

Environment Research and Technology Development Fund

## 環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

1RF-2002 リアルタイムAI技術に基づく省エネルギー化に資する  
高度自動運転支援技術に関する研究開発  
(JPMEERF20201R02)

令和2年度～令和4年度

Development of Real-time AI Technologies and Ecological Driving Assistance System

<研究代表機関>

国立大学法人大阪大学

○図表番号の付番方法について

「Ⅰ. 成果の概要」の図表番号は「0. 通し番号」としております。なお、「Ⅱ. 成果の詳細」にて使用した図表を転用する場合には、転用元と同じ番号を付番しております。

「Ⅱ. 成果の詳細」の図表番号は「サブテーマ番号. 通し番号」としております。なお、異なるサブテーマから図表を転用する場合は、転用元と同じ図表番号としております。

令和5年5月

## 目次

I. 成果の概要	・・・・・・・・・・	1
1. はじめに（研究背景等）		
2. 研究開発目的		
3. 研究目標		
4. 研究開発内容		
5. 研究成果		
5-1. 成果の概要		
5-2. 環境政策等への貢献		
5-3. 研究目標の達成状況		
6. 研究成果の発表状況		
6-1. 査読付き論文		
6-2. 知的財産権		
6-3. その他発表件数		
7. 国際共同研究等の状況		
8. 研究者略歴		
II. 成果の詳細		
II-1 リアルタイムAI技術に基づく省エネルギー化に資する 高度自動運転支援技術に関する研究開発 (国立大学法人大阪大学)	・・・・・・・・・・	17
要旨		
1. 研究開発目的		
2. 研究目標		
3. 研究開発内容		
4. 結果及び考察		
5. 研究目標の達成状況		
6. 引用文献		
III. 研究成果の発表状況の詳細	・・・・・・・・・・	230
IV. 英文Abstract	・・・・・・・・・・	34

## I. 成果の概要

課題名 1RF-2002 リアルタイムAI技術に基づく省エネルギー化に資する  
高度自動運転支援技術に関する研究開発

課題代表者名 松原 靖子 (国立大学法人大阪大学産業科学研究所産業科学AIセンター准教授)

重点課題 主：【重点課題②】ビジョン・理念 の実現に向けた研究・技術 開発  
副：【重点課題④】環境問題の解決に資する新たな技術シーズの発掘・活用

行政要請研究テーマ (行政ニーズ) (1-4) 地域循環共生圏・Society5.0 を踏まえた新たな  
長期シナリオによる脱炭素社会への道筋の研究

研究実施期間 令和2年度～令和4年度

研究経費  
15,084千円 (合計額)  
(各年度の内訳：令和2年度：5,083千円、令和3年度：5,028千円、令和4年度：4,973千円)

研究体制  
他のサブテーマはない。

研究協力機関  
研究協力機関はない。

本研究のキーワード ビッグデータ解析、リアルタイムAI、車両IoTデータストリーム、要因分析と  
将来予測、省エネルギー化、高度自動運転支援

### 1. はじめに (研究背景等)

#### 【関連する国内外の環境問題の状況及び研究動向と研究を提案するに至った背景】

近年国内外において、次世代型自動車における高度自動運転を実現するための研究開発が行われている。また、政府が目指している2050年頃のカーボンニュートラル社会の実現に向け、国内外の自動車産業において、自動車走行時の省エネルギー化とCO<sub>2</sub>排出量削減のための取り組みが重要視されている。

しかしながら、現状の自動運転車の開発に関する取り組みは、深層学習（いわゆるAI技術）による画像処理を用いた障害物の発見や各種センサを用いた衝突検知等のように、非常に限定的な条件における自動走行技術の開発に焦点が当てられており、刻々と周囲の状況が変化していくような複雑な自動運転支援を行うことができない。また、今後のカーボンニュートラル社会実現において重要である、省エネルギー化と温室効果ガスの排出削減のための自動運転最適化という課題についても、現状の単純な条件下での自動運転よりも複雑な状況や条件への対応が求められ、高度センシングにより収集される複合的な車両IoTビッグデータのリアルタイム情報解析技術が必要であるため、全く着手できていないのが現状である。

## 2. 研究開発目的

### 【上記背景を踏まえた課題全体の研究開発目的】

本研究では、上記のような社会的背景と現状を踏まえ、「リアルタイム AI 技術に基づく省エネルギー化に資する高度自動運転支援技術に関する研究開発」に取り組む。

車載センサネットワークから、多種多様な車両 IoT ビッグデータ（車両走行情報、周辺情報、位置情報、燃費・電力消費情報）を収集し、新たな数理モデル（動的空間モデル）を用いて様々な車両走行パターンの自動学習を行うための基盤技術を開発する。

また、多種多様な車両走行 IoT ビッグデータを収集・利活用し、新たに開発する動的空間モデルを用いて車両走行情報・周辺情報等とエネルギー消費量の因果関係を自動解析し、リアルタイムに将来予測と最適化を行うことで、省エネルギーで走行可能な最適な自動運転パターンを高速に推定する、高度自動運転支援技術を開発する。

## 3. 研究目標

全体目標	<p>本研究では、以下の3つの目標の達成に向けて研究を推進する。</p> <p>(1) 車両 IoT ビッグデータのリアルタイム収集技術を構築し、燃費情報との関係性について分析することによって、省エネルギーのための走行モデルに必要な要件を検証する。さらに、車両 IoT ビッグデータのモデル学習手法を開発して、モデル学習に基づくエネルギー消費量予測（燃費予測）の精度を定量的に評価する。具体的には、エネルギー消費量（燃費情報）の予測の精度 80%を目標値に設定する。</p> <p>(2) リアルタイム要因分析・予測技術を開発し、動的空間モデリング手法を用いて学習した走行パターンと要因分析技術を融合して、省エネルギーで走行するための最適な運転走行パターンを自動学習するための技術を開発する。また、リアルタイム処理の高速アルゴリズムを開発し、従来技術のおよそ 100 倍の計算速度を実現する。</p> <p>(3) 本研究で開発する要素技術を統合・融合することによってリアルタイム AI 最適化による省エネ志向型自動運転支援システムを構築し、開発したシステムに関する大規模実証実験とその結果のフィードバックを通して、本格実装に向けたシステム改良を行う。</p>
------	--

サブテーマ 1	リアルタイムAI技術に基づく省エネルギー化に資する高度自動運転支援技術に関する研究開発
実施機関	大阪大学
目標	サブテーマが一つであるので、全体目標と同一である。

## 4. 研究開発内容

### 「リアルタイムAI技術に基づく省エネルギー化に資する高度自動運転支援技術に関する研究開発」

本研究では、省エネルギー化に資するリアルタイムAIと高度自動運転支援技術に関する研究開発を実施した。図-0.1 は、本研究における全体の概要図を示している。本研究では、ビッグデータ・AI 関連技術に基づくリアルタイム学習技術を発展・高度化させることにより、飛躍的な省エネルギー化と低炭素化を実現する、車両IoTビッグデータのリアルタイム予測・最適化に基づく省エネ志向型自

動運転支援技術を開発した。

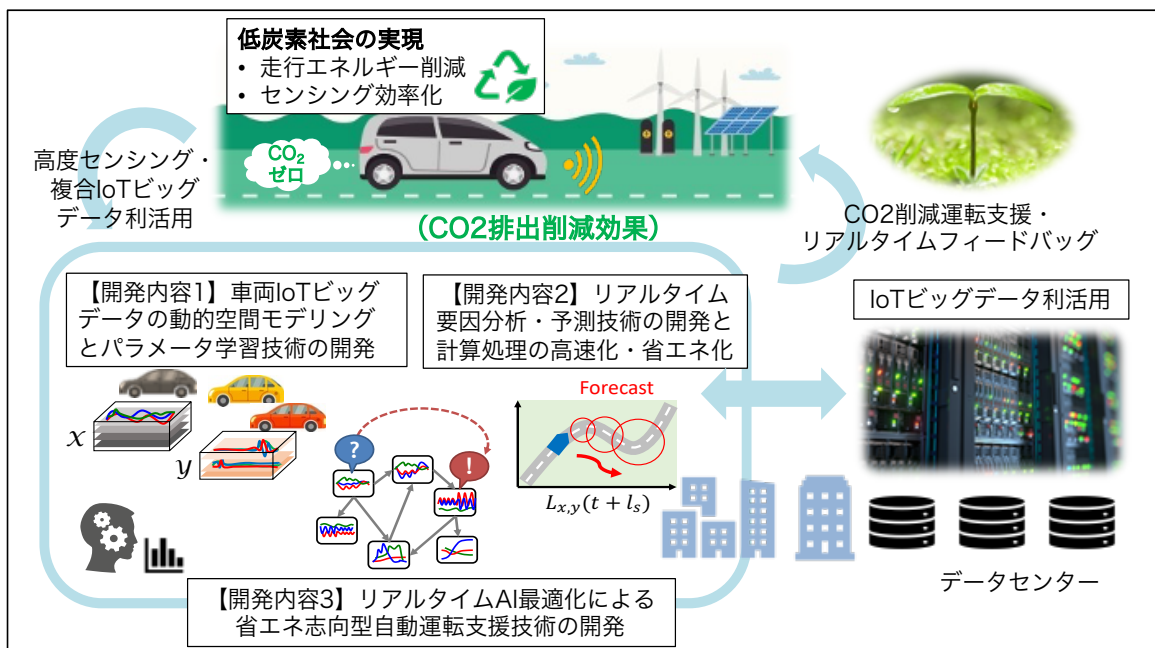


図-0.1 本研究の概要図

より具体的には、以下の3つの研究開発内容についてそれぞれ実施した。

- **研究開発内容①：車両IoTビッグデータの動的空間モデリングとパラメータ学習技術の開発**  
車両IoTビッグデータの収集と自動解析を行うための技術基盤を創出する。また、重要な車両走行パターンを効果的に表現するための新たな動的空間モデリング手法を確立する。
- **研究開発内容②：リアルタイム要因分析・予測技術の開発と計算処理の高速化・省エネ化**  
本開発研究で最も重要な要素技術である、「省エネルギー化に資するリアルタイム要因分析・予測技術の理論の確立および、リアルタイム処理のアルゴリズム」を開発する。
- **研究開発内容③：リアルタイムAI最適化による省エネ志向型自動運転支援技術の開発**  
研究開発内容 ① ② で開発した基盤技術をベースとし、大規模複合センサネットワークとIoTビッグデータ予測技術を融合・連携させ、飛躍的な省エネルギー化と低炭素化を実現する、車両IoTビッグデータのリアルタイム予測・最適化に基づく省エネ志向型自動運転支援技術を開発する。

以下において、各研究開発内容についての概要を示す。また、各研究開発項目に関する、より詳細な取り組み内容については、II-1において記述する。

### 研究開発内容①：車両IoTビッグデータの動的空間モデリングとパラメータ学習技術の開発

本項目では、車両IoTビッグデータの収集と自動解析を行うための基盤技術を開発した。また、重要な車両走行パターンを効果的に表現するための新たな動的空間モデリング手法を開発した。

#### 【車両IoTビッグデータの収集と解析】

高度複合車載センサネットワークデバイスから、多種多様かつ複合的なIoTビッグデータ（車両走行情報、周辺車等、位置情報等、燃費情報）を収集・解析するための技術を開発した。より具体的には、車両IoTビッグデータ（12名、データサイズ：14TB）について、生データ（画像／動画データ、赤外線センサデータ、環境センサデータ、ドライバ視線データ、CANを含むその他関連バイナリデータで構成）に対し、複合的なパターン解析を行なった。また、車両走行中の運転操作と動的燃費に関する情報を抽出するため、生データ（大規模動画ファイル）から燃費シーケンスを自動抽出し欠損値を推定するための解析ソフトウェアを開発した。本研究で扱う複合車両IoTビッグ

データの概要を図-0.1に示す。また、これらの車両走行ビッグデータに対し、データ処理・事前解析を行うことで、車両走行パターンと省エネルギー化の関係性について分析した。

【車両IoTビッグデータと燃費情報に関する事前分析】

車両IoTビッグデータと燃費情報との関係性について分析し、省エネルギーのための走行モデルに必要な要件を検証した。ここでは、車両走行IoTビッグデータとして、車両走行情報、周辺車等、位置情報等、燃費情報等について扱った。本研究では、図-0.3に示す異なる3種類のコースでの走行について、それぞれ被験者1名に対し10回ずつデータ収集を行なった（コースA：市街地、コースB：路地、コースH：高速道路）。本研究では、統計的手法を用いて多角的なデータ分析を実施し、抽出した複合的なビッグデータの中から省エネルギーと相関の高いセンサ情報を自動抽出・発見し、省エネルギーのための走行モデルに必要なデータ属性・項目を選定した。

【車両IoTビッグデータのモデル学習手法の開発】

車両IoTビッグデータに基づく走行パターンのリアルタイム動的モデル学習手法を開発し、様々な車両走行パターンの解析を実施した。また、複合的な情報（位置情報や周辺車・障害物、天候、渋滞情報等）との相互関係に関する解析と考察を実施し、複合情報に基づく大局的な運転モデリング手法について開発を実施した。より具体的には、時系列ビッグデータのための新たな複合動的モデル学習手法と特徴自動抽出手法を開発した。本提案手法は、様々な走行パターンから構成される車両IoTビッグデータの中から、特徴的な走行の傾向を自動抽出する。また本研究では、収集された車両走行IoTビッグデータおよび、動的燃費情報から、提案手法を用いて学習し、特徴的な走行の傾向と燃費情報との関係性について評価した。

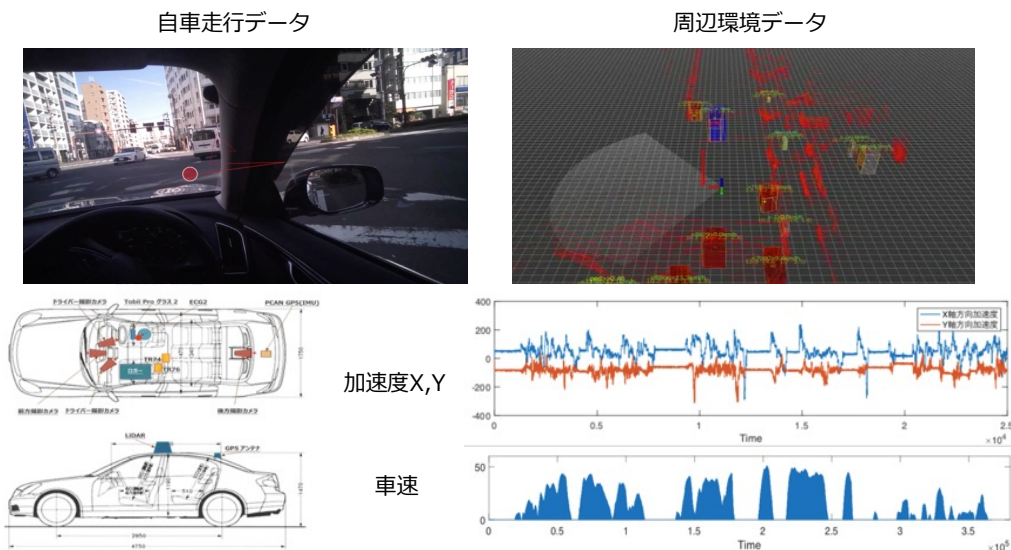


図-0.2 本研究で扱う複合車両IoTビッグデータ（車両走行情報、周辺車、位置情報、燃費情報等）



図-0.3 実際に走行した3コースと各コースにおける走行条件、道路状況等についての概要

**研究開発内容②：リアルタイム要因分析・予測技術の開発と計算処理の高速化・省エネ化**

本項目では、省エネルギー化に資するリアルタイム要因分析・予測技術の考案、および、リアルタイム処理のアルゴリズムを開発した。

**【車両IoTビッグデータの要因分析・予測技術の開発】**

研究開発内容①において開発した動的空間モデリングとパラメータ学習技術に基づき、車両IoTビッグデータの要因分析・予測を行うための技術を開発した。また、自車走行情報・周辺環境情報とエネルギー使用量との因果関係を自動解析するためのメカニズムを開発した。提案手法は、刻々と環境変化していくような、非定常型の走行データストリームに対し、複数の走行パターン集合に分割するとともに、類似パターンを束ねてモデル群を学習する。さらに、本研究では、自動車走行パターンと燃費（エネルギー消費量）の間の因果関係を自動解析するためのメカニズムを考案した。これらの提案モデルを用いることにより、提案手法は、走行する地点（ロケーション）ごとの運転走行（アクセル、ブレーキ、ハンドル操作等）と燃費（エネルギー使用量）の関係を動的かつ完全自動で分析することができる。

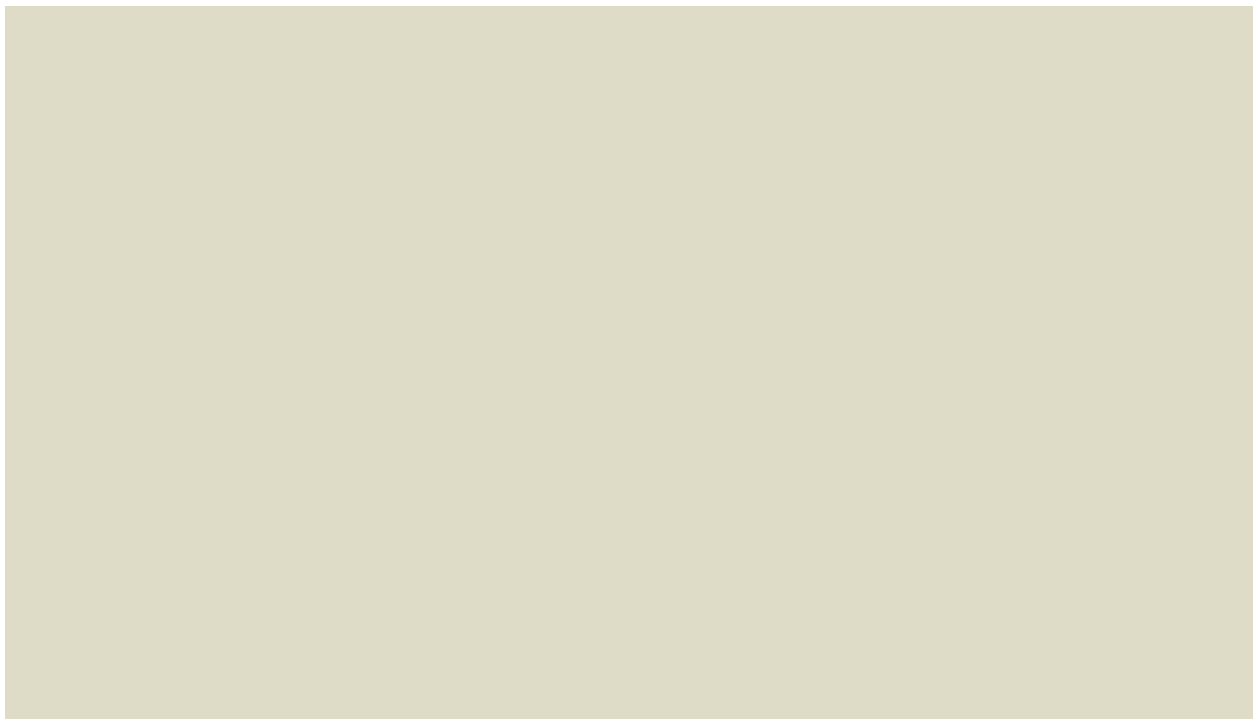


### **研究開発内容③：リアルタイムAI最適化による省エネ志向型自動運転支援技術の開発**

本項目では、研究開発内容 ① ②で開発した要素技術を統合・融合し、リアルタイムAI最適化と省エネルギー指向型自動運転支援技術を開発した。

#### **【リアルタイムAI最適化による省エネ志向型自動運転支援システムの開発】**

研究開発内容 ① ② で開発した基盤技術をベースとし、省エネルギー化と低炭素化に資する、リアルタイムAI最適化に基づく省エネルギー志向型自動運転支援技術を開発した。図-0.4は、本研究において開発したリアルタイムAI最適化による省エネルギー志向型自動運転支援システムの概要を示している。本システムは、複数の車両走行から収集される複合型車両走行IoTビッグデータが与えられたとき、重要な動的走行パターンを自動抽出するとともに、走行パターンと燃費との関係性についてネットワーク構造を用いて学習する。また本システムは、過去の走行から学習されたモデル群に加え、リアルタイムに現在の走行パターンのモデル更新をしながら、現在の最適な走行を自動算出するメカニズムを有する。



#### **【開発システムに関する実証実験】**

開発した省エネ志向型自動運転支援システム（図-0.4）に関し、東京都内の公道において実施した大規模走行実験において計12名の被験者から収集された複合車両走行IoTビッグデータを用いてシステム評価を実施した。また、さまざまなセンサデータから収集される複合的なビッグデータを解析するための手法として、統計的手法に基づく潜在的動的パターンの自動抽出技術を開発した。本実験では、計12名の被験者による走行データに対し、車両走行と燃費予測結果を計算し、精度比較を行った。また本研究では、開発システムの有用性を検証するため、深層学習を含む複数の最新手法を用いて、予測精度および計算時間の比較実験を実施した。

#### **【開発システムに関するフィードバックと軽量化、小型エッジデバイスへの実装】**

国内企業との産学連携と技術に関するヒアリングとフィードバック調査を実施し、本格実装に向けた要件の検討と選定を行うとともに、開発システムのフィードバックを通じて、本格実装に向けたシステム改良を実施した。具体的には、将来的な車載 IoT への AI 導入に向け、開発システムの軽量化・小型化に関する改良を行い、小型エッジデバイス(Raspberry Pi)への実装を行った。自動運転車などにおいては、車載 IoT 機器の高度化が今後さらに進むことが予想され、交通情報や周りの周辺環境データからいち早く車載エッジ端末内で AI 処理できる機構が必要となる。そこで本研



究では、計算機環境に制約のある個別エッジ端末での AI 処理を実現するため、開発システムにおける学習コストの軽量化を行った。エッジ端末を用いることで、学習における計算資源、電力量のコストも大幅に削減することができる。また本研究では、大規模実データの学習について、より高速かつ効果的にモデルの更新処理を行うため、並列化のためのアルゴリズムを導入した。この並列化アルゴリズムは、非常にシンプルな方程式をモデル群として構成することで効果的に学習を行うため、Raspberry Pi のようなエッジデバイス内でも低負荷かつ高速に演算することができる。さらに、本研究では、開発システムの Raspberry Pi への実装を行うとともに、開発システム全体のエネルギー消費量の定量的評価を実施した。

## 5. 研究成果

### 5-1. 成果の概要

以下において、各研究開発内容についての成果の概要を示す。

#### **研究開発内容①：車両IoTビッグデータの動的空間モデリングとパラメータ学習技術の開発**

##### **【車両IoTビッグデータの収集とデータ抽出、および、燃費情報の分析】**

図-0.6は、収集されたオリジナルデータ(画像/動画、CAN等)から抽出した、各時刻における車両走行と燃費情報(燃費、前後左右加速度)を示す。ここでは、3つの異なるコースにおける典型的な走行パターンを可視化している。

本研究では、多様な年齢、性別、職種のドライバーに対し、各コースでの走行傾向と燃費の関係性について分析を行なった。その結果、全体的な傾向として、(a) 個人傾向による要因：燃費の個人傾向が大きく、熟練度、走行頻度等による関係が深いこと、(b) 環境要因：走行する公道の状況や周辺環境によって燃費の傾向に大きな影響を与えることがわかった。また、各コースにおける車両走行パターンと燃費、運転者に関するより詳細な分析結果については、II. 成果の詳細において述べる。

##### **【車両走行パターンの動的モデル学習と特徴抽出】**

図-0.7は、走行パターンの動的モデル学習手法に基づく特徴自動抽出例を示している。ここでは、3つの走行コースについて、特長的な走行パターン(レジーム)の自動分割に成功した。また、各走行パターン(レジーム)に対し、燃費効率の状況を分類している。例えば、狭路、信号前後、渋滞等での低速走行時には燃費効率がわるく、一方で、大通りや高速道路などでの見通しの良い区間における安定した走行では、燃費効率が良くなる等の情報が抽出できた。

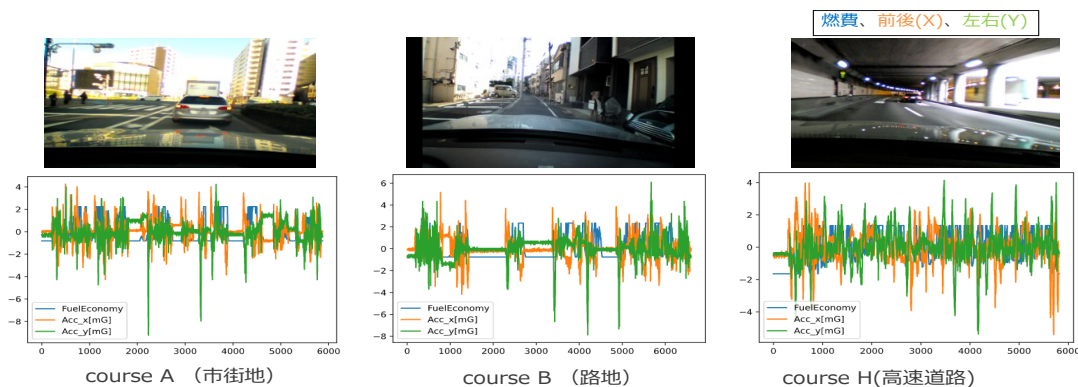


図-0.6 オリジナルデータから抽出した時系列データの例（燃費、前後左右加速度を可視化）

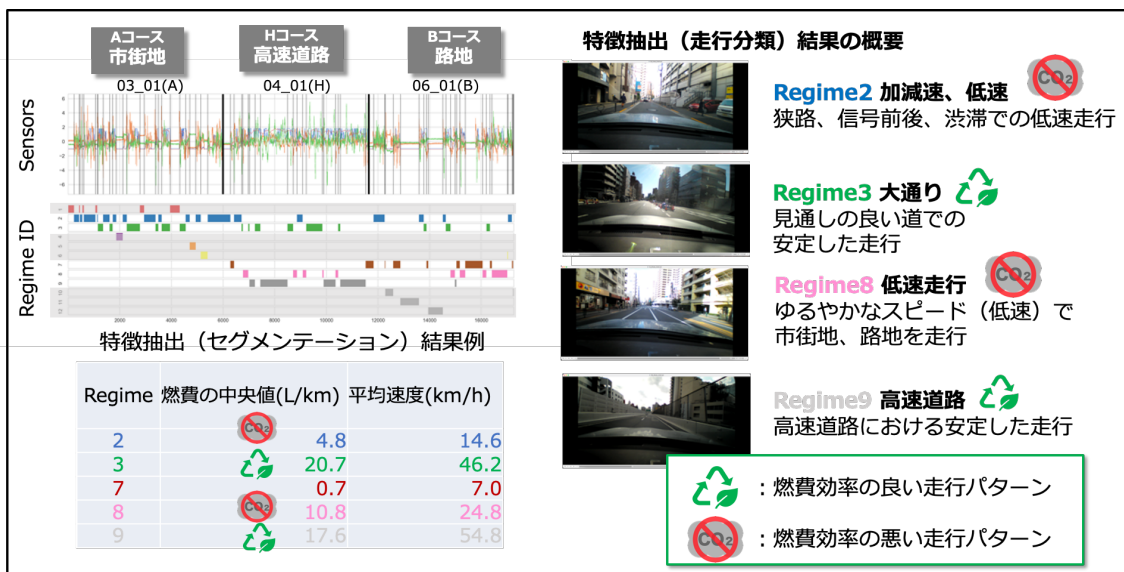


図-0.7 提案手法による特徴的走行パターンと燃費効率の関係性の自動抽出結果

**研究開発内容②：リアルタイム要因分析・予測技術の開発と計算処理の高速化・省エネ化****【車両IoTビッグデータの要因分析と省エネルギー化に資する走行最適化】**

研究開発内容②では、研究開発内容①において開発した動的空間モデリングとパラメータ学習技術に基づき、車両IoTビッグデータの要因分析・予測を行うための技術を開発した。提案手法は、複合車両走行IoTビッグデータの中から、重要な特徴を自動抽出し、走行パターンとエネルギー使用量の間のカausal関係を自動解析する。

### 研究開発内容③：リアルタイムAI最適化による省エネ志向型自動運転支援技術の開発

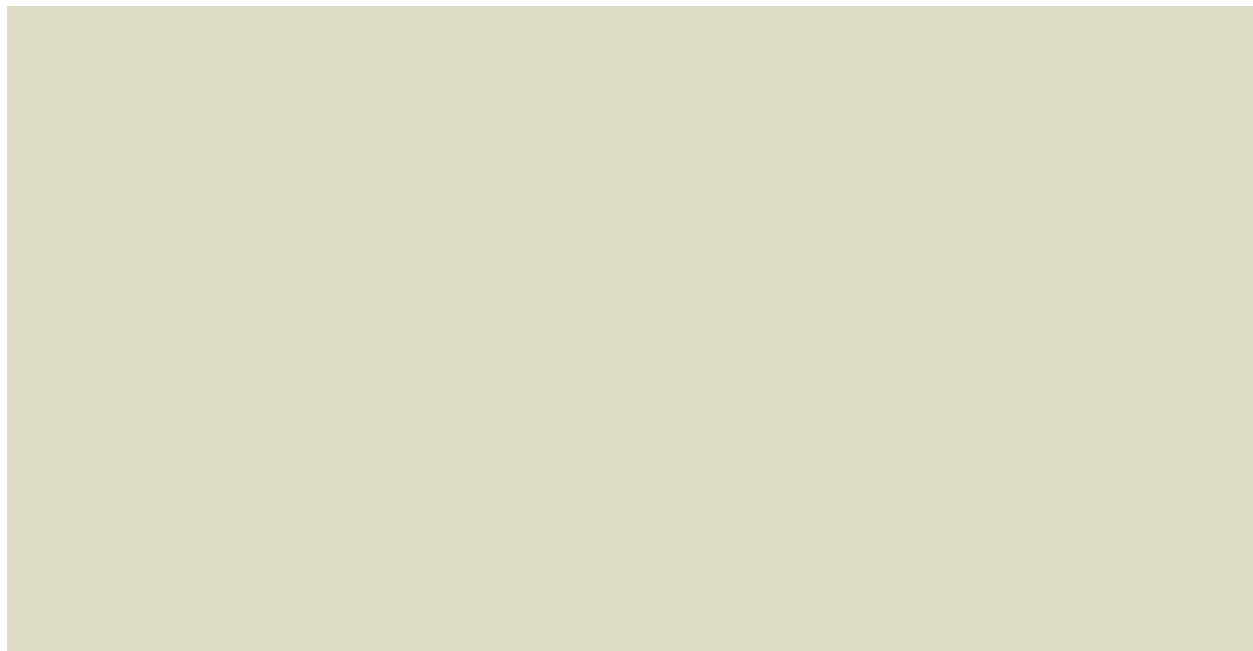


図-0.11 エッジデバイス(Raspberry Pi)への実装とデモ動作の様子

#### 5-2. 環境政策等への貢献

##### <行政等が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

##### <行政等が活用することが見込まれる成果>

##### 【本研究の環境政策への貢献の効果】

産業界において、2050年ごろにおける温室効果ガスの抜本的な排出削減は必須要件であり、自動車産業においても、環境問題やカーボンニュートラル社会の実現に向けた取り組み・課題は非常に重要視されている。例えば、トヨタ自動車が発表した「トヨタ環境チャレンジ2050」では、2050年グローバル新車平均走行時CO<sub>2</sub>排出量の90%削減（2010年比）を達成目標としている。同様に、日産自動車においても、関連する戦略として、「Nissan Sustainability 2022」を掲げ、「人とクルマと自然の共生」という環境理念のもと、社会的要求かつ長期視点に基づき環境課題の解決に取り組んでいる。

国際社会においても、2050年に向けたカーボンニュートラル社会システムの実現に対する期待が高まっている。各機関において、CO<sub>2</sub>および温室効果ガスの排出量低減化目標を提示しており、例えば、「トヨタ環境チャレンジ」においても、CO<sub>2</sub>排出量90%削減を目標値としている。

環境省においても、エコドライブ10のすすめを提示し、環境に優しい、燃費改善のための運転

として、アクセル等の基本操作、車間距離、アイドリング、渋滞緩和、タイヤ等整備、車体軽量化等の工夫について示している。

カーボンニュートラル社会システムの実現のための取り組みにより、その他の問題への波及効果も高い。例えば、道路交通における安全性の向上や、渋滞緩和、カーボンニュートラル化による生態系の保護等、幅広い効果を得ることができる。

本研究では、研究代表者がこれまで開発してきた IoT ビッグデータ解析の知見を生かしながら、新たにリアルタイム AI に基づく走行エネルギー最適化技術を考案し、ビッグデータ・AI 関連技術と自動車のハードウェア上での機能を融合・連携することで、2050 年のカーボンニュートラル社会実現に向けた新たな高度 AI 支援システムのプロトタイプを開発した。

開発システムは、省エネルギーで走行するための最適な運転走行パターンを自動学習する機能を持ち、リアルタイムに現在の走行パターンをモデル化し、適切な走行の候補を推定することができる。本研究における評価実験において、実際の走行で測定された実測値に比べ、提案手法により燃費効率がおよそ 60%向上することが示された。このことから、将来的な本技術の実用化、社会実装によって、車両走行に関するエネルギー資源使用の大幅な削減が見込まれる。

また、本研究では、将来的な車載 IoT への AI 導入に向け、開発システムの軽量化・小型化に関する改良を行い、小型エッジデバイスへシステムの実装を行った。車載 IoT デバイスは、CPU、メモリ等の資源が少ない上に、機械学習等で用いられる計算用 GPU についても制約が多いため、現状の深層学習ベースの技術は小型化が難しく、エッジデバイスへの実装が困難であるという問題が生じていた。本研究は、このような現状を打破し、少ない資源で構成される小型端末でもリアルタイムに高速モデル学習を実現し、また、データの解析と学習に要するエネルギー量（消費電力量）についても、大幅に削減できることを実証した。具体的には、開発システムをエッジデバイス上で稼働した場合、各時刻あたりの消費電力量については、平均が 1.44W となっている一方で、大型計算機上において深層学習に基づくモデル学習を行なった場合には、平均で約 328W となった。このことから、提案手法は、既存の深層学習モデルの計算と比較し、単位時間あたりの消費電力量が約 1/200 に削減（つまり、99.5%のエネルギー削減）ができることを示した。このことから、本研究の開発システムは、車両走行の最適化をするだけでなく、演算にかかるエネルギー量についても大幅に削減することが可能となり、将来的な自動運転車を含めた省エネルギー型モビリティのための情報基盤技術としても広く貢献することが見込まれる。

図-0.12 は、本研究の成果に基づく新たな自動運転支援技術における環境政策への貢献の効果を示す。従来型の自動運転支援技術では、(a) 画像処理／センシング等に基づく自動運転最適化、(b) 走行燃費の推定と最適化、(c) 小型 IoT 端末における計算コストと消費電力の改善に関する技術開発が、事実上別々に行われており、自動運転の導入による低炭素化は限定的であったが、一方で、本研究の成果に基づく新たな自動運転支援技術では、(a), (b), (c) の全ての要素を統合的に実現することで、通常の自動運転に加え、省エネルギーで走行するための最適な運転走行パターンを自動学習し（燃費効率 60%向上）、さらに、小型端末でのリアルタイム高速モデル学習の実現により、消費電力の大幅な低減化に成功した（328W から 1.44W への低減）。また、これらの効果を実現した計算機技術は、本研究で考案した車両 IoT ビッグデータに基づくリアルタイム AI 最適化技術であり、将来的な自動運転車を含めた省エネルギー型モビリティのための情報基盤技術としても広く貢献することが見込まれる。

#### 【選択した重点課題及び行政ニーズに対して本研究によって見込まれる環境政策等への貢献内容】

研究代表者はこれまでに、トヨタ自動車およびトヨタグループとの継続的な共同研究を実施しており、カーボンニュートラル社会の実現に向けたCO<sub>2</sub>削減と省エネルギー問題のための様々な課題に取り組んできた。

本研究では、研究代表者がこれまで開発してきたIoTビッグデータ解析およびAI技術を活用しながら、新たにリアルタイムAIに基づく走行エネルギー最適化技術を考案した。これにより、車両

IoTビッグデータに基づくリアルタイムAI技術（サイバー）と自動車走行支援（フィジカル）を高度に融合（いわゆるSociety 5.0）させることで、2050年ごろのカーボンニュートラル社会の実現に貢献することができる。すなわち本研究は重点課題②、④および、社会ニーズ(1-4)に合致している。

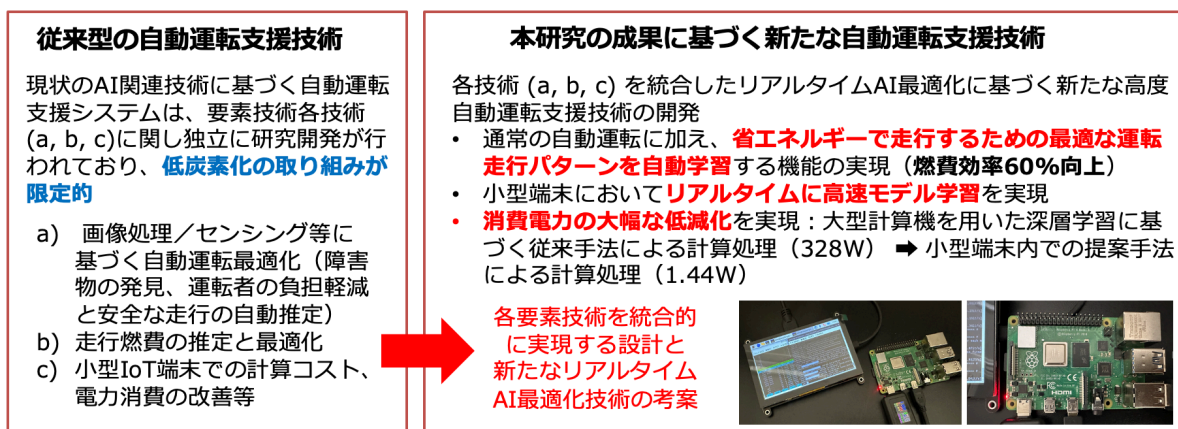


図-0.12 本研究成果に基づく新たな自動運転支援技術の環境政策への貢献の効果

#### 【本研究と関連し派生した新たな国際／産学共同研究と社会への波及効果等】

本研究で開発した要素技術は、有用性と独創性の高さから、様々な分野、産業に活用することができる。以下では、本研究と関連し派生した研究の内容と今後の社会への波及効果について説明する。

## 5-3. 研究目標の達成状況

全体目標	目標の達成状況
<p>本研究では、以下の3つの目標の達成に向けて研究を推進する。</p> <p>(1) 車両 IoT ビッグデータのリアルタイム収集技術を構築し、燃費情報との関係性について分析することによって、省エネルギーのための走行モデルに必要な要件を検証する。さらに、車両 IoT ビッグデータのモデル学習手法を開発して、モデル学習に基づくエネルギー消費量予測（燃費予測）の精度を定量的に評価する。具体的には、エネルギー消費量（燃費情報）の予測の精度 80%を目標値に設定する。</p> <p>(2) リアルタイム要因分析・予測技術を開発し、動的空間モデリング手法を用いて学習した走行パターンと要因分析技術を融合して、省エネルギーで走行するための最適な運転走行パターンを自動学習するための技術を開発する。また、リアルタイム処理の高速アルゴリズムを開発し、従来技術のおよそ 100 倍の計算速度を実現する。</p> <p>(3) 本研究で開発する要素技術を統合・融合することによってリアルタイムAI最適化による省エネ志向型自動運転支援システムを構築し、開発したシステムに関する</p>	<p>本研究では、3つの目標を設定している。これらの目標は、事前に計画した研究開発内容 ① ② ③（図-0.1参照）において、それぞれ達成すべき目標となっている。本研究では、適正な課題管理に基づき、すべての目標を計画通りに達成している。以下において、各目標の具体的な達成状況とその根拠について述べる。</p> <p><u>目標を大きく上回る成果をあげた。</u></p> <p>【具体的な理由】研究開発内容 ①において、車両IoTビッグデータのリアルタイム収集・解析技術を構築するとともに、走行パターンと燃費の関係性を分析した。また、車両IoTビッグデータのためのモデル学習手法を開発し、図-0.8において、エネルギー消費量（燃費）予測を定量的に評価した。また、目標値である予測精度80%を大幅にこえる予測精度98%を実現した。</p> <p>【根拠】図-0.8、査読付き論文（5, 7, 8, 10）</p> <p><u>目標を大きく上回る成果をあげた。</u></p> <p>【具体的な理由】研究開発内容②において、リアルタイム要因分析・予測技術と省エネルギー化に資する走行最適化技術を開発した。また、リアルタイム最適化アルゴリズムの高速化を実現し、最新の深層学習に基づくモデルと比較し、目標値である、速度向上100倍を大幅に超える、約50万倍の速度向上を実現した。また、リアルタイム要因分析・予測技術に関し、技術の有用性、独自性が高く評価され、複数件の受賞にもつながった。</p> <p>【根拠】図-0.10、査読付き論文（3, 12）、情報処理学会マイクロソフト情報学研究賞、文部科学大臣表彰「若手科学者賞」における受賞</p> <p><u>目標どおりの成果をあげた。</u></p> <p>【具体的な理由】研究開発内容③において、研究開発内容 ①、②で開発した基盤技術をベースと</p>

<p>大規模実証実験とその結果のフィードバックを通して、本格実装に向けたシステム改良を行う。</p>	<p>し、リアルタイムAI最適化に基づく省エネルギー志向型自動運転支援システムを開発し、東京都内の公道において実施した大規模走行実験において収集された複合車両走行IoTビッグデータを用いてシステム評価を実施した。また、開発システムにおける走行最適化アルゴリズムの使用により、実際の走行で測定された実測値に比べ、提案手法により燃費効率が約60%向上することが示された。さらに、国内企業との開発システムのフィードバックを通じ、将来的な車載IoTへのAI導入に向け、開発システムの軽量化・小型化に関する改良を行い、小型エッジデバイス(Raspberry Pi)へシステムの実装を行った。開発システムの改良と小型化により、提案システムは、従来の深層学習モデルベースの学習と比較し、単位時間あたりの消費電力量が約1/200倍まで削減（つまり、エネルギー量の99.5%を削減）できることが示された。</p> <p>【根拠】 図-0.11、査読付き論文（4,11）</p>
--	---

サブテーマ1 目標	目標の達成状況
サブテーマが一つであるので、全体目標と同一である。	サブテーマが一つであるので、全体目標と同一である。

## 6. 研究成果の発表状況

### 6-1. 査読付き論文

#### <件数>

12件

#### <主な査読付き論文>

- 1) Koki Kawabata, Yasuko Matsubara, Takato Honda, Yasushi Sakurai, Non-Linear Mining of Social Activities in Tensor Streams, ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD2020), pp. 2093-2102, Virtual Event, California, August 23-27, 2020. Acceptance Rate: 216/1279, 16.8%
- 2) 川畑光希, 松原靖子, 本田崇人, 櫻井保志, オンライン活動データストリームのための非線形モデル解析, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol. 14, No. 3, pp. 31-40, 2021年7月13日.
- 3) 中村航大, 松原靖子, 川畑光希, 梅田裕平, 和田裕一郎, 櫻井保志, 複合イベントストリームの特徴自動抽出, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.14, No. 4, pp. 24-35, 2021年10月14日.



- 4) 藤原廉, 松原靖子, 木村輔, 櫻井保志, 制御応答時系列データストリームにおける予測アルゴリズム, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.15 No.3 pp.87-98, 2022年10月13日.
- 5) Taichi Murayama, Yasuko Matsubara, Yasushi Sakurai, Mining Reaction and Diffusion Dynamics in Social Activities, ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM2022), pp.1521-1531, Hybrid Conference, Hosted in Atlanta, Georgia, October 17-21, 2022.
- 6) Kohei Obata, Yasuko Matsubara, Koki Kawabata, Yasushi Sakurai, Automatic Time-Series Clustering via Network Inference, 48th International Conference on Very Large Data Bases (VLDB) PhD workshop, Sydney, Australia, September 5-9, 2022.
- 7) Ren Fujiwara, Yasuko Matsubara, Tasuku Kimura, Yasushi Sakurai, C-Cast: A Real-Time Forecasting Model for a Controlled Sequence, ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM2022), pp.5112-5115, Hybrid Conference, Hosted in Atlanta, Georgia, October 17-21, 2022.
- 8) 小幡紘平, 松原靖子, 川畑光希, 中村航大, 櫻井保志, 時系列データの自動ネットワーク構造検出アルゴリズム, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.16 No.1 pp.1-13, 2023年1月13日.
- 9) Kota Nakamura, Yasuko Matsubara, Koki Kawabata, Yuhei Umeda, Yuichiro Wada and Yasushi Sakurai, Fast and Multi-aspect Mining of Complex Time-stamped Event Streams, The 2023 ACM Web Conference (WWW2023), Austin, Texas, April 30-May 4, 2023. Acceptance Rate: 365/1900, 19.2%
- 10) Koki Kawabata, Yasuko Matsubara, Yasushi Sakurai, Modeling Dynamic Interactions over Tensor Streams, The 2023 ACM Web Conference (WWW2023), Austin, Texas, April 30-May 4, 2023. Acceptance Rate: 365/1900, 19.2%

## 6-2. 知的財産権

- 1) 本田崇人, 松原靖子, 川畑光希, 櫻井保志, 時系列解析に基づくイベント予測装置、イベント予測方法およびプログラム, 出願番号: 特願 2020-8388, 出願日: 2020年1月22日.
- 2) 松原靖子, 櫻井保志, 予測装置、予測方法及びプログラム, 出願番号: PCT/JP2020/029178, 出願日: 2020年7月30日.
- 3) 川畑光希, 松原靖子, 本田崇人, 櫻井保志, 時系列テンソルデータのための予測装置、予測方法、及びプログラム, 出願番号: 特願 2020-139168, 出願日: 2020年8月20日.
- 4) 本田崇人, 松原靖子, 川畑光希, 櫻井保志, イベント予測システム、イベント予測方法およびプログラム, 出願番号: PCT/JP2021/000606, 出願日: 2021年1月12日.
- 5) 川畑光希, 松原靖子, 本田崇人, 櫻井保志, 予測装置、予測方法およびプログラム, 出願番号: PCT/JP2021/24653, 出願日: 2021年6月30日.
- 6) Takato Honda, Yasuko Matsubara, Koki Kawabata, Yasushi Sakurai, EVENT FORECASTING SYSTEM, EVENT FORECASTING METHOD, AND STORAGE MEDIUM, 出願番号: US patent, 17/793388, 出願日: 2022年7月16日.
- 7) Yasushi Sakurai, Yasuko Matsubara, Yasuaki Irifune, Saeru Yamamuro, Koki Kawabata, Akira Ura, Takashi Katoh, Yuhei Umeda, Allocation method, allocating device, and computer-readable recording medium (付与方法、付与プログラム及び付与装置), 出願番号: U. S. patent, 16/801165, 出願日: 2020年2月26日, 公開番号: US 2020/0280525 A1, 公開日: 2020年9月3日, 登録番号: US 11,438,277 B2, 登録日: 2022年9月6日.

### 6-3. その他発表件数

査読付き論文に準ずる成果発表	0件
その他誌上発表（査読なし）	0件
口頭発表（学会等）	17件
「国民との科学・技術対話」の実施	3件
マスコミ等への公表・報道等	3件
本研究費の研究成果による受賞	17件
その他の成果発表	0件

### 7. 国際共同研究等の状況

1) カーネギーメロン大学とのリアルタイムAI技術に関する国際共同研究

連携先：Prof. Christos Faloutsos、カーネギーメロン大学、米国

アメリカ合衆国カーネギーメロン大学のChristos Faloutsos教授は、AI・ビッグデータ分野において世界を代表する研究者であり、研究代表者と10年以上に及ぶ長期的かつ継続的な共同研究を実施しており、共著論文を多数発表している。

本研究においては、基礎研究に関し、Faloutsos教授との共同研究を実施した。本研究の要素技術の一つである、車両IoTビッグデータの動的空間モデリングとパラメータ学習技術の開発に関し、理論的な技術開発の取り組みについて、議論と技術連携を実施した。

2) マイクロソフト社との省エネルギー最適化技術に関する国際共同研究

連携先：Microsoft Research Asia (MSRA)、Beijing

現在マイクロソフト社では、2030年までに「カーボンネガティブ」企業になる決意を表明しており、1975年の創業以来、直接のおよび電力消費により間接的に排出してきたCO<sub>2</sub>の環境への影響を2050年までに完全に排除するための取り組みを実施している。

本研究においては、マイクロソフト社の基礎研究を扱う部門であるMicrosoft Research Asia (MSRA)との共同研究を実施した。本研究の要素技術の一つである、リアルタイムAI最適化による省エネ志向型自動運転支援技術の開発に関し、省エネルギー最適化システムに関する議論と技術連携を実施した。また、カーボンネガティブ関連技術に関する新たな構想と要素技術の導入が実現できた。

### 8. 研究者略歴

研究代表者

松原 靖子

京都大学大学院情報学研究科卒業、情報学博士、現在、産業科学研究所准教授

## II. 成果の詳細

### II-1 リアルタイムAI技術に基づく省エネルギー化に資する高度自動運転支援技術に関する研究開発

国立大学法人大阪大学

産業科学研究所 産業科学AIセンター

松原 靖子

#### [要旨]

本研究では、自動車走行時の省エネルギー化とCO<sub>2</sub>排出量削減のための取り組みとして、「リアルタイムAI技術に基づく省エネルギー化に資する高度自動運転支援技術に関する研究開発」を実施した。

研究開発内容①において、大規模車載センサネットワークから収集される複合車両IoTビッグデータ（車両走行情報、周辺情報、位置情報、燃費／電力消費情報）に対し、様々な車両走行パターンの自動抽出を行うための新たなモデル学習手法を考案した。また、車両IoTビッグデータのためのモデル学習手法を開発し、エネルギー消費量（燃費）予測を定量的に評価した（図-0.8）。また、目標値である予測精度80%を大幅にこえる予測精度98%を実現した。

研究開発内容②では、複合車両IoTビッグデータの要因分析・予測技術を開発し、特徴的な走行の傾向と燃費情報との因果関係の抽出に成功するとともに、リアルタイム処理のための高速アルゴリズムを開発した。また、リアルタイム最適化アルゴリズムの高速化を実現し、最新の深層学習に基づくモデルと比較し、目標値である、速度向上100倍を大幅に超える、約50万倍の速度向上を実現した（図-0.10）。また、リアルタイム要因分析・予測技術に関し、技術の有用性、独自性が高く評価され、複数件の受賞にもつながった（文部科学大臣表彰「若手科学者賞」、情報処理学会マイクロソフト情報学研究賞、キャタピラーSTEM賞一般部門最優秀賞における複数件の受賞）。

研究開発内容③においては、開発した要素技術をベースとし、車両IoTビッグデータのリアルタイム予測・最適化に基づく省エネ志向型自動運転支援システムを開発した。東京都内の公道において実施した大規模走行実験において収集された複合車両走行IoTビッグデータを用いてシステム評価を実施した。また、開発システムにおける走行最適化アルゴリズムの使用により、実際の走行で測定された実測値に比べ、提案手法により燃費効率が約60%向上することが示された（図-0.9）。

また、開発したシステムは、国内企業との産学連携により技術的なフィードバックを実施するとともに、将来的な車載IoTへのAI導入に向け、開発システムの軽量化・小型化に関する改良を行い、小型エッジデバイス(Raspberry Pi)へシステムの実装を行った。開発システムの改良と小型化により、提案システムは、従来の深層学習モデルベースの学習と比較し、単位時間あたりの消費電力量が約1/200倍まで削減（つまり、エネルギー量の99.5%を削減）できることが示された。

#### 1. 研究開発目的

##### 【関連する国内外の環境問題の状況及び研究動向と研究を提案するに至った背景】

近年国内外において、次世代型自動車における高度自動運転を実現するための研究開発が行われている。また、政府が目指している2050年頃のカーボンニュートラル社会の実現に向け、国内外の自動車産業において、自動車走行時の省エネルギー化とCO<sub>2</sub>排出量削減のための取り組みが重要視されている。

しかしながら、現状の自動運転車の開発に関する取り組みは、深層学習（いわゆるAI技術）による画

像処理を用いた障害物の発見や各種センサを用いた衝突検知等のように、非常に限定的な条件における自動走行技術の開発に焦点が当てられており、刻々と周囲の状況が変化していくような複雑な自動運転支援を行うことができない。また、今後のカーボンニュートラル社会実現において重要である、省エネルギー化と温室効果ガスの排出削減のための自動運転最適化という課題についても、現状の単純な条件下での自動運転よりも複雑な状況や条件への対応が求められ、高度センシングにより収集される複合的な車両 IoT ビッグデータのリアルタイム情報解析技術が必要であるため、全く着手できていないのが現状である。

### 【上記背景を踏まえた課題全体の研究開発目的】

本研究では、上記のような社会的背景と現状を踏まえ、「リアルタイム AI 技術に基づく省エネルギー化に資する高度自動運転支援技術に関する研究開発」に取り組む。

車載センサネットワークから、多種多様な車両 IoT ビッグデータ（車両走行情報、周辺情報、位置情報、燃費・電力消費情報）を収集し、新たな数理モデル（動的空間モデル）を用いて様々な車両走行パターンの自動学習を行うための基盤技術を開発する。

また、多種多様な車両走行 IoT ビッグデータを収集・利活用し、新たに開発する動的空間モデルを用いて車両走行情報・周辺情報等とエネルギー消費量の因果関係を自動解析し、リアルタイムに将来予測と最適化を行うことで、省エネルギーで走行可能な最適な自動運転パターンを高速に推定する、高度自動運転支援技術を開発する。

## 2. 研究目標

全体目標	<p>本研究では、以下の3つの目標の達成に向けて研究を推進する。</p> <p>(1) 車両 IoT ビッグデータのリアルタイム収集技術を構築し、燃費情報との関係性について分析することによって、省エネルギーのための走行モデルに必要な要件を検証する。さらに、車両 IoT ビッグデータのモデル学習手法を開発して、モデル学習に基づくエネルギー消費量予測（燃費予測）の精度を定量的に評価する。具体的には、エネルギー消費量（燃費情報）の予測の精度 80%を目標値に設定する。</p> <p>(2) リアルタイム要因分析・予測技術を開発し、動的空間モデリング手法を用いて学習した走行パターンと要因分析技術を融合して、省エネルギーで走行するための最適な運転走行パターンを自動学習するための技術を開発する。また、リアルタイム処理の高速アルゴリズムを開発し、従来技術のおよそ 100 倍の計算速度を実現する。</p> <p>(3) 本研究で開発する要素技術を統合・融合することによってリアルタイム AI 最適化による省エネ志向型自動運転支援システムを構築し、開発したシステムに関する大規模実証実験とその結果のフィードバックを通して、本格実装に向けたシステム改良を行う。</p>
------	--

サブテーマ 1	リアルタイム AI 技術に基づく省エネルギー化に資する高度自動運転支援技術に関する研究開発
実施機関	大阪大学
目標	サブテーマが一つであるので、全体目標と同一である。

### 3. 研究開発内容

本研究では、自動車走行時の省エネルギー化とCO2排出量削減のための取り組みとして、「リアルタイムAI技術に基づく省エネルギー化に資する高度自動運転支援技術に関する研究開発」を実施した。

より具体的には、大規模車載センサネットワークから収集される複合車両IoTビッグデータ（車両走行情報、周辺情報、位置情報、燃費／電力消費情報）に対し、様々な車両走行パターンの自動抽出を行うための新たなモデル学習手法を考案した。

また、複合車両IoTビッグデータの要因分析・予測技術を開発し、特徴的な走行の傾向と燃費情報との因果関係の抽出に成功するとともに、リアルタイム処理のための高速アルゴリズムを開発した。

さらに、開発した要素技術をベースとし、車両IoTビッグデータのリアルタイム予測・最適化に基づく省エネ志向型自動運転支援システムを開発した。また、開発したシステムは、国内企業との産学連携により技術的なフィードバックを実施するとともに、将来的な車載IoTへのAI導入に向け、システム開発と改良により、軽量化・小型化を行い、エッジデバイス(Raspberry Pi)への実装を行った。

以下において、各研究開発内容についての実施内容の詳細を示す。

#### 研究開発内容 ①

##### 「車両IoTビッグデータの動的空間モデリングとパラメータ学習技術の開発」

本項目では、車両IoTビッグデータの収集と自動解析を行うための基盤技術を開発した。また、重要な車両走行パターンを効果的に表現するための新たな動的空間モデリング手法を開発した。

##### ① - (a) 車載センサネットワークによる車両 IoT ビッグデータの収集・解析

高度複合車載センサネットワークデバイスから、多種多様かつ複合的なIoTビッグデータ（車両走行情報、周辺車等、位置情報等、燃費情報）を収集・解析するための技術を開発した。より具体的には、車両IoTビッグデータ（12名、データサイズ：14TB）について、生データ（画像／動画データ、赤外線センサデータ、環境センサデータ、ドライバ視線データ、CANを含むその他関連バイナリデータで構成）に対し、複合的なパターン解析を行なった。また、車両走行中の運転操作と動的燃費に関する情報を抽出するため、生データ（大規模動画ファイル）から燃費シーケンスの自動抽出し欠損値を推定するための解析ソフトウェアを開発した。本研究で扱う複合車両IoTビッグデータの概要を図-0.2、解析データの詳細を図1.1に示す。また、これらの車両走行ビッグデータに対し、データ処理・事前解析を行うことで、車両走行パターンと省エネルギー化の関係性について分析した。

##### ① - (b) 車両 IoT ビッグデータと燃費情報の分析

多様な年齢、性別、職種のドライバ（図-1.2参照）に対し、実際の車両走行に基づくデータ収集・解析を行い、車両IoTビッグデータと燃費情報との関係性について分析し、省エネルギーのための走行モデルに必要な要件を検証した。ここでは、車両走行IoTビッグデータとして、車両走行情報、周辺車等、位置情報等、燃費情報等について扱った。また、状況に応じた走行パターンと燃費情報の因果関係を統合的に分析するため、本研究では、図-0.3に示す異なる3種類のコースでの走行について、それぞれ被験者1名に対し10回ずつデータ収集を行なった（コースA：市街地、コースB：路地、コースH：高速道路）。本研究では、様々な統計的手法および機械学習手法を用いて多角的なデータ分析を実施することで、抽出した複合的なビッグデータの中から省エネルギーと相関の高いセンサ情報を自動抽出・発見し、省エネルギーのための走行モデルに必要なデータ属性・項目を選定した。

##### ① - (c) 車両 IoT ビッグデータのモデル学習手法の開発

車両IoTビッグデータに基づく走行パターンのリアルタイム動的モデル学習手法を開発し、様々な車両走行パターンの解析を実施した。また、複合的な情報（位置情報や周辺車・障害物、天候、渋滞情報等）との相互関係に関する解析と考察を実施し、複合情報に基づく大局的な運転モデリング手法について開発を実施した。より具体的には、時系列ビッグデータのため

の新たな複合動的モデル学習手法と特徴自動抽出手法を開発した。本手法は、様々な走行パターンから構成される車両IoTビッグデータの中から、特徴的な走行の傾向を自動抽出する。また本研究では、① - (a)、① - (b)で得られたIoTビッグデータおよび、動的燃費情報から構成される複合時系列シーケンスに対し、本手法を用いて学習し、特徴的な走行の傾向と燃費情報との関係性について評価した。



図-1.1 解析データの詳細 (データサイズ: 14TB)

## 研究開発内容②

### 「リアルタイム要因分析・予測技術の開発と計算処理の高速化・省エネ化」

本項目では、省エネルギー化に資するリアルタイム要因分析・予測技術の考案、および、リアルタイム処理のアルゴリズムを開発した。



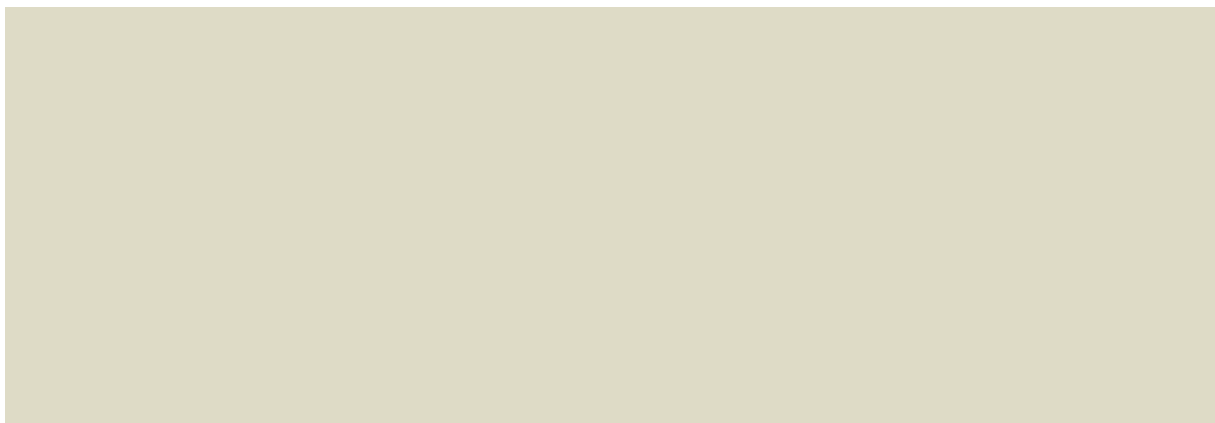
**研究開発内容③**

**「リアルタイムAI最適化による省エネ志向型自動運転支援技術の開発」**

本項目では、研究開発内容 ① ②で開発した要素技術を統合・融合し、リアルタイムAI最適化と省エ

エネルギー指向型自動運転支援技術を開発した。

- ③ - (a)リアルタイム AI 最適化による省エネ志向型自動運転支援システムの開発



- ③ - (b)開発システムに関する大規模実証実験の実施

本研究ではさらに、開発した省エネ志向型自動運転支援システム（図-1.7）に関し、東京都内の公道において実施した大規模走行実験において収集された複合車両走行IoTビッグデータを用いてシステム評価を実施した。また、さまざまなセンサデータから収集される複合的なビッグデータを解析するための手法として、統計的手法に基づく潜在的動的パターンの自動抽出技術を開発した。本実験では、合計12名の被験者による走行データに対し、11名の走行を学習データとして用いた場合の走行および燃費予測結果を計算し、精度比較を行った。また本研究では、開発システムの有用性を検証するため、深層学習を含む複数の最新手法を用いて、予測精度および計算時間の比較実験を実施した。

- ③ - (c)実証実験結果のフィードバックとシステム改良

国内企業との産学連携と技術に関するヒアリングとフィードバック調査を実施し、本格実装に向けた要件の検討と選定を行うとともに、開発システムのフィードバックを通じて、本格実装に向けたシステム改良を実施した。具体的には、将来的な車載 IoT への AI 導入に向け、開発システムの軽量化・小型化に関する改良を行い、小型エッジデバイス (Raspberry Pi) への実装を行った。自動運転車などにおいては、車載 IoT 機器の高度化が今後さらに進むことが予想され、交通情報や周りの周辺環境データからいち早く車載エッジ端末内で AI 処理できる機構が必要となる。そこで本研究では、計算機環境に制約のある個別エッジ端末での AI 処理を実現するため、開発システムにおける学習コストの軽量化を行った。エッジ端末を用いることで、学習における計算資源、電力量のコストも大幅に削減することができる。また本研究では、大規模実データの学習について、より高速かつ効果的にモデルの更新処理を行うため、並列化のためのアルゴリズムを導入した。この並列化アルゴリズムは、非常にシンプルな方程式をモデル群として構成することで効果的に学習を行うため、Raspberry Pi のようなエッジデバイス内でも低負荷かつ高速に演算することができる。さらに、本研究では、開発システムの Raspberry Pi への実装を行うとともに、開発システム全体のエネルギー消費量の定量的評価を実施した。

#### 4. 結果及び考察

以下において、各研究開発内容についての結果及び考察を示す。

##### 研究開発内容 ①



「車両IoTビッグデータの動的空間モデリングとパラメータ学習技術の開発」





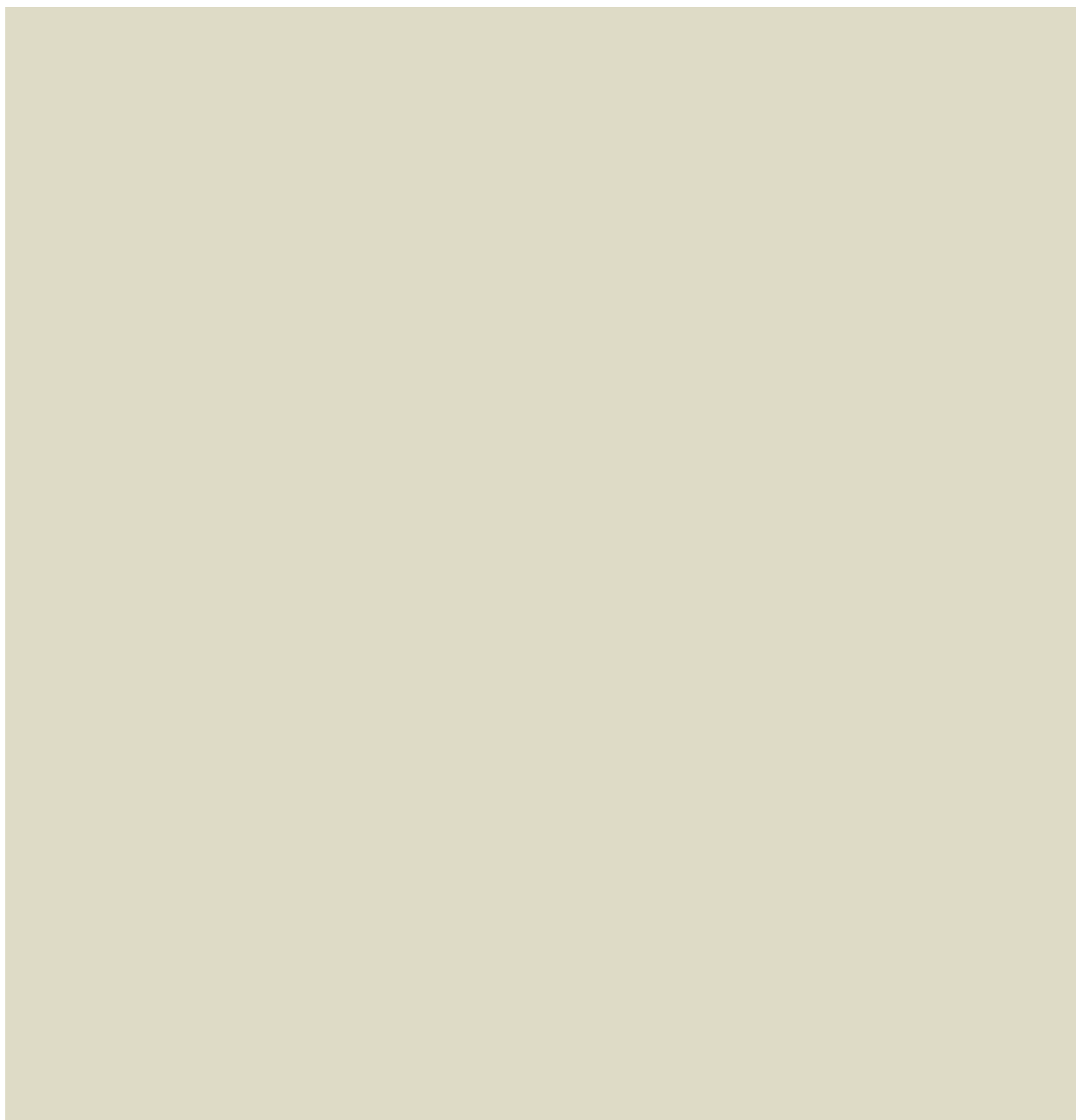
研究開発内容②

「リアルタイム要因分析・予測技術の開発と計算処理の高速化・省エネ化」



研究開発内容③





## 5. 研究目標の達成状況

全体目標	目標の達成状況
<p>本研究では、以下の3つの目標の達成に向けて研究を推進する。</p>	<p>本研究では、3つの目標を設定している。これらの目標は、事前に計画した研究開発内容 ① ② ③（図-0.1参照）において、それぞれ達成すべき目標となっている。本研究では、適正な課題管理に基づき、すべての目標を計画通りに達成している。以下において、各目標の具体的な達成状況と</p>

<p>(1) 車両 IoT ビッグデータのリアルタイム収集技術を構築し、燃費情報との関係性について分析することによって、省エネルギーのための走行モデルに必要な要件を検証する。さらに、車両 IoT ビッグデータのモデル学習手法を開発して、モデル学習に基づくエネルギー消費量予測（燃費予測）の精度を定量的に評価する。具体的には、エネルギー消費量（燃費情報）の予測の精度 80%を目標値に設定する。</p> <p>(2) リアルタイム要因分析・予測技術を開発し、動的空間モデリング手法を用いて学習した走行パターンと要因分析技術を融合して、省エネルギーで走行するための最適な運転走行パターンを自動学習するための技術を開発する。また、リアルタイム処理の高速アルゴリズムを開発し、従来技術のおよそ 100 倍の計算速度を実現する。</p> <p>(3) 本研究で開発する要素技術を統合・融合することによってリアルタイムAI最適化による省エネ志向型自動運転支援システムを構築し、開発したシステムに関する大規模実証実験とその結果のフィードバックを通して、本格実装に向けたシステム改良を行う。</p>	<p>その根拠について述べる。</p> <p><u>目標を大きく上回る成果をあげた。</u></p> <p>【具体的な理由】研究開発内容①において、車両IoTビッグデータのリアルタイム収集・解析技術を構築するとともに、走行パターンと燃費の関係性を分析した。また、車両IoTビッグデータのためのモデル学習手法を開発し、図-0.8において、エネルギー消費量（燃費）予測を定量的に評価した。また、目標値である予測精度80%を大幅にこえる予測精度98%を実現した。</p> <p>【根拠】図-0.8、査読付き論文（5, 7, 8, 10）</p> <p><u>目標を大きく上回る成果をあげた。</u></p> <p>【具体的な理由】研究開発内容②において、リアルタイム要因分析・予測技術と省エネルギー化に資する走行最適化技術を開発した。また、リアルタイム最適化アルゴリズムの高速化を実現し、最新の深層学習に基づくモデルと比較し、目標値である、速度向上100倍を大幅に超える、約50万倍の速度向上を実現した。また、リアルタイム要因分析・予測技術に関し、技術の有用性、独自性が高く評価され、複数件の受賞にもつながった。</p> <p>【根拠】図-0.10、査読付き論文（3, 12）、情報処理学会マイクロソフト情報学研究賞、文部科学大臣表彰「若手科学者賞」における受賞</p> <p><u>目標どおりの成果をあげた。</u></p> <p>【具体的な理由】研究開発内容③において、研究開発内容①、②で開発した基盤技術をベースとし、リアルタイムAI最適化に基づく省エネルギー志向型自動運転支援システムを開発し、東京都内の公道において実施した大規模走行実験において収集された複合車両走行IoTビッグデータを用いてシステム評価を実施した。また、開発システムにおける走行最適化アルゴリズムの使用により、実際の走行で測定された実測値に比べ、提案手法により燃費効率が約60%向上することが示された。さらに、国内企業との開発システムのフィードバックを通じ、将来的な車載IoTへのAI導入に向け、開発システムの軽量化・小型化に関する改</p>
---	---

	<p>良を行い、小型エッジデバイス (Raspberry Pi) へシステムの実装を行った。開発システムの改良と小型化により、提案システムは、従来の深層学習モデルベースの学習と比較し、単位時間あたりの消費電力量が約1/200倍まで削減（つまり、エネルギー量の99.5%を削減）できることが示された。</p> <p>【根拠】 図-0.11、1-7、査読付き論文（4, 11）</p>
--	--

サブテーマ1 目標	目標の達成状況
サブテーマが一つであるので、全体目標と同一である。	サブテーマが一つであるので、全体目標と同一である。

## 6. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

### Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細

#### (1) 誌上発表

##### <査読付き論文>

##### 【サブテーマ1】

- 1) Thinh Minh Do, Yasuko Matsubara, Yasushi Sakurai, Real-time Forecasting of Non-linear Competing Online Activities, Journal of Information Processing, Vol. 28, pp. 333-342, May 15, 2020.
- 2) Koki Kawabata, Yasuko Matsubara, Takato Honda, Yasushi Sakurai, Non-Linear Mining of Social Activities in Tensor Streams, ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD2020), pp. 2093-2102, Virtual Event, California, August 23-27, 2020. Acceptance Rate: 216/1279, 16.8%
- 3) 川畑光希, 松原靖子, 本田崇人, 櫻井保志, オンライン活動データストリームのための非線形モデル解析, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol. 14, No. 3, pp. 31-40, 2021年7月13日.
- 4) 中村航大, 松原靖子, 川畑光希, 梅田裕平, 和田裕一郎, 櫻井保志, 複合イベントストリームの特徴自動抽出, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.14, No. 4, pp. 24-35, 2021年10月14日.
- 5) 藤原廉, 松原靖子, 木村輔, 櫻井保志, 制御応答時系列データストリームにおける予測アルゴリズム, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.15 No.3 pp.87-98, 2022年10月13日.
- 6) Taichi Murayama, Yasuko Matsubara, Yasushi Sakurai, Mining Reaction and Diffusion Dynamics in Social Activities, ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM2022), pp.1521-1531, Hybrid Conference, Hosted in Atlanta, Georgia, October 17-21, 2022.
- 7) Kohei Obata, Yasuko Matsubara, Koki Kawabata, Yasushi Sakurai, Automatic Time-Series Clustering via Network Inference, 48th International Conference on Very Large Data Bases (VLDB) PhD workshop, Sydney, Australia, September 5-9, 2022.
- 8) Ren Fujiwara, Yasuko Matsubara, Tasuku Kimura, Yasushi Sakurai, C-Cast: A Real-Time Forecasting Model for a Controlled Sequence, ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM2022), pp.5112-5115, Hybrid Conference, Hosted in Atlanta, Georgia, October 17-21, 2022.
- 9) Akihiro Tanabe, Yasuko Matsubara, and Yasushi Sakurai, Partial Discharge Detection for Underground Transmission Lines Using Nonnegative Matrix Factorization, The 2022 IEEE International Conference on Big Data (BTSD), pp.3447-3454, Hybrid Conference, Osaka, Japan, December 17, 2022.
- 10) 小幡紘平, 松原靖子, 川畑光希, 中村航大, 櫻井保志, 時系列データの自動ネットワーク構造検出アルゴリズム, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.16 No.1 pp.1-13, 2023年1月13日.
- 11) Kota Nakamura, Yasuko Matsubara, Koki Kawabata, Yuhei Umeda, Yuichiro Wada and Yasushi Sakurai, Fast and Multi-aspect Mining of Complex Time-stamped Event Streams, The 2023 ACM Web Conference (WWW2023), Austin, Texas, April 30-May 4, 2023. Acceptance Rate: 365/1900, 19.2%



- 12) Koki Kawabata, Yasuko Matsubara, Yasushi Sakurai, Modeling Dynamic Interactions over Tensor Streams, The 2023 ACM Web Conference (WWW2023), Austin, Texas, April 30-May 4, 2023. Acceptance Rate: 365/1900, 19.2%

### <査読付き論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

### <その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

## (2) 口頭発表（学会等）

### 【サブテーマ1】

#### (招待講演発表)

- 1) 松原靖子, Nonlinear Dynamics of Information Diffusion in Social Networks, 第36回電気通信普及財団賞及び2020年度助成援助金贈呈式, テレコムシステム技術賞受賞者代表講演, 東京, 帝国ホテル, 2021年3月26日.
- 2) 松原靖子, Nonlinear Dynamics of Information Diffusion in Social Networks, 電気通信普及財団第一回 財団賞 特別講演・交流会, オンライン開催, 2021年5月28日.
- 3) Yasuko Matsubara, Real-time Modeling and Forecasting for Big Time-series Data: Theory and Industrial Challenges, Korea-Japan Database Workshop 2021 (KJDB2021), Online, December 3, 2021.
- 4) 松原靖子, 時系列ビッグデータのリアルタイム解析技術に関する研究, 第4回 キャタピラーSTEM賞 授賞式・特別講演, オンライン開催, 2022年2月25日.
- 5) 松原靖子, IoT ビッグデータのためのリアルタイム非線形解析技術, 総務省 ICT イノベーションフォーラム 2022 特別講演 成果展開推進賞, オンライン開催, 2022年12月14日.

#### (口頭発表)

- 6) 本田 崇人, 松原 靖子, 川畑 光希, 櫻井 保志, 大規模時系列テンソルからの長期イベント予測, 第12回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2020) 論文集, E5-3, 2020年3月2日-3月4日. (優秀論文賞, オンラインプレゼンテーション賞)
- 7) 入船恭彰, 松原靖子, 佐藤貴大, 有次正義, 櫻井保志, 共通パターンを用いた時系列データの弱教師ありセグメンテーション, 第12回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2020) 論文集, E6-3, 2020年3月2日-3月4日.
- 8) 川畑 光希, 松原 靖子, 本田 崇人, 今井 優作, 田嶋 優樹, 櫻井 保志, 大規模購買ログの時系列分析に基づくLTV予測, 2020年度人工知能学会全国大会 (第34回) 論文集, 4K2-GS-3-03, 2020年6月9日-12日.
- 9) 中村 航大, 松原 靖子, 川畑 光希, 梅田 裕平, 和田 裕一郎, 櫻井 保志, 複合イベントストリームのための多方向特徴自動抽出, 第14回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2022) 論文集, D21-1, 2022年2月27日-3月2日. (学生プレゼンテーション賞)
- 10) 佐藤颯, 松原靖子, 菅沼克昭, 陳伝トウ, 張政, 末武愛士, 若杉直樹, 櫻井保志, AEセンサーデータの時系列解析によるパワーモジュール寿命予測, 第14回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2022) 論文集, A43-1, 2022年2月27日-3月2日. (学生プレゼンテーション賞)
- 11) 村尾淳, 松原靖子, 佐藤颯, 櫻井保志, 半導体製造工程における稼働状態推定と設備故障予測, 第14回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2022) 論文集, A43-2, 2022年2月27日-3月2日.
- 12) 木村輔, 松原靖子, 川畑光希, 櫻井保志, 大規模疫病データストリームのための将来予測アルゴリズム, 第15回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2023) 論文集, 2b-1-1, 2023年3月5日-3月9日.

- 13) 藤原廉, 松原靖子, 木村輔, 櫻井保志, 制御応答時系列データストリームにおける予測アルゴリズム, 第15回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2023) 論文集, 2b-1-2, 2023年3月5日-3月9日. (学生プレゼンテーション賞)
- 14) 小幡紘平, 川畑光希, 松原靖子, 櫻井保志, 時系列テンソルデータのための将来予測, 第15回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2023) 論文集, 2b-2-2, 2023年3月5日-3月9日. (学生プレゼンテーション賞)
- 15) 塚本圭祐, 村山太一, 天方大地, 松原靖子, 櫻井保志, 原隆浩, Webデータにおけるパターンの自動抽出, 第15回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2023) 論文集, 4a-6-5, 2023年3月5日-3月9日.
- 16) 釣谷周平, 松原靖子, 水谷雅巳, 佐藤正彦, 櫻井保志, 時系列解析によるエンジン主軸受の摩耗予測, 第15回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2023) 論文集, 5c-8-1, 2023年3月5日-3月9日. (学生プレゼンテーション賞)
- 17) 村山太一, 松原靖子, 櫻井保志, 大規模Webデータにおけるキーワード・地域ごとの拡散パターン抽出, 第15回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2023) 論文集, 4c-9-3, 2023年3月5日-3月9日.

### (3) 「国民との科学・技術対話」の実施

#### 【サブテーマ1】

- 1) 大阪大学一般公開、いちょう祭、「人工知能一見る・学ぶ・考える・話すー」, (主催: 大阪大学, オンライン. 2021年5月2日-3日) にて成果紹介
- 2) 大阪大学一般公開、いちょう祭、「AIでわかる未来の予測・リアルタイムAI技術」, 主催: 大阪大学, 大阪大学産業科学研究所. 2022年5月3日-4日) にて成果紹介
- 3) 大阪大学一般公開、いちょう祭、「AIでわかる未来の予測・リアルタイムAI技術」, 主催: 大阪大学, 大阪大学産業科学研究所. 2023年4月30日-5月1日) にて成果紹介

### (4) マスコミ等への公表・報道等

#### 【サブテーマ1】

- 1) 松原靖子, AI でリアルタイムに未来予測。多くの企業も注目！ - 内閣府/河合塾 みらいぶっく「若手研究が世界を変える!」, 2020年9月17日.  
URL: <https://www.miraibook-research.net/wakate/s2121/>  
補足事項/掲載情報の概要: 当該研究開発における時系列ビッグデータのリアルタイム学習に関する開発技術について、「みらいぶっく(CSTI(内閣府/総合科学技術・イノベーション会議)のエビデンス事業企画)」において発表した。
- 2) 日刊工業新聞電子版, キャタピラー、STEM賞最優秀賞に松原准教授(阪大), 2022年12月24日.  
URL: <https://www.nikkan.co.jp/articles/view/00622771>
- 3) Business Insider Japan, 世界の優れた女性AI研究者262人。中国人は71人選出も大半が海外流出、日本からは2人リスト入り, 2022年3月15日.  
URL: [https://www.businessinsider.jp/post-251649?utm\\_source=headtopics&utm\\_medium=news&utm\\_campaign=2022-03-15](https://www.businessinsider.jp/post-251649?utm_source=headtopics&utm_medium=news&utm_campaign=2022-03-15)

### (5) 本研究費の研究成果による受賞

- 1) 本田崇人, 松原靖子, 川畑光希, 櫻井保志, 第12回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2020) 優秀論文賞, 大規模時系列テンソルからの長期イベント予測, 2020年6月4日.
- 2) 本田崇人, 情報処理学会コンピュータサイエンス領域奨励賞, 大規模時系列テンソルからの長期イベント予測, 2020年7月7日.
- 3) Yasuko Matsubara, ACM Recognition of Service Award, IPSJ/ACM Award for Early Career Contributions to Global Research, 2020年12月21日.
- 4) 松原靖子, 2020年度 情報処理学会 マイクロソフト情報学研究賞, 大規模時系列データのリアルタイム解析と将来予測に関する研究, 2021年3月18日.

- 5) Yasuko Matsubara, Yasushi Sakurai, B. Aditya Prakash, Lei Li, Christos Faloutsos, 電気通信普及財団 第 36 回テレコムシステム技術賞(入賞), Nonlinear Dynamics of Information Diffusion in Social Networks, 2021 年 3 月 26 日.
- 6) 松原靖子, 令和 3 年度大阪大学賞・若手教員部門, ビッグデータのためのリアルタイム解析技術に関する研究, 2021 年 11 月 25 日.
- 7) Yasuko Matsubara, 2022 AI 2000 Most Influential Scholar Honorable Mention in Data Mining, Outstanding and vibrant contributions to this field between 2012 and 2021, 2022 年 1 月 25 日.
- 8) 松原靖子, 第 4 回 キヤタピラーSTEM 賞(一般部門最優秀賞), 時系列ビッグデータのリアルタイム解析技術に関する研究, 2022 年 2 月 28 日.
- 9) 松原靖子, 令和4年度科学技術分野の文部科学大臣表彰「若手科学者賞」, 大規模時系列データのモデル学習と将来予測に関する研究, 2022 年 4 月 20 日.
- 10) 中村航大, 松原靖子, 川畑光希, 梅田裕平, 和田裕一郎, 櫻井保志, 第 14 回 データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2022) 最優秀インタラクティブ賞, 複合イベントストリームのための多方向特徴自動抽出, 2022 年 3 月 2 日.
- 11) 松原靖子, 令和 4 年度 総務省 戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 成果展開推進賞, IoT ビッグデータのための非線形解析システムの研究開発, 2022 年 12 月 14 日.
- 12) 佐藤颯, 松原靖子, 菅沼克昭, 陳伝トウ, 張政, 末武愛士, 若杉直樹, 櫻井保志, 第 14 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2022) 学生プレゼンテーション賞, AE センサデータの時系列解析によるパワーモジュール寿命予測, 2022 年 3 月 2 日.
- 13) 中村航大, 松原靖子, 川畑光希, 梅田裕平, 和田裕一郎, 櫻井保志, 第 14 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2022) 学生プレゼンテーション賞, 複合イベントストリームのための多方向特徴自動抽出, 2022 年 3 月 2 日.
- 14) 中村航大, 情報科学研究科長賞, 2022 年 3 月 24 日.
- 15) Ren Fujiwara, 31st ACM International Conference on Information & Knowledge Management, SIGIR student travel grants for CIKM 2022, C-Cast: A Real-Time Forecasting Model for a Controlled Sequence, 2022 年 10 月 17 日.
- 16) 中村航大, 2022 年度 情報処理学会 山下記念研究賞, 複合イベントストリームのための多方向特徴自動抽出, 2023 年 3 月 3 日.
- 17) 釣谷周平, 松原靖子, 水谷雅巳, 佐藤正彦, 櫻井保志, 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2023) 学生プレゼンテーション賞, 時系列解析によるエンジン主軸受の摩耗予測, 2023 年 3 月 9 日.

## (6) その他の成果発表

特に記載すべき事項はない。

#### IV. 英文Abstract

##### Development of Real-time AI Technologies and Ecological Driving Assistance System

Principal Investigator: Yasuko MATSUBARA

Institution: Mihogaoka 8-1, Ibaraki, Osaka 567-0047, JAPAN

Tel: +81 6 6105 6510 / Fax: +81 6 6105 6912

E-mail: yasuko@sanken.osaka-u.ac.jp

[Abstract]

Key Words: Big data analysis, Real-time AI, IoT data streams, Real-time modeling and forecasting, Ecological driving assistance system

This work aims to develop a new mining technology for automatic driving assistance system. In this study, we proposed an efficient mining approach based on real-time AI technology for energy conservation and CO2 emission reduction.

Three major contributions of this work are listed. (1) A new modeling method that can automatically extract various vehicle driving patterns for the IoT Big Data of multiple vehicles (e.g., information on vehicle driving, location, fuel efficiency/power consumption) collected from a large-scale in-vehicle sensor network was proposed. (2) A multi-way data stream mining algorithm for IoT Big Data was proposed, which could successfully extract the cause-effect relationships between temporal driving patterns and fuel efficiency information. We also developed a scalable algorithm for real-time processing, that can predict future driving patterns up to 500,000 times faster than the state-of-the-art modeling approaches. (3) An energy-saving automation support system based on real-time modeling and optimization of IoT Big Data was proposed. We sought technical feedback through collaboration with several industries and improved our system, implemented in a compact edge device, to reduce its computation cost. Energy resources and power consumption were reduced for the automatic driving assistant system using our modeling approach, thus confirming its efficiency and effectiveness.