

# 既存市街地を対象とした次世代エネルギーの普及 展開モデルに関する検討

向後 高明<sup>1</sup>・森田 紘圭<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 大日本コンサルタント株式会社 本社（〒170-0003 東京都豊島区駒込3-23-1）

E-mail: kogo@ne-con.co.jp

<sup>2</sup>正会員 名古屋大学 大学院環境学研究科（〒464-8603 名古屋市千種区不老町C1-2(651)）

E-mail: hmonita@urban.env.nagoya-u.ac.jp

石油資源の枯渇や地球温暖化問題への対応から、近年、次世代エネルギーの普及展開への関心が高まっている。中でもエネルギーの面的利用や次世代送電網の構築等、社会システム全体に関わる議論が活発であるが、実際の普及においては施設や地域ごとのボトムアップ型の普及が必要不可欠である。本稿では既存市街地を対象に現在の次世代エネルギー技術についての導入可能性を検討し、普及展開方策の考察を行った。具体的には、既存市街地の具体的施設・地域を対象に、設定した各インフラの導入効果、導入コスト、法令等から実現可能性（時期）を検討した。検討の結果、1）単一施設への次世代エネルギー技術の導入は効果的にもコスト的にも課題が少ないこと、2）2施設間での導入はコスト的なメリットが大きいが一方、法令や社会制度上の課題があること、3）面的利用には制御技術の高度化・標準化や社会システムでの対応が求められること等が明らかとなった。

**Key Words:** renewable energy, smart grid system, low-carbon city, city center, feasibility study

## 1. はじめに

地球規模の温暖化に向けた対策推進に向けて、我が国においても低炭素社会の構築が要請されている。その実現に向けた一つの方策として、太陽光発電等の再生可能エネルギーや、コージェネレーションシステム（以下、CGS）等の省エネ技術・高度エネルギー利用技術等の普及展開が想定される。また、近年のスマートグリッドへの注目により、地域全体のエネルギーマネジメントやICT活用による電力需給制御等の技術開発・実証も進みつつある。

以上の取組は、官民の連携により、既に様々な実証事業が行われている。経済産業省が主体となって取り組んでいる「次世代エネルギー・社会システム実証事業」では、国内4地域（横浜市、豊田市、京都府、北九州市）で各地域に応じた取組の実施が予定されているほか、個々の施設や技術についても多様な実証事業が行われている。

本研究の対象地域である岐阜県においても、平成22年度に5つの次世代エネルギーインフラ実証事業（公共施設モデル、商業施設モデル、家庭モデル、中山間モデル、都市モデル）の公開が行われたほか、今後の次世代エネルギーの普及展開に向けた計画を取りまとめた「次世代

エネルギービジョン」が策定されており、今後もより一層、普及展開を進めていくものとしている。

一方、これらの実証事業は事業者側のシーズが中心となっており、コスト面も含めて検証されているものは少ない。また、現在すでに市場に流通しているものも含め、新設される建築物を対象とした検証が主であり、現在及び将来のエネルギー消費の大部分を担う既存市街地への導入の検討は十分に進んでいない状況である。

既存市街地を対象とした次世代エネルギーインフラの導入検討としては、これまで「カーボンマイナス・ハイクオリティタウン調査委員会」（村上周三委員長）において検討されてきているが、地域全体での整備・検討を前提としており、具体的なインフラの普及については課題が残る状況である。

本論文においては、岐阜市中心部を対象として、当該地域における導入パターンを10パターン想定した上で、各建物・地域の特性に応じた次世代エネルギーインフラの導入をエネルギー及び環境面、コスト面、社会的受容面（課題）の3点から検証し、比較的早期に当該地域において導入を促進できる可能性のあるインフラを提案するとともに、今後の普及展開に向けた課題について整理を行う事を目的とする。

## 2. 検討手法

### (1) 対象地域の概要

検討においては、図-1に示す岐阜県岐阜市の中心部（JR岐阜駅～長良川）の約250haを対象地域とした。対象地域においては、交通結節点であるJR・名鉄岐阜駅、岐阜市役所を中心とした大型施設、アーケード商店街である柳ヶ瀬商店街、観光地である川原町など多様な特性を持っており、南部においては業務・商業利用、北部においては住宅地など多様な土地利用となっている。

また、近年市街地再開発が多く計画されており、今後大幅なまちのリニューアルが期待されている地域である。

### (2) 検証モデルの想定

上記特性を踏まえ、「多様な用途への対応」、「まちづくりなどとの調和」「都市計画的課題の解決」などをコンセプトに10の導入モデル（導入インフラ案及び対象用途）を想定し、導入可能性の検証を行う。

エネルギー需給量及び事業性の検証においては、今後の具体的な導入プランにつなげるため、対象地域内において、各モデル1箇所ずつ具体的な代表施設を選び出し、実際の設備設置状況や日当たりのエネルギー消費状況等を把握した上で、ケーススタディを実施した。

想定モデル概要及び検証対象施設を図-2、表-1に示す。

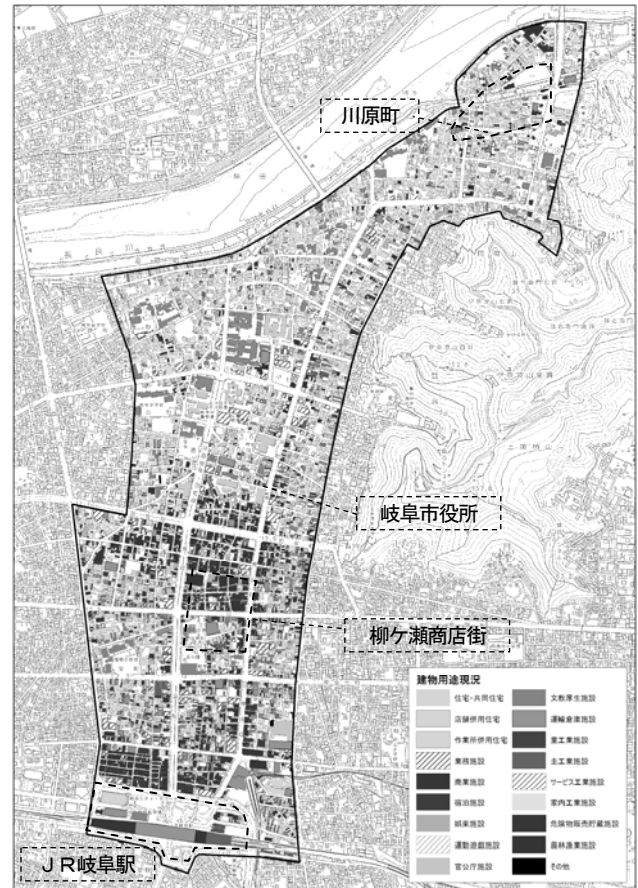


図-1 対象地域と建物立地概況

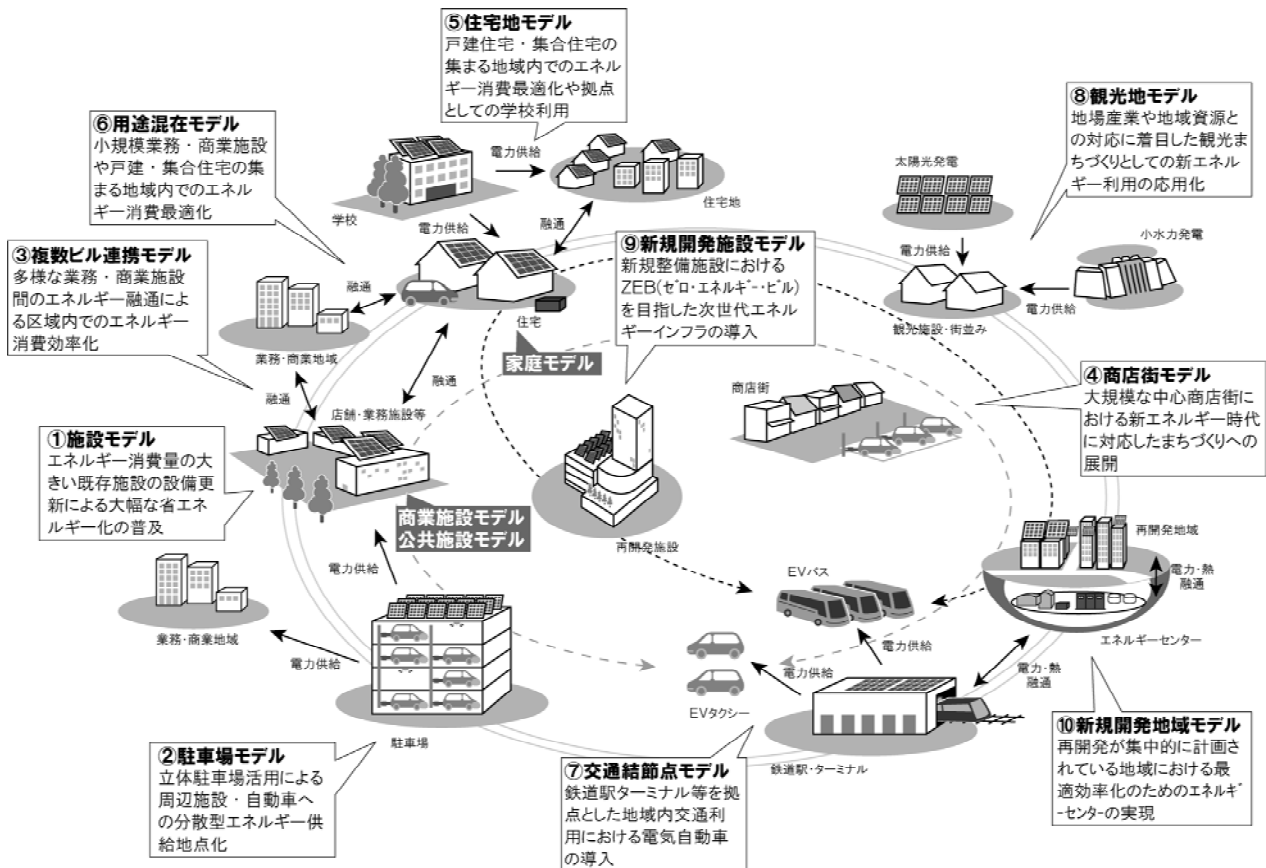


図-2 想定したモデルの全体イメージ

表-1 想定モデルおよび検討対象施設

| 想定モデル      | モデルの概要                    | 検討対象施設の概要                                                  |
|------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|
| ①施設モデル     | 独立した大規模施設で、現在想定できる技術導入モデル | 延床面積 10,000 級ホテル、築 10 年・設備更新なし                             |
| ②駐車場モデル    | 太陽光発電の導入により、駐車場敷地を活用したモデル | 駅前の立体駐車場、屋上に 1,000 m <sup>2</sup> 確保可能                     |
| ③複数ビル連携モデル | 一定規模以上の複数ビルの連係を睨んだ導入モデル   | 10,000 m <sup>2</sup> 級業務施設と 5,000 m <sup>2</sup> 級ホテルの組合せ |
| ④商店街モデル    | 商店街の公有地を活用した商店街活性化モデル     | アーケード 2,000m 以上、空き店舗が多い                                    |
| ⑤住宅地モデル    | 住宅・多用途施設間のエネルギー融通を想定したモデル | 戸建・集合住宅を中心とし、小中学校が周辺に立地                                    |
| ⑥用途混在モデル   |                           |                                                            |
| ⑦交通結節点モデル  | 公共交通の電力グリーン化を想定したモデル      | 短距離利用を考慮した路線バスやタクシーの EV 化                                  |
| ⑧観光地モデル    | 観光振興・まちづくりに対応したモデル        | 温泉旅館                                                       |
| ⑨再開発施設モデル  | 新規開発時における先進的な設備導入を想定したモデル | 集合住宅と商業施設、公益施設による複合ビル                                      |
| ⑩再開発地域モデル  | スマートグリッドなどの面的な対策を想定したモデル  | 住宅、ホテル、商業・業務施設、駐車場、公共交通                                    |

表-2 各導入インフラのインフラ効率等

| 導入インフラ     | インフラ効率（成績効率）                                                        |
|------------|---------------------------------------------------------------------|
| ガスエンジン CGS | 発電効率 33.6%、廃熱利用効率 50.9%                                             |
| 燃料電池 CGS   | 発電効率 45%、廃熱利用効率 40%                                                 |
| ソーラークーリング  | COP1.2                                                              |
| 太陽熱収集機     | 収集効率 50%                                                            |
| 地中熱 HP     | 暖房・給湯 COP4.0、冷房 COP6.0                                              |
| 温泉排熱 HP    | 排熱利用時 COP5.8                                                        |
| 蓄電池        | 充放電ロス：0.9（リチウム）、0.85（鉛）                                             |
| 木質チップボイラ   | ボイラ効率 0.9、チップ熱量 25kWh/kg                                            |
| バイオガス発生器   | 処理能力 1t/日、生ゴミからバイオガス発生量 0.18 m <sup>3</sup> /t、バイオガス熱量 0.487（都市ガス比） |

### (3) エネルギー消費量の推計手法

対策実施前後のエネルギー需給量の推計については、月平均日別時間別及び用途別（電力、冷房、暖房、給湯）のエネルギー需要に対して、各導入インフラ効率（成績係数）から必要なエネルギー消費量を算出するものとし、式(1)～(3)により推計を行った。式(2)は空調等の設備インフラ、式(3)は太陽光発電やバイオガス等の再生可能エネルギー活用インフラの算定式を示している。

$$S = \sum_n \alpha_n \cdot s_n \quad (1)$$

$$s_n = \sum_l \left( \sum_i \sum_j (\lambda_k \cdot d_{ijl}) - s'_{pl} \right) \quad (2)$$

$$s'_{pl} = \lambda_p \cdot R_p \quad (3)$$

$S$  : 年間の総エネルギー消費量  
 $s_n$  : 燃料  $n$  の年間消費量  
 $\lambda_k$  : 導入インフラ  $k$  のインフラ効率（成績係数）  
 $d_{ijl}$  : 月  $i$  の時間帯  $j$  における用途  $l$  の需要量  
 $s'_{pl}$  : 導入インフラ  $p$  によるエネルギー供給量  
 $R_p$  : 導入インフラ  $p$  におけるエネルギー源賦存量  
 $i$  : 月、 $j$  : 時間帯、 $l$  : 需要用途、 $n$  : 燃料種  
 $k, p$  : 導入インフラ

なお、各施設のエネルギー需要量については、実態調査により把握するとともに、不足する分については各種マニュアルより得られるパラメータを活用した。また、インフラ効率や使用燃料については表-2に示すパラメータを設定した。

### (4) コスト及びの把握手法

導入コスト及びランニングコストの把握については、前節のエネルギー需給量の変化を反映するとともに、各メーカーへのヒアリングやマニュアル等による現在における一般値を用いて算出を行った。

### (5) 導入可能性の検討方法

民間事業者等による自発的な導入可能性を把握・検討するため、本検討では1)単純投資回収年数、2)間接効果や維持管理コスト等も踏まえた費用便益分析、3)社会的法的制約の3つの観点から評価し、現時点における各モデルの最適インフラや普及展開における課題と解決策の検討を行った。

1)単純投資回収年数は、次世代エネルギーインフラを導入することによる追加的投資（既存施設との差額）を、何年分の消費エネルギー削減分で回収できるかを示す指標であり、事業者や家計の損益を図る指標である。評価の目安としては、各インフラの耐用年数以内に収まっているかや、どの程度短期に回収が可能となるかを評価することが可能である。

2)間接効果や維持管理コスト等も踏まえた費用便益分析においては、ランニングコスト以外の便益（社会的経済効果）を踏まえた費用対効果を算出する。間接便益においては、「カーボンマイナス・ハイクオリティタウン調査委員会」の検討結果を参考に算出を行った。

算出した便益・費用項目の一覧を表-3に、単一施設への導入を検討した場合における各インフラの算出結果を図-3に示す。

最後に、3)社会的法的制約として、導入における実務的な課題について、定性的な観点から整理した。

表-3 試算した間接便益

| 種別           | インフラの概要                              |
|--------------|--------------------------------------|
| 直接便益         | 光熱費の削減                               |
| 市場化の可能性がある便益 | CO2削減価値                              |
|              | クリーンエネルギー創出価値                        |
| 定量的に算出した便益   | インフラ建設投資波及効果                         |
|              | 不動産価値上昇効果                            |
|              | BCP(業務継続計画)への貢献効果<br>(エネルギー供給停止損失回避) |
|              | 啓発・教育的効果                             |
|              | 広告宣伝効果                               |

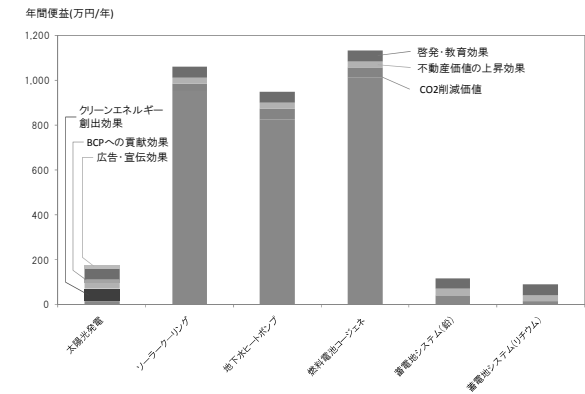


図-3 各インフラの種類別便益の内訳

3. 導入可能性の検討結果

以上に従って、各モデルにおける導入可能性の検討を行った。本稿では、そのうち規模の違いに着目した3つのモデルについて、その結果を整理する。

(1) 単一施設での導入可能性の検討（①施設モデル）

施設モデルでは、ベースとなる電力及び熱需要の推定を行った上で、表-4に示す5ケースで検討を行った。

表-4 ①施設モデルの検討ケース

| 検討ケース       | インフラの概要                         |
|-------------|---------------------------------|
| 通常時         | 吸収式冷温水器による冷暖房                   |
| 太陽光発電       | 太陽光発電による電力を自家消費                 |
| ソーラーリング CGS | CGS による自家発電及び排熱と太陽熱の同時利用による熱電併給 |
| 地下水ヒートポンプ   | 熱源に地下水を活用                       |
| 燃料電池 CGS    | 燃料電池 CGS による熱電併給                |
| 蓄電池システム     | 電力利用平準化（夜間蓄電・昼間利用）              |

a)エネルギー消費量及びCO<sub>2</sub>排出量

それぞれの検討ケースにおいて、現状と一般的な設備との比較を行った。大規模施設において特に影響の大きい熱源施設として地下水ヒートポンプの導入時においては、エネルギー消費量(GJ)で13%、CO<sub>2</sub>排出量(t-CO<sub>2</sub>)で19%の削減効果がある事が確認された。

b)単純投資回収年数

単純投資回収年数の比較では、設備更新を考慮する場合、補助金(1/2)を考慮する場合、それぞれにおける現在の単純投資回収年数を検討した。

現段階においては、地下水ヒートポンプについては、設備更新時に導入を図ることで、法的耐用年数である15年に近く、さらに補助金を活用すれば、さらに導入可能性が高まる可能性が得られている。（図-4参照）

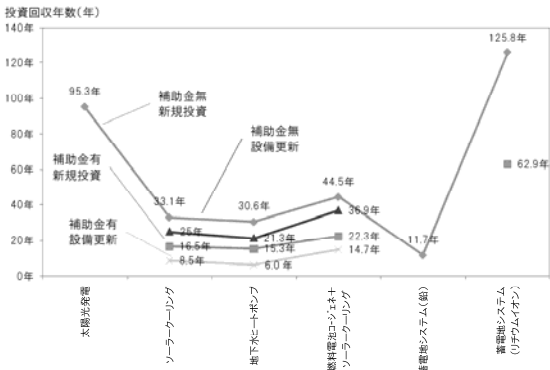


図-4 各インフラの単純投資回収年数の比較

c)費用便益分析

各検討ケースごとに費用便益分析を実施した結果、太陽光発電においてはコスト面のみの費用便益比は0.1と非常に小さい一方、BCPへの貢献やPR効果を踏まえれば1.0を上回る結果が出ている。一方、ソーラーリングや地下水ヒートポンプは、間接便益は小さいものの、直接便益だけでも1.0を超えており、現段階でも民間で導入できるレベルにある。（表-5参照）

表-5 費用便益分析結果

|     |        | 太陽光発電 | ソーラーリング | 地下水ヒートポンプ | 燃料電池CGS<br>+ソーラーリング | 蓄電池システム(鉛) | 蓄電池システム(リチウムイオン) |
|-----|--------|-------|---------|-----------|---------------------|------------|------------------|
| B/C | 直接便益のみ | 0.1   | 1.5     | 2.2       | 0.8                 | 0.8        | 0.1              |
|     | 環境便益含む | 0.6   | 1.6     | 2.3       | 0.8                 | 0.8        | 0.1              |
|     | 間接便益全て | 1.4   | 1.7     | 2.5       | 0.8                 | 2.1        | 0.4              |

割引率2.3%, プロジェクト期間15年

(2) 2施設での導入可能性の検討（③複数ビル連携モデル）

複数の建物間の連携としてメリットが期待できる、コージェネレーションの動力共有化を検討するため、表-6に示す3つのケースを検討した。

表-6 ③複数ビル連携モデルのCGS導入の検討ケース

| 検討ケース   | インフラの概要                   |
|---------|---------------------------|
| 業務施設のみ  | 業務用ビルのみを導入し運用。            |
| 2施設間で共有 | 業務用ビルとホテルでの2施設間での共有による運用。 |
| 両施設導入   | 業務用ビルとホテルの両方に導入           |

#### a)エネルギー消費量及びCO<sub>2</sub>排出量

規模の大きい業務用ビルのみにコージェネレーションを導入した場合、エネルギー消費量(GJ)で7%、CO<sub>2</sub>排出量(t-CO<sub>2</sub>)で4%の削減効果である一方、両施設間で設備を融通した場合には、それぞれ26%、18%の削減効果が確認された。これは両施設ともにコージェネレーションを導入した場合の効果(15%、11%)よりも大きい。

熱をあまり使用せず、日中に消費ピークが発生する業務施設と、給湯需要が高く、夕方以降に消費ピークが発生するホテル、この2つの規模の大きい熱源施設を共有することで大きなメリットが発生しているものと想定される。（図-5参照）

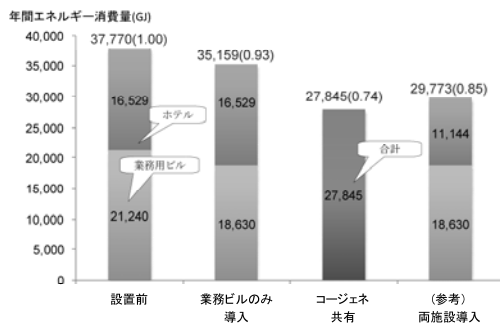


図-5 各インフラの種類別便益の内訳

#### b)単純投資回収年数

単純投資回収年数の検討においては、設備更新を考慮（既存施設分の費用を控除）する場合としない場合とで大きな差が発生する。両施設がともに設備更新と想定した場合においては、単純投資回収年数は16年（原稿補助金を考慮すると6年）と、民間事業者単独でも回収の期待が可能である。

### (3) 面的利用の導入可能性検討（⑥用途混在モデル）

今後、地域における次世代エネルギーインフラの面的な普及を目指す上では、地域内におけるエネルギー融通を図る事を想定し、太陽光発電などによる余剰電力を系統に依存するのではなく、地域内で循環することが必要となる。そのため、住宅や商業など用途が混在している地域において、表-7に示す3つのケースについて、エネルギー消費量及びCO<sub>2</sub>排出量の観点から比較した。

表-7 ⑤用途混在モデルの検討ケース

| 検討ケース        | インフラの概要                                                                     |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 各建物の単独導入     | 戸建住宅:燃料電池、太陽光電池、HEMS<br>集合住宅:太陽光電池（共同）、HEMS<br>商業施設:CGS<br>小学校:太陽光電池（個別に移動） |
| 電力の地域内融通     | 上記に加え、余剰電力を地域内で消費し、エネルギー自給率を向上                                              |
| 電力の地域内・時間差融通 | 小中学校などに蓄電設備を導入し、地域内の電力融通を一括管理                                               |

#### a)エネルギー消費量及びCO<sub>2</sub>排出量

個別施設で太陽光発電等を導入した場合、エネルギー消費量(GJ)で19%、CO<sub>2</sub>排出量(t-CO<sub>2</sub>)で13%の削減効果が得られる一方、戸建住宅起源の余剰電力が地域内から多く発生する。地域内で面的にこれらを融通した場合、CO<sub>2</sub>排出量の削減率は25%に上り、さらなる削減が期待できる一方、本ケーススタディのように住宅の割合が比較的大きい地域においては、日中ピーク時の余剰電力は解消しない。

しかし、加えて蓄電池の導入等による時間的なギャップの解消を行うことが可能となれば、地域内で消費するエネルギーが大幅に減少し、CO<sub>2</sub>排出量は30%以上の削減が期待でき、系統への影響が大きい余剰電力の発生を抑制することが可能となる。

#### a)エネルギー自給率

一方、これらをエネルギー自給率（地域内で生産するエネルギーにより消費エネルギーを賄う割合）で評価した場合、地域内でエネルギーを融通・蓄電することで、個別施設での導入時と比較して20%以上の向上が期待でき、災害時における地域の防災力向上等も期待できる。

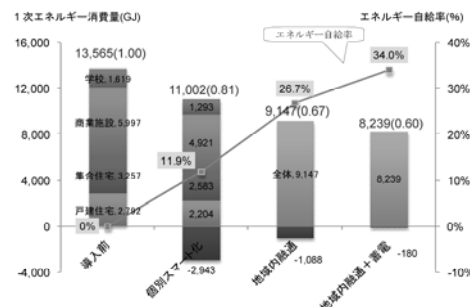


図-6 ⑥用途混在モデルのエネルギーシミュレーション

## 4. 導入に向けての課題と展開可能性

都市部における次世代エネルギーインフラの導入モデルとその課題について検討を行った。（表-8参照）

施設単体では、現時点においても設備更新時での導入は採算性が高く民間事業者においても自主的な導入の余地が考えられる。ただし、初期コストが大きくなることや保守サービスの確保などの課題があり、この点においては行政や設備業者の積極的なバックアップが必要である。

施設間での導入は、共同利用することでのコストメリットは施設単体よりも大幅に大きくなるのが期待される。特に業務施設とホテルなどエネルギー需要特性が異なる施設間では機器の稼働が向上し、早期の投資回収が可能となる。ただし、事業者間でのマッチングやタイミング、契約など普及展開に向けては実務上の課題が大きく、行政やエネルギー供給事業者による支援を積極的に進める必要がある。

一方、熱利用については相互共有が可能である一方、

現行の電気事業法においては電力の相互共有については「地縁的一体性ととも、日常の事業範囲での関連性」が求められる。現行法範囲内での実施の可能性や商用電力との切り替え制御について実証、特区等の活用による対応が必要である。

一定の地域を対象とした場合においては、融通や蓄電によるエネルギーの最適化を図ることが、エネルギー自給率や系統安定化などの社会的メリットにつながるものと想定される。学校や公共的な施設が立地している場合、これらの施設を拠点とした地区単位でのエネルギー集中管理も一つの方策である。導入にあたっては、民間事業者や住民の自発的な導入は困難であると予想される。まずは、行政やインフラ事業者等（コンソーシアム）による積極的な投資の中で、実証実験や精度設計の段階から進めていくことが必要である。現段階では、電気事業法との関係や電力買取制度との関連から早期の導入は難しく、今後実証を重ねながら具体的な導入に向けての計画を進めていく必要がある。

事業採算性については、民間事業者での導入を進めるためには、事業回収期間が10年以内が必要条件となる。各インフラの技術的向上はもちろんのこと、現在国が進める再生可能エネルギー全量買取制度への移行等の政策面も合わせ、将来的にどの程度の事業採算性が確保されるかを検討する必要がある。また、小規模施設向けの開発やパッケージ化などにより、導入可能な施設の規模・用途を広げるとともに、価格の低減に努める必要がある。

## 5. 結論と今後の検討課題

本検討で得られた知見を示すとともに、今後の検討課題について整理を行う。

- ・建物単体に対する技術導入は、現在でも民間レベルで導入可能な設備が多く、これらについては補助金制度や情報提供などの観点から支援を進めることで、普及が期待できる。
- ・更に、複数の施設を対象とした技術導入においては、現在もコンビナートや一部再開発で実施されているほか、既存施設においても十分導入可能性はあるものと想定される。しかし、契約や合意形成などの普及のための実務的な基盤や法制度からの対応が必要であり、これらの対応が望まれる。
- ・地域における面的な技術導入においては、現状でも効果が見込まれる一方、現状においては製品化に至っておらず、コスト的な問題がまだ解決できない問題がある。また、現行の全量買取制度等、今後は中長期的な観点から、地域の将来像と政策の整合性を図っていく必要があると考えられる。

以上から、今後は技術や土地利用等の将来予測を踏まえたうえで、50年先を踏まえた地域の普及展開に向けたロードマップの検討を進める必要がある。

**謝辞：** 本稿の成果にあたり、多大なるご指導とご協力を頂いた岐阜県商工労働部、岐阜県次世代エネルギーインフラ構想策定委員会の皆様、ヒアリング調査にご協力いただいた企業の皆様に改めて感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 都市ガスによるコージェネレーションシステム計画・設計と評価、社団法人空気調和・衛生工学会
- 2) カーボンマイナス・ハイクオリティタウン調査、社団法人日本サステナブル・ビルディング・コンソーシアム

表-8 各モデルの導入課題と導入可能時期

| モデル           | 導入モデルの例                               | 導入課題                                                 | 導入可能時期 |
|---------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------|--------|
| ①施設           | 動力設備（CGS または地下水 HP）、太陽光発電、蓄電池         | ・認知度が低く、運営に技術が必要<br>・販売実績が少なく、機器が高価                  | 短期     |
| ②駐車場          | 太陽光発電の大量導入（上屋）<br>電気自動車用充電コンセント       | ・導入コストが大きく、利益目的の積極的投資が十分に見込めない                       | 短期     |
| ③複数ビル連携       | CGS の共同利用                             | ・電力事業法への抵触が想定される<br>・施設間のマッチング、契約方法、合意形成、導入のタイミングが必要 | 中期     |
| ④商店街          | アーケード部における太陽光発電、小水力発電                 | ・導入コストが大きい                                           | 短期     |
| ⑤住宅地<br>⑥用途混在 | 各施設への設備導入、電力等の面的融通<br>蓄電池による需給ギャップの解消 | ・現行ではメリットが発生しにくい<br>・IT、電力インフラのパッケージ化が必要             | 中長期    |
| ⑦交通結節点        | バス・タクシーのEV化<br>交通結節施設への太陽光発電導入        | ・電池価格が高価で、寿命が短い<br>・タクシーでは運用面での工夫が必要                 | 短中期    |
| ⑧観光地          | 木造住宅の省エネ化（パッシブ建築）<br>観光移動手段のEV化       | ・まちづくりと一体となった構築が必要                                   | 中期     |
| ⑨再開発施設        | 廃棄物発電設備、動力設備、太陽光発電<br>蓄電池             | ・認知度が低く、運営に技術が必要<br>・販売実績が少なく、機器が高価                  | 短中期    |
| ⑩再開発地域        | エネルギーセンター（バイオマス、CGS、再生可能エネルギーの一括管理）   | ・再開発計画や事業者間の合意形成<br>・インフラやITの設計                      | 中長期    |