

社会システム・サービス最適化のための サイバーフィジカルIT統合基盤の研究

研究期間：平成24(2012)年9月～平成28(2016)年3月

国立情報学研究所
北海道大学
大阪大学
九州大学

安達 淳
田中 譲
東野 輝夫
安浦 寛人

平成28年11月22日

課題名： **社会システム・サービス最適化のための
サイバーフィジカルIT統合基盤の研究**

略称： CPS-IIP

目的と概要：

実世界(フィジカル)から得られる様々なデータを情報空間(サイバー)に集約して分析し、その結果を実世界に適切にフィードバックする**サイバーフィジカルシステム(CPS)**に関する研究を行う。

特に、エコ、防災、安心安全などに関わる様々な社会システムをITとの密な連携によって高度化し、課題解決に貢献するCPSを、**ソーシャル・サイバーフィジカルシステム**と名付け、実社会の効率化や新たな価値創造に資する**IT統合基盤**として提案し、その研究開発を行う。

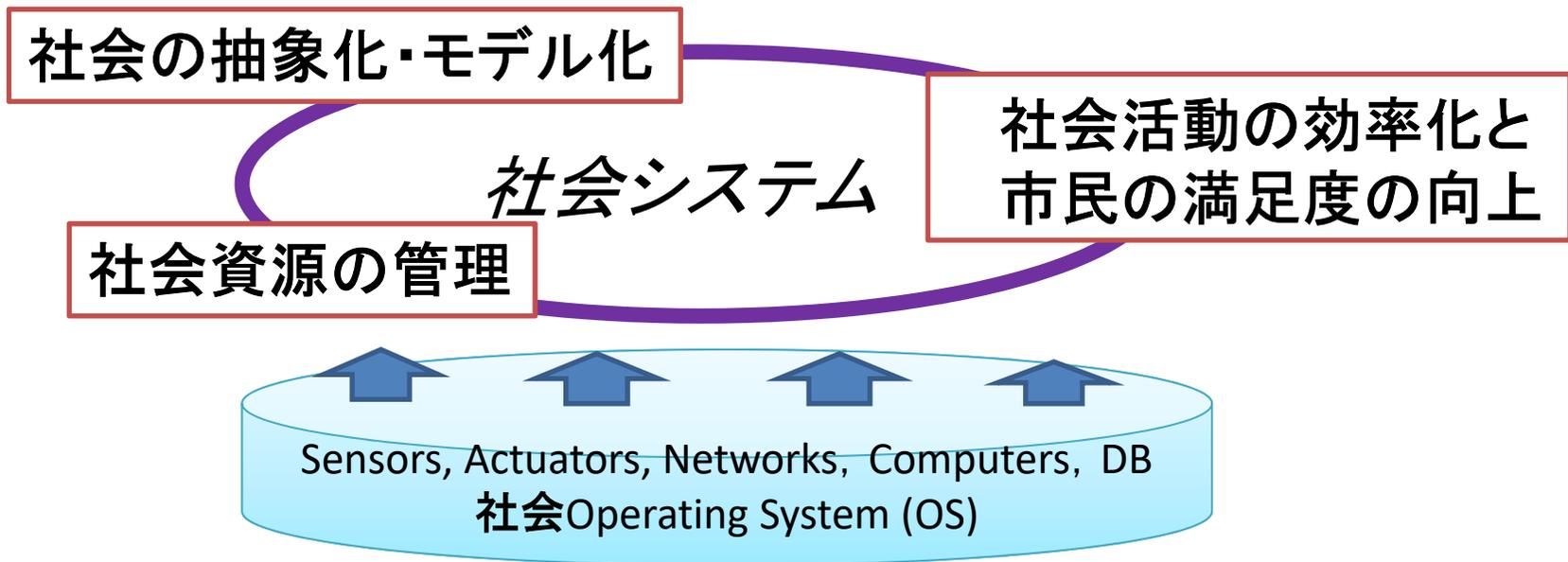
ソーシャルCPSは、実世界とサイバー世界を有機的に連携させることで社会の抽象化と社会資源の管理を合理的に行う手段を提供するものであり、今後の社会システムの基盤を支えるコンセプトである。

本研究開発では、ソーシャルCPSに共通的なIT基盤技術の検討を行い、個別技術の開発とそれらを統合するアーキテクチャを提案するとともに、**実証システムを構築**して評価し、実用化の端緒とすることを目的とする。このため、国立情報学研究所、北海道大学、大阪大学、九州大学が共同で研究開発に取り組む。

CPS から “ソーシャルCPS” へ

システム個別のCPSから社会システムを変革する新たなCPSをめざす

社会のOSとしてのソーシャルCPS



社会のダイナミズムに対応するにはソーシャル、ヒューマンという観点が重要

本プロジェクトで取り組むチャレンジ課題

我々は、本プロジェクトに先立ち平成23年(2011)に単年度の調査研究として「**目的解決型のIT 統合基盤技術研究開発の実現に向けたフィージビリティスタディ(FS)**」を実施した。ここで、欧米のCPS研究動向を調査し、我が国でのIT研究の状況や大震災後の社会的要請を鑑み、ソーシャルCPS構想を提案した。このFSで明らかにされた技術的課題は以下の通りである。

- **複数パラメータを含む複雑系モデル**
 - 省エネ、生産性、天候、交通量など**複数のパラメータ**を考慮した実世界の複雑なシステムの最適化を目指すアプローチ
- **リアルタイム性**
 - センサーデータをリアルタイムで収集して社会システムの現況を把握し、高速な分析によって最適なアクションを決定して実世界の人やシステムに**リアルタイムにフィードバック**する能力
- **データ分析基盤技術**
 - 多様なデータを連携させた**データ分析**(統計解析・マイニング等)・**推論機能と可視化**
 - **意思決定支援**のための可視化機能と意思決定プロセスの**有機的統合**
 - 分析ツールや可視化ツールの部品化・再利用とそれらの自在な連携(**スマートフェデレーション**技術)
- **データ管理基盤技術**
 - 実時間マルチデータストリームと過去データに対する効率的**蓄積**および**検索**技術
 - 実世界データの分析・流通に伴う**セキュリティ・プライバシー**保護技術

事前評価時の指摘事項（H23年9月）

- 他府省等の関連施策と十分な連携を図り、適切な役割分担により効果的に研究開発を推進すること
 - 他府省のように特定の出口を設定するのではなく、情報科学技術の観点から、各種システムに共通に使えるIT基盤としてのプラットフォーム実現を目指す新たなチャレンジ課題を設定して取り組んでいる。同時に、性技術をベースに内閣府や他省庁のプロジェクトの受託にも発展しており効果的な活動となっている。
- 研究開発当初より、民間事業者や実用化後の運用主体及び想定される関係府省の協力を得て研究開発を進め、実用化に向けてのニーズを常に技術開発にフィードバックすること。また、ユーザ側、システム側、ソフト開発側の三者の視点を踏まえた研究開発を推進すること
 - データの利用、実証実験に関し事業者や自治体と連携しており、常に現場でのニーズ、利用者の視点、システム的な実現性を意識しつつ研究開発を進めてきた。札幌市では関係機関からのデータ提供を含む継続的支援を受け、ニーズを踏まえた除排雪の実証実験を実施し、商業施設、大学キャンパスにおいては、施設担当からのニーズヒヤリングを踏まえて人間中心にエネルギー利用実験を実施している。
- 民間の研究機関等における研究開発動向の把握に努め、それらの研究開発成果の積極的な活用を図ること
 - 民間が収集しているデータは、極力活用できるように協力関係を結び、データ管理技術においても民間の製品や最新のオープンソースを参照して必要な改良を加えるなど、効率的な開発に努めてきた。センシング技術についても市場にある各種IoT製品を活用し、実証実験を効率的に行う工夫をしている。
- これらの動向に応じ、研究開発内容の変更等の柔軟な対応が可能となるような研究開発体制とすること
 - 二つの実証実験課題を設定し、問題解決に最適な技術を評価し、技術要素毎のワークグループを構成し機関を越えた機動的かつ効率的な共同研究を行う体制を取っている。

中間評価時の指摘事項(H26年7月)(その1)

- 実証実験という具体的分野で汎用的な技術の効果を上げるとともに、4機関が密に連携強化する研究体制への見直しやソフトウェアのオープンソース化を含め、汎用化へ向けた戦略的な事業運営を行うことが肝要

→ 実証実験において、各大学が得意とする技術分野のアイデアを持ち寄り、協働してシステム・サービスとして稼働させ評価を進めた。開発したソフトウェアは、汎用技術として一部オープンソースソフトウェア化も実施している。

- 実証実験において、人・モノ等に関連するデータを分析評価した結果を実世界にどのようにフィードバックするか明確にするとともに、社会システムやサービスの効率化にかかる数値目標を設定し、実証実験の効果を数値で表すことで、本研究開発の有効性を検証する必要がある

→ 除排雪実証実験では、札幌市行政・公共交通事業者と連携し、ニーズや実現可能性(フィードバック方法等)について密接に協議して進めてきており、数値的な目標値も具体化した。具体例として重点的除排雪による効果評価を定量的に提示した。また、オープンデータ戦略とも連携し、獲得したデータや情報を適切に市民に提供できるような仕組みも提案した。

公共空間での人間中心エネルギー利用実証実験では、快適度指標を取り入れ、人の快適度を踏まえた屋内環境と空調機器制御の関係をモデル化することによりフィードバックの指針を与えることができた。

大学キャンパスにおける実証実験では、キャンパスの構成員に対して省エネ行動を提案するなどして、研究室などのオフィス環境で電力消費を1割削減することを目標とし、適切なフィードバックの実現により、ほぼその目標が達成できる見込みであることを示した。

- 本研究開発による技術の実用化に向け、データ取得に限らず産業界とのより一層の連携を進めるべき

→ スマート除排雪では、自治体へのITシステム導入に経験のある企業等と実装方式の議論も進めている。またエネルギー管理については、ビル空調設備会社と新技術導入による効果について議論を行い次世代BEMSとしての可能性を探っている。また、要素技術である群衆リアルタイムトラッキング技術についてもサービス効果の検証を企業とともに実施している。

中間評価時の指摘事項(H26年7月)(その2)

- 本プロジェクトで取り扱う具体の研究課題の選定にあたっては、少なくとも以下の点を考慮すること。①どのような社会システム・サービスを対象とするのか、②システム構成及びシステムを構成する要素技術の内容、③本プロジェクトで新規に開発する技術の内容、④開発された技術についての有効性の評価の方法

→ これらの観点を踏まえて、「スマート除排雪」と「人間中心エネルギー利用」の二つの実証実験を本プロジェクトの提案するプラットフォームで実現することにし、後半の研究期間をこれに注力する。

- 成果について、論文発表はもとよりシンポジウムやセミナー等により、これまで以上に国民に分かりやすく広く発信・公開する取組が必要

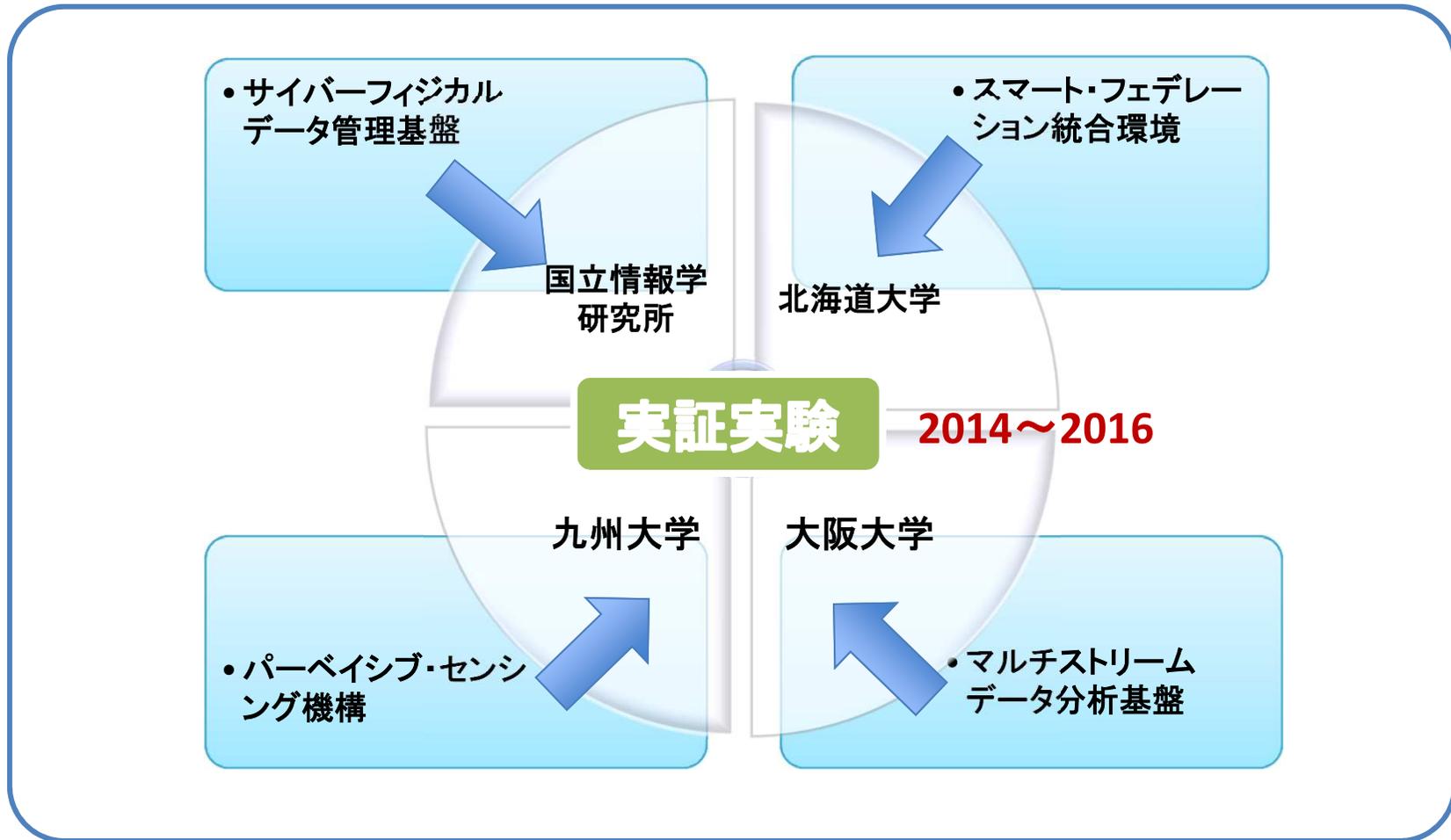
→ CEATEC2016の主催者特別企画展示「IoTタウン」に参画し、ソーシャルCPSの取り組みを産業界を中心とした数多くの参加者に説明した。NIIの広報誌NTT Todayにおいて本研究開発の特集号を組み、広く発信した。H28年度末に、情報処理学会全国大会にて本研究開発の特別イベントを開催予定。

- 2020東京オリ・パラへの活用も鑑み、汎用的な技術の確立に向け着実に取り組みを進める必要

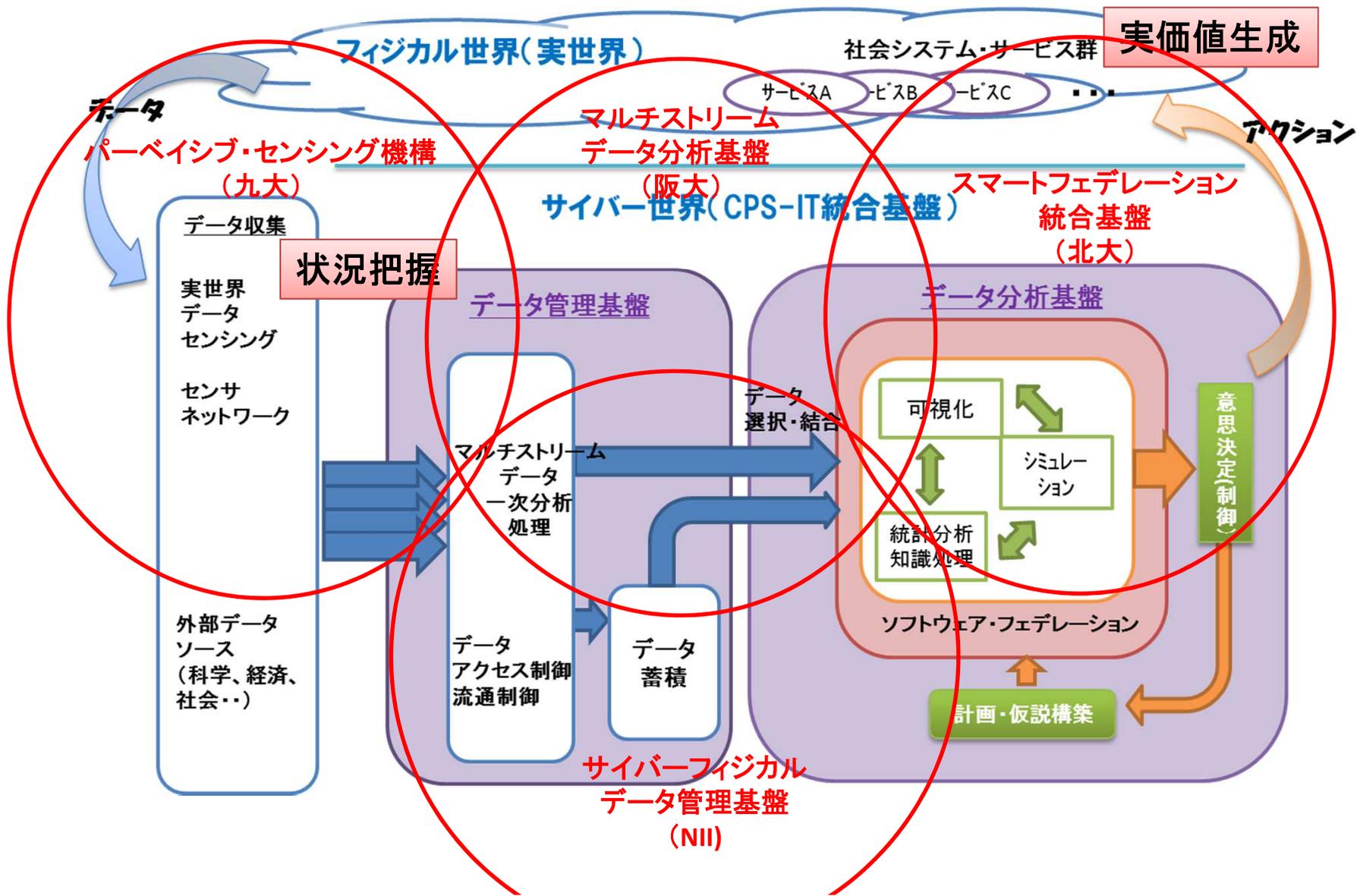
→ 開発された技術のなかでも、人や車の集団的動きのリアルタイム状況把握、関連する気象や環境データと総合した可視化環境の実現、異常状態の発見とシミュレーションを合わせた原因の究明の技法などは、オリンピック・パラリンピックに代表される大規模・広範囲に渡るイベントのモニタリング・システム実現に必要な技術要素である。

本研究の二つの実証実験を通じて、汎用的な総合技術にまとめあげるための要素技術、今後洗練させる方向性、必要なデータ処理を行うデータ管理基盤などについて、明らかにすることができた。人や交通状況を把握し事故防止等を図るために、本プロジェクトで実証した具体的なソーシャルCPSの適用の場として東京大会での活用可能性は十分高い。

研究組織と課題項目



サイバーフィジカルIT統合基盤と研究分担



研究経費

(単位:百万円)

年度	H24	H25	H26	H27	H28	総額
予算額	234.7	176.8	136.0	137.2	131.1	815.8
物品費	115.5	23.0	5.0	9.8	16.6	169.9
人件費・謝金	32.4	66.1	66.7	61.7	57.6	284.5
旅費	14.9	15.3	14.4	17.4	23.2	85.2
その他	71.9	72.4	49.9	48.3	33.7	276.2
執行額	232.0	178.8	140.3	140.7		691.8
物品費	106.4	47.8	11.2	17.2		182.6
人件費・謝金	17.8	47.6	54.9	49.2		169.5
旅費	18.1	17.1	20.1	17.1		72.4
その他	89.7	66.3	54.1	57.2		267.3

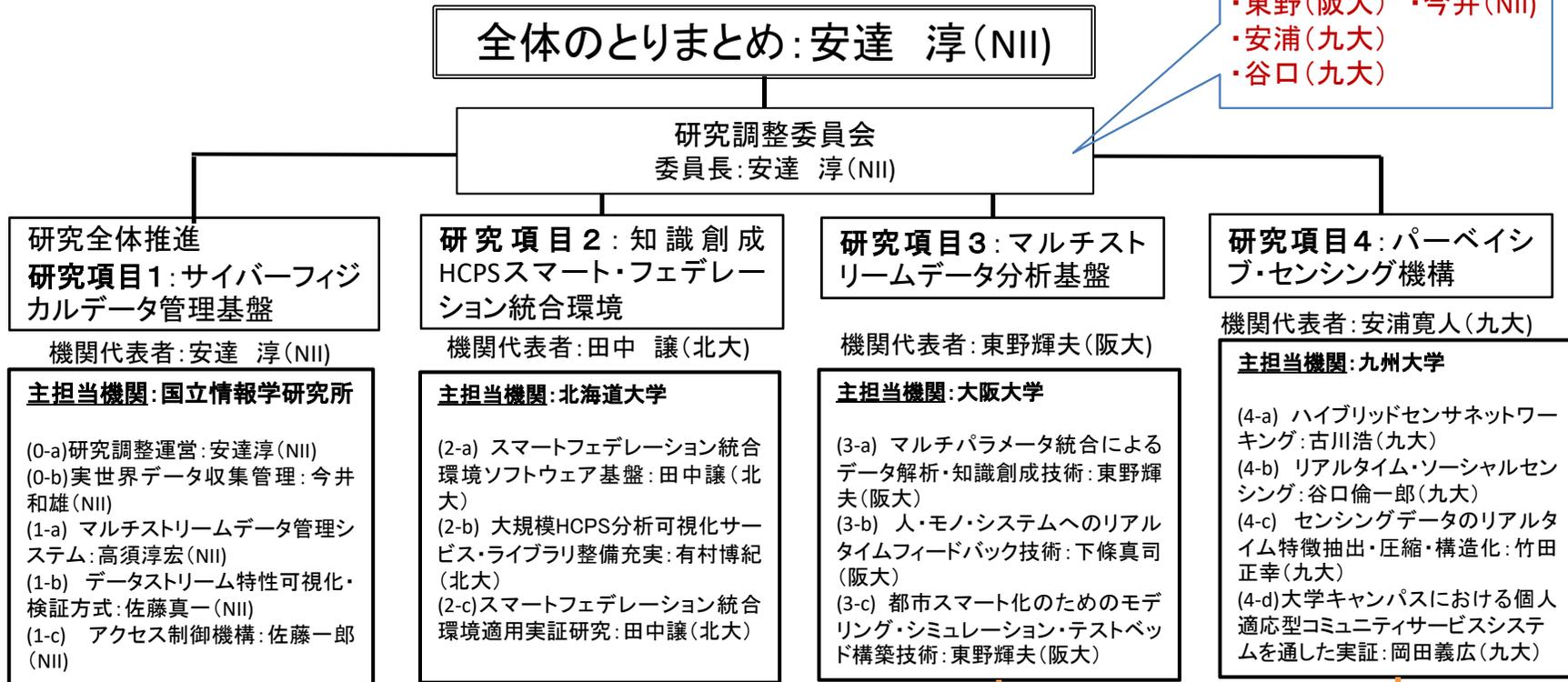
H27 年度までの執行額合計



研究実施体制

研究調整委員会メンバー

- ・田中(北大) ・安達(NII)
- ・東野(阪大) ・今井(NII)
- ・安浦(九大)
- ・谷口(九大)



スマート除排雪実証実験

- 実験計画/データ収集・蓄積
- 交通異常検出分析
- 情報サービス基盤(データ獲得・可視化)
- 交通データマイニング
- 除排雪サービス最適化

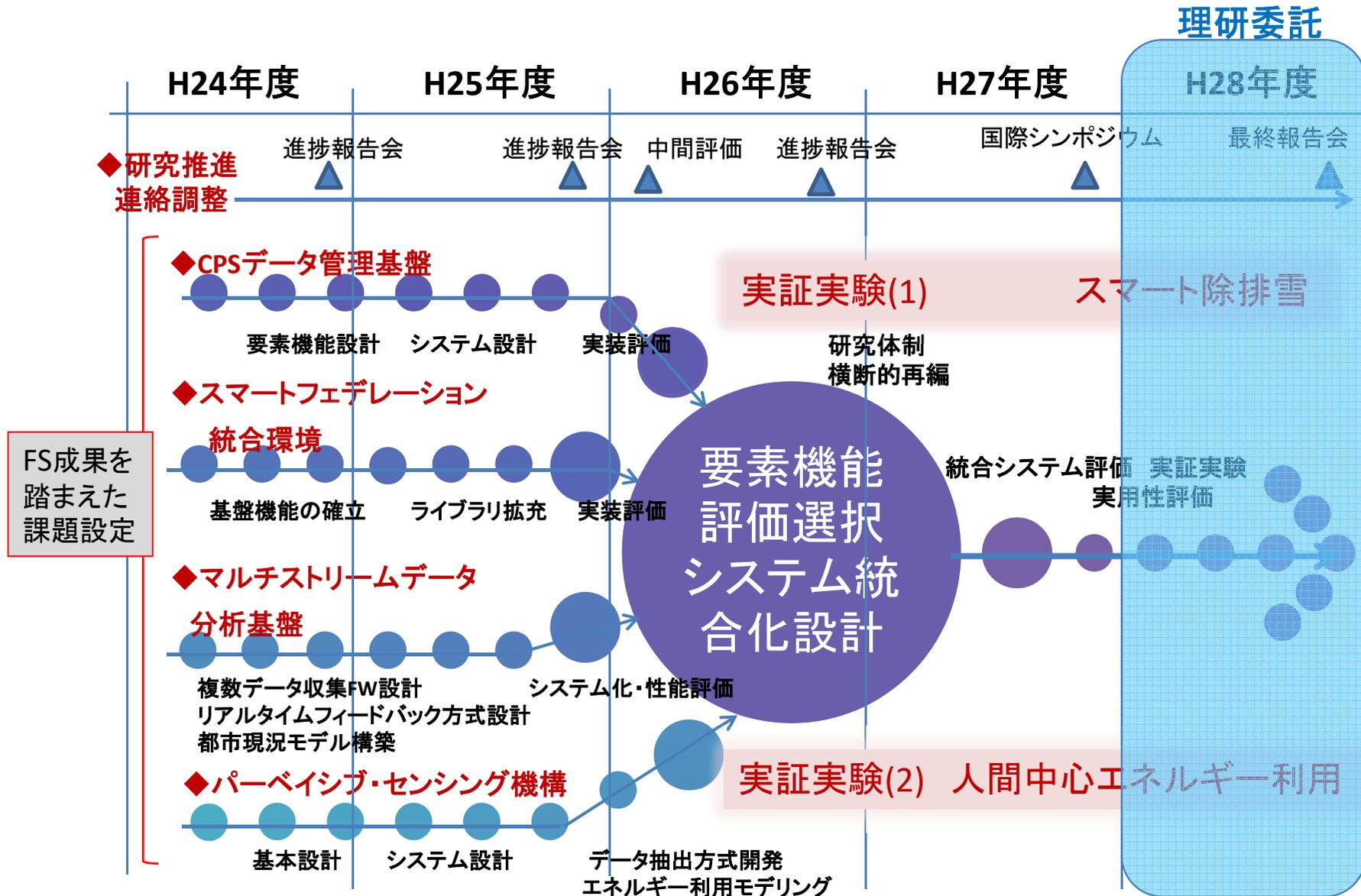
人間中心エネルギー利用実証実験

- 実験計画/評価指標設定
- ヒトの活動情報獲得
- ヒト・環境センシング情報獲得
- ヒト・環境情報にもとづくエネルギー・CO2排出量抑制
- 行動支援(エコ行動ナビ等)

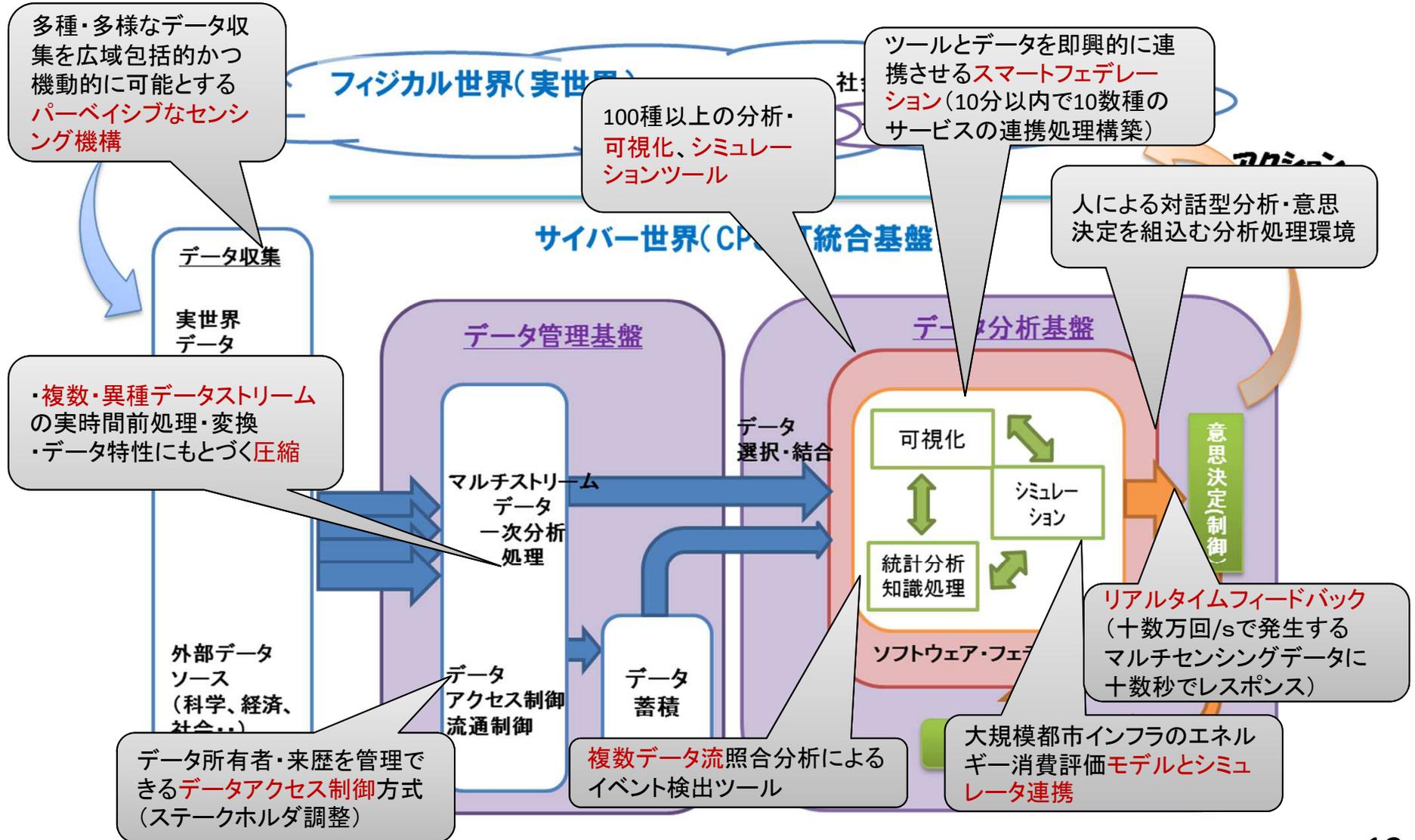
外部協力機関

- | | | |
|-----------|---------------|-------|
| 本田技研工業(株) | 札幌市 | (株)工房 |
| 富士通(株) | 札幌総合情報センター(株) | その他 |
| トヨタ自動車(株) | 北海道警察 | |

研究計画と進捗状況



本プロジェクトで目指す技術的特徴



実世界データ収集

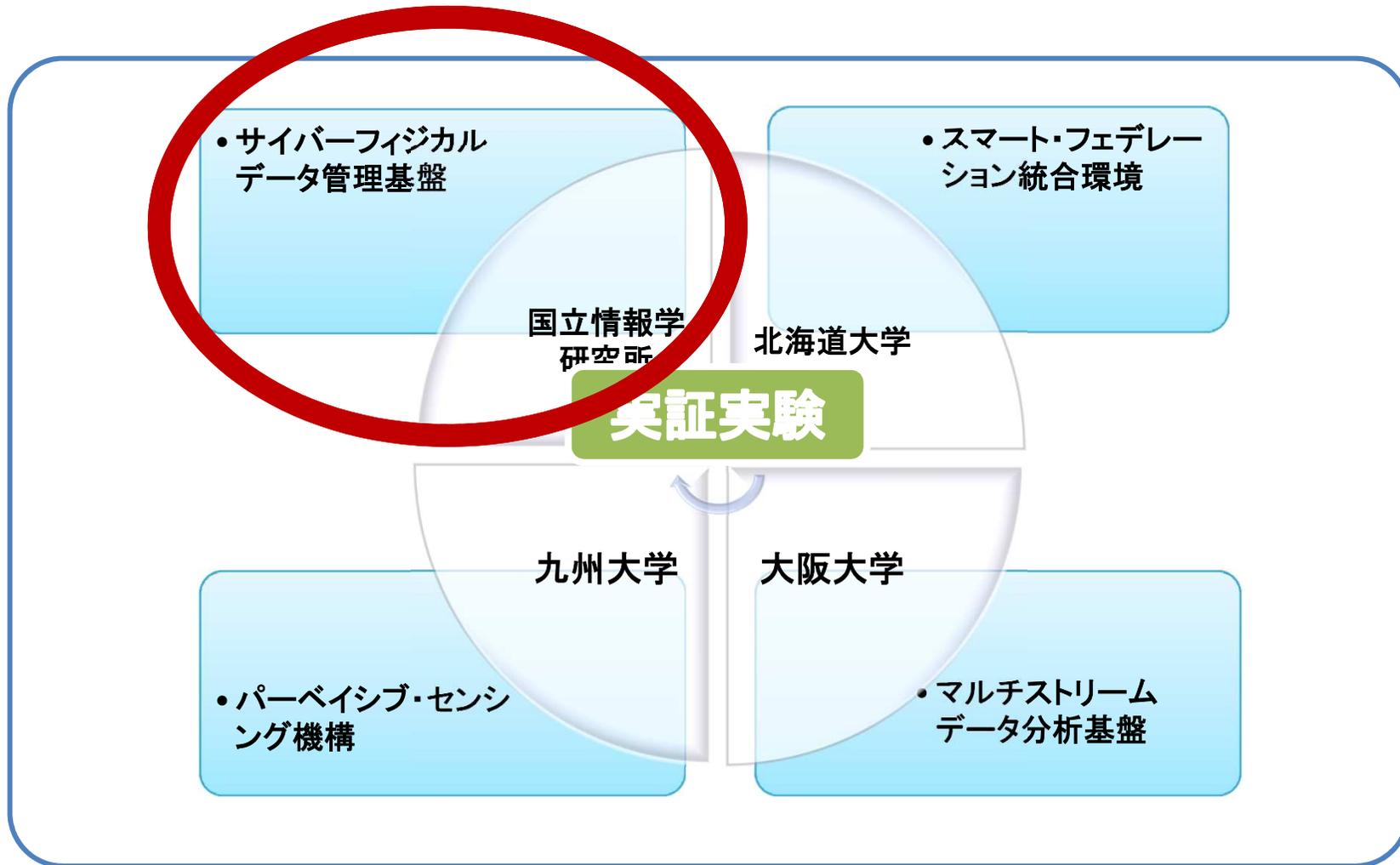
スマート除排雪

人間中心エネルギー利用

* 赤字は民間企業、自治体等の保持データの供与
* 黒字は研究参加機関の自己収集(+外部機関連携)

データ	データソース&パートナー
車の位置情報 ・GPS等	一般車Probe Car Data: 自動車会社(3年分) 商用車Probe Car Data: 富士通(2.5年分)+リアルタイム受信
人の位置情報 ・GPS情報 ・改札通行情報 ・測域センサー	携帯アプリ: ・ 渋谷エリア中心(東急+NII) ・ 全国エリア(ゼンリンデータコム) 地下鉄乗降データ: 札幌市交通局(9年分+) グランフロント大阪The Lab(阪大)
混雑度情報	携帯アプリ: マイク、加速度センサー情報(阪大)
カメラセンサー情報	大学構内: 九大、阪大
放送メディア (イベント情報等)	放送映像アーカイブ: NII TV-RECS 東京エリア地上波7波(3年分、20万時間、150TB) NHKニュース7(10年分、2千時間)
ソーシャルメディア (Twitter等)	インターネットより
行動履歴情報 (施設利用等)	九大キャンパス関連施設 カメラセンサー、無線AP,ICカードリーダーの統合観測

データ	データソース&パートナー
環境・気象情報 気象、台風、災害事故データ等	札幌降雪量: 日本気象協会(6年分) マルチセンサーデータ: 札幌総合情報センター(11年分+) 除排雪記録・クレーム情報: 札幌市(5年分+) 気象衛星(ひまわり)(リアルタイム更新) 地域気象観測システム(アメダス): 12GB その他、気象庁の各種データ、警報情報 ヤフーニュース(台風、震災関係) (NII+日本気象協会など)
道路状況情報	北海道全域交通事故データ: 北海道警察(10年分) 首都高速事故情報: 首都高KK 渋滞データ: 道路交通情報センター
消費電力 スマートメーター、エネルギー・環境計測システム、ビル・住宅エネルギー管理システム	大学構内居室単位: 九大 阪大 環境・エネルギー工学科

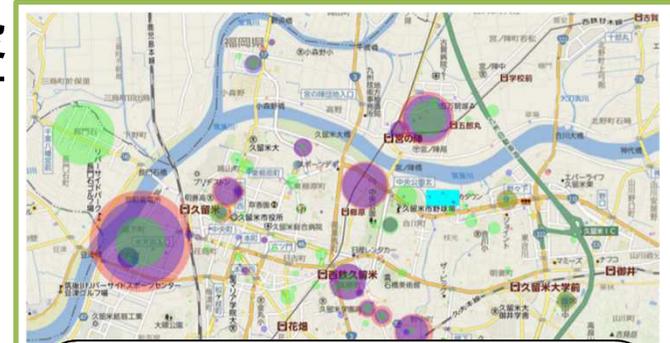


マルチデータストリーム分析・管理基盤

目標：マルチデータストリームの分析・管理基盤の構築

課題：

- ❖ 複数データストリームを蓄積管理する分散データベースシステム
- ❖ 不特定多数の利用者からのセンシングデータ収集機構
- ❖ 大規模センシングデータ分析・可視化アルゴリズム

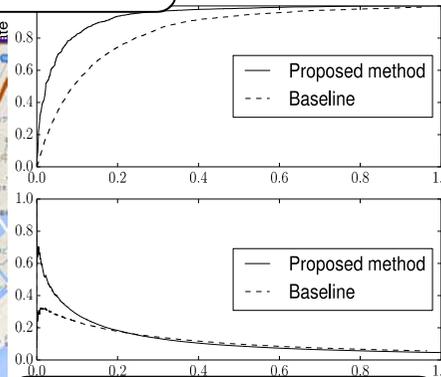
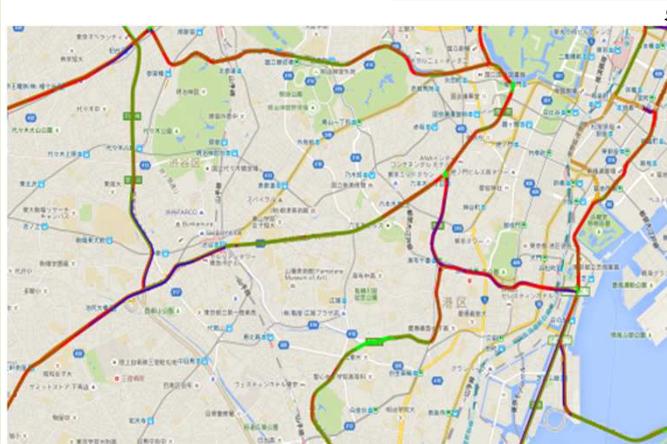


データの特徴を顕在化するための高速クラスタリングアルゴリズムの構築。従来手法と比較し10倍～100倍の処理性能向上。クラスタレベルで自動車の移動パターンを可視化することでプライバシーを保護しつつデータ分析。

高速クラスタリングアルゴリズムを用いた可視化分析

交通異常状態検知

PCD(Probe Car Data)の速度データを用いて道路各地点の速度分布特性をモデル化。



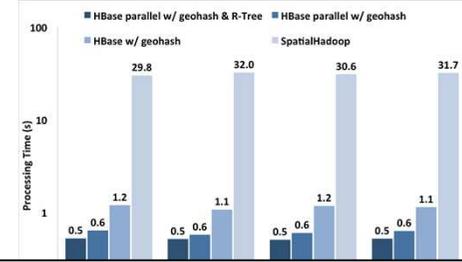
従来手法[zhu et al. 09]と比較し、異常検知精度をROC曲線のAUC値で10%程度向上

クラウドセンシング

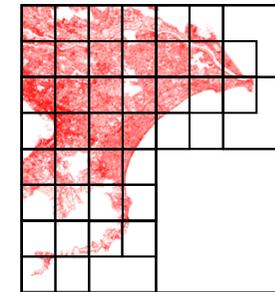


市民参加型で収集した運転時データ等から、路面状況等の推定を可能にする。

分散空間データ管理



分散DB用空間索引を考案し、従来手法と比較し数十倍の検索性能を実現。



1110111111
1111111001
0101101010
10

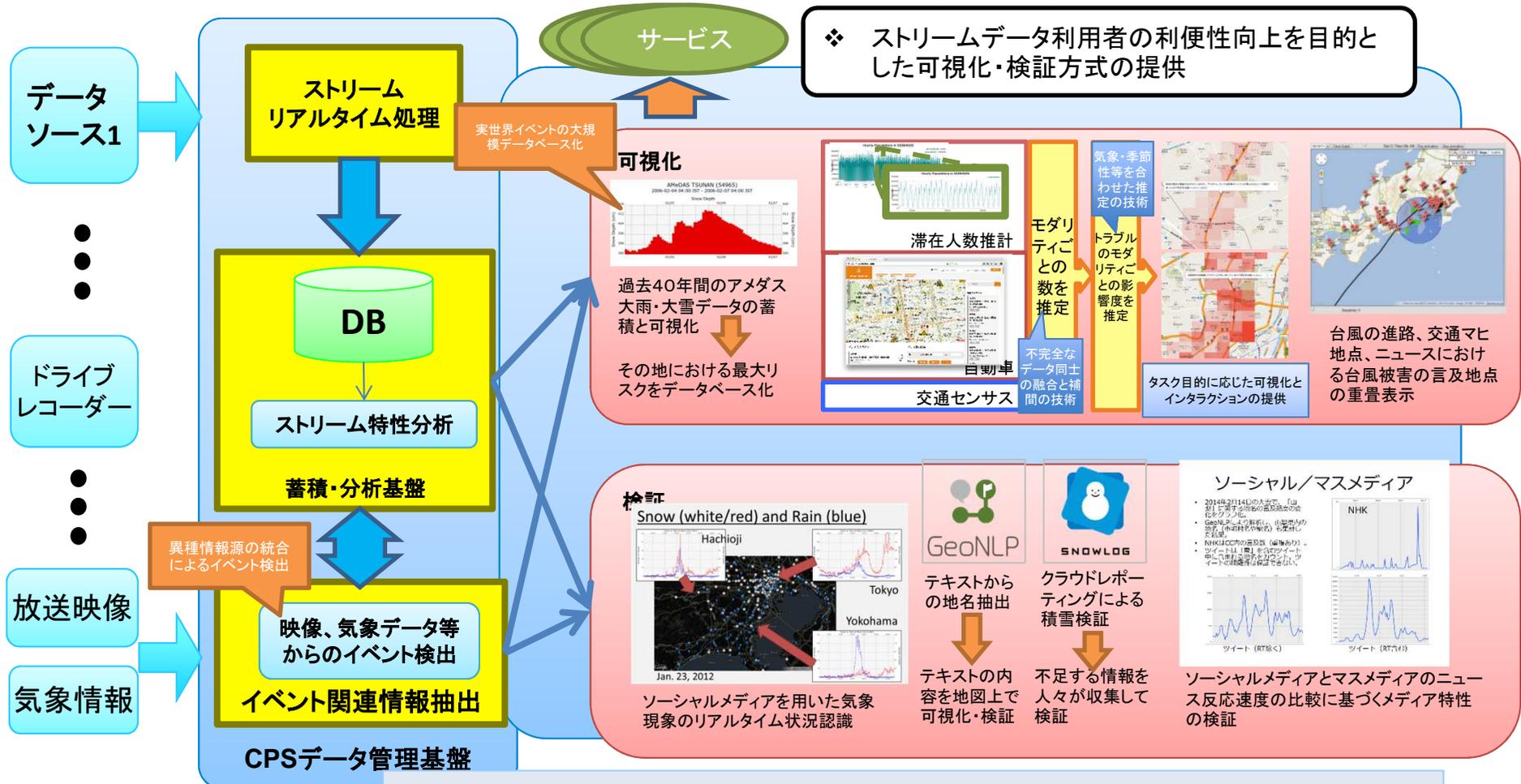
位置情報に関連づけられたデータ量に応じて空間を適応的に分割し圧縮。圧縮したままデータを検索可能なデータ構造とアルゴリズムを構築。従来手法と比較しサイズ1/10、処理性能10倍以上の空間索引を実現。

マップマッチング索引

(1-b) データ特性可視化と検証方式

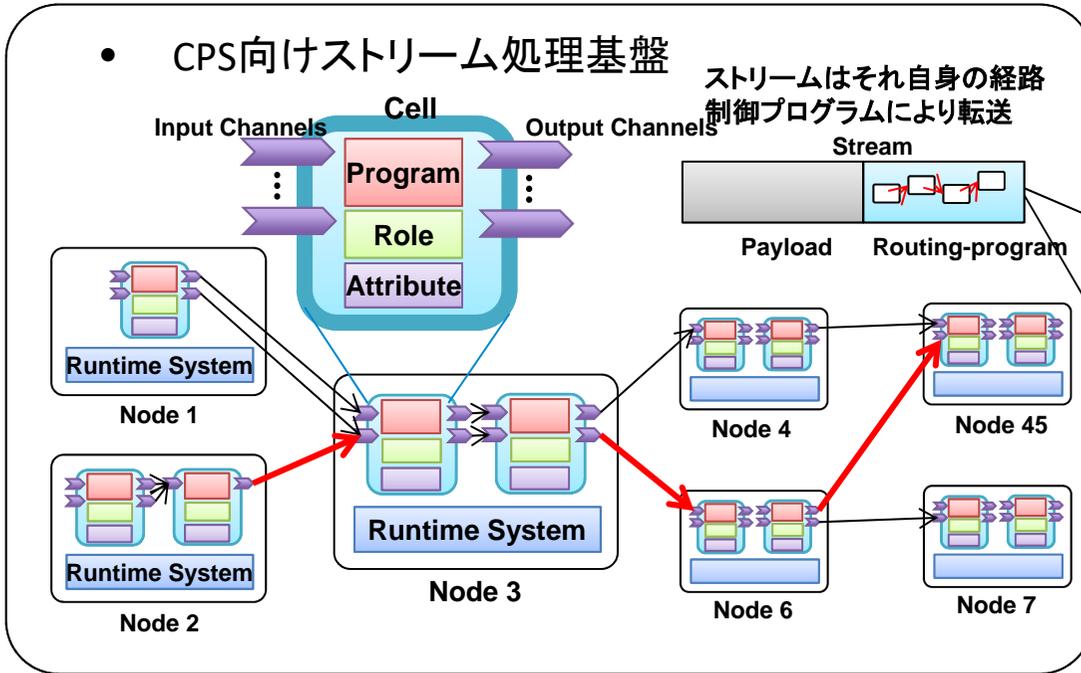
目標 マルチストリームデータの特性の可視化と検証方式の開発
課題

- ❖ 放送映像、気象情報、プローブカー情報等からのイベント検出と可視化
- ❖ タスクに応じた、データの特徴の適応的かつ対話的可視化

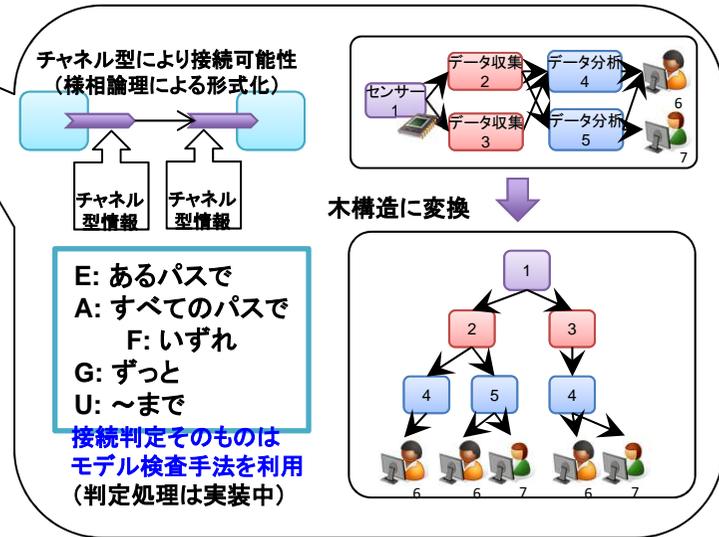


LODチャレンジ2013 基盤技術部門 最優秀賞 (GeoNLP)

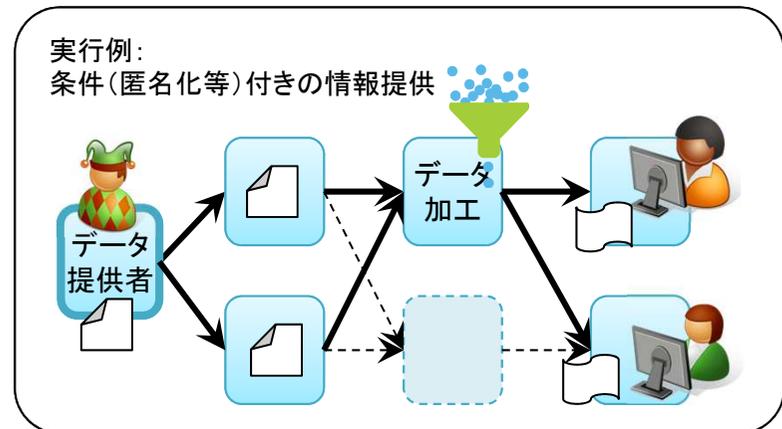
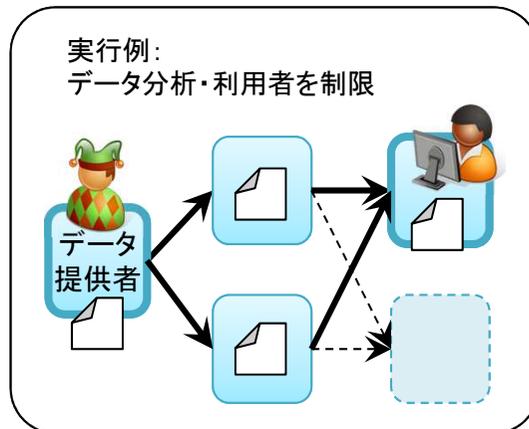
データアクセス制御システム

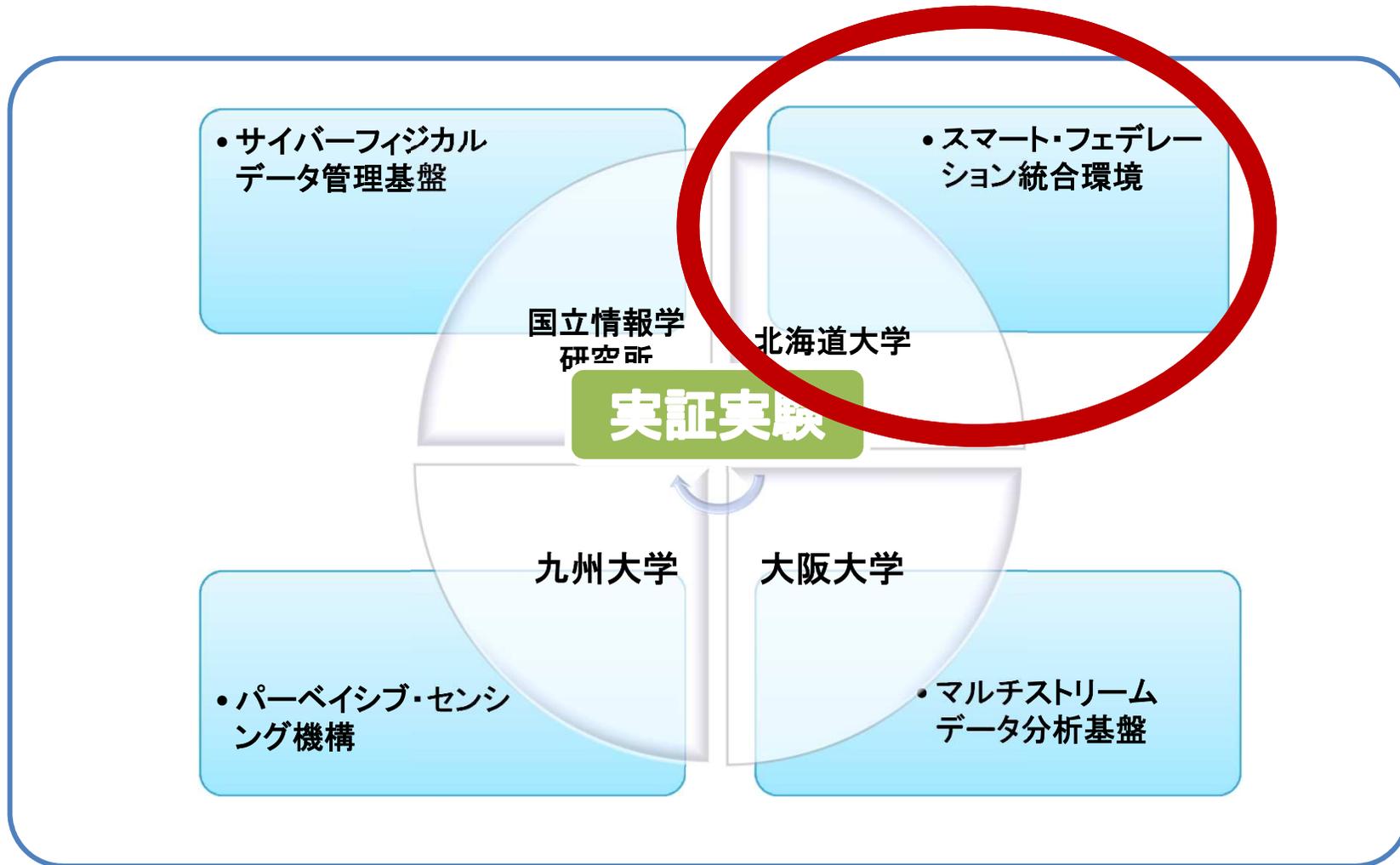


様相論理を用いた経路条件と経路制御プログラムの整合性を判定



データストリーム単位で、経路制御が可能
転送先に応じたデータ加工により、提供先に応じた匿名化などが可能となった





知識創成HCPSスマート・フェデレーション統合環境のソフトウェア基盤

目標：知識創成HCPSスマート・フェデレーション統合環境のソフトウェア基盤の構築

課題：

- ❖ フェデレーション技術／ビジュアル・アナリティクス基盤アーキテクチャ／実時間位置・画像情報取得モバイル・アプリの構築
- ❖ 大規模HCPSデータウェアハウスの実現／モバイルSNS
- ❖ HCPS統合環境システム開発

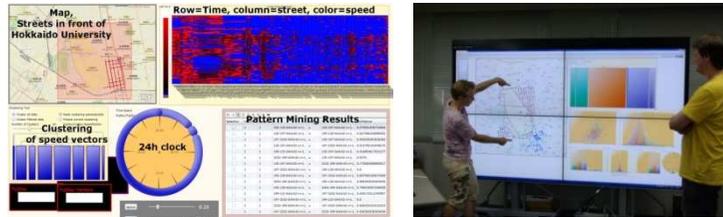
スマート・フェデレーション・フレームワークの確立

WebTop知識メディアシステムWebbleWorldの完成

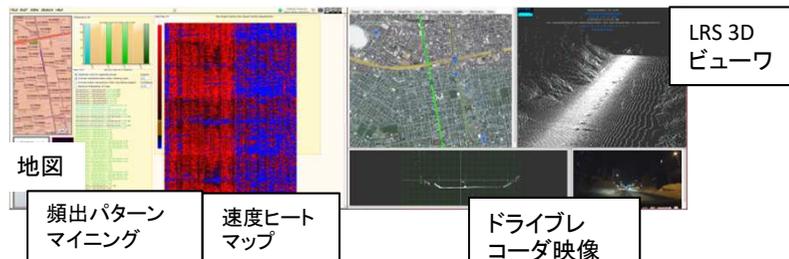
10種類のツール/サービスの連携を10分で構築可能

ビジュアル・アナリティクス基盤アーキテクチャ

- ・ Geospatial Digital Dashboard α版の完成
- ・ 多種チャート、分析ツールと可視化結果の連動



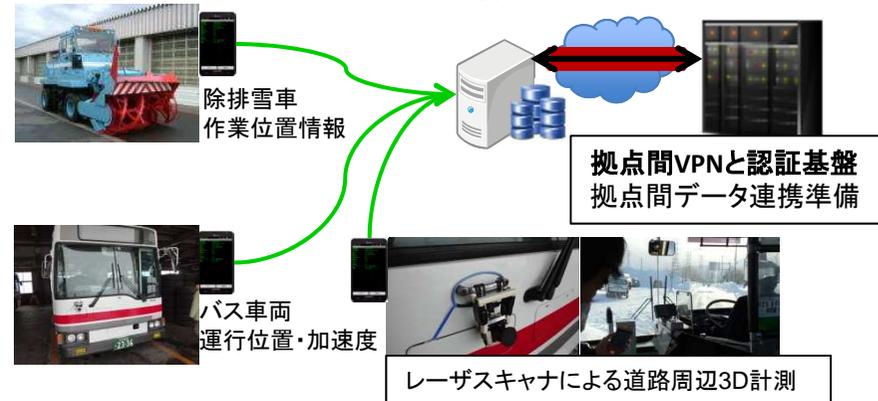
天気、時間帯、速度範囲、地域等を探索的に変えながら道路セグメントごとの速度低下を可視化分析



Geospatial Digital Dashboardによる渋滞発生要因の分析
渋滞起点に雪堆積による道路狭窄箇所を確認

実時間位置・画像情報取得モバイル・アプリの開発

・除排雪車、路線バスの実時間位置・センサ情報取得



大規模HCPSデータウェアハウスの実現

- ・ NoSQLデータベースとのインターフェースの研究開発
- APIを利用したウェブベース情報収集システムとビューワ



大規模HCPS分析可視化サービス・ライブラリの整備充実

目標：大規模HCPS分析可視化サービス・ライブラリの整備充実

課題：

- ❖ 既存分析手法のライブラリ化
- ❖ 大規模HCPS独自分析手法の開発
- ❖ 大規模実時間データ分析に向けた実装

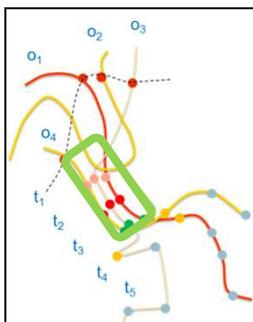
行動障害の空間分析技術の開発

ナビアプリの開発, 避難行動ログ収集 避難行動障害の空間分析技術



夏季(赤) + 冬季(青) 冬期障害箇所の特定

高速トラジェクトリ・マイニングによる群れパターン発見



群れパターン：
移動体の集団が、
k 以上の時間、
距離 r 以内で
一緒に移動するパターン
(Gudmundssonら
AGIS2006)

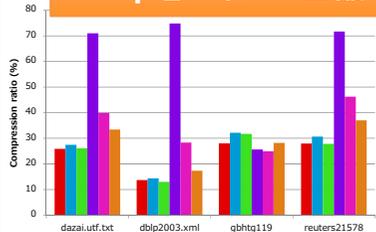
750倍の高速化



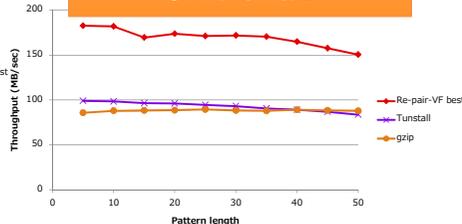
道路交通における経路変更の検出、
移動体軌跡の匿名化に応用可能

非解凍でマイニング可能なデータストリーム圧縮技術

Gzipを上回る圧縮率



Zgrepの2倍高速な
検索性能



- ・軌跡データの圧縮と検索
- ・ログストリームデータ圧縮に応用可能

ユーザ生成コンテンツ からの地理情報抽出



「広島」と呼ばれる場所

地域性を仮定した地名の
曖昧性解消

ソーシャルメディアからの
除雪状況取得

プローブカーデータを用いた 実時間交通可視化解析

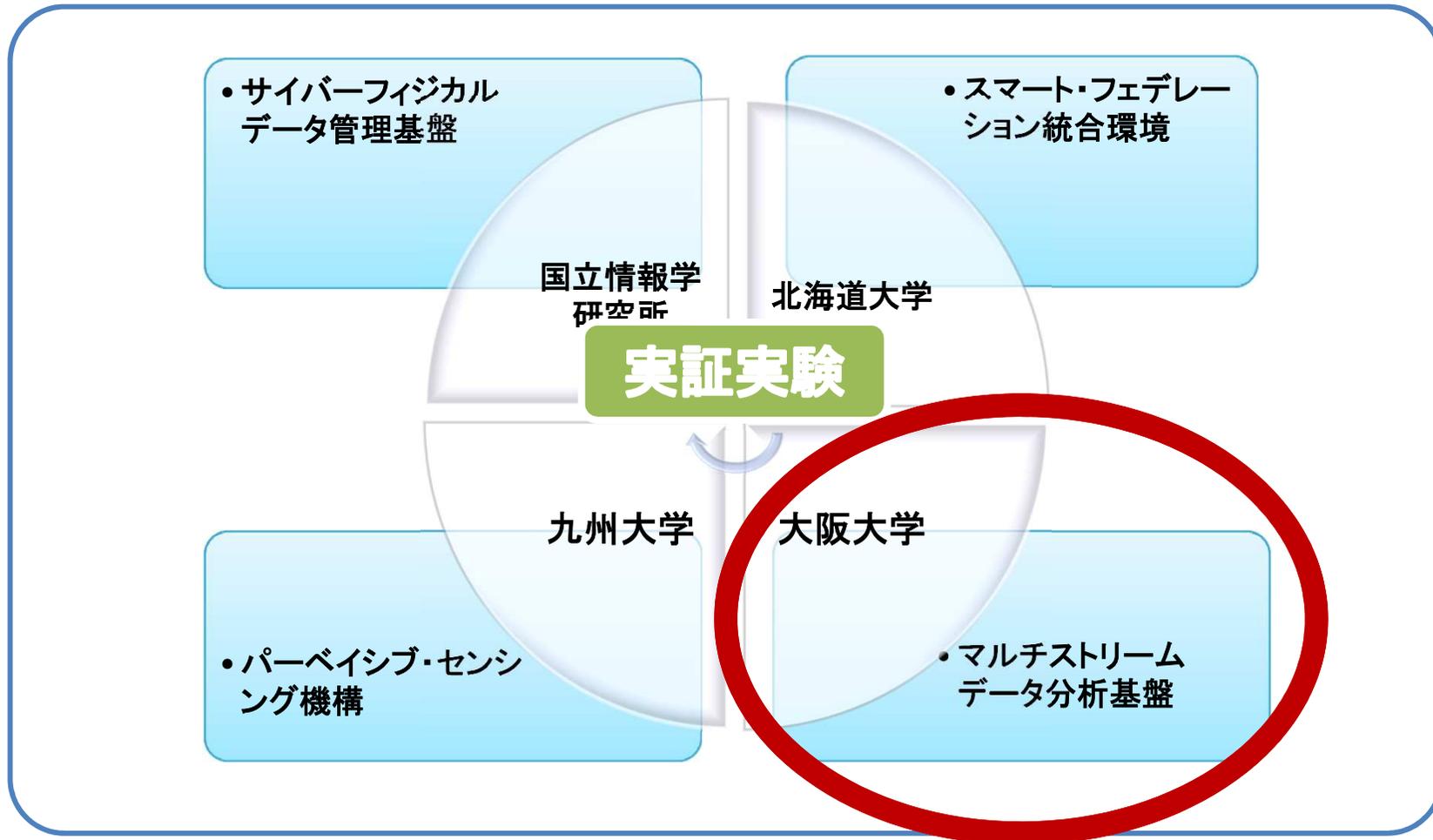
積雪等による渋滞箇所特定



交差点速度の可視化・効果測定



ジェネリックラッパーによるR、Octave、Ruby、Python分
析ツールの部品化(総計120種類以上)

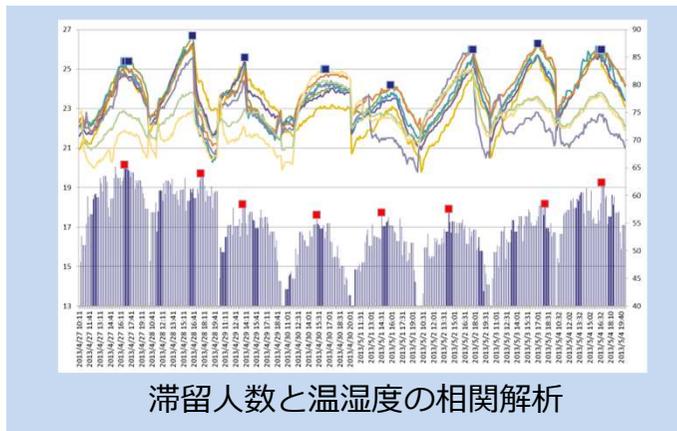


マルチパラメータ統合による データ収集・解析・知識創成

目標：マルチパラメータ統合によるデータ収集・解析・知識創成技術の開発

課題：

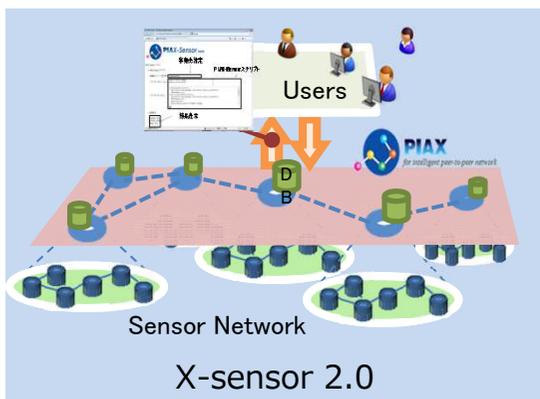
- ❖ 大量生成されるマルチパラメータセンシングデータのリアルタイムな融合・理解・転送



滞留人数と温度の相関解析

都市環境を対象としたセンシングデータ収集分析システムの設計開発

- 広域データ収集機構「X-sensor 2.0」
- 群衆行動とビル環境センシング集約可視化プラットフォーム「ひとなび」
 - 群衆の検知/可視化
 - 人/空調/電力の基礎関係解析



「ひとなび」システム：グランフロント大阪の
来場者の移動軌跡/環境情報を12か月間観測蓄積中



温度/CO₂/消費電力の可視化

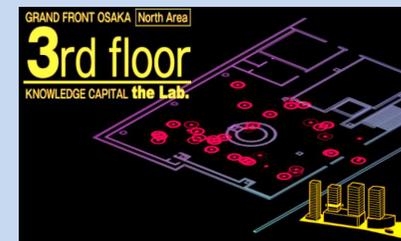
- 測域センサー×8
- エアセンサー×23
- 電力モニター×2

要素技術の研究開発

- 高精度位置推定・トラッキング
- マルチセンサーフュージョン技術
- モバイルセンシング (スマートフォンによる混雑度検知等)

IEEE Trans. Mobile Comp. 2件, Pervasive & Mobile Computing, IEEE PerCom, Pervasive 等
分野最難関の国際論文誌や国際会議で成果を発表

ISCA 2013 佳作賞 / 情報処理学会 DICOMO
2013 野口賞 等 受賞



群衆位置/メッセージの可視化

都市スマート化のためのモデリング・シミュレーション/テストベッド構築

目標：次世代社会システム (BEMS等) 最適化のためのモデリング・可視化・シミュレーション/テストベッド構築技術の開発

課題：

- ❖ 人や車の移動、センサデータ、および都市街区の忠実なモデル化
- ❖ 大規模実データの効果的な活用によるシミュレーション精度の向上
- ❖ シミュレーション結果の可視化

人流センシングシミュレーション/テストベッド構築

HumanS シミュレータ + 群衆行動モデルにより、都市センシングシステムやBEMS性能の最適性を検証

センシングシステムの最適化への適用
(情報処理学会特選論文, 国際会議3編)

大阪駅周辺地区の3Dモデリング + 群衆行動のモデル化



大阪駅前 3Dモデル



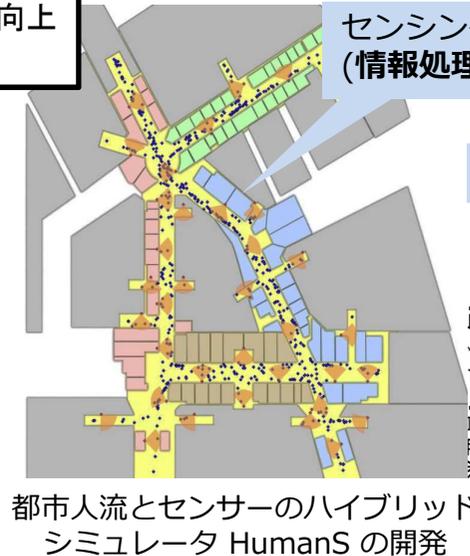
グランフロント大阪 マルチフロア3Dモデル



ディアモール大阪地下街 3Dモデル+行動モデル

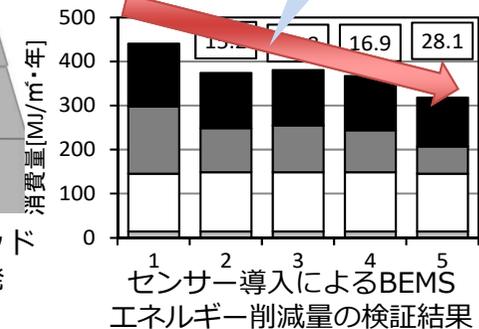


大阪駅前地下街モデル (500m×500m領域) と推定人口情報に基づく **1,200人/時規模** の人流シミュレーションを実施



都市人流とセンサーのハイブリッドシミュレータ HumanS の開発

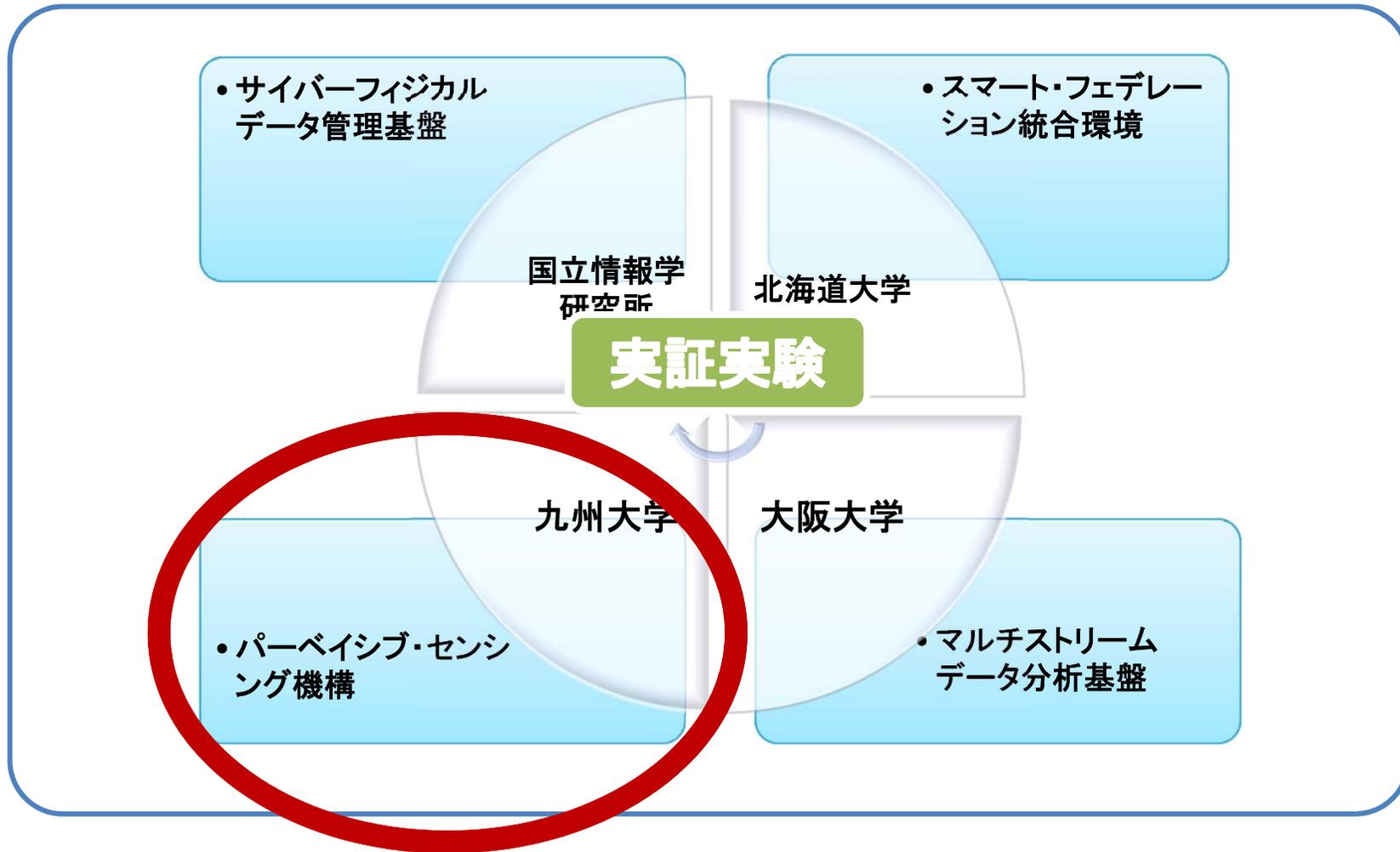
BEMSの最適化への適用



可視化

今後の目標と計画

- 最新鋭 BEMS により計測された空調用熱・照明・コンセントの消費電力量 (約6万点、1時間ごと) の大規模データ解析
- 居住者数等を考慮した新エネルギー消費効率指標の提案、先端的BEMS技術の開発、建築計画/設備のあり方に対する示唆



機動的センシングネットワークシステム

目的: 機動的センシングネットワークシステムの構築

課題:

- ❖ 屋内外をシームレスに接続するハイブリッドネットワーキングの開発
- ❖ 完全ワイヤフリーなブロードバンド型多段中継システムの実現
- ❖ 各センサノードをリモートアクセス可能にするクラウドノード管理システムの開発

成果:

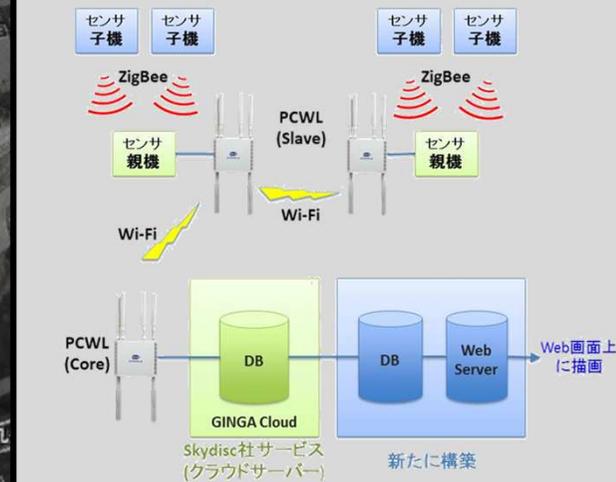
- ❖ PicoMESH技術によるアドホックセンサネットワーク
- ❖ 屋内外ハイブリッドセンサネットワークノードの開発
- ❖ センサノードのクラウド管理システムの開発

九州大学伊都キャンパス

自己発電システム搭載
通信距離数百メートルの
条件下で6Mbpsを確保

屋外センサノード

PicoMESHによる無線 ネットワーク構築



センシングエリアをアドホックに
拡張可能
高スループット多段中継を実現

クラウド管理・監視システムに
よるビッグデータ収集とデータ
アナリシスのための汎用APIを開発

商業施設での運用実績

- 天神地下街
- キャナルシティ博多
- ベイサイドプレイス博多
- 紀州南部ロイヤルホテル

リアルタイムソーシャルセンシング

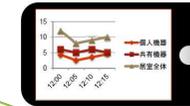
目的:リアルタイムソーシャルセンシングシステムの構築

課題:

- ❖ カメラ、無線AP、ICカードリーダー、消費電力計、温度計等の多様なセンサを用いた実社会の観測
- ❖ センシングデータの統合による人々の活動状況の把握
- ❖ センシングデータの分析による人々の行動支援

成果:

- ❖ 移動体追跡 (受賞: 1st place of BMC2012)
- ❖ 複数センサデータ統合による電力需要予測

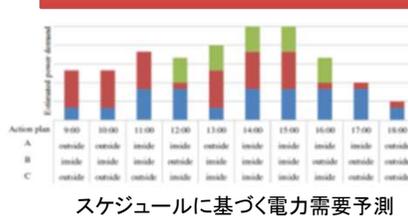


可視化
フィードバック

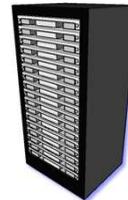
節電可能性の検討



電力需要予測

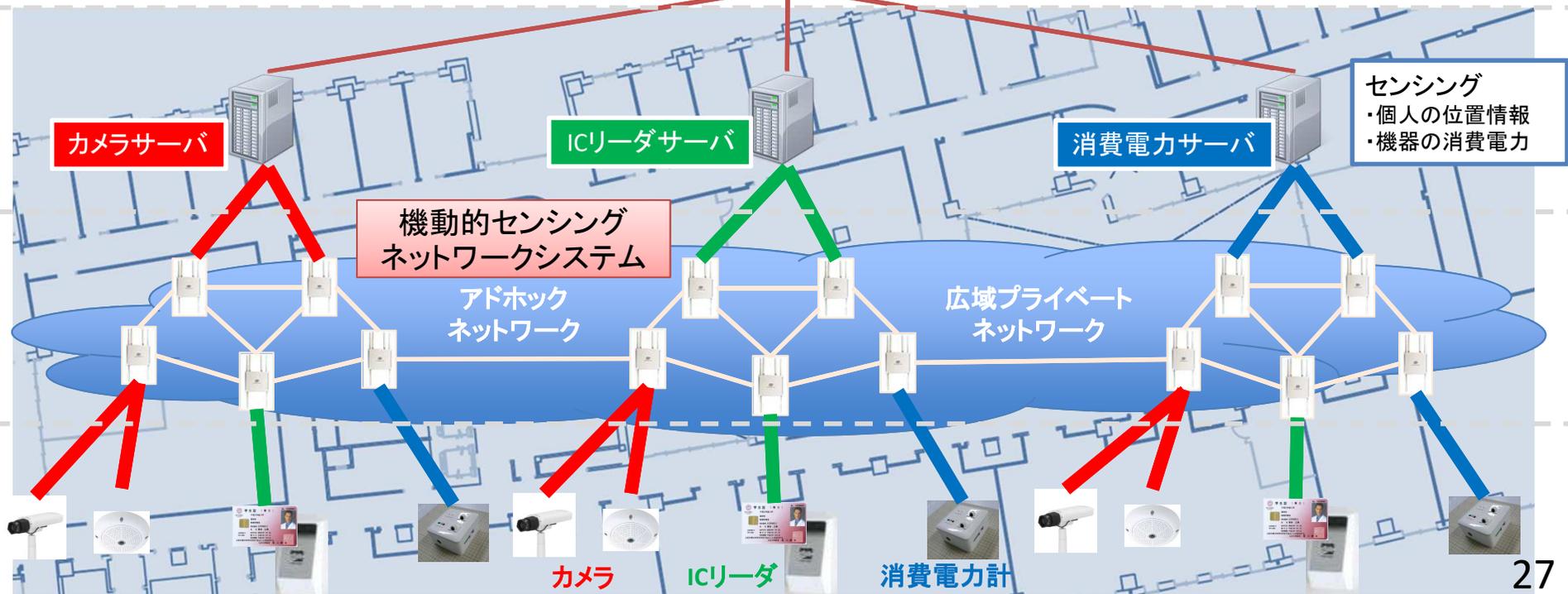


統合サーバ

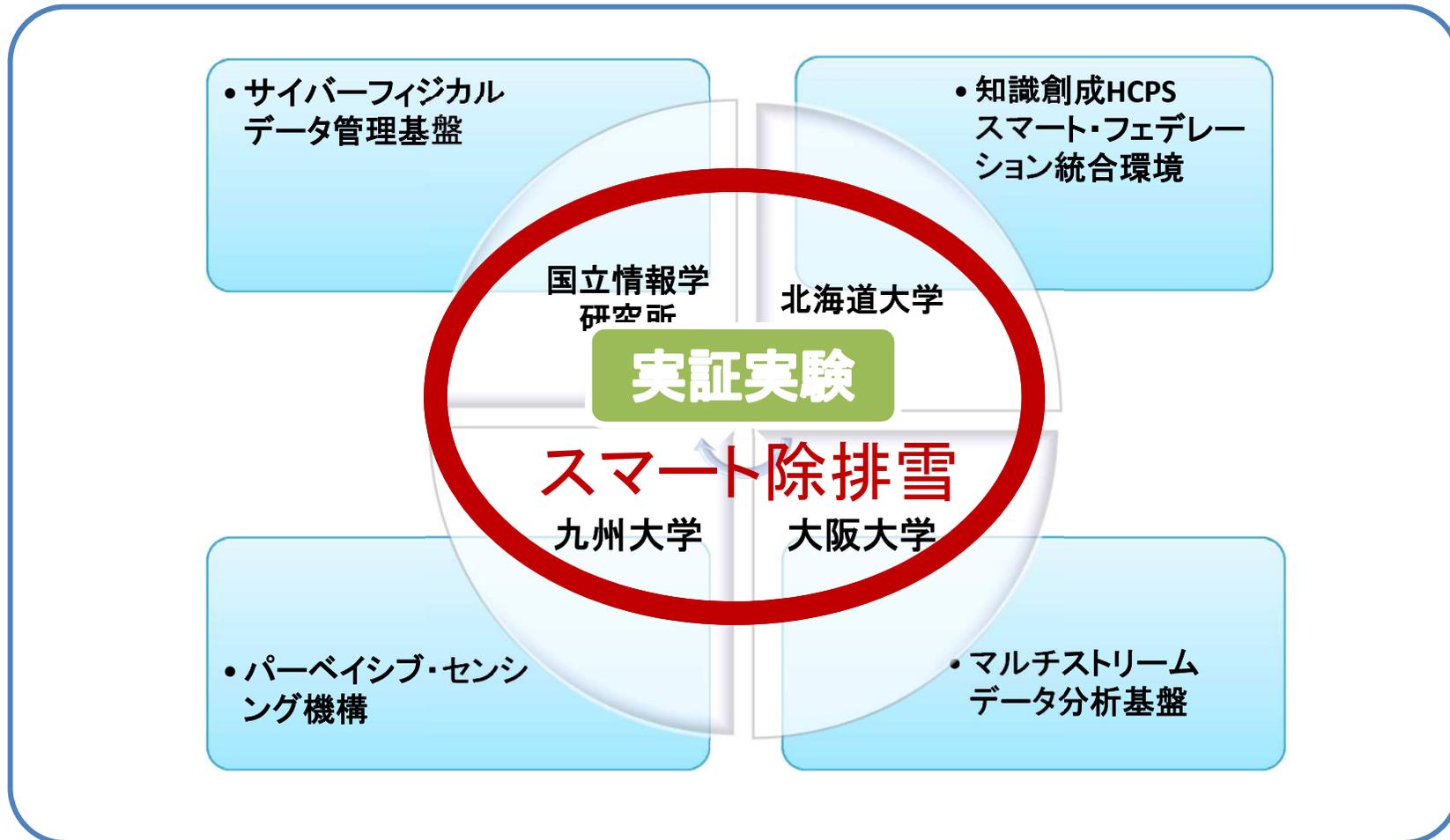


API群を提供

センサデータ統合
マイニング



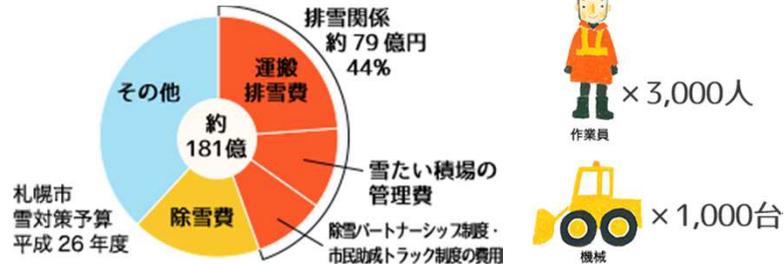
実証実験 I



【スマート除排雪】 札幌市の除排雪の効率化・最適化

[目的] 札幌市における除排雪の効率化・最適化を目指す実証実験に適用し、Social CPS基盤技術の有効性を検証する。
 制御ループ中に人を組み込み、人による分析・意思決定に基づく最適制御を目指すHuman CPS基盤技術の確立を目指す。

- 人口: 1,920,739
- 平均年間降雪: 597cm (百万都市で世界1位)
- 年間除雪予算 : 約150億円 (1.2億/日)
- ※H24年度実績 : 212億円
- クレーム・要望 : 4万1877件 (H24年度)
- 一晩の除排雪総距離 : 5,328km (作業員約3000人/日, 除雪機械約1000台/日)



道路狭窄, 路面凍結により交通状況が悪化

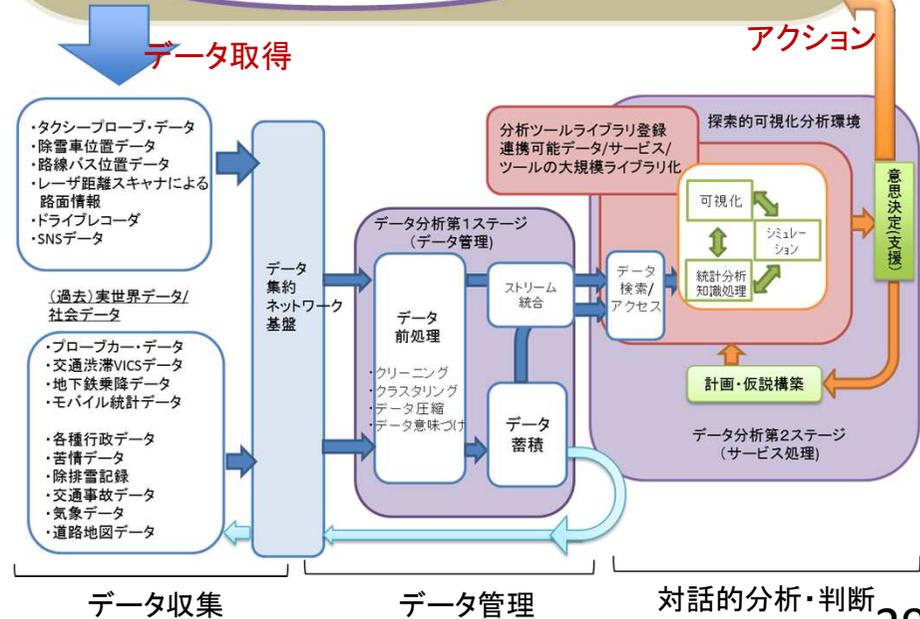
実世界への貢献

- ① 渋滞道路の平均旅行速度の向上
- ② 路線バスの平均遅れ時間を改善
- ③ 緊急車両の平均現場到着時間および平均搬送時間改善
- ④ 交通渋滞時CO2排出増加分を削減
- ⑤ 降雪による交通障害の定量的実証的評価
- ⑥ 除排雪効果の定量的評価
- ⑦ 年間150億円におよぶ除排雪コストの削減
- ⑧ 冬期道路管理に関する市民と行政の情報交換共有サービス
- ⑨ 交差点付近の路面凍結の定量指標確立
- ⑩ 冬型交通事故発生件数の低減



除雪関連情報発信

除排雪車オペレーション



【スマート除排雪】

収集・作成するデータと産官との協力

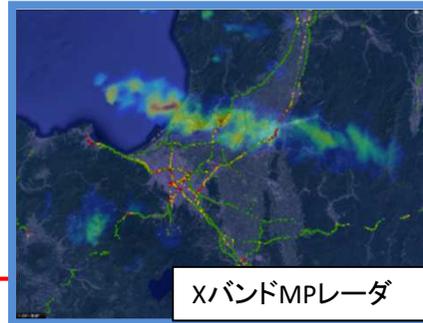
□ 道路交通データ

- 一般車プローブ
- タクシー・プローブ
5分毎実時間
- ABS作動位置情報
- 渋滞データ
(道路交通情報センター)



□ 気象データ

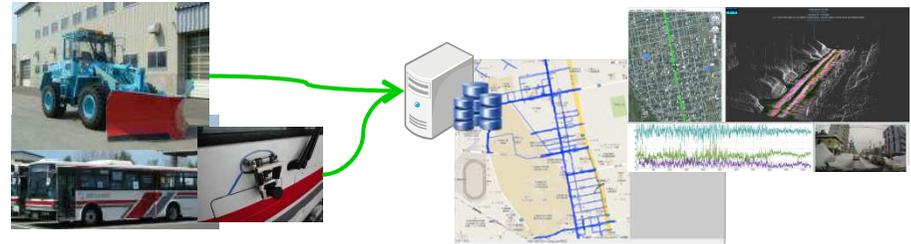
- 北海道メッシュ降雪量
: 日本気象協会(6年分)
- XバンドMPLレーダ
(5分毎): 河川情報センター
- マルチセンサーデータ
: 札幌総合情報センター(10年分)



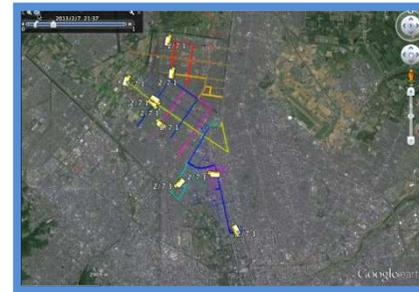
□ 行政データ

- 地下鉄旅客数データ: 札幌市交通局(9年分)
- 除排雪実施記録, 除排雪に関する苦情電話記録
: 札幌市雪対策室(5年分)
- 交通事故情報(10年分)
: 北海道警察本部

□ 独自取得データ



除排雪作業車(25台): 札幌市雪対策室
実時間作業位置情報取得実験協力



北海道中央バス(23台)

実時間センサ情報, 実時間3D道路計測実験協力



札幌市における市民参加型スマート除排雪計画

札幌市次期ICT戦略におけるオープンデータ政策と連携計画

札幌市民

市民からの情報提供



画像データ(雪堆積・交差点状況)

市民への情報発信



統合プローブカーデータの分析による局所的な速度低下区間の検出

札幌市

- 秋元市長、町田、吉岡副市長
- 建設局 土木部・雪対策室

(市民参加型の行政サービス)

運搬排雪履歴の記録



- バス路線・幹線道路の除雪重点化計画の検討(H27年度)
- 交差点除雪の強化とその効果測定を試行(H27年度)
交差点通過速度、右左折速度、交差点の除雪状況の確認
- 除排雪車両作業履歴の取得協力

北海道中央バス(株)

- 平尾 会長(北海道バス協会会長)
- 運輸部、整備部、新川営業所

(産官学民による市民生活の向上)

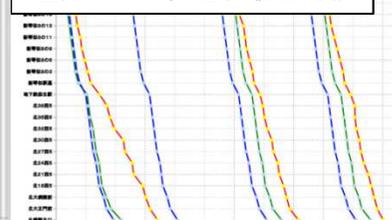
作業履歴・運行履歴の共有化

- 路線バスの運行計画・配車計画の立案支援
- 詳細な運行情報の取得協力

リアルタイム運行状況



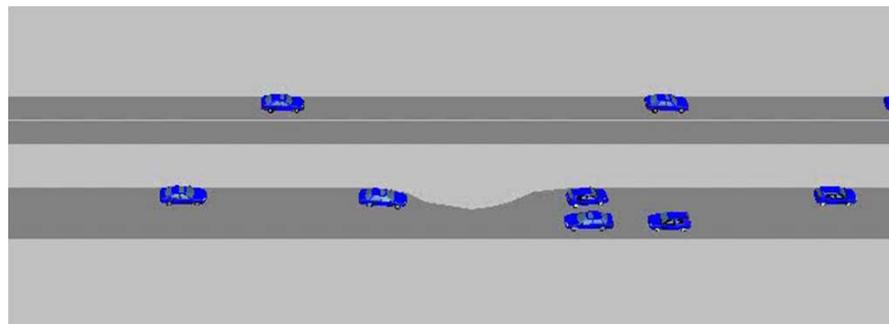
運行ダイヤ-実運行履歴比較



道路周辺3D形状データ



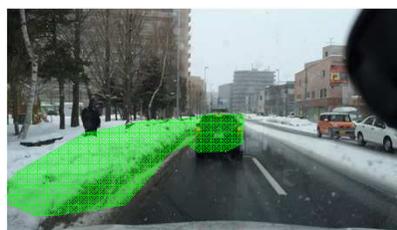
積雪による道路交通への影響のシミュレーション



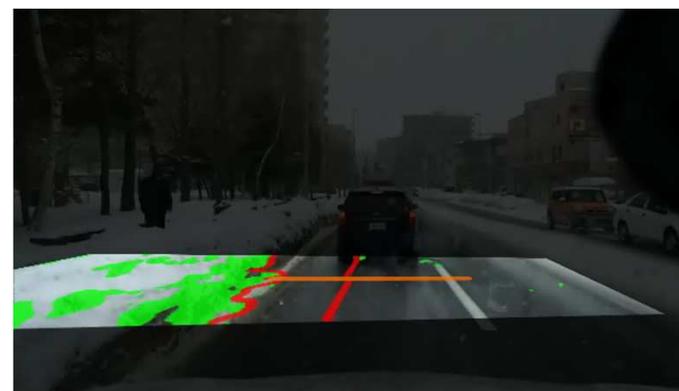
車載カメラ映像からの道路有効幅の推定



車が存在
⇒ 通行可能



道路平面の検出
⇒ 高さのある領域の検出



実証実験 II



【人間中心エネルギー利用】 人間中心エネルギー利用効率化

エネルギー利用効率化の課題

建物におけるアクティビティの拡散

- 在宅勤務、勤務時間の自由度大
- 総量として空間×利用時間の増だが、空間あたりアクティビティは減
- **空間あたりアクティビティを増やす必要**
- 例えば、クールシェアリング
フリーアドレス

課題解決に向けて

効率化のための新しい指標が必要

- 生産性、快適性などを意識した指標
→ **人間中心のアプローチ**

人間×時間×サービスのレベル

エネルギー消費量

サービスのレベル:

熱環境や光環境等の快適性

今までの効率化:
機械の稼働を観測して不具合、
非効率な部分を感じて改善

サービス水準
の調整

不要なサービス
提供量の調整

サービス製造
エネルギー効率

執務者
行動

要求

サービス

変換

建築設備・機器

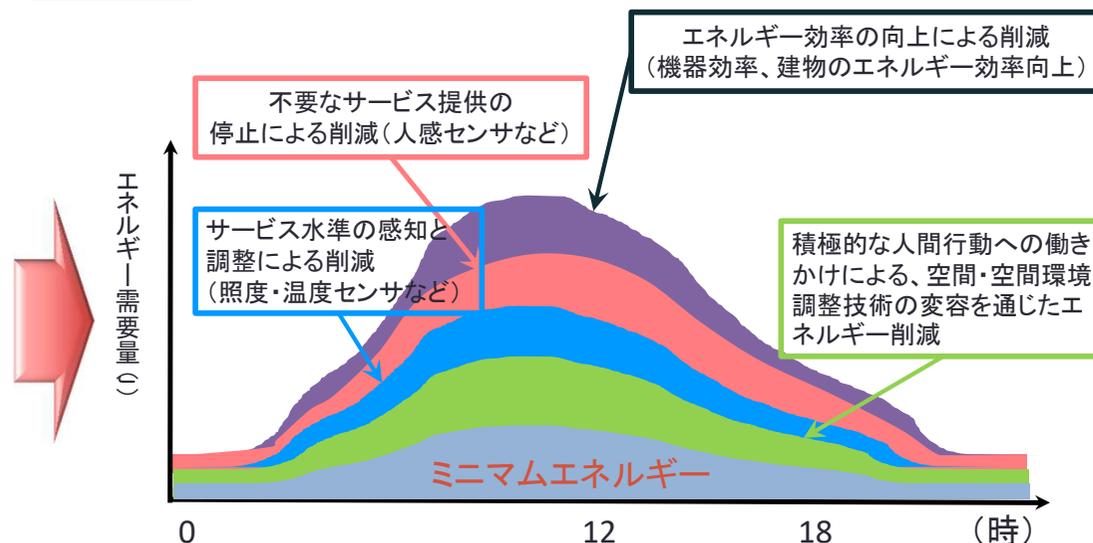
変換

エネルギー

これからの効率化

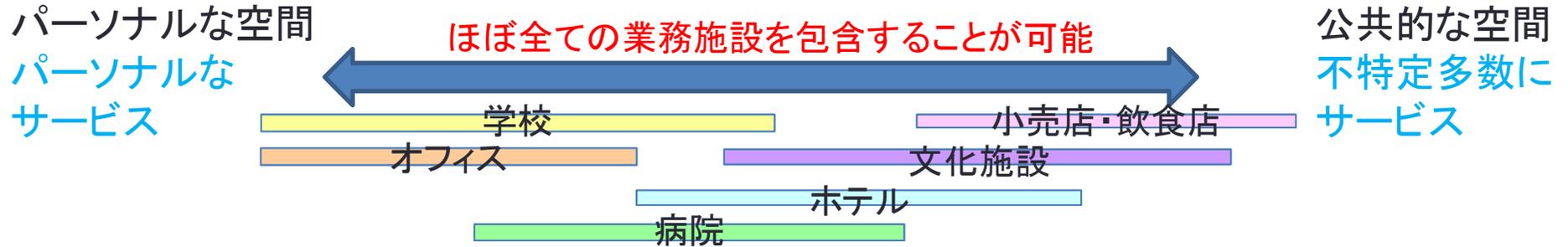
- 人の動きに対応
- 提供するサービスで評価
- 人の行動に働きかける

CPS-IIPのセンシング技術
や可視化技術により、新
しい指標でのエネルギー
利用効率化を目指す



【人間中心エネルギー利用】

実証実験のコンセプトと環境



学校・病院

九州大学伊都キャンパス

消費電力量

個人の行動パターンとエネルギーの利用状況との関連づけ

オフィスビル・大規模商業施設(地下街)

梅田北ヤード地区
(グランドフロント)

大阪地下街
(ディアモール/クリスタ)

オフィスビルエネルギーの約80%は排気・空調照明で消費

大型商業施設の電力使用量は膨大(約66000m²の地下街の1月平均電力使用量は2.2GWh)
(※クリスタ長堀は約81000m²)

センシング

- スマートフォンセンシング
(加速度/位置/つぶやき/気温)
- インフラストラクチャセンシング
(無線/カメラ/気温/CO2/各種センサ)
- ヒトの活動情報
(歩行者導線・アクティビティ)
- ヒト・環境センシング情報
(平均皮膚温, 周辺気温など)

活用

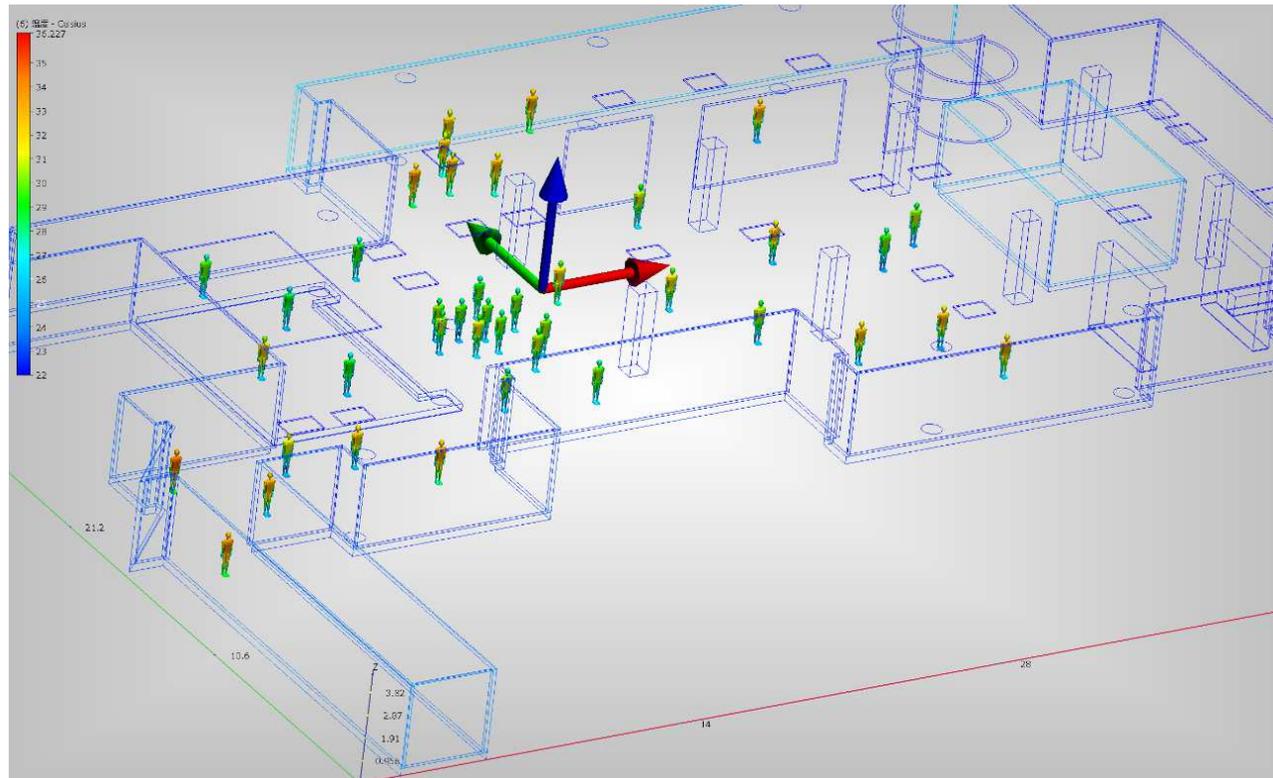
エネルギー・CO2排出量抑制

- デマンドレスポンス(需要応答)と行動情報を利用した空調照明機器制御
- 共用スペース(通路やEVホール)の人密度に応じた空調照明機器制御
- 時間・人密度に応じたゾーン毎の排気・熱循環制御

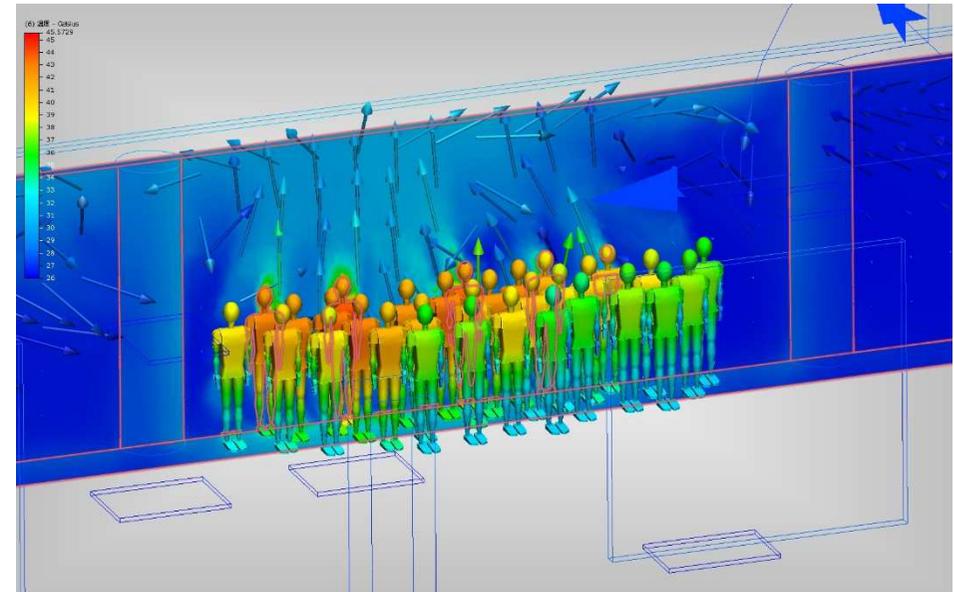
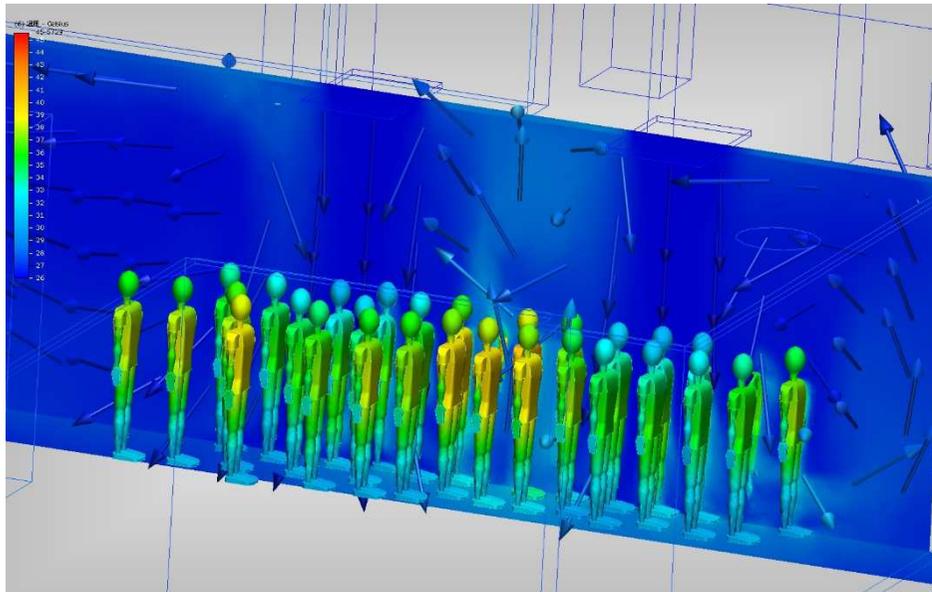
行動支援

- 熱中症防止ナビゲーション(木陰やアーケードの移動経路を指示)
- 電力ピークシフトのための行動レコメンデーション(出勤/外出)
- 歩行者導線を捉えた効果的な都市計画(街路樹やアーケード, ドライミストの効果的設置、効率的な輸送・公共交通)

個人レベルの細粒度センシング 仮想環境上における各種センサ情報の統合



個々人の快適度に基づく最適制御 混雑情報・環境情報に基づく快適度推定モデル



周辺の人や空気の流れを考慮した快適度

【人間中心エネルギー利用】 公共空間での実証実験



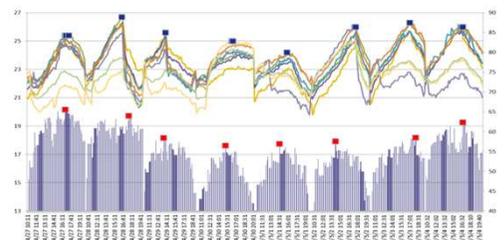
【群衆センシング】 公共空間である大阪駅前の商業施設“グランフロント大阪”で、複数のセンシングデバイスを用いて来場者を複数階でリアルタイムトラッキングすることで、商業施設内の人間の動きや滞在状況を高精度に把握する。

【環境センシング】 最新鋭のBEMSにより数百のテナント毎・ゾーン毎に計測された空調用熱・照明・コンセントの電力消費量(およそ6万点、1時間毎)などの環境情報を集計・分析する。

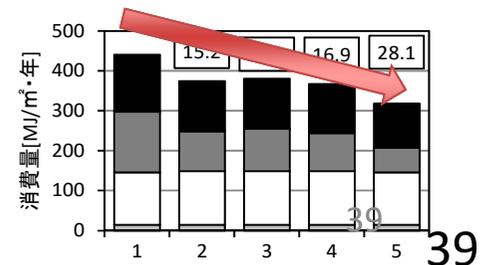
【省エネ評価】 人および環境のセンシング情報をもとに、群衆行動モデルと環境条件評価シミュレータを併用し、センサ導入によるBEMSエネルギーの削減量や都市センシングシステムの最適性を検証する。

【群衆・環境センシングの統合による次世代省エネ技術の検討】 滞在人数などを考慮した新しいエネルギー消費効率の指標の提案、先端的なBEMS技術の開発、建築計画・建築設備のあり方に対する示唆などを計画(阪大、九大 2015)。

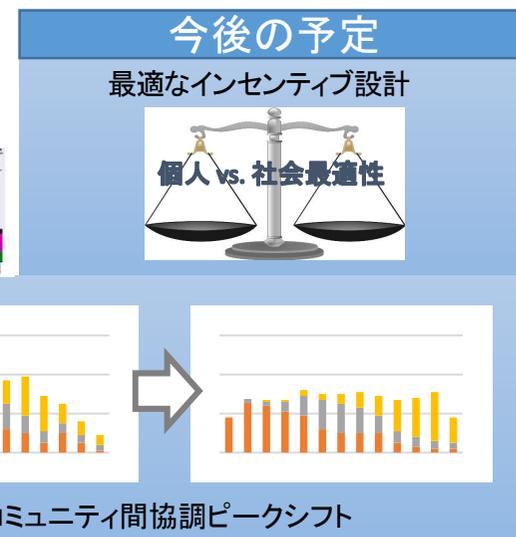
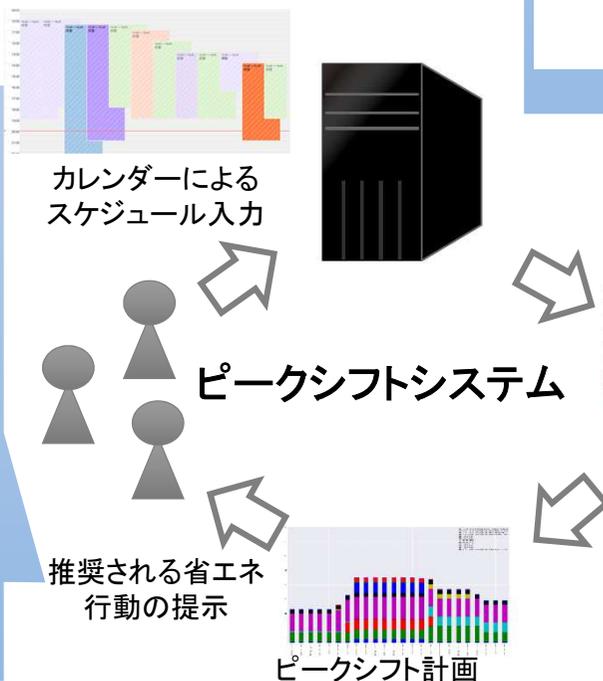
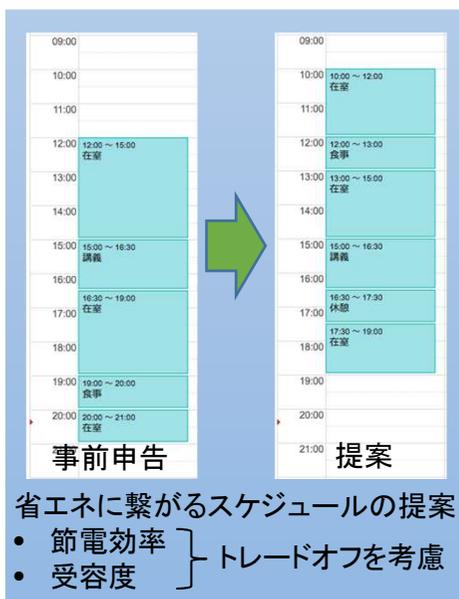
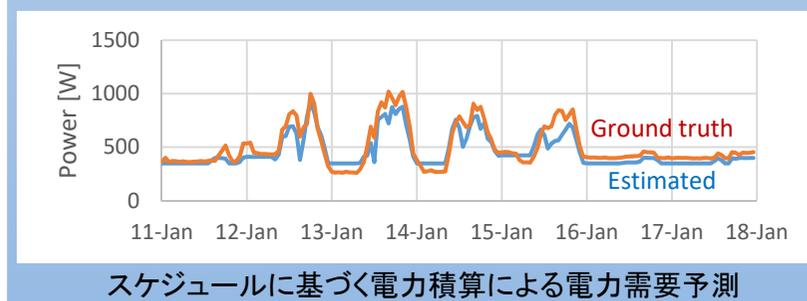
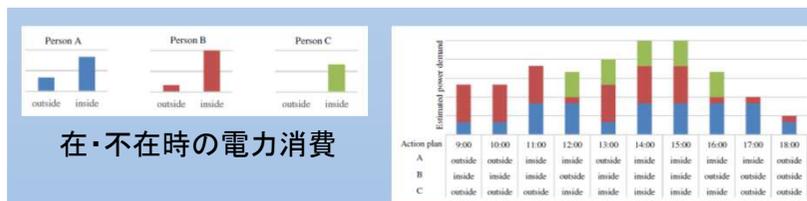
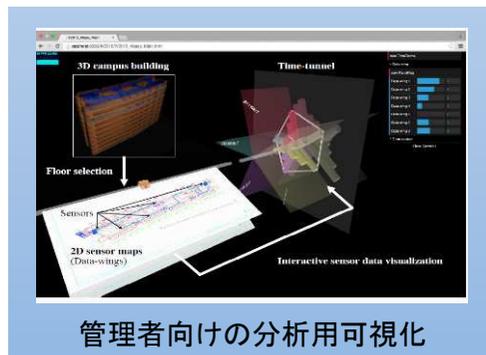
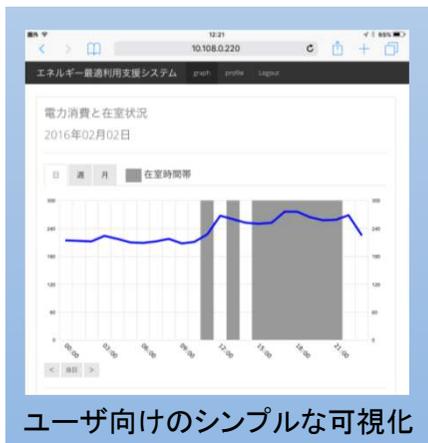
一日の滞在者数と温湿度の相関



センサー導入によるBEMS エネルギー削減量の検証例



【人間中心エネルギー利用】 大学キャンパスでの実証実験



独創性・優位性

■ データ管理基盤

- 大規模DBの構築手法
- データ可視化による検証方式
- データアクセス機構の提案



- 10~100倍の高速クラスタリング、サイズ1/10のマッピング用圧縮索引
- LODチャレンジ最優秀賞
- IT総合戦略本部「パーソナルデータに関する検討会」技術検討WGに反映、制度設計にも貢献

■ スマートフェデレーション統合環境

- 知識メディア技術、知識フェデレーション技術を基盤とした探索的可視化分析環境
- 5種の実時間配信を含む15種以上の多種多様なデータソースを管理・運用
- 高速群れパターン発見アルゴリズムの開発



- 10種類程度のサービス連携を10分以内で構築可能
- 国内外でも類を見ない規模のデータソース
- 既存のアルゴリズムBFE(Vieira et al., ACM GIS'09)と比較して約10倍から100倍の高速化

■ マルチストリームデータ分析基盤

- マルチパラメータ統合データ収集・解析
- リアルタイムフィードバック技術
- 都市シミュレーション技術



- 1000㎡以上の空間での群衆トラッキングとフィードバックを実現
- グランフロント大阪内 The Lab. において3年間にわたり一般来訪者累計約300万人に対しトラッキング実証
- 世界最高峰のメディアアートの祭典「ARS ELECTRONICA FESTIVAL 2015『POST CITY』」出展
- 多種多様なセンシングデータを集約するためのプラットフォームを構築
- 都市シミュレーションのためのマルチストリームデータを用いた交通状況予測モデルおよびスポット室温予測モデルの構築

■ パーベイシブ・センシング機構

- センシングエリアをアドホックに拡張可能な高スループット多段中継機構を持つセンサネット
- 移動物体のリアルタイム抽出、センサ間人物同定
- 個人の行動履歴に基づく個人電力消費モデル



- 自己発電システム搭載外部電源不要で長期間連続動作通信距離数百メートルの条件下で6Mbpsを確保
- 映像からの物体検出国際コンテスト (Background Models Challenge 2012)で1位
- 個人の使用電力推定とそれに基づくピークシフト実現の原理構築

学術的活動成果

学会等発表と論文誌掲載の件数

	NII	北大	阪大	九大	合計
H24	13	2	17	6	38
H25	40	12	66	11	129
H26	29	28	70	57	184
H27	25	27	63	16	131
合計	107	69	216	90	482

優秀論文賞、優秀発表賞、学生奨励賞等受賞件数： 30件

人材の育成

- 今までに、若手研究員11人、大学院生46人がプロジェクトに参加。今後実証実験を通じ課題解決能力を涵養。
- 協力企業等の現場技術者への先端手法の技術移転が期待される。
- 機関の枠組みを超えた研究交流を促進し、幅広い知識を持った若手人材を育成しつつある。期間後半には国際的な連携を強化することにより、若手研究者等のグローバルな活躍を推進。

社会への情報発信活動

- ▶ 札幌市におけるスマート除排雪実証実験に関連した産官協力組織との
合同セミナーの開催

第1回ソーシャルCPSセミナー（2013年11月14日）

62名，16団体の参加

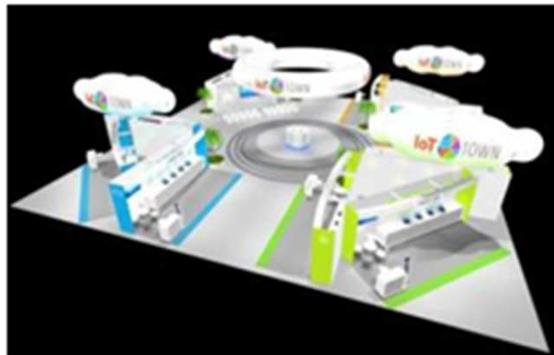
第2回ソーシャルCPSセミナー（2014年3月26日）

40名，20団体の参加



- ▶ CEATEC JAPAN 2016 への出展（2016年10月3日～7日）

主催者特別企画展示「IoTタウン」へ NII・北大・阪大・九大共同で
ソーシャルCPSの研究活動を展示参加



『IoTタウン』

趣旨：CPS/IoTによって変わる未来や、
新たなビジネスモデルに繋がるアイデア
などが集結し、多彩な分野におけるIoTの
利用シーンによる新たな”街のカタチ”を
来場者に提案

「暮らし」「街」「社会」の3つのシーンで構
成。NII北大・阪大・九大のブースは「社会」
コーナーへ



成果の波及効果

- ソーシャルCPSの実証実験の成果は、協力企業や自治体と共有し、完成度を向上し、実用化につなげる
 - 除排雪実証実験については、実用化を視野に協力企業および札幌市との定期的な会合を含む緊密な連携体制を構築。道路維持除雪担当者、バス営業所への実時間データ配信を試行中。
 - スマート除排雪の成果は、札幌市において、これを基盤にスマート除排雪システムの開発を目指すことが、市長、副市長、市議会の間で合意されつつあり、プロジェクト終了後、民間も参画した開発が始まる予定。
 - エネルギー利用については、実証実験を通じ、人の行動と消費エネルギーの関係で新しいコンセプトを提言し、他分野で建築計画・設備のあり方に対する示唆につなげる。
- 集積した様々なデータベースの研究目的での共有を図る
 - 成果の公益データに関して関連府庁、自治体の進めるオープンデータ戦略との連携。
 - 測域センサ、アンビエント環境センサ、スマートフォン内蔵センサ等の 群衆センシング向けセンシングデータ。
- 様々なソフトウェア基盤やツール類をオープンにして応用を開拓する
 - ウェブ上の知識メディア技術であるWebble Worldシステムを基盤として用いたスマート・フェデレーション技術は、既にGitHubにオープンソースとして公開している。
 - オープンサイエンス・プラットフォーム技術としても展開を計画しており、既に国立研究法人物質・材料研究機構の情報統合型物質・材料研究拠点や、JSTのCRESTプログラム「ビッグデータ応用」では、プラットフォームとしての採用が決まり、開発が進んでいる。
 - スマート・フェデレーション・フレームワーク上での分析ツールの例として、探索的可視化分析の技術がEUにおけるガン治験の統合支援に関するFP6,7プログラムである、ACGT(Advancing Clinico Genomic Trials on Cancer)とp-medicine (personalized medicine)において活用され、現在、札幌市の大型総合病院での活用が民間と連携して検討されている。
 - 都市環境とセンサー特性・エネルギー消費モデルを考慮したシミュレーションモデルセット。
 - 映像からの対象検出／路幅検出等の映像解析ツール。

今後の展開（その1）

H28年度の活動予定

(1) スマート除排雪実証実験技術とサービスの評価

- ・スマートフェデレーション統合環境ソフトウェア基盤の機能拡充
（10種類程度のツール/サービスのフェデレーションを5分程度で定義可能）
- ・分析可視化サービス・ライブラリを拡充
（総計120種類以上の手法をライブラリに登録）
- ・冬期交通渋滞、凍結路面発生と危険地域の検出・予測に基づいた札幌市への情報提供、市民への情報発信
（12月より実証実験実施予定：リアルタイム気象情報、交通・道路状況データを用いた分析・シミュレーションを利用）
- ・冬期交通渋滞原因の検出・伝搬分析、渋滞予測に基づいた除排雪計画支援・効率化の評価実証
（12月より実証実験実施）

(2) 人間中心エネルギー利用技術とサービスの評価

① 大学キャンパスでのエネルギー利用管理の細粒度化

- ・個人の使用電力推定の高精度化
- ・細粒度のスケジュールを利用したピークシフト実現
- ・個人の行動認識に基づく電力利用最適化

② 商業施設でのエネルギー利用管理の検証

- ・グランフロント大阪内施設での人々の位置トラッキングデータ収集
- ・人行動と連携した空調の省エネルギー効果検討のための室温予測手法の考案
- ・人々の位置データに基づいたシミュレーションによる快適度を考慮した空調制御の効果検討

今後の展開（その2）

研究結果を踏まえた今後の展望、予想される効果・効用

- マルチストリームデータ管理システムは、2014年度に採択された内閣府SIPインフラ維持・管理プロジェクトにおいて、橋梁等のインフラのセンシングデータの蓄積と解析のための時空間データ管理基盤として利用されている。このプロジェクトにおいて、他の出口を目指したソーシャルCPSのデータ基盤として機能するように強化し、汎用性・性能を向上させ、オープンソースとして提供する予定である。
- スマート除排雪の成果は、札幌市において、これを基盤にスマート除排雪システムの開発を目指すことが、市長、副市長、市議会の間で合意されつつあり、プロジェクト終了後、民間も参画した開発が始まる予定である。これにより、データに基づいた除排雪、降雪、交通障害の見える化が進み、エビデンスに基づいた除排雪の効果評価が可能になると共に、除排雪のタイミングや場所に関しての最適意思決定の支援が可能になる。
- 探索的可視化分析の技術は、EUにおけるガン治験の統合支援に関するFP6,7プログラムである、ACGT (Advancing Clinico Genomic Trials on Cancer) とp-medicine(personalized medicine)において活用され、現在、札幌市の大型総合病院での活用が札幌市及び民間と連携して検討されている。
- ウェブ上の知識メディア技術であるWebble Worldシステムを基盤として用いたスマート・フェデレーション技術は、既にGitHubにオープンソースとして公開しており、今後、オープンサイエンス・プラットフォーム技術としても展開を計画しており、既に国立研究法人物質・材料研究機構の情報統合型物質・材料研究拠点や、JSTのCRESTプログラム「ビッグデータ応用」では、プラットフォームとしての採用が決まり、開発が進んでいる。
- エネルギー利用最適化についてはすでに省エネ機器などの開発がかなりの水準まで進んでおり、さらなる省エネには、人間の行動様式などに基づいた細粒度で適応的な省エネの機構が必要である。本研究で進めた人間中心エネルギー利用を大規模に展開することにより、機器自体の省エネ化効果に加えて更なるエネルギー利用コストの低減が期待できる。また、個人レベルでの省エネ意識の向上にも貢献できると考えられる。
- パーベイシブ・センシングについては、様々な利用分野を想定することができるが、人間の行動に基づく詳細なモビリティ支援など生活支援への展開が期待される。