

文部科学省 国家課題対応型研究開発推進事業  
「次世代IT基盤構築のための研究開発」

# 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： 2012年9月～2017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 讓  
東野 輝夫  
安浦 寛人

2014年5月1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。

# 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

# ソーシャルCPSの提案： 社会システムを変革する情報技術

バーティカルなサービスを実現するCPSの研究開発ではなく、  
基盤となるプラットフォーム技術の提案

- 社会の抽象化・モデル化
- 社会資源の管理
- 社会活動の効率と市民の満足度の向上

「CPSとはこれらの目的のために構築されるセンサー・ネットワーク・計算系・DB・アクチュエーターが連携した社会のOSである」



従来のCPSにないものとして、「ソーシャル」、「ヒューマン」という観点が重要になる

# 事前評価時の留意点

- 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基盤の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。
- 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  
→ センサーデータの利用、応用などに関し多数の企業や自治体と連携しており、常に現場でのニーズを意識している。利用者側の視点を重視しつつ、サービス提供側の行政等からの要請、データ提供企業からの新たな社会的価値創出への期待などを受け止めながら、IT研究の立場から研究開発の方向性を定めている。
- 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  
→ データなど、すでに民間で開発しているものを活用し、重複した作業を避けるとともに、新たな社会的価値を見出すシステムとなることに注力している。
- 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、技術要素毎のワーキング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。
- 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。

# 事前評価時の必要性、有効性、効率性等の観点からの評価について

- **必要性**

→ 「ソーシャル」、「ヒューマン」という観点をCPSの中に取り込み、一企業ではできないような課題に取り組み、企業のみならず自治体を巻き込んで、実証実験を行おうとしている。ソーシャルCPSは、一企業がビジネスとして実現することは難しい。学の本研究グループが触媒となり、立場の異なるステークホルダを融合する役割を担い、イノベーションを起こそうとしている。また、IT基盤技術の体系を実証することができれば、今後の様々な社会システムでの適用が期待されるという点で、要請されている必要性を満たしている。

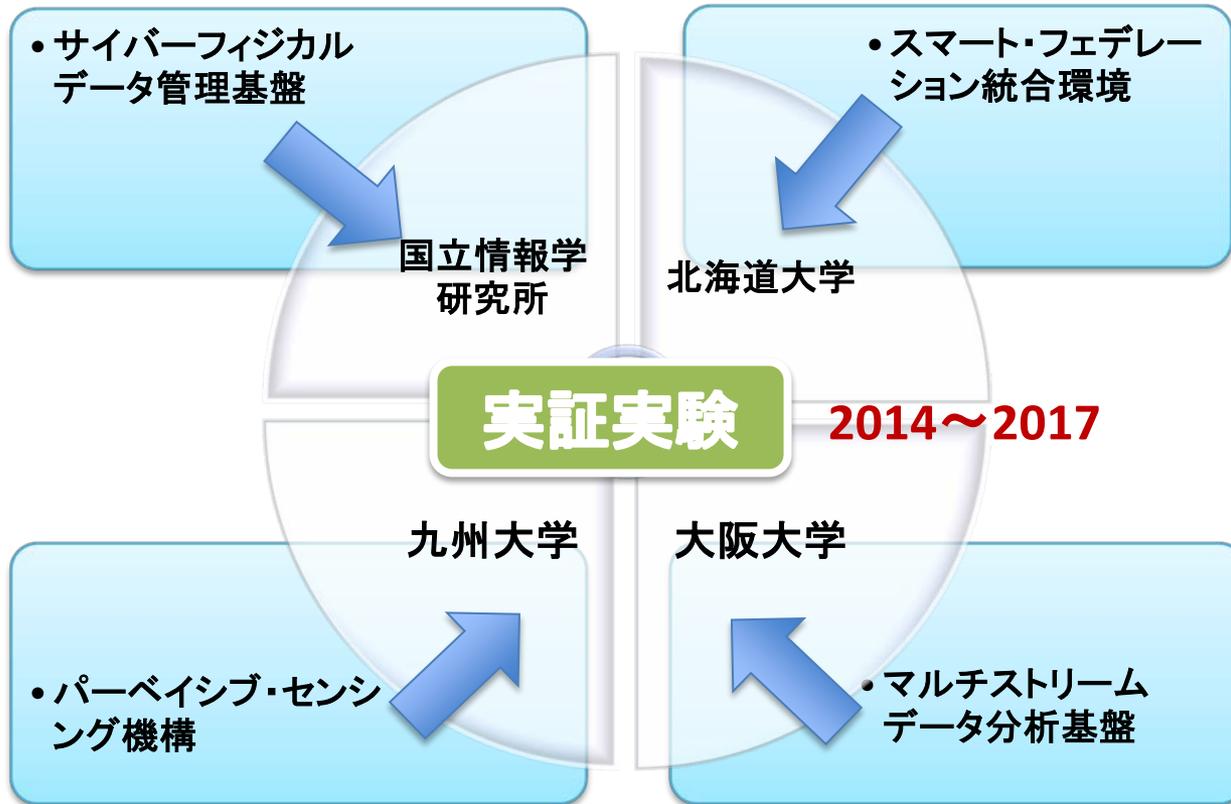
- **有効性**

→ 平成23年度のフィージビリティ・スタディを踏まえて、実証実験の計画を取り込んでおり、その際に各種データを提供できる企業や自治体との交渉を済ませている。また課題設定も、IT側からの技術的な課題と社会的に要請される重要課題をうまく取り込んで融合させており、ソーシャルCPSの有効性を示す上で効果的である。

- **効率性**

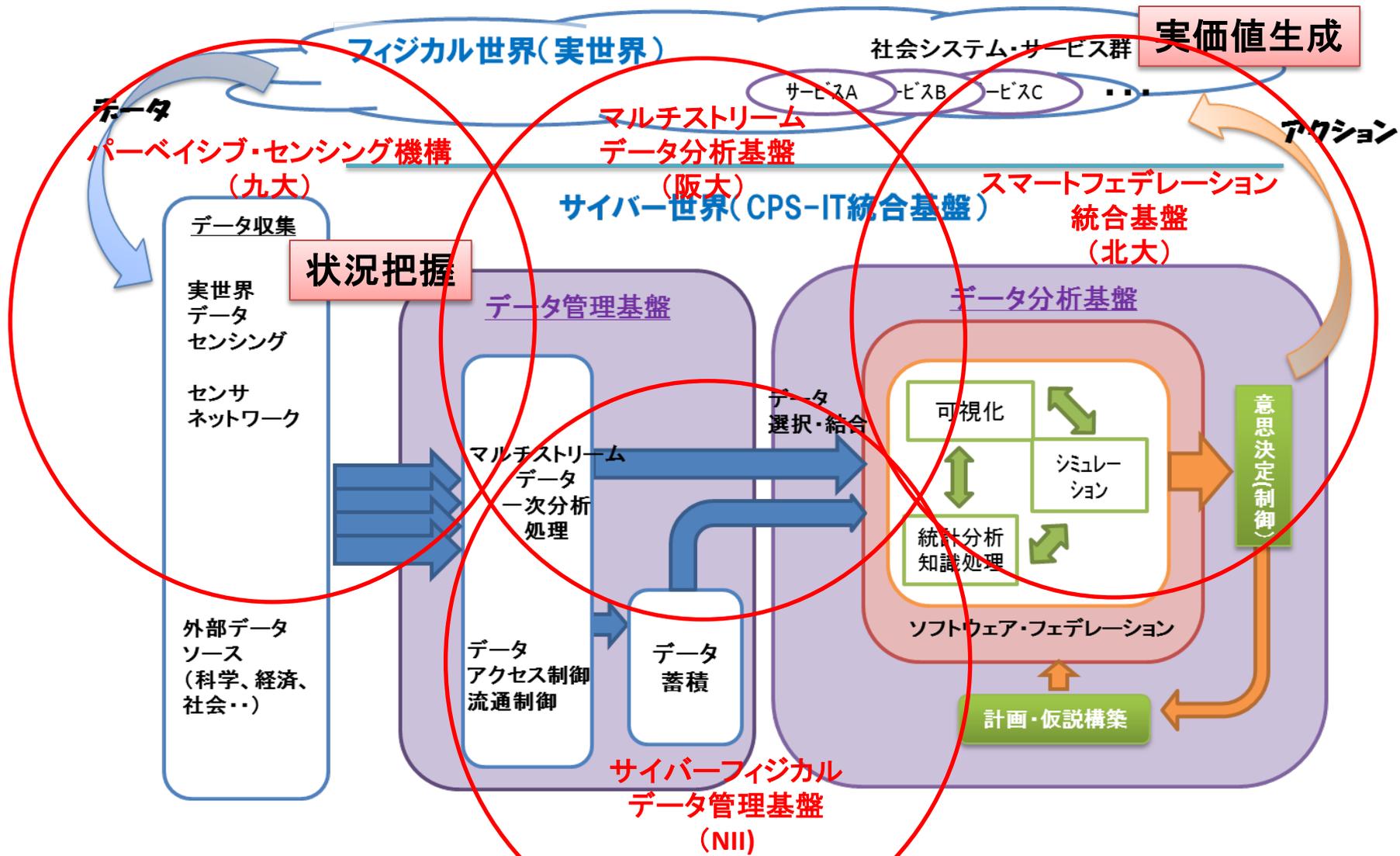
→ 同様の問題意識を持ちつつも一企業体としては取り組めない社会的課題に積極的に働きかけ、自治体とのつながりを実現するなど、社会的価値を醸成するための触媒機能を本プロジェクトでは果たしている。学がハブとなってステークホルダを結びつけるという点、課題の重要性を明確に示す点で効率性が高い。また、参加4機関のそれぞれの優位性を融合することにより、研究の推進と分担が合理的に効率化されている。

# 研究組織と課題項目



研究期間: H24(2012)年9月~H29(2017)年3月

# サイバーフィジカルIT統合基盤と研究分担



# 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)

**全体のとりまとめ: 安達 淳(NII)**

**研究調整委員会**  
 委員長: 安達 淳(NII)

**研究全体推進**  
**研究項目1: サイバーフィジカルデータ管理基盤**

機関代表者: 安達 淳(NII)

**主担当機関: 国立情報学研究所**

(0-a) 研究調整運営: 安達淳(NII)  
 (0-b) 実世界データ収集管理: 今井和雄(NII)  
 (1-a) マルチストリームデータ管理システム: 高須淳宏(NII)  
 (1-b) データストリーム特性可視化・検証方式: 佐藤真一(NII)  
 (1-c) アクセス制御機構: 佐藤一郎(NII)

**研究項目2: 知識創成HCPSスマート・フェデレーション統合環境**

機関代表者: 田中 譲(北大)

**主担当機関: 北海道大学**

(2-a) スマートフェデレーション統合環境ソフトウェア基盤: 田中譲(北大)  
 (2-b) 大規模HCPS分析可視化サービス・ライブラリ整備充実: 有村博紀(北大)  
 (2-c) スマートフェデレーション統合環境適用実証研究: 田中譲(北大)

**研究項目3: マルチストリームデータ分析基盤**

機関代表者: 東野輝夫(阪大)

**主担当機関: 大阪大学**

(3-a) マルチパラメータ統合によるデータ解析・知識創成技術: 東野輝夫(阪大)  
 (3-b) 人・モノ・システムへのリアルタイムフィードバック技術: 下條真司(阪大)  
 (3-c) 都市スマート化のためのモデリング・シミュレーション・テストベッド構築技術: 東野輝夫(阪大)

**研究項目4: パーベイシブ・センシング機構**

機関代表者: 安浦寛人(九大)

**主担当機関: 九州大学**

(4-a) ハイブリッドセンサネットワークキング: 古川浩(九大)  
 (4-b) リアルタイム・ソーシャルセンシング: 谷口倫一郎(九大)  
 (4-c) センシングデータのリアルタイム特徴抽出・圧縮・構造化: 竹田正幸(九大)  
 (4-d) 大学キャンパスにおける個人適応型コミュニティサービスシステムを通じた実証: 岡田義広(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

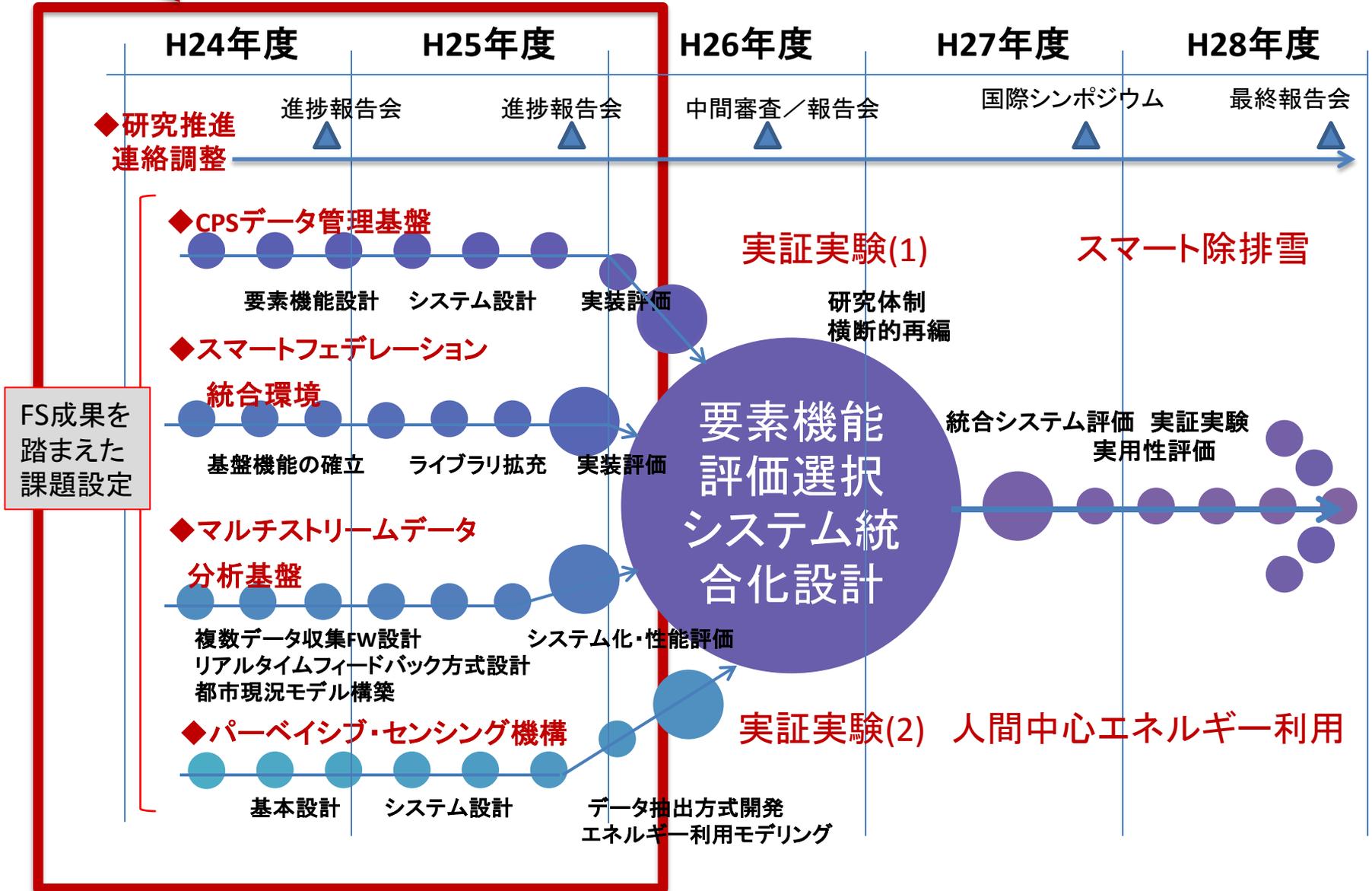
## 人間中心エネルギー利用実証実験

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)

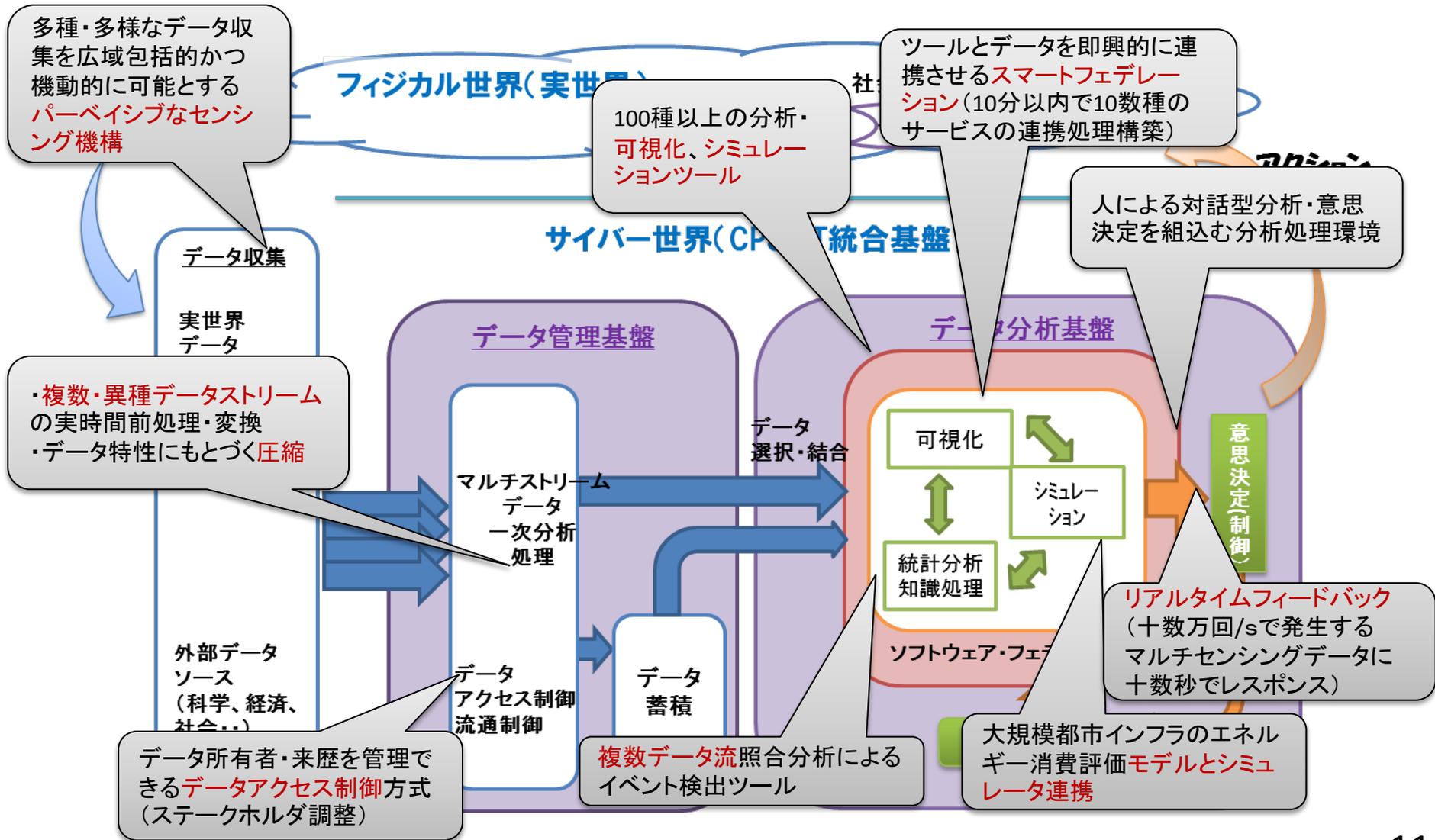
外部協力機関

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)	
トヨタ自動車(株)	北海道警察	その他

# 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

\* 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)

## スマート除排雪

## 人間中心エネルギー利用

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	札幌エリア道路の実時間センサー情報(バス・除雪車への携帯搭載による加速度計測等)(北大+北海道中央バス、札幌市雪対策室) レーザ距離センサーによる路面状況情報(北大+北海道中央バス)
	大学構内居室単位: 九大  阪大 環境・エネルギー工学科

• サイバーフィジカル  
データ管理基盤

• スマート・フェデレー  
ション統合環境

国立情報学  
研究所

北海道大学

実証実験

九州大学

大阪大学

• パーベイシブ・センシ  
ング機構

• マルチストリーム  
データ分析基盤

研究期間: H24(2012)年9月～H29(2017)年3月

# 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

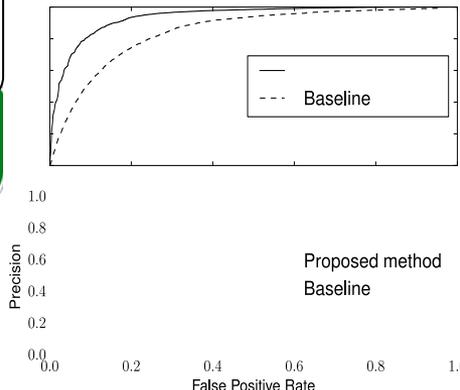
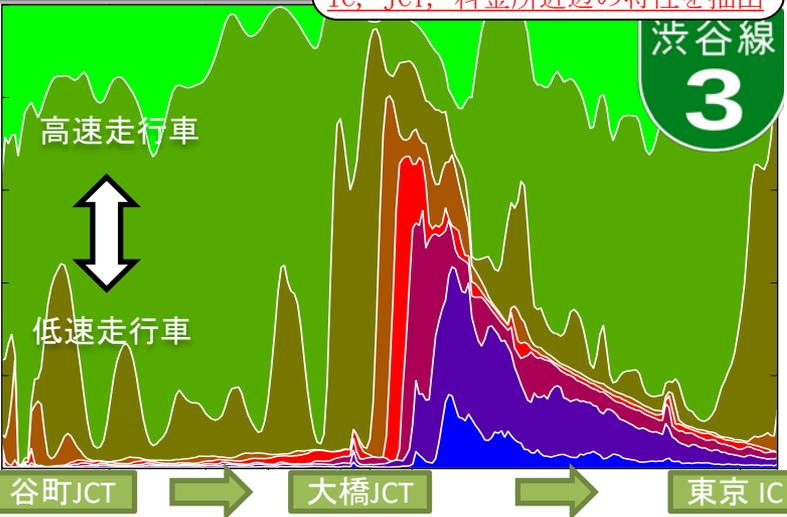
課題：

- ❖ 効率的なストリーム処理およびデータ分析アルゴリズムの開発
- ❖ データ圧縮・データクリーニングを用いた効率的なストリームデータの蓄積・分析
- ❖ ストリーム統合のための情報抽出・データ統合アルゴリズムの開発

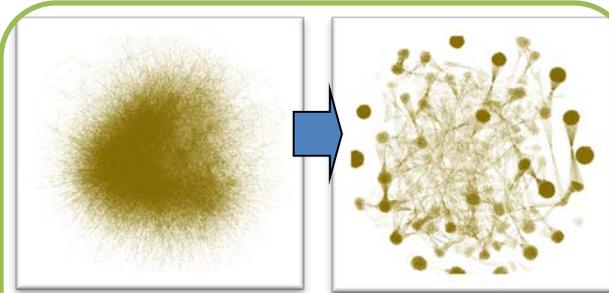
## 道路異常状態のリアルタイム検知

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。

IC, JCT, 料金所近辺の特性を抽出

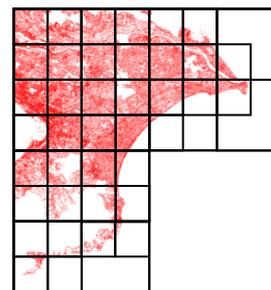


速度分布特性を用いて道路の異常状態検知精度を従来手法 [zhu et al. 09]と比較し、ROC曲線のAUC値で10%程度向上



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。また、上図左のデータから右のパネルにあるリンク構造を顕在化。

## 高速クラスタリング



1110111111  
1111111001  
01011101010  
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

プローブカーデータ (PCD)

現在2011年の一年分のデータ(約1.5TB)を格納。時空間データベースとしてDB化し、緯度経度、日時に基づく検索を実現

## CPSデータベース構築

地図データ

日本全土の地図データを格納。PCDと統合

高速道路事故・渋滞情報

分析評価のためのground truthデータ。地図、PCDと統合。

Theoretical Computer Science, Discrete Applied Mathematics等、国際学術雑誌4件、国際会議で5件成果を発表

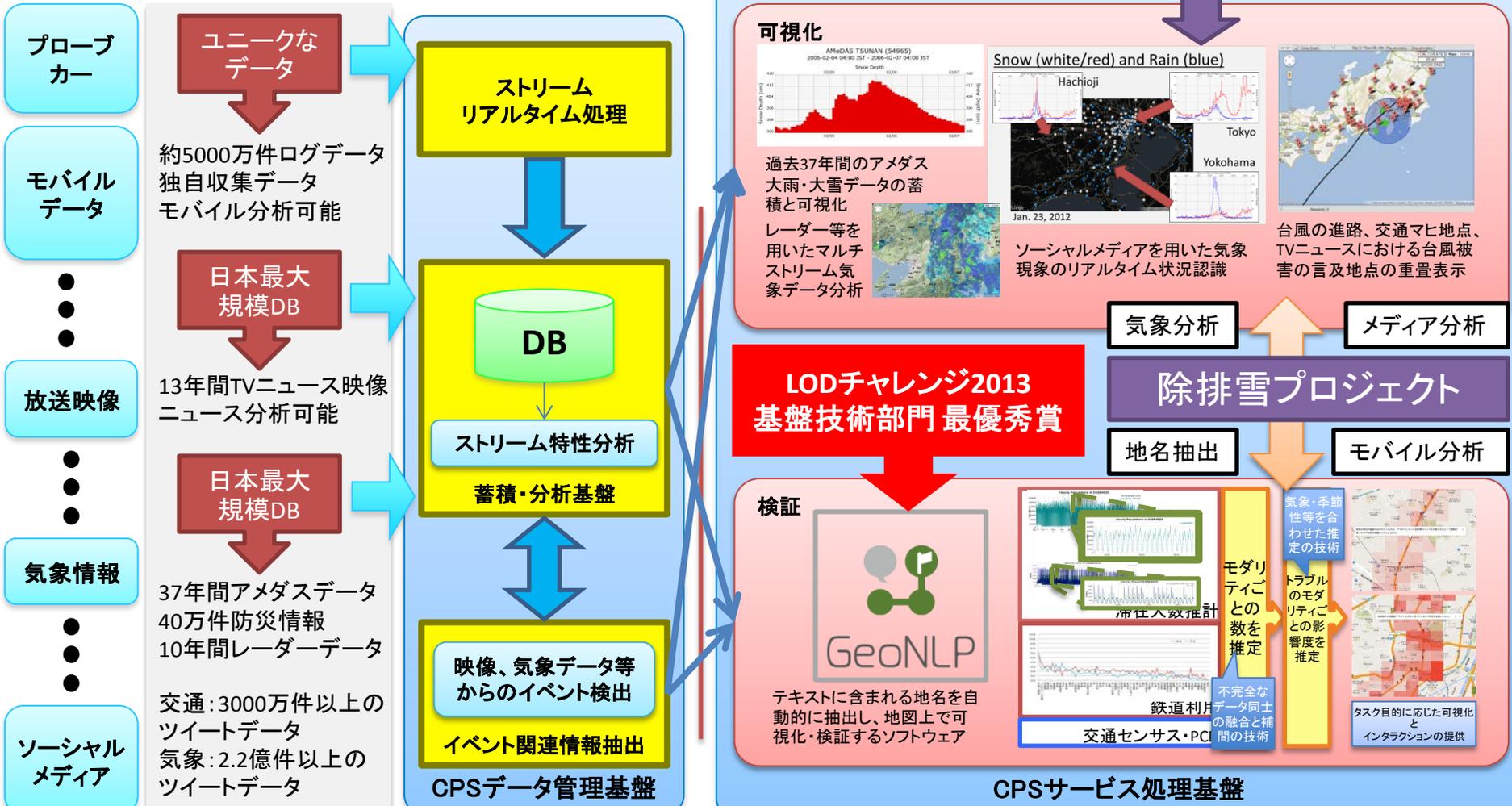
# データ特性可視化と検証方式

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、データの特性の適応的かつ対話的可視化
- ❖ ストリームデータ利用者の利便性向上を目的とした可視化・検証方式の提供

準リアルタイムで分析可能な情報基盤を構築。成果の一部は外部公開サービス化。



• サイバーフィジカル  
データ管理基盤

• スマート・フェデレー  
ション統合環境

国立情報学  
研究所

北海道大学

実証実験

九州大学

大阪大学

• パーベイシブ・センシ  
ング機構

• マルチストリーム  
データ分析基盤

研究期間: H24(2012)年9月～H29(2017)年3月

# 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

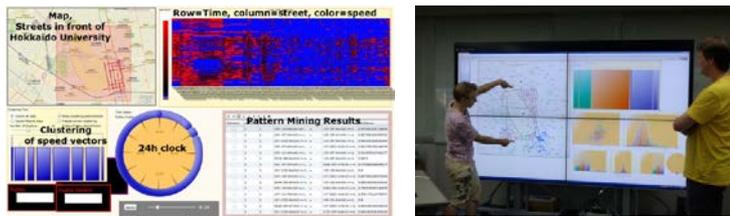
## スマート・フェデレーション・フレームワークの確立

WebTop知識メディアシステムWebbleWorldの完成

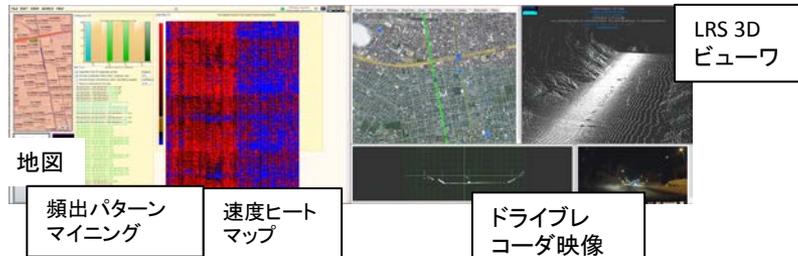
10種類のツール/サービスの連携を10分で構築可能

## 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



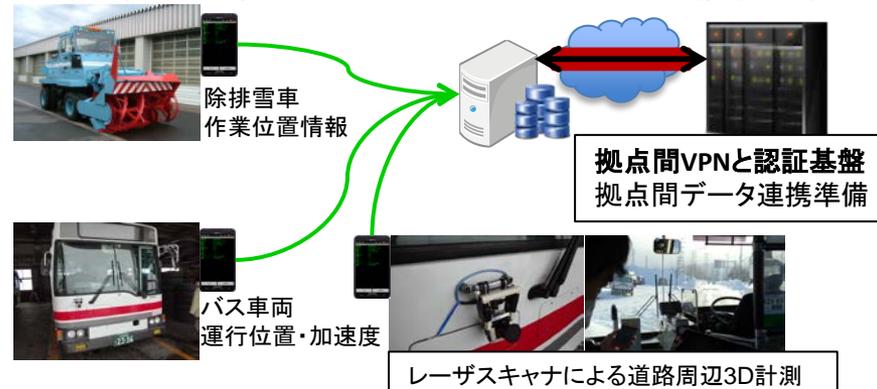
天気、時間帯、速度範囲、地域等を探索的に変えながら道路セグメントごとの速度低下を可視化分析



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



除排雪履歴

バス運行状況

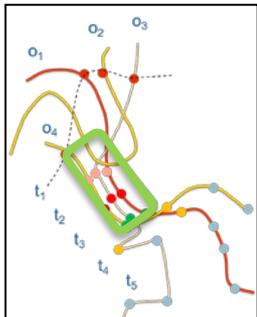
道路周辺3D形状

# 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

## 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 以内に  
一緒に移動するパターン  
(Gudmundssonら  
AGIS2006)

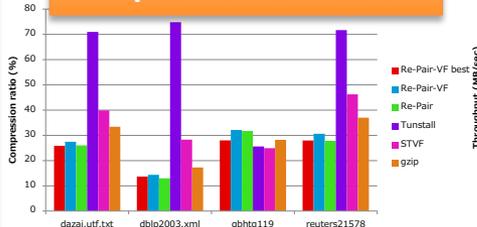
750倍の高速化



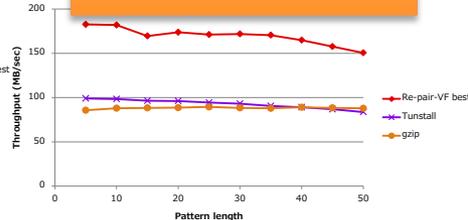
道路交通における経路変更の検出、  
移動体軌跡の匿名化に応用可能

## 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

## 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

## ユーザ生成コンテンツ からの地理情報抽出

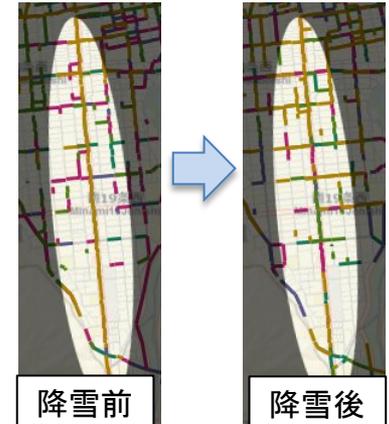


「広尾」と呼ばれる場所

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 道路クラスタリング解析



各道路リンクの走行速度変化  
のクラスタリング分析

降雪後の障害発生区間の確認

ジェネリックラッパーによるR、Octave、Ruby分析ツールの  
部品化(総計80種類以上)

• サイバーフィジカル  
データ管理基盤

• スマート・フェデレー  
ション統合環境

国立情報学  
研究所

北海道大学

実証実験

• パーベイシブ・センシ  
ング機構

九州大学

大阪大学

• マルチストリーム  
データ分析基盤

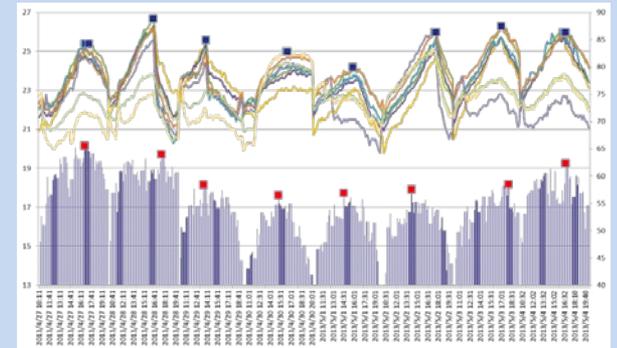
研究期間: H24(2012)年9月～H29(2017)年3月

# 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：

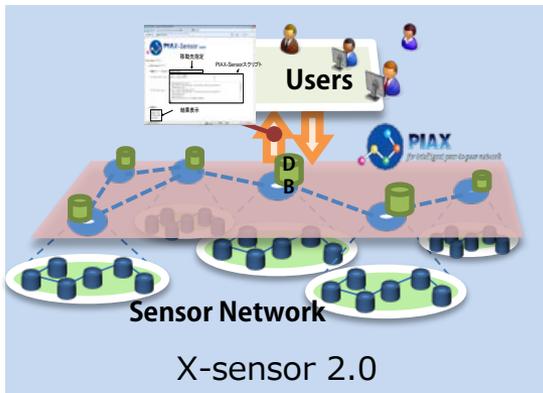
- ❖ 大量生成されるマルチパラメータセンシングデータのリアルタイムな融合・理解・転送



滞留人数と温湿度の相関解析

## 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



X-sensor 2.0



「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



温湿度/CO<sub>2</sub>/消費電力の可視化

- 測域センサー×8
- エアセンサー×2 3
- 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 DICO  
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

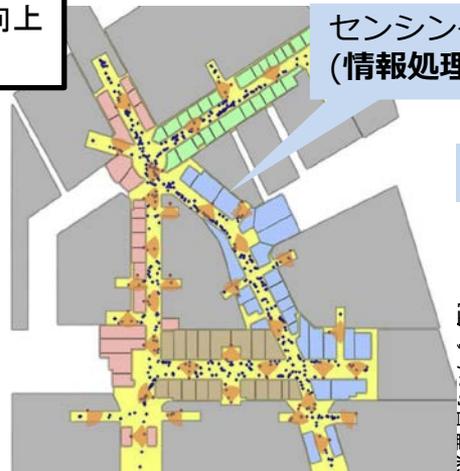


グランフロント大阪  
マルチフロア3Dモデル



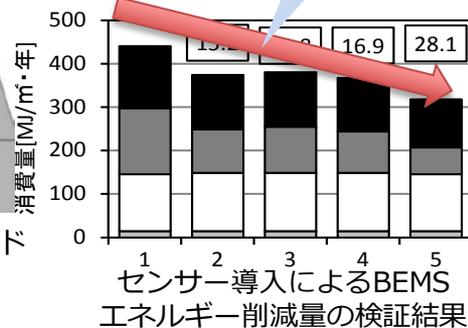
ディアモール大阪地下街  
3Dモデル+行動モデル

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