徹底的な削減

羽山 広文 北海道大学大学院工学研究院 教授 博士(工学)

【要約】

札幌市全体のエネルギー消費量は、一次エネルギーに換算し年間190,747 TJ/年である。その内、建築物での消費は約70.7%であり、全国平均と比較し著しく比率が高い。また、積雪寒冷な地域であることから、暖房用のエネルギー消費量が多く、札幌市全体の消費量の27.1%を占める。このことから、環境に配慮した環境建築の普及拡大が欠かせない。その建設に必要な財源に、光熱水費の削減額を当てる方法を50年先の「さっぽろエネルギー未来構想」の一政策として提案した。

(1) はじめに

資源エネルギー庁のエネルギー白書2011年度によると、日本のエネルギー消費量の約33.4%は民生用の消費である（家庭部門14.2%、業務部門19.6%）。近年、居住者の健康・安全や生産性の向上を目指した生活環境の向上により、その消費量は増加傾向になっている。また、2011年3月の東日本大震災後、原子力発電所の運転停止に伴う電力需給の逼迫、エネルギーコストの上昇が顕著になり、住宅や各事業所では省エネルギー化の取り組みがなされているが、その成果は遅々として進んでいない。

2014年9月、総務省は国民の65歳以上が約25%、75歳以上が約12.5%を占めると発表した。今後、少子高齢化が加速的に進むことが想定されており、各自治体でも長期ビジョンの作成が急務である。本稿では札幌市の50年先の「さっぽろエネルギー未来構想」を検討するに当たり、建築的な側面での提言を行う。

(2) 札幌市の建築ストックとエネルギー消費量

札幌市は延べ床面積に換算し約1億2410万 m^2 （平成25年札幌市統計書）の建築物を有している。その内訳は住宅：約8,290万 m^2 （66.8%）、非住宅：4,120万 m^2 （33.2%）である。築年数は平均27.5年（住宅：26.7年、非住宅：29.0年）であり、図1に示すような分布になっている。人口増加が顕著な1985年～1995年は新築が多かったが、その後徐々に新築面積は減少している。

この膨大な建築物は、一次エネルギーに換算し年間

135,000TJ/年（札幌市環境局2010年）のエネルギーを消費している。その内訳は住宅：52.1%、非住宅：47.9%

である。札幌市の全エネルギー消費量、年間190,747 TJ/年（札幌市環境局2010年）に対し、住宅：36.8%、非住宅：33.9%であり、両者の合計は約70.7%にも達する。全国平均（約25%）と比較しても、札幌市は建築物で消費されるエネルギー消費量の比率が異常に高い。このため、札幌市のエネルギーに関わる長期ビジョンを検討するうえで、建物の省エネルギー化が極めて重要である。

一次エネルギー消費原単位は、住宅が平均840MJ/（ $\text{m}^2 \cdot \text{年}$ ）、非住宅が平均1,790 MJ/（ $\text{m}^2 \cdot \text{年}$ ）である。住宅の場合、約54%が暖房用途であり（平成14年度民生部門エネルギー消費実態調査）、他の都道府県と比較しその比率が高い。一方、非住宅について暖房用途を分計することは困難であるが、床面積当たりの暖房用エネルギー消費量が住宅と同等（453MJ/ $\text{m}^2 \cdot \text{年}$ ）とするならば、約25.3%になる。これらを合計すると、建物全体での暖房用途でのエネルギー消費量は、建物全体では年間51,700TJ/年（41.6%）になる。これは、札幌市が消費する全エネルギー消費量190,747 TJ/年の27.1%に匹敵する。

以上のことから、札幌市のエネルギー消費量削減には、まず、住宅および非住宅を含めた建築物の省エネルギーを徹底すること、特に暖房用エネルギー消費量の削減が極めて重要であることがわかる。

(3) 省エネルギー化は「ソフト」と「ハード」

平成20年の省エネ法改正では、事業者のエネルギー管理が「事業所単位」から「事業者単位」へ変更された。これにより、エネルギー消費量が年間1,500kL（一次エネルギー換算）以上の事業者は「特定連鎖化事業者」

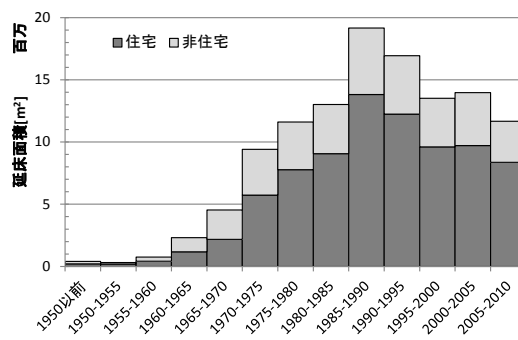


図1 札幌市の築年別の建物延べ床面積

と認定される。地方公共団体全体でも企業と同様に、エネルギー管理が義務付けられ、現在札幌市では毎年前年比1%の削減が求められている。

札幌市の場合、環境局がそのエネルギー管理を担う組織である。建物を使用する各部局に対し、省エネルギーを呼びかけるものの、掛け声だけの省エネルギーには限界があり、我慢を強いる対策は持続性がない。特に、積雪寒冷な地域の場合、建物の抜本的な省エネルギーには、建物の高断熱化・高気密化・計画換気が重要であり、建物の熱負荷を最小限に留め、その上で高効率な建築設備機器の採用による「建物本来（ハード）の性能向上」が欠かせない。

運用時の省エネルギー化は、車の燃費に例えると「運転方法の工夫（ソフト）」に他ならない。車の燃費向上には、エンジンやトランスミッションの高効率化だけでなく、車体の軽量化や空気抵抗の削減など、車の構造に関わる改良で負荷を軽減することが重要である。建物の高断熱・高気密化・計画換気に配慮した建物は、環境建築とも呼ばれ、負荷を軽減する建築手法であり、建物も車も同じといえる。

(4) LCCの最小化ができない理由

一般に、持ち家の戸建て住宅は建設時の初期コストと運用コストの負担者は同一である。しかし、賃貸住宅および自社ビル以外の事業建物は、初期コストと運用コストの負担者が異なる。このため、LCCでの評価ができず、初期コストを優先し、運用コストが犠牲になるケースが多い。これは、負担の先送りに他ならない。

賃貸住宅を例にすると、いわゆる建て主（大家）は、同じ家賃収入ならば、事業収支を考えると、なるべく初期投資を安価に済ませたい。賃貸住宅は老朽劣化が進むと、入居率が悪化するので、改修・修繕、保守管理には配慮するが、光熱水費は入居者の自己負担である。費用を投じてまでも環境建築を建設する意欲が湧かない。

筆者の在籍している北海道大学を例にすると、建設を担当するのは施設部である。文部科学省へ概算要求し、採択されれば大規模改修、建て替えが実施される。初期コストを可能な限り切り詰めて、できるだけ多くの面積を確保することが求められる。自ずと建設時に最低の基準をクリアすることを目標にする。一方、運用に関わる光熱水費および改修・修繕、保守管理費は、工学部、理学部などの各部局が負担する。光熱水費が値上げされれば、その時だけ関心は高まるが、長期的視点に立って、光熱水費削減を声高に主張することはない。長期的視点に立った施策実現は大学の場合、理事会の決議が求められる。これには総長のリーダーシップが不可欠である。

公共建築を例にすると、札幌市では建設を担当する都市局と、運用を担当する各部局、エネルギー管理を担当する環境局と3部局に分かれている。このため、札幌市の財政という観点では同一でも、部局間を跨ぐと権限が及ばず、LCC最小化の発想が欠如する。縦割り行政の弊害である。環境建築が実現できない理由は、北海道大学の場合と同様である。長期的視点に立った政策実現には、市議会での議決が求められるが、これには市長の強いリーダーシップが不可欠である。

(5) 初期コストと運用コストを含めたLCCの最小化

高度成長時代に建設された多くの建物は物理的劣化だけでなく社会的劣化が進む。ファシリティマネジメントの観点では、建物の建設から運用、取り壊しまでのライフサイクルコスト（LCC）を最小化することが重要である。図2に郵便局とオフィスビルのLCCの算出例を示す。

この例からも分かるように、寿命40年の建物の場合、建設時の初期コストは26～27%程度であり、残りの73～74%は改修・修繕などの維持管理および光熱水費などの運用コストである。建物寿命をこれより長くすると、運用コストの比率はさらに大きくなる。建設時にエネルギーや水を多消費する粗悪な建物を建設すると、その建物は生涯にわたって光熱水費を浪費する。特に、光熱水費は約21～24%を占めるため、省エネルギー・節水に配慮した環境建築を建設する意義は大きい。

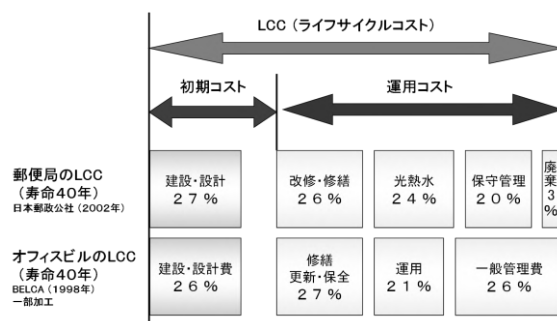


図2 LCCの内訳例（出展：北海道建設新聞）

(6) 環境建築の導入スキーム

札幌市の都市局には多くの建築技術者が在籍し、これまで述べたことは良く理解していると思う。しかし、他の部局を跨ぐ政策変更は難航を極める。環境建築を建設し、短期間（5年程度）でその建設費増額分を光熱費削減分で回収できるならば、容易に賛同を得られるが、そもそもそのような建築的手法は既に実施しているはずであり、その結果が現状である。

都市局の方に、「環境建築建てましょう！」と言うと、開口一番「財源はどうするの？」と返ってくる。本稿では、現在は困難でも、50年先に資する政策が求められており、環境建築の普及拡大を図る試みを札幌市自ら実践し、市中の他の建物へ波及するスキームを提案する。

(6)-1 札幌市の市有施設の状況

札幌市は現在、述べ床面積508万 m^2 の施設を保有している。これは、札幌市全体の4.1%に相当する。この市有施設では、原油換算で212,800 kL /年、金額に換算し約152億円/年のエネルギーと、水（水道・地下水）を577 m^3 /年、金額に換算し約19億円/年を消費している。光熱水費は合計で約171億円/年にもなる。床面積当たりの光熱費原単位は3,370円/ m^2 年である。

(6)-2 建物の大規模改修と建替え

一般に建物が建設・運用・解体の間に大規模修繕を1回は経験する。その多くの理由は、耐震基準の見直しや外壁の剥離防止など、安全性の確保が多い。また、エレベータ、暖冷房機器、電気設備などの建築設備は、建物躯体と比較し対応年数が短く、定期的な更新が不可欠である。例えば、建物の寿命を50年とすると、新築後25年に大規模改修し、50年で建て替えられるとする。この場合、毎年全体の1/50ずつ、大規模改修と建替えが実施され、25年間で全ての建物が一通り更新される（図3）。

大規模改修の単価を10万円/ m^2 、建替えの単価を30万円/ m^2 とすると、1つの建物の生涯価格は40万円/ m^2 であり、札幌市全体の建物508万 m^2 では、年間400億円、50年間で2兆円を超える。この大規模改修と建替え時に環境建築の手法を取り込み、建物の高性能化を図っていく。その時に必要となる財源について次項で述べる。

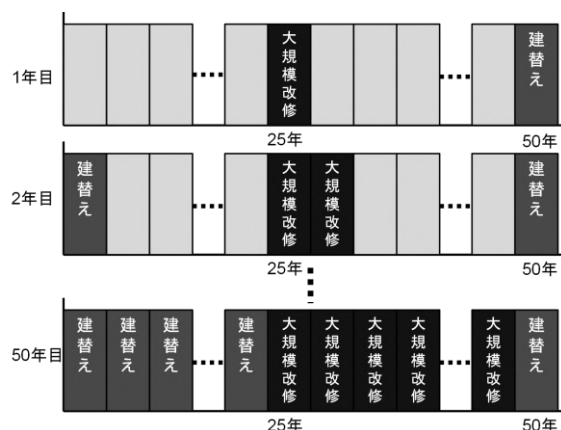


図3 大規模改修と建替えのイメージ

(6)-3 環境建築の建設に必要な財源

札幌市の場合、先に述べたように、508万 m^2 の施設で消費する光熱水費は約170億円/年である。環境建築の建設により、省エネルギー・節水が可能になれば、毎年支出する光熱水費が削減される。しかし、一度に全ての建物が良くなる訳ではない。建物の寿命を50年とするならば、大規模改修と建替えが済むのは25年後である。また、エネルギー単価上昇を無視すると、50年間で8,500億円の光熱水費になる。

図4に毎年実施する大規模改修および建替え時に30%の光熱水費削減率を達成した場合について、その差益を示す。差益は毎年増加し、25年目で一定額になる。

収支分岐点は19年である。光熱水費の削減額の累計（差益）は50年間で1,938億円、年平均33.8億円/年になる。この差益を大規模修繕、建替え時の建設費増額分に当てる。年間約400億円の大規模修繕、建替えを行う場合、

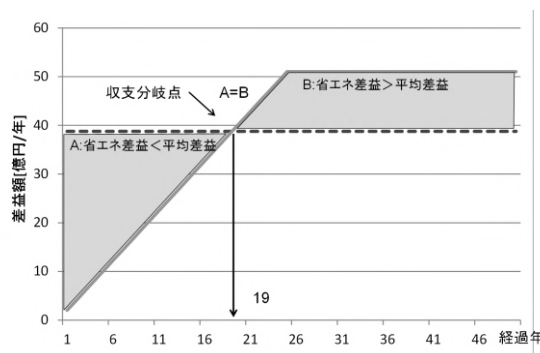


図4 光熱水費の削減額の推移

9.7%の建設費増額率に相当する。言い換えると、大規模改修、建替え時に、単価を約10%増額し、30%の光熱水費の削減ができれば、50年間の光熱水費の削減額と環境建築の建設費増額分は同額になる。

図5に光熱水費の削減率と建設費増額率の関係を示す。この結果、建物の寿命が長くなるほど、また光熱水費の削減率が高くなるほど建設費増額率が増加する。

ここでの検討は、エネルギー単価上昇率、金利などは考慮していないが、今後のエネルギー単価上昇を想定すると、政策として十分成立する。

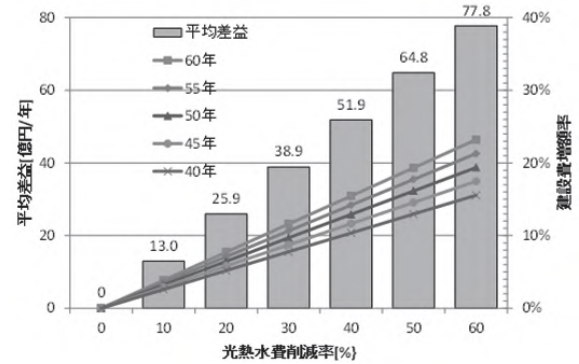


図5 光熱水費の削減率と建設費増額率の関係

(7) まとめ

札幌市の市有施設を例に、光熱水費を削減した差益を環境建築建設の財源にする方法を説明した。札幌市の市有施設は札幌市全体の4.1%に相当し、大規模事業者者に位置づけられる。その大規模事業者が率先して建築物の光熱水費削減を実施し、他の事業者、住宅オーナーの模範となることが求められる。

光熱水費削減には、建物の基本的な熱性能を向上し、熱負荷を削減することが最も重要である。その上で、高効率機器の導入、再生可能エネルギーの利用が展開される。建物は一度建設するとその寿命が長い。50年先の「さっぽろエネルギー未来構想」実現には、今から実施可能なことを着実に実現するしか方策はない。

2 障がい者福祉施設の省エネルギー化、省コスト化

羽山 広文 北海道大学大学院工学研究院、教授、博士(工学)

森 太郎 北海道大学大学院工学研究院、准教授、博士(工学)

【要約】

福祉施設「太陽の園」の建設の計画・建設のプロセス、および運用評価の結果を紹介する。運用評価の結果、入所者およびスタッフにとって快適な範囲を確保しながら、従来の同施設のエネルギー消費原単位 $2400\text{MJ}/\text{m}^2\text{年}$ と比較し50%の省エネルギーを実現した。公共施設でも十分安価に環境に配慮した省エネルギー建築「環境建築」を実現可能なことを示した。50年先の省エネルギー社会実現には、現在建設される建物の省エネルギー化が不可欠である。

(1) はじめに

「太陽の園」は障がい者支援施設と障がい児入所施設が合築された施設である。この施設は様々な機能があり、且つ多様な利用者に対応するため、温熱環境の要求度が高い。一方、施設は利用料と市町村からの補助による運営が基本となり潤沢な資金があるわけではない。したがって運用エネルギーの削減は、単に省エネルギーへの配慮にとどまらず、サービスの質の向上に必要不可欠である。そのため、計画段階で様々なシミュレーションを実施し、療養施設での高断熱の効果を確かめ、効果を実測しつつ、最適な運用方法を探った。

本稿では、施設の計画、建設のプロセスで、建て主およびそれを支える建築設計者が環境に配慮した方針を持つことで、現状と比較しエネルギー消費量を約50%削減できた例を紹介する。

(2) 施設の概要と建設方針

本施設は北海道伊達市に建設されたRC造3階建て、延床面積 $8,136\text{m}^2$ の福祉施設である。北海道社会福祉事業団が建て主であり、北海道の補助事業として2012年1月に竣工した(写真1)。

建設の企画は、北海道社会福祉事業団が主体になり、環境に配慮した省エネ型建物の建設を目的に、設計者の選考をプロポーザルで募集した。その際の主要な条件は、下記の4点であった。



写真1 施設外観

- ①本施設の入所者および運営スタッフが快適で安全に利用することができること
- ②北海道の補助事業で建設される施設であることから、その建設仕様およびコストは北海道が定める範囲にとどめ、経済性を追求すること
- ③ファシリティマネジメント(FM)、建築物総合環境評価(CASBEE札幌版)を活用し、総合評価を実施すること
- ④環境に配慮し、従来の同施設のエネルギー消費原単位 $2,400\text{MJ}/\text{m}^2\text{年}$ と比較し50%削減した $1,200\text{MJ}/\text{m}^2\text{年}$ を実現すること

以上の方針を考慮し、施設のFMとして省エネルギーを最重要視し、基本計画段階で建物、空気調和設備・給湯設備を検討した。竣工後は実績値の把握を行い、ステークホルダーのミーティングを通じて省エネルギー、省コストを図った。なお、FM実施の主体は北海道福祉事業団「太陽の園」、サービス提供者は北海道大学建築環境学研究室(省エネルギー計画、運用検証、省エネルギー知見の提供)、創建社(建物の基本計画、実施計画)、池田暖房(給湯設備運用)である。

(3) 実施項目と効果

(3)-1 基本計画時のFMの実施

基本計画時にFM評価を実施し、省エネルギー、省コスト、長寿命な建物、設備に誘導した(図1)。さらに、CASBEE木構版において、Sランクを獲得した(図2)。

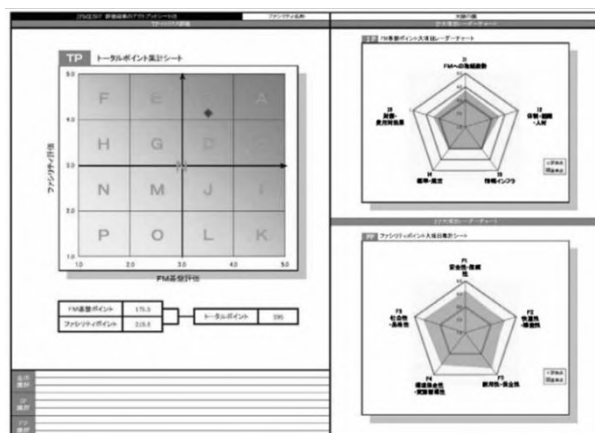


図1 FMの評価結果

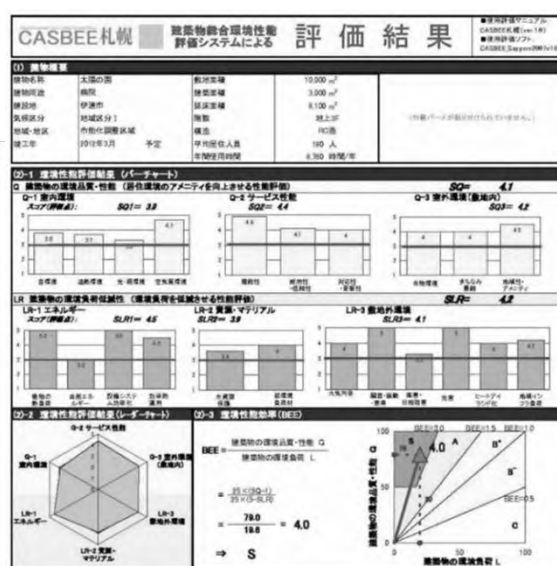


図2 CASBEE札幌版での評価結果

(3)-2 大きな熱容量を活かした暖冷房・換気システム

計画段階で様々なシミュレーションを実施し、療養施設での超高断熱（壁150mm、屋根：250mm）の効果を確かめ、また、高断熱の結果としての大きな熱容量を活かすための床冷暖房、換気システムを構築した。また、開口部の熱負荷を最小限に抑制するため、断熱サッシ、Low-eペアガラスを採用した(図3)。

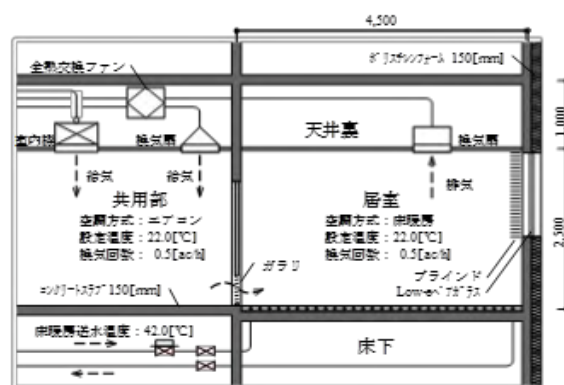


図3 居室、共用部の暖冷房システム

(3)-3 施設全体の一次エネルギー消費量とコミッシングによる経済性の向上

1200MJ/(㎡年)以下のエネルギー消費量を達成するため、計画段階から電力、熱量の詳細な測定ができるようにセンサー等を配置し、また、施設の特性上それらを管理部門においてモニタリングできるようにした。その結果、施設全体の温熱環境は、入所者およびスタッフにとって快適な範囲を確保していることを確認した。また、管理者、職員と定期的にディスカッションを重ね、無理のない運用を実現し、省コスト、省エネルギーを達成した(図4)。

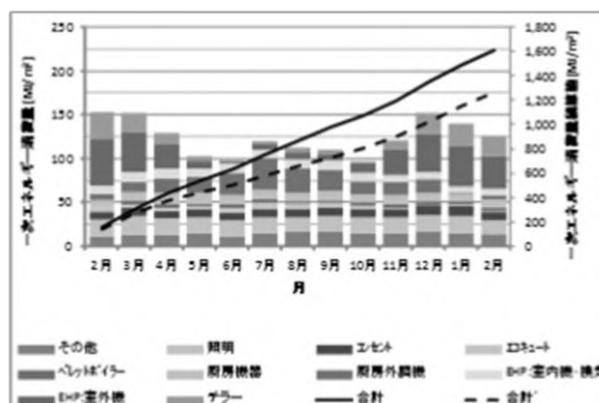


図4 用途別一次エネルギー消費量

(3)-4 ペレットボイラーとCO₂HPのハイブリット給湯システムの導入

一次エネルギー消費量の少ないペレットボイラーと省コストな運用のできるCO₂HPをハイブリットに使用し、ピークカット、一次エネルギー削減、省コストを達成した(図5)。

ペレットのストックヤード



図5 ペレットボイラーシステム

(4) 建設費

同施設の建設費は、北海道の積算方法で入札目標価格を決定した。設計施工費を含めた価格は、約21万円/m²であり、当時の建設単価としても適正な価格であった。

(5) まとめ

現在、建築の省エネルギー技術を活用することで、大きな建設費増加を伴わずとも、50%程度の省エネルギーが可能である。この施設は竣工後50年程度利用される。現在、日々建設される建物を省エネ化することが、50年先の省エネルギー社会を構築することに繋がる。

3 民生部門におけるエネルギー自給可能性検討と住宅のネットゼロエネルギー化方策

長野 克則 北海道大学大学院工学研究院、教授、博士（工学）

【要約】

「さっぽろ・エネルギーの未来」の検討にあたり、将来のまちづくりの方向性を示すために、再生可能エネルギーの地産地消による民生用エネルギー供給可能割合を示し、札幌における民生用エネルギー供給においては、まず個別住宅はゼロエネルギー化へ、中心部の業務用建物や医療、宿泊施設においては再生可能エネルギー源によるコジェネや蓄熱を伴うヒートポンプシステムの導入がふさわしいという方策を示した。次に、個別住宅のネットゼロエネルギー化の具体的な方策を示すと共に、札幌市内における実例からそのプロセスを解説した。最後に、GSHPを核とした熱エネルギーネットワーク構想を紹介し、その有効性を説明した。

はじめに

- 「さっぽろ・エネルギーの未来」の検討にあたり、将来のまちづくりの方向性を示すために、まず、
- (1) 再生可能エネルギーの地産地消による民生用エネルギー供給可能割合と札幌における民生用エネルギー供給方策
- の検討を行った。この結果から、札幌では個別住宅のネットゼロエネルギー化が最も確実で有効であるということがわかったので、次に札幌における
- (2) 個別住宅のネットゼロエネルギー化の方策と実例
- において、その技術的な方策と具体的な成功例を紹介した。

(1) 再生可能エネルギー・排熱の地産地消による民生用エネルギー供給方策の検討

(1)-1 札幌市の条丁目毎の暖冷房・給湯、および電力需要密度の推定

札幌市の課税台帳のデータを基にして、表1.1に示す6種類の建物用途別に条丁目毎の延べ床面積を整理した。次に、当研究室が保有するこれら6種類の建物用途別の年間エネルギー消費原単位（表1.1）と月別変動費から各月ごとの日平均の暖冷房・給湯・電力消費原単位を計算した。そして、条丁目毎の建物用途別延べ床面積とそれに対応する建物用途別暖冷房・給湯・電力消費原単位を掛け合わせることで条丁目毎の土地面積あたりの年間、および各月の日平均暖冷房・給湯密度(Mcal/m^2)、および電力需要密度(kWh/m^2)が求まる。

	暖房	冷房	給湯	電力量
	$\text{Mcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	$\text{Mcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	$\text{Mcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
事務所	63	33	20	138
店舗	63	83	27	216
医療	11	0	198	73
宿泊	54	63	128	160
集合住宅	97	0	37	31
個別住宅	82	0	37	26

表1.1 建物用途別の年間エネルギー原単位

(1)-2 地産地消できる再生可能エネルギー賦存量の推定

一方、地産地消型の再生可能エネルギーの利用システムを図1.1のように考えた。まずは、発電として太陽光発電システムと小型風車、熱については太陽熱、下水熱、可燃ごみの焼却熱を利用するとして、以下の条件で賦存量の原単位を算出した。これに、条丁目毎の建物延べ床面積を乗じることにより、発電電力と利用可能熱量が求まる。

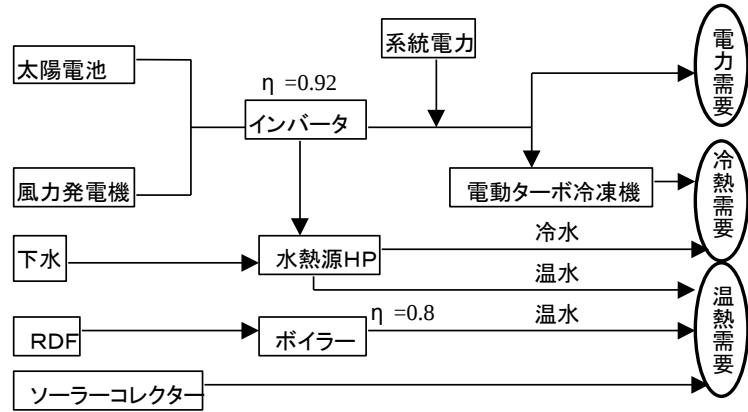


図1.1 地産地消型の再生可能エネルギーの利用システム

- ①太陽光発電：太陽電池モジュールは建物面積の90%の面積分だけ、屋根面、または屋上に真南に傾斜角35°で設置するものとした。月別の発電量は北大にて測定された日射量、気温データ、および太陽電池の仕様値からJIS C 8914により算出した。ただし、インバーターの変換効率は0.92とした。
- ②風力発電：定格発電容量1kWの小型風車を個別住宅には1戸あたり1台、それ以外の建築では建築面積100m²あたりに1台ずつ設置するものとした。ただし、平均風速が小さい都心部などでの導入は効果が小さいので、年間風速が平均で3.5m/s以上の地域（例えば、茨戸、篠路、拓北、愛の里、東苗穂、東雁来など）のみに導入するものとした。月別発電量は代表地点として茨戸地区の月別平均風速データから地上高13mの風速を推定して、小型風車の発電特性から算出した。
- ③太陽熱集熱器：太陽熱集熱器は建物面積の10%の面積分だけ、屋根面、または屋上に真南に傾斜角35°で設置するものとして集熱量を求めた。
- ④下水熱：下水熱は水熱源ヒートポンプによって温熱または冷熱利用に供するものとした。賦存量は厚別処理場の処理実績データから推定した下水温度と建物用途別の下水排出量から算定し、使用する水熱源ヒートポンプのCOPを4.0として可能量を求めた。
- ⑤可燃ごみの焼却熱：可燃ごみはRDF（ごみ固形化燃料）化して用いるものとした。平成7年度の札幌市ごみ処理実績と一人当たりのごみ排出量から、建物用途別の可燃ごみ排出量を推定した。RDFの単位重量発熱量は札幌市の実績値を用い、ボイラーの熱効率は0.8として計算した。

以上の計算条件から算出した地産地消できる再生可能エネルギー賦存量の原単位を表1.2に示す。

	太陽光発電	風力発電	太陽熱給湯	下水(温熱)	下水(冷熱)	RDF
(単位)	(kWh/m ²)	(kWh/台)	(Mcal/m ²)	(Mcal/m ²)	(Mcal/m ²)	(Mcal/m ²)
集合住宅	81 (南向き:傾斜角35°)	750 (1kW:13m)	628 (南向き:傾斜角35°)	13.92	0.00	7.55
事務所施設				6.22	5.35	33.56
店舗施設				9.33	8.04	54.54
医療施設				31.08	0.00	12.94
宿泊施設				19.89	16.79	12.59
個別住宅				14.92	0.00	6.71

表1.2 札幌における地産地消できる再生可能エネルギー賦存量原単位

(1)-3 再生可能エネルギー依存率

ここでは、条丁目毎に年間の電力、熱需要と年間の再生可能エネルギー熱・電力賦存量のマッチングを行い、マクロな再生可能エネルギー依存可能率を、札幌市全域と中心部（JR線路以南・中島公園以北、創成川以西・石山通以東）について算出した。

図1.2(a)に示す札幌市全域における結果を見ると、個別住宅で依存可能率は66%と高い値となった。中でも、本設置条件にした場合には太陽光発電、太陽集熱器の貢献が高い。またヒートポンプによる下水熱利用も価値のあることがわかった。業務用建物においても郊外まで含めると容積率もそれほど大きくはないため事務所、店舗建物でも依存可能率はそれぞれ38%、33%という比較的高い値となった。しかし、給湯熱負荷と電力負荷の

大きな宿泊施設では19%と低い値であった。全延べ床面積の割合でも個別住宅が大きいために札幌市全域の平均依存可能率は43.3%となった。しかし、中心部の結果を示した図1.2(b)から、中心部では容積率の大きな業務用建物が多く個別住宅が小さいために、エネルギー負荷密度が高くなり、全体の依存可能率は23.0%と全域に比べて約半分の値となった。建物用途別の特徴をみると事務所、店舗施設など可燃ごみ排出量の大きい建物ではRDFからの熱供給の可能性が高い。一方、宿泊、医療施設などの給湯負荷の大きい建物では下水熱からの熱回収による可能性が高いことが示された。

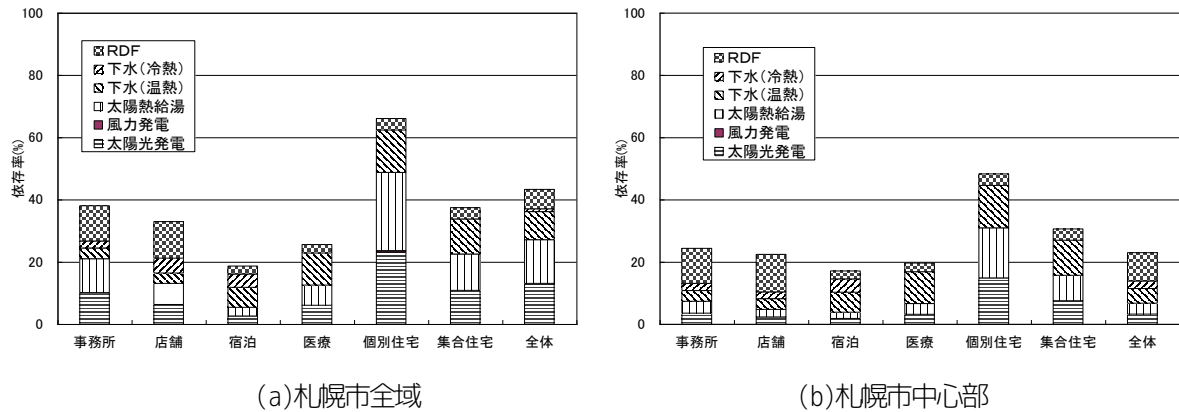


図1.2 年間の再生可能エネルギーの依存可能率

(1)-4 CO₂排出量削減率の推定結果

条丁目毎の暖冷房・給湯・電力量需要がわかっているのので、電力と熱需要のエネルギー源毎のCO₂排出原単位を乗じることにより現状のCO₂排出量を算出できる。他方、地産地消の再生可能エネルギーを利用した場合は、利用した分だけCO₂排出量を削減できるわけであるが、ここでは再生可能エネルギーシステムの構築（イニシャル）に関わるCO₂排出量を設備システムの耐用年数（太陽光発電システムは25年、その他は全て15年とする）で除した値を年間の再生可能エネルギー利用による削減量から減じてCO₂排出量削減率の算出を行った。計算結果を図1.3に示す。札幌市全域のCO₂排出量削減率41.1%であった。ここで、地域ごとの削減率をみると中心部はほとんど白くなっており削減率が20%未満でありここで設定した再生可能エネルギー利用システムでは大幅なCO₂排出量の削減は難しいこと、一方、個別住宅の割合が多い郊外では濃い黒が分布しており削減率が80%以上となっていることから、ここで設定したシステム非常に有効であることがわかる。

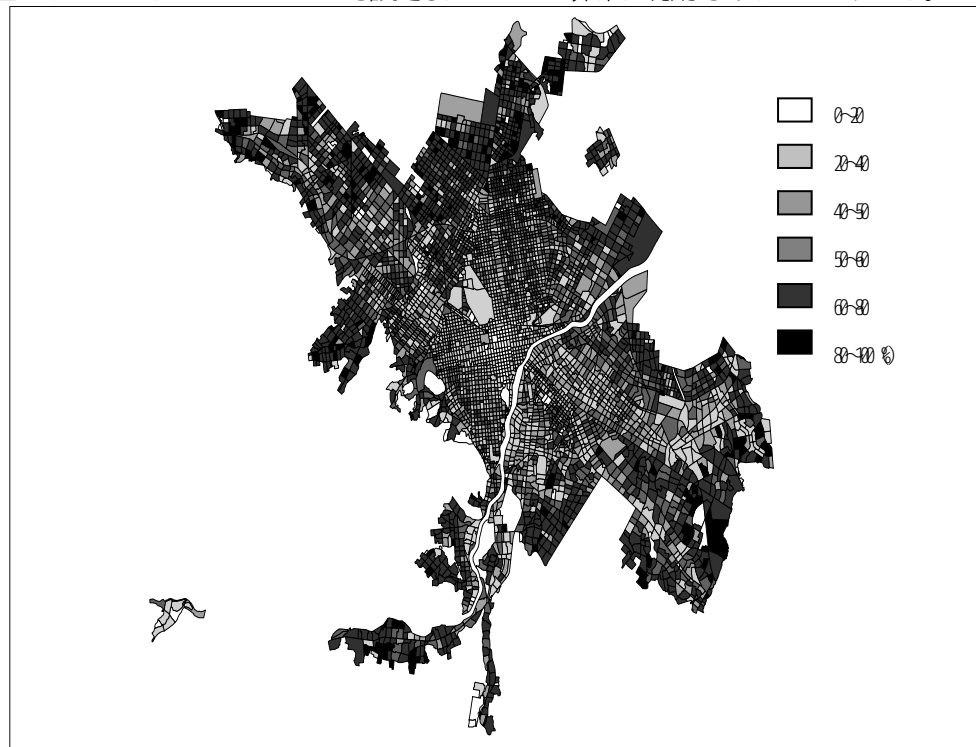


図1.3 CO₂排出量削減率マップ

(1)-5 方策の提言

これらの試算結果から、CO₂排出量削減のためには、以下の再生可能エネルギーシステム導入の方策が浮き彫りとなった。

- ・戸建て住宅や低層の建物では、太陽集熱器による給湯、排熱や再生可能エネルギー熱を活用したヒートポンプによる暖房、そして太陽光発電システムが有効であり、建物のエネルギー需要を現在よりも低減させることによってネットゼロエネルギー化が十分に目指すことができる。
- ・中心部の容積率の大きな業務用建物や病院、宿泊施設などは、地産地消の再生可能エネルギーだけは消費エネルギーを十分に賄えないため、地域の可燃ごみやバイオマス燃料による熱供給発電、それをバックアップする天然ガスを燃料とした燃料電池などのコジェネ、または地下蓄熱を有するヒートポンプ熱供給施設との連携が必要不可欠である。

ここで、地下蓄熱を有するヒートポンプ熱供給施設について、コメントを加える。

- ・札幌市の中心部の地下数十mの浅い層には未利用の地下水が豊富に賦存する。地下水の温度差だけを利用した地下帯水層蓄熱とヒートポンプによる暖房システムの可能性は高いと考える。この場合、帯水層の水温は夏季には冬期の採熱で低くなっており、逆に冬期には冷房排熱の蓄熱により高くなっている。したがって、夏期には自然冷熱供給による建物の冷房、冬期には地下水を直接、路盤に循環することによる融雪システムも可能となる。今後、札幌市中心部の浅い帯水層の詳細な調査と共に、大局的な豊平川扇状地の地下水調査結果を踏まえて、帯水層蓄熱とヒートポンプシステムの数値解析によるフィージビリティスタディを行い、実証試験、そしてビジネスとしての実施の構築までの企画が待たれる。

(2) 独立住宅のネットゼロエネルギー化の方策と実施例

(2)-1 はじめに

1973年度から2011年度までの民生部門のエネルギー消費量の伸びは2.4倍（家庭部門2.1倍、業務部門2.8倍）であり、現在では全エネルギー消費量の33%を占めている。ここで、住宅のエネルギー消費量を見ると、全国平均で世帯当たり年間で44GJであり、その内訳は24%は暖房、34%は給湯用とエネルギー消費量の半分以上が45℃以下の低温の熱として使われている。中でも、北海道においては全エネルギー消費量の内、住宅用途の占める割合は21%と全国平均のよりも7ポイントも高い。これは産業部門のエネルギー消費量が小さいこともあるが、暖房需要が大きいため住宅の世帯当たりの年間エネルギー消費量が64GJと全国平均の1.6倍に上ることによる。住宅のエネルギー消費量の内、暖房・給湯のエネルギー需要量はそれぞれ50%、24%と両方で全体の75%にも達することから、北海道においては住宅の暖房エネルギーの低減が急務で、かつエネルギー消費量とCO₂排出量の削減のためには最も効果的である。

今、エネルギー源をみると、北海道の住宅においてはいまだ灯油が55%を占めているのが実情である。調理やコンセント系統の用途を除いて考えると、暖房・給湯用途の灯油依存度は75%以上にも達すると予想され、CO₂排出量の大幅な削減とエネルギー保障の観点から灯油への過度の依存からの脱却は急務である。

(2)-2 住宅のネットゼロエネルギー化

建物の冷暖房・空調・換気によるエネルギー消費、そしてCO₂排出量の削減には、

- (1) 建物の高性能化とパッシブ手法による低熱負荷化
- (2) 高効率機器の採用による省エネルギー化
- (3) 再生可能エネルギーや排熱の利用

が原理原則であるのは言うまでもないが、特に寒冷地の住宅の場合は、その具体的方策は明快であり、地域性を考慮したパッシブ化計画と、そこに現在の最高レベルの機材を上手く組み合わせた設計することでネットゼロエネルギー化が、現在の経済価値においも受け入れられる回収年数で実現可能となってきた。

これら3つの方策の具体施策を以下に述べる。

- (1) 建物の高性能化とパッシブ手法による低熱負荷化
 - ・壁、床、天井の断熱強化
 - ・高断熱性能の窓
 - ・南面への窓の配置と建物内部熱容量の確保

- ・ 庇や外ブラインドによる夏期の日射取得制御
- ・ 通風経路の確保
- (2) 高効率機器の採用による省エネルギー化
 - ・ 高効率暖房・給湯熱源機；潜熱回収型ボイラー、ヒートポンプ、家庭用コジェネなど
 - ・ LED照明
 - ・ 熱回収型換気システム
 - ・ 排気浄化・循環型レンジフード（電気厨房用）
- (3) 再生可能エネルギー、排熱利用
 - ・ 太陽光発電システム
 - ・ 小型風力発電
 - ・ 太陽熱集熱器
 - ・ 地中熱、地下水熱利用
 - ・ 雪氷冷熱利用
 - ・ 排気熱回収・排水熱回収
 - ・ コジェネ廃熱利用
 - ・ 蓄エネルギーシステム；蓄熱、蓄電

(2)-3 ローエネルギー建物におけるヒートポンプシステムの優位性と地中熱利用

高効率ヒートポンプは省エネルギーのみならず、蓄熱と組み合わせることによりピークカットやピークシフトにも効果的である。これらは3.11以降、最重要課題の一つともなっている。熱源システムとしてのヒートポンプの性能は建物や空調システムの熱特性と利用方法に大きく左右される。暖房を例にとると、建物の熱性能が高ければ単位面積当たりの熱負荷は小さくなるので、暖房温度を低くすることができるので高い効率(COP)が期待できる。ここで、積雪寒冷地においては高いヒートポンプの効率がどこでも得ることができる大地を熱源とする地中熱利用の有効性が徐々に理解されてきている。例えば、ローエネルギー建物の認定制度の一つにスイスのMINIERGYがある。認定基準は明快で、延べ床面積1㎡あたりの年間の暖冷房・給湯・換気に要する消費電力量を19 kWh/㎡以下とすることある（電気利用システムの場合で電力への変換効率が0.5の場合）。MINIERGYでは暖房システムの第一選択枝は地中熱ヒートポンプシステム（以降、GSHP）となっている。どんな高断熱建物であっても再生可能エネルギーを利用する高効率なヒートポンプ導入なくしてこの認定基準をクリアするのは難しい。このように、ローエネルギー建物と地中熱ヒートポンプは正に低燃費車のボディと熱機関・駆動部の関係に似たものとなっている。

(2)-4 GSHP を核とした都市型ローエネルギー住宅

著者はこれまでの研究を基に札幌に家族4人が住むローエネルギー住宅を計画、設計、建設し2007年末から居住を始めた（写真2.1）。居住部の延べ床面積は206㎡である。

図2.1に環境設備システムの概要を示す。ローエネルギー化のコンセプトを以下に示すが、可能な限りパッシブ要素を採用した上で、地中熱、太陽熱と換気排熱を複合的に高効率ヒートポンプシステムで利用する。

- 1) パッシブ化：外断熱RC造、 Q 値0.88 W/(㎡・K)、 U 値1.2 W/(㎡・K)の木製サッシLow-E 3重ガラス（アルゴンガス封入）の窓、庇、1F直床コンクリート、2Fコンクリートスラブ、夏季の通風経路の確保
- 2) 換気：アースチューブとパッシブ調湿機能を有する地下ピット換気チャンバーに接続された高効率顕熱交換機械換気システム、排気浄化・循環型レンジフード



写真2.1 都市型パッシブ・ローエネルギー住宅

- 3)暖房：地中熱と換気排熱を熱源とするインバーターヒートポンプユニット（ 0°C – 35°C における50Hz時の熱出力5kW, COP 4.4）による低温床放射暖房
- 4)給湯：太陽熱集熱器（真空ヒートパイプ型・集熱面積 3m^2 ）・蓄熱槽300Lと地中熱+換気排熱回収ヒートポンプ（定格熱出力4.6 kW）・貯湯槽460L
- 5)再生可能エネルギー発電：太陽光発電システム（発電設備容量2.94 kW）

なお、本住宅に導入した最大熱出力合計27kWのヒートポンプは、4基のダブルU字型地中熱交換器（各深さ75m）を共有の熱源としている。このとき、地中熱交換器1mあたりの採熱量は最大負荷時で約60 W/mとなる。

図2.2に2008年度の年間エネルギーフローを示す。購入電力量は年間8,300 kWhで、暖房用、給湯用、換気用の消費電力量はそれぞれ3,050, 1,450, 270 kWh/a、延べ床面積あたりでは13.7, 6.5, 1.2 kWh/($\text{m}^2\cdot\text{a}$)で合計21.4 kWh/($\text{m}^2\cdot\text{a}$)となった。この値は札幌の気候と家族構成を考えると非常に小さな値と言える。ヒートポンプシステムのSPFは暖房で3.80、給湯で3.67と高い値を達成できた。一方、現在の発電容量3kWの太陽光発電システムの実績から、発電容量を10kW強に増設し、熱源システムの最適運用と照明のLED化などによるさらなる省エネルギーを進めればNet Zero Energy化を達成できることがわかる。

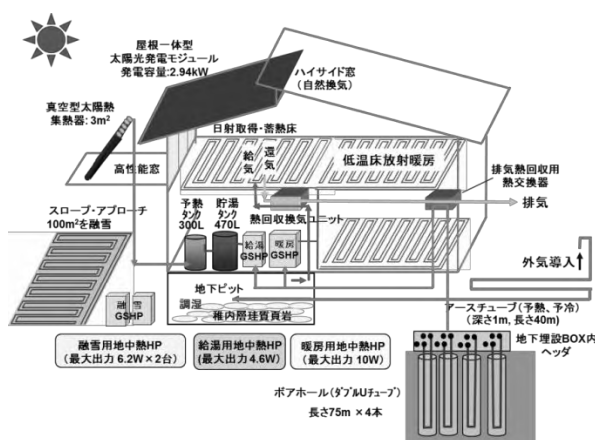


図2.1 環境設備システムの概要

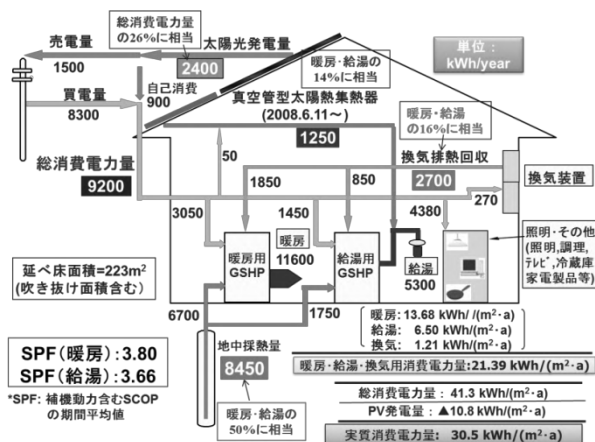


図2.2 年間エネルギーフロー

(2)-5 Net Zero Energy の普及に向かって

写真2.2は筆者が計画・設計・コミッショニングに携わったnear Net Zero Energyを目指し2012年、喜茂別町鈴川地区に建設された公営住宅（2世帯用、延べ床面積 $70\text{m}^2 \times 2 = 140\text{m}^2$ ）である。この住宅は坪60万円という通常の建設費用でnear Net Zero Energy化を可能とするために、先の都市型ローエネルギーのエッセンスを導入することを成功させた好例である。高断熱に加えヒートチューブを備えた高効率熱回収型換気装置により住宅の熱損失係数Q値を $0.58\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ まで小さくした上でローエネルギー住宅向けに開発された、最大熱出力5kWの地中熱ヒートポンプユニット1台で2世帯の床暖房を賄っている。厳寒期でも平均 30°C の床暖房送水温度で室温を 22°C 以上に保っている。このときの平均熱出力は2.4kWであり消費電力量は0.6kW程度と非常に小さい。このため、本公営住宅では共益費のみ徴収して、特に暖房費は徴収していない。都会からUターンしてきた子育て世代の入居者が安全で安心して健康的に子供たちと生活できることに加え、経済的な負担も少なく農業研修に従事することに大いに貢献している。



写真2.2 喜茂別町のnear Net Zero Energy公営住宅

おわりに 地中熱を核としたスマート熱ネットワーク構想

図2.3は、筆者が考えるスマート熱ネットワークのコンセプトである。これは地盤温度に近い熱源水を各建物に循環し、建物側に設置した分散型のヒートポンプを、風力発電やメガソーラーなどの再生可能エネルギーによる発電電力で稼働させるものであり、従来型の冷温水を分配する熱供給システムに比べて図中にある様な優位点を持つ。もし、発電量が十分にありながら熱需要量が少ない場合は躯体の熱容量や蓄熱槽に、あるいは地中熱交換器群を用いて地中に蓄熱して時間差をもって熱利用することができる。そのため、蓄電池だけに頼らない分散型の蓄エネルギーシステムが構築できる。一方、このシステムをヒートポンプ側から見た場合にはGSHPの一つであるといえるが、地盤の蓄熱効果を短期（夜昼）、長期（夏冬）に上手に利用して効率をより高められるのが大きな特徴である。例えば、夏季であれば、日中の冷房排熱の放熱と夜間の給湯用ヒートポンプ稼働による採熱は望ましい効果を生む。給湯ヒートポンプによる採熱量が十分ではない場合には、夜間に小さな冷却塔を稼働することにより地盤温度を下げることもできる。これは自然の冷気を用いた夜間蓄冷の一つであるとも言える。

札幌市近郊においては建設が進められる予定の石狩湾新港エリアの洋上発電所やメガソーラー、さらには廃材や木くずを用いたバイオマス発電などからの大規模なグリーン電力の受け入れが課題となっているが、ここで紹介した地中熱を核とするスマート熱ネットワークを利用することにより、グリーン電力の変動や熱需要の変動にも柔軟に対応できる地産地消型のエネルギーシステムが構築できるといえる。現在、筆者の研究室でフュージビリティスタディを進めているところである。

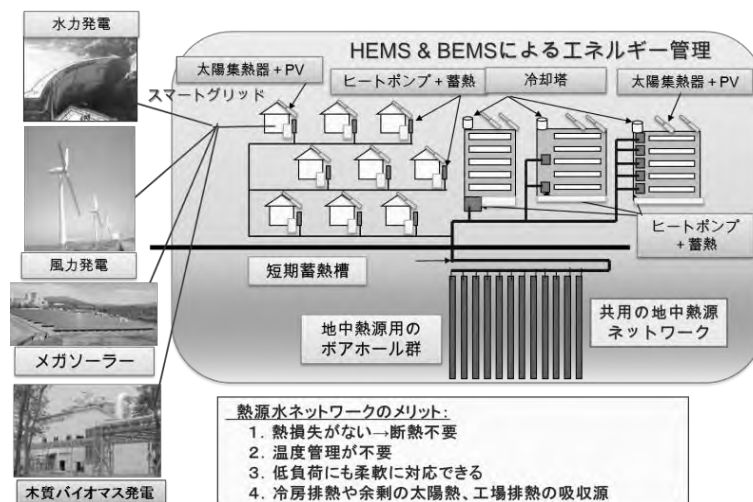


図2.3 地中熱を核とするスマート熱ネットワーク構想

4 雪冷熱の活用

濱田 靖弘 北海道大学大学院工学研究院、教授、博士(工学)

【要約】

寒冷地における除排雪に関わる予算は、非常に大きく、札幌市では、年間約160億円もの雪対策費を必要としている。札幌市では、人と環境を中心に据えた都心づくりを推進しており、雪氷冷熱エネルギーの有効利用も重要な課題である。雪氷冷熱の搬送費用など課題は多いが、これまでに多角的な可能性評価が行われており、今後の発展が期待される。

(1) はじめに

日本の積雪地帯の面積は国土の約半分を占めている。雪が降り積もることによって、雪国独特の文化や産業が育まれる一方、冬の生活や社会活動に大きな支障が生じている。これらの問題を克服するために、地域の特性に応じた様々な工夫が講じられてきた。寒冷地では冬期間に雪氷を貯蔵し、夏期に冷熱として利用する概念が古くから存在していた。雪氷を貯蔵する技術は、古来から見られ、日本書紀にも記述がある¹⁾。

雪氷は大きな冷熱を保有しており、この冷熱を夏期の冷房や農産物の貯蔵に利用できれば省エネルギー・二酸化炭素排出量削減に貢献し得る可能性を有している。雪氷冷熱利用は1986年以降に多く試みられるようになった。当初、氷室システムは農作物、特に長芋、馬鈴薯等の根菜類の低温貯蔵を主な利用法として始まったが、その後、米の貯蔵や花きや苗の抑制栽培を含む幅広いものに利用されるようになった¹⁾。それ以後、姫山らによる一連の研究²⁾、北欧における大規模な導入事例³⁾などが特筆される。最近では、事務所、集合住宅などの冷房に利用する技術が各地で注目を集めている⁴⁾。このような機運の高まりから、2002年の新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法の政令改正により、雪氷冷熱エネルギーが新エネルギーとして認定された。

(2) 雪氷冷熱エネルギーの利用方式

冷熱利用の方式は次の六つに分類されている⁴⁾。

a 自然対流方式

特別な機器を用いず、貯雪庫・貯氷庫の冷熱（氷室）または貯雪庫に被せた雪の冷熱（雪室）に接して生ずる冷気を自然対流させ、室温を0℃近域に保持して貯蔵物の保存等に活用する方式である。低温および高湿度環境のため、長芋、馬鈴薯等の根菜類に適している。

b アイスシェルター方式

冬期間の外気を利用して貯氷室内の水を凍結させる。夏季に庫内の冷熱を活用する方式である。自然対流方式とはほぼ同時期に開発され、現在、中国で馬鈴薯の大規模貯蔵に実用化されている。

c 熱交換冷水循環方式（融解水）

雪が解けてできた冷水を循環させる。熱交換器などを通して戻ってきた水を、貯雪室の雪を溶かすために用いる。

d 直接熱交換冷風循環方式

送風機を用いて貯蔵室と貯雪庫または貯氷庫の間で空気を循環させる。貯蔵室から戻ってきた空気を雪氷に接触させることにより冷却する。

e 熱交換冷水循環方式（間接）

貯雪庫などにパイプを設置し、不凍液などの液体を循環させ、熱交換器を通して冷熱を回収する。

f 人工永久凍土貯蔵システム

パイプ内の冷媒が土中の熱を奪い、蒸発したパイプの上部に移動し、熱を放出したあと再び液化しパイプ下部に下がる。この繰り返しにより地盤の温度が低下し凍土化する。土のほかに吸水ポリマーなども利用する。

上記の方式を組み合わせた事例も見られる。

(3) 雪氷冷熱エネルギーの導入事例

日本における雪氷冷熱エネルギーの活用施設は、北海道、東北、新潟などで見られる。このうち、今後も、公共施設などの冷房の他、農産物の低温貯蔵への導入が計画されており、様々な分野に雪氷冷熱エネルギーの導入が進むものと期待される。

図1は洞爺野菜貯蔵施設¹⁾である(写真中のコンテナ内は馬鈴薯)。既存の貯蔵車を断熱構造に改造(ウレタン100 mm)し、貯蔵車の奥に雪を搬入した簡易型の自然対流方式の事例である。

士別共同貯蔵施設(1997年改修、断熱ウレタン65 mm、床面積1374 m²)では、雪氷庫を建設するのではなく、スチールコンテナ(横1.3、縦1.8、高さ1.5 m)350個に雪約450トンを入れ、貯蔵施設内に四段積みしている。いずれも、主として馬鈴薯の長期貯蔵に利用されている。庫内の適度な湿度が野菜の皮の乾燥を防ぐことから、端境期に市場に出荷して高い評価が得られている。

図2は熱交換冷水循環方式(融解水)を適用したJAとまこまい穂別支所の玄米低温貯蔵施設¹⁾である。雪氷の融解水をポンプで循環し、倉庫内の熱交換器ユニットを介して低温を保つもので、この施設は、雪氷を利用した施設としては最初に政府指定倉庫に認定されたものである。



図1 洞爺野菜貯蔵施設¹⁾



図2 玄米低温貯蔵施設(穂別町)¹⁾

(4) 雪氷冷熱利用に関する今後の展望

寒冷地における除排雪に関わる予算は、非常に大きく、例えば、札幌市では、年間約160億円もの雪対策費を必要としている。都心の雪を河川敷などの雪堆積場に大量のトラックで運搬する費用などがこれに含まれる。春になると河川敷では雪山を砕き、融解させる作業が毎年繰り返されているが、水質管理などの課題もあり、今後、このような雪堆積場は縮減していかざるを得ないと考えられる。札幌市では、人と環境を中心に据えた都心づくりを推進しており、雪氷冷熱エネルギーの有効利用も重要な課題である。雪氷冷熱の搬送費用など課題は多いが、これまでに多角的な可能性評価が行われており、今後の発展が期待される。筆者らが提案する図3、4⁵⁾の構想なども将来的な実現が期待される。また、近年のヒートアイランド等による暑熱環境対策として、雪氷を活用した環境低負荷型クールシェルター等の形成も今後の課題であると考えられる。

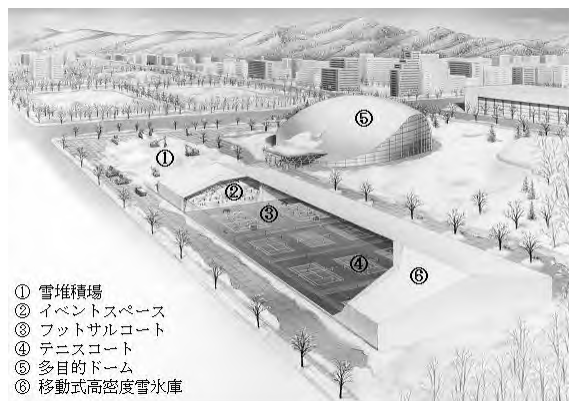


図3 都市冷泉構想(冬期)⁵⁾

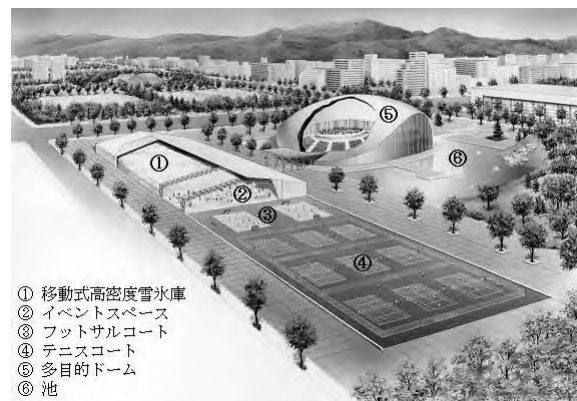


図4 都市冷泉構想(夏期)⁵⁾

参考文献

- 1) 橋本良明：雪氷利用による蓄熱—氷室システム—，日本エネルギー学会誌，81(8)，pp.707～712，2002
- 2) 堀山政良：雪による冷房，空気調和・衛生工学，72(3)，pp.215～223，1998
- 3) K. Skogsberg and B. Nordell：The Sundsvall Hospital Snow Storage, Cold Regions Science and Technology, 32, pp.63～70，1996
- 4) 北海道経済産業局：雪氷冷熱エネルギー活用事例集4増補版，2010
- 5) 濱田靖弘・工藤一博・窪田英樹・中村真人・橋本良明：移動式高密度雪氷庫システムに関する研究，空気調和・衛生工学会論文集，118，pp.29～35，2007

5 蓄エネルギーとしての水素の活用

濱田 靖弘 北海道大学大学院工学研究院、教授、博士(工学)

【要約】

積雪寒冷地における環境負荷の低い新たなエネルギー有効利用都市の実現に向けて、今後の普及・展開が期待される水素エネルギーシステムの現状評価と可能性について述べるとともに、燃料電池、各種再生可能エネルギー利用技術等との複合利用の可能性を概説する。

(1) はじめに

北海道は積雪寒冷地に位置しており、冬期間における暖房、給湯に多くのエネルギーを必要としている。また、エネルギー消費量を部門別に見ると、全国と比較して民生、運輸部門が大きく、産業部門の割合が小さくなっている。このような特徴からエネルギー需要が集中する都市民生部門での省エネルギーは重要な課題であると言え、その中で地域熱供給事業等の重要性は高まりを見せている。札幌市では、次世代エネルギーシステムである「札幌市版スマートエネルギーネットワーク(Smart Energy Network :SEN)」を実現する事による大幅な省エネルギーを目指した取り組みを進めている。SEN とは水素を含めた先進的な分散型エネルギーシステムと大規模集中電力、熱エネルギーの融通などを組み合わせ、エネルギーの効率的利用や新エネルギーの有効活用を促進するシステムである¹⁾。このネットワークはバーチャルグリッド<電気>とサーマルグリッド<熱>という2つの側面を有している。バーチャルグリッドは分散して設置されている多様な規模・種類(ガスエンジン・タービン・燃料電池)の熱電併給(Cogeneration System : CGS、またはCombined Heat and Power : CHP)と負荷を、系統電力ネットワークを介してあたかも一つのグリッドに接続されているかのようにみなし、地域における仮想発電所としてエネルギーマネジメントセンターからの統合制御を行うネットワークである。サーマルグリッドはエネルギー供給拠点からの熱供給ネットワークにより、CHP 排熱の融通や低負荷時の機器負荷率向上による性能アップに加え、プラント一元管理による合理化や緊急時の相互バックアップも視野に入れた先進的なネットワークである。電気と熱を複合的に制御する事でエネルギーの有効利用に多大な貢献をもたらすと大きな期待が寄せられている。同じく、スマートグリッド²⁾もエネルギーの有効利用という観点では類似しているが、SEN と異なる点は熱融通がないことや系統の供給信頼性の向上が主な目的となっている点などが挙げられる。SEN は系統連携に分散型電源等を用いて最大限の省エネルギーの向上を目的としており、地域の様々な階層、レベルに対応可能である。そして、地域複合的なエネルギー融通には各家庭との連携も考慮に入れるべきであり、エネルギー制御を積極的に住宅で行うことでSEN 全体としての省エネルギー性も向上する。

今後一層の省エネルギーを推進するために鍵を握る技術として電力貯蔵、水素エネルギー利用などが挙げられる。特に、水素生成・貯蔵システムを構築することによって次世代燃料電池を核とした再生可能エネルギー等との連携が可能となる。

(2) 水素貯蔵技術の現状

燃料電池と再生可能エネルギーのより効果的な複合利用を図るためには水素貯蔵技術の導入が有効と考えられる。図1に各水素貯蔵技術の水素貯蔵能力を示す。現在、水素貯蔵技術として、圧縮水素、液体水素、水素吸蔵合金、炭素系材料、ケミカルハイドライド(有機系水素化物、無機系水素化物)が存在する。都市・地域規模での利用を図る場合には、貯蔵能力に優れていること、貯蔵・回収速度が高いことなどが要件となる。一方、住宅用など分散型の定置式向けの水素貯蔵材料として求められる条件としては、常温・常圧付近で水素の貯蔵・放出が可能であること、つまり安全性が高く、操作が容易であること、水素貯蔵量が多いこと、水素の貯蔵・放出の所要動力が小さいことなどが主として挙げられる。1.0 MPaを超える気体は高圧ガスとされ、高圧ガス法の規制を受ける。このような定置式向けの材料として、水素吸蔵合金の導入可能性が高いと考えられる。表1に水素吸蔵合金の特徴を示す。水素吸蔵合金は重いことが問題とされるが、定置式の場合には、水素吸蔵合金の水素貯蔵量の大きさと安全性の高さという特徴を十分に生かすことが可能と考えられる。

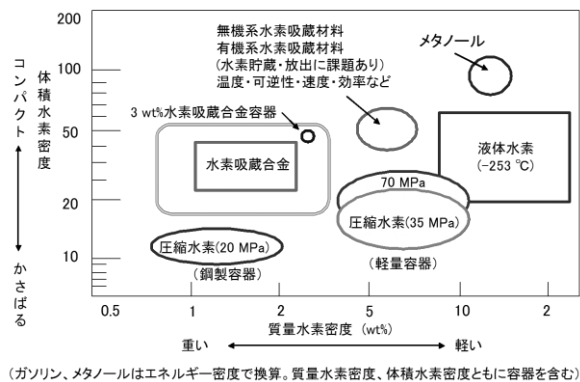


図1 各水素貯蔵技術の水素貯蔵能力

合金種	利点	欠点
LaNi ₅ 系	常温近辺で作動 活性化が容易 反応速度が速い 耐久性が高い	比較的高価 貯蔵容量が少ない
TiFe系	原料が安価 常温近辺で作動	活性化が困難 2段圧のプラトー
ラーベス相	反応速度が速い 活性化が容易	被毒されやすい ヒステリシスが大
Mg系	高水素重量密度	作動温度が大きい 反応熱が大きい
BCC相V系	水素吸蔵量が大	高価で低耐久性

表1 水素吸蔵合金の特徴

(3) CHPに関する近年の開発動向

近年、燃料電池の省エネルギー性が注目を集めている。表2に代表的な燃料電池の種類を示す。りん酸形、固体高分子形、熔融炭酸塩形、固体酸化物形などが挙げられるが、高い発電熱効率が期待される固体酸化物形は、動作温度が高いことから比較的大規模な次世代コージェネレーションを視野に開発が進められている。一方、固体高分子形燃料電池は、低温域での作動、比較的容易な起動・停止、高い総合効率と環境安全性、静音性などの特性を有し、実用化に向けた技術開発が国内外で進められている。運転温度、発電熱効率は、それぞれ常温～90℃、30～35%程度であり、家庭・自動車用などとしての実用化が期待されている。

種類	りん酸形	固体高分子形	熔融炭酸塩形	固体酸化物形
電解質	りん酸	高分子膜	Li-Na/K系炭酸塩	ジルコニア系セラミックス
運転温度	150～200℃	常温～90℃	650～700℃	750～1000℃
発電熱効率	36～38%	30～35%	40～50%	40～50%
特徴	運転実績豊富	小型・軽量 低温動作	高効率	高効率
用途	業務 工業	家庭・小型業務 自動車・携帯	工業 分散電源	工業・分散電源 小型業務・家庭
開発状況	導入普及段階	実証・実用化 開発段階	研究開発 実証段階	研究開発 実証段階

表2 燃料電池の種類

(4) 水素エネルギー有効利用の課題と展望

図2に水素貯蔵を導入した住宅用システムの一例を示す。このシステムは燃料電池・太陽光などの再生可能エネルギーを徹底的に活用し、連系した系統と有効に連携を保ちつつ、出来るだけ負荷を与えない自律分散型である。エネルギー変換効率などの問題もあるが、商用系統等の安定的な協調システムの構築に加えて、このような貯蔵系の検討も今後必要となると考えられる。また、コミュニティ、都市規模のSENにおいては、大型の高効率燃料電池を核として、バイオマスエネルギー、太陽・風力エネルギーなどの再生可能エネルギーなどから水素を生成し、貯蔵する複合利用を想定した場合のシステムの概念が必要となる。エネルギー有効利用都市をめざしたシステムの考え方の一つとして注目される。

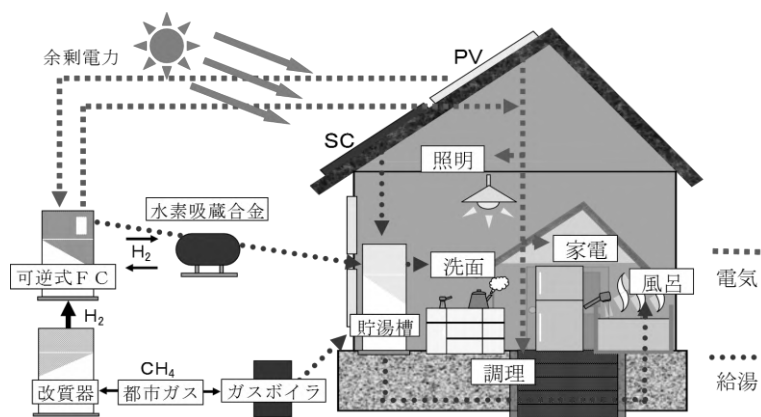


図2 水素貯蔵を導入した住宅用システムの一例

本稿では、積雪寒冷地における環境負荷の低い新たなエネルギー有効利用都市の実現に向けて、今後の普及・展開が期待される新しいCHPシステムの現状評価と課題について述べるとともに、各種再生可能エネルギー利用技術との複合利用の可能性を概説した。CHPシステムは、さらなる性能向上が期待できるが、実用化への今後の課題としては、交流端発電熱効率の向上、運転特性の向上、熱利用に関する検討、耐久性の検証などが挙げられる。蓄電池には損失が避けられないことから水素貯蔵は大きな可能性を秘めていると考えられる。

参考文献

- 1)北海道ガス：札幌市版スマートエネルギーネットワークにおける分散型エネルギー最適化統合制御についての事業化フェージビリティスタディ，新エネルギー・産業技術総合開発機構(2011)
- 2)林泰弘：スマートグリッド概論，エネルギー・資源，32(2011)，pp.22～26

6 経済発展と両立した再生可能エネルギー利用社会の形態

近久 武美 北海道大学大学院工学研究院、教授、博士（工学）

【要約】

北海道は再生可能エネルギーの宝庫であり、これを利用したエネルギー社会を形成することによって、経済的にも発展できる可能性がある。これは、現在単に海外に燃料代として流出しているエネルギー支出を地域内のエネルギー設備建設や運用に向けることになるために、地域雇用の促進効果を持つためである。本稿では将来のエネルギーシステムや交通システム像のほか、電力自由化に伴う変化について論じた。また、そうした社会が実現されるまでの過程におけるエネルギーコスト上昇影響に対する対応、ならびに便益の適切な分配の重要性等を示した。さらに、道外資本に対抗して道民がメリットを享受する上で、行政の重要性について論じた。

(1) 再生可能エネルギー社会の構成と経済振興

(1)-1 理想近未来社会像からのバックキャストिंग

北海道における理想的な将来社会像を考えると、豊富な再生可能エネルギーならびに広大な耕地をベースとしてエネルギーおよび食糧基地となり、それに基づいて豊かな雇用のある地域となることに異論はないはずである。すなわち、太陽エネルギーや風力発電設備の建設、維持、運用に多くの人が雇用され、また、そこから生み出される水素によって交通部門が運用され、豊かな社会が維持されるような将来社会像である。これは、現在、エネルギーに対して支払った道民の代金の大部分が単に燃料代として海外に流出しているものが、再生可能エネルギー設備の建設や運用を通して自分達の雇用として還元されるのであるから、エネルギーのコストが少々高くなったとしても成立するはずなのである。

では、そうした社会を形成するまでの過程をバックキャストिंगすると、しばらくの間はエネルギーコストの上昇影響の方が雇用の拡大よりも先に現れ始めるので、当面苦しい期間を乗り越えなければならない試練がある。特に、道産品のコストアップにもつながり、他地域に対する経済競争力が低下することが懸念される。しかし、上述したように雇用の増大というメリットが一方においてあるのであるから、それを産業競争力維持に何とか振り向ければよいはずである。すなわち、道民に還元される金額が現在と比べてかなり増加することになるので、それを産業競争している部門の支援に一部還元すれば成立するはずなのである。

これを実現するには自然の経済原理や企業努力に任せていても無理があり、行政による適切な方向付けとロードが重要である。ただし、しばらくの間は新しい仕組みに十分に対応できない部門が必ず現れるので、こうした変革は時間をかけて行うべきである。

(1)-2 半世紀後の道内エネルギー構成

では、半世紀後の道内はどのようなエネルギー構成となっているのであろうか。おそらく、現存する原子力発電設備の減価償却は終了しており、耐用年数も過ぎて、廃炉工程に入っているものと思われる。一方、風力エネルギーは極めて豊富であるために、江差や留萌、稚内、根室等に近い地域に多数の風車が林立しているものと思われる。なお、バードストライクや低周波騒音の健康影響が問題視されているが、この時代には人口が減少し、こうした風車群の近隣には住宅がなくなるほか、鳥の生息あるいは渡りルートを回避した場所を広く選択できるので、そうした問題はほとんどなくなるであろう。

また、太陽エネルギーについては建物の屋上に建設するなどといった非効率なことはせず、未利用な広大な土地に市民の出資を募って、どんどんと建設されるようになる。太陽電池が広大な土地に集中的に展開しているので、個別屋上に設置されるよりも設備の維持管理も容易となる。地熱も一部利用されるが、立地の制約があるほか定期的に熱水井戸を掘り直す必要があるために、それほど大規模な発電量にはならないものと考えられる。このほか、森林や農業廃棄物から生産されるバイオマスも、量的にはわずかである有効に利用されるようになるであろう。

(1)-3 電力変動の吸収技術

上述した自然エネルギーは変動が大きいために、余剰電力を電池に蓄電したり、水素や温水に変換して利用することが考えられる。電池が現在のように比較的高価である場合には、短い周期の電力変動の緩和技術とし

て電池が使われるが、時間単位を超えた変動の吸収には水素変換・輸送・交通部門利用が考えられる。この場合、自動車は水素で走行する燃料電池自動車になる。また、トータルの効率は低下するものの、エネルギーコストが安い場合には余剰電力によって水素変換したものを再度電力変換し、系統に戻すことも考えられる。また、風力は冬季に多いので、余剰分をヒートポンプや直接熱変換して蓄熱し、暖房利用することになる。

一方、上記電力貯蔵・電気再変換によっても電力が不足する場合のバックアップ電源の整備も必要となる。これにはコストが安く、高出力なガスタービンが適しているものと考えられる。

なお、電池技術が格段に進歩し、低コストで高密度の蓄電池が開発された場合には、電池により系統電力を安定化できるほか、交通部門でも電気自動車の利用が拡大することが考えられる。ただし、充電時間や航続距離を考えると、燃料電池自動車の割合が高くなるものと推察される。

(1)-4 北海道における公共交通

北海道の人口は現在よりも大幅に減少すると推計されており、いくつかの中核都市とそれ以外の地方部に分化するはずである。そのような状況では、現在よりも公共交通機関が発達するとは思われない。都市内の交通は現状に近く、中核都市間を結ぶものとして現在のJR型の電車が維持されるが、地方における電車やバスはオンディマンドのバスに代わるものと思われる。これは利用希望者情報を集中管理し、必要に応じてバスを運行するのである。これにより、利用者の目的地や人数、希望時間に応じて適切なサイズの公共自動車を効率よく運行できるものと思われる。

このほか、現在、耐用年数を迎えたガソリンスタンドがどんどんと閉鎖されており、地方都市からガソリンスタンドが消滅することが危惧されている。しかし、これは地方の生活の基盤であるため、ガソリンもしくは水素スタンドが採算性とは別に最低限の数、それぞれの地域に設置されるものと思われる。

(1)-5 各種課題と克服法

上記のようなエネルギー社会を実現する過程において、雇用の増大やエネルギー自給率の向上などの一方で、エネルギーコストの増大に伴う種々の課題が発生する。この克服のためには、道民が支払ったエネルギーコストを原資とした適切なインフラ投資、ならびに産業競争力維持のための補助金分配等を適切に行わなければならない。これには、規制や税制あるいは助成を含めた適切な仕組みの構築、効率的な補助金分配、弱者救済の社会保障制度、市民の投資を募り適切に運用する機関の設立などが重要となる。このいずれについても、主体は行政であり、産官学が協同してこれらの制度設計を行うべきといえる。

(2) 将来の自立分散エネルギーネットワークシステム

(2)-1 地域熱供給とコージェネレーションネットワーク

北国における有望な省エネルギーシステムとして、大都市部における大型のコージェネと地域熱供給との組み合わせが考えられる。これは北ヨーロッパにおいて普及しているものであり、ガスを燃料としたコージェネレーションで発電を行い、その排熱を地域暖房として熱供給するものである。しかし、ヨーロッパと比べて格段に高額な熱導管の設置コストを考慮すると、必ずしも我が国において地域熱供給が適しているとは言い切れない。

これに対して、熱需要の大きな個別建物にコージェネレーションを設置し、そこから発電される余剰電力を系統に逆潮流して電力系統内で有効利用するシステムが、地域熱供給システムと同等の省エネルギー効果を持つと試算されている。これを筆者らは分散協調型コージェネレーションネットワークシステムと名付け提唱している。これは各コージェネレーションの運用をインターネット回線等を通して中央制御するものであり、再生可能エネルギーがもたらす系統の電力変動の緩和機能も併せ持つシステムとすることができる。

ただし、こうしたシステムは電力会社にとって単に市場が縮小することになるだけなので、現状のままでは逆潮流を目的とした系統との接続が難しく、コージェネレーションが普及することにはならない。したがって、電力会社にとってもコージェネレーションの拡大がメリットとなるようなインセンティブ付与の仕組みを考える必要がある。こうした仕組みの構築はやはり行政の適切な制度設計にかかっているといえる。

(2)-2 再生可能エネルギーとコージェネレーション

コージェネレーションは基本的に化石燃料の有効利用技術として位置づけられるので、化石燃料の利用を考えないような未来社会では、再生可能エネルギーによって作られた電力を用いたヒートポンプが有利となる。ただし、余剰エネルギーを利用して多量に水素が製造されるような構造ができた場合には、水素を燃料とした燃料電池コージェネレーションを上述したようにネットワーク化し、地域の電力ならびに熱を供給する可能性もある。

この点については、再生可能エネルギーの導入量や変動の程度、エネルギー変換・貯蔵技術とコストの兼ね合いによって決まるものといえる。

(2)-3 融雪と除雪

温水による融雪は低温度の排熱を利用して行うことができるが、暖房等の排熱を利用することはあまり有効ではない。確かに家屋から壁面を通して外気に漏えいする熱を用いて融雪できるのであれば、排熱を利用したことになる。しかし、こうした排熱利用は事実上困難であり、実際には暖房後の低温水を用いて融雪することとなる。この場合、融雪から戻ってきた循環水の温度が下がる分、暖房に要するエネルギーが増加することになるので、無駄に捨てている熱を有効利用したことにはならないのである。また、冬季の熱需要はコージェネレーションの定格熱電比と比べてはるかに大きいので、何らかの形で熱を供給してやらなければならない。これには電気や燃料、あるいは水素等の高級なエネルギーを投入することになるので、融雪にエネルギー投入することは必ずしも得策とは言えない。

また、歩道や車道を融雪するには膨大なエネルギーが必要であり、機械的な除雪の方がはるかに少ないエネルギーで同量の除雪を行うことができる。したがって、純粋に放熱廃棄しているエネルギーの利用でない限り、むしろ現在のような機械的な除雪の方が省エネルギーであるといえる。そう考えると、できるだけコンパクトな街づくりをし、冬季は機械的な除雪を行う方がエネルギー的にも雇用促進の点でも有効である可能性がある。融雪と除雪に関するエネルギーの精査が必要である。

(3) エネルギーマネジメント

(3)-1 BEMS, HEMS, 分散協調指令

エネルギーマネジメントというと、ビルや住宅のエネルギー使用状況を管理するBEMSやHEMSを連想するものと思う。これらは直接高度なエネルギーマネジメントをするわけではないが、エネルギーの利用状況を把握し、ユーザーの省エネルギー行動に役立つものである。また将来、エネルギー価格が需要と供給の関係で頻繁に変動したり、あるいは小型分散エネルギーによって発電したものが系統に逆潮流されるような時代になった場合には、こうしたシステムが自動的に最適コスト状態となるように運用をマネジメントしてくれるようになるものと思う。一方、前述したような分散協調型コージェネレーションネットワークが中央制御されて運用される場合には、これもエネルギーマネジメントの重要な拠点といえる。

これらのいずれのシステムも個別ユーザーにとって単に省コストとなるためのものではなくて、エネルギーの需要と供給をうまく制御し、系統が安定するように自動修正機能をもつほか、社会トータルとしての省エネルギーならびに環境に対して最適となるように運用されることが重要である。そのためには、特にエネルギー価格の決定法と利益の適切な分配の仕組みの制度設計が重要である。

(3)-2 電力価格自由化によるディマンドコントロール

発送電分離ならびに電力価格の自由化が始まると、需要と供給に応じて電力価格が決まるようになる。この結果、需要が供給に比べて大きな時間ではエネルギー価格が上昇することとなるので、自動的に需要が抑制されるような作用が働く。こうしたメカニズムをうまく利用することによって、ディマンドコントロールがある程度可能となる。

また、需要に供給が追いつかなくなる場合に対応するために、何らかのバックアップ電源を確保することが必要となる。このためにバックアップ電源の市場が新たに設けられることとなり、送電事業者とバックアップ可能電源を保有する業者との間で、予備電源の売り買いが逐一行われるようになる。このバックアップ電源に

は減価償却が進んだ火力発電所（石炭火力を除く）のほか、比較的安価なガスタービン発電などが利用されるものと思われる。

電源の中に占める自然エネルギーの比率が高くなると、供給変動が大きくなるために電力価格も大きく変動することとなり、バックアップ電源市場の価値も大きくなる。当然ながら余剰の低コスト電力を貯蔵し、価格が上昇した際に系統に戻すようなシステムも大いに利用されるようになるであろう。

一方、原子力発電のように出力制御が難しい電源はこうした自由電力価格システムにおいてはかなり不利となる。これは自然エネルギーによる発電量が大きな時間では電力価格が安くなるために、出力制御できない原子力は原価を割ってでも電力販売をしなければならないためである。一昨年、北欧の電力市場において電力価格がマイナスとなった日が1日生じた。これはお金を払うから電力を消費してくれというものであり、原子力発電は特にこうしたリスクが高くなる。したがって、原子力発電のような大型で長期に運用する設備に関しては、こうした将来のエネルギーシステムの変化を正しく俯瞰したうえで、運用や負担の分配を適切に計画することが極めて重要といえる。この際、エネルギー事業者ならびにユーザーを含む全てのステークホルダーが公平に便益や負担を配分されるような仕組みの構築が大切である。

(3)-3 オンディマンド公共交通マネジメント

将来の人口減少を考えると、現在のような公共交通機関を広い道内にわたって維持することは得策とは言えない。人口が現状並みに維持される都市圏では省エネルギーな公共交通機関が現在よりも発達すると思うが、地方ではむしろオンディマンドの移動手段の提供の方が適しており、また便利であると思う。すなわち、出発地と目的地および希望配車時間を情報センターに伝達しておけば、乗り合いバスが最も効率的に客を運んでくれるのである。これらは携帯電話と連携しており、ユーザーはバスの現在の運行状況を閲覧できるほか、いつ頃迎えが来るのか容易に把握できる。こうしたシステムは現在に比べて運行効率がよく、省エネルギーとなる。都市間を結ぶ電車とこうしたオンディマンドバスとの結合によって、便利で効率的な交通体系を形成できるものと考えられる。

一方、自家用車には燃料電池自動車もしくは電気自動車が主体となるものと思われる。このいずれが中心となるかは、電池の性能に大きく依存している。低価格で高密度の電池が開発されるのであれば、自然エネルギーの余剰分を蓄電しておき、系統を通して電気自動車に電気を供給することが有利となる。しかし、高性能電池の開発が困難な場合には余剰エネルギーを水素変換し、燃料電池車で利用する社会の方が有望となる。なお、水素は電池と比べて長期の貯蔵が可能であり、また短時間で燃料充填できるので、ユーザーの満足度は高い。特に長距離を移動するバスやトラックは航続距離や燃料充填時間の観点から燃料電池が電気自動車に比べて優位になるものと思われる。

以上、エネルギーマネジメントは電力系統の需要と供給ばかりでなく、こうした交通部門をも含めたマネジメントになるものと考えられる。

(4) 行政の重要性

上述したように、適切なエネルギー技術の導入、便益の公平な分配、電力市場形成、新エネルギーシステム構築による経済発展と導入初期における対外的な経済競争力の維持など、あらゆることがうまく実現し機能していくには行政による適切な仕組みづくりが必要である。

さらに、これ以外にも大いに留意しなければならないことがある。それはこうした仕組みが機能し、事業性が出てきた場合に、真っ先に事業参入し大きな利益を得るのは道外の大資本である可能性が高いことである。たとえば電力の固定価格買い取り制度（FIT）の導入によって太陽光発電が有利となった際に、率先して大量参入したのは道外の大資本であった。これについても、行政が率先して事業体を設置し、道民から投資を集めて未利用地に大規模な太陽光発電設備を設置したならば、道民自身もこの仕組みの恩恵をさらに受けることができたのである。

北海道は食料とエネルギーの生産基地として豊かな土地になり得るという話が普通に語られ、筆者も同様に考えている。しかし、単に食糧基地・エネルギー基地となることの努力をただけならば、その大部分のメリットを道外資本が享受することとなり、道民は土地と労働力を提供するだけになってしまうのである。

この点を含めて、行政の長期的な視点に立ったリーダーシップの重要性は極めて大きい。産学官が良好に連携し、明るい北海道の未来形成のために適切な方向付けをしてもらいたいと願っている。

7 再生可能エネルギーなどの道産エネルギーの活用と地産地消の推進による経済循環の確立

吉田 文和 北海道大学大学院経済学研究科、特任教授、博士（経済学）

【要約】

再生可能エネルギーなどの道産エネルギーの活用を進めるためには、①数値目標設定と道の役割、②FIT運用条件の改善、③送電網整備と発送電分離、④北海道に適した技術開発と熱電併給、⑤総合エネルギー会社への転換といった課題を、市民や地元企業などと共に乗り越えていく必要がある。エネルギーの地産地消の推進による経済循環の確立には、再生可能エネルギーの取組について、自治体がイニシアティブをとり、地元の事業者による起業支援や地元が参画しメリットが得られるシステム、地元金融機関が融資しやすいスキームなどを工夫していくことが期待される。

(1) 再生可能エネルギーなどの道産エネルギーの活用

札幌が道内の再生可能エネルギーを積極的に選択し、さらには開発を促進している社会の実現をするためには、どんな課題があるのか。また、それを乗り越えるためのアイデアにはどのようなものがあるか。再生可能エネルギー導入の四つの条件から分析してみたい。

①数値目標設定と道の役割

第一の枠組み条件、目標に関しては、国に目標数値設定がないので、短期・中期・長期の見通しが立たない。道は目標を設定しているが、目標を達成するために何が必要か政策の手を打たなければすまない。道が再生可能エネルギーの導入目標を設定したのは前進である。次は、そのために何が必要かという段階だが、道が直接行うことは限られており、関係者の調整や管内での連携の面で道の役割がある。道北の日本海沿岸八市町村は風力発電の協議会をつくり、送電網の整備について何回か協議をしている。ドイツやデンマークのように、地元の市民、金融機関の参入が少なく、これをどう実現するか課題である。北海道グリーンファンドの市民風車は地元の参加を実現し、利益を地元に戻元する工夫がある。地元の参加があれば、風車の騒音やバードストライクなどの問題は、自分たちで解決や合意の道を探るが、外の企業が中心であると地元との摩擦が生まれる。地元の住民・企業の参加、お金の参加、利益・メリットの地元への還元、そして秘密にせず情報を公開する。ドイツ、デンマークで情報公開と住民参加がカギと言われてきたように、どこでも共通している。都市が地域と連携する地域分散型のエネルギー、都市は地域に投資する。札幌市も脱原発をいうだけでなく、周辺地域のバイオ、風車との投資連携を模索する必要がある。

②FIT運用条件の改善

第二の買取価格、融資条件については、FIT(再生可能エネルギー固定価格買取制度)運用条件の改善が必要で、ようやく洋上風力が別枠で新設された。また、公的融資や地元の金融機関を積極的に参加させる仕組みが必要である。金融機関の融資先としてFITが20年間の買取期間となっているのは重要な条件である。FITの買取制度設計の問題に関して、ドイツでは電力の容量（キャパシティ）市場を検討しており、これは発電所の待機料金を払う仕組みである。再生可能エネの供給量が50%を超すときがあるため、調整電源が必要になり、あらかじめ電力を確保しておいて待機料金を払う。発電していなくても待機料を払い、再生可能エネの操業を保障する仕組みである。

具体的なFIT運用条件の改善については、北海道内の自治体から、様々な提案、要望が出されている。具体的には以下のような点である。北海道の自治体に対するアンケート調査によれば、まず一般論として、(1)予算が不足している、(2)国の支援制度が不足している、(3)補助金等支援制度の新設・拡充などが指摘される。FIT制度に関しては、(1)固定買取価格の堅持、(2)買取価格設定に地域性が全く考慮されていない問題（例えば積雪地の架台）、(3)価格決定に当たっての事業者の知見を活用すべき、などの他に関連して、(4)各種許可の費用と時間がかかる問題、(5)設備の初期投資額が高い、(6)FITの設備であっても、自治体レベルの補助金をつけられるよう複数年可能なように、などの規制緩和、などの要望がある。これとは別に、送電網の拡充、出力抑制の対象としない、高圧送受電が可能なように、など電力システムの関連する要望が強い。また、再生可能エネルギー関連の原材料の確保、安定供給も課題として指摘されている。

③価値の高い投資～送電網整備と発送電分離

日本で最大の問題は、第三の条件の送電網への再生可能電力の優先接続が保障されていないことである。さらに調整電源の開発・設置として、たとえば揚水発電や天然ガス火力などの整備が必要である。再生可能エネルギーは自然条件に依存しているので、蓄電するか、送電網を増やすことが必要である。石狩湾新港で天然ガス火力発電が計画され、このような調整電源、予備電源の整備と送電網などのインフラ整備には国の支援が必要である。発送電分離にあたって、日本は50ヘルツと60ヘルツに分かれている。北電、東北電、東電は50ヘルツと同じで、事実上送電部門の連携はかなりできている。西日本の60ヘルツの各電力会社間でも電力のやりとりをしている。送電部門の技術協力は行われているので、送電会社を二社つくり優先接続する。トータルなエネルギー供給や研究開発には公的な機能を持たせ、国の資金も投入して、エネルギーの安定供給を保障し、その上で全接続の義務を負わせるようにする。現に電力会社が連携しているように、50ヘルツと60ヘルツの地域に区分して送電網を整備する。北本連携線は弱いのでここを強化することと、誰が管理するかが課題になる。

④北海道に適した技術開発と熱電併給

第四の条件の技術開発については、北海道の厳しい気候条件に適合した、電気だけでなく熱も利用する熱電併給が必要である。札幌駅前のJRタワーや大丸デパート一帯、そして札幌ドームは天然ガスで発電して廃熱を冷暖房として使っている熱電併給である。札幌駅から市役所にかけての地域は、事業所と事務所が多いので電気需要も多く、融雪から冷暖房までおよそ半分の量を電気でまかなっている。これを熱電併給に切り替え、電力会社のシェアが減ってしまう。しかし、電力会社も新しい分野として取り組むべきであり、電気のためのFITからエネルギーの総合利用、地域暖房、熱電併給の計画的普及は、都市計画とセットで行うことで、新しい土木需要、建築需要と雇用が生まれる。建物の断熱を徹底することでエネルギー効率が高まり、二酸化炭素の排出も抑制する。北海道は再生可能エネルギーのポテンシャルは大きいのに、北海道に適した技術開発やシステム管理が十分でないことが課題である。道内の再生可能エネルギーを調査すると、さまざまな教訓や要望が出ており、それを政策化していくことが求められる。企業、メーカー、住民といった関係者の連携が必要である。

⑤総合エネルギー会社への転換

また、電力会社と対立するのではなく、再生可能エネルギーがビジネスになることを提案していくことである。電力会社が今後も生き残る道は、総合エネルギー会社になることで、電気だけを考えてはいけぬ。しかし、60年以上にわたって地域独占体制でやってきたため組織は硬直し、しかも原発への依存度を高くしてきたため、電力会社の枠組みが崩れてきているのに変革の必要性を認めようとしないので、膠着状態である。北海道は再生可能エネルギーの宝庫という特性があり、国が再生可能エネルギーを最大限導入するといのであれば、北海道を先行して優先的に取り組めばよい。電力会社には蓄積した技術があるのだから、発想を変えることが問われている。

(2) 地産地消の推進による経済循環の確立

再生可能エネルギー利用の取り組みがすでに15年以上になる先進地北海道の経験から、第一に国の主導のもとでFITを含めた制度枠組み条件の整備、その前提となるエネルギー政策における位置づけと見通し、導入拡大の数値目標が重要である。

またFIT施行後の現状を見ると、その運用条件改善が課題となる。再生可能エネルギーの分野別に地域資源としてバランスのとれた利用を図るため、買取価格と期間の弾力的運用だけでなく、優先接続の原則を実現する送電線拡充のようなインフラ整備、発送電分離実現の検討が急がれる。

こうした国内での再生可能エネルギー拡大策と連携して、関連設備製品や新たな電力システム運用に必要な蓄電池などの製品で、国際競争力ある製造業育成も望まれる。さらに電力のみが対象のFITからエネルギーの総合利用へと拡大し、地域暖房や熱電併給の計画普及を図る必要がある。

以上のような国主導の施策は、あくまで地域の自治体・企業・住民の自主的な取り組みを支えるものである。地域で話し合い、地域の資金を集めて事業を進める仕組みづくりが求められる。再生可能エネルギーの収益を

地元に還元する各種の方式が生まれており、町財政に繰り入れる方法、協定を結び委員会をつくり、地域還元のプロジェクトを立ち上げるなど、がある。

また、北海道固有の厳しい気候条件（風況や気温など）にあった技術開発をメーカーと共同して行い、予想されるトラブルをあらかじめ予測して予防保全を行うなどメンテナンス体制の重要性も明らかとなっている。

「危機」はチャンスであり、電力危機をきっかけに省エネと再生可能エネルギーで地域再生に活かす道を下からつくり上げていくことが日本の未来を切り開く可能性を生むのである。

地域で再生可能エネルギー事業を進めるためには、これまで北海道内で先駆的に行われてきた多くの成功・失敗事例に学びつつ、事前準備・調査に時間とお金をかける必要がある。また、メンテナンス体制の整備も重要である。風力発電などでは、自然保護との両立も丁寧に対応する必要がある。

これまでの再生可能エネルギーの取組に関しては地元資本・地域住民の参加が少なかった。自治体がイニシアティブをとり、地元の事業者による起業の支援、地元が参画しメリットが得られるシステム、地元金融機関が融資しやすいスキームなどを工夫していくことが期待される。規模は小さくとも、地域での事業を支援できる専門企業の登場・育成なども求められる。

地域の状況を最も把握している地元の方の意見や情報を収集しつつ、デンマークやドイツでみられるような立地のためのゾーニングを自治体を実施することも期待される。

8 蓄電池とICT技術の組み合わせによる再生可能エネルギーの有効利用

北 裕幸 北海道大学大学院情報科学研究科、教授、博士(工学)

【要約】

電力系統とは、良質な電気を安定に経済的に環境に配慮しながら供給することを目的としたシステムであり、大きく、発電所、送電線、需要家から構成されている。すなわち、私たち電気の消費者も電力系統の立派な構成要素のひとつである。逆に言えば、私たち一人一人が電気の使い方を変えれば電力系統全体も変わる。私たち一人一人の電気の消費行動が、送電線や発電所といった他の構成要素に大きな影響力を持つことになり、より安定で低コストかつ環境に優しい電力系統が出来上がる可能性を持っている。しかしながら、目に見えない電気というものに対して、私たちはいつどのような行動をとればよいのだろうか。情報通信技術(ICT)は、こうした需要家の望ましい関わり方を適切にサポートする技術であり、省エネルギーや節電といった行動はもちろん、蓄電池を使って昼間使う電気を夜間にシフトすることや、太陽光発電を自ら設置しそこで作られた電気を上手に使うといった各需要家・各地域の特性やニーズをきめ細かく反映した行動を実現するものである。

(1) まえがき

北海道は再生可能エネルギーの宝庫である。環境省の平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書によれば、太陽光、風力をはじめとして、中小水力、地熱など、北海道に存在する再生可能エネルギーは、他の都府県のそれを大きく上回っている。北海道はわが国における食糧供給基地であるだけでなく、再生可能エネルギーの供給基地にもなり得るのである。しかしながら、この豊富なエネルギーを電気エネルギーに変えて使おうとすると、途端に電気特有の物理的な制約のもとに置かれ、その使用が制限される場合がある。

本稿ではまず、この電気特有の物理的制約について解説すると共に、この制約が再生可能エネルギーの利用にどのような形で影響を及ぼすのかについて、工学的な視点から言及する。次に、この制約のもとで再生可能エネルギーの利用を促進させるための技術として、蓄電池と情報通信技術(ICT)とを組み合わせたエネルギーマネジメントシステム技術について説明する。

(2) 同時同量制約と再生可能エネルギーの導入限界

電気特有の物理的性質とは、ひとことで言えば「電気は電気のまま貯めることができない」という性質である。すなわち、電気はガスや燃料のような他のエネルギーとは異なり、タンクなどに貯めておくことができないため、電気の供給元である発電所では、需要家の注文する量に合わせてその都度電気を生産しなければならない(同量性)。しかも電気を輸送する送電線は光の速度で電気を運んでゆくから、電気の生産は電気の消費とほとんど同時でなければならない(同時性)。このような制約を需要と供給の間の「同時同量制約」と呼んでおり、電気エネルギー特有の制約である(図1)。

この制約を満たすためには、供給側で需要家がいつどのくらい電気を使うのかをあらかじめ正確に予想することが必要であるが、勝手気ままな需要家の消費行動を予測することは一般に至難の業である。

ところで、発電所が作り出した電気は、いったん送電ネットワークの中に入ってしまうと、他の発電所が作り出した電気と混ざり合い、同質の単一な電気となる。

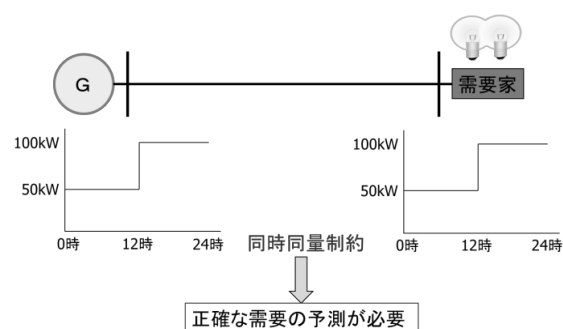


図1 電力の同時同量制約

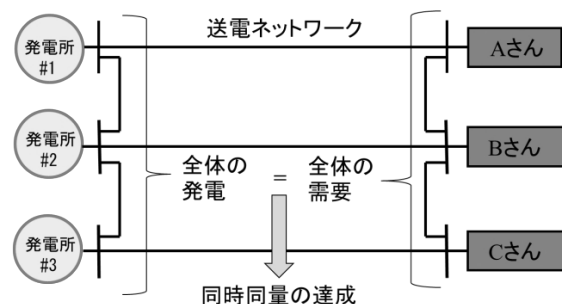


図2 電力系統全体での同時同量

つまり、図2のように送電ネットワークの中では「発電所#1で作られた電気」とか「Aさん向けの電気」といったような区別がなく、送電ネットワークの中ではどこでも同じ単一の電気である。

したがって、同時同量制約は、送電ネットワークに入るすべての電気、すなわち「すべての発電所で作られる電気の合計」とネットワークから出ていくすべての電気、すなわち「すべての需要家が使う電気の合計」が一致していれば満たされることになる。これは非常に都合の良い特性であり、供給側では送電ネットワークにつながる需要家全体の消費量を予測できればよく、必ずしも一つ一つの需要家の消費行動まで予測する必要はない。一般に、統計学では、一つ一つがランダムな動きをしても、それを多数まとめたものは、ある統計的な性質を持った動きになることが知られている。従って、送電ネットワークの規模が大きくなればなるほど、(一つ一つの需要は勝手気ままに電気を消費したとしても) 全体としてみれば、需要はおおよそ予測できるものとなる。これにより、先の同時同量制約を安定に満たすことができるのである。

ところで、再生可能エネルギー、とくに自然エネルギーを利用した太陽光発電や風力発電が送電ネットワークにつながるとどうなるだろうか。同時同量制約は再生可能エネルギーを含んだ場合も当然満たさなければならぬから、太陽光発電が電気を作り出せば、既存の水力・火力などの電源はその分の電気を作るのを即座に止めなければならない。一方、風が止まると逆に既存電源が即座に電気を作らないとバランスが取れなくなる。このように、これまでは需要家の消費行動に合わせて発電量を調整していればよかったものが、自然エネルギーの作り出す電気エネルギーに対してもバランスをとるような調整をしなければならなくなる。電気エネルギーの消費行動は人々の一日の生活サイクルや企業活動等に依存するものであるから、ある程度予測できるが、雲の動きや風速などの自然現象を予測することは非常に難しいと考えられる。従って、現状では、自然エネルギーの間欠的な発電特性に即座に対応できるように、応答性のよい電源をスタンバイしておかなければならない。つまり、送電ネットワークにつながる自然エネルギー発電は、既存の電源の調整能力の範囲内でしか受け入れることはできず、これが送電ネットワークへの接続を制限せざるを得ない理論的な根拠のひとつとなっている。仮に限界を超えて再生可能エネルギーを接続すると、場合によっては同時同量制約が満たされなくなり、結果として、再生可能エネルギーだけでなく送電ネットワークにつながるすべての電源や需要家が、停電などの甚大な影響を被ることになる。

(3) 再生可能エネルギーの導入量を増大させる方策

それでは、再生可能エネルギーの導入限界を増大させる方法はないのだろうか。まず第1に、電気は電気のまま貯めることはできないが、別の種類のエネルギーに変えて貯めることはできる。実用化されているものとしては、発電に使用した河川の水を再び上部の貯水池に汲み上げ、水の位置エネルギーの形で貯める揚水発電や、2種類の電極と電解液中の化学反応によって電気エネルギーを蓄える蓄電池などがある。これらは総称して電力貯蔵装置と呼んでいる。これによって、既存の発電機の調整能力を超えた需給のアンバランス分を、図3のように電力貯蔵装置に貯めたり、電力貯蔵装置から放出したりすることでバランスを保つことができる。

ただし、現状では電力貯蔵装置の導入コストが非常に高価であるという課題は残っている。第2に単一の地域内だけで同時同量制約を満たすのではなく、再生可能エネルギーの導入が少ない他の地域と協力して制約を満たすという方法が考えられる。すなわち、再生可能エネルギーの導入量に地域差がある場合には、既存電源の調整能力に余力のある地域と協力することで同時同量制約を満たすことができる可能性があり、これを電力システムの広域運用と呼んでいる。第3に再生可能エネルギーも面的に広がって多数導入されると、全体としては需要と同様にある統計的な特性を持ち、ある程度予測できる可能性がある。再生可能エネルギーの出力予測が可能になれば、調整用電源の負担が軽減され、再生可能エネルギーの導入量を拡大できる可能性がある。

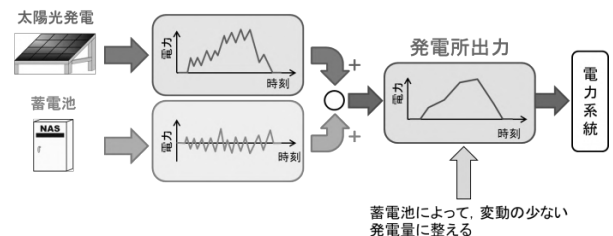


図3 蓄電池による制御

(4) 電力システムのスマート化技術

最近、電力会社の供給エリアよりも小さな単位（市町村、ビル、家庭、等）で、再生可能エネルギーを主体としたエネルギー供給を行おうとする動きが見られるようになってきている。すなわち、自身で消費するエネルギーは自身で生産するという、いわゆる「エネルギーの地産地消」の考え方である。需要と供給が地理的に近接し輸送に伴う損失が低減するため、コージェネレーション（熱電併給）を用いれば、電気エネルギーだけでなく熱エネルギーも同時に供給するより高効率なエネルギーシステムを構築できる可能性がある。

ところで、電力の地産地消を行う場合にも、発電量（供給）を電力消費量（需要）に同時同量で一致させなければならないことには変わりはないが、この場合、対象とする需要が、閉じられた狭い範囲内の「小規模なもの」となることから、その値を予測することは極めて困難となる。また、仮に需要を予測できたとして、供給側をそれと一致させることは、天気任せの再生可能エネルギーを主体とする限りほとんど不可能である。このように需要と供給の両方において、従来の大規模電力システムのそれとは大きく異なる特性を持つため、エネルギーの地産地消はそう簡単にできるものではない。必然的に、これまでと同様、電力会社の送電ネットワークに連系し、同時同量できない部分については電力会社の大規模電源等にカバーしてもらうことが必要となる。ただし、可制御な電源（蓄電池や分散型電源）を自ら導入し、需要家のエネルギー消費や一つ一つの再生可能エネルギー発電を監視・予測しながら、需要の動きに合わせて可制御電源をコントロールすれば、需要と供給を可能な限りバランスさせ、電力会社に依存する部分をかなり軽減させることができる（例えば、需要＜供給の場合には余剰分を蓄電池に充電し、供給＜需要の場合には不足分を蓄電池から放電する）。この技術をエネルギーマネジメントシステム（EMS）と呼んでいる。地産地消を行う単位によって、HEMS（Home EMS；家庭内のEMS）、BEMS（Building EMS；ビル内のEMS）、FEMS（Factory EMS；工場内のEMS）、CEMS（Community EMS；地域コミュニティ内のEMS）と呼ばれている。EMSを実現するためには、電力の監視制御装置（スマートメータ）や高度な情報通信ネットワークがインフラとして必要である。また、こうしたインフラを活用すれば、EMS側から需要家に対してエネルギーに関連する様々な情報を提供するようなサービスを行うことも可能である。最も簡単で代表的なものとしては、需要家のエネルギー消費を見える化することであり、需要家の積極的な省エネルギー行動を促すはたらきがある。また、生活の質を維持しつつ、エネルギーコストが最も安くなるよう、どの電気機器をいつどのくらい使用するのが最適かを提案あるいは自動制御することや、これに再生可能エネルギーの予測情報を組み合わせ、再生可能エネルギーの有効利用をはかっていくことも可能である。このように、目に見えない電気を、情報通信技術（ICT）を用いて見える化することは、賢く上手に電力を使用することにつながり、このことをスマート化と呼んでいる。

スマート化された次世代のエネルギー・社会システムの実現可能性を明らかにするために、平成23年度から、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、多くの住民、自治体、企業の参画による実証研究が展開されている。この中では、地域のエネルギー供給会社等が、CEMSによってリアルタイムで電気料金等を変化させ、その情報を受け取ったFEMS、BEMS、HEMSが、工場、ビル、家庭内の需要自体を間接的に制御する試みが行われている。これをディマンドレスポンス（DR：Demand Responce）と呼んでいる。DRにより、図4のようにピーク時間帯の電力使用を減らす「ピークカット」や、ピーク時間帯の電力使用を他の時間帯に移動させる「ピークシフト」が行われ、電力コストの削減や地域内で準備する可制御電源の容量を減らすことが可能とする。また、電力システム全体の需給が逼迫しているとき、DRを行えば、電力の安定供給、系統信頼度の維持に積極的に貢献することにもつながる。このことは、発電、送電側と需要側が協調して電力システム全体を安定に維持、運用する枠組みを提供することになる。

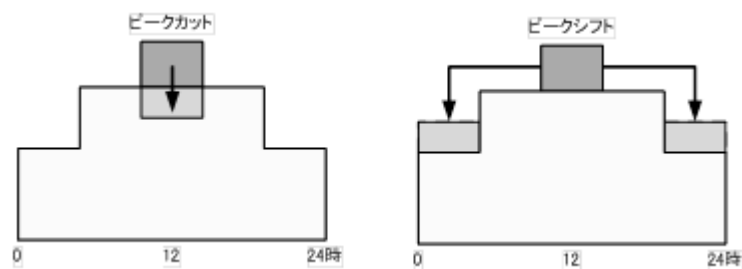


図4 ピークカットとピークシフト

(5) おわりに

将来の電力システムの形態は、三つの面において大きな変革が起こってくると予想している。まず一つ目は「集中から分散」への変化、二つ目は「全体から個別」への変化、三つ目は「一様から多様へ」の変化である。「集中から分散」への変化は、火力・原子力といった大規模集中型のエネルギーだけではなく、太陽光・風力・バイオマス発電などの地域に存在する小型の分散型エネルギー源をも活用した電力システムが将来重要になってくることである。「全体から個別」への変化とは、電力システムの個々の要素に対するウエイトの置き方が変化するということである。これまでは、上流(発電)から下流(消費者)まで全体として等しいウエイトの下でシステム構築がなされてきたが、例えば、需要家のニーズをきめ細かく組み入れ、需要家サイドが能動的にエネルギーの使い方を考えていくといった需要家の主体性が反映された電力システムの形態が考えられる。この場合、より需要家に近い配電システム側により多くの投資を行い、ICTを活用した配電システムのスマート化などの方向へ重点を移していくことが必要と考えられる。「一様から多様」への変化は、現在は全ての需要家に品質、環境性などの面で一様な横並びの電力が供給されているが、電力・エネルギーに対する、個々の需要家、個々の地域毎の、多様なニーズを上手に組み入れられるような電力システムのあり方も考えていかなくてはならないと考えられる。そして、そのような新しい変革がなされた新しい電力システムの下で、電力の安定供給、環境への配慮、そして競争原理の導入が、それぞれの立場で行われていくべきだと考える。

9 創エネ・省エネのための新しいライフスタイルに向けて

橋本 努 北海道大学大学院経済学研究科、教授、博士（学術）

【要約】

持続可能な社会のためのライフスタイルは、現代の若者たちのなかから芽生えている。「シンプル族」や「創造階級」などのスタイルがそれである。これらのライフスタイルは、実物消費から情報消費への移行を示しており、注目に値する。新しいライフスタイルを浸透させ、また低炭素な社会を実現するために、地方自治体は、コミュニティ単位でもって、新しい省エネ・創エネの技術導入を推進することができる。また地方自治体間で、低炭素化の実現を数値で争うような制度を整備することも、一案である。

はじめに：持続可能な地球のためのライフスタイル 1955年⁴⁵

これから先、石油や天然ガスはあと数10年後に枯渇すると予測され、ウランや石炭も130年以内に枯渇すると予測されている。ウランは原子力発電のための資源であるが、これを再利用するプルサーマルの技術を考慮に入れた場合でも、約160年後には原子力発電に頼ることができなくなる。持続可能な社会を考える場合、最長期にはこうした160年後の問題を考慮に入れて、創エネ・省エネやライフスタイルの問題を検討しなければならない。賢明にはできるかぎり資源の枯渇を避けて、持続可能な地球を保持したい。明治維新（1868年）から今日にいたるまでにすでに146年の年月が流れたが、現在、エネルギー面での「第二の文明開化」が求められるとすれば、私たちはこれから160年後の世界を見据える必要があるだろう。

地球全体で持続可能なエネルギー消費を指標化した「エコロジカル・フットプリント」によると、日本人は1人当たりのエネルギー消費量を、現在の半分に減らさなければならないという。もし私たちが1967年ごろの生活水準に戻るなら、地球を持続可能な状態に維持することができるだろう。ただしその当時は急速な近代化（石油化）によってライフスタイルそのものが変化していたため、「持続可能な社会」にとって定常的な目標となるのは、石油化がはじまる直前の1955年頃であるかもしれない。1955年のエネルギー消費量は現在の6分の1である。この時期の日本人のライフスタイルは、一つの目標となる。

もちろん太陽光などの自然エネルギーを大胆に導入すれば、私たちは現在の生活水準を維持しうるかもしれない。しかし技術への挑戦は、私たちのライフスタイルを変化させる要因にもなる。持続可能な社会の実現に向けて検討すべきは、環境技術を大胆に導入する心性を兼ね備えた、新しいスタイルの模索であろう。

シンプル族と創造階級——新しい生活を取り戻す

そのような新しいライフスタイルは、すでに、現在の若者たちのあいだで生まれているといえるかもしれない。その特徴を、1970年代からバブル経済期（1988-1993）までの時代（「ポスト近代」と呼ぶ）のライフスタイルと比較してみると分かりやすい。以下では現代社会の位相を、「ポスト近代」との対比で「ロスト近代」と呼んでみたい。「ロスト近代」（1990年代後半以降の時代）に生きる私たちは、しだいに欲望消費に躍らなくなってきた。欲望をかきたてられた「ポスト近代」の時代は、エネルギーを過剰に用いる時代であったが、「ロスト近代」に生きる私たちは、「記号と結びついた実物消費」よりも、「情報そのもの」を消費するスタイルへと変化している。

例えば、大学生に関する生活事態調査（全国大学生生活協同組合連合会『学生の消費生活に関する実態調査』CAMPUS LIFE DATA 2011）によると、下宿生の食費はしだいに節約傾向にある。ピーク時の1992年は毎月3万3,660円であったが、2011年には、2万3,000円にまで下がった。この額は1976年とほぼ同じ水準である。物価を考慮に入れると、現代の学生は1970年代の学生よりも食費を切り詰めているかもしれない。ところがその一方で、現代の学生たちはスマートフォンなどの情報端末機にお金をつぎ込んでいる。社会はしだいに食事よりも情報にお金を落させる仕組みになってきた。食費の節約と情報端末機の台頭は、ある意味では「文化の成熟の証」である。私たちの「ロスト近代」の時代は、欲望と記号を消費する時代から、情報を消費する時代へとシフトしている。加えて私たちは、しだいに欲望消費に巻き込まれず、自然で本来的な経験を求めるようになってきた。例えば、中高年層の登山ブーム、若者たちの古着志向、ロハスと呼ばれる自然なライフスタイルの探究、ユニ

⁴⁵ 以下の議論について、詳しくは橋本努『ロスト近代』弘文堂、2012年を参照願いたい。

クロや無印良品で楽しむシンプル・ライフ、自動車に関心がなく、ランニング・シューズや自転車を購入する若年層、職場や学校に自前のお弁当を持参する草食系男子の出現、等々。こうした傾向は、環境に配慮した新しいライフスタイルの誕生と言える。現代の若者たちに限っていえば、彼・彼女らは次のような消費心性をもっている。

- (1) すでに豊かな生活を享受しているため、近代社会が追い求めた「実需消費」に急いで手をだす必要がなくなった。
- (2) インターネットの発達によって疑似体験できるようになり、海外旅行や性的実体験をあまり求めなくなった。
- (3) インターネットの発達によって、モノを買う前に十分に吟味するようになり、デパート空間や広告を通じた記号消費に踊らされなくなった。
- (4) 若年層の所得が減少した結果、高額商品の消費で満足を得るよりも、やりがいのある仕事や趣味に関心を示すようになった。
- (5) 高所得をかせぐ若者たちは、長時間労働に対応すべく、資産価値のある駅前マンションなどを購入する一方、他の消費を抑えるようになった。

こうした傾向は、「ポスト近代」の若者たちとは対照的である。三浦展は「現代の若者＝シンプル族」と「バブル時代の若者＝バブリー族」の生活をそれぞれ比較して、興味深い比較を行っている⁴⁶。ここで「シンプル族」とは、1970年代生まれの「団塊ジュニア」以降の世代（現在の30～40代）であり、「バブリー族」とは、1960～1964年生まれのいわゆる「新人類」（現在の50代）である。両者のあいだには次のような違いが見出されるという。

バブリー族は海外の高級ブランドを好むが、シンプル族はブランド志向が弱く、ユニクロや無印良品を好む。バブリー族はベンツやBMW、アウディなどの車を好むが、シンプル族は、ハイブリッド車か、あるいは自動車よりも自転車や散歩を好む。バブリー族は、イタリア料理とワインを好むが、シンプル族は自然食、あるいはフェアトレードで輸入されたコーヒー豆を好む。バブリー族は、ウェッジウッドやロイヤル・コペンハーゲンなどの高級食器を好むが、シンプル族は日本の作家の陶磁器や中古家具などを好む。バブリー族はゴルフ、スキー、テニスなどのスポーツを好むが、シンプル族は読書、手作りの料理や裁縫などを好む。バブリー族は都心のタワー・マンションを好むが、シンプル族は天然木造の家や、古民家、あるいはコーポラティブ・ハウスを好む。バブリー族は大型画面のテレビを好むが、シンプル族はテレビよりもインターネットに時間を割いている、等々。このようにポスト近代の「シンプル族」は、ポスト近代の「バブリー族」とは対照的に、「欲望消費」を減退させている。代わって情報消費や環境に配慮した消費を求めるようになっている。こうした若者たちの動向は、新しい低炭素なライフスタイルを先取りしたものとみることができよう。

この他、90年代後半以降にIT産業とともに台頭してきた「創造階級（クリエイティブ・クラス）」のライフスタイルも参考になる。創造階級の人びとは、自分の欲望を満たすことよりも、自分の潜在能力を引き出すことに関心をもっている。欲望消費に踊らされるのではなく、クリエイティブな作品や商品を生み出すことに関心があり、そのための発想の源泉として、豊かな体験や創造的な環境に身を置くことに関心を寄せている。創造階級の人びとは、創造の源泉を手に入れるために、自然の本来的な価値に触れたり、自然の多産性を身につけたりしたいと考えている。

創造階級の人びとは、必ずしも高所得を得ているわけではなく、クリエイティブな生き方に意義を見出している。想像力（イマジネーション）を豊かに発揮して、自然と調和するような生活を求めている。エコロジーへの関心は、真に創造的な生活と、さまざまな点で一致するとみなされる。いずれもイマジネーションを活用してはじめて実現できるような生活だからである。

自治体主導の創エネ・省エネ——1つの例

以上に述べてきた「シンプル族」や「創造階級」のスタイルは、さらに、新しいエネルギー技術の導入によって、持続可能な地球のために相応しいものとなるだろう。

⁴⁶ 三浦展『シンプル族の反乱 モノを買わない消費者の登場』KKベストセラーズ、2009年、205頁。

現在、私たちは消費者として、自宅の屋根に太陽光パネルを設置することでエネルギーを創出し、これを消費したり売ったりすることができる。太陽光パネルを企業の提案に従って導入する場合（企業が各住宅の一部を借りて太陽光パネルを設置し、そのパネルから得られる電力を供給する場合）、消費者は、自分で資金を調達する必要がなく、もっぱら企業に住宅の一部を貸すことから得られる地代（レント）を期待して導入を判断することになろう。企業主導による導入は、各家庭が個別に発電装置を導入する場合に生じるさまざまなコストを避けることができる。企業主導によって太陽光パネルを大規模に導入すれば、発電装置導入のコストは低減し、設置コストや維持コストも低減すると期待できよう。

しかし企業主導の発電は、企業の収益を基準にするものであり、自然エネルギーの割合を最適な水準にするわけではない。そこで別の方法として、コミュニティ（地方自治体）主導の発電ネットワークを考えることができる。地域共同体の全領域を、自律分散型のエネルギー供給システムとして最適化するために、自治体あるいは自治体に依頼を受けた諸企業が、市民的に所有・管理された発電業を営むようなシステムである⁴⁷。その場合の発電業は、地方自治体の主導による場合もあれば、第三セクター方式の場合もあるだろう。共同体が新たな発電業を担うことのインセンティブは、それが地方自治体にとって、経済活動の連帯性を強めるからであり、地域内部におけるコミュニケーションの活性化によって、新たな経済的波及効果が見込まれる。地方自治体は、域内の副次的な効果を含めて、発電業へ参入する誘因をもつだろう。

地方自治体は、家庭用の太陽光発電のために、燃料電池の共同利用を促すことができる。家庭用燃料電池システムにおいて問題となるのは、燃料電池の燃料となる水素を、都市ガスや灯油から得るための「改質器」である。改質器は、四つの触媒から構成されているが、それぞれの触媒を一定の温度（80～800度）に保たなければならない。改質器の起動時に、触媒温度を上昇させるためには1時間以上の余熱が必要になる。この起動と停止の繰り返しを避けて、改質器を有効利用するためには、例えば次のような方策がある。すなわち、燃料電池と改質器を分離して、この二つの機器をいくつかの家庭で共有すると、電気と熱（温水）と水素を融通することができる（次図を参照）。このような共有システムを築けば、各家庭が単独で燃料電池と改質器を導入する場合と比べて、エネルギー効率は高まり、環境負荷を低減させることができるだろう。具体的には、8戸の住宅で、燃料電池4台と改質器3台を共有すれば、初期投資額は半分で済み、しかも改質器を効率的に稼働させることができると言われる⁴⁸。

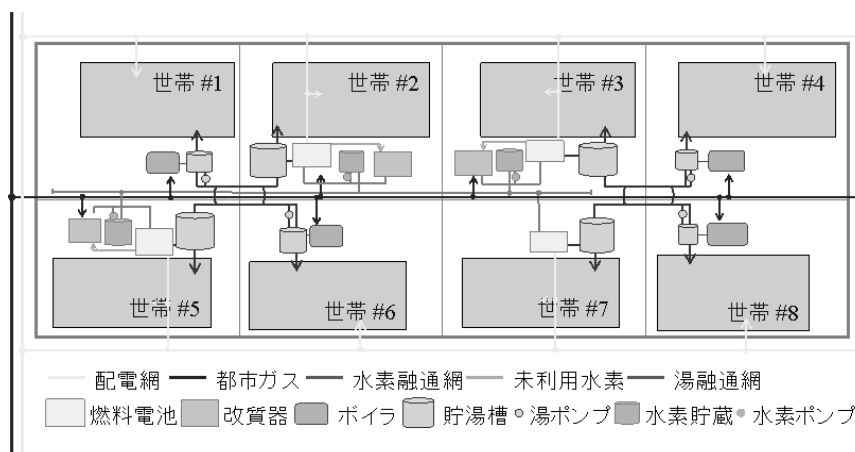


図. 街区レベルに適用可能な戸建住宅向けシステムの例⁴⁹

⁴⁷ ウィスコンシン州ミルウォーキーにある団体「センター・オン・ウィスコンシン・ストラテジー」は、「ミルウォーキー・エナジー・エフィシェンシー」という会社を作り、全市民に対して、低コストでエネルギー効率にすぐれた設備を家庭や企業に導入する機会を提供している。利用者は、先行投資せず、借金を背負わずに、光熱費の負担が少なくなることを保証される。利用者は、劇的に減った月々の電気料金に上乗せするか、メンテナンス費用に含める形で、複数年にわたって改修費用を返済することになる。ヴァン・ジョーンズ『グリーン・ニューディール グリーンカラー・ジョブが環境と経済を救う』土方奈美訳、東洋経済新報社、2009年、143-144頁。

⁴⁸ （独）産業技術総合研究所における分散型エネルギーネットワークの研究開発結果による。安芸裕久「分散型エネルギーネットワークの研究の現状と将来像 住宅地を対象とした燃料電池と電気・熱・水素によるネットワーク」『産業と環境』2007年2月号、52頁。

⁴⁹ http://staff.aist.go.jp/h-aki/research_energynet/energynet_jpR1.2.html

以上は一つの例にすぎないが、地方自治体は、こうしたコミュニティを単位とする創エネ・省エネの啓発によって、有効な温暖化対策に取り組むことができるだろう。改質器や燃料電池の共同利用のほか、地方自治体は、地熱発電や風力発電の共有、自動車の共有の推奨（そのための土地の融通）などを推奨することができるだろう。

自律分散型の電力供給を地方自治体が行う場合の利点は、それが地域全体で電力供給を最適化するためのデザインを提供する点である。人びとは自ら積極的に発電システムを導入しなくても、共同体によってライフスタイルの見直しを啓発され、電力の消費パターンを見直すことができる。人びとは例えば、地方自治体によって提案されたコミュニティ単位の発電供給に参加するきっかけを得て、比較的容易に発電供給を担うであろう。

他方で地方自治体が主導権を握る場合の欠点は、それが環境技術のイノベーションを非競争的にしてしまう点である。地域主導の電力供給は、長期的にみて最も地球にやさしいエネルギー消費を達成するわけではない。発電効率を上げるために、国家は電力の供給と消費をめぐる、地方自治体間の競争を促すことがあわせて必要になるだろう。自治体主導の環境政策にすぐれたインセンティブを与えるためには、自治体の取り組みを正當に評価する仕組みが必要であり、その評価をめぐる、自治体間に切磋琢磨の競争メカニズムが働くような制度設計も必要である。

例えば、地方自治体の取り組みは、どれだけ二酸化炭素排出量その他の数値を、引き下げることに貢献したのかについて、正確な統計データを用いることができないかもしれない。ところが現在、電力消費や二酸化炭素排出量をめぐる正確な統計データを把握することは難しく、地方自治体の取り組みは、容易的に把握できないという問題がある（次表を参照）。温暖化防止のための対策を、国レベルと地方レベルに分けて相互補完的に分担するには、正確な統計データを作成することが急務である。

正確なデータを用いることができれば、政府は各地方自治体の取り組みを評価して、自治体間の競争を促すことができる。例えば政府は、自然エネルギーの導入率が高い地方自治体に、財政的なインセンティブを与えることができるだろう。例えば電力消費量のデータは、現在、市町村別に把握することができず、しかも家庭用と業務用の消費量を正確に把握することもできないといわれる。こうした現状を改善して、市町村ごとの家庭の電力消費量を把握することが必要である。

エネルギー種類	推計方法	市町村別推計に用いる際の問題点
電気	電力会社販売実績による推計	電力会社の営業所は複数市町村で成り立っているケースがあるため、市町村によっては把握できない。
		電灯・電力消費量から家庭と業務の消費量を正確に分離できない
都市ガス	ガス会社販売実績による推計	ガス会社の営業所は複数市町村で成り立っているケースがあるため、市町村によっては把握できない。
LPG	LPGガス資料年報による推計	都道府県単位にしかわからない。
灯油	石油類販売実績による推計	都道府県（軽油・ガソリンは地方国税事務所単位）までしかわからず、市町村別に推計できない。
ガソリン・軽油	自動車保有台数による推計	自動車保有台数に原単位を乗じて推計するので精度が悪い。
		保有台数の増減でのみ数値が変化するので、走行量削減など地域の効力が数値に反映されない。
電気・都市ガス・LPG・灯油・ガソリン	家計調査年報による推計	県庁所在都市の数値しかなくこれを原単位にするので、県内の地域差が反映できない。
		消費額しかわからないものがあり、消費量に換算しなければならない。

表. 市町村における民生部門・運輸部門排出量の問題点⁵⁰

⁵⁰ 中口毅博「脱温暖化の地域づくりに向けて」『資源環境対策』第40巻、第4号、2004年、32頁。

10 創エネ・省エネの新たな付加価値

藤井 賢彦 北海道大学大学院地球環境科学研究院、准教授、博士（地球環境科学）

【要約】

再生可能エネルギー賦存量が豊富な北海道では、各地域が地域資源である再生可能エネルギーの利用を通じて雇用を創出することで、若年層の域外流出や少子化に歯止めがかかる可能性がある。つまり、再生可能エネルギーの利用拡大は単に地球温暖化対策という枠組みに留まらず、雇用創出やグリーン（環境保全）とシルバー（高齢化対策）の両課題を同時に解決できる可能性を秘めている。さらに、「第4の発電」省エネや節電は費用対効果が極めて良く、再生可能エネルギーの導入に先んじて取り組むべきものである。これらの取り組みを推進していくためには、地域社会の多様な利害関係者が等しく享受できる経済的インセンティブの導入が必要である。

限界集落などに象徴される、過疎化・少子化・高齢化などの問題群が横たわっている社会は持続可能とは言えない。地域を持続可能な社会にするためには、これらの阻害要因を緩和することが不可欠である。特に北海道では、財政再建団体である夕張市に代表されるように、超高齢化による地域社会の限界集落化、少子化による近未来の労働人口や社会インフラの維持といった観点での大きな懸念など、日本全体で近い将来深刻化するであろう諸問題が、半ば先取りする形で顕在化している。

地域社会における少子化の最大の要因は、若年層に対する雇用の機会が少なく、その地域で安心して子育てを行えない点にある。それは、医療や教育といったサービスを十分に享受できないこと、安定した労働の機会に恵まれないために若年層が定着できないことが直接的な原因である。特に、輸出産業が少ない北海道では最近の円安傾向の恩恵は得られにくく、逆に冬期間の暖房と自動車利用の機会が多いため、燃料価格の高騰のあおりを受け、道外との経済格差は拡大する傾向にある。

一方、潜在的には、北海道には日本の他地域にはない屈指の可能性がある。食料に関しては、北海道はカロリーベースで見る限り自給率が100%を大きく上回っており、日本で唯一、安定的な食料自給が可能な地域である。一方、食と並んで現代の生活に不可欠な要素であるエネルギーについては課題を残している。北海道は、日本の他地域に比べ一人あたりのエネルギー消費量が3割程度多い。その理由は冬期間の暖房の熱需要が並外れて大きいことによる。この面では、北欧やドイツ、東欧に類似している。北海道の住宅では冬期には部屋ではなく建物全体を24時間暖房していることが常である。このことは、ただちに家計を圧迫し、消費の抑制要因ともなり経済浮揚の足かせにもなる。従って、北海道におけるエネルギー自給の向上は、経済面においても豊かな社会生活を営む上でも、持続可能な社会形成の要となる。現在のところ北海道のエネルギー自給率は数%に過ぎない。しかし、北海道の再生可能エネルギー賦存量は膨大であり、これらを上手に活用していれば、エネルギーを自給できる可能性が極めて高い。環境省調査によると、北海道の再生可能エネルギーの導入ポテンシャルは発電容量で5億6,406万kWであり、日本全体の1/4を占める。特に、陸上風力で日本全体の1/2を占める。

問題は、このような恵まれた条件にあるにもかかわらず、北海道の再生可能エネルギーの導入が十分に進んでいない現状にある。再生可能エネルギーは運用時にCO₂をはじめとする温室効果ガスの排出をともしないと考えられ、この側面のみがその導入拡大の便益として強調されることが多かった。しかし、2011年3月の東日本大震災と福島第一原子力発電事故にともなう原子力発電の停止、国際炭素価格の下落、京都議定書約束期間終了後の温室効果ガス排出に向けたインセンティブの欠如など、地球温暖化対策に対する国内機運は以前に比べて低下している。気候変動や地球温暖化対策は重要であるが、この側面のみを強調しているだけでは北海道における再生可能エネルギーの導入拡大が難しいことは明らかである。

以上のような北海道の特徴に鑑みた上で、再生可能エネルギーの導入を是としてその拡大を進めるためには、地域の多世代・多様な人々にとって真に歓迎される形で、多様な便益を提示していく必要がある。例えば、化石燃料のような域外からのエネルギーに替えて地域資源を活用したエネルギーを域内で利用していくことで、そのシステムの構築・維持・管理にともなう雇用を新たに創出し、地域の雇用促進につなげることができれば、若年層の域外流出や少子化の歯止めになることが期待される。また、エネルギー自給の向上は化石燃料の購入による富の域外流出を減らし、地域のエネルギー安全保障を高め、ひいては地域社会の持続可能性を高めることにつながる。

上述のように、地域に雇用をもたらすことが、過疎化・少子高齢化・財政縮小化といった地域社会の問題を解決するための最善策である。この文脈で地域雇用拡大の手段として地域資源である再生可能エネルギーの利用拡大を捉えることができれば、その利用拡大は地域でより広い合意を得られることができ、おのずと推進するものと思われる。

加えて重要なのが経済的インセンティブであることは、わが国でも2012年7月に始まった固定価格買取制度(FIT)が一定の成果を挙げていることから明らかである。再生可能エネルギー分野における新規雇用創出数は、ドイツで37万人、EU全体で167万人と見積もられている(大友,2012)。また、大型陸上風車の部品は約2万点であり、これはガソリン自動車(約3万点)、電気自動車(約1万点)に匹敵する数である(北海道エネルギーチェンジ100プロジェクトロードマップ検討チーム,2012)。また、風車のライフサイクル全体の雇用量のうち、運用・保守段階における雇用量が4割を占める。よって、製造だけでなく、建設工事や設置後の運営管理も含め、ライフサイクルを通じた風力発電を地元で行えば、地域経済の牽引力になる可能性がある。バイオマスは電気だけでなく熱や代替燃料として活用できるので、地域の雇用創出効果がさらに大きい。とりわけ労働集約型関連分野が多岐にわたる木質バイオマス分野でその効果が大きい。

これまでのエネルギー政策の多くは国の立案によるものであり、必ずしも地域に根ざしたものになっていなかった。例えば、わが国のほとんどの地域では熱需要が高くないので、エネルギー供給形態としては電力が主で熱が従というアイデアで設計されているものが多い。しかし、寒冷地である北海道ではエネルギー使用ピークは冬期間に現れ、暖房費が主要なエネルギー出費であることに鑑みれば、電力供給だけをみたミックスではなく、電力以外も含めたあらゆる熱源利用を総合的に考えるエネルギーミックスの考え方が不可欠である。北海道をはじめとする寒冷地で特に重要である熱の供給比率を高めることができれば、発送電網の設備・維持コストを削減し、結果として地域住民の経済的負担を軽減することができるなど、多様な便益にもつながる。電力と同様、熱供給システムを扱う民間事業者の参入を促すためには、本研究による客観的な評価が必要だが、例えばイギリスのRenewable Heat Incentive(RHI)やドイツの熱電併給(Combined Heat and Power;CHP)による電力買取保証(CHP法)のような経済的インセンティブやそれを担保する法制度の整備など、事業者に投資回収の見通しを付与することが求められる。その見通しの環境性・経済性に鑑みた導入可能性が客観的・科学的・定量的に議論される必要がある。

北海道の地域社会における将来のエネルギー需給を考える場合、地球温暖化など気候変動の影響により、冬期間の暖房需要が減り、夏期間の冷房需要が高まることが予想される。雪氷冷熱や地中熱ヒートポンプを利活用することで冷房に掛かる電力使用量を削減できること、これにより電気代とCO₂排出量を削減できることは既に実証され、新千歳空港のビルなどで一部実用化されているが、実用化の例はまだ極めて限定的である。雪国では雪は時に邪魔者扱いされ、除雪に多大な税金が投じられている。しかし、雪を雪氷冷熱の際の貴重な熱源と捉えて積極的に利用すれば、除雪費用と電気代、そしてCO₂排出量の削減を一举両得に成し遂げることができる。同様の効果は、現在は廃棄物とみなされている家畜排泄物に関しても、バイオガスプラントで適正処理しメタンガスと液肥を生産する際に期待される。これらの取り組みはコストをベネフィットに転換するものであり、費用便益分析の結果を明確に提示することで、利害関係者間の合意形成が進むものと期待される。

多くの再生可能エネルギーの導入拡大の障壁のひとつとなっているのが法規制である。この状況改善のためには規制緩和も必要だが、現状の法規制の範囲内でも、事業者が行う手続きが煩雑であったり事業者や自治体にノウハウがなかったりするために、導入拡大が進まない面もある。例えば、地熱発電に関しては、2012年3月に環境省から通知「国立国定公園内における地熱開発の取扱いについて」が出され、一部条件つき緩和になった。第2種・第3種特別地域においては、ステークホルダーとの地域における合意形成、地域への貢献、情報開示、専門家の活用などの条件付きの個別判断により地熱開発を認めるか判断するというものである。つまり、新規開発の可能性は法的に緩和されたにもかかわらず、条件が整わないために導入拡大が進まないのである。エネルギー形態別に申請手続き上の問題点を明らかにし改善することで、地域社会における再生可能エネルギーの導入を推進できると期待される。

便益とリスクは表裏一体である。風力発電にともなう環境影響、特にバードストライクはセンセーショナルに取り上げられることが多い。しかし、人為的な鳥類の死因の過半数はビルであり、風力発電によるものは0.01%以下である。むしろ、鳥類にとって最大の脅威は地球温暖化であるという認識が徐々に浸透しつつあり、風力発電が地球温暖化緩和に有効に働くという認識のもと、日本野鳥の会や日本自然保護協会などは2014年4月、生物

多様性や地域社会との共存を前提に、自然エネルギーの導入促進を求める共同声明を発表した。自然保護派と風力発電事業者との間の対話が進みつつある表れと見られるが、このような事例は他の再生可能エネルギーに関しても存在すると考えられ、事例を類型化していくことで地域社会における合意形成につながる。

ただし、そのためには、新しい政策オプションの提示といったサブスタンスの改善だけではなく、その具現化プロセスにおける手続き上の改善も必要である。つまり、エネルギーについて直接的な便益を享受したりリスクに直面したりする一部の主体だけではなく、食料や雇用、人口問題をはじめとする複合的な動機づけが可能となる政策領域を横断した枠組みのもと、多様な利害関係者による合意形成を企図する必要がある。再生可能エネルギーの導入をめぐるのは、風力発電については騒音・低周波や景観、生態系保全問題、木質バイオマスの利活用についてはカスケード利用の上流から下流に至る中での調達コストなど、地熱発電については温泉資源としての利用上のトレードオフなど、合意を形成すべき様々な論点が存在している。つまり、再生可能エネルギーの地域における導入拡大に関する環境性、経済性を踏まえた費用と便益の定量的評価とともに、それがどのように他の問題と持続可能な文脈においてつながり得るのかについて、市民やステークホルダー間の合意に向けた促進・阻害要因を綿密に調査する必要がある。

以上、地域雇用創出をはじめとする様々な便益をもたらす手段として地域資源である再生可能エネルギーの利用拡大を捉え、その必要性を説いてきたが、実はその利用拡大のための設備投資に先んじて行うべき事柄がある。それが、「第4の発電」とも呼ばれる省エネや節電である。エネルギー転換には3つのステップが必要であるが、設備の省エネ、設備の効率化、再生可能エネルギー設備の導入の順番で実施しない限り、再生可能エネルギー設備が過剰になってしまう可能性があり、エネルギー転換は成功しない（（株）iepo 岩井尚人氏によるドイツ・バイエルン州環境省へのヒアリング調査より）。省エネ対策は極めて費用効果的な温室効果ガス削減対策である一方、建築技術や設備導入に比べて、運用改善などの省エネ対策は実態解明が進んでいない。よって、省エネによる温室効果ガス削減の余地は多く存在する。まずは、なぜこれまで実施されてこなかったか、どうすれば実施につながっていくかを考えることが重要であり、国や自治体の計画書制度や省エネ診断事業などを活用することで、省エネバリアを解消できる（西尾ら、2010）。

再生可能エネルギーの導入と同様、省エネに関しても、様々な利害関係者が等しく推進を図っていくためには、経済的インセンティブが必要である。省エネの場合、白熱球からLEDなどの高効率照明への変換のように、CO₂削減費用がマイナス、つまり省エネを進めることで同時にCO₂削減やランニングコストの削減につながる可能性のある取り組みが数多く報告されている（例えば環境省、2013）。北海道をはじめとする国内の寒冷地では建物のボイラー室の配管に断熱材を施すなど簡単な対策により廃熱ロスを軽減することで光熱費が大幅に減少し、初期投資を短期間で回収できた例も報告されている。このような事例を体系化し、事業者などに広く情報提供していかどうか、今後の取り組みが円滑に進むかどうかの鍵を握るであろう。

参考文献

- ・北海道エネルギーチェンジ100プロジェクトロードマップ検討チーム(2012),北海道の再生可能エネルギー100%へのロードマップ,18pp,<http://www.kitanet.org/enechan/enechan2012roadmap3.pdf>.
- ・環境省(2012),平成21年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書331pp,
<https://www.env.go.jp/earth/report/h25-05/>.
- ・環境省(2013),平成25年度版環境白書/循環型社会白書/生物多様性白書,
<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h25/index.html>.
- ・西尾 健一郎,木村 宰,野田 冬彦(2010),業務部門における省エネルギー対策の費用対効果と阻害要因,電力中央研究所報告,Y10025.
- ・大友 詔雄(編著)(2012),自然エネルギーが生み出す地域の雇用,自治体研究社,234pp.

札幌市市長政策室政策企画部
(エネルギー政策統括担当)

〒060-8611 札幌市中央区北1条西2丁目
TEL. 011-211-2139 FAX. 011-218-5109