

日常の維持・管理および自然災害対応のためのスマートインフラ機能

Function of Smart Infrastructures for Daily Operation, Maintenance and Natural Hazards

高田 至 郎
Shiro Takada

1. 概要

電力、ガス、水道、交通システムなどの都市インフラは、現在、環境保全、輻輳（遅延）、新設用地不足などの種々の課題に直面している。インフラストラクチャのための運用管理に責任ある行政や公共事業体の資金的余裕不足、技術者・人員不足などにより、それらの抜本的解決は容易ではない。上記の課題に対して、スマートインフラの機能は、多くの課題を解決する可能性を有している。

2. スマートインフラの定義・役割

スマートインフラについての厳密な定義は、充分検討されていない現状にあるが、一般的な考え方として、スマートインフラ(SI)は、センサーと通信ツールによるデータ収集や、それに基づく情報確保によって、現状よりも高度な機能性によって、効果的な公共サービスを与える可能性を示唆している。本文では、SI 要因に関連する概念について説明し実務的なデータ処理とインフラ運用について説明を加える。SI はライフライン地震工学の分野における種々の研究課題にも対応できる可能性がある。また、本文ではインフラ事業者へのアンケートを実施して、SI の可能性を模索している。図-1 には情報収集方法とコミュニティへの活用についての概念を示している¹⁾。

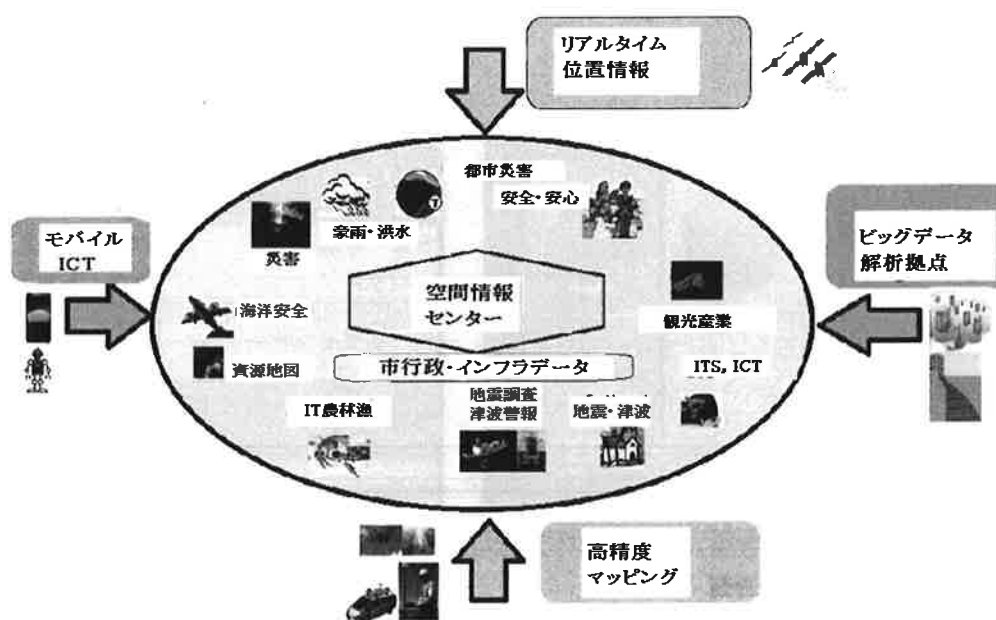


図-1 スマートコミュニティとデータ収集

SIはセンサーとデータ通信 ICT (Information and Communication Technology) の2技術に支えられ、インフラに多様な情報を与えることができ、インフラの利便性を向上させる^{2), 3)}。図-2に示すように、SIは既存のインフラストラクチャと比較して、高いレベルの公共サービスを与えることができる。また、日々の運用のマン・マシン・システムは認識制御によって、ロボットがその役割を果たす可能性がある。さらに、自然災害と人災に対しては、SIは被害拡大を軽減するために最適な緊急対応を与えることができる。

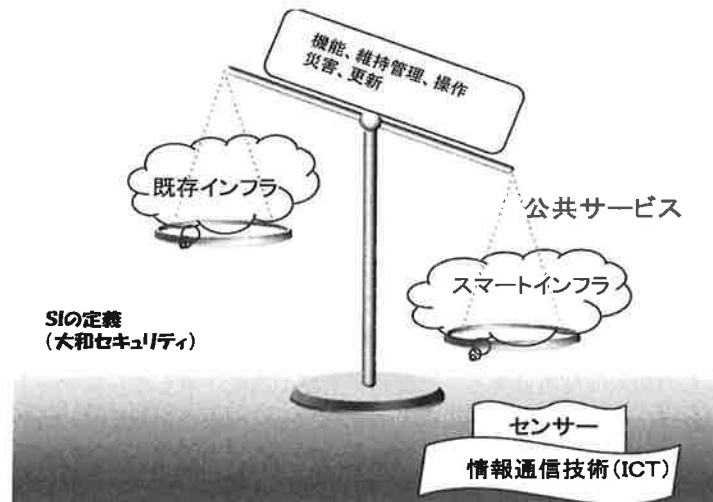


図-2 スマートインフラの定義

SIにおけるマイクロセンサーは、既存のインフラストラクチャの機能を改善するための役割を果たす。さまざまなMEMS (Micro Electric Mechanical System) は電気、磁気または電磁界を利用して開発されつつある^{4), 5)}。図-3、図-4に示すように、様々な可能な媒体だけでなく、機械的または化学的変化により、バランスの微小変化を規定することが可能である⁴⁾。図-5および図-6に示す例は、ロッドの接続部に設置された加速度センサーにより、盛土変形を測定するセンサーで河川堰堤インフラを監視できる。



図-3 センサーの分類

機械的・物理的センサー	加速度・速度・変位計 圧力計
音響・電磁波 センサー	ウルトラソニック、AE マグネティック
光・磁気センサー	イメージ、レーザー、 赤外線
環境・温度センサー	温度、漏水
その他	GIS

図-4 センサーのメカニズム

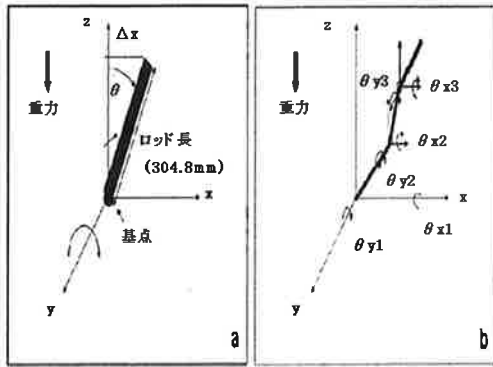


図-5 埋め込み加速度センサー

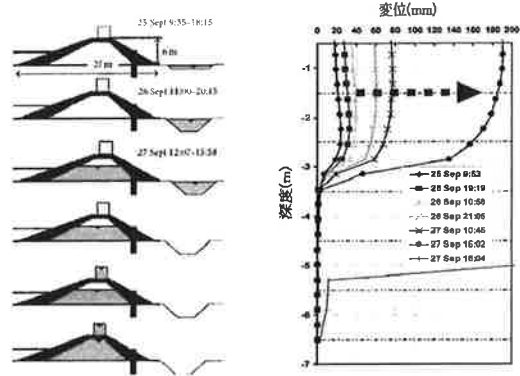


図-6 盛土変形の監視センサー測定例

ITS（高度道路交通システム）は、スマートコミュニティを構成する主要要因である。図-7に示すように、スマート交通システム内の車が情報収集のプロープの役割を果たす。VICS、ETC、ASV、AHS、PTPSと電話-マティクスなどは主要機器である。図-7 および図-8 に示すように、これらの装置を適用することにより、駆動車の制御や各種環境データをキャッシュすることができる。現在、移動体車に設置されたセンサーにより情報収集を行っているが、将来は歩行者による情報収集の可能性がある。車プロープから人間プロープへの進展が期待されている^(6), 7), 8)。

図-7のGNSS（全地球的航法衛星システム）は、測定移動体のためのシステムであるISS（慣性航法システム）を適用することにより、車のコントロールを与えることができる。移動体ナビゲーション情報と連動させることによって、データに基づいた交通コントロールが可能である。一方、人間の歩行移動によるシームレスで、広範な情報収集は、低コストで、効果的で、かつ環境に見合った非対称的な輸送システムの管理を可能とする。

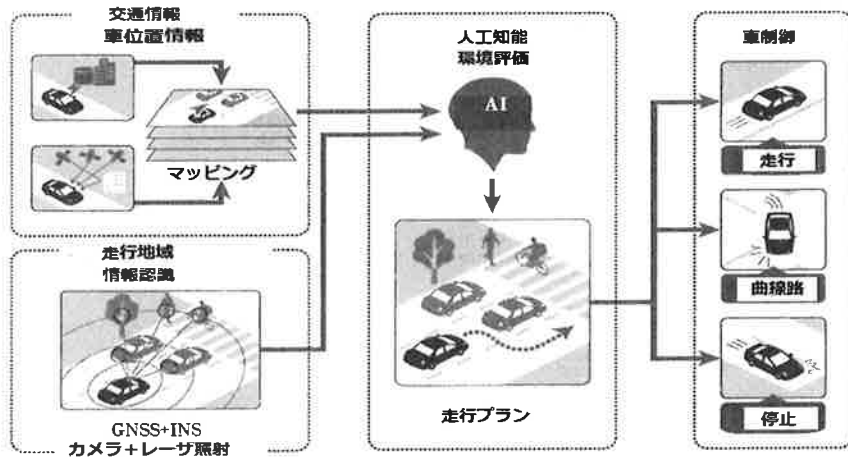


図-7 ナビゲーションとGNSSによるカー・プローブシステム

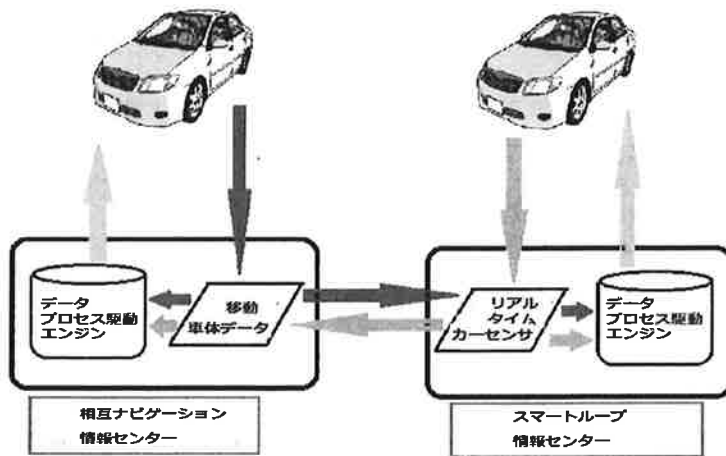


図-8 カー・プローブによる情報の蓄積と通信

3. データ収集・伝送・情報分析・マッピングおよび対応

得られたデータを図-1の例では、地理空間情報センター（オペレーションセンター）に伝送する必要があり、また、必要なデータは有用な情報に変換され、情報は即座な理解のために、一般に3Dマッピングに表示される。そして、スマートコミュニティにおけるスマートインフラの維持管理・緊急対応のために使用される。図-9には、スマートコミュニティの維持・管理・対応のプロセスを示す。

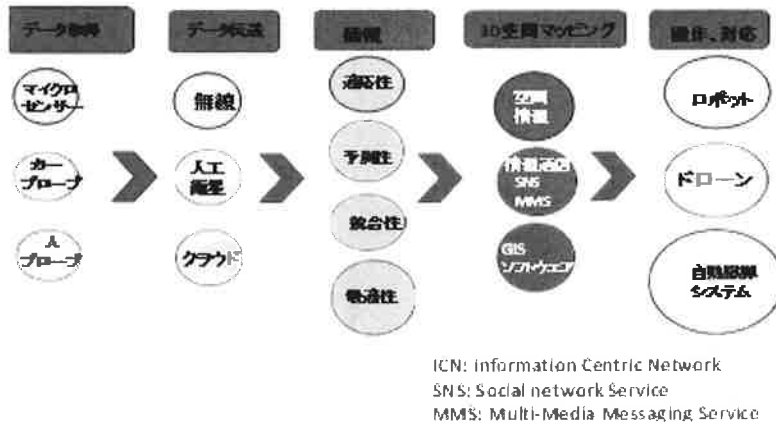


図-9 データの処理プロセス

4. エネルギー・グリッドシステム

エネルギー制御とスマートメーターの活用は、環境や世界的な経済発展における低炭素社会の実現ための本質的な課題である。図-10には、工場、学校、住宅、ショッピングビル、スマートコミュニティ機能センターによって制御されるスマートコミュニティ内でのインフラのエネルギー消費制御システムを示している。図-11に示したスマートハウスは、さまざまな電源とコミュニティセンターやインフラ事業部門内のサーバに接続されているスマートメーター（SM）とホームゲートウェイによって計測され、消費を制御する。

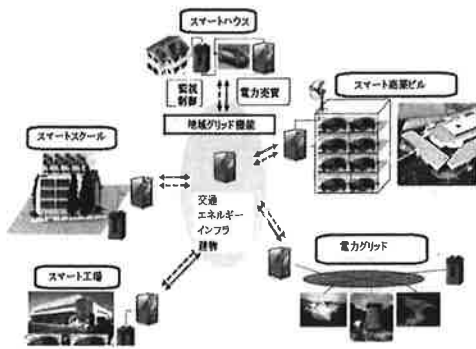


図-10 スマートコミュニティにおけるエネルギー制御

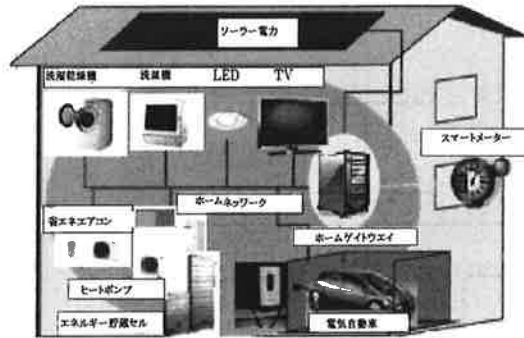


図-11 スマートハウスの SM

5. 電力スマートグリッドシステム (SG) ⁹⁾

米国の電力供給会社のグリッドシステムは、自動配電管理システムを意味する。しかし、日本の電力供給企業は1990年代に自動配電管理システムを完成させており、現在で SG は電力供給の安定性を損なうことなく、低炭素社会やユーザーの利便性を実現するための ICT および電気・ストレージ・テクノロジーの助けを借りて、高い効果的な品質と信頼性を持つ電源システムを意味している。図-12 は、スマートコミュニティの電力グリッドシステムの一例を示している。

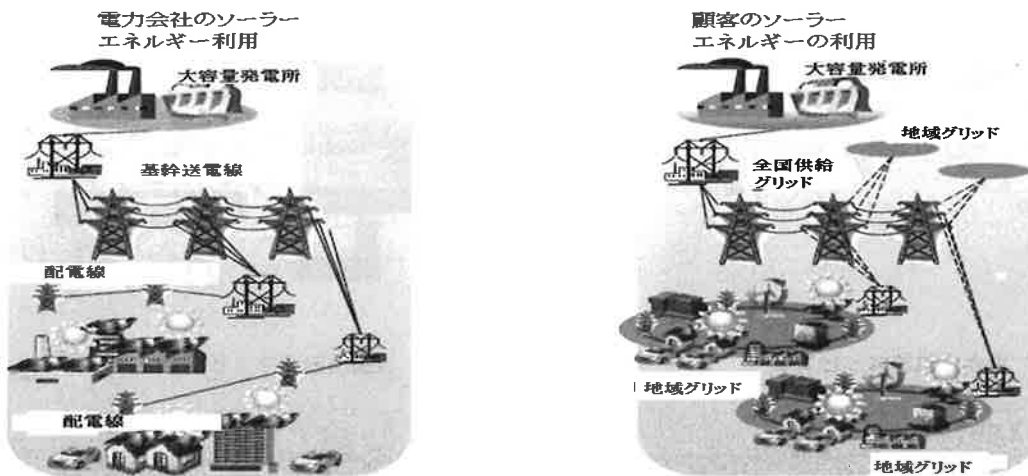


図-12 電力グリッドシステム

6. スマートガス供給システム (スマート・エネルギー・ネットワーク)

大阪ガス(株)は、現在、ガス・コジェネレーション・システム (CGS) の地域援助と、いくつかのスマートコミュニティでスマート・エネルギー・ネットワークを確立することを試みている。再生可能エネルギー (RE) 利用とインテリジェント通信技術 (ICT) および CGS を柱として、柔軟な供給システムによって分散電源を統合制御している。図-13 に示すようにエネルギー安全保障や再生可能エネルギー導入のアップグレード化が課題である。現在、アクティブに導入を試みている再生可能エネルギーは、天候条件によって、電源周波数の不安定性を引き起こす課題がある。大阪ガス(株)では、

太陽光発電のプロセス・システムと電力コジェネレーションによってバランスのとれた電源と電源の需要の安定性を維持するための技術を開発している¹⁰⁾。

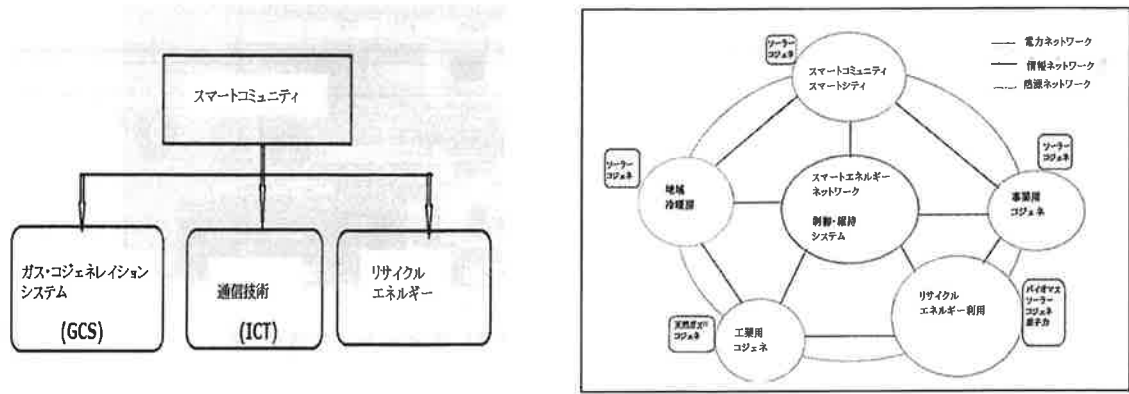


図-13 スマート・エネルギー・ネットワーク（大阪ガス株）

7. GEO-SPACE の 3D マッピング

センサーまたは移動体リアルタイムのプロープによって、取得されたデータは分析センターに送信され、事前に準されたビッグデータと組み合わせられ、容易に使用できる 3D マッピング媒体に変換される。効果的なマッピング作成は、超高速・大容量のコンピュータが使用される。3D マッピングのいくつかの例を図-14～図-15 に示している。

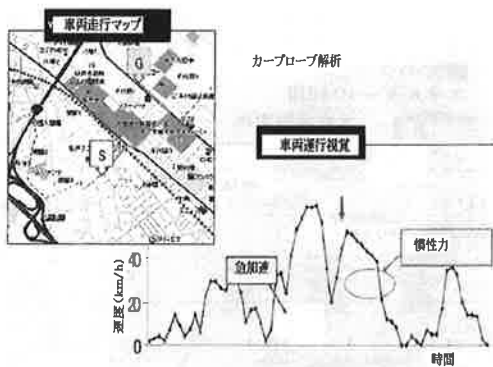


図-14 車走行軌跡マッピング

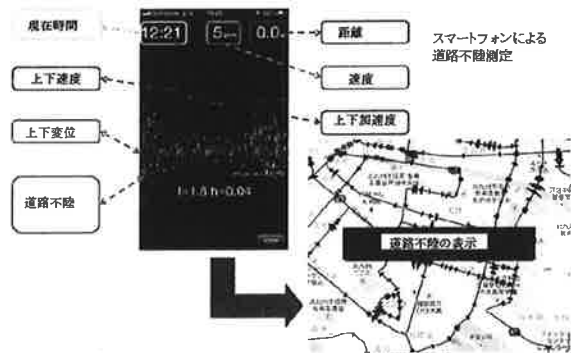


図-15 道路面凹凸マッピング

8. 操作ロボット

高齢社会、最近の経済変動による技術継承の困難さ、対策実行の資金不足、などにより、インフラの老朽化が進み事故多発が懸念されており、技術者に代わるロボットの開発が期待されている。一方、2011年の東日本大震災の際の原子力発電所の事故時のように、災害時に人の対応が困難な場合の作業ロボットも必要となっている。国土交通省では、次世代のロボットを開発するプロジェクトを進めている。橋梁・トンネル点検ロボット、水中施設点検・施工ロボット、災害緊急対応ロボットなどである。ヘルスマonitoring用ロボットも実用化の段階にある¹¹⁾。

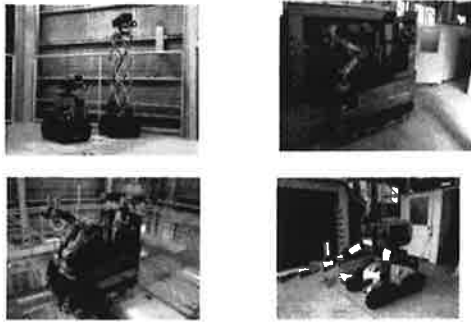


図-16 原子力事故対応ロボット

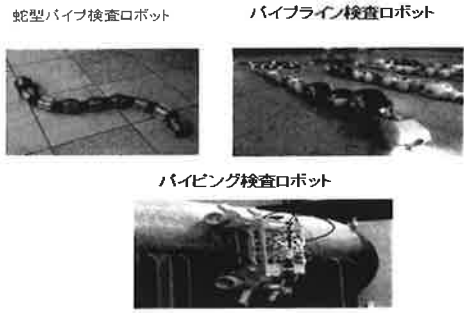


図-17 管路点検ロボット

図-16 には原子力事故対応ロボット、図-17 には管路内部の損傷を点検するロボットを示している。また、表-1 には地中施設、空洞、トンネルなど調査するロボットの現状を示している。また、図-18 には管路材料内を伝搬する波速を測定することによって、損傷位置を特定するメカニズムと装置を示している^{12), 13)}。

表-1 地中内構造物調査ロボット¹⁴⁾

名称	目的	探査	精度	開発者
地下空洞探査 (Ladybug)	空洞規模、位置測定	電磁気波受信		東京建設
埋設物探査	埋設物位置、コンクリート構造物の鉄筋位置	マイクロ波	0~2mの位置	JFE
埋設物探査 (ESPER)	空洞、構造物、トンネル	レーダー探査	深度 3m 精度 10~20cm	NTT 等.
管路周辺空洞探査	下水道管路位置と損傷状況	TVカメラ 電磁気波	250-800mm口径 管路	東京都 鹿島建設
震動探査 (Mr.Probe)	管路位置	送受信センサー		東京ガス
パイプ位置探査		電磁気波 レーダー	10m以下の深度、 精度±5cm	東京電力 電力中核

名称	目的	探査	精度	開発者
ガス管ひずみ測定ファイバーセンサー	ガス管路の健全性モニター	光ファイバー (BOTDR)	測定距離: 数km 精度: 100μ	日本ガス協会
変位測定ファイバーセンサー	構造物変形	光ファイバー (SDPO)	精度: 0.002mm	東鉄建設
光ファイバーによる構造物監視センサー	通信トンネルの有効・低コスト監視	光ファイバー (BOTDR)	精度: 30μ 測定距離: 1m	NTT
構造物亀裂監視センサー	トンネル損傷監視	光ファイバー (BOTDR)	精度: 100μ	大成建設

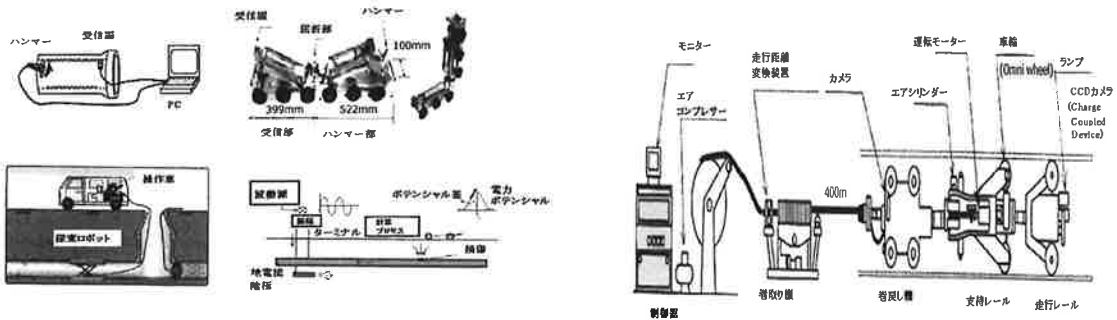


図-18 管路損傷点検ロボット

9. スマートインフラに関するアンケート調査

SI 研究委員会では、事業者の委員を対象として、スマートインフラ利用の現状と将来への期待についてアンケートを

実施している。施設、システム、維持管理について整理した結果を表-2に結果を示す。マイクロセンサーの開発、スマートメーターの導入、緊急対応へのロボットやドローンの利用への期待が大きい。

表-2 スマートインフラアンケート結果

技術	水供給施設	水道システム	維持管理
センサー	水道での水質耐震管路 ソーラー電力のバルブチェックセンサー 地震計	水圧異常(アウトソーシング)	水制御センター マッピングシステム
伝送	赤字は将来課題 黒字は現状	バイパス管 ループ管	緊急電話ライン 電力・ガス会社との緊急連絡網 河川管理者との連絡網 市民からの水道被害連絡 BCPの作成 ビッグデータの開示 国際水ビジネス
ロボット	管路内検査 配水池・管路検査 水圧利用のロボット スマートメーター		

10. SMART INFRASTRUCTURES の光と影

スマートインフラシステムは、近い将来の IT コンピュータの様々なシステムの助けを借りて、便利で快適で豊かな社会とスマートシティ、コミュニティを確立するために貢献することが期待できる。しかし、一方、そのようなコミュニティの形成のためには、居住者の合意とともに、膨大な予算と労力が必要とされる。また、情報流出などのセキュリティ課題があり、ブラック・ハッカー、ホワイト・ハッカーなどへの強い関心が求められ、年齢層の如何に関わらず IT 社会の恩恵を受けられる配慮が必要となる。現在においても、地震、洪水、火山などの自然災害対策が広範に進められているが、スマートコミュニティが、災害に適切に対応できるようになるには、長いスパンでの持続的、計画的な推進が必要となる。現状の地震防災対策と比較した、スマートコミュニティ社会での防災対策の得失を表-3に示している。

表-3 スマートコミュニティにおける防災対策に得失

スマートインフラの機能						
防災対策	ツール	センサー	知能 伝送システム	地理空間マッピング	ロボット	リサイクル エネルギー
防災準備	施設耐震性	B	B	B	B	B
	システム 冗長性	D	A	D	D	A
	対応マニュアル	BまたはC	BまたはC	BまたはC	BまたはC	BまたはC
	維持・制御 システム	AまたはB	AまたはB	AまたはB	AまたはB	AまたはB
緊急対応	被災予測	A	A	A	D	D
	データ集積	A	A	A	A	A
	伝送ツール	A	A	A	A	A
	電力・燃料 バックアップ	A	A	A	A	A
復旧・復興	広域災害支援	D	A	A	A	A
	都市計画	B	A	A	A	A
	コミュニティ 復旧・復興	D	C	C	C	C
	再建資金	D	C	C	C	C
	中央政府支援	B	A	A	A	A
	個人住宅	C	C	C	C	C

- A: SIの防災機能が高い
- B: SIと現状対策が同程度
- C: SIの防災機能が低い
- D: SIと現状の防災機能が比較できない

SI は設備投資における期間と費用が膨大なため、防災準備や復旧・復興に果たす役割よりも、災害発生直後の緊急対応に活用することが得策と考えられる。

結論

1. SI の概念は既存インフラの自然災害被災の軽減に多大の寄与が期待できる。
2. SI の実現のためにマイクロセンサーの開発が必須である。
3. 情報伝達手段としての無線、インターネットプロトコル、クラウド、衛星、GPS などは都市インフラの日常維持管理や災害軽減に有用である。
4. スーパーコンピューターの利用によって、さまざまなプローブから得られた情報を地理情報空間データ、3D マッピングに変換するソフトの開発が必要である。
5. 高齢社会、労働人口の減少などの現状において、さまざまな分野におけるロボットの開発は有用である。
6. SI はある程度まで災害軽減に役立つが、必ずしも、現状の防災対策を超えることは難しく、SI 防災技術の確立には、時間と資金が膨大となる。
7. SI 社会の達成には、健常者・障害者へのきめ細かい配慮の上で開発を進める必要がある。

参考文献

- 1) 中川 M. 柔軟な町を構築するためのジオ空間情報の役割、NTT 空間情報㈱、2015
- 2) フジ Y : スマートインフラ～スマート～、大和セキュリティ、2015
- 3) 後藤 T. : スマートインフラの現状、SI 研究委員会での講演、2015
- 4) 国土交通省、青柳 K : インフラのためのモニタリング技術の促進に関する現在の動向と課題、2013
- 5) 伊藤 S.、T. Izumi, S. Lee : VP 事業開発(アジア)、HIKOB と新川電機株式会社、SI 研究委員会での講演、2015 年。
- 6) ホンダ : ホーム・ページ、次の夢に、<http://www.honda.co.jp/safetyinfo/>、2016
- 7) 経済産業省 : スマートコミュニティ関連システムフォーラム、2010
- 8) 資源エネルギー庁 : さまざまなサービスと革新的な産業技術の発展を組み合わせたダイナミックなイノベーション、2014
- 9) 関西電力株式会社 : <http://www.kepcoco.jp>、2016
- 10) 大阪ガス株式会社 : <http://osakagas.co.jp/index.html>、2016
- 11) 岩野 Y : 最近のロボット技術の動向と活用の例、スマートインフラに関する研究委員会、2015
- 12) MLTI : インフラストラクチャのための次世代ロボットの開発・導入に関する委員会、2015
- 13) 土木学会 (JSCE) : 都市ライフラインハンドブック、丸善出版株式会社、2010
- 14) 高田 S. : 道路埋設構造物のためメンテナンス・防災対策、上海市シンポジウム、2015 年

RCSI (Research Committee of Smart Infra-structures) のメンバー :

高田 S. (神戸大)、小池 T. (京大)、石丸 K. (明石高専)、嵯峨 A. (神戸高専)、水川 K (積水化学工業㈱)、中野 M ((一財) 近畿建設協会)、宮武 I. (国土交通省)、両角 M. (大阪府水道公社)、岩田 M. (神戸市水道局)、清水 T. (芦森工業㈱)、中村 Y. (㈱アスコ大東)、武田 Y. (㈱潮技術コンサルタンツ)、浜野 M. (㈱エイト日本技術開発)、小松 M. (㈱NTEC)、

橋本 H. (江守商事株)、岡田 K. (株シビルソフト開発)、樽松 Y. (西武ポリマ化成株)、宮本 K. (株日水コン)、鳥居 K. (株日本エンジニアリングサービス)、渡辺 T. (株ベルテクノ)、高木 K. (株ミライト・テクノロジーズ)

著 者

高田 至郎 所員、工学博士、地震工学