

都市とセンシング

EHS&S 研究センター長 兼 情報システム技術本部長 大島 一夫

Keyword：スマートシティ、エネルギー、交通、廃棄物処理、大気汚染、騒音

1. はじめに

国連のレポートによれば、2050年には世界の人口の66%が都市で生活するようになると予測されている。世界の人口の増加に伴って、今後35年間でさらに25億人が都市に加わることになる¹⁾。都市部の人口の増加は、インフラ、資源、エネルギー、交通、環境、治安等の問題を引き起こすことになる。

これらの問題に対処するとともに、新たなイノベーションの創出、開発途上国への展開を狙いとして、世界各国、各都市でさまざまな取り組みが行われている。ここではこれらの取り組みの事例と、都市の状況を見える化するためのセンシング事例について紹介する。

2. スマートシティ・スマートコミュニティの取り組み

ISO、国内、EU、米国で取り組まれているスマートシティ、スマートコミュニティの事例を紹介する。

2.1 ISO

スマートコミュニティ・インフラストラクチャについて、ISO TS 37151「性能評価指標の一般原則と要求事項」が発行されている。スマートコミュニティ・インフラストラクチャとは、コミュニティの持続的開発とレジリエンスに貢献するために設計され、運用され、維持される高度な技術的性能を備えたコミュニティ・インフラストラクチャと定義し、①エネルギー、②輸送/交通、③上下水道、④廃棄物/リサイクル、⑤IT/データのインフラを対象としている。

ISO TS 37151では、表1に示す3つの視点と14のニーズに基づく評価基準（メリット）を規定している。表中の14のカテゴリーに基づき、都市のインフラをスマートシティという観点から5段階評価する検討も行われている²⁾。

2.2 国内での取り組み事例

国内でのスマートシティへの取り組み事例としては、2010～2015年に横浜市、けいはんな学研都市、豊田市、

北九州市の4地域で実施された経済産業省のスマートコミュニティ導入事業「次世代エネルギー・社会システム実証」がある³⁾。

横浜市の、地域エネルギーマネジメントをテーマにし

表1 スマートシティ評価の枠組み (ISO TS 37151)

視点	ニーズ	具体例
住民の視点 (エンドユーザー、 受益者、消費者 含む)	アベイラビリティ	時間的範囲 (24時間運行など)
		地域的範囲
		人的範囲 (住民の何割など)
	アクセシビリティ	高齢者なども使える
	アフォーダビリティ	手頃な価格設定
	安全・安心	情報セキュリティとプライバシー
		物理的セキュリティ
		安全性
	サービスの品質	サービスの容量・規模
		理解と利用の容易性
明朗会計		
情報提供		
地域運営者の 視点	運営効率	適切な設備規模
		相互運用性
		需要変動への適応性
	経済効率	ライフサイクルコスト
		投資効率
	性能情報の入手可能性	利用者との情報交換
	保守性	メンテナンスの適切性
		メンテナンスの効率
	レジリエンス	頑健性
		冗長性
持続性		
回復の迅速性		
環境の視点	資源有効利用	エネルギー消費効率
		資源効率
		廃棄物量
	気候変動の対策	GHGの排出量
	汚染の防止	汚染物質の排出量
		騒音・振動の発生
	生態系保全	緑地の量
表面流出の制御と流域		
健康および公衆衛生への貢献		

文献²⁾より引用

た「横浜スマートシティプロジェクト (YSCP)」では、住宅への蓄電池・太陽光発電・ホームエネルギーマネジメントシステム (HEMS) の導入、業務用ビル等へのビル管理システム (BEMS) の導入、地域エネルギーマネジメントを行うCEMSの導入、電気自動車 (EV) の導入と、これらを連携させたデマンドレスポンス等を実施し、その効果を確認している。

けいはんな学研都市の「けいはんなエコシティ次世代エネルギー社会システム実証プロジェクト」では、太陽光発電を装備した新築住宅へのHEMS、蓄電池の設置、EV充電管理システムの導入、これらとCEMSを連動させたデマンドレスポンス等の実証試験を行い、その効果を確認するとともに、インセンティブ付与の効果に関する知見を得ている。

豊田市の「豊田市低炭素社会システム実証プロジェクト」では、1人乗り超小型EV等のシェアリングサービス、燃料電池バスの走行実証やV2H (Vehicle to Home) 実験、HEMS・蓄電池・エネファーム (家庭用燃料電池) 等を装備したスマートハウスの実証が行われた。周辺工場で排出された排熱を別の工場に蓄熱パレットを利用し

て輸送して熱源として利用する試みも行われている。

北九州市の「北九州スマートコミュニティ創造事業」では、天然ガスコージェネレーション発電所から地域への電力供給、季節や時間で電気料金変動する「ダイナミックプライシング」の実証が行われた。

2.3 海外での取り組み事例

欧州では、欧州委員会が2015年にHorizon2020においてスマートシティ実証を行うための予算措置を行った。この中で、各都市はスマート交通、センサーネットワーク、エネルギーハーベスト、廃棄物処理、水処理等の取り組みを行っている⁴⁾。

米国では、2015年にスマートシティイニシアチブが公表され、市、連邦政府機関、大学、民間が連携してスマートシティのための新技術の研究、開発、導入、実験が行えるように支援している⁵⁾。

3. 都市で取り組まれているセンシング

都市で取り組まれているセンシングの事例について、各都市ごと、センシング対象・技術ごとに紹介する(図1)。

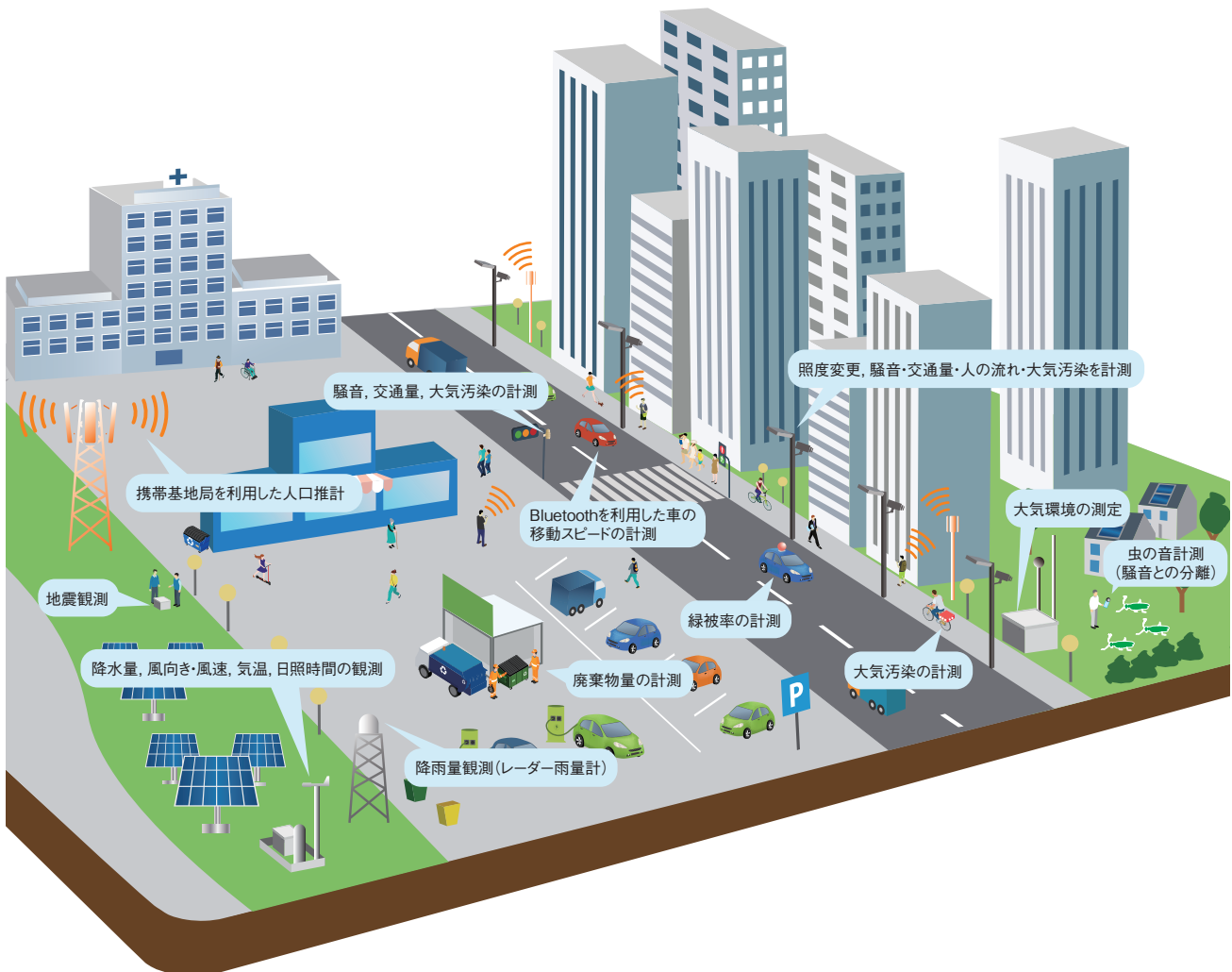


図1 都市で取り組まれているセンシングの事例

3.1 都市でのセンシング事例

英国・グラスゴーでは、各種センサーが内蔵されたインテリジェント街路灯が市内各所に設置された。この街路灯は、LEDによりエネルギー効率を高めるとともに、市のオペレーションセンターからの照度の変更や、CCTVを使用した音のモニターによる地域の安全確保、モーションセンサーによって計測した車や人の流れの都市計画への活用、大気汚染対策のための大気汚染データの計測、市民のためのWiFiサービスの提供などを行っている。また、インターネット上にある個人情報にあたるデータ（ビッグデータ）を活用する取り組みも行われている⁶⁾。

ノルウェー・オスロでは、欧州の研究プロジェクトCITI-SENSE（2012～2016年）の一環として、低コストで持ち運び可能な新しいセンサーを使い、市民が参加する大気汚染の計測を行った。人が携帯したり、自転車に取り付けて計測するので、データが科学的に100%安全というわけではないが、これまでのモニタリングシステムでは不可能であった空間解像度で大気の状態を観測できる。人が持ち運ぶするタイプのセンサーでは、NO₂、O₃、CO、温湿度を計測する。計測したデータは、Bluetoothを利用して携帯電話のGPS情報とともにデータベースとして蓄積される⁷⁾。

ノルウェー・トロンハイムや、デンマーク・ヴァイレでは、CO₂、NO_x、浮遊粒子、温湿度、大気圧をリアルタイムでモニタリングするセンサーネットワークを設けた。センサーネットワークには低消費電力のLoRAアライアンス^{注)}の広域ネットワークを使用してデータを送っている⁸⁾。

米国・シカゴでは、騒音、交通量、大気汚染レベルを計測するため、500地点以上にセンサーノードの設置を進めている⁹⁾。

米国・サンノゼでは、大気汚染、騒音、微気候を計測するためのセンサーネットワークを設けた。これらのデータは行政の政策判断や、市民の生活環境を改善するために使用されている¹⁰⁾。

3.2 センシングサービス・技術

1) 人口推計

携帯電話の基地局エリアごとの人口を推計するサービスがある。このサービスにより、あるエリアの時刻別、年代別、性別、居住地別の人口がわかる。一方、プライバシーの問題もあるため、個人を特定せず人口推計に必要な情報のみを抽出する非識別化処理、少人数エリアの情報を除外する秘匿処理等を行っている。このサービスの時間解像度は1時間、空間解像度は500m～数kmである。

このサービスにより、どこに住んでいる人がどこに移動しているかがわかるため、商圈の分析、中心市街地に

集まっている住民の分析による街づくり、帰宅困難者の推計、台風や大雪などの場合の影響度合の検討、昼間ほどのくらい若年層が残っているか（共助力）の推計などが可能になる¹¹⁾。

2) 交通量

交通量モニタリングには、以前から交通カメラや道路に埋め込まれたループセンサーが多く利用されてきた。ループセンサーは、電磁場をつくり、車が通ると電磁場が乱れる原理を利用している。

最近では離れた2カ所（3km間隔）に設置されたBluetoothセンサーによって、車の移動スピードを計測する技術が米国メリーランド大学によって開発されている。携帯電話のハンズフリー通話の機能を持った車に備えられたBluetoothセンサーが持つ固有の識別番号を検出する方法を利用している¹²⁾。

この他、カーナビゲーションシステムなどの車載情報機器の持つ走行情報（位置や速度など）を携帯電話ネットワークを介して定期的にアップロードすることも行われている。これらのデータを分析して、渋滞予測等の情報が提供されている。

このような交通量データは、都市の中を人がどのように移動しているかを示している。伝染病の専門家は、伝染病がどこで発生しどこに拡散するかを推測する疫病拡散モデルに都市の移動情報を組み込もうとしている。この結果に基づいて隔離や予防接種の対策を行ったり、資源（医療従事者など）を適時、適切な場所に振り分けることが可能になる¹²⁾。

3) バリアフリー

路面の段差や階段位置などを収集するために、スマートフォンを持って歩くだけで、内蔵のセンサーにより路面の状況を抽出する技術の開発が進められている¹³⁾。

4) 自然環境

交通騒音などの都市の騒音が計測されているが、これらの中には日本人には親しみのある虫の音なども含まれてしまっている。昼夜間の音声データの比較、季節間の音声データの比較、バンドパスフィルタなどを利用して、スズムシ、コオロギ、セミなどの昆虫の鳴音を抽出し、地図上にマッピングし、自然環境の存在する地域の可視化を行う研究が進められている¹⁴⁾。

都市やビルでは緑化が進められているが、緑化により鳥類や昆虫が訪れるようになる。どのような鳥類が訪れるようになったのかを調査するために、モーションセンサーとカメラを設置して、緑化による効果を評価している例もある。

都市の緑被率を増すことは、太陽光の短波長放射を防ぎ水の蒸発を増やすことによって都市の気温を下げることにつながる。また、都市活動によって引き起こされる大気汚染を緩和することにもなる。樹木の根系は、豪雨

や台風による洪水を緩和するのにも役立つ。世界の各都市がこのことを認識しており、緑被率を増す取り組みを行っているが、このためには緑被率を計測して比較するための指標が必要となる。米国・マサチューセッツ工科大学のセンシブル・シティ・ラボラトリーでは、Googleストリートビュー（GSV）パノラマを使用して緑被率を求めるグリーン・ビュー・インデックス（GVI）を開発している。GVIは、航空写真や衛星写真を利用する方法に比べて、街路レベルからの環境の見え方に近い値になる。GVIは0-100のスケールで、緑被率を示すようになっている¹⁵⁾。

5) 廃棄物

廃棄物の収集を効率的に行うためのセンシングがはじまっている。廃棄物コンテナの上部（ふた等）に超音波センサーを取り付け、廃棄物の高さ（堆積率）を測定しそのデータを無線で送信する。送信されたデータをもとに堆積率予測を行うとともに、廃棄物収集車の空き状況、渋滞情報、道路規制等のデータを加えて、毎日の収集スケジュールとルートを決める。この廃棄物の収集スケジュールやルートは、廃棄物収集車のタブレットPCに表示される。これにより廃棄物の効率的な収集が可能になり、エネルギー・排気ガス・サービスコストの削減、交通渋滞の緩和などの効果が期待される。廃棄物コンテナには超音波センサーのほかに、火災を検知するための温度センサー、傾き、加速度などを検出するセンサーも備えられている¹⁶⁾。

6) 大気汚染

大気汚染については、国内でも各所に大気環境測定局が設置されている。人が住む住宅地等での測定を行う一般環境大気測定局（一般局）、自動車排気ガスによる大気汚染の状況を把握する自動車排気ガス測定局（自排局）がある。これらの測定局では、NO₂、SPM（浮遊粒子状物質）、O_x（光化学オキシダント）、SO₂、CO、PM_{2.5}（微小粒子状物質）等が測定されている。ここで、SPMとは粒子が10 μm以下の粒子を、PM_{2.5}とは2.5 μm以下の粒子をいう。PM_{2.5}は非常に小さいため、肺の奥まで入りやすく、呼吸器系、循環器系への影響が心配されている。

測定局は、一般局と自排局を合わせて全国に1,884局ある（2015年度末¹⁷⁾。

7) 気象

気象庁は、気象レーダーによる観測結果をもとに1 km四方ごと、5分ごとの60分先までの降水強度分布予測を「降水ナウキャスト」として提供している¹⁸⁾。また降水量、風向・風速、気温、日照時間の観測を行う「地域気象観測システム」アメダスはよく知られている。アメダスの降水量を観測する観測所は、全国に約1,300カ所（約17km間隔）あり、このうち降水量に加えて、風

向・風速、気温、日照時間を観測する観測所は、約840カ所（約21km間隔）ある¹⁹⁾。

東京都下水道局では、降雨情報システム「東京アメッシュ」を導入して、降雨予測に基づいたポンプ運転など下水道施設の運転管理に活用するほか、一般にもこの情報を公開している。この降雨情報システムは、東京都や近隣自治体のレーダー雨量計と、近隣自治体を含む約130台の地上に設置された雨量計からのデータを加工して降雨の強さや分布状態を計算している。計算結果は150m（遠方は1,000m）四方ごと、5分ごとに、降雨強度を10段階に分けて表示している²⁰⁾。

8) 地震

気象庁、地方自治体、防災科学研究所などが地震や津波を観測するための地震計や震度計を設置している。全国の震度観測点は4,385カ所、東京都では島しょ部を含め132カ所ある²¹⁾。

9) トリリオンセンサー

毎年1兆個以上のセンサーを活用する社会を構築しようという、米国のJanusz Bryzek氏が提唱するトリリオン（1兆）センサーへの取り組みがある。社会に膨大な数のセンサーネットワークを張り巡らせることにより、エネルギー、医療、食料など地球的規模での課題を解決できるものと考えている。環境センシング、インフラセンシング、食品業界向けセンシング、非侵襲ヘルスマニタリング、人工五感などが検討されている。センサーを大量につくることにより、センサー、制御回路、ネットワークの費用を大幅に低減しようとしている²²⁾。

10) エネルギー・ハーベスティング

都市やインフラなど広い領域にセンサーを多数設置する場合には、センサーやネットワークへの電力供給が問題になる。この問題を解決するために、エネルギー・ハーベスティング（環境発電）の開発が進んでいる。エネルギー・ハーベスティングとは、周囲の環境からエネルギーを収穫（ハーベスト）して電力に変換する技術をいう。この技術を採用すると、電池の交換や電源ケーブルの工事が不要になる。環境中のエネルギー源としては、太陽光や室内光、振動、温度差、水道の水圧、テレビ・ラジオ・携帯電話の電波、生体エネルギーなどがある。エネルギー・ハーベスティングが可能になったのは、損失の少ない電源回路の開発、無線送受信回路の低消費電力化、待機時の電力損失の低減などが進んだことによる。このような技術開発により、ビルや橋梁などの構造体、都市の街路灯などにセンサーを取り付けてその状態をモニターし、必要に応じて補修を行ったり、微気候の把握などが効率的に行えるようになりつつある²²⁾。

4. おわりに

都市に人口が集中する中、都市で生じるさまざまな問

題に対処するための取り組みが行われている。このような取り組みを効果的に行うには、現状の把握、今後の予測、対策の効果確認が必要であり、そのための各種センシングが行われている。ここでは都市空間で行われている事例を紹介したが、ビル内で集められているデータと連携することにより、都市問題のさらに効果的な解決が可能になると考える。センシング対象が増え、時間軸、空間軸での解像度もあがったデータを効率よく収集、分析するには、プラットフォームやインターフェースの統一、情報セキュリティ、個人情報への配慮、AIなどの分析手法の高度化などが必要になる。また投資効果の高いセンシング手法・対象の選択が必要になる。これらにより、安全で、地球環境に配慮した、利便性が高く、住み心地のよい都市に変化していくことを期待する。

[注記]

注) LoRaアライアンス：IoTの本格的な普及に備え、LPWA (Low Power Wide Area) 無線ネットワークの展開が進められている。その中で、非営利団体LoRaアライアンスでは、LoRaWANの規格化とプロモーションを推進し、ライセンス不要の周波数帯域を利用したオープン仕様による省電力広域無線ネットワークを発展させるための活動を行っている。LPWAは、低電力で通信可能な帯域を使うネットワークをいう。低電力で通信可能になるため、バッテリー消費が抑えられ、長時間無人で運用するデバイスに適している

[参考文献]

- 1) United Nations : World Urbanization Prospects, 2014 revision, highlights, <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Highlights.pdf>, 2017.3.10
- 2) 市川芳明：スマートシティのインフラを国際標準化する狙いと進捗、計測と制御, pp.704~709, 第55巻, 第8号, 2106.8
- 3) http://www.nepc.or.jp/topics/2015/0330_1.html, 2017.3.30
- 4) <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/>, 2017.3.24
- 5) <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2015/09/14/fact-sheet-administration-announces-new-smart-cities-initiative-help>, 2017.3.30

- 6) <http://futurecity.glasgow.gov.uk/>, 2017.3.30
- 7) <http://oslo.citi-sense.eu/>, 2017.4.4
- 8) Monitoring air quality in a smart city using a sensor network, <http://www.rcrwireless.com/20161111/big-data-analytics/monitoring-air-quality-smart-city-using-wireless-sensors>, 2017.3.10
- 9) <https://news.uchicago.edu/article/2016/08/29/chicago-becomes-first-city-launch-array-things>, 2017.4.4
- 10) <http://smartamerica.org/teams/smart-cities-usa/>, 2017.4.30
- 11) モバイル空間統計：http://www.dcm-im.com/service/area_marketing/mobile_spatial_statistics/, 2017.4.3
- 12) ネイサン・イーグル, ケイト・グリーン：みんなのビッグデータ リアリティ・マイニングから見える世界, NTT出版, 2015.2
- 13) NTT：<http://www.ntt.co.jp/news2016/1611/161125a.html>, 2017.4.3
- 14) 東京大学 空間情報科学研究センター 瀬崎研究室：昆虫音を用いた都市の自然環境センシング
- 15) <http://senseable.mit.edu/>, 2017.3.4
- 16) <http://www.enevo.com/>, 2017.3.24
- 17) 環境省：<http://www.env.go.jp/press/103858.html>, 2017.4.3
- 18) http://www.jma.go.jp/jma/kishou/ku/kurashi/kotan_nowcast.html, 2017.3.29
- 19) <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/ku/amedas/kaisetsu.html>, 2017.3.29
- 20) <http://tokyo-ame.jwa.or.jp/ja/amesh/index.html>, 2017.3.24
- 21) <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/intens-st/>, 2017.4.24
- 22) 日経エレクトロニクス編集：NEハンドブックシリーズ センサーネットワーク, 2014.6



おおしま かずお
大島 一夫

EHS&S 研究センター長 兼 情報システム技術本部長 兼 DBソリューション部長 兼 市場戦略サービス部長

博士(工学), 建築設備士, SHASE技術フェロー, 認定ファシリティマネージャー, エネルギー管理士 日本建築学会, 空気調和・衛生工学会, 計測自動制御学会会員

Synopsis

Cities and Sensing

Kazuo OSHIMA

It is predicted that in the year 2050, 66 of the world's population will be living in cities, translating into an additional 2.5 billion people migrating to cities over the next 35 years. This increase in the city-dwelling population will give rise to problems in areas such as infrastructure, resources, energy, transportation, the environment and public security. As well as addressing these problems, with the aim of creating new innovations and its deployment in developing countries, a wide range of initiatives are underway, including the establishment of smart communities in countries and cities around the world.

ISO/TS 37151 "Smart community infrastructures - Principles and requirements for performance metrics" has been issued with the focus on smart communities and infrastructures. In Japan, the Ministry of Economy, Trade and Industry has launched the Project for Promoting Introduction of Smart Communities, while in Europe, the European Commission made budgetary provisions in 2015 for the implementation of smart city verification under Horizon 2020. The U.S. announced a Smart Cities Initiative in 2015 in support of new technologies for smart cities.

In Glasgow in the U.K., intelligent streetlights with a wide range of built-in sensors have been installed, while in Oslo in Norway, citizens have participated in measurements of atmospheric pollution. In Chicago in the U.S., work is progressing on the installation of sensor nodes at more than 500 locations to measure levels of noise, traffic volume and atmospheric pollution. In Japan, a service has been set up to estimate the population in each mobile telephone base station area. To collect data on elements such as bumps on road surfaces and location of steps, the development of technologies capable of identifying the state of road surfaces simply by walking around holding a smartphone is underway. Noise also includes the elements such as the sounds of insects familiar to Japanese people. Technologies that identify and pinpoint insect calls on maps as well as technologies capable of finding green coverage ratios using Google Street View are also under development. Sensing for the purpose of efficiently collecting waste has also been initiated. It is believed that linking these various types of sensing implemented in cities with data collected in buildings will result in the resolution of urban problems more effectively.

As the number of sensing targets increases, measures including the standardization of platforms and interfaces, consideration of information security and enhancement of analytical techniques using means such as AI will be necessary to efficiently collect and analyze data of higher resolution on the time and spatial axes. It is expected that these measures facilitate the process of conversion of cities into places that are safe, environmentally-friendly and comfortable.