

海外調査報告：

欧州のスマートシティ・施設における 環境・エネルギーへの取り組み

EHS&S 研究センター長 兼 情報システム技術本部長
市場戦略サービス部長 兼 マーケット開発部担当部長

大島 一夫
杉浦 正爾



Keyword：スマートシティ、アムステルダム、ストックホルム、プラグワイズ、SOHO、電気自動車、太陽熱利用、バイオマス、排水浄化、廃棄物リサイクル

1. はじめに

東日本大震災以降、エネルギー供給の考え方が大きく変わろうとしている。ピーク電力カット、省エネルギーや再生可能エネルギーの利用への動きが高まり、2016年の電力小売りの自由化、発送電分離に向けて法制度の検討も進んでいる。このような動きのなかで、海外の先行事例としてのスマートシティプロジェクト、環境配慮型都市には多方面からの関心が高まっている。

当社は、NTTファシリティーズが2012年9月に催行した調査団の計画・支援を通じてアムステルダム、ストックホルムの事例を調査する機会を得たので、その概要を紹介する。

2. 世界のスマートシティの状況^{1~3)}

スマートシティ、環境配慮型都市は、ICTや環境技術等の先端技術を駆使して電気や熱、未利用エネルギーを含めたエネルギーを地域単位で統合的に管理し街全体のエネルギーの有効利用を図り、また徹底した省資源化を図った都市を目指すものである。電力供給を合理化し最適化するとともに、再生可能エネルギーの効率的な利用を可能にするスマートグリッド、電気自動車の充電システム整備に基づく交通システム、蓄電池、省エネ家電等都市システムを総合的に組み合わせた街づくりが行われる。とはいえ世界のスマートシティプロジェクトはとりまく事情の違いもあり、その目的はさまざまである。

2.1 欧州

イギリスは、2020年までに全世帯へ電力・ガス・水道のスマートメーターを導入し、デマンドレスポンス等を実現する計画である。2014年から設置をはじめスマートメーターによる新サービスを提供し、「見える化」による利用者のエネルギー節約が期待されている。

ドイツでは、脱原発を掲げ再生可能エネルギーの普及・拡大を進めてきている。ローカル規模の配電レベルで需給バランスを行うスマートグリッドの形成を目指す。

大量の再生可能エネルギーを安定的に電力系統に取り込むためには蓄電池が役に立つが、そのために電気自動車の車載バッテリーを蓄電や系統安定化に活用したい考えである。

フランスでは、我国のNEDOとの共同事業「リヨン再開発地域におけるスマートコミュニティ実証事業」により、ビルの消費エネルギーよりも多くのエネルギーを作る「ポジティブ・エナジー・ビルディング」を始め、電気自動車充電管理、家庭内のエネルギーモニタリング、コミュニティ・エネルギー・マネジメント・システム(CEMS)構築を目指している。

盗電対策に頭を悩ますイタリアでは、スマートグリッドの一环として、スマートメーターの早期普及を優先課題としている。将来は、需要と分散型エネルギー源の完全統合を備える配電ネットワークを構築する構想を持っている。

スペインでは、風力・太陽光等の大規模な再生可能エネルギーの導入が進んでおり、電力市場やデマンドレスポンス、需要管理シナリオ、スマートグリッド技術のアプリケーション、分散型エネルギー供給の統合等のスマートグリッドマネジメントおよび省エネルギーを目指している。

オランダでは、アムステルダムの市域で展開した数多くの小規模プロジェクト「アムステルダム・スマートシティ」を市域全体のフルスケールのプロジェクトに拡大していく計画である。あわせて電力需要側・供給側双方の一体的な制御技術の開発や、電気自動車等の普及にも力を注いでいる。

デンマークでは、世界に先駆けて行った自立電源と電気自動車に関するボーンホルム島での実証試験をもとに、デンマーク全土へ展開していく計画である。

スウェーデンでは、ストックホルムで電力需給量の平準化につながるような料金体系を構築することで需給バランスを調整し、需給調節のための大型エネルギー貯蔵装置の設置や電気自動車の充電時間調整の実現を目指している。また、大規模な環境配慮型の街づくりが行われている。

2.2 アメリカ

アメリカは、オバマ大統領がグリーンニューディール計画で再生可能エネルギーへの1,500億ドルの投資や、公共施設の省エネルギー化による数百万人規模の雇用の創出を表明している。その一方で、停電等を減少させ信頼性を確保するために既存の電力網を強化することをスマートグリッド構築の意義づけとしており、2020年頃までに全米の50%がスマートグリッド化することで電力損失を半減する計画である。このため、リアルタイムで双方向の情報や電力融通・デマンドレスポンスを実現することを目指している。

2.3 中東

産油国も、将来のエネルギー事情を鑑みて、新都市に再生可能エネルギーを導入し、スマートグリッドで制御する試みを行う動きがある。

UAEが進めている2020~2025年完成予定の「マスターシティ計画」では、再生可能エネルギーは、シティ内での自給ではなく、効率性を考慮して外部の発電施設から供給を受ける方針に変更したものの、電気自動車やITSを使った交通システムの導入、スマートウォーターメーター、水の効率的な利用を促すしくみや水の再生再利用等先進的な技術や試みを行おうとしている。

サウジアラビアでは、排水再利用のために膜技術を用いた省エネ型排水再生システム等、工業団地のエネルギーマネジメントと水分野の実証事業に取り組んでいる。

2.4 アジア

インドでは、デリー・ムンバイ間的高速貨物鉄道整備を軸として、沿線の工業団地開発を中心に大規模なインフラ整備を進めていく計画がある。スマートグリッド、再生可能エネルギー、水処理、リサイクル、都市交通の開発が進められている。

タイでは、再生可能エネルギーのスマートグリッドへの応用や、交通インフラ、一般家庭の温室効果ガス排出量削減に取り組む計画である。エネルギーマネジメント、バイオマス発電、交通・水との統合機能が検討されている。

この他、ベトナムではスマートグリッド、上下水の処理、建物の省エネルギー化といった地域全体のインフラ統合管理システム構築のプロジェクトが始まっている。シンガポールでは、水、電気自動車、省エネルギー、再生可能エネルギーに注力していく計画である。

3. スマートシティ・環境配慮型都市

スマートシティで先行するアムステルダム、ストックホルムの取り組み状況について紹介する。オランダは海面上昇で最も被害を受ける国として、二酸化炭素排出量削減に向けたエネルギー、交通、ワークスタイルの変更

にわたる幅広い取り組みを進めている。ストックホルムのハンマルビー地区ではリサイクル、再生をテーマに資源循環型の街づくりを行っている。この取り組みは、欧州グリーン首都賞を受賞するきっかけとなり、多くの見学者を集めている。これをさらに発展させたロイヤル・シーポートの計画が進んでいる。

環境配慮型都市については、オランダ、スウェーデンなど欧州の各国やメカ各社が、中国やアジアの市場に標準を定め、そのショーケースとして位置付けている。

3.1 アムステルダム・スマートシティ^{4,5)}

アムステルダム市は、人口80万人、周辺を含めると220万人で、欧州の交通の要衝である。さらには有力なデータセンター事業者が拠点を構え、インターネットハブの一つにもなっている。同市は、革新的な環境技術を試す実験場として、欧州一の環境都市を目指している。2025年までに二酸化炭素排出量を1990年比40%減、エネルギー消費量を同20%減のゴールに向けて、2009年よりスマートグリッド技術の導入を基盤に、エネルギーの供給および消費を管理し、二酸化炭素排出量を削減する「アムステルダム・スマートシティ (ASC)」プロジェクトを進めている。

そもそもASCプロジェクトの発端は、1999年に80~90団体が参加したスマートシティアイデア募集にある。政治家、投資家等が参加したこの提案には、エネルギーカンパニー、スマートメーター、スマートプラグ、光ファイバー接続、サテライトオフィス、在宅勤務等の提案が含まれていた。

提案を具体化するためのASCプロジェクトは、アクセンチュア、AIM (アムステルダム・イノベートモーター)、アリアンダー (エネルギー会社) を中心に組織化された (図1)。

省エネルギー、二酸化炭素排出削減に関して、情報をオープンにして協調すること、国内外に新しい技術を見てもらうこと、研究・知見を共有すること、経済的実現性を評価することでプロジェクトの進展を図っている。AIMは、本プロジェクトには400万ユーロを2009年から2年間にわたって投資したほか、EUからの補助金11億ユーロ、またパートナー企業からの3,000万ユーロの投



図1 アムステルダム・スマートシティ (ASC) プロジェクトへの参加企業・団体

資を活用している。最終的には、新しいビジネスモデルをつくり市場のメカニズムを新しくし、社会の中に新しい市場ができるようにすることを目標としている。

ASC で取り組みが行われているプロジェクトは、大きく下記の4つに分類される。

- ・持続可能な暮らし
- ・持続可能な職場（ワーキング）
- ・持続可能な交通
- ・持続可能な公共空間

市内の各エリアでは、12のパイロット・プロジェクトが行政と企業が協業する形で進んでいる。

これらのプロジェクトで取り組まれている例を紹介する。

3.1.1 オフィスビル

2005年に建築された Zuidas 地区にある大規模なオフィスビルのイトータワー（図2）13～17階に、ASC のパートナー企業であるアクセンチュアが入居している。ここでは、企業のエネルギー消費パターンの把握、省エネルギー手法の探索、省エネルギーへのワーカーの自覚を促すこと等のため、360個のスマートプラグを設置して、プラグごとのエネルギー消費量の測定、時間外の消灯や機器の停止により年間18%の省エネルギーを行っている。

ここで使われたのが、プラグごとに測定、オンオフ等が行えるシステム「プラグワイズ・システム」で、スマートプラグ、ユーザインターフェース、ネットワークから構成される。スマートプラグは Zigbee モジュールを使用して互いに無線通信が行え、128ビットの AES 暗号化を採用して、他の無線システムからの干渉を受けにくくしている。プラグワイズ・ネットワークには、最大1,000ノードを接続できる。また、ハロゲン照明を LED 照明に替えることにより、42%の省エネルギーが図られている⁶⁾。

テナントビルでは往々にしてエネルギー費用がサービスコスト（賃料）に含まれてしまうため、テナントの省エネルギーへの取り組み動機がなくなってしまう。この



図2 イトータワー

ようなことから、実験報告ではビルオーナーとテナント間の契約を省エネ行動につながるような形態に変えていく必要があることを提言している。

3.1.2 スモールオフィス

交通移動の抜本的改善もテーマになり、在宅勤務やスモールオフィスによるワークスタイルが注目され、これらは新たな市場創造につながると期待された。これがスモールオフィスやコンバージョンプロジェクトであるデ・バリエヤデ・グロエネ・ポックトのきっかけになっている。この結果、ワーカーの5%はスモールオフィスで働き、同10%は在宅勤務を行っている。そして交通渋滞が60～70%削減されている。以下にスモールオフィスやコンバージョン事例を示す。

1) スマートワーキング・センター（図3）

SOHO 企業をターゲットにした都心の施設で、プリンタ、スキャナ、インターネット等が整備され、ミーティングルーム、レストラン等が共用できるようになっている。当初はアムステルダム近郊都市であるアルメーレで立ち上げたが、郊外という立地の悪さが原因となって破綻したため、都心で再度立ち上げられた。ここでは11社がスマートチャレンジに参加し、社員にエネルギー・ウォッチャーになってもらっている。職場で省エネ意識を高めてもらい、これを家庭で実践してもらうようにもしている。省エネ家電製品の購入の際等には、ワーカー間の情報共有が役立っている。



図3 スマートワーキング・センターのミーティングルーム

2) デ・グロエネ・ポックト

オフィスの環境対策とビジネスが両立することを検証する事業で、グロエネ・ポックトがビルオーナーから借りてテナントに貸している官民が雑居するシェアオフィスビルである。ビルではグリーン電力の購入、リサイクル建材の使用、高断熱、雨水利用、LED 照明の採用、燃料電池の設置、エネルギーモニタリング等を行っている。ビル内のカフェでは、有機栽培のフェアトレードメーカーのコーヒーを提供している。このビルに入居することにより、テナントも環境に配慮していることを宣伝できる。また、環境に対して共通の考えを持つテナントが集まるため、環境への取り組みも促進される。

3) デ・バリエ (図4)

コンバージョン事例であるデ・バリエは、アートシアターのある歴史的建造物で、元は裁判所の建物である。建物内には複数の小ホールがあり、屋根裏が貸事務所になっている。歴史的建造物であるデ・バリエは、多くの観光客が訪れるとともに、フレキシブルワーカーの集う場所にもなっている。



図4 デ・バリエの外観と屋根裏の事務所

3.1.3 住宅

アムステルダム市の住宅は、70%が大手の住宅協会が供給する賃貸住宅で、30%が自己所有である。そこで事業者や所有者向けにソーラーパネルの購入補助を行い、さらには住宅の等級付けをして免税を行っている。ソーラーパネルは7年で投下資本が回収できる。

2015年以降の新しい開発では、エネルギーニュートラルを目指すことにしている。また、既存ビルには5年程度で回収できる投資(太陽光、ヒートポンプ等)を行っていく計画である。

3.1.4 商店街

小規模な店舗が集まるユトレヒト通りでは、環境に配慮した取り組み「クライメートストリート」(図5)を店舗オーナーに訴求し、46人にスマートシティ大使になってもらっている。この大使を通じて取り組みを広げ、現在140店舗が参加し、環境・エネルギーの話合いも多く行われている。参加するすべての店舗にはスマートメーターを設置し消費電力パターンの見える化を図るとともに、使っていない器具や照明を自動で消す機能をもったスマートプラグを整備している。また、このスマートメーターの改良型では、ゴミ収集車の通過時刻、天気予報等の表示、タクシーを呼ぶ機能等も組み込んだ。街路灯の照度を落とす、トラム停留所の照明に太陽光を利用



図5 ユトレヒト通り「クライメートストリート」

する、配送車やゴミ収集車を電気自動車に替える等の取り組みを行っている。店内で不要になったプラスチックや紙等の廃棄物はすべてリサイクルに回し、包装や宣伝に使用する材料にもリサイクル商品を使用している。

3.1.5 交通

現在、98%の車が使われていない(車庫に眠っている)ため、ビジネスとしてシンプルでなじみやすいカーシェアリングの普及が好ましいが、まだ10%のシェアにとどまっている。電気自動車については、スマートメーターと充電ステーション(図6)の統合試験を行っている。電力供給を管理し過充電を避け、電力の無駄遣いをなくすようにしている。充電ステーションは、2012年末で200カ所と言われ、充電中の様子もよく見かけられた。



図6 電気自動車充電ステーション

3.2 アルメーレ・サンアイランド

アムステルダム郊外にある欧州最大級の太陽熱給湯を取り入れた環境配慮型大型住宅団地である。アルメーレは約35年前にできた新しい住宅都市で、アムステルダムから約35km東にある。土地の大半が海面下5mに位置しているため、洪水対策は市の最重要課題で、水門では継続的に電力を使用して排水を行っている。もともと農地として計画・開発された土地を、農地が必要でなくなったことから住宅地に計画変更したため、緑が多く自然豊かな街である。

アルメーレ・サンアイランドでは、15,000m²の土地にデンマーク製の太陽熱パネル6,900m²(10m²/枚)を敷きつめて温水を製造している(図7)。この温水は、地域エネルギー会社のコ・ジェネレーションシステム(CGS)と連携して2,700世帯に暖房・給湯用として供給



図7 アルメーレ・サンアイランドの太陽熱パネル

している。太陽熱利用により二酸化炭素排出量を9%削減、バイオガスを利用できるCGSにより同40%削減を行っている。財政的にはEUの補助を受けており、オランダのエネルギー会社スオン、アルメーレ市、市民の協力で運営されている。

3.3 ハンマルビー・ショースタッド (ストックホルム) ^{7,8)}

増加するストックホルム市の人口に対応するため、工業地域で、環境汚染が深刻化していたハンマルビー・ショースタッド (図8) の都市再開発計画が1980年代から開始され、環境に徹底的に配慮したコミュニティづくりが行われた。

環境負荷1/2を目指し、最終的に11,500戸の住宅に26,000人が暮らし、36,000人が働く街として2018年に完成する計画である。2008年現在、すでに1万人以上が居住している。

本計画地域は、土地がすべてストックホルム市の所有であり、熱供給、水供給、ゴミ処理等が市の責任であることから、理想的な計画・実施が可能となっている。サステナブル・シティの最先端のモデルとして、世界中から毎年1万人を超える専門家やリーダーたちが訪れている。



図8 ハンマルビー・ショースタッド

1) エネルギー

下水や廃棄物を利用して、暖房・冷房・発電を行い、バイオガスを製造し、街の完成時には必要とする燃料の50%を自ら作り出す計画になっている。太陽光発電や太陽熱等の新エネルギーも利用する。

地域暖房には下水処理水の熱を利用し、これによって冷却された下水処理水を地域冷房に利用する。

生ゴミや下水汚泥は生物分解されてバイオガスになり、市バスの燃料や住戸の暖房に用いられる。また、汚泥からは肥料を製造する。

2) 上下水

ストックホルムの住宅では200ℓ/人日の水を使用しているが、この地域では100ℓを目指し、現在150ℓの水使用量になっている。節水水洗トイレやミキサータップ (混合栓) 等により、水の消費が半分に抑えられている。

排水浄化プラントの試験も行っており、化学的、物理的、生物学的プロセス等4種類の評価を行っている。

街区の豪雨水、雨水、融雪水は、地面への浸透、排水溝を通じて運河に放流される等により街区の中で処理される。

屋上緑化は、雨水を一次的に蓄え排水を遅らせているうえ断熱にも役立っている。

3) 廃棄物

家庭から排出されるゴミは、建物内あるいは建物近傍に設けられたゴミの種類別ポスト (生ゴミ用、雑誌・新聞・紙類用、可燃ゴミ用 (図9)) に投入する。ゴミポストは時間によって開く口が異なり、これによって分別回収を行っている。投入されたゴミは、地下のパイプラインを利用した高速吸引システム (時速70km) により直接、地域内の中央ゴミ収集ステーションに収集される。これにより、大型のゴミ収集車が地域内に入ることがなくなる。一方、ゴミ袋の封ができていないとパイプライン内でゴミが散乱してしまう、ゴミポストの蓋を閉めないでゴミ搬送がうまくいかない等のトラブルも生じている。

これ以外の梱包材、電気製品等の廃棄物は、ブロックごとに設けられたリサイクル・ルームに、塗料、電池、化学製品等の有害廃棄物は分類して地域ごとのゴミ収集ステーションに持ち込む。



図9 ゴミポスト

4) 交通

居住者、ワーカーの80%が、公共交通機関、自転車、徒歩を利用することを目標にしている。このため、トラム (路面電車 (図10))、バス、フェリーを利用できるようにするとともに自転車道路の整備、カーシェアリング等を行っている。



図10 トラム

3.4 ロイヤル・シーポート（ストックホルム）^{9, 10)}

ヘルシンキ等とフェリーで結ぶ港湾地区一帯を、2020年までに二酸化炭素排出量を1.5t/人年、2030年までに化石燃料を一切使わない港町に作り変えるプロジェクトである。市全体では2050年までに化石燃料をゼロにするとの目標を掲げているが、この地区を未来のストックホルムのモデル地区とし、開発面積は236ヘクタール、2030年までに住宅1万戸を建設し、3万人が働くオフィスを用意する計画である。

住宅の省エネ基準は55kWh/m²年（電力・暖房・給湯等の全エネルギー）で、これを守らないと建設許可がおりない。ちなみに現在のスウェーデン住宅庁の省エネ基準は90kWh/m²年である。55kWh/m²年を達成するには建設コストが3～5%上昇するが、現在の技術で対応可能である。

また、気候変動による豪雨対策も視野に入れており、土地の2m以上のかさ上げ、大きめの排水設備等を要求している。

ロイヤル・シーポートは、産業界全体で先端技術の実験場として使いながら、その技術の詳細や導入効果を敷地内に設立したイノベーションセンターで公開する等して、製品やサービスの拡販につなげようというねらいがある。



図11 ロイヤル・シーポートの概要を説明する市の開発担当者

4. おわりに

今回、調査を行ったアムステルダム、ストックホルムはともに緯度が高く、暖房エネルギー消費の占める割合が大きい。また、オランダはエネルギー自給率81%、一

次エネルギー供給全体の45%を国内産の天然ガスが占める。一方スウェーデンは、エネルギー自給率66%で、一次エネルギー供給全体の30%を原子力、27%を石油が占める。このようにエネルギー事情も国ごとに異なる。

取り巻く環境に差はあるが、都市に流入する人口への対応、二酸化炭素排出量削減等のために、再生可能エネルギー、省エネルギー、交通、上下水、廃棄物、市民とのコラボレーション（情報共有・意識向上）等、幅広い領域で取り組みが行われている。また、これらの取り組みは発展途上国へのショーケースとしての位置づけも持たせている。このような海外、国内での取り組みが、ビジネスとして成り立ち、持続可能な社会の形成につながっていくことを期待したい。当社もこれらの動向の調査・評価結果の情報発信を通じてその一端を担っていきたいと考えている。

〔参考文献〕

- 1) 海外電力調査会：海外諸国の電気事業 第1編，2008.8
- 2) スイス ABB が語る世界のスマートグリッド，日経エナジー2012春号
- 3) スマートコミュニティ関連技術・市場の現状と将来展望 2012年 No. 2「水・交通・インフラ，スマートシティ編」，富士経済，2012.9
- 4) アムステルダム「環境都市」を目指す，ジェトロセンサー，2011.9
- 5) 欧州トップの環境都市目指すアムステルダム市が始動，日経エレクトロニクス，2009.12.18
- 6) 建物の省エネシステムで日本参入狙う－プラグワイズ－（欧州ロシア CIS 課），2012.3.6，通商弘報
- 7) スウェーデンの環境への先進的な取り組み，および社会変革による低炭素社会の実現について，スウェーデン大使講演会報告書，環境省，2011.2.21
- 8) 外国企業にとっても魅力的なショーウィンドー効果－環境ビジネス，ストックホルムの挑戦（3），通商弘報 2010.11.12
- 9) ロイヤルシーポート WEB 資料 <http://www.stockholm-royalseaport.com/en/>
- 10) 環境ビジネス，ストックホルムの挑戦，日本貿易振興機構