

戸辺 義人

東京電機大学未来科学部 教授

実世界検索に向けたネットワークセンシング基盤ソフトウェア OSOITE

§ 1. 研究実施の概要

平成 21 年度は、実世界検索を実現するためのネットワークセンシング基盤ソフトウェアの構築にあたり、前年度までに確立した技術の改良と統合を行った。また新たな技術開発にも着手し、基礎的な成果を得た。

具体的には、まず DBSN オーバレイネットワークの高速化と統合化を進めた。各種制約およびセンシング範囲を考慮した高速化および統合化の手法を開発し、安全安心アラートアプリケーションおよび携帯電話を用いたデータ収集手法(ヒューマンプローブ)との連携方式についても検討を行った。DBSN データベースアーキテクチャについても、改良と開発を進め、異種分散データの問合せモデルを開発し、効率良く問い合わせを行うために処理方式の改良と評価を行った。更に、Web 等の外部データ源を連携利用するための情報抽出手法の改良と拡張も行った。

「実空間安全・安心コンテキストのリアルタイム抽出(慶應大学担当)」に関しては、研究実施項目、「群行動コンテキスト抽出アルゴリズムの精緻化と評価」を設定した。本実施項目では、人(群れ)の移動情報に着目、実空間に設置された物理層センシングデバイスで取得される各種の低次データや、DBSN から取得可能な低次コンテキスト情報から、不審者の存在や不穏な状況等、エリアコンテキストに直接結びつく高次の群行動コンテキストをリアルタイムかつ効率的に抽出することを目標とした。

「不審者検出情報生成に関わる物理センシングシステムの開発」に関しては、これまでに不審者検出のために有効な手法として提案した差分ステレオ(以前は運動領域型小型ステレオカメラシステムと呼称)を用いた複数人物の検出・追跡手法の構築・高度化を主に行った。カラー画像の併用によるトラッキングのロバスト化、人物集団の計測の高精度化、影領域のリアルタイムでの除去などの成果を挙げ、実環境での環境変動にロバストに複数人物の検出・追跡手法を実現する基盤を構築することができた。また、2008 年度に構築したステレオカメラシステムの計測精度の改善も行った。

群馬県館林市において開始した実証実験では、今年度は微気象センシングと DBSN の連携の実験に留まった。しかし、今後の人流データ等の統合管理するための布石として、自治体にインフラとして設置した意義は大きく、「統合センシング」実証の可能性を広げることが可能となった。統合センシングデータベースについては、プロトタイプシステムの開発を完了した。更に、バックエンドシステムの開発を行いプロトタイプと統合した。また、CREST研究領域「先進的統合センシング技術」に関わるコンテンツを整備し、統合センシングデータベースを用いて一般に公開するに至った。コンテンツ自動推薦システムの開発にも着手し、機能を拡充しながら今後も継続的にシステムを運用する予定である。

§ 2. 研究実施体制

(1)「東京電機大学」グループ

① 研究分担グループ長:戸辺 義人(東京電機大学、教授)

② 研究項目

DBSN オーバレイプロトコルの設計

- ・ DBSN オーバレイプロトコルの構築
- ・ DBSN プロトタイプの構築
- ・ 実世界規模 DBSN オーバレイネットワークの構築
- ・ ヒューマンプローブによる DBSN の拡張(追加項目)

統合センシングデータベースの開発

- ・ プロトタイプシステムの開発
- ・ 実運用のためのバックエンドシステム開発
- ・ コンテンツ自動推薦システムおよびシステム実運用

(2)「東京大学」グループ

① 研究分担グループ長:瀬崎 薫(東京大学、准教授)

② 研究項目

実世界検索のための DBSN データベースアーキテクチャの構築

- ・ 分散異種センサデータベースのための問い合わせ処理機構の設計および開発
- ・ 問い合わせモデルと問い合わせ記述言語の開発

(3)「慶應義塾大学」グループ

① 研究分担グループ長:高汐 一紀(慶應義塾大学、准教授)

② 研究項目

実空間安全・安心コンテキストのリアルタイム抽出

- ・ 群行動コンテキスト抽出アルゴリズムの開発
- ・ パーソナルコンテキストを考慮した DBSN 問い合わせモデルの開発
- ・ 高次コンテキスト整形処理技術の開発

(4)「中央大学」グループ

- ① 研究分担グループ長:梅田 和昇(中央大学、教授)
- ② 研究項目
不審者検出情報生成に関わる物理センシングシステムの開発
 - ・ 運動領域型小型ステレオカメラシステムの開発
 - ・ ステレオカメラによる移動人物検出アルゴリズムの開発
 - ・ RFID とステレオカメラの組み合わせによる不審者検出

(5)「大阪大学」グループ

- ① 研究分担グループ長:栗原 聡(大阪大学、准教授)
- ② 研究項目
実世界検索のための DBSN データベースアーキテクチャの構築
 - ・ 外部データベース連携機構の実装および集約アルゴリズムの開発

§ 3. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(4-1)に対応する)

「DBSN オーバレイプロトコルの設計」

DBSN オーバレイネットワークの開発については、基本プロトコルの完成度を高めるために入念な再検討を行い、完成までの道筋を明確にした。また、実世界規模の DBSN オーバレイネットワークを構築するために、図1にも示すようにI-Treeと呼ばれる索引構造の改良によって各種制約およびセンシング範囲を考慮した高速化・統合化を行い、中間層のサービス群を介した安全安心アラートアプリケーションや携帯電話を用いたデータ収集(ヒューマンプローブ)⁸⁾との連携モデルを利用者中心の視点¹⁾で開発し、更にプライバシー保護についても検討した¹²⁾。また、時系列データの検索方式についても検討を行った。

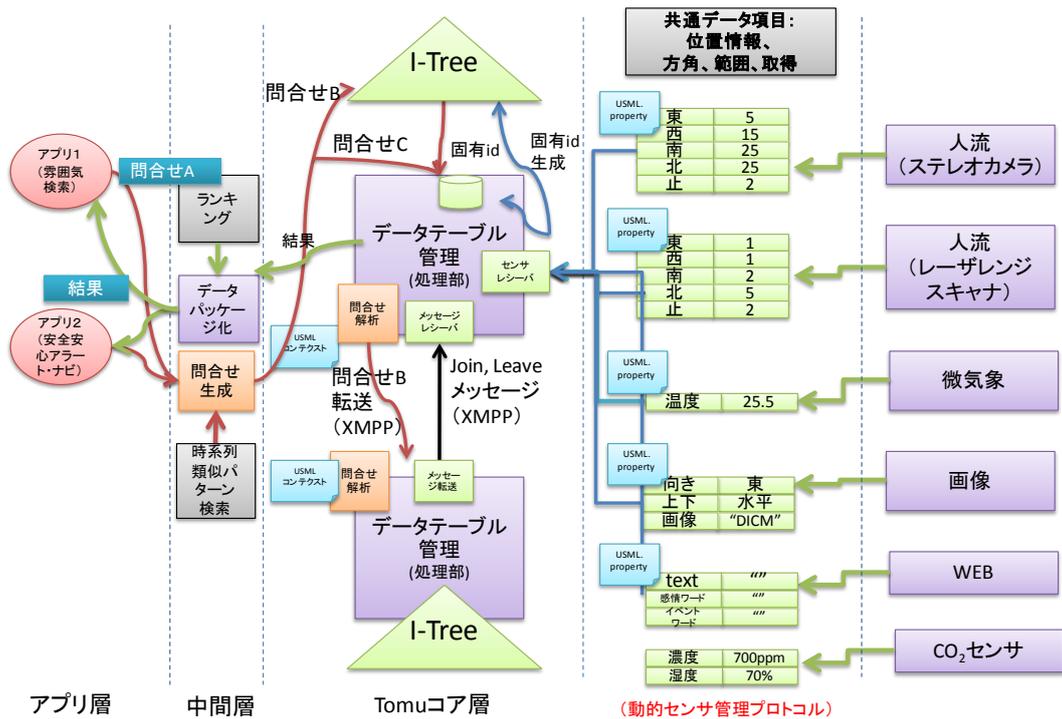


図1 DBSN の概要

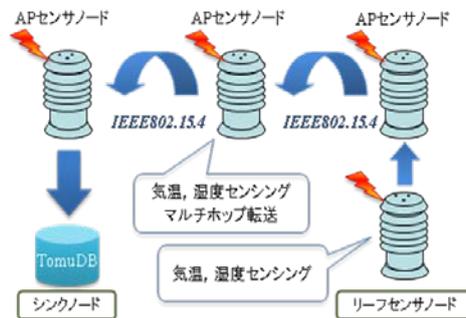


図 2 微気象センサネットワークシステムの概要

微気象センシングシステムのアーキテクチャとデータ処理法についても研究開発を進めた¹⁵⁾。熱中症が多数発生し社会問題になっている群馬県館林市において、市の協力を得て図2に示すAPセンサノードとリーフセンサノードを、図3に示すように46個配置し実証実験を開始した。本センサネットワークを構成する、APセンサノードとリーフセンサノードは、相互にIEEE802.15.4マルチホップ通信で接続される。各ノードは気温センサと湿度センサを有し、1分間に1回、データを送出する。長期にわたって微気象データを収集・蓄積・管理しつつあるが、今後は人流データ等も統合管理し、管理するデータの幅も広げながら入念にシステムの評価を行う予定である。今年度敷設した微気象センサネットワークは、平成22年度、平成23年度に実施予定の「異種センサデータ」の一部をなすものであり、他に先行して稼働させている。



図 3 群馬県館林市に設置した微気象センサ

「統合センシングデータベースの開発」

統合センシングデータベースについては、プロトタイプシステムの開発を完了した。更に、バックエンドシステムの開発を行いプロトタイプと統合した。また、CREST研究領域「先進的統合センシング技術」に関わる 51 件の研究課題の情報をコンテンツとして整備し、統合センシングデータベースを用いて一般に公開するに至った。コンテンツ自動推薦システムの開発にも着手し、機能を拡充しながら今後も継続的にシステムを運用する予定である。

「実世界検索のための DBSN データベースアーキテクチャの構築」

平成 21 年度は、これまで開発を進めてきた気温などのように点で測位するセンサ以外に、梅田

グループが研究開発している差分ステレオカメラや戸辺グループが研究しているレーザレンジファインダ等の測位範囲のあるセンサデータを考慮したデータ管理機構の開発を新規に検討していた。現在、空間索引等のアルゴリズムを応用して、単体の DBMS 内に開発したアルゴリズムの設計を完了し、導入を行っている。また、現在我々が開発しているセンサデータ収集構築記述言語である USML を元にセンサ情報をデータベース間に応用するよう開発を進めている。ユーザからのクエリ(問い合わせ)を現在のコンテキストに応じて振り分け、分類することが可能となった。例えば、図 4 にあるように、ある地点での人流のコンテキスト抽出があった時、周囲の明るさに応じてカメラが詳細なデータ送信する場合とレーザレンジセンサは暗い場合にも適応させる。このような分散環境においてアプリケーションの柔軟な構築⁹⁾および管理のコストを削減する手法¹⁰⁾を開発した。更に、固定型と移動型のセンサが混在する環境における位置データの管理⁶⁾についても検討した。



図 4 周囲の明るさに応じた人流計測の選択

豪雨や地震に伴う土砂災害の多いのも地域での災害時には、事故やインフラ崩壊が同時多発的に起き、通信が麻痺し、電源供給できない状況が長時間続く状態になる。こういった状況であってもこれを瞬時に把握し、データの転送を可能にするため、道路や生活圏付近の地盤状況の変化を検知・記録し、情報を遠隔地に無線で伝播する機能を有したセンサ杭のデータベースとして実験を開始した(図 5 参照)。山間部の崩落や土石流の危険があるエリアの人々の生活を守るためにも崩落の前兆を検出する必要があり無線センサノードからのデータと地盤変化と素早く正確に判別できるパターン解析を行いつついる。図 6 にプロトタイプの実験結果を示す様に予め崩落前の緩やかな変化を予測のグラフを示す。

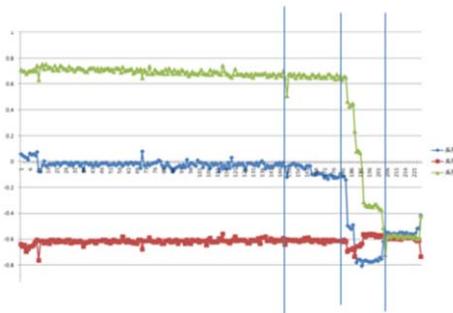


図 5 斜面崩落におけるセンサ杭の加速度変化の様子

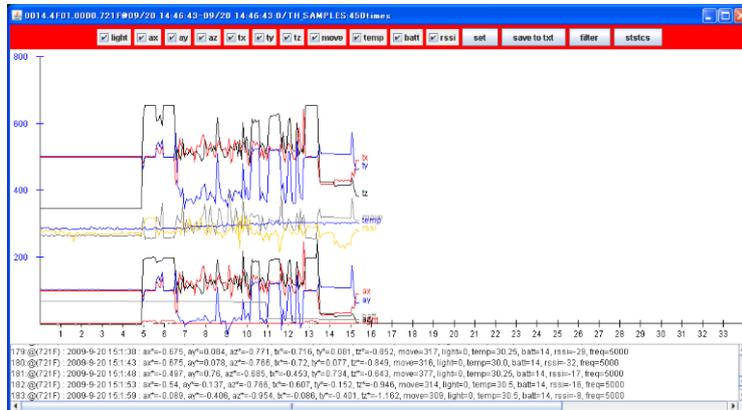


図 6 斜面崩落時のデータベース上のデータの表示

「Webからの実世界情報抽出法の創出」

今日の情報洪水状況にある WWW には情報世界のみならず、実世界に関する情報も多く存在する。これを自動的に抽出して実世界から得られる情報と組み合わせることで、より精度の高い適切な実世界情報のユーザへのリアルタイムな提供を可能とできることが期待される。

抽出するためには、Webから、場所・時刻・位置・イベントなどの各情報を抽出し、それらを組み合わせる必要がある。その中で「場所」の抽出が最初の課題となる。このため、WWW¹¹⁾やブログデータ⁵⁾および実世界情報^{4,14)}の知的処理手法を開発した^{5,11)}。なお、Webから収集される一般的な文章から、地名のみを抜き出す際、まずは文章を形態素解析器で処理を行い、個々の単語に分割するが、その際、あらかじめ地名であることが既知であり、形態素解析器に地名として登録されている単語以外の地名においては、それが地名であるかどうかを特定できなければならない。この部分の精度が低いと実世界情報として利用することはできない。

さらに、ある文章があり、あるイベントに関する内容であるものの、複数の地名が引き合いに出されているような場合に、そのイベントに対応する主となる地名を特定できることも必要である。

前半の課題である、単語が地名かどうかの判別については、Conditional Random Fields を用いて地名が使われる文章パターン¹⁾の学習を行った。後半については、

(1) 前半で特定された地名から位置(緯度経度)を計算し、文章において登場する複数の地名の位置の近さから関連度を計算し、お互いに位置に近い地名同士に高い重みを付けるよう各地名に点数を付与する。

(2) 文章中に登場する地名において、より隣接して登場する地名同士に高い重みを付けるよう、各地名に(1)と異なる点数を付与する。

(3) (1)、(2)の点数を反映する点数を、地名ごとに計算する。

そして、(3)にて最も高い得点を持つ地名をその文章における主な地名として出力する方法を確立した。

抽出対象として、イベントに関する記述が多く含まれるブログを選択、既存のシステムとの比

較評価を行った結果、提案手法の優位性を示すことに成功した。

「実空間安全・安心コンテキストのリアルタイム抽出」

平成 20 年度以降の研究期間を、研究開発計画第 2 期と位置付け、目標を「高次コンテキスト抽出アルゴリズムの精緻化と実用化」としている。その第 2 年次となる平成 21 年度は、「群行動コンテキスト抽出アルゴリズムの精緻化と評価」を重点研究実施項目とした。同研究実施項目のゴールは、人(群れ)の移動情報に着目、実空間に設置された物理層センシングデバイスで取得される各種の低次データや、DBSN から取得可能な低次コンテキスト情報から、不審者の存在や不穏な状況等、エリアコンテキストに直接結びつく高次の群行動コンテキストをリアルタイムかつ効率的に抽出することにある。物理層センシングデバイスとしては、主として、平成 19 年度より継続して中央大学・梅田教授らのグループと共同開発中の「運動領域注視型ステレオカメラシステム」を使用する他、レーザレンジファインダ等の人流センサを利用した。これらの低次データを効率的かつ相互補完的に利用することで、広範囲における複数人の三次元空間的な移動を連続的に観測可能とし、既存研究に見られる「単なる異常の検知」ではなく、人流、群流、群行動という新たな視点からの高精度な高次コンテキスト抽出を実現する。街角の歩行者数が増加するに従い、計算量の問題から高次コンテキストのリアルタイム抽出は難しくなるため、昨年度にプロトタイプ上での基礎的性能評価を行った多段推論機構を本格導入し、前段で監視エリアの動的絞り込み(局所化)、監視エリアの優先順位付け等を行った上で、後段に昨年度より継続開発中の「TDBN: Timed Dynamic Bayesian Network」モデルを適用、詳細な異常行動推定を実現した。学習データの収集と併せて実時間確率推論アルゴリズムとしての TDBN の精緻化を進め、実用に向けた実空間上での評価を行った。

「不審者検出情報生成に関わる物理センシングシステムの開発」

まず(a)差分ステレオカメラシステム(以前は運動領域型小型ステレオカメラシステムと呼称)の項目に対し、2008 年度に製作したカメラシステムの改善を行った。このカメラシステムは、我々が提案している差分ステレオアルゴリズム¹³⁾を、FPGAを用いて実現している。ステレオマッチングを行うテンプレートサイズの調整などの調整で、当初のものより視差の計測誤差の低減を実現した。次に、(b)ステレオカメラによる移動人物検出アルゴリズムの開発の項目を進めた。この箇所が 2009 年度の中心的成果である。まず、これまでに構築してきた複数人物のトラッキング手法の改善として、カラー画像を併用することでトラッキングのロバスト化を実現した。一つには、人物領域の色ヒストグラムを用い Mean Shift 法でトラッキングした結果を併用することで、差分ステレオによるトラッキングの誤対応を減らした(精密工学会秋季大会でベストポスタープレゼンテーション賞を受賞)。さらに、2次元画像での人物検出に定評のある HOG 特徴を併用することで、差分ステレオによるトラッキングのさらなる正確さの向上を進めている。また、これも以前から継続している、個々の人物が切り分けられない場合の集団の計測に関しても研究を進め、人数カウントの正確化などを実現している⁷⁾。また、トラッキングや集団計測において、影が悪影響を及ぼすことが秋葉原 UDX、江戸東京博物

館で実施した予備的な実証実験で明らかになったが、この課題に対しても改善を行った。ピクセル間、フレーム間の色の恒常性などを利用して影を抽出する手法を導入することで、人物領域と影領域のかなり正確な切り分けに成功している。最後に、c) RFID とステレオカメラの組み合わせによる不審者情報生成機構の開発の項目に関する検討を行った。この研究項目は、ビル内などの管理区域を対象に不審者検出システムを構築するというものである。この問題設定を屋内での人物環境のセンシングと広くとらえ、屋内での人物の読唇技術の開発²⁾、ならびに画像を用いた屋内での自己位置同定システムの構築³⁾を実現した。

§ 4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

● 論文詳細情報

- [1] Shin'ichi Konomi, Niwat Thepvilojanapong, Ryohei Suzuki, Susanna Pirttikangas, Kaoru Sezaki, and Yoshito Tobe, "Askus: Amplifying Mobile Actions," *Pervasive Computing. Proc. of the 7th International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2009)*, pp. 202-219. Springer, Berlin, May 2009. doi: 10.1007/978-3-642-01516-8.
- [2] 中西達也, 寺林賢司, 梅田和昇, "インテリジェントルームのための DP マッチングを用いた口唇動作認識", *電気学会論文誌 C, Vol. 129-C*, No. 5, pp. 940-946, 2009 年 5 月. doi:10.1541/ieejeiss.129.940.
- [3] Shunsuke Hijikata, Kenji Terabayashi, Kazunori Umeda: "A Simple Indoor Self-Localization System Using Infrared LEDs," *Proc. of Sixth International Conference on Network Sensing Systems (INSS2009)*, pp. 45-51. Transducer Research Foundation, San Diego, June 2009. doi: 10.1109/INSS.2009.5409955.
- [4] Satoshi Kurihara, Hiroshi Tamaki, Masayuki Numao, Kouji Kagawa, Jyunji Yano, and Tetsuo Morita, "Traffic Congestion Forecasting based on Pheromone Communication Model for Intelligent Transport Systems," *Proc. of the IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2009*, pp. 2879--2884. IEEE, Los Alamitos, May 2009. doi: 10.1109/CEC.2009.4983304.
- [5] Shin-ya Sato, Kensuke Fukuda, Toshio Hirotsu, Satoshi Kurihara and Toshiharu Sugawara, "Estimating relevance of items on basis of proximity of user groups on blogspace," *Proc. of the 2009 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence (WI'09)*, pp. 157-164. IEEE Computer Society, Los Alamitos, September 2009. doi: 10.1109/WI-IAT.2009.31.
- [6] Hongyang Chen, Qingjiang Shi, Pei Huang, H. Vincent Poor and Kaoru Sezaki, "Mobile anchor assisted node localization for wireless sensor networks," *Proc.*

- of the 20th Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Symposium 2009 (IEEE PIMRC'09), pp. 1-5. IEEE, Los Alamitos, September 2009. doi: abs/0908.0515. (Best Paper Award)
- [7] Kenji Terabayashi, Yuki Hashimoto, Kazunori Umeda: "Measurement of Pedestrian Groups Using Subtraction Stereo," *Advances in Visual Computing. Proc. of 5th International Symposium on Visual Computing (ISVC2009)*, Las Vegas, USA, Part II, pp.1002-1010. Springer, Berlin, November 2009. doi:[10.1109/INSS.2009.5409909](https://doi.org/10.1109/INSS.2009.5409909).
- [8] Thepvilojanapong, N., Konomi, S., Yura, J., Iwamoto, T., Pirttikangas, S., Ishida, Y., Iwai, M., Tobe, Y., Yokoyama, H., Nakazawa, J., Tokuda, H., "Exploring Energy-Efficient Human Probes for High-Fidelity Sensing in Urban Environments," *Proc. of the the Fifth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP 2009)*, Melbourne, Australia, pp. 61-66. IEEE, Los Alamitos, December 2009. doi: [10.1109/ISSNIP.2009.5416747](https://doi.org/10.1109/ISSNIP.2009.5416747).
- [9] Masayuki Iwai, Yoshito Tobe, and Hideyuki Tokuda, "Flexible Modeling Engine enabling Inter-Service Management," *IPSI Journal of Information Processing, Vol. 50*, No. 3, pp.973-991, March 2009. doi:doi:10.2197/ipsjjip.17.119.
- [10] Ryoza Kiyohara, Satoshi Mii, Mitsuhiro Matsumoto, Masayuki Numao, and Satoshi Kurihara, "A New Method of Fast Compression of Program Code for OTA Updates in Consumer Devices," *IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 55*, No. 2, pp.812-817, May 2009. doi: 10.1109/TCE.2009.5174459.
- [11] 山下 長義, 森山 甲一, 沼尾 正行, 栗原 聡, "リンク構造に基づいた WWWからのトピック抽出," 情報処理学会論文誌: 数理モデル化と応用(TOM), Vol. 2, No. 1, pp. 133-144, 2009.
- [12] Shin'ichi Konomi, Chang S. Nam, "Supporting collaborative privacy-observant information sharing using RFID-tagged objects," *Advances in Human-Computer Interaction, vol. 2009*, Hindawi Publishing, New York, December 2009. doi:10.1155/2009/713516.
- [13] 梅田 和昇, 寺林 賢司, 橋本 優希, 中西 達也, 入江 耕太, "差分ステレオー運動領域に注目したステレオ視ーの提案," 精密工学会誌, Vol.76, No.1, pp.123-128, 2010年1月.
- [14] 玉置 洋, 矢野 純史, 香川 浩司, 森田 哲郎, 沼尾 正行, 栗原 聡, "複数の交通情報を効率的に利用する最適な交通情報提供手法の構築," 人工知能学会論文誌, 25 (3), pp. 394-399, March 2010. doi:10.1527/tjsai.25.394.
- [15] Niwat Thepvilojanapong, Takahiro Ono, Yoshito Tobe, "A Deployment of Fine-Grained Sensor Network and Empirical Analysis of Urban Temperature," *MDPI Journal of Sensors, 10(3)*, pp.2217-2241, March 2010. doi:10.3390/s100302217.

(4-2) 知財出願

- ① 平成21年度特許出願件数(国内 1 件)

- ② CREST 研究期間累積件数(国内 3件)