

センター・オブ・イノベーション（COI）プログラム

終了報告書

研究開発期間：平成 25 年度～令和 3 年度

拠 点 名： 持続的共進化地域創成拠点

中核機関： 国立大学法人九州大学

プロジェクトリーダー	氏名	中村 祐一
	所属機関	日本電気株式会社
	部署	グローバルイノベーションユニット
	役職	主席技術主幹

公開版 令和 4 年 3 月 31 日

目次

エグゼクティブサマリー	i
A イノベーション創出に向けた活動実績	1
1 目指すべき将来の姿の設定	1
2 目指すべき将来の姿からのバックキャストिंग	4
3 アンダーワンルーフ	7
3.1 拠点体制	7
3.2 参画機関	8
3.3 拠点のマネジメント体制と仕組み・実績	8
4 研究開発テーマの成果	11
4.1 エネルギー部会	11
4.1.1 en① エネルギーシステムの脱炭素化施策の設計と実装およびコストエンジニアリング	19
4.1.2 en② 水素インフラ	33
4.1.3 en③ 定置用電源（革新的高効率発電システム）	43
4.1.4 en④ 移動体用電源（水素モビリティ・再エネ電気モビリティ）	49
4.2 モビリティ部会	55
4.2.1 mo① 協働・共有型モビリティシステムの開発	57
4.2.2 mo② MaaS 対応型マルチモーダル情報提供システムの開発	64
4.2.3 mo③ 道路維持管理支援システムの開発	72
4.3 情報科学部会	77
4.3.1 ict① 都市空間における見守りサービスの構築と実証	79
4.3.2 ict② ICT 等を活用したまちの賑わい創出	90
4.4 産業数学部会	101
4.4.1 mi① 数理解析基盤の開発	102
4.5 情報デバイス（平成 30 年度でテーマ終了）	109
4.6 科学技術イノベーション政策（平成 29 年度でテーマ終了）	113
4.7 研究開発全体の成果について（科学技術・学術上の新たな体系的知見等）	118
4.7.1 エネルギー部会	118
4.7.2 モビリティ部会	118
4.7.3 情報科学部会	118
4.7.4 産業数学部会	119
5 社会実装に向けた必要な対応	120
5.1 知的財産マネジメントの状況	120
5.1.1 知的財産保護の方針	120
5.1.2 知財成果	123
5.2 社会実装に向けた課題（規格標準化、規制対応、社会規範・倫理等）の抽出と対応	126
5.2.1 エネルギー部会	126
5.2.2 モビリティ部会	127
5.2.3 情報科学部会	128
5.3 マーケティング・試験的な取組の状況（必要に応じて記載）	129
5.3.1 エネルギー部会	129
5.3.2 モビリティ部会	134
5.3.3 情報科学部会	135
5.4 研究開発成果の多様な展開の状況（必要に応じて記載）	137
5.4.1 エネルギー部会	137
5.4.2 モビリティ部会	139
5.4.3 情報科学部会	140

B	イノベーションが連続的に創出される自立的なプラットフォーム構築に向けた活動実績..	142
1	自立的なイノベーション・プラットフォームの構築について	142
1.1	自立的なプラットフォームの構築に向けた拠点の強み・資産の形成状況	142
1.1.1	持続的共進化地域創成拠点のレガシーを継承するプラットフォームの全体	142
1.1.2	COI 後の活動	144
1.1.3	オープンイノベーションプラットフォーム OIP	149
1.2	産学連携を効果的にするルール・運営方法の工夫	153
1.3	自立的なプラットフォームの構想・設計・稼働の状況	155
1.3.1	九州大学「オープンイノベーションプラットフォーム（仮称）」	155
1.3.2	東京大学「エネルギー研究クラスター」	156
1.3.3	横浜国立大学「持続可能なモビリティシステム研究拠点」	160
2	若手を中心とする多様な人材の活躍促進について	162
2.1	次代を担う若手等の多様な人材の育成・活躍促進の状況	162
2.2	人材の育成・人材循環整理表	165

別紙 1 ロードマップ（FY2013～FY2021）

別紙 2 活動実績一覧

別紙 3 参画機関一覧

別紙 4 参加者一覧

別紙 5 研究開発テーマと個別研究開発課題の関係一覧

別紙 6 用語集

エグゼクティブサマリー

1 拠点の概要

「持続的共進化地域創成拠点」は、都市＝「まち」から得られる様々なデータを利用し、クリーンエネルギーを最大限に活用することで地球環境への負荷を極限まで低減(SDGs7&13)することをレバレッジとして、地域(都市と都市を取り巻く郊外)経済活性化と雇用創出、交通弱者への移動手段の提供により、あんしん・あんぜんで活力ある持続的地域創成(SDG11)を行うことを目指している。このような活力あるまちにおいては、社会的/経済的弱者に対する安価でアクセスしやすい地域サービスの提供(SDG10)が図られ、地域住民の外出が促進し健康面への配慮(SDG3)も可能になる。また、昨今の with コロナの時代においては、外出を自粛して閉じこもることによる経済的や健康的課題を解決するため、あんしん・あんぜんに外出が可能となる三密の回避を客観的手段によって実現する。

当拠点では、九州大学/東京大学/横浜国立大学を中心に、参画企業/地方自治体を含めた形で共進化委員会を形成し、PL/RL のマネジメントの下でエネルギー/モビリティ/情報科学/産業数学といった異分野技術の共進化を積極的に仕掛けていくことで、地域課題を解決する社会実装を次々に生み出し続けるイノベーションプラットフォームを構築する(SDG9)。

具体的には、下記に記す社会を実現する。

- (1) 新しいエネルギーサービスの普及、再生可能エネルギーの大幅な拡大(SDG7、SDG13)
- (2) 安全かつ安価で容易に利用できる持続可能な輸送システムへのアクセス提供(SDG11. 2)
- (3) あんしん・あんぜんで持続可能な社会 (SDG11. 7)

2 研究開発期間終了時の実現目標と達成状況

エネルギーについては、上記したように「新しいエネルギーサービスの普及、再生可能エネルギーの大幅な拡大」のため脱炭素化、水素関連技術開発を推進した。まず、脱炭素化施策としては「電気代そのまま払い」に取り組み、北海道下川町等 5 か所に社会実装を行った。また家電製品等を用いてインバランス補償を実現するシステムとして、燃料電池を用いた太陽光発電システムのインバランス補償の実証実験を大阪ガスと行い、当初の目標を達成できる見込みである。「電気代そのまま払いの経済的な波及効果の評価」、「電力系統全体からみた需給調整力のコスト推定」、「再生可能エネルギーの面的利用」について脱炭素化に向けた目標を達成した。水素関連では、水素ステーションシミュレータの実装を完了、「80%超の再エネ蓄エネ」を可能とする電極の開発にも成功した。250 kW級 SOFC ハイブリッドシステムの九大伊都キャンパスにおける実証運転により、高い安定性と耐久性を確認でき、社会実装に必要な規制緩和(常時監視を不要に)を達成した。

「移動体用電源」については 1W/cm² を超える発電を可能とする高効率かつ高耐久性な燃料電池システム開発、実証を行った。コストエンジニアリングにも取り組み水素製造コスト(30 円/Nm³ 以下)達成に至る技術要請を明らかにした。

モビリティについては、「安全かつ安価で容易に利用できる持続可能な輸送システムへのアクセス提供」のための開発を推進した。協働・共有型モビリティシステムである「とみおかーと」を収入/費用 ≥ 1.0 のシステムとして事業化の準備を完了することを目標とし研究開発を行った。横浜市金沢区富岡地区にて、社会実装実験を開始し、交通事業者および自治体との連携システムをより実用的なものに発展させ、さらに 2020 年は有償運行の実験を行い、小量乗合輸送サービスの事業性を検証した。また、「とみおかーと」を安全に運行する目的で「道路維持管理支援システムの開発」にも取り組み、道路点検支援アプリの社会実装完了し、横浜市内の他の地区への導入も順次検討されている状況であり、当初目標を達成した。また、車両については市民参加型デザインを通じた次世代電動カートのプロトタイプの制作と実証実験への投入を目標に開発を推進した。COVID-19 感染拡大により実証実験の遅延があったため、データの蓄積・分析等のための来年度の予算獲得を目指している。「MaaS 対応型マルチモーダル情報提供システム」については、異なる交通手段の組み合わせによるシームレス移動を支援するための情報提供と、人の移動に関する多様できめ細やかなデータの取得、および同データを活用した交通システムの設計と運用につながるアプリケーションを開発し社会実装した。COI プログラムの目標：「①人が変わった、②大学

が変わった、③社会が変わった」のうち、①については、4年間に渡る「とみおかーと」の実証実験を通じて産官公の強固な連携体制が構築され、大手の鉄道事業者と地元大学発ベンチャー（Local iST 株式会社）が連携しながら地域モビリティサービスの社会実装を進めるという、新たなオープンイノベーションの形態が実現した。②については、半学半民の Local iST がハブとなることで、持続可能なモビリティシステム研究拠点（以下、「モビリティ研究拠点」）に属する学生の実践研究現場への関与が大きく促進され、高度な専門的応用能力と異分野連携能力を兼ね備える「T 型」のイノベーション人材を育成する仕組みが生まれた。「社会が変わった」については、「とみおかーと」が坂道を走る姿がまちの日常的な風景となったことに加え、「とみおかーと」の取り組みを契機として居住者と地元企業と自治体の対話が進み、まちの将来ビジョンが策定され、それに基づく多様な住民主体のまちづくり活動が生まれるに至った。ポスト COI では、モビリティ研究拠点と Local iST が連携しながら、上述の新たな仕組みや活動をさらに発展・自立化させていく。

ICT 見守りについては「あんしん・あんぜんで持続可能な社会」を目指して「都市空間における見守りサービス」のため、第 1 フェーズにおいて大学キャンパスで実証実験を実施、第 2 フェーズにて準公共空間、第 3 フェーズにて公共空間へと段階的に発展拡張した。最終年度は、参画機関の日立製作所と共に検知精度をあげるため AI モデルの追加学習に取り組み、その際に利用する訓練画像はオープンデータとして公開し、本取り組みを広く世の中に広めていくことができた。

「まちの賑わい創出」については実計測データに基づく賑わい指標の評価を進め、BI ツールをパッケージソフトウェア化することで、COI 期間終了後の社会展開の土台とした。また、マイナンバーカードを活用した訪問者の追跡を可能とするトレーサブル空間を構築し、参画機関の NEC がトレーサブル空間としてカタログ製品化することを目標に開発を進めた。賑わいについては当拠点産業数学部会と共同で、賑わいの新しい指標を策定し、混雑と賑わいを区別できることを確認した。さらに、NTT ドコモとの連携でポイント付与による混雑回避の行動変容の可能性を示した。これらの成果は With コロナにおける感染拡大を防ぎながらのあんしん・あんぜんな経済活動再開にも大きく寄与する。

産業数学部会は数学を活用して他部会の技術課題の解決と加速に貢献した。まず、エネルギー関連では統計学に基づく電力需要予測ソフトを開発し提案した。参画機関 AIBOD において実装し、予測精度等の有効性を検証し、これまで提案された多数の機械学習の手法と比べて最も高精度に予測できることを確認した。まちの「賑わい創出」については、情報科学部会と共同で、人流から賑わいを定量化する指標を定義し、シミュレーションとベンチマークデータを用いてその指標の評価を行い、通行のための混雑と、賑わいの状態を識別できることを示した。「大規模アンケートに対するデータ解析手法の開発」については、モビリティ部会と連携し、都市計画に使われるアンケートデータの解析アルゴリズムを提案し、ある地域の交通のアンケートデータに適用し、無駄な分析を省略することに成功し分析精度を 2 倍程度向上させた。

3 特筆すべき研究開発成果の概要

エネルギーについては、PV に伴う電力システムのインバランスを HP（ヒートポンプ）給湯器の遠隔制御により補償する研究を行い、社会実証を進めた。本成果はエネルギー事業者からも高い関心を持たれ、科学技術の点からも新たな体系的知見として位置付けられると考えられる。また、水素燃料電池関連の取り組みにおいては、多様な電気化学デバイスに用いられる革新材料や各種プロトタイプセルの創製ができた。不可能を可能にする技術の開発によって、電気化学デバイスの新たな可能性を拓く基礎基盤成果を生み出すことができ、電気化学や水素工学の新たな学術創成にも貢献できた。エネルギーにおける「人が変わった、大学が変わった、社会が変わった」状況については、上記に示すように事業者の高い関心を集め、エネルギー分野における課題である電力システムのインバランスの解決に向けた取組みは上記の達成状況の項目にも記載のように社会の脱炭素化に具体的に貢献したと考えられ、今後も取組みを継続し社会の脱炭素化を進めていく。また、水素燃料電池関連の取り組みにおいては、COI によって創出された電気化学デバイスの新たな可能性を拓く基礎基盤成果が企業と連携した新たな国のプロジェクト（NEDO 3 件以上）や企業との個別プロジェクト（民間共同研究約 20 件）として社会実装に向けた次のステップに進んでおり、

エネルギーの諸課題の解決に向けて本 COI によって得られた大学間の連携、すなわち九州大学、東京大学、および COI 期間中にエネルギー部会の太友先生が教授として昇任された東京工業大学間の連携を継続して進めていく予定である。

モビリティ部会については、とみおか一との研究開発と実証実験を通じて収集した、起伏に富んだ実験対象エリアの居住者行動調査データを用いて、徒歩による鉛直方向の移動負荷を説明変数に組み込んだ鉄道駅端末トリップの交通手段選択モデルを構築し、交通手段選択における地形条件の影響を明らかにした。

ICT 見守りについては、「混雑と賑わいの違いとは何か、客観的に弁別・評価することは可能か」という問いに取り組み、市販のカメラのみを用いて通行しているだけの歩行者と、買い物やグループ行動などの活動を伴う歩行者との区別が可能な、細やかな賑わいの指標を提案した。提案指標の妥当性はシミュレーションにより検証された。これは With コロナ時代の混雑を避けながらの経済活動再開という課題の解決の一手段となりえるものである。

産業数学部会においては、電力需要予測の研究を推進、各時間帯で個別のモデルを構築し、そのあとに時間帯の関係性を考慮したモデルを提案し、多数の従来手法に比較して最も予測精度が高いことが確認できた。また、賑わいの研究では、カメラから得られる人の動きから補間により平面領域上のベクトル場を構成し、位相流体解析の手法を用いて特徴量を抽出したうえで、特徴量からなる時系列をクラスタリングする総合的な枠組みを開発した。さらにモビリティ部会と連携して、ある地域の交通のアンケートデータに新たなスパスモデリングに基づく因子分析モデルを適用、都市計画やそのための政策立案に活かせるデータ解析結果を提供することができた。

4 今後の課題と活動方針

エネルギー「電気代そのまま払い」等脱炭素化の残課題については COI 終了後は東京大学において、「エネルギーシステムのコストエンジニアリング」については東京工業大学において、また水素関連の残課題については九州大学において獲得済みの多く研究プロジェクト（NEDO 3 件以上、民間共同研究約 20 件）の下で、さらなる開発を進める予定であり、また 3 大学の連携も継続することとしている。

モビリティについては「協働・共有型モビリティシステムの開発」、「MaaS 対応型マルチモーダル情報提供システムの開発」、「道路維持管理支援システムの開発」については、横浜国大および Localist において残課題の開発推進を行う。また、COVID-19 感染拡大により発生した実証実験の遅延について来年度の予算獲得を目指して検討を継続する。

ICT 見守りについては九州大学において with コロナ時代におけるあんしん安全と経済活動の共存への対応を含めて活動を COI で築いた関連企業や福岡市などの自治体の協力のもと継続する。特に来年度以降は開発した技術を見守りから行動変容へとさらに発展させ、with コロナ時代への対応としてマイナンバーカードやワクチンパスポートなどの登録した人の追跡を可能として、クラスターへの立ち寄りの有無、感染者の追跡と組み合わせた濃厚接触者の自動特定や、都市デザインやインセンティブを利用した人々の行動の変容などを計画する。

産業数学部会においても COI で開発した電力需給予測等の技術の更なる発展のため、東京大学、横浜国立大学、九州大学の COI 後のプラットフォーム等と連携し研究を継続するとともに、産業数学の他の研究課題における利用拡大と産業数学での知見を活用した新しい学理の創出を目指す。

これまで 9 年間にわたって、九州大学、東京大学、横浜国立大学、及び、関連企業と関連自治体の連携によって活動してきた持続的共進化地域創成拠点は、COI 終了後においても、そのアンダーワンルーフを維持して連携を継続発展させることにより「自立的なプラットフォーム」を構築する。このアンダーワンルーフ形成のため「持続的共進化 COI 研究会」を九大で新たに創設するオープンイノベーションプラットフォーム (OIP) 内に設立し、知財などの基本的なサービスの他、これまで築いてきた連携活動を発展させるための支援を行うとともに、アンダーワンルーフにおけるバックキャスト型オープンイノベーションの知見、企業や自治体の連携の経験を OIP はじめ、東大、横浜国大のオープンイノベーション関連組織へ還元させる。現在のモビリティ、

ICT 見守り、エネルギー、及び、これらの活動に新たな価値を提供してきた産業数学は、新規の組織を立ち上げ、または、既存のプラットフォームと一体化して活動を継続するが、上記の持続的共進化 COI 研究会がこれらの活動を束ねて連携活動のマネジメントの役割を担う。

A イノベーション創出に向けた活動実績

1 目指すべき将来の姿の設定

【フェーズ1】2015年度から【フェーズ2】2年目の2018年度まで

【研究開発概要】

・人類社会はこれまで環境変化に対し多様化と共進化（共生・進化）によって発展してきたが、近年急激に進む地球規模の環境変化、人口問題、国際化などにより、従来の共進化のスピードを超えた問題が顕在化してきている。都市部では交通渋滞が頻発し、市民へのサービス性を低下させ、環境汚染と経済ロスを発生させている。これらの問題を解決するため、本拠点ではヒト／モノの自由で効率的なモビリティ（移動・配送）を中心とした新たな都市OS（オペレーティングシステム）の開発を目指す。

都市OSとは、外国人・高齢者・障害者等を含む多様な住民、訪問者へ平時・災害時を問わず置かれた状況に応じて安全・安心をサポートすべく最適化されたサービスを提供する情報通信システム（ICT）基盤である。都市OSを構成する要素技術としては、ビッグデータ・オープンデータ管理技術、サイバー・セキュリティ技術、現代数学を駆使した最適化技術、有機ELデバイス・燃料電池・センサーなどの先端デバイス、これらを包括的に制御するマネジメントシステムを含む都市OSソフトウェアなどがある。加えて目標とする最終ビジョンを見据えた、技術イノベーションに基づく社会政策デザインを実施することより、過去の技術主導の研究開発では成し遂げられなかった社会実装の実現を図る。また標準化、汎用化された都市OSのデータ構造、上位・下位レイヤ・インタフェース公開により新しいアプリケーションやデバイスが開発・事業化される可能性を高めることができる。これによりベンチャー開拓や企業による新規事業創出の基盤作りを図る。

現状の都市OSは組織・業務ごとの縦割りの個別最適で開発されたシステムであり、データの共有・互換性、機能拡張やメンテナンスの観点から効率の悪いシステム構造となっている。このような問題を解決し、都市のスケールに応じて拡張可能なスケーラブルOSを実現することで、既存のインフラ・社会的制約から脱却した革新的な情報通信システム基盤を国内のみならず世界の都市で実装する。最終的には、性別・年齢・国籍等にかかわらず全ての人々がいきいきと活動し、いつでも、どこでも自由に移動できる安心・安全で豊かな活気ある共進化社会を実現させる。

【研究開発期間終了時の達成目標】

（1）都市OS社会実装による投資効率化と市民サービス向上

- ・標準化、汎用化された情報通信システム基盤の実現、社会実装により都市の変化に応じた機能拡張やメンテナンス費用削減、投資効果拡大
- ・ビッグ・オープンデータ共有、数学理論により最適化された交通・物流マネジメントサービスの提供
- ・有機ELパネル・燃料電池・センサーなどの先端デバイスを活用した新しい都市サービスの実現・このような社会システム基盤を構築することで、多様な市民や来訪者に対し安心、安全で効率性の高い市民サービスを提供する。

（2）新産業創出

- ・標準化された都市OSのデータ構造、上位・下位レイヤ・インタフェース公開による新しいアプリケーションやデバイスの開発・商品化・事業化を促進する。
- ・結果としてのベンチャー開拓・起業や企業による新規事業創出の基盤作り
- ・福岡市、横浜市などで都市OSの社会実装を図り、新産業創出のための社会基盤を形成する。

（3）都市OSの世界展開

- ・都市のスケールに応じて拡張可能なスケーラブルOSを実現することで、既存のインフラ・社会的制約から脱却した革新的な情報通信システム基盤の実装、展開を国内のみならず世界の都市で実施する。

（4）共進化社会の実現

- ・最終的には、我が国における少子高齢化に伴う労働力人口の減少と、それに起因する富の減少に伴う社会インフラの維持困難や行政サービスの劣化など、社会そのものの持続性に深

刻な影響を与える問題の解決につなげる。本システムはこれまで充分活かされていなかった女性、高齢者、外国人などの社会貢献を高め、社会の活力維持を図ることを目指す。性別・年齢・国籍等にかかわらず全ての人がいきいきと活動し、いつでも、どこでも自由に移動できる安心・安全で豊かな活気ある共進化社会を実現する。

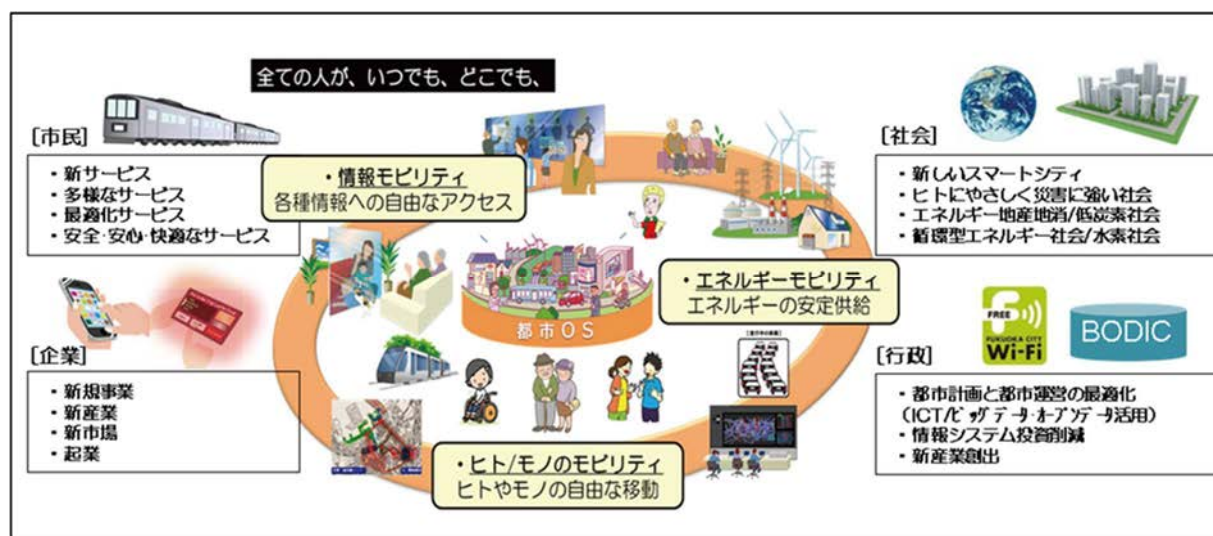


図 1.1 共進化社会システム創成拠点ビジョン図

【フェーズ2】2年目の2018年度から【フェーズ3】まで

しかし、フェーズ2中間時点においても目標達成の見通しが立たなかったため、拠点内での議論やビジョナリーチームとの議論を重ね、2019年度より下記の「真のエネルギー地産地消とあんしん・あんぜんで活力ある持続的地域創成」を行うよう、再度バックキャストを行うことにより研究課題を見直した。

これに伴いH30(2018)年8月1日付けで拠点名を「共進化社会システム創成拠点」から「持続的共進化地域創成拠点」に変更した。

「持続的共進化地域創成拠点」は、クリーンエネルギーを最大限に活用することで地球環境への負荷を極限まで低減(SDGs7&13)しながら、同時に地域(都市と都市を取り巻く郊外)経済活性化と雇用創出、交通弱者への移動手段の提供により、あんしん・あんぜんで活力ある持続的地域創成(SDG11)を行うことを目指している。また、それらを通して、地域住民の健康面への配慮(SDG3)や社会的/経済的弱者に対する安価でアクセスしやすい地域サービスの提供(SDG10)も可能になると考える。

このような地域創成を実現するために、当拠点では地域と技術/制度の共進化という考え方を最大限に活用する。地域課題が技術/制度の進化を促し、進化した技術/制度により地域課題が解決されることで地域が進化する、また、ある技術/制度の進化により他技術/制度の進化が後押しされ、それらによりさらに地域課題の解決が進むという考え方である。

当拠点では、九州大学/東京大学/横浜国立大学を中心に、参画企業/地方自治体を含めた形で共進化委員会を形成し、PL/RLのマネジメントの下でエネルギー/モビリティ/情報科学/産業数学といった異分野技術の共進化を積極的に仕掛けていくことで、地域課題を解決する社会実装を次々に生み出し続けるイノベーションプラットフォームを構築する(SDG9)。

具体的には、下記に記す社会を実現する。

(1) 新しいエネルギーサービスの普及、再生可能エネルギーの大幅な拡大(SDG7、SDG13)

真のエネルギー地産地消に向けて、系統安定性と経済性・環境性を考慮したエネルギー施策確立と社会実装、再生可能エネルギーを活用した水素システム、革新的高効率燃料電池システム、移動体用燃料電池の高耐久高出力化・実装を実現する。

(2) 安全かつ安価で容易に利用できる持続可能な輸送システムへのアクセス提供 (SDG11.2)

マルチモーダル情報提供システムによる人と車の誘導、車両とハブ空間のリデザインによる多機能な地域拠点の形成、自家用車への過度な依存から脱却するための協働・共有型モビリティシステム、安全な道路インフラ保持のための道路維持管理システムを実現する。

(3) あんしん・あんぜんで持続可能な社会 (SDG11.7)

都市空間における見守りサービス、生活センシングに基づく情報発信による快適な生活を実現する。

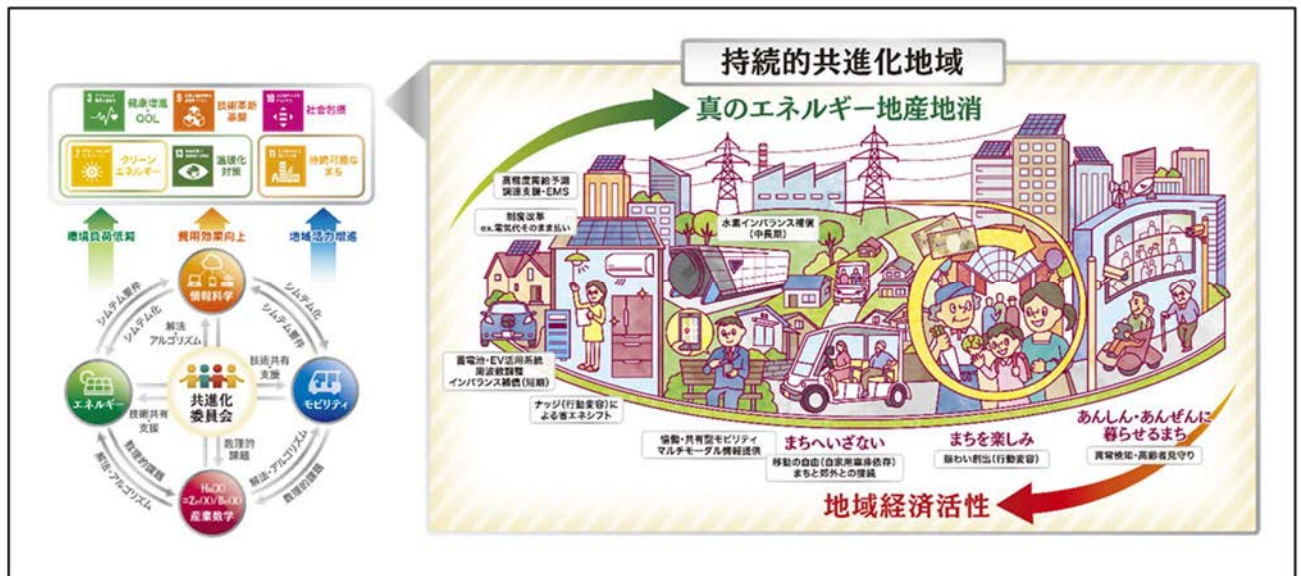


図 1.2 持続的共進化地域創成拠点ビジョン図

2 目指すべき将来の姿からのバックキャストिंग

プロジェクト開始のH25（2013）年度からフェーズのH30（2018）年度までは「1. 目指すべき将来の姿の設定」において述べたように「共進化社会システム創成拠点として」バックキャストに基づき、都市OS（オペレーティングシステム）の開発を目指すこととした。

しかし、フェーズ2中間時点においても目標達成の見通しが立たなかったため、拠点内での議論やビジョナリーチームとの議論を重ね、H30（2018）年度に下記の「真のエネルギー地産地消とあんしん・あんぜんで活力ある持続的地域創成」を行うよう、再度バックキャストを行うことにより研究課題を見直した。

目指すべき将来の姿からバックキャストを行い、真のエネルギー地産地消と地域経済活性を実現するために、部会毎に研究テーマを設定するとともに、エネルギー、モビリティ、情報科学、産業数学チームが分野を超えて連携し、共進化をもたらすよう下記の研究を推進する。各部会テーマと共進化テーマを図2.1に示す。

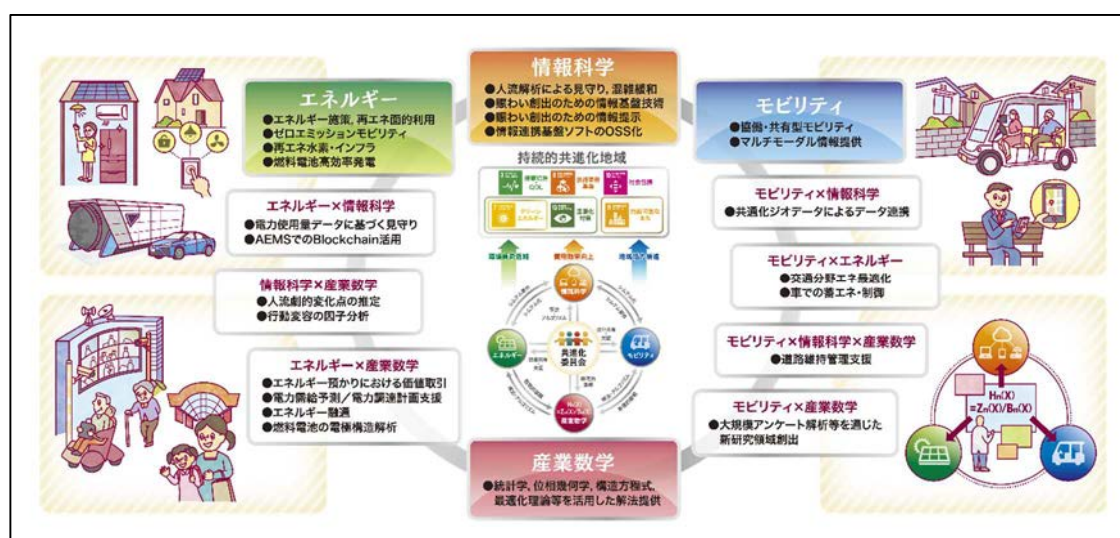


図 2.1 拠点全体概要図

本拠点の全体概要を図2.1に示す。

1.1 拠点の全体概要において示したように、真のエネルギー地産地消と地域経済活性を実現するために、エネルギー、モビリティ、情報科学、産業数学チームが分野を超えて連携し、共進化をもたらすよう下記の研究を推進する。

（1）エネルギー

地球温暖化に伴う異常気象、海面上昇、洪水、食糧不足、環境難民増加など地球規模の課題に立ち向かうために主に水素エネルギーの分野を中心に、産学官と地域が一体となったエネルギー研究を推進するとともに、未来社会のエネルギーシステムを構想し、技術・産業・社会のパラダイムシフトを先導する。未来の理想的なエネルギーサービスコンセプトの提案を目指して、2050年の温室効果ガス（GHG）排出量の80%削減に資する革新技術とそれらを使いこなす社会システムの実現を他の部会とも連携して推進する。具体的には、九州大学において水素インフラ、高効率発電システム、ゼロエミッションモビリティの革新技術創出と社会実装を、また、東大サテライトにおいては、エネルギー・ICT関連技術革新と社会経済制度の革新の統合により、民生部門の省エネ、低炭素化を抜本的に進める。

A イノベーション創出に向けた活動実績
2 目指すべき将来の姿からのバックキャスト

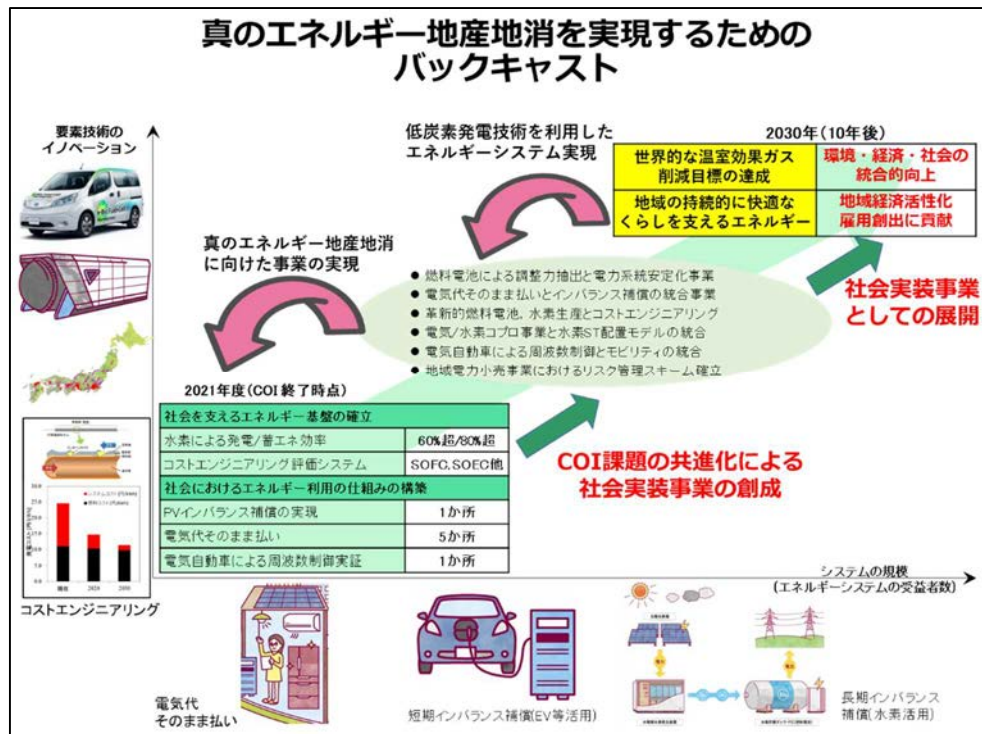


図 2.2 真のエネルギー地産地消を実現するためのバックキャスト

(2) モビリティ

SDGs の観点で「移動困難を包摂し、安心、安全に無理なく利用できる、持続可能なモビリティの実現」を目指す。人口減少、高齢化かつ環境重視の社会を生き生きと持続させることを目的に、費用効果的で環境負荷が小さく、すべての人々が無理なく利用できる「スマート&マルチモーダル・モビリティシステム」の研究開発を行う。情報提供による人々のかしこい移動手段の選択支援、自家用車に代わり得る移動手段の選択肢の提供、そして移動の基盤となる道路インフラの安全性の保持を実現するための包括的な取り組みを特徴とする。

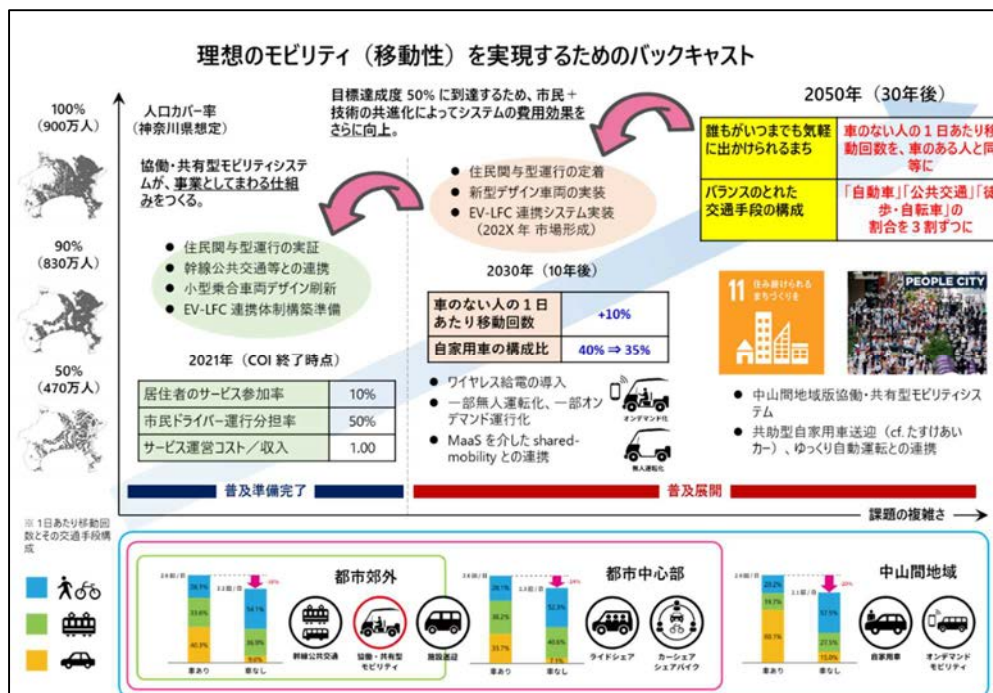


図 2.3 理想のモビリティ（移動性）を実現するためのバックキャスト

(3) 情報科学

多様な人々が楽しく安心して生活し、社会の活力が維持される社会環境の構築を目指して、安心、安全を実現する市民や高齢者等の見守り、人流センサー等の新しいデバイスを活用した賑わいの創出に関する研究開発を行う。また、これらのサービス構築に加えて、本拠点内で開発される各種サービスの性能向上に資するよう、エネルギー／モビリティ／産業数学との共進化の促進にも取り組み、データ流通を支援する情報基盤、機械学習を利用した異常検知、深層学習等による画像データの解析、様々なサービスでの活用を想定したデバイスの研究を推進する。

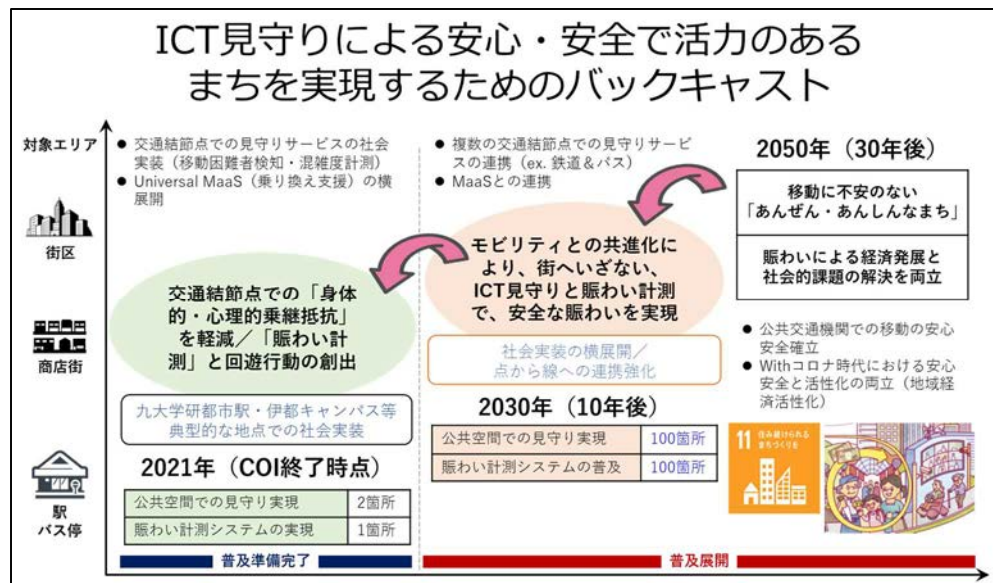


図 2.4 ICT 見守りによる安心・安全で活力のあるまちを実現するためのバックキャスト

(4) 産業数学

計測や通信技術の進歩によって日々収集される多様かつ大量のデータを高速に解析し高精度に予測を行うことは、持続的で活力ある地域社会を実現するために極めて重要である。産業数学では、現代数学のノウハウを取り入れたデータの利活用技術を開発して、エネルギー／モビリティ／情報科学の研究開発・社会実装を支える。ビッグデータを扱う統計学と機械学習の組み合わせによる電力需要量予測・電力調達計画支援や大規模アンケート調査解析に基づく暮らしやすいまちづくり支援、また、住民に適切な行動変容を起こさせるため、トポロジーによる高次元写像可視化技術の開発等を行う。

3 アンダーワンルーフ

3.1 拠点体制

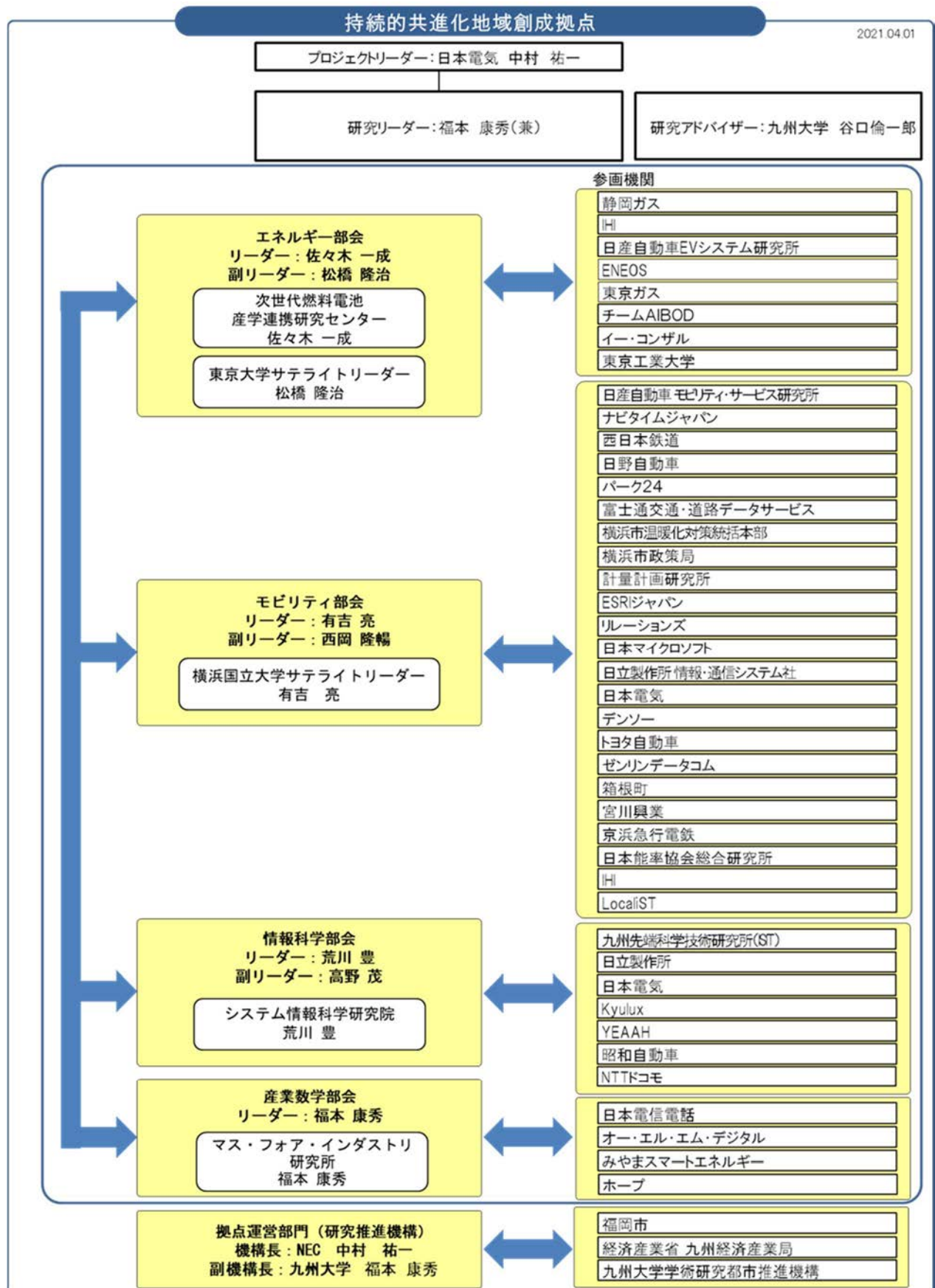


図 3.1 拠点体制

3.2 参画機関

※一覧は別紙3「参画機関一覧」参照

3.3 拠点のマネジメント体制と仕組み・実績

(1) 拠点マネジメント体制

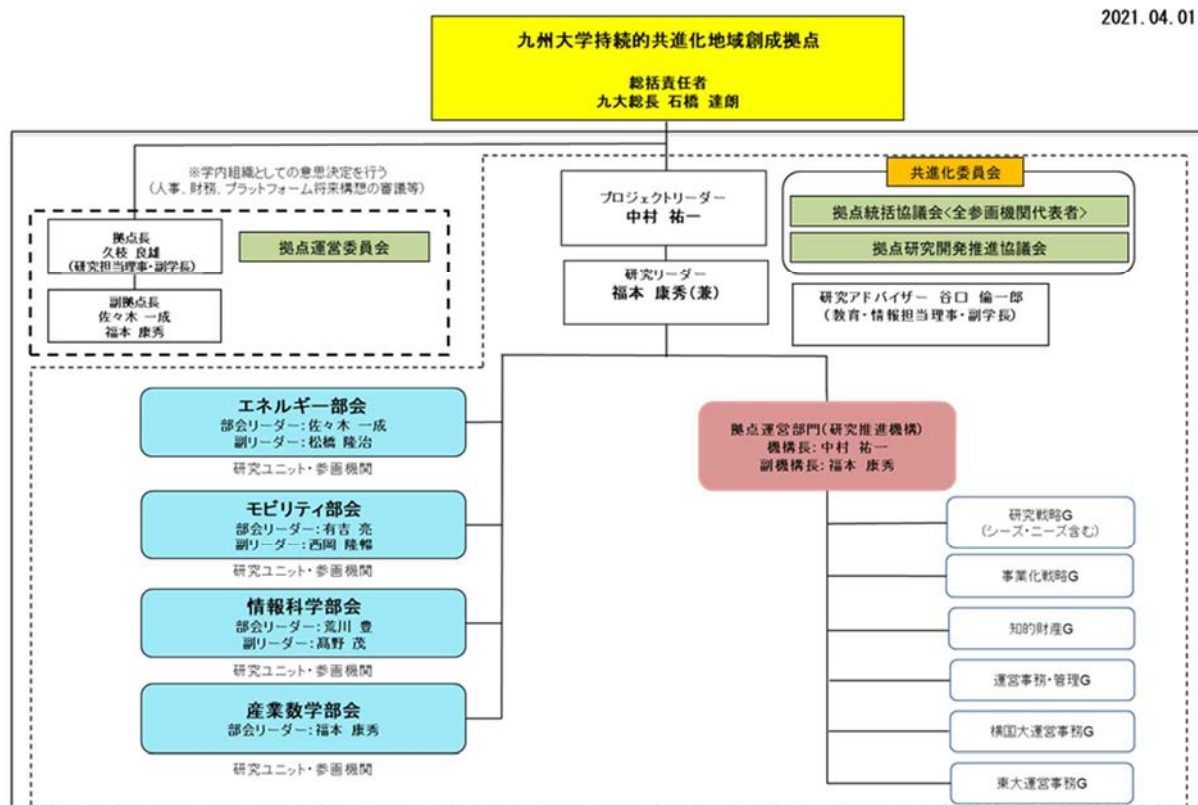


図 3.2 拠点マネジメント体制

(2) PL、RL による拠点マネジメントの仕組み・手法と実績等

①共進化委員会

エネルギー、モビリティ、情報科学、産業数学など異なる領域の研究者が交わることで“共進化”が継続的に生まれる「共進化委員会」を設置し、これをベースに下記の特徴を持たせることにより、イノベーションが連続的に創出される、自立的なプラットフォームの設立準備をすすめている。

- ・社会実装のため産業界からのコンソーシアムへの参画
- ・学内の先端的研究組織との連携
- ・産業界やサテライト機関の研究者の常駐スペース確保
- ・プロジェクトごとに産業界からプロジェクトリーダーを招致
- ・学内より最適任者をリサーチリーダーに選任
- ・プロジェクトマネジメント、知財戦略・管理、企業との契約等、組織対組織型の研究開発のためのマネジメント体制整備

本共進化委員会には、下記に示す従来の研究開発推進協議会、拠点統括協議会等も含み、原則1回/月の開催とする。

①-1 拠点統括協議会

本拠点においては産学官の連携を推進するため全研究ユニットおよび全参画機関が参加する拠点統括協議会を最低年1回開催する。また、プロジェクトリーダーが認めた場合、拠点統括協議会を書面会議によって行なわれることがある。

拠点統括協議会のミッション、構成員等は以下の通りである。

- ・ 拠点での運営方針、研究計画（年度、長期等）、成果等についての報告及び意見交換
- ・ 構成員：プロジェクトリーダー、研究リーダー、研究ユニット長、研究サテライト及び参画機関（企業等）の代表者

①-2 拠点研究開発推進協議会

拠点におけるユニット間連携を推進するために本拠点では、拠点研究開発推進協議会を設置し、センター・オブ・イノベーション(COI)拠点の中核組織として機能させる。協議会のミッション、構成員等は以下の通りである。

- ・ 拠点での各種方針、研究計画（年度、長期等）についての協議
- ・ 年度末（2月）、中間（10月）、その他プロジェクトリーダーが必要とするとき。
年3～4回開催
- ・ 構成員：プロジェクトリーダー、研究リーダー、研究ユニット長、研究サテライトの代表者、拠点運営部門から数名

②部会リーダー会議

拠点の活動を推進するために部会リーダー会議を定期的に行い、拠点の主要課題の議論、重要事項の意思決定を行う。

- ・ 拠点での各種方針、研究計画（年度、長期等）についての協議
- ・ 原則として毎月1回開催
- ・ 構成員：プロジェクトリーダー、研究リーダー、拠点長、部会リーダー、副リーダー、拠点運営部門メンバー。また議題によって部会リーダーが必要と判断する部会メンバーも参加。

③拠点運営委員会

中核機関の学内組織としての意思決定を行う機関であり、以下の役割、構成である。

- ・ 拠点の重要事項（人事、財務等）の審議
- ・ 委員長は拠点長とし、委員は拠点外部の者を含め構成
- ・ 委員（5名）：拠点長、副学長から2名、研究・産学官連携推進部長、プロジェクトリーダー
- ・ 2018年度からミッションを「九州大学内部に関する事項の審議とともに将来構想の審議」に変更。また、「イノベーション研究センター設立準備ワーキンググループWG」を設置し、自律的なプラットフォームの将来構想の検討を開始することとした。メンバーは、拠点長（RL 兼務、産学官連携担当理事）、PL、研究・財務担当理事、研究アドバイザー（施設担当理事）、企画担当理事、研究・産学官連携推進部部長、及び必要に応じて関連部局責任者。

④拠点運営部門（研究推進機構）

本拠点の運営支援等の中核機能となる拠点運営部門は、将来の産業化を見据えた研究開発活動の研究戦略・企画等をサポートするとともに、ビジョナリーチームとの連携窓口となる。拠点運営部門長（研究推進機構）については、プロジェクトリーダー（PL）が機構長、研究リーダー（RL）が副機構長を務める。拠点運営部門は、研究戦略（シーズ・ニーズ探索機能を含む）、

事業化推進、知的財産、運営事務・管理の4つのグループで構成され、以下の機能を持たせる。

- 研究戦略グループ（シーズ・ニーズ探索機能を含む）：
 - ・ 研究開発活動の基本的な研究戦略・企画等の策定、
 - ・ 研究開発活動の進捗管理（改善・見直し等を含む）
 - ・ ビジヨナリーチーム及び構造化チームとの連携・調整窓口
 - ・ デザイン思考等を活用した対話型ワークショップの企画・実施
 - ・ 新たなシーズ・ニーズ調査及び研究開発課題等の探索
- 事業化推進グループ：
 - ・ 事業化、社会実装を見据えた研究開発実行計画（ロードマップ等）の策定
 - ・ 広報戦略策定及び研究成果の情報発信
 - ・ 学外組織（JST、大学、研究機関、企業、自治体等）及び学内既存組織（各部局、事務局、学術研究・産学官連携本部等）との連携・調整窓口
 - ・ 国際展開の支援
- 知的財産グループ：
 - ・ 知財戦略策定
 - ・ 知的財産の創造・維持管理・活用等
- 運営事務・管理グループ：
 - ・ 拠点の人員・予算・施設利用等の調整
 - ・ 人事、経理、庶務、施設・設備管理等の各種事務

それぞれのグループには、九州大学において産学官連携の推進、知的財産の創出・維持管理・活用を担当している「産学官連携本部」及び全学的な研究戦略立案を担当している「研究戦略企画室」のコーディネーター及びリサーチ・アドミニストレーターを一部兼務させる。このことにより、本拠点の運営に九州大学が蓄積してきた各種の専門的なノウハウが活かされるとともに、本拠点と大学の本部機能との効果的・効率的な協働が図れる。

・ ユニット間連携の推進

拠点運営部門が中心となり連携を推進する。

（１）ホームページの活用によるユニット間連携、情報共有

九州大学 COI ホームページにより対外的な情報発信を行うと同時にユニット間の情報共有ツールとして整備を行う。具体的には拠点メンバーのみに付与される ID、パスワードにより九大 COI メンバーは全体の進捗、また他ユニットの研究開発状況やワークショップ等のイベントの情報を共有することができる。現状上記の仕組みにより情報の共有を図ることが可能であり、今後更に有効活用することになっている。

（２）定例会による情報共有

拠点運営部門内では原則的に毎週定例会議を開催し、メンバー間の情報共有を図る。また、研究ユニット内部の定例会に拠点運営部門メンバーも参画し、当該ユニットの研究状況や課題等の共有、また拠点運営部門からプロジェクト全体の情報を共有するしくみを構築している。全てのユニット、サテライトとの情報共有を更に推進するため仕組み面での改善を図る。

（３）部会進捗会議

エネルギー、モビリティ、情報科学、産業数学の各部会において毎月１回実務担当者における進捗会議を開催し、各研究テーマの進捗確認を行う。

また、部会間にまたがった連携については不定期で該当の部会間で実務担当者による進捗確認会議を実施する。

4 研究開発テーマの成果

4.1 エネルギー部会

エネルギー部会の概要

エネルギー部会は、本 COI が目指す持続的共進化地域の創生に向けて、その柱の一つである「真のエネルギー地産地消」の達成を部会の目標として掲げ、「地域経済活性」にも貢献する取り組みを進めてきた。九州大学拠点が要素技術開発を中心としたハード側の研究開発、東京大学サテライト（および東京工業大学）がエネルギーマネジメントとコストエンジニアリングを中心としたソフト側の研究開発を役割分担し、お互いに密に連携しながら力を合わせて、エネルギー部会の取り組みを着実に進めてきた。

本 COI では、フェーズ3から「持続的共進化地域創成」を拠点ビジョンに掲げており、「真のエネルギー地産地消」と「地域経済活性」を両輪のミッションに掲げている。「真のエネルギー地産地消」への貢献はもちろん、「地域経済活性」につながる「安心、安全で活力あるまち」においてもエネルギーは欠かせない共通基盤となる。図 4.1.1に示すように、地域が地域のエネルギーを賄えるようになれば、地域外に流失していたエネルギー代金が地域に還流し、地域に活力が戻り、世界的なカーボンニュートラルの潮流にも対応しながら、地域経済活性化や雇用創出につながる。このミッション実現のためにも、主なエネルギーキャリアである電気の多くを地域の再生可能電力で賄いながら、余る再生可能エネルギーは水素に換えて活用し、さらに地域で自ら発電し、同規模のエネルギーを使っているモビリティ分野でも地域のエネルギーを活用するゼロエミッションモビリティを実現することで、研究課題 en①～en④の取り組みが本拠点ビジョンの「真のエネルギー地産地消」と「地域経済活性」につながる。エネルギー部会の取り組みは自立化しているため、本事業終了後も、本拠点ビジョンの実現や共進化に引き続き貢献できる。

COI拠点ビジョンとの関係:エネルギー研究

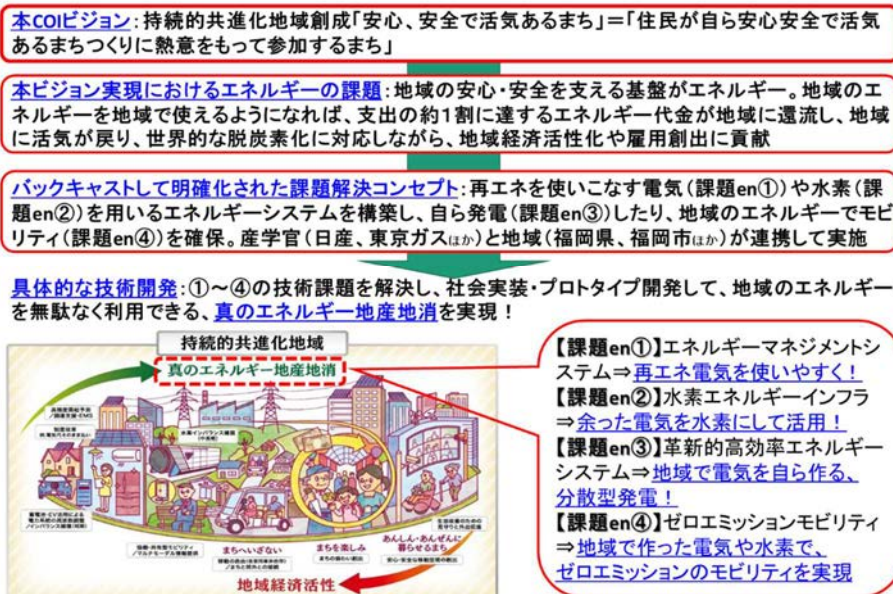


図 4.1.1 本 COI の拠点ビジョンとエネルギー研究の関連性

エネルギー部会では、世界最先端の研究を全員が常に目指しているが、社会的なアウトカムは図 4.1.2のようにまとめられる。課題 en①で取り組んだエネルギーマネジメントシステムは地域の電力を安心して使えることにつながる。コストエンジニアリングは、本事業で開発する多様なエネルギー技術について、社会実装に欠かせない経済性を定量的に明確化する。課題 en②は、変動が激しく、同時同量の制約で電力系統に接続できない余剰の再生可能エネルギーを水電解で化

学的なエネルギー媒体である水素に換えて、特にモビリティなどの非電力分野の脱炭素化を可能にする。課題 en③の革新的高効率エネルギーシステムは、集中型から分散型への地域主導のエネルギーシステムへの転換を可能にし、オンサイトでの電熱併給や高効率化によって地域におけるエネルギー支出を低減し、地域経済活性化につながる。定置用エネルギーと並んで地域の経済的な負担となっているモビリティを、地域の再エネ電力で賄う「再エネ電気モビリティ」や、余剰の再エネ電気から作った再エネ水素で賄う「再エネ水素モビリティ」で行うことで、本拠点が目指す「持続的共進化地域」の創成につながる。このように、課題 en①～④は、持続的共進化地域創成の根幹を担い、「真のエネルギー地産地消」と「地域経済活性」を掲げる本拠点のビジョンの実現に貢献するものである。

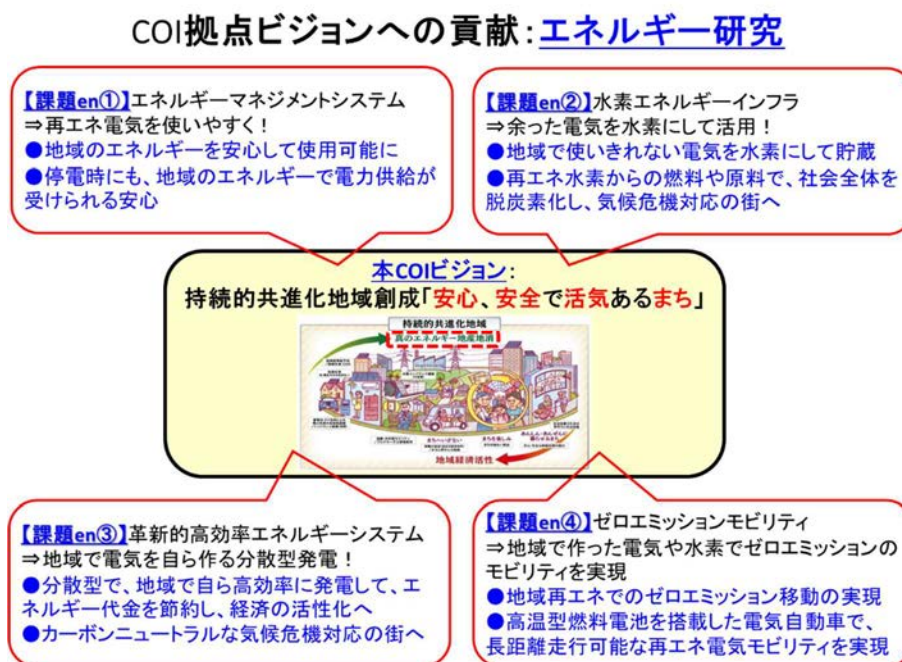


図 4.1.2 本 COI の拠点ビジョンへのエネルギー研究の貢献

9年間にわたる研究開発においては、3年ごとの各フェーズで、長期戦略的に研究を着実に進めてきた。フェーズ1では「真のエネルギー地産地消」のためのコア技術の社会実装を目指して、多岐にわたる革新的な要素技術シーズの創製に注力しながら、世界最先端の研究施設群を自助努力で構築し、本研究グループの要素技術・評価技術を活用した大型燃料電池システムの実機実証と規制見直しなどの社会実装に向けた取り組みを開始した。伊都キャンパスでの運転試験データに基づいて大型燃料電池システムの国の常時監視規制が見直され、国内での商用化のみならず、海外展開も始まっている。

引き続きフェーズ2では、革新要素技術の確立と積極的な特許出願や論文発表、フェーズ1で抽出された技術課題の解決に資する要素技術開発を進めた。また、フェーズ2で開発された革新的な材料・デバイスを社会実装させるために欠かせない、実作動環境を想定した耐久性・信頼性に関する研究を順次、開始した。

フェーズ3においては、「真のエネルギー地産地消」に向けた社会実装研究に重心をシフトさせながら、外部資金獲得による研究活動の自立化をいち早く達成した。COI 資金の数倍の外部研究資金獲得で自立化と研究加速を実現しながら、「選択と集中」を徹底した。VL 意見書の指摘に沿って、本 COI 事業の期間内の社会実装・プロトタイプ開発に COI 研究を集中させ、他方、ポスト COI での社会実装を予定する次世代燃料電池などの革新技術研究は COI 事業外の研究プロジェクトに順次移行させてきた。

他部会とのアンダーワンルーフの取り組みも着実に進めてきた。本 COI の特徴である産業数学との連携については、特に数学が重要な役割を果たすエネルギーマネジメント分野で、変動の激しい再生可能エネルギーの需要予測などのユニークな取り組みにつなげた。情報科学部会との連携で、人口分布や交通量分布などのビックデータを活用する水素ステーションの最適配置シミュレーターが社会実装され、国内の水素ステーション・ネットワークの配置検討に実際に使われている。

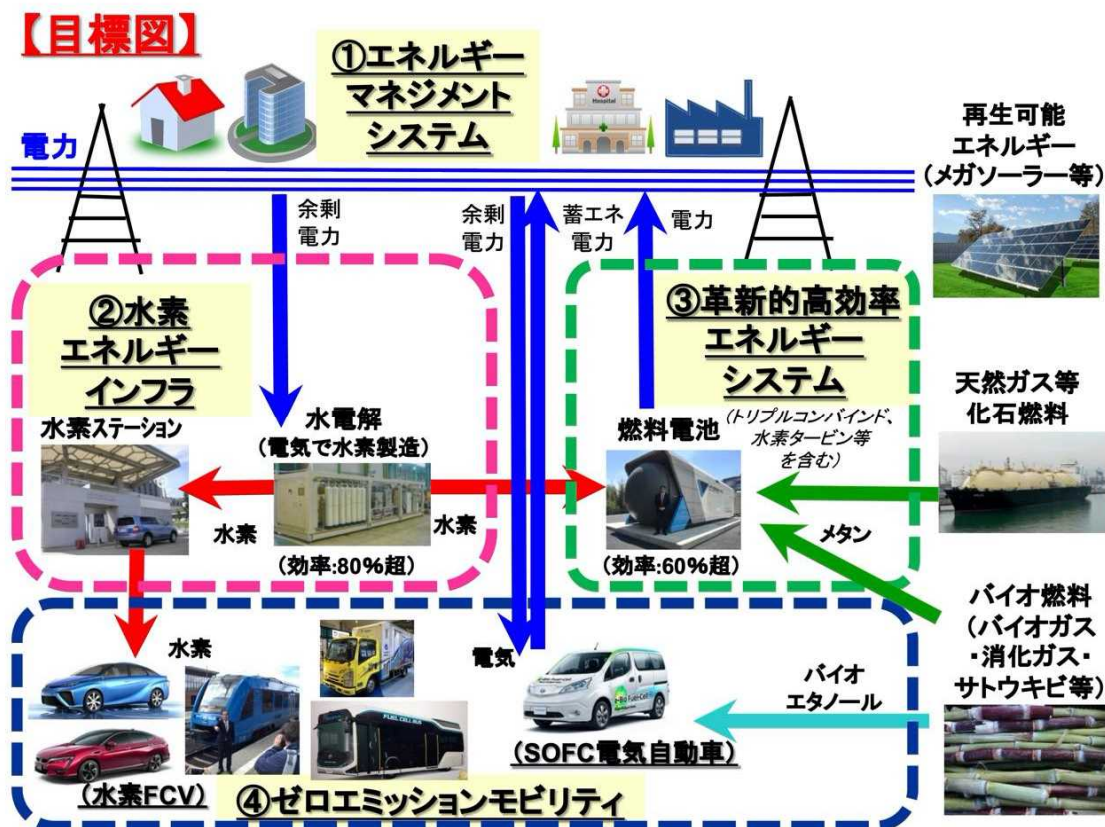


図 4.1.3 本 COI のエネルギー部会が目指す
脱炭素化時代の「真のエネルギー地産地消」の具体的な姿

特に昨今、地球環境問題は気候危機と認識されるようになり、エネルギーが産業や社会の持続可能性の核心的な課題になってきた。日本を含む世界各国が脱炭素化の目標年限を明言するようになり、国内外でグリーンイノベーションが大幅に加速する中、エネルギー部会も脱炭素化時代の「真のエネルギー地産地消」の具体的な姿を明示し、環境と経済を両立させる成長戦略の技術的な基盤を構築してきた（図 4.1.3）。

本 COI が掲げる地域創生に関してその「対象となる地域」としては、ミクロ・ローカルなコミュニティ（例えば伊都キャンパスや九大学研都市）から、郊外自治体（例えば、みやま市）、そしてマクロな九州本土などまでが考えられる。エネルギー部会では、このサイズの異なる様々な対象地域に対して一般的に適応できるような「具体的な社会の姿」を、目標として設定した（図 4.1.3）。このような脱炭素社会を実現させるために、2050 年までの脱炭素化に欠かせない技術、また 2050 年の目標達成に向けて 2030 年までに実現すべき技術を掲げ、そこからバックキャストして、参画企業・大学が、必要な技術シーズを戦略的に生み出していくスキームを構築した（図 4.1.4）。達成する数値目標も明示した。グリーン成長が世界的な潮流になる中で、全国の COI 拠点の中で、数少ないグリーンイノベーション関連の取り組みである。「社会をグリーンに変える」、世界と伍するイノベーション拠点をエネルギー分野で構築できた。

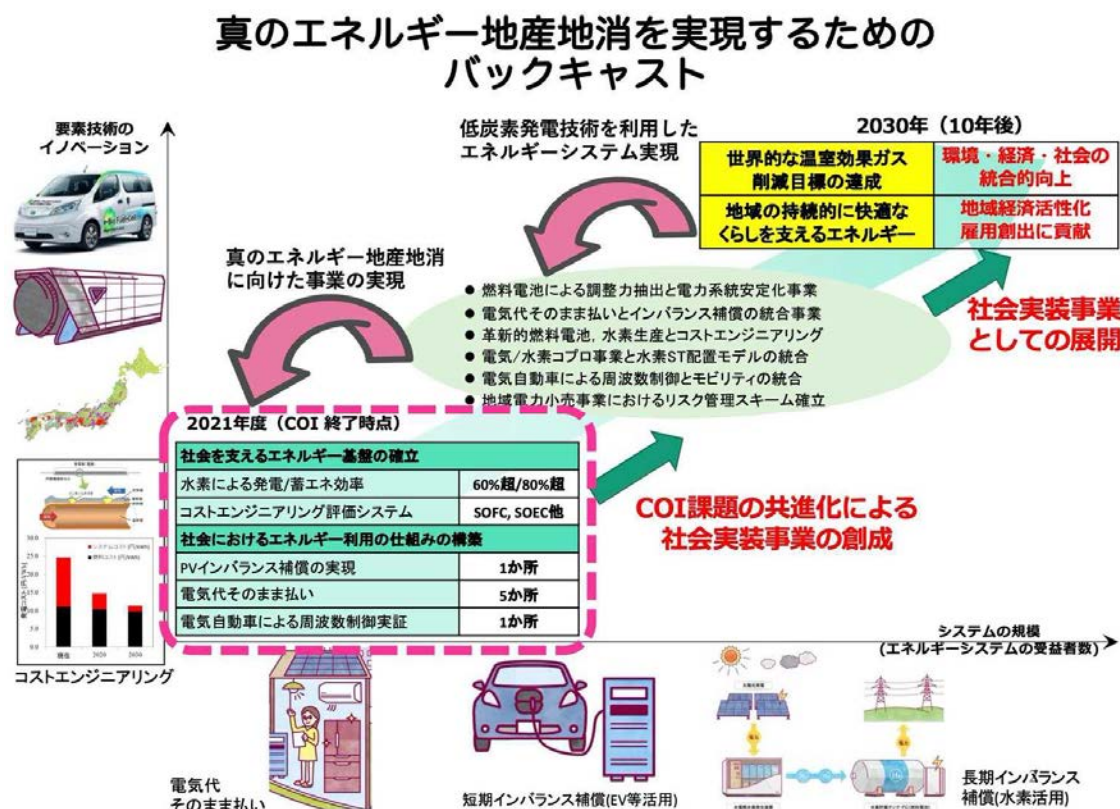


図 4.1.4 「真のエネルギー地産地消」に向けたエネルギー部会のバックキャスト図

エネルギーの地産地消による脱炭素化を達成するためには、再生可能エネルギー由来の電力の利用拡大が必要である。この課題には、東大サテライト拠点が取り組む変動再エネの予測・制御と、各種調整力の提供が欠かせない。東大サテライトの取り組みが再エネの主力電源化に大きく貢献する。再エネの主力電源化に伴って余剰電力が増えてくる。その余剰電力が小中規模で時間や数日の単位の場合は蓄電池を搭載する電気自動車が蓄エネルギーに貢献できるが、中～大規模で週や季節を超える蓄エネルギーの場合は、化学的なエネルギー媒体である水素の利活用が期待される。再エネ電力での水素製造による水素製造や水素自動車がモビリティのゼロエミッション化に貢献できる。

上記のエネルギーマネジメントの提案で示された水素を社会で広く利用するにあたって、水素製造・発電技術の開発と普及が必要である。一般家庭や事業所などに設置する定置用分散型発電設備や水素自動車などのモビリティで水素を利用するには本 COI で取り組む燃料電池が高効率エネルギー変換のためのコア技術となる。燃料電池は水素を燃料に使用でき、高温作動型の固体酸化物形燃料電池（SOFC）では仮に炭化水素燃料を使っても CO₂ 回収が可能な定置用システムを構築可能であり、再エネ水素と燃料電池の普及によって脱炭素化が可能になる。定置用と並んでエネルギーを多く消費するモビリティ分野で水素ガス以外の多様な燃料種が使用可能な SOFC もモビリティ用に期待されるため、自動車メーカーとの連携を最終年度も進めている。

エネルギー部会では、世界の大きな潮流であるカーボンニュートラル化に向けたあるべき「脱炭素社会の姿」を明示し、その理想的な姿である「真のエネルギー地産地消」の達成に必要な持続的なイノベーション基盤の構築を目指してきた。本部会長の佐々木教授や松橋教授が各種委員などとして関わる政府のグリーンイノベーション戦略などに合わせて、社会実装の達成時期を調整しながら、コアとなる 4 つの重点研究分野での社会実装に資する研究に取り組んできた。また、社会実装に向けた大きなハードルとなるコストについては、大友教授によるコストエンジニアリングで定量的な取り組みを行ってきた。

エネルギー部会が取り組んできた4つの研究課題は以下のとおりである。

1. en① エネルギーシステムの脱炭素化施策の設計と実装およびコストエンジニアリング

真のエネルギー地産地消に向け、変動の激しい再生可能エネルギーを主力電源化するため、再エネの出力変動に対する調整力を確保できるエネルギーマネジメントを確立する。具体的には、インバランス補償、電気代そのまま払い、電気自動車を活用した周波数制御などに取り組む。再エネの変動を吸収できるポテンシャルを持つ水素エネルギーのコストエンジニアリング評価を実施すると共に、その普及拡大のための技術シナリオを開発する。

2. en② 水素インフラ

真のエネルギー地産地消実現に向けて、変動する再エネを貯蔵し必要なタイミングで利用する技術として水素に注目し、水素エネルギー普及に向けて重要となる水電解を主とする水素製造、貯蔵も含めた技術課題の抽出と将来の社会実装に向けた技術開発を行う。同時に水素エネルギーの普及に不可欠な水素ステーションをはじめとする水素インフラを経済的観点から最適に配置するシステムの構築を行う。

3. en③ 定置用電源（革新的高効率発電システム）

脱炭素化に資する「真のエネルギー地産地消」の実現には、エネルギーの効率的な変換技術が不可欠である。変換技術のうち、家庭、事業所などの定置用途の革新的高効率発電システムの技術開発を行う。また、化石燃料を用いる発電システムの場合は脱炭素化対応が必要となる。将来の脱炭素化も視野に入れた定置用エネルギーシステムを開発することで、「真のエネルギー地産地消」に向けた社会実装の加速が期待できる。

4. en④ 移動体用電源（水素モビリティ・再エネ電気モビリティ）

定置用途同様、「脱炭素化」と「真のエネルギー地産地消」の実現には、移動体でのエネルギーの効率的な利用によるゼロエミッション化が不可欠である。キーテクノロジーとして欠かせない水素（水素モビリティ）や水素を多く含む燃料（再エネ電気モビリティ）を利用する移動体用燃料電池の基盤技術の開発を行う。

このように本部会が中心となって課題 en①のエネルギーマネジメント研究（東大、東工大ほか）、課題 en②の水素エネルギーインフラ研究、課題 en③の革新的高効率エネルギーシステム研究、課題 en④のゼロエミッションモビリティ研究（九大ほか）を包括的に進めることで、**図 4.1.3** に示した、**将来の脱炭素化に向けた「真のエネルギー地産地消」実現のための世界的なグリーンイノベーション拠点を構築**できた。エネルギー転換は世紀単位で進み、十数年使い続けられるエネルギーシステムの開発には通常、数十年かかるため、全く新しい革新技術を9年間で社会実装させることは難しい。そこで、9年間の本 COI 事業の中では、社会実装に近い技術から順次実装させながら、実装の際に抽出される課題を次の革新技術創製につなげ、特許出願、論文発表、研究プロジェクト獲得、企業等との共同研究、実証研究などに発展させてきた。

本 COI 事業が目指す**社会実装やその前段階のプロトタイプ開発の実績（ファクト）**として、課題 en①（エネルギーマネジメントシステム）、課題 en②（水素エネルギーインフラ）、課題 en③（革新的高効率エネルギーシステム）、課題 en④（ゼロエミッションモビリティ）の主な成果を箇条書きで**図 4.1.5** にまとめる。**掲げた主な数値目標は、すべて達成済み、または最終年度中に達成予定**である。

さらに、本 COI 事業が求める拠点の自立化に向けて欠かせない、研究資金獲得、研究成果、ポスト COI への準備について、**図 4.1.6** にまとめる。特に、**エネルギー部会は自立化に向けた体制整備を完了**しており、東京大学においては東大サテライト長の松橋教授の尽力で東大「エネルギー総合学連携研究機構」が2021年7月に創設され、松橋教授が機構長に就任しており、今後の発展に向けた基盤が東京大学において構築されている。また、九州大学においては、設置 WG チーフ（2016年）をエネルギー部会長の佐々木教授が務めて立ち上がった九大「エネルギー研究教育機構」を発展強化させるために、佐々木教授が担当副学長（2020年10月～）に就任し、エネルギー分野の学内の横連携強化に日々尽力している。東大の松橋教授が九大の客員教授となって、エネルギー政策論の講義の一部を担当するなど、東大と九大の間の連携体制も確立している。

COIエネルギー部会： 社会実装・プロトタイプ開発成果のファクト

「真のエネルギー地産地消」具現化のためのCOIとなるソフトとハードの技術を実装・開発。
掲げた数値目標はすべて達成済。

【①エネルギーマネジメントシステム】

- 「電気代そのまま払い」: 全国4か所＋最終年度1か所で社会実装(数値目標達成)。
- 「家計簿エコプラス」: 「電気代そのまま払い」シミュレータを搭載。最終年度に完成。
- 「PVインバランス補償」: 1か所で実証(数値目標達成)。
- 「電気自動車による周波数制御」: 1か所で実証(数値目標達成)。
(2024年ごろの周波数調整市場開設に合わせて社会実装予定)
- 「技術革新評価システム」: コストエンジニアリングによる燃料電池や水素製造のコスト評価に実装

【②水素エネルギーインフラ】

- 「水素ステーション配置シミュレータ」: 国内の水素ステーションインフラ整備に社会実装済
- 「水素社会シミュレータ」: 再エネ発電所配置を踏まえた再エネ水素社会検討用に開発
- 「水電解のプロトタイプセル」: 触媒径3桁低減で電解効率80%超実証(数値目標達成済)
- 「再エネ水電解・水素貯蔵システムのプロトタイプ」: 再エネ用のシステムコンセプト開発

【③革新的高効率エネルギーシステム】

- 「産業用燃料電池複合発電システム」: 伊都キャンパスでの2万5千時間の実運転実証に成功。
常時監視の規制見直しを実現し、国内10基、海外1基の社会実装に発展
- 「固体酸化物形燃料電池(SOFC)プロトタイプセル」: 定置用電源として60%超の高効率を
新規燃料極材料創製とプロトン伝導性電解質創製の両方で開発(数値目標達成済)

【④ゼロエミッションモビリティ】

- 「固体高分子形燃料電池(PEFC)のプロトタイプセル」: 実寿命相当の6万回の起動停止電位
サイクルに耐える新規電極触媒を用いた水素モビリティ用セルを開発
- 「SOFC-EV用の金属支持型プロトタイプセル」: 電気モビリティ用に開発

図 4.1.5 エネルギー部会の自立化に向けた研究アクティビティ(ファクト)

COIエネルギー部会： 自立化に向けた研究アクティビティのファクト

エネルギー部会では、COI事業終了後もCOI関連の研究活動を継続できる自立化を完了させている。

【自立化に向けた研究資金獲得のファクト】

- 外部研究資金獲得(公的、民間、リソース提供)は9年間で12億円を超過。COI研究費
(九大のエネルギー部会は年5千万円)の数倍の研究費を毎年、自助努力で獲得してCOI研究加速
- それ以外に、「グリーンアジア国際戦略総合特区」推進運営費交付金を計20.5億円、自助努力で
獲得し、本COI研究のための世界最先端の研究環境を自ら整備済
- ポストCOIに向けたNEDO事業が6件以上、民間共同研究が十数件に達し、ポストCOIでの
研究活動の自立化をすでに達成(過去5年間の民間共同研究費は、エネルギー部会長
(佐々木)が九州大学の現役全教員の1位)

【研究成果のファクト】

- 本COI事業における原著論文は190件超、口頭発表は260件超、ポスター発表は140件超、
招待講演は60件超に到達
- 出願特許は22件に達し、ポストCOIでも知財群を継続的に拡充させる体制を構築済
- マスコミ(新聞、雑誌、テレビ)への情報発信は70件超
- 研究施設群を見学者・視察者にも積極的に公開し、COI期間内も3万人を大きく超え、環境大臣表彰
を2019年12月に受賞

【ポストCOI準備への貢献】

- 東大サテライト長(松橋)が、東大「エネルギー統合学連携研究機構」を機構長として創設・牽引
- エネルギー部会長(佐々木)が設置WGチーフ(2016年)を務めて立ち上がった九大「エネルギー研究
教育機構」の担当副学長(2020年10月～)に就任し、学内の横連携強化に尽力
- エネ部会長(佐々木)が産学官連携担当副学長として「オープンイノベーションプラットフォーム」の
立ち上げ議論に関わり、COIでの9年間の実経験を踏まえ、ポストCOI構想の学内での調整に貢献

図 4.1.6 エネルギー部会の社会実装とプロトタイプ開発の主な成果(ファクト)

また、本 COI 事業においては、研究活動の自立化が求められている。そのため、特にフェーズ 3 においては、ポスト COI 後の自立的な研究推進体制も図 4.1.7 のように構築した。この体制で、社会実装に至った成果の更なる国内外への普及に努めるとともに、事業内に開発したプロトタイプや革新技術の更なる性能・耐久性の向上に努め、実システムへの展開と社会実装につなげる。

自立化：COIエネルギー部会（九大）

【九大のエネルギー部会＝“産学ジョイントベンチャー”】

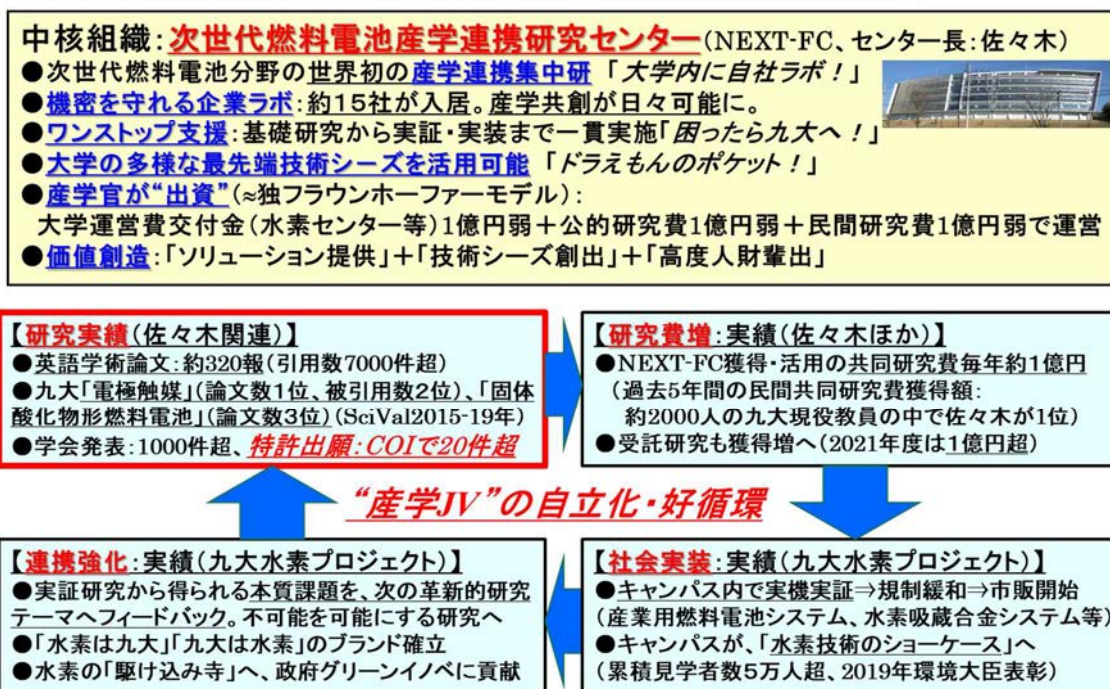


図 4.1.7 エネルギー部会の自立化コンセプト：九州大学における取り組み（佐々木ほか）

約9年間の本 COI 事業でつちかった組織にまたがる研究ネットワークも継続・発展させる（図 4.1.8）。出願・登録された特許などの知的財産を、本学の知財に関する特区制度による「水素燃料電池知財特区」が引き継ぎ、本 COI 事業終了後も知財群を強化する。幸い、東大サテライトの大友先生が東京工業大学教授に栄転されたので、東工大との連携も強化し、コストエンジニアリングを活かした連携研究を継続・発展させる。さらに、大友教授は 2022 年度に九大の客員教授になる予定であり、連携強化が進められている。その他のメンバーとも、本 COI 事業開始時からの密な連携関係を維持している。本部会内の強固な信頼関係が貴重な財産となり、強い団結力で今後の連携研究も継続できる研究チームがすでに出来上がっている。

さらに、図 4.1.9 に示すように、他の分野の研究チームとの研究者との連携も大きな財産である。始めは、お互い、専門用語も異なって、議論がかみ合わないことが多かったが、次第に同じ言葉や目線で議論できるようになったことも、大事なレガシーの一つである。本 COI のビジョンを共有できる仲間が、これからも「共進化する地域」の在り方について議論できる場は継続すべきである。本学では、この COI 事業でつちかった経験や苦労をレガシーとして活かし、“大学全体を COI にする”ために「オープンイノベーションプラットフォーム」（OIP）を設立することを決めている。この OIP の中に、本 COI が掲げる“バックキャストからの研究”の重要性を位置付けている。エネルギー部会もこの全学的な構想の一翼を担い、ポスト COI 組織（COI 研究会など）の中で、COI 研究の更なる展開にも貢献したいと考えている。ポスト COI においては、新たな研究者や研究分野も取り込んだ、真にオープンなプラットフォームの発展に貢献したいと考えている。

ポストCOIでの連携体制：エネルギー研究



図 4.1.8 ポスト COI での研究継続・発展につなげるエネルギー部会の連携体制(現状)

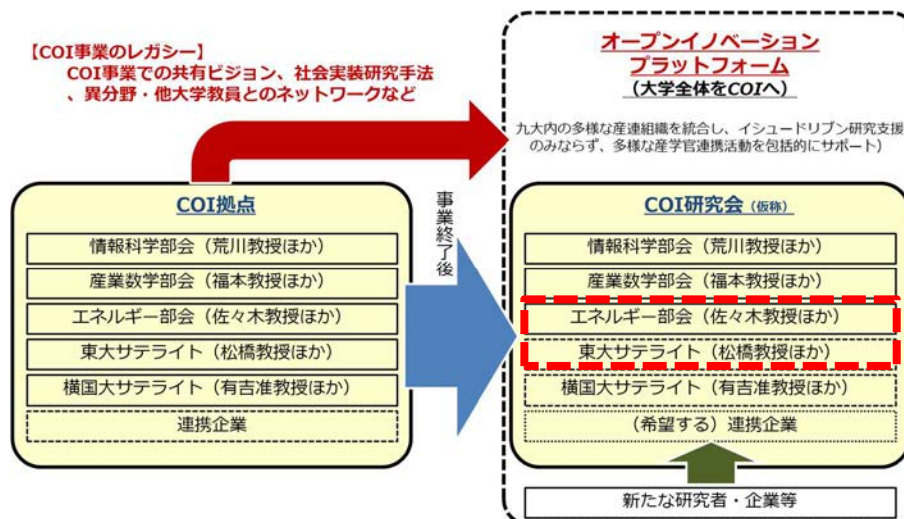


図 4.1.9 ポスト COI での研究継続・発展につなげる学内体制とエネルギー部会・東大サテライトとの連携体制

以降、エネルギー部会の9年間の成果の詳細を4.1章にまとめる。

4.1.1 en① エネルギーシステムの脱炭素化施策の設計と実装およびコストエンジニアリング

テーマリーダー（氏名、所属、役職）：	松橋隆治 東京大学 大学院工学系研究科 教授
サブテーマリーダー（氏名、所属、役職）：	大友順一郎 東京工業大学 環境・社会理工学院 教授
研究開発実施期間：	2013-2022 年
参画機関：	東京大学、東京工業大学、九州大学、株式会社 E-konzal、静岡ガス株式会社、みやまスマートエネルギー株式会社、株式会社エディオン、株式会社 IHI、株式会社チーム AIBOD、東京ガス株式会社、京セラ株式会社、株式会社 NTT ファシリティーズ、福岡県、春日市、信越化学工業株式会社、（春日ブルーエネルギー株式会社）

4.1.1.1 en①-a エネルギーシステムの効率化、脱炭素化のためのファイナンス及び制度設計と社会実装

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

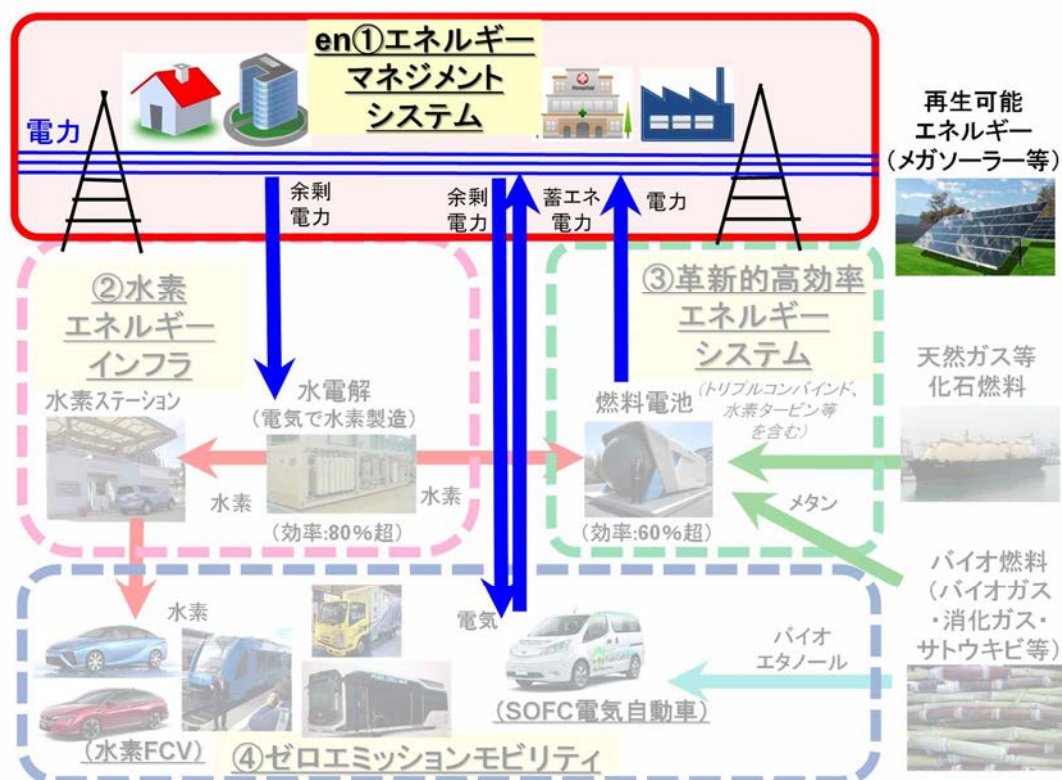


図 4.1.1.1 真のエネルギー地産地消に向けた将来の目標図の中での課題 en①エネルギーシステムの脱炭素化施策の設計と実装およびコストエンジニアリングの位置づけ

課題 en①では、エネルギーシステムの脱炭素化に向けた施策の設計と実装を行ってきた。拠点ビジョンの一つの軸である「真のエネルギー地産地消」を実現するには、太陽光発電などの急増に伴う電力系統の不安定化の問題を解決する必要がある。そこで、本課題では、燃料電池や電気分解装置等のエネルギー技術、および、電気自動車、家電製品などの需要予測技術を用いた制御システムの確立により、電力系統安定化にも貢献しつつ再生可能エネルギーの利用拡大を進めるシステムを確立する。上述した電気自動車、燃料電池、電気分解装置等を「真のエネルギー地産地消」のためのコア技術と呼ぶ。このコア技術を「真のエネルギー地産地消」を進める地域で展

開することにより、拠点ビジョンの一つの軸である「地域経済の活性化」に貢献すると共に、情報通信ネットワークによりコア技術を統合・制御することにより、電力系統安定化とカーボンニュートラル社会の実現に貢献する。

上記のうち、課題 en①-a では、コア技術の導入促進のためのファイナンスの仕組みである「電気代そのまま払い」の開発と社会実装を推進した。また、太陽光発電出力の計画値と実際値との差であるインバランスを補償する技術システムおよび電気自動車を用いた周波数制御のシステムについて実証を行った。これらは、図 4.1.1.1 内の赤枠で囲んだ「en① エネルギーマネジメントシステム」の中に位置づけられる。

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

課題 en①-a では、以下のとおり省エネルギー高度推進や再生可能エネルギーの高度普及のためのシステム、サービスの開発を行うこととした。

1) 電気代そのまま払いによるコア技術の普及促進

本課題では、省エネルギーの高度推進や再生可能エネルギーの高度普及を進めるための革新的ファイナンス・サービスである「電気代そのまま払い」を開発し、実証実験から社会実装を進めてきた。これは、省エネルギー技術、再生可能エネルギー技術を導入する者に対して、地域電力事業者や家電量販店などの供給側が、初期コスト0で設置し、節約されるエネルギーコストからローン分を回収する仕組みである。学術的には、省エネルギーや再生可能エネルギーの高度普及を妨げる障壁としての行動経済学における限定合理性に着目し、この障壁を克服するためのファイナンス・サービスとして開発したものであり、既に複数の学術論文として発表した。社会実装の観点からは、既に国内4か所で自治体や事業者と協力して社会実装を達成し、更に複数の自治体の計画や理科の教師用教材にも掲載されるなど社会的インパクトが急速に増している。更に2021年度には、「電気代そのまま払い」シミュレーターを搭載したアプリ「家計簿エコプラス」をバージョンアップし、開発を完成させた。これを全国の自治体とともに、導入支援を行い、「電気代そのまま払い」の普及と自治体の脱炭素化に向けたCO₂削減を支援するべく社会実装を行った。

2) 系統安定化のためのシステムの開発

太陽光発電等変動性の再生可能電源の大量普及と共に、電力系統の安定性に関する懸念が高まっている。本研究課題では系統安定化を維持するために以下のようなシステムを開発し、市場投入を目指しているところである。

2-1) 再生可能電源の発電インバランス補償システム

天候予測の不確実性に伴う再生可能電源の予測誤差に起因する計画発電量と実際の発電量の差は、インバランスと呼ばれており、インバランスを如何に補償するかということが、電力システムの運用に重大な影響を及ぼしている。本研究課題では、蓄電池、燃料電池、電気自動車、家電製品などをICTで遠隔制御することにより、このインバランスを補償するシステムを設計し、実証実験を進めてきた。学術的には、既に複数の学会論文として発表している。特に、インバランス補償は経済的に有望であり、COI終了時点までに実証実験を行った。現在、地方自治体が出資する地域電力小売り事業者が急速に増加する中で、本技術の社会的インパクト、経済的インパクトも急速に増している。

2-2) EVを用いた周波数制御技術およびアンシラリーサービスの開発

走行していない時間帯の電気自動車を周波数制御に用いることで、電気自動車にも新たな価値が付加されることになる。このシステムは、米国において、既に実証実験が行われているが、日本では、殆ど実施例がない。本研究課題では、日本における先進的な事例として、電気自動車の遠隔制御によるV2Gの実証実験を行い、更に大量の電気自動車を周波数制御に用いた場合の周波

数シミュレーションを実施し、学術論文として発表し、更に特許を出願した。さらに2020年1月に掲載の学術論文において、周波数制御の信号の通信遅れによる制御性能の劣化を取り戻すための工学的手法を示し、更に特許を出願した。このように、学術的な成果が出ているが、日本における周波数調整市場の開設が2024年頃とされているため、COI終了後の当該市場の開設に合わせて、開発中の本システムが社会実装できるようにする。

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

エネルギー部会の最終的なゴールである「真のエネルギー地産地消」を実現させるためには、太陽光発電などの再エネの急増に伴う電力系統の不安定化を解決する事が不可欠である。この課題を解決するためには、需要予測技術を用いた電力制御システムの確立する必要がある。そこで課題en①-aでは、下記のような達成目標を立ててきた。

まず、コア技術の高度普及促進のためのファイナンスの仕組みである「電気代そのまま払い」については、COI終了時までに最低5か所での国内普及を進めることにより、地域経済活性化に貢献し、イノベーションとして定着させることを目指す。

次に、家電製品、燃料電池もしくは電気自動車を用いて、インバランス補償を実現するシステムを確立し、自治体や地域電力会社等と共同して、COI終了時点までに最低一か所での実証を行うと共に、COI期間終了後の速やかな事業化（社会実装）を目指す。

また、電気自動車を用いた周波数制御技術およびアンシラリーサービスの開発については、周波数制御については実証実験が終了しているため、需給調整市場における二次①（負荷周波数制御）の取引が開始される2024年ごろまでに社会実装を行うことを目標とする。

(4) 主な成果と達成状況

課題en①-aでは、(3)で示したような達成目標を立ててきたが、その成果と達成状況は以下のとおりである。

まず、コア技術の高度普及促進のためのファイナンスの仕組みである「電気代そのまま払い」については、COI終了時までに最低5か所での国内普及を進めることにより、地域経済活性化に貢献し、イノベーションとして定着させることを目指してきた。これについては、昨年度まで既に北海道下川町、静岡県長泉町、熊本県水俣市、福岡県みやま市の4か所に社会実装を行った。また、事業者として静岡ガス株式会社は、当社の電力小売りの販売メニューに電気代そのまま払いのスキームを統合し、実際のビジネスモデルとして実施した。今年度は、大阪府の能勢・豊能町においても、電力小売りの事業に組み込む形で家電製品の電気代そのまま払いを実施した。したがって、当初の目標である5か所の社会実装を達成できたといえる。

つぎに、家電製品、燃料電池もしくは電気自動車を用いて、インバランス補償を実現するシステムを確立し、自治体や地域電力会社等と共同して、COI終了時点までに最低一か所での実証を行うと共に、COI期間終了後の速やかな事業化（社会実装）を目指してきた。これについては、今年度から、燃料電池を用いた太陽光発電システムのインバランス補償の実証実験を大阪ガスと行った。これらのことから、当初の目標を達成できたといえる。

また、電気自動車を用いた周波数制御技術およびアンシラリーサービスの開発については、周波数制御については実証実験が終了しているため、需給調整市場における二次①（負荷周波数制御）の取引が開始される2024年ごろまでに社会実装を行うことを目標としてきており、これについては、当初の目標を達成できる見込みである。

(5) 今後の課題と対応方針

(4)で述べた成果の一方で、課題en①-aでは次のような今後の課題があり、対応方針を検討し

ている。

まず、コア技術の高度普及促進のためのファイナンスの仕組みである「電気代そのまま払い」については、COI 終了時まで最低 5 か所での国内普及を進めることにより、地域経済活性化に貢献し、イノベーションとして定着させるという目標は達成できた。一方、(4)で述べたように、大手の事業者が自らの販売スキームの中に電気代そのまま払いを統合して事業化している例は(4)で述べた静岡ガスのみである。今後は、静岡ガスのように、基幹事業の中に電気代そのまま払いを統合した事業スキームを構築していく必要がある。

つぎに、家電製品、燃料電池もしくは電気自動車を用いて、インバランス補償を実現するシステムについては、自治体や地域電力会社等と共同して、COI 終了時点までに最低一か所での実証を行うという目的は達成できた。その一方で、COI 期間終了後の速やかな事業化（社会実装）を目指すには、事業としての正味現在価値がプラスになる必要がある。すなわち、厳密な意味で事業性が成り立たなければならない。この点で、特に大量の家電製品、燃料電池、電気自動車などをネットワークにより制御するためのコストを低減することが今後の課題である。

また、電気自動車を用いた周波数制御技術およびその他の調整力の開発については、2024 年に需給調整市場における二次①（負荷周波数制御）の取引が開始される予定であるが、まだ制度の詳細が定まっていない。さらに多数の電気自動車をアグリゲートし、ネットワーク制御を行うためのコストを勘案した場合に、事業性が成り立つか否か不透明である。そこで、対応方針としては、電気自動車のアグリゲートにより、既に取り引が開始されている三次②の調整力を提供することを優先して考慮する。三次②の調整力の価格は既に公表されているため、電気自動車のアグリゲートとネットワーク制御に要するコストの目標も定量的に立てることができる。これをもって、COI 期間終了後に三次②の市場に参入することを目指し、システム構築を進める。

(6) その他特記事項

HP 給湯器を用いたインバランス補償の社会実装に取り組んでいる。これについて、JST のビジョナリーより、「地域、自治体への事業提案に向け、必要な給湯器の台数など、社会実装の条件や事業展開を進める上での課題を明確にしてください。」との指摘を受けている。これについて、現在、昨年度の調査分析よりも詳細で現実に即した費用対効果の分析を行った。したがって、今年度末までに上記の指摘に応じた社会実装の条件および事業展開上の課題を明確にすることができた。

4.1.1.2 en①-b エネルギーインフラ総合評価と都市への経済効果を考慮したエネルギー・経済モデルの開発と社会実装

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

課題 en①では、東京大学サテライトが拠点となって、エネルギーシステムの脱炭素化に向けた施策の設計と実装を行い、拠点ビジョンの柱の一つである「真のエネルギー地産地消」を実現するために貢献している。電気自動車、燃料電池、電気分解装置などのコア技術を「真のエネルギー地産地消」を進める地域で展開することにより、拠点ビジョンの一つの軸である「地域経済の活性化」に貢献すると共に、情報通信ネットワークによりコア技術を統合・制御することにより、電力系統安定化とカーボンニュートラル社会の実現に貢献する。

課題 en①-b では、都市への経済効果を考慮したエネルギーシステムの評価モデルを開発してきた。具体的には、「電気代そのまま払い」のようなファイナンスの仕組みを用いて、コア技術の普及促進をおこなったときのCO₂削減効果と経済効果を評価した。また、en①-a で社会実装を目指し開発したコア技術を用いたインバランス補償システムについては、en①-b においてその評価モデルを開発し、実際にインバランス補償システムの評価をおこなった。

これらは、図 4.1.1.1 内の赤枠で囲んだ「en① エネルギーマネジメントシステム」の中に位置づけられる。また、課題 en②～④で扱われる水素関連技術の最新の知見も活かして、「電気・水素コプロダクション」に関する研究が進められている。

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

課題 en①-a の(2)で述べたように、「真のエネルギー地産地消」を実現するには、再生可能エネルギー（以下、再エネ）の出力予測技術、電力需要予測技術と共に、様々な時間スケールにおいて、電力需給ギャップを埋める調整力を用いた需給制御システムを確立しなければならない。また、この需給制御システムの確立と共に、蓄電池、燃料電池、電気自動車等のコア技術および省エネ家電製品などを高度に普及促進する必要がある、このために「電気代そのまま払い」というファイナンスの仕組みを開発し、社会実装を進めてきた。

この際、調整力を用いた需給制御システムを社会実装するためには、需給制御システム自身の実装のためのコストを評価すると共に、提案システムが実装される対象となるエネルギーインフラ、特に電力系統全体からみた需給制御のコストをも推定する必要がある。そして、提案システムのコストが、系統全体のコストと同等もしくはそれより低くなることの確認により、提案システムを実装するための重要な条件が満たされることになる。en①の構造からみると、en①-a および en①-c はそれぞれの提案システムを設計すると共に、そのコストを評価している。さらに、これらの提案システムを構成する要素技術となる電気分解装置などのコストについては、en①-d でコストエンジニアリングを用いて評価している。一方、本 en①-b においては、特に電力系統全体からみた需給制御側のコストを推定すると共に、「電気代そのまま払い」によって、コア技術を普及促進させた場合の地域経済の活性化効果等を評価する。

これらにより、en①全体として、「真のエネルギー地産地消」のための革新的技術システムの効果を検証した上で、その社会実装を進めることができることとなる。

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

(2)で述べたように、課題 en①-b では、都市への経済効果を考慮したエネルギーシステムの評価モデル開発の中で、以下の二点の評価を行う事为目标としている。

一点は、蓄電池、燃料電池、電気自動車等のコア技術および省エネ家電製品などを高度に普及促進するためのファイナンスの仕組みである「電気代そのまま払い」の経済的な波及効果を定量的に評価することである。このために、応用一般均衡モデルとよばれる経済モデルを用いて国民経済に与える効

果を定量的に評価すると共に、地域別の産業連関分析により、地域経済に与える効果を評価することを目標とする。

もう一点は、課題 en①-a で社会実装を進めるインバランス補償技術の事業性を評価するため、電力系統全体からみた需給調整力のコストを推定することである。このために、電力システムにおける起動停止計画モデルを開発し、そのモデルにおける需給調整力の制約式の潜在価格から、調整力のコストを推定する。そして、この調整力のコストと、en①-a で社会実装を進めるインバランス補償技術のコストを比較することにより、当該技術の事業性を評価することを目標とする。

(4) 主な成果と達成状況

(3) で述べたように、課題 en①-b では、都市への経済効果を考慮したエネルギーシステムの評価モデル開発の中で、二点の評価を行う事を目標としてきた。そこで、二点の達成目標について、成果と達成状況をまとめる。

一点目の達成目標である「電気代そのまま払い」の経済的な波及効果の評価については、以下の通りである。まず、応用一般均衡モデルを用いた国民経済への影響評価については、実際にモデル開発を行い、電気代そのまま払いによるコア技術の普及促進効果と家計に与える効果を定量的に評価した。また、地域別の産業連関分析を用いた地域経済に与える効果についても、定量的な評価をおこなった。これらについては、研究論文とプレスリリースを通じて情報発信をおこなった。

二点目の達成目標である、電力系統全体からみた需給調整力のコスト推定についても、電力システムにおける起動停止計画モデルを開発し、そのモデルにおける需給調整力の制約式の潜在価格から、調整力のコストを推定した。そして、この調整力のコストと、en①-a で社会実装を進めるインバランス補償技術のコストを比較することにより、当該技術の事業性を評価し、この結果を複数の研究論文として発表した。

これらのことより、当初からの目標については達成でき、「真のエネルギー地産地消」を実現するために社会実装を進める技術システムの評価という観点から成果を挙げることができたといえる。

(5) 今後の課題と対応方針

ここでは、(4) で述べた二点の成果について、今後の課題と対応方針について述べる。

一点目の成果である応用一般均衡モデルを用いた国民経済への影響評価と地域別の産業連関分析を用いた地域経済に与える効果については、以下の通りである。周知のように、2050 年カーボンニュートラル社会の実現が温対法に盛り込まれ、正式な日本の目標になると同時に、2030 年の温室効果ガス削減の目標値についても改訂された。本課題における評価は、日本の温室効果ガス削減目標値が改訂される前であったため、最新の目標値に対する評価を行う必要がある。この点については、COI 期間終了後に速やかに再評価を行い、その結果を公表する必要がある。また、地域別の産業連関分析を用いた地域経済効果については、地方自治体などと連携し、実際の地域政策に利用されるように働きかけていく必要がある。

二点目の成果である、電力系統全体からみた需給調整力のコスト評価ならびにインバランス補償技術の事業性評価については、今後は地方自治体や事業者と連携し、実際の社会実装にこの評価をいかしていくことが重要である。この点については、現在も連携を進めており、COI 期間終了後、速やかに社会実装が行えるように鋭意調整を進める。

(6) その他特記事項

特になし。

4.1.1.3 en①-c 再生可能エネルギーの面的利用

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

課題 en①では、エネルギーシステムの脱炭素化に向けた施策の設計と実装を行ってきた。拠点ビジョンの一つの軸である「真のエネルギー地産地消」を実現するには、太陽光発電などの急増に伴う電力系統の不安定化の問題を解決する必要がある。そこで、本課題では、燃料電池や電気分解装置等のエネルギー技術、および、電気自動車、家電製品などの需要予測技術を用いた制御システムの確立により、電力系統安定化にも貢献しつつ再生可能エネルギーの利用拡大を進めるシステムを確立する。上述した電気自動車、燃料電池、電気分解装置等が「真のエネルギー地産地消」のためのコア技術となる。

このコア技術を「真のエネルギー地産地消」を進める地域で展開することにより、拠点ビジョンの一つの軸である「地域経済の活性化」に貢献すると共に、情報通信ネットワークによりコア技術を統合・制御することにより、電力系統安定化とカーボンニュートラル社会の実現に貢献する。

上記のうち、課題 en①-c では、地域電力小売り事業等において、太陽光発電の予測誤差等を考慮した電源運用計画モデル開発を完了し、この中で電力システムのリスク管理に関する指針を示す。また、電力小売り事業と水素関連技術を統合した電気・水素コプロダクションシステムを提案し、その設計と評価を行う。

これらは、図 4.1.1.1 内の赤枠で囲んだ「en① エネルギーマネジメントシステム」の中に位置づけられる。

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

太陽光発電等変動性の再生可能電源の大量普及と共に、電力系統の安定性に関する懸念が高まっている。en①-c では系統安定化を維持するために、再生可能電源と電気分解の利用による革新的事業の創成のためのシステムを開発し、市場投入を目指しているところである。

再生可能電源の発電量計画値を設定した際に、その計画値以上の発電出力が得られる場合には、その分を電気分解装置に供給し、水素エネルギーに転換することにより、インバランスを解消することができる。特に、地域電力小売り事業が、電気と水素のコプロダクションシステムを構成し、電気分解水素によってインバランス解消を実現した例は世界的にもまれである。

また、本システムの応用例として、以下のような養殖業のエネルギーシステムへの革新的システムの設計を行っている。これは、再生可能電源からの電気の一部を電気分解装置に供給し、水素と酸素を生産し、この酸素をエビ養殖業における養殖池の曝気用に用いることにより、大幅な省エネルギーと事業性の改善を目指すものである。

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

エネルギー部会の最終的なゴールである「真のエネルギー地産地消」を実現させるためには、再エネの急増に伴う電力システムと水素関連技術による電力インバランス補償技術の確立が必要となる。そこで課題 en①-c では、地域電力小売り事業等において、太陽光発電の予測誤差等を考慮した電源運用計画モデル開発を完了し、この中で電力システムのリスク管理に関する指針を完成させると共に、COI 終了時点までに現実の地域電力小売り事業に本リスク管理モデルが採用されることを目指す。

また、電力小売り事業と水素関連技術を統合した電気・水素コプロダクションについては、詳細設計を完了させる。また、電力システムと水素関連技術等による電力インバランス補償技術を確立し、COI 終了時点までに社会実証の実施を目指す。また、エビ養殖業における革新的エネルギーシステムについては、ベトナムのカントー大学における養殖用の水槽で実験を行い、COI 終了後に事業として国際的に展開することを目指す。

さらに、COI 期間終了後速やかに、地域電力小売り事業のリスク管理モデルを社会実装することと、電気・水素コプロダクションシステムを事業化することを目標とする。

(4) 主な成果と達成状況

(3)で述べたように、課題 en①-c では、地域電力小売り事業等において、太陽光発電の予測誤差等を考慮した電源運用計画モデル開発を完了し、この中で電力システムのリスク管理に関する指針を完成させることを目標としてきた。これについては、リスク管理モデルを開発し、その結果を研究論文として公表した。COI 終了時点までに現実の地域電力小売り事業に本リスク管理モデルが採用されるとした目標については、コロナ禍で事業者との連携が進展しなかったため、COI 期間終了後速やかな社会実装を目指すこととした。

また、電力小売り事業と水素関連技術を統合した電気・水素コプロダクションについては、設計が完了し、研究論文として公表した。また、現実プラントを設置する地域も決定し、COI 終了時点までに社会実証を実施し、当初の目的は達成できた。

エビ養殖業における革新的エネルギーシステムについては、現在、ベトナムのカントー大学における養殖用の水槽で実験を行っており、COI 終了後に事業として国際的に展開することを目指すとした目標を達成できる見通しである。

(5) 今後の課題と対応方針

(4)で述べたように、地域電力小売り事業に電力システムのリスク管理モデルの社会実装については、コロナ禍で事業者との連携が進展しなかった。これについては、今後の課題とし、COI 期間終了後の次年度以降、速やかな社会実装を目指すこととする。

また、電力小売り事業と水素関連技術を統合した電気・水素コプロダクションについては、(4)で述べたように、COI 終了時点までに社会実証が実施できた。ただし、実際に設計されたプラントをみると、本課題で設計してきた概念とは異なるものとなった。これは現実の様々な制約の下では致し方ない面もある。今後の現実のビジネスモデルとして複数のプラントが社会実装され、イノベーションの活性化につながるためには、本課題で設計してきた概念と一致したプラントを実現する必要がある。この点については、自治体、事業者とも連携し、プラントの概念について十分な意思疎通を図ると共に、COI 期間終了後、可及的速やかに実証から実装へと進めていく予定である。

エビ養殖業における革新的エネルギーシステムについては、現在、ベトナムのカントー大学における養殖用の水槽で実験を行っている。しかし、COI 終了後に事業として国際的に展開すると共に、国内でもエビ養殖を行うエネルギー事業者もあることから、こうした事業者とも連携し、国内外を問わず、実証と実装を目指す予定である。

(6) その他特記事項

特になし。

4.1.1.4 en①-d 研究開発課題：エネルギーシステムのコストエンジニアリング

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

課題 en①では、エネルギーシステムの脱炭素化に向けた施策の設計と実装を行ってきたが、その中で課題 en①-d では、現東京工業大学の友友教授が中心となって、「真のエネルギー地産地消」実現の観点からエネルギーシステムのコストエンジニアリングを実施してきた。コストエンジニアリングは、燃料電池および水素関連技術の技術および経済性の評価を実施すると共に、その普及拡大のための技術シナリオを提案するものである。

これらの取り組みは、図 4.1.1.1 内の赤枠で囲んだ「en① エネルギーマネジメントシステム」の中に位置づけられる。課題 en①内での連携のみならず、課題 en②～④で開発される水素関連のエネルギー技術の社会実装に向けたコスト分析などで相互に連携する取り組みである。

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

<コストエンジニアリングによる技術革新評価システム>

エネルギーシステムのコストエンジニアリングは、低炭素技術を中心とした対象技術の将来の技術革新を考慮した性能評価とコスト評価を実施することで、技術の社会普及の促進を目指した方法論である。コストエンジニアリングに基づき開発を進めている技術革新評価システムは、燃料電池や水素製造システムなどのエネルギーシステムの社会実装促進を目的とした評価ツールであり、各要素技術の技術革新に沿ったコスト評価を行うことで、将来の普及促進を図る。

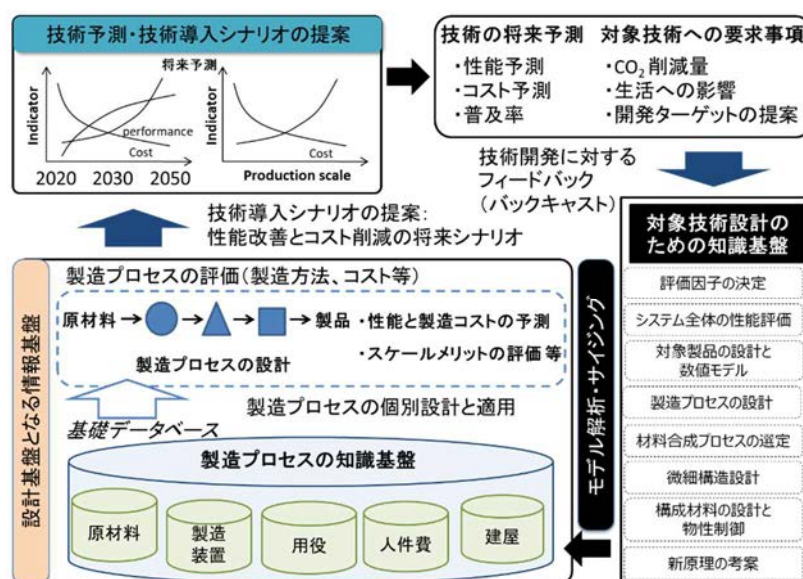


図 4.1.1.2 コストエンジニアリングの概念

<社会実装の支援ツールとしての技術革新評価システムについて>

図 4.1.1.2 に示すコストエンジニアリング評価システムでは、対象となる低炭素技術のデバイスやシステムの設計の基礎となる、動作原理、材料物性、微細構造、デバイスやシステムの設計などの知識基盤（データベース）を完備し、数値モデル解析を行うことで対象となるシステムの性能を再現する。さらに、対象となるデバイスやシステムの物理的なサイズを決定することで、構成材料の必要な量の算出を行う。また、得られた材料の情報から、製造プロセスを設計し、その製造コストを算出する。本手法では、様々な製造装置のコスト情報をコスト関数の形式でデー

データベース化することで、原理的に様々な技術に対応できる汎用的な評価手法の構築が可能である。COIの実績として、燃料電池や水電解システムに加え、木質バイオマスの発電コストの算出も実践しており、様々なエネルギーシステムに対応できる手法であることを実証した。さらに、参画企業（東京ガス）と共同で、技術革新評価システムに基づく燃料電池の仕様を設定し、それに基づく高効率新型燃料電池の設計を行った。このように、本評価システムは社会実装する製品やサービスの普及促進を援助する位置づけになるが、同時に普及対象となる要素技術の仕様を決定し、新技術開発を促進するツールでもある。このようなツールの開発と実践は国内外でもほとんど例がなく、「エネルギーシステムのコストエンジニアリング」では、燃料電池の仕様を決めることで、参画企業と共に実際のものづくりを実践することが特徴である。これらの特徴を踏まえ、COIではコストエンジニアリングの手法の確立と評価ツールの開発を行い、水素及び燃料電池技術の普及促進を支援する。

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

エネルギー部会の最終的なゴールである「真のエネルギー地産地消」を実現させるためには、将来の技術革新を考慮した低炭素技術の性能評価とコスト評価を実施することで、技術の社会普及の促進する事が不可欠である。課題 en①-d では、コストエンジニアリング評価システムを完成させ、燃料電池や水蒸気電解システムのコスト評価を行うと共に、コストエンジニアリングに基づく新技術開発を参画企業（東京ガス）と共に推進する。燃料電池や水蒸気電解・化学ループ法を含む水素製造に関わる技術開発について、各要素技術のデータを集約し、それらの包括的な技術革新の評価に基づき社会実装に向けた検討を進める。特に水素製造に関わる高効率燃料電池の設計及び技術開発について、製造プロセスを考慮したコスト評価を検討し、水素製造コスト削減の技術開発シナリオの検討を行う。

開発対象：技術革新評価システム、高効率新型燃料電池

目標：(1) 水素製造コスト（30 円/Nm³以下）の達成に向けた技術開発シナリオの提示。(2) 水蒸気電解効率の目標値（80%）を達成できるセルおよびシステムの設計

コストエンジニアリング評価システムを完成させる。水素製造コスト 30 円/Nm³以下を達成する技術シナリオを提示することを目標に定め、社会実装促進に向けた手法・支援ツールを開発する。また、新型燃料電池による水素製造システムについて、セルデザインの検討に加え生産プロセスについても詳細に検討し、製造コスト評価に反映させる。従来のセル製造プロセスでは湿式法が主流であるが、成膜への乾式プロセスの導入など、実際に製造現場で利用が進められている製造プロセスについて検討を行う。また、電解質の新たな積層構造についても検討し、次世代型のセルについても評価を行うことで、より横断的な技術評価を進める。なお、参画企業と開発を進めている高効率新型燃料電池は、発電と水蒸気電解（水素製造）の両者に使用できるため、性能評価についても発電と電解過程の両者の実測データを集積し、システム設計とコスト評価を実施する。さらに、九大と連携することで固体高分子形水電解（PEMEC）の評価も行う。以上を踏まえ、水蒸気電解効率の目標値（80%）を達成できるセル設計の提案とセルの具現化を目標に定める。また、水素貯蔵についても、二次電池など他のエネルギー貯蔵技術との比較を行うことで、燃料電池・水素エネルギー技術の優位性について明らかにする。燃料電池のコスト評価の結果については、上述の東京大学の en①-a や en①-c の燃料電池や水電解システムの要求仕様を参照することで、エネルギーシステムへのフィードバックを行う。以上、各要素技術の製造プロセスからシステム構成までの検討を通じて、包括的な技術革新評価を充実させ、社会実装促進ツールとしての活用を進める。

ア) 東京工業大学

包括的な技術革新評価に向けてコストエンジニアリングを推進する。各要素技術の製造プロセスの技術革新についても考慮した技術評価を行い、包括的な技術革新評価ツールを開発し、社会導

入シナリオの提言を行う。特に、水蒸気電解（水素製造）の技術開発シナリオを提示し、水素の製造から貯蔵および利用までの評価を行い、水素エネルギーの社会導入促進を図る。

イ）九州大学

革新的低炭素システムの検討（en③）を通じて燃料電池・水素製造技術の性能指標の集約を進め、コストエンジニアリングの技術評価データベースの拡張を支援する。

ウ）東京ガス

燃料電池、水素製造、エネルギー貯蔵の新システムに関する技術評価の結果に基づき、社会導入に向けたエネルギーシステムの導入プランを拡充する。

このように、将来の技術革新を考慮した低炭素技術の性能評価とコスト評価による「真のエネルギー地産地消」が可能な社会を実現する評価技術の実現と社会への普及を目指し、コストエンジニアリング評価システムを完成し、燃料電池や水蒸気電解システムのコスト評価を参画企業と共に、水素製造コスト削減の技術開発シナリオを提示する。

（4）主な成果と達成状況

<コストエンジニアリング>

「真のエネルギー地産地消」の実現を念頭に、水素・燃料電池の社会実装・普及に向けたコストエンジニアリングの手法の確立と評価ツール開発を行った。フェーズ1、フェーズ2、およびフェーズ3を通じて、様々な燃料電池のデザインに対応したコストエンジニアリングの一般化を進めてきた。燃料電池のコストエンジニアリングについては、九大の技術革新の取り組みや東京ガスを中心とした企業連携、さらに東大で進めるエネルギー市場取引へコスト情報をフィードバックすることで連携を進めてきた。コストエンジニアリングでは、従来の燃料電池のコスト評価と共に、ポスト COI で社会実装を予定している次世代型高効率燃料電池の革新技术研究も推進してきた。その成果は COI 外の研究プロジェクトに展開され、COI でのコストエンジニアリングの研究活動が、基礎研究分野で広く認識され、社会実装に向けたプロジェクトで認知・利用されるようになった。以下にこれまでの成果をまとめる。

フェーズ1(2013～2015 年度)：コストエンジニアリングの初期段階においては、家庭用 700 W の円筒平板型およびマイクロチューブ型の固体酸化物形燃料電池(SOFC)を評価対象とし、モジュールコストの算定を行った。当該フェーズでは、コストエンジニアリングの基礎となる製造プロセスの構築や材料の物性値、製造機器コスト（要求仕様に対応したコスト関数）のデータベース化を構築することで、コスト評価ができる体制を構築した。SOFC セル・モジュールの生産プロセスに加えて、数値モデルに基づくセル設計を行い、電流—電圧曲線等の発電特性を再現し、各種反応・輸送物性の変化に基づくセル性能の予測を行った。セルデザインおよびモジュール構成材料に対する感度分析を実施することで、コスト構造に与える各種パラメータのセル性能に対する影響評価を行い、新材料や異なる製造プロセスの導入による技術革新の支援ツールとして当該手法の有用性を示すことができた。

フェーズ2(2016～2018 年度)では、フェーズ1で開発したコストエンジニアリングの汎用化を推進し、九大でも稼働している、中・大型発電用の 250 kW 級円筒横縞型 SOFC コンバインドサイクルのコスト評価を実施した。異なるセルデザインに対して当該評価手法を活用するために、2次元軸対称モデルによる詳細な発電シミュレーションを実装することでセルデザインとコスト評価を統合化した評価手法を構築した。

並行して、次世代型の高効率燃料電池であるプロトン伝導性セラミック燃料電池(PCFC)における新規電解質材料の開発を行った。代表的なプロトン伝導性電解質として Ba 系ペロブスカイト型電解質が筆頭に挙げられるが、これらの電解質材料は酸化雰囲気下でホール伝導性を有し、リーク電流の発生に伴う発電効率の低下が懸念されていた。したがって、ホール伝導を抑制し、高プ

ロトン伝導性を有する新規電解質の探索と新材料を用いた高効率セル設計を実施した。検討の結果、プロトン伝導性をもつタングステン酸ランタン($\text{La}_{28-x}\text{W}_{4+x}\text{O}_{54+3x/2}\text{V}_{2-3x/2}$: LWO)に着目し、前例のなかった高 La/W 領域(=6.7)の組成を有する LWO67 の合成に成功し、高いプロトン導電率と低いホール伝導度が得られることを実証した。得られた輸送物性の値を用いてセル設計を Wagner 理論に基づき行ったところ、LWO67 を電解質に用いた PCFC は、単層膜としては世界最高水準の発電効率を示すことが明らかになった (図 4.1.1.3)。

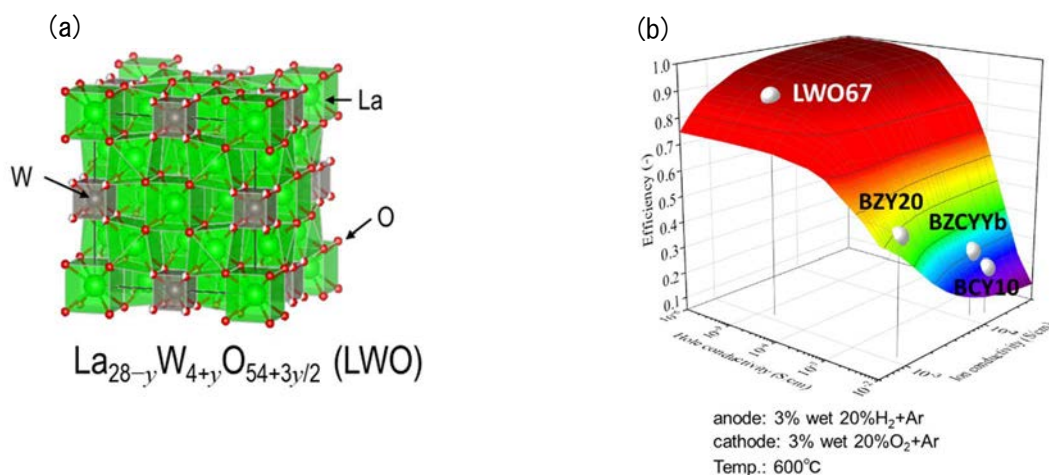


図 4.1.1.3 (a) LWO 結晶構造図, (b) PCFC の理論効率計算 (作動温度: 600°C)

フェーズ 3 (2019~2021 年度) では、フェーズ 1 とフェーズ 2 で構築した評価手法とコストデータの基盤を基に、評価対象の一般化を推進した。具体的には、円筒平板、円筒横縞に加え、燃料極支持平板型や燃料極支持平板型の電極支持層を多孔金属材料で代替した金属支持型 SOFC のセル・モジュールコストの算出を行った。新型のセルデザインである金属支持においては、従来のスクリーン印刷等の湿式プロセスに加え、スパッタによる乾式プロセスの導入が検討されている。また、各セルデザインにおける発電コストの算出を行った。これらの検討から、材料開発と共に、セルデザインの重要性が示された。すなわち、原材料費に関して金属支持型で顕著な低減が可能であるが、一方、金属支持型で用いられる乾式プロセスの設備コストは、湿式プロセスのそれと比較して高価であることが示唆された。設備コストと原材料コスト間でのトレードオフの関係が示された。このように、燃料電池の開発者を支援するツールとしてコストエンジニアリングを提供することができた。

さらに、水素製造コストの評価を目的として、SOFC を用いた固体酸化物形水蒸気電解セル (SOEC) を用いた水素製造システムに対するコストエンジニアリングの適用を行った。SOEC に加え、固体高分子形燃料電池 (PEMFC) を用いた水電解セル (PEMEC) のモジュールコストの計算を行い、異なるデバイス間での比較・検討を進めた。九大で開発した水電解用の新型電極触媒を用いた PEMEC のコスト評価も行い、高価な電極を代替する技術開発によりモジュールコストの著しい低減が可能であることが定量的に示された。

SOEC を用いた高温水蒸気電解システムについて、物質収支ならびに熱収支の最適化を実施することで、最終目標である水素製造コスト 30 円/ Nm^3 以下を可能とする技術的な要件について検討を行った。商用水素ステーションにおける燃料電池自動車への水素供給を考え、82 MPa の高压タンクによる貯蔵を前提とした。評価結果として、稼働率 0.3 の条件下では (稼働時間: 8 時間/日相当)、電力コストが 2.5 円/kWh、モジュール寿命が 3 年において、水素製造コスト 30 円/ Nm^3 - H_2 を達成できることが示された。他方、当該条件は電力コスト、年産台数およびモジュール寿命において技術革新を要するシナリオであることから、当該システムの最適化に加え、高性能な新型セルの開発に基づく双方の技術革新を要することも明らかになった。以上述べたように、フェーズ 1 から開始したコストエンジニアリングの手法の確立と評価ツールの開発によって水素製造コ

スト 30 円/ $\text{Nm}^3\text{-H}_2$ 達成にむけた技術改善の提案が可能になった。

続いて、水素製造システムコストの低減に向けた技術シナリオ（イノベーションの道筋）の検討を行った。東大松橋研の検討によると、卸電力取引市場の活用に基づく SOEC 水素貯蔵システムに要求されるシステムコストは 12 万円/kW 以下であることが示されている。この目標に至る技術シナリオを検討し、電解モジュールコストを半減することや、電解セルをプロトン型の新型燃料電池に変更し、水素の電気化学的昇圧を取り入れることで圧縮機を設置しないシステムの採用が効果的であることが示された。SOEC モジュールコストの半減は、先の SOFC モジュールコストの検討から可能であることが示されている。また、プロトン型の新型燃料電池は以下に示すようにコストエンジニアリングの検討に基づき開発が進められている。このように、水素市場形成のための技術開発およびコストターゲットの指針を提示できたのは、COI のアンダーワンルーフで初めて実現できたことである。

フェーズ 3 では SOEC システムを水素ステーションへ導入した場合のオンサイト型水素ステーションの建設コスト評価も併せて実施した。水素製造量 $300 \text{ Nm}^3/\text{h}$ の標準的な設備規模を仮定し、現状 (2016 年の実績データに基づく) の改質器型水素製造装置 (SMR) を有するオンサイトステーションの建設コストと、当該 SOEC システムのそれとを比較した。SOEC では、ディスペンサーと水素製造装置を除く工事費は現状コストを引用し、圧縮機、冷凍機、高圧タンク、SOEC システム (年産 1000 台のモジュール, 寿命 1 年を仮定) から構成される水素ステーションの建設コストを算出した。

このように、フェーズ 1 からフェーズ 3 に至るコストエンジニアリングの評価ツールの構築によって、適応範囲の拡張（一般化）を通じて、SOFC/SOEC のモジュールコストからその応用である水素ステーションの経済性と技術課題を明らかにした。

さらに、フェーズ 3 では、参画企業（東京ガス）および海外大学（英国インペリアルカレッジ）との共同研究により、フェーズ 2 で開発した新規電解質材料である LWO を用いたプロトン型の新型燃料電池 (PCFC) を作製し、発電に成功した。続いて、LWO と従来の Ba 系ペロブスカイト型電解質である $\text{BaZr}_{0.8}\text{Y}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ (BZY) を積層した構造を有する薄膜電解質を用いて極めて高効率なアノード支持型 PCFC の単セルの開発を行った。PCFC の導入は、上述した水素ステーションにおける水素の電気化学的昇圧による圧縮機を用いないシステムの構築が可能とする基盤技術になる。

従来の PCFC では、主にカソード側でのホール伝導による電解質内のリーク電流の発生により発電効率が低下する。その問題を克服するセル設計として、BZY をアノード側、LWO をカソード側に配置したセルをモデル構造とし、起電力および発電効率のモデル計算を実施した (図 4.1.1.4)。薄膜の LWO を BZY に積層した場合、理論起電力と同等の性能が得られることが示唆され、理論効率においても、BZY | LWO 積層電解質膜により世界トップレベルのセル効率が得られることが見いだされた。

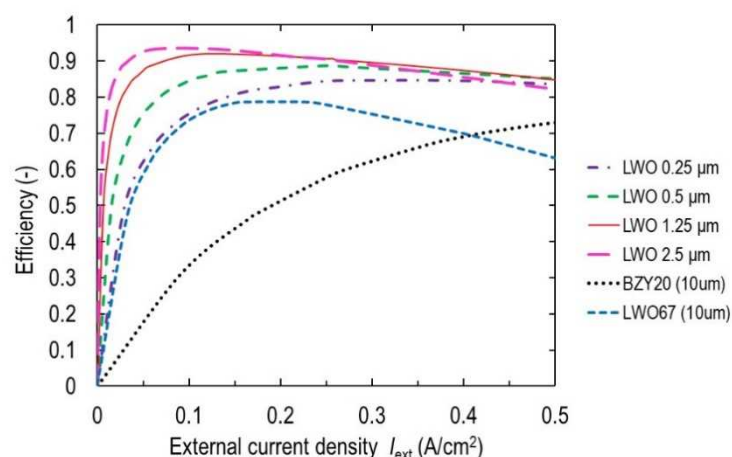


図 4.1.1.4 600°Cにおける BZY 単層セル、LWO 単層セル、および BZY|LWO 積層セルの発電効率

計算結果を踏まえ、Ni-BZY サーメットのアノード基板上にパルスレーザー堆積法 (PLD) 法によって BZY | LWO 積層電解質膜を成膜した。実験においても、積層セルの起電力は、BZY 単層の起電力を上回る結果が観測され、開発した LWO によるホール電流の抑制は実セルにおいて有効であることが示された。さらに、高耐久性を有するセルを実現するために、BZY | LWO 界面に導入する反

応抑制層の検討も行った。その結果、ランタンドープセリア ($\text{La}_{2.6}\text{Ce}_{1.4}\text{O}_{8-\delta}$: LDC) が反応抑制層として有効であることが分かった。そこで、非常に薄いLDC層をBZYとLWOの間に挿入したBZY|LWO電解質をPLDで成膜し、より安定な単セルを作製することに成功した。このように、フェーズ3では、コストエンジニアリングによる技術シナリオの提案と共に、そこで必要とされる新型燃料電池の作製も実施し、世界トップレベルのセルを実現する基盤技術の開発に成功している。この成果も、参画企業や九大との連携で達成された成果であり、COIのアンダーワンルーフの体制とバックキャストの考え方に基づき実現することができた。

en①-d の総括

フェーズ1では個別のデータベース化のレベルであったコストエンジニアリングについて、フェーズ3では燃料電池に係る設計開発者と利用者の双方の視点から社会導入を支援する評価ツールとして完成に至った。材料物性と数値モデルに基づくセル・システム設計と製造プロセスの定量化によりSOFCおよびSOECモジュールコスト構造を明らかにし、また、九大の開発した水電解セルの技術革新を取り入れることで、PEMECのモジュールコスト低減を定量的に示すことに成功した。さらに、東大松橋研との連携では、卸電力市場に導入される水素製造装置のコスト目標に対する技術シナリオを提案した。このように、材料開発から実社会への導入に繋がる、換言すればエネルギーデバイスの上流から下流までを繋ぐ設計評価手法を提示することができた。さらに、次世代型燃料電池であるPCFCの電極・電解質材料の探索ならびにセル開発を参画企業（東京ガス）との連携によって実施し、世界トップレベルの発電効率を有するデバイスの開発に成功した。以上、導入技術評価手法の開発と実セル開発を複合的に実施することで、水素製造コスト（30円/Nm³以下）達成に至る技術要請を明らかにした。

(5) 今後の課題と対応方針

これまでの活動（フェーズ1～3）にて構築したコストエンジニアリングの知見に基づき、次世代型燃料電池の社会実装・普及を鑑み、プロトン型の新型燃料電池（PCFC）のセル設計と製造コストの検討を国のプロジェクトとして推進している。今後は、開発者と利用者の双方に対し、情報・データ科学の手法を取り入れたより汎用的な評価ツールとしての応用を進める。

(6) その他特記事項

en①-dのコストエンジニアリングの体系化の一環として、木質バイオマス利用への適用を推進した。森林の育成やバイオマス収集のプロセスをデータベース化し、バイオマス収集コストの削減に向けた技術シナリオの作成を行った。さらに、CO₂分離に対して追加のエネルギーを必要としない新たな反応システムである化学ループ法についてコストエンジニアリングで評価を行い、CO₂分離を含むコストの観点から化学ループ法の優位性について定量的に示した。これらの成果は、水素やCO₂を木質バイオマスから分離・生成するポリジェネレーションプロジェクトとして拡張され、現在国内企業が参画する国のプロジェクトとして進められている。今後のCCSおよびCCUSの基盤技術としての実機の社会導入の検討を進めることが決まっている。

4.1.2 en② 水素インフラ

テーマリーダー（氏名、所属、役職）：	佐々木一成 九州大学 副学長 主幹教授
サブテーマリーダー（氏名、所属、役職）：	伊藤衡平 九州大学 教授
研究開発実施期間：	2013-2021
参画機関：	九州大学、ENEOS 株式会社（JXTG エネルギー、JX 日鉱日石エネルギー株式会社）

4.1.2.1 en②-a エネルギーインフラ最適配置

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

エネルギー部会は、本 COI が目指す持続的共進化地域の創生の中で、その柱の一つとなる「真のエネルギー地産地消」の達成を部会の目標として掲げている。さらに、世界の大きな潮流であるカーボンニュートラル化に向けたあるべき「脱炭素社会の姿」を明示し、「真のエネルギー地産地消」の達成に必要となる重点研究分野での社会実装に資する研究に取り組んできた。課題 en②～④では九州大学が中心となってハード面からの技術開発を進めてきた。

その中でも、課題 en②水素インフラでは、変動する再エネを貯蔵し必要なタイミングで利用する技術として水素に注目し、水素エネルギー普及に向けて重要となる水電解を主とする水素製造、貯蔵も含めた技術課題の抽出と将来の社会実装に向けた技術開発を進めてきた（図 4.1.2.1）。同時に、水素エネルギーの普及に不可欠な水素ステーションをはじめとする水素インフラを経済的観点から最適に配置するシステムの構築を行った。

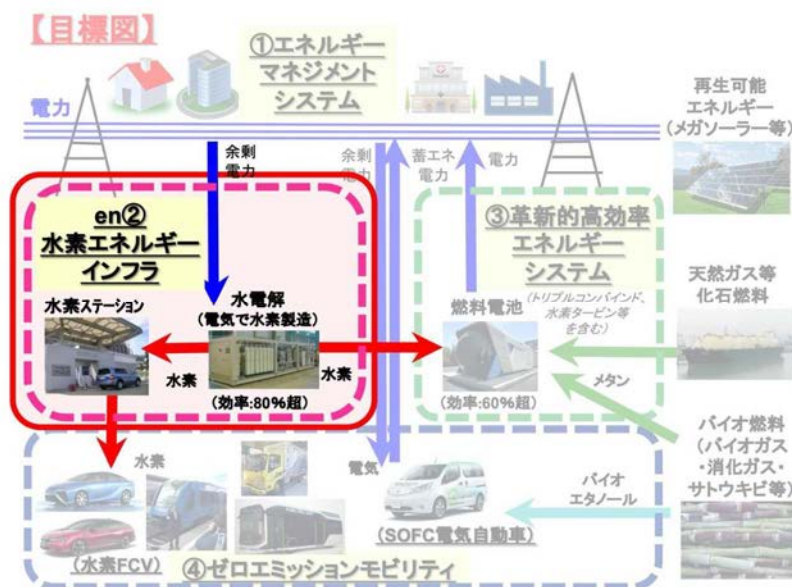


図 4.1.2.1 真のエネルギー地産地消に向けた将来の目標図の中での
課題 en②-a エネルギーインフラ最適配置の位置づけ

太陽光や風力など再生可能エネルギーの普及拡大に伴って、エネルギーのインバランス補償が課題となっているため、課題 en②-a では、今後のエネルギーの革新に伴う脱炭素社会の実現のために、ミクロからマクロまでのスケールでの水素を活用したインバランス補償に着目した検討を進めてきた。

本事業の目標実現に向けた過程で開発を行い社会実装した「水素ステーション配置評価シミュレータ」は統計情報・地理情報を活用して水素インフラの将来の普及の姿を可視化できた。さらに、このシミュレータの更なる発展形として、再エネ回収による脱炭素エネルギー利活用を実現し、経済性に優れた水素エネルギーインフラの効率的な配置を提案できる「水素社会シミュレータ」の開発・実用化や、脱炭素社会で再エネの有効活用を推進するための水素インフラスペック・運用方法の提言、そして将来、燃料電池自動車（FCV）と水素ステーションが普及して低炭素・脱

炭素を具現化するための社会インフラ構築を提案することで、脱炭素化時代の、地域における「真のエネルギー地産地消」を目指してきた。

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

課題 en②-a では、エネルギーインフラ最適配置の検討のため、水素ステーション配置検討シミュレータを開発した。JXTG エネルギー（現 ENEOS 株式会社）を含む複数の水素ステーション事業者へは、フェーズ 2 までに既にシミュレータに個々の企業の情報を含めたアドバンスド版を提供・ご利用いただいております、社会実装を実現している（図 4.1.2.2）。水素ステーションは現在 1 基 4～5 億円の設置費用を要するが、国内では 2030 年に 1,000 基程度整備されることが 2021 年度に成長戦略実行計画として閣議決定されており、本シミュレータは水素ステーションの有効活用を促し、FCV の普及につなげる意味で今後のゼロエミッションモビリティ分野の社会への普及発展に不可欠である。

一方、地域の脱炭素化に向けた社会構築を目指し、フェーズ 3 で実施している水素インバランス補償に活用する水素インフラ拠点の検討のため、太陽光発電の電力を活用した水素製造拠点の配置評価を進めており、課題 en①と連携しながら上記機能を有するシミュレータとして実装に向けて検討を進めている。将来的には、2030 年や 2050 年までの国や世界のエネルギー政策を視野に入れながら、この評価結果に基づいたエネルギーインフラを構築することで、地域の再エネ事業から得られた再エネを、水素を介して地域の消費者が活用する、化石燃料に頼らない地産地消型のエネルギー利用による地域の持続的発展を可能とするエネルギーマネジメント事業への発展を目指している。

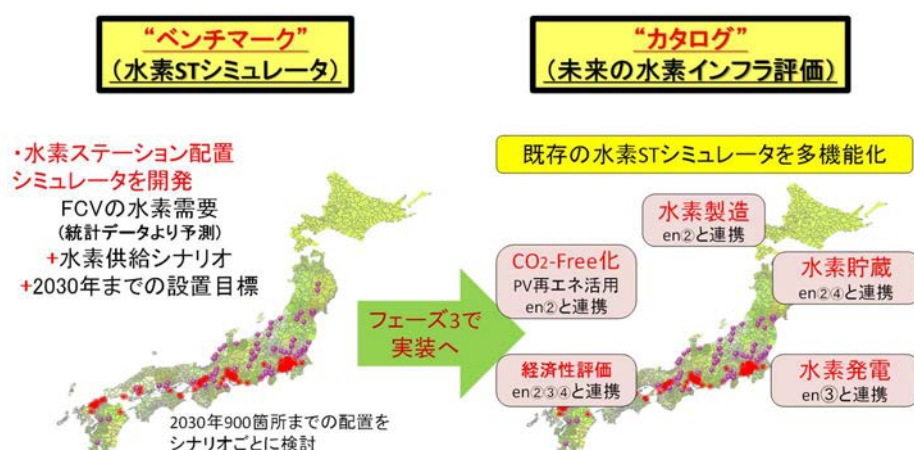


図 4.1.2.2 「水素社会シミュレータ」における「ベンチマーク」と「カタログ」

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

<エネルギーインフラ最適配置>

「真のエネルギー地産地消」を実現させるためには、太陽光発電などの再エネから発電される余剰電力を水電解（または水蒸気電解）で水素として貯蔵し、燃料電池で高効率に発電することが重要な技術となる。この課題の解決には、エネルギーの貯蔵と消費を調整するエネルギーマネジメント手法を構築する必要がある。課題 en②-a ではエネルギー貯蔵ポテンシャルを試算し、未来エネルギー社会モデルの検討結果を踏まえて都市・自治体へ展開を進め、未来エネルギーインフラの具現化につなげることを目指しており、本課題では既に水素ステーション配置検討シミュレータとして社会実装し、関係企業に利用いただいている。フェーズ 3 では、そのシミュレータを活用して現在エネルギーマネジメント上の課題となっているインバランス補償について水素を活用して実施すべく開発・評価を進めている。

本テーマの研究開発期間終了時の達成目標として、水素インフラの普及を促す水素ステーションシミュレータの実現・社会実装（達成済み）と、en②-bでも後述するような再エネ水電解システムの本格的な普及が進み、2030年における太陽光や洋上風力など再エネ普及目標で示されているようなエネルギーインフラ実現時の水素インバランス補償に向けた課題解決を掲げている。再エネ普及のボトルネックであるインバランスを水素インバランス補償により解消することで、真のエネルギー地産地消、および地域の再エネを地域で活用することによる地域の活性化につなげることができる。このように、課題 en②-a（九大担当）では課題 en①（東大担当）のテーマと密に連携して課題解決を目指してきた。

（4）主な成果と達成状況

本事業で進めてきた en②-a における成果のうち、主なものは以下の2つである。

（A）水素ステーション配置評価シミュレータ

（B）水素社会シミュレータ

上記以外に課題 en②-a で C0I フェーズ1～2の期間に行われた九州大学伊都キャンパス水素ステーションにおける水素蓄エネ実証およびその可視化、またキャンパス全体のエネルギー見える化に伴う技術的知見を、課題 en②-b 等の他テーマにおいて活用している。

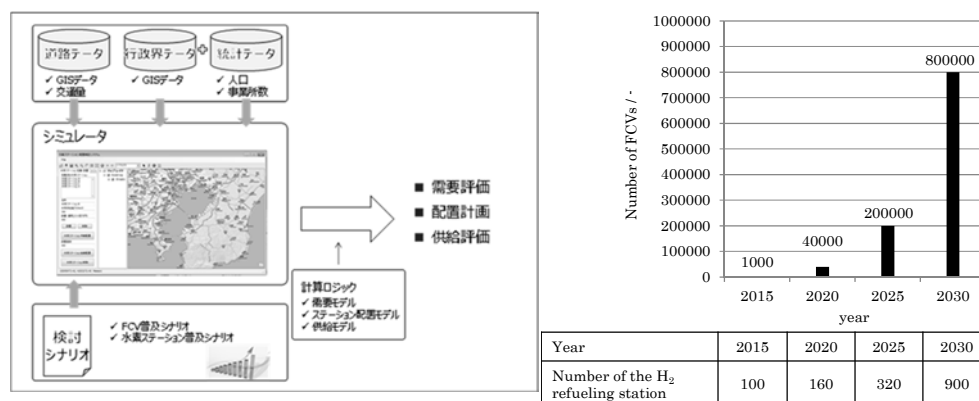


図 4.1.2.3 シミュレータの概要（左）と普及シナリオ（当時、右）

（A）水素ステーション配置評価シミュレータ

2014年12月の燃料電池自動車（FCV）の一般販売開始や、エネルギー基本計画（2021年10月22日閣議決定）に電気と並んで水素が将来の二次エネルギーの重要な役割を担うことが明記されるなど、水素の利活用について期待が高まっており、特にFCVに燃料を供給する水素ステーションはFCVの普及を行う上で速やかに設置を進める必要がある。しかし、一基当たりの設置費用が高額であるため、効率的な設置が望まれていた。本C0I開始当時は、国内では水素ステーションの効率的な配置の検討がまだ進められていなかったため、我々は、既に設置・公表されている水素ステーションの位置情報とFCVの普及数予測をベースに、水素の潜在的需要を数値解析により明らかにすることを目的として、今後の水素ステーションの効率的な配置を検討することができる解析シミュレータを開発した。水素ステーションの配置計算は図4.1.2.3に示すような統計データと当時の普及シナリオに基づいて行い、図4.1.2.4の九州山口地域における想定シナリオごとの配置結果などを得ることができた。

開発シミュレータのアドバンスド版（九大開発）の実装、およびそれらから得られる結果をもとに、2021年現在、当初の水素ステーションの普及目標である160基超（整備中等含む）が国内に商用として整備され、一般のFCV利用者の水素充填に利用されている。

（B）水素社会シミュレータ

本事業で開発しているシミュレータでは、先に述べたとおり、フェーズ2まで人口分布等を活用した水素ステーション配置の検討を進めてきた。フェーズ3以降、C0I内外の予算を活用した機能追加によって、再生可能エネルギー分布などのこれまでと異なったデータの入力による新たな

視点での配置検討が可能となった。シミュレータで用いる再生可能エネルギーの分布として、国内のメガソーラーのうち経済産業省・資源エネルギー庁のウェブサイトで示されている固定価格買い取り制度（FIT）に登録されている一定規模以上のプラントの情報（経済産業省・資源エネルギー庁による固定価格買い取り制度ウェブサイト：<https://www.fit-portal.go.jp/>）に絞って、検討に用いた。

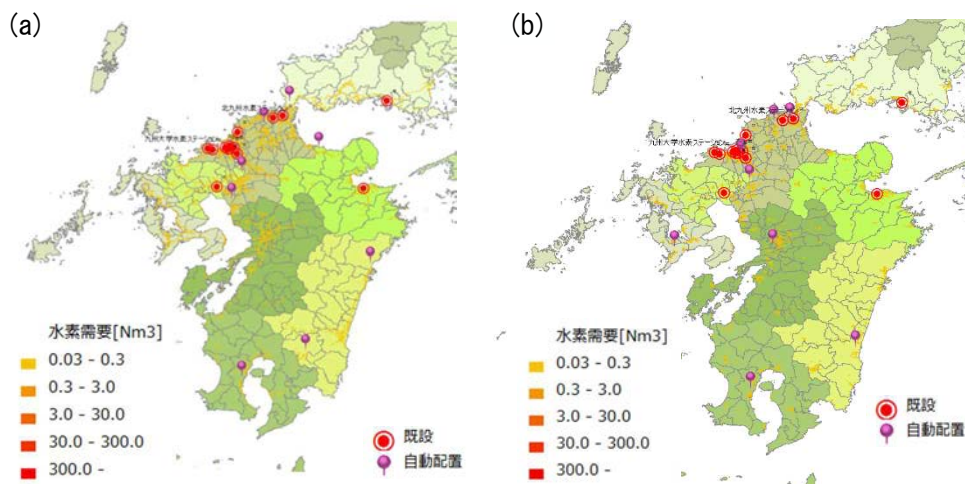


図 4.1.2.4 九州山口地区におけるステーション配置結果、(a)事業所数ベース、(b)交通量ベース

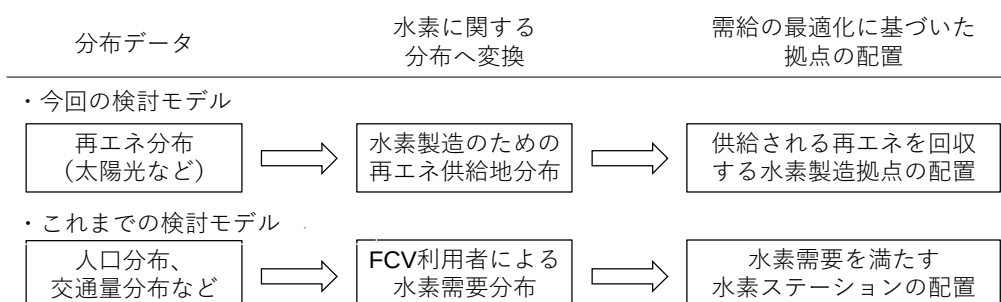


図 4.1.2.5 「水素社会シミュレータ」（上）と「水素ステーション配置シミュレータ」（下）の違い

本研究ではシミュレータを用いて、まず国内メガソーラーの立地の可視化を行い、その後、再エネによる水素製造インフラの配置検討を行った。国内の対象となるメガソーラーがどのような立地にどの程度存在しているかを明らかにすることで、その地域に再エネのポテンシャルが存在するかを計算により明らかにし、このデータを活用することで、ポテンシャル分布に基づく再エネ回収・利用に適した候補地を、需給の関係に基づいて検討する事が可能となる。現在、各メガソーラーの発電特性は、立地や気候等に依存せず一定とし、メガソーラーと水素製造拠点間の距離については変数として検討を行う事とした。図 4.1.2.5 に簡単にステーション

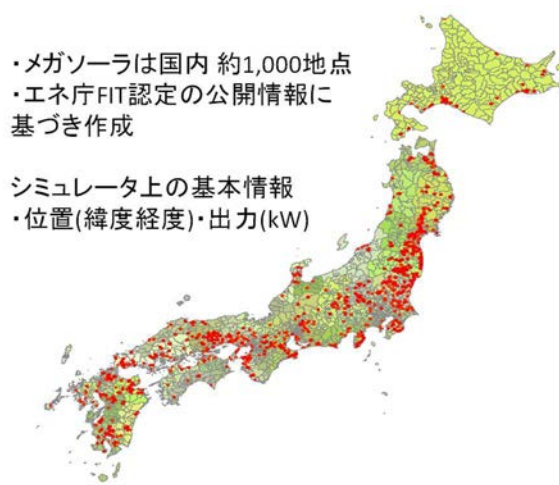


図 4.1.2.6 国内の 5MW 以上の発電能力を有するメガソーラーの分布

シミュレータとの相違点を示す。

上記の条件に基づくメガソーラーの分布を 5MW クラス以上の規模に絞って図 4.1.2.6 に示す。5MW クラス以上のメガソーラーは国内の約 1,000 カ所存在し、図のとおり全国的に分散して設置されている。地域差はあるものの太陽光発電由来の再生可能エネルギーが各地に存在していることから、再エネを回収する水素製造拠点も同様に全国に分散して配置されることが予測される。

上記の国内メガソーラーの配置から明らかなようにメガソーラーは国内に分散している。既に報告している水素ステーションの配置と統合して、水素の製造と供給(利用)の関係に基づく検討を行いつつ、また製造拠点ごとの電力システムを考慮した再エネ回収量や運用方法など個別の条件付けなどを考慮するため電力エネルギー網を含めて計算を行った。その結果を図 4.1.2.7 に示す。九州地域の電力エネルギー電力網を想定して、シミュレータの開発を進めた結果、各県のエネルギー需給・融通の結果(図 4.1.2.8 および図 4.1.2.9 はそれぞれ福岡県と鹿児島県の検討例)を得た。

これらの図は、隣接する他県への送電可能量などの電力システムの制約を踏まえて、各県で電気から水素を製造する余力があるかを計算したものである。大都市圏を有する福岡県(図 4.1.2.8)は需要が供給を上回り、他県からの送電で常に不足分を補っているため水素を作る余力が少ない。それに対し、再エネが豊富な鹿児島県(図 4.1.2.9)は太陽光発電が多く、川内原発もあり、供給が需要を上回る。そのため、水素を製造する余力が大きいことを示している。

これらの結果から再エネの普及拡大に伴い必要となる国内再エネを水素に変換して運用するインフラの規模や設備設置コストや融通に伴う運用コストなどの経済性評価に必要なエネルギー情報が算定できた。

・最終目標達成に向けた今後の課題、今後の対応

現在進めている開発をさらに進めるために、外部資金の活用等によって本研究を加速させている。有益

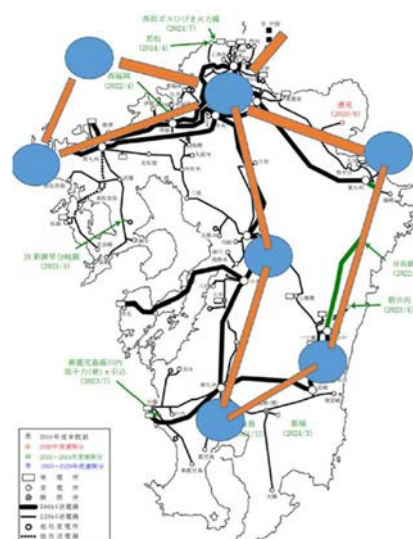


図 4.1.2.7 九州地域の簡易的な電力エネルギー網と発電所の立地情報

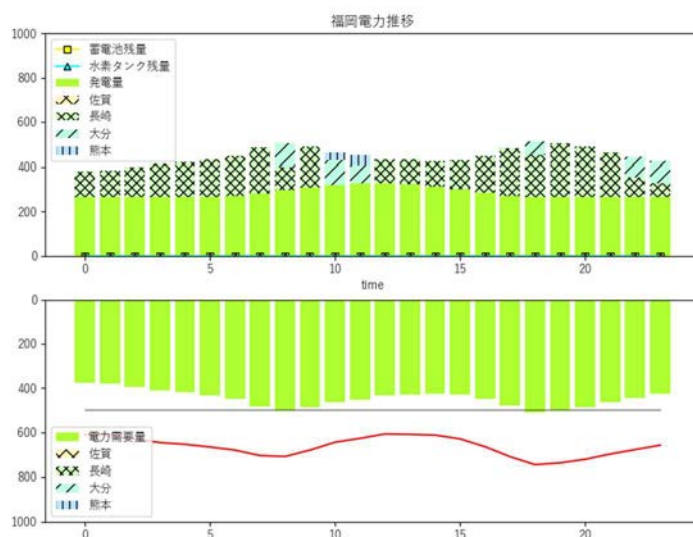


図 4.1.2.8 福岡県の電力需給と蓄エネ・水素の検討結果例

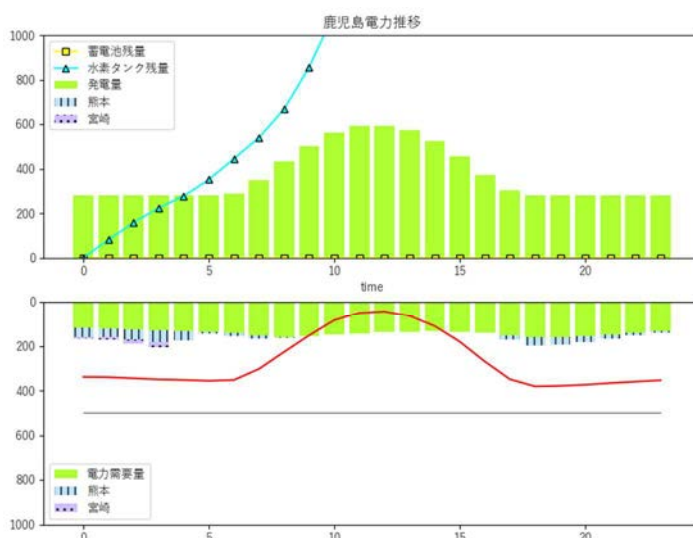


図 4.1.2.9 鹿児島県の電力需給と蓄エネ・水素の検討結果例

な情報、例えばリーズナブルな将来のエネルギーシナリオの提案などが課題である。また、上記の課題でも示したとおり、外部資金を活用した本シミュレータの開発、およびシミュレータを活用した未来の水素社会提案への研究をさらに進める。

(5) 今後の課題と対応方針

水素社会シミュレータで得られる知見を広く社会で活用することが課題である。そのため、現在自治体や事業者に向けて本成果を示して、地域の脱炭素化、持続的社会・事業基盤の構築に向けて議論を進めている。

(6) その他特記事項

特になし。

4.1.2.2 en②-b 水電解システム

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

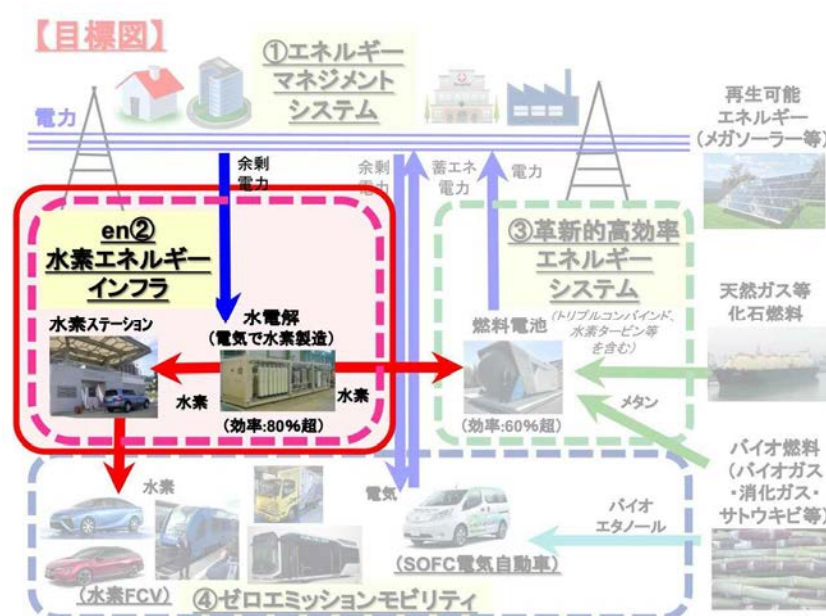


図 4.1.2.10 真のエネルギー地産地消に向けた将来の目標図の中での、課題 en②-b 水電解システムの位置づけ

エネルギー部会では、地域活性化につながる真のエネルギーの地産地消を目指し、本格普及が進む太陽光発電などから発電される余剰電力を水電解（または水蒸気電解）で水素として貯蔵し、燃料電池で高効率に発電することで、真のエネルギーの地産地消に貢献する。このシステムを実社会で有効に活用するためには、エネルギーの貯蔵と消費を調整するエネルギー管理手法と共に、水電解など水素製造関連の基盤技術がキーテクノロジーとして欠かせない。

課題 en②では、このように快適にエネルギーを使いながら、再生可能エネルギーを水素に変換することで水素によるインバランス補償を実現し、再生可能エネルギー利用を拡大させるための革新的なハード創製のため、水素インフラの配置検討、ならびに再エネ由来水素製造の中核技術である固体高分子形水電解の高耐久化、普及までを見据えた水素貯蔵技術と組み合わせたデバイス評価に取り組んできた（図 4.1.2.10）。2030 年や 2050 年までの国や世界のエネルギー政策を視

野に入れながら、将来具現化する社会からバックキャストした技術開発テーマに集中的に取り組んでいる。

特に水電解システムについては、システムが構築できれば再生可能エネルギーをより高度に活用、すなわち水電解水素製造・貯蔵・燃料電池発電により再生可能エネルギー電力を幅広くより多く活用することも可能となる。化石燃料に頼らない低環境負荷の地産地消型エネルギーシステムが実現され、持続的な地域社会の土台となる。

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

水電解システム、すなわち固体高分子形水電解装置と水素合金タンク（MH タンク）を組み合わせた実システムを、2030 年を目処に地域社会に導入し、先行開発の進む燃料電池と合わせて、風力を代表とした再エネ電力の本格利活用、地産地消型のエネルギーシステムの実現を目指す。中型大型の再エネ電力の利活用において、水素エネルギーシステム（水電解水素製造・貯蔵・燃料電池発電）は期待される技術の一つになっている。水素エネルギーシステムのなかで燃料電池は一定の高性能化、低価格化が進みつつある。他方で水電解装置の低コスト化、簡易な水素貯蔵技術の確立が遅れている。本研究で取り組む水電解システムは、再エネ特有の変動電力にも直接適合可能な PEEC と、低圧（高圧ガス保安法の縛りから開放される 1MPa 以下）で比較的簡易に水素を充填・放出できる水素吸蔵合金（MH）を内蔵したタンクの組み合わせである。競合する電力貯蔵技術のなかで水素エネルギーシステムの優位性を上げ、低環境負荷・地産地消型エネルギーシステムを実現するものである。

具体的には、課題 en②-b では、まず、将来の本格普及を見据えて、本格的な社会実装の制約となる高価な貴金属の使用量大幅低減を可能にする革新的な水電解セルの開発に取り組んだ。

「電解効率 80%の革新的水電解セル」の開発を COI 事業期間内の達成目標とした。

並行して、再エネ蓄エネの社会実装の実現に向け、風力発電システムの電力変動を模擬し、水電解セルに接続し、より実際に近づけた形で水電解セルの性能・耐久性を評価する。さらに、水電解セルに MH タンクも接続し、模擬電力変動下での水素貯蔵の運用方法を検討し、一貫した再エネ水電解水素製造・貯蔵システムの実証を行った。

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

エネルギー部会の最終的なゴールである「真のエネルギー地産地消」を実現させるためには、太陽光発電などの再エネから発電される余剰電力を水電解（または水蒸気電解）で水素として貯蔵し、燃料電池で高効率に発電することが重要な技術となる。余剰電力を利用し水電解から製造した水素による水素インバランス補償技術の高性能化が必要となる。「効率 80%超の再エネ蓄エネ」をポスト COI での目標とする。

(4) 主な成果と達成状況

<貴金属使用を大幅低減した革新的電極触媒を用いたプロトタイプセル開発>

水電解では数ミクロン径の市販のイリジウム触媒が広く利用されている。そのため、貴金属資源の制約と高い材料コストが長年の課題となっている。そこで本研究では、集電体の金属チタンシート上に直接、数ナノ径のイリジウム触媒を高分散担持する電極の開発を行った。触媒粒子径が 1/1000 になると、触媒の表面積が 1000 倍になり、材料コストは 1/1000 に大幅低減できる。

図 4.1.2.11 に示すように、本 COI 研究では高電流密度 ($5\text{A}/\text{cm}^2$) までの運転を実証できた。高電流密度化によって、水電解システムがコンパクトになる。また、開発触媒の電流電圧特性 (図 4.1.2.11 右図の赤線) が示すように、より低いセル電圧での水電解が可能となった。水電解効率 80% 超の目標達成には、電流密度 $1000\text{mA}/\text{cm}^2$ で 1.8V 以下 (水電解がより低い電圧でできるほど、電解効率は高くなる) が必要になるが、開発触媒を用いたセルでは、さらに低い約 1.65V で電解が可能になった。これは、水電解効率 90% 弱に相当し、本 COI の数値目標である電解効率 80% 超を達成することができた。

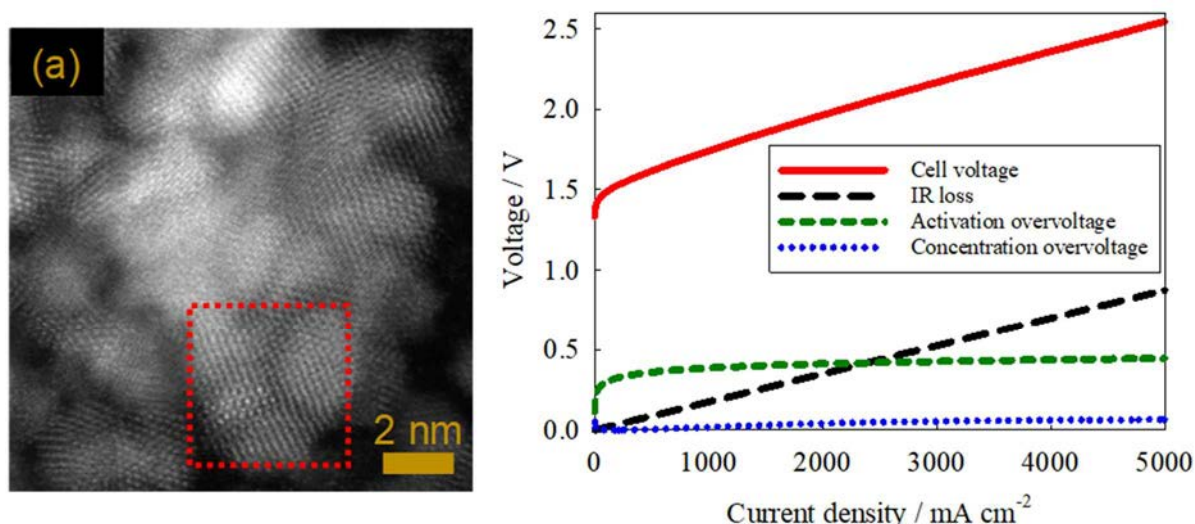


図 4.1.2.11 本研究で開発できた固体高分子形水電解セル (左) 数ナノ径 Ir 触媒の高分解能電顕写真 (赤枠の元素分析で触媒 Ir の存在を確認)、(右) プロトタイプセルの電流電圧特性 (高電流密度 $5\text{A}/\text{cm}^2$ までの高出力運転に成功)

具体的には、Ir 触媒ナノ粒子の集電材料上での高分散化に成功し、再エネ変動電力を想定した電位変動サイクル試験により高耐久性を実証できた。また、社会実装に向けた長時間運転時の劣化メカニズムを解明し、基礎学理としてまとめて、国際学術誌に COI 成果として出版できた (M. Yasutake et al., *J. Electrochem. Soc.*, **167**, 124523 (2020).) これらの成果は、電気/水素のコプロダクション実現に向けた評価にも貢献でき、コストエンジニアリングのための基盤データとしても使われている。ポスト COI では、再エネ変動電力を想定した運転時の電極触媒の微細構造変化の詳細な顕微観察や社会実装に向けた次世代水電解システムのコンセプト提案につなげる。

<作動条件最適化による高効率水電解システムのプロトタイプ開発>

運転温度・圧力、集電体、運転条件等を最適化することで、水電解で $11\text{A}/\text{cm}^2@2.0\text{V}$ の更なる高電流密度化に、市販の電極触媒を用いても成功した。図 4.1.2.12 は、最適化した固体高分子形水電解 (PEMWE) の IV 特性の一例で、例えば CCM におけるアイオノマー含有量を最適化することで、上述の $11\text{A}/\text{cm}^2@2.0\text{V}$ を達成した例である。この IV 特性からもわかるように $1\text{A}/\text{cm}^2$ 印加時において 1.5V と低い電解電圧での作動が達成できており、効率 (電解効率 = 電解電圧/低位発熱量 (LHV) 基準理論稼働電圧) に換算しても、目標の 80% を達成できた。

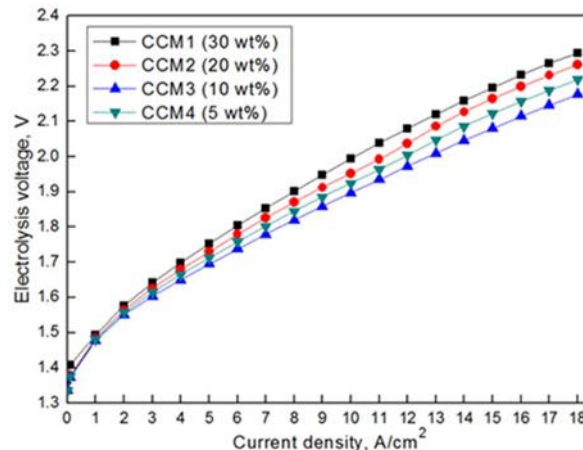


図 4.1.2.12 高効率 PEM 水電解でのアイオノマー含有量の最適化

<再エネ蓄エネの実装>

水電解から更に水素貯蔵までのシステム検討においては、水素貯蔵に要する低動力化が必要になる。そこで、貯蔵方法を高圧タンク、および吸蔵合金の二つの候補に絞り、熱力学的に貯蔵に要する動力を比較した。高圧タンクにおいては水素ガスの断熱圧縮動力を考慮した。吸蔵合金においては図 4.1.2.13 に示す逆カルノーサイクルによる冷却、加熱動力を考慮した。その結果、吸蔵合金の方法における消費動力は水の標準生成エンタルピー ΔH に対して 5% であり、高圧タンクに比べて半分の動力で水素を貯蔵できることがわかった。なお吸蔵合金の運転温度調節により、水素充填放出に要する動力を更に下げることができ、その場合、充填・放出の速度が下がるため、例として示した ΔH に対して 5% 程度の動力が必要となる。

さらに、水電解セルの高耐久化のために、市販の電極触媒が微粒子からなる(図 4.1.2.14, (a))のに対して、ポーラス構造を導入した電極触媒(図 4.1.2.14, (b))を開発し、堅牢な電極骨格が形成されることで、発生したガスによる電極膨張に対する耐性が向上し、高耐久化できることを示した。また、ポーラス化したことで比表面積を向上できたことから、市販電極触媒に比べてさらに性能向上し、水電解セルの低コスト化の可能性も示した。

再エネ電力の接続に向けて、まずは再エネ変動電力を想定した水電解セルの耐久性評価を済ませ、変動周波数や圧力、温度が劣化に及ぼす影響を一部明らかにした。

さらに、実際の風力電圧変動データを用いて、水電解の耐久性試験を行なった。6 日間(144 時間)実風力電圧変動を水電解セルにかけ続けても大きな変化は見られず、詳細に解析すると、わずかに濃度過電圧の上昇が見られた。発生ガス停滞によるものと想定し、実風力電圧変動をもとに加速プロトコルを作成・実施した。1 サイクルが 48 時間に相当合計 114 日相当の加速耐久性試験を行なった結果を図 4.1.2.15 に示している。Test1、2、3 の間には、48 時間の水流ページを挟んでいる。その結果、2.0V 時の電流密度において、ガス停滞による一時的な低下は見られるものの、それは水流ページにより回復し、水電解セル自体の劣化はほとんどないことが分かった。サイクルを重ねるごとにガス停滞が加速される傾向であることも分かった。以上のことから一時的な性能低下は見られるものの、電極触媒の大きな劣化は見られないことを明らかにした。つまり、水電解セルの耐久性(材料の耐久性も含む)の観点から、再エネ接続水電解の可能性を見出すことができた。

最終目標である再エネ水電解セ

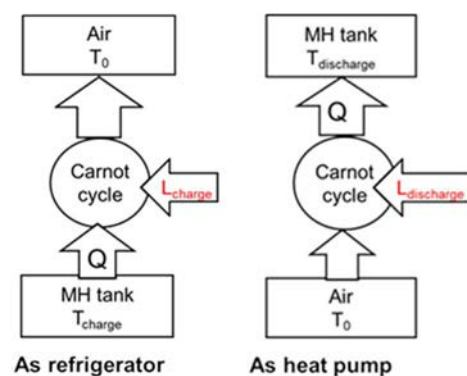


図 4.1.2.13 貯蔵合金における水素充填、放出における消費動力のモデリング

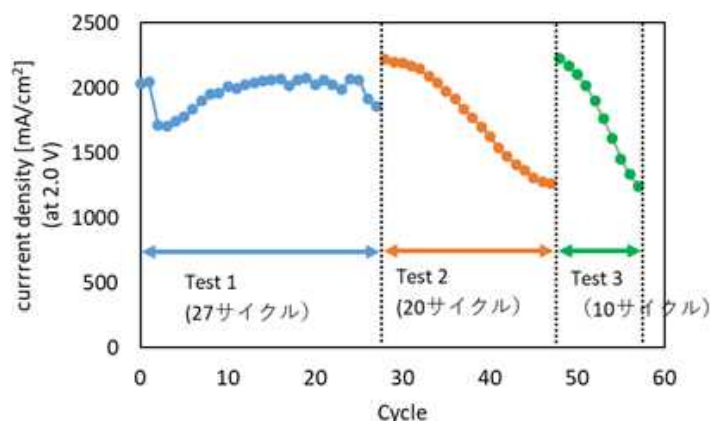
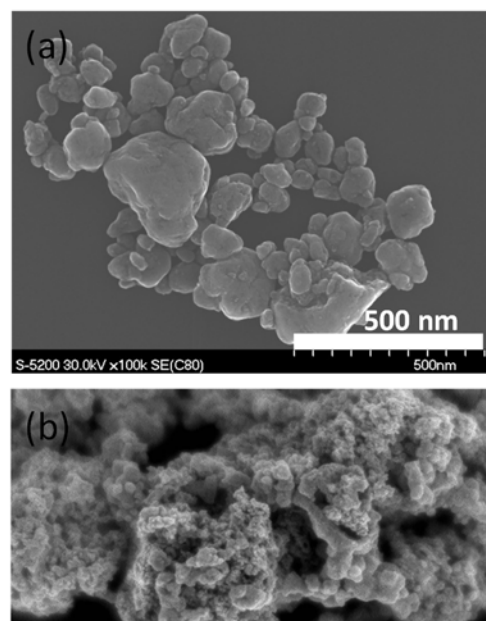


図 4.1.2.15 加速耐久性試験における 2.0V 時の電流密度の経時変化

ルと吸蔵合金タンクの接続に向けては、再エネ水電解-水素貯蔵システムのプロトタイプ開発を行い、現在、課題抽出中である。

(5) 今後の課題と対応方針

全体システム、すなわち水電解セルを水素吸蔵合金に接続した際の、セル内圧力上昇の抑制が課題となる。風力などの実際の再エネ変動電力により水電解すると、水素製造量変動する。製造量が急増した場合、貯蔵合金タンクの圧力が上がり、連動してセル内圧力が上がり、最悪、セルを破壊する。従って、水電解セルと吸蔵合金タンクの間にバッファタンクを設けることになるが、再エネ変動電力を考慮した適切なバッファタンク容量を試算することが課題となる。

また、長期運転に向けては停滞ガスのパージ等の使用上のプロトコルの作成が必要になる可能性がある。

(6) その他特記事項

特になし。

4.1.3 en③ 定置用電源（革新的高効率発電システム）

テーマリーダー（氏名、所属、役職）：	佐々木一成 九州大学 副学長 主幹教授
サブテーマリーダー（氏名、所属、役職）：	立川雄也 九州大学 助教
研究開発実施期間：	2013-2021
参画機関：	九州大学、東京ガス株式会社（京セラ株式会社）

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

持続的共進化地域創生の柱の一つであり地域活性化につながる「真のエネルギー地産地消」の達成に向けて、課題 en③では、図 4.1.3.1 で示す将来目標の全体ビジョン中の定置用燃料電池（定置用電源）を活用した革新的高効率エネルギーシステムの研究開発を、東京大学サテライトで分担・実施しているコストエンジニアリングのグループと密に連携しながら着実に進めてきた。

特に課題 en③では、快適にエネルギーを使いながら、省エネルギー、カーボンニュートラル化を実現し、水素インバランス補償などで再生可能エネルギー利用を拡大させるための革新的なハード創成のため、革新的高効率発電システムの実現に取り組んできた。その他のテーマとも連携して 2030 年や 2050 年までの国や世界のエネルギー政策を視野に入れながら、バックキャストすることで達成目標や技術スペックを設定して、技術開発を集中的に進めた。



図 4.1.3.1 真のエネルギー地産地消に向けた将来の目標図の中での課題 en③定置用電源の位置づけ

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

課題 en③では以下の2種の製品・サービスの研究開発を実施してきた。

- (A) 低炭素化に資する高効率 250 kW 級 SOFC ハイブリッドシステム
- (B) 脱炭素化に資する次世代 SOFC システム

(A)については、九大伊都キャンパスにおける実証運転（屋外での連続運転＋起動停止）により、高い安定性と耐久性を確認でき、日本ガス協会の協力のもと、社会実装に必要な規制適正化（常時監視を不要に）にも結び付けることができた。その結果、システムメーカーによる社会実装・商品化に成功し 2019 年 3 月より商用運転を開始した。

現在、国内各地で 10 機稼働、海外でもドイツで 2022 年 3 月からの稼働が計画中であり、海外

展開も含めて普及拡大が期待でき、高効率定置用電源による低炭素化に寄与できると考えられる。最新鋭の大規模 LNG 火力発電と比較しても、送電ロスを考慮すると同等な発電効率（55%）が得られ、さらに熱も使えることから、系統電力と比較して 30%程度の CO₂ 低減効果がある。また、同じく高効率な分散発電である家庭用燃料電池（エネファーム）と比較して、1 機あたりの CO₂ 削減量が 300 倍以上となるため、この装置を今後、地域の分散型発電設備や普及拡大することで、大幅な CO₂ 低減につながる事が期待される。

(B)については、SOFC システムの社会実装性をさらに高めるための取り組みであり、COI 後の実装を見据えたもので、本事業でプロトタイプセルの開発に取り組んでいる。具体的には、新規電解質材料を用いた発電の超高効率化による省エネ性向上、課題 en①と連携したコストエンジニアリング、SOFC の逆反応により高性能蓄エネや水素製造などの研究開発に取り組んできた。さらに COI 後のシステム化・社会実装を可能にするためのシステムメーカーとの連携も開始した。実現すれば、社会実装性のさらなる向上によって高効率システムの普及拡大が加速し CO₂ 排出量の大幅低減が期待できるだけでなく、普及したシステムのカーボンニュートラル化・脱炭素化を進めることによって CO₂ 排出量実質ゼロに向けた更なる排出削減が期待できる。

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

「真のエネルギーの地産地消」の実現を見据え、貯蔵した水素から必要な時に必要な分だけ消費者に定置用電源によって電気を供給する水素インバランス補償技術の高性能化が必要であり、水素-電力の変換効率 60%超を実現する。「真のエネルギー地産地消」を実現させるためには、快適にエネルギーを使いながら、省エネルギー、カーボンニュートラルを可能にする定置用電源を開発・利用し、水素から必要な時に必要な分だけ消費者に電気を供給したり、モビリティなどの多用途で使用する水素インバランス補償技術の高度化が必要となる。

そこで課題 en③では、研究期間終了時の目標として以下を設定した。

(3.1) 九州大学で屋外での実証運転を実施してきた 250 kW 級 SOFC ハイブリッドシステムの市場浸透

(3.2) 高燃料利用率運転を可能にする新規アノードのさらなる高耐久・高性能化の実現。高燃料利用率運転を可能にする新規アノードのさらなる高耐久・高性能化の指標として、10 年耐久相当の耐久性を実現

(3.3) 水素燃料で 60%超の発電効率と高い耐久性を両立することが可能なセル・デバイスを開発する。具体的には以下の通り：

- (a) 化学的安定性を評価し、各材料のスクリーニングを完了する
- (b) セル製造試作技術を確立する
- (c) 化学的安定性評価によって選定された各材料 (a) と確立した製造技術 (b) を組み合わせて作製したセル・デバイスで、60%超の発電効率を示す電流-電圧特性を実現する。
- (d) 1000 時間以上の発電試験を行いセル・デバイスの耐久性を複数評価する。
- (e) 60%超の発電効率に必要な電流-電圧特性を実現したセル・デバイス (c) について、各材料の化学安定性の評価 (a) と 1000 時間超の運転 (d) によって、社会実装に必要な耐久性見通しを総合的に得ることを目指す（効率 60%超と高耐久の両立）。
- (f) 革新的高効率セルの実用化に向けて開発メーカー候補との協力を進める。
- (g) 革新的高効率発電の技術・材料を応用した革新的脱炭素化システムの設計を行い、脱炭素・水素社会への適用性向上を図ることで、未来のエネルギーネットワークにおける開発技術の価値最大化を試みる。

このように、最終的（2030 年）な目標として、脱炭素社会実現へとつながるカーボンニュートラル・可逆定置用電源を開発・利用し、必要な時に必要な分だけ消費者に電気を供給する水素インバランス補償技術の実用化を目指している。本研究開発期間終了時には、そのための基盤技術となる「水素燃料で 60%超の発電効率と高い耐久性の両立が可能なセル・デバイス」を開発

する。

(4) 主な成果と達成状況

上述のとおり、課題 en③では以下の2種の製品・サービスの実現に向けて研究開発を実施してきた。

(A) 低炭素化に資する高効率 250kW 級 SOFC ハイブリッドシステム

(B) 脱炭素化に資する次世代 SOFC システム

＜産業用燃料電池複合発電システムの社会実装＞

(A)については、社会実装性を以下の式のように定義し、多面的複合的に評価・検証した。

社会実装性＝実現性×実用性×普及基盤×経済性×社会的便益

ここで、実現性は理論、基本性能確認等、実用性は安全性、耐久性、設置性等、普及基盤は規制適正化等、経済性は事業性等、社会的便益は導入効果等を含む。

九大伊都キャンパスにおける実証運転（屋外連続運転＋起動停止）により、高い安定性と耐久性を確認でき、日本ガス協会の協力のもと、社会実装に必要な規制適正化（常時監視を不要に）にも結び付けることができた。

本 COI 事業における取組で、商品化に向けた大きなハードルを越えることができたことで、メーカーによる社会実装・商品化に成功し、2019年3月より商用運転を開始している。図4.1.3.2の通り、本システムは国内各地で10機稼働、海外でもドイツで2022年3月からの稼働が計画中であり、海外展開も含めて普及拡大が期待される。

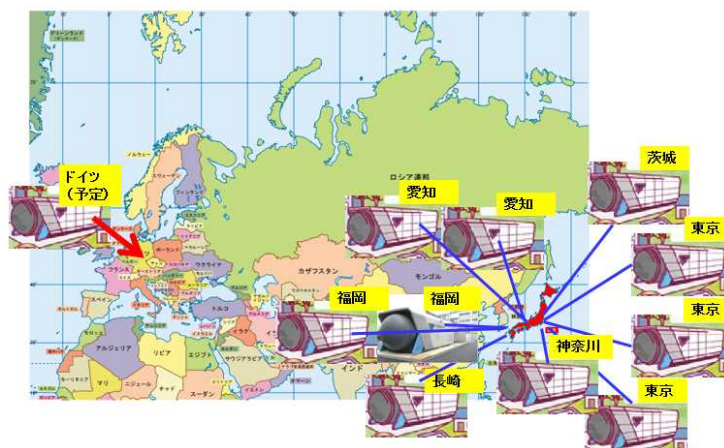


図 4.1.3.2. 250kW 級 SOFC ハイブリッド機の稼働状況

最新鋭の大規模 LNG 火力発電と比較しても、送電ロスを考慮すると同等な発電効率（55%）が得られ、さらに熱も使えることから、系統電力と比較して30%程度のCO2低減効果がある。

また、同じく高効率な分散発電である家庭用燃料電池（エネファーム）と比較しても1機あたりのCO2削減量が数百倍となるため、この装置を今後普及拡大することで、大幅なCO2低減につながる。

(B)については、SOFCシステムの社会実装性をさらに高めるために、3つの課題

① 省エネルギー性のさらなる向上、② 低コスト化、③ 脱炭素化・再エネ活用への対応）に取り組んできた。COI後の実装を見据えた取り組みである。①では新規電解質材料を用いた発電効率の超高効率化による省エネ性向上、②では課題 en①と連携したコストエンジニアリング、③ではSOFCの逆反応による高性能蓄エネや水素製造、などの革新的高効率エネルギーシステム実現のボトルネックを解消することができた。

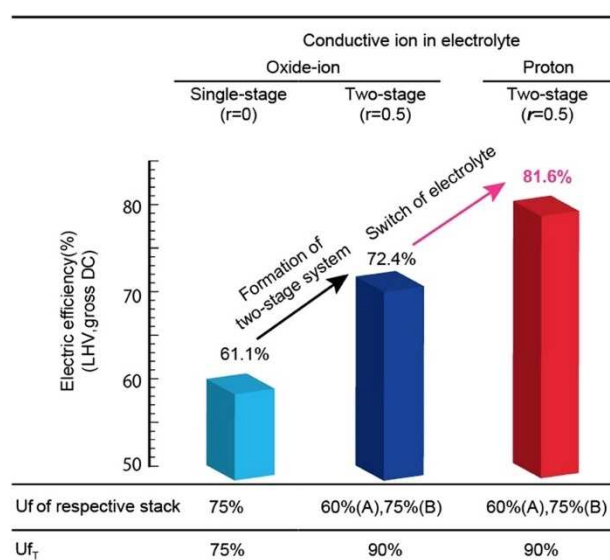


図 4.1.3.3. 新規発電コンセプトによる超高効率化

＜新規電極材料を用いたプロトタイプセルの開発＞

2015年に報告した①省エネルギー性の更なる向上における新規電解質材料を用いた発電効率の超高効率化の研究成果は、Nature 姉妹紙に論文が掲載され、**図 4.1.3.3** に示すように従来システムを大きく超える発電効率の実現可能性を理論設計により明らかにした。本テーマにおける将来的な社会実装を目指す技術の一つとして、COI 後の社会実装を見据えた研究開発を継続する予定である。

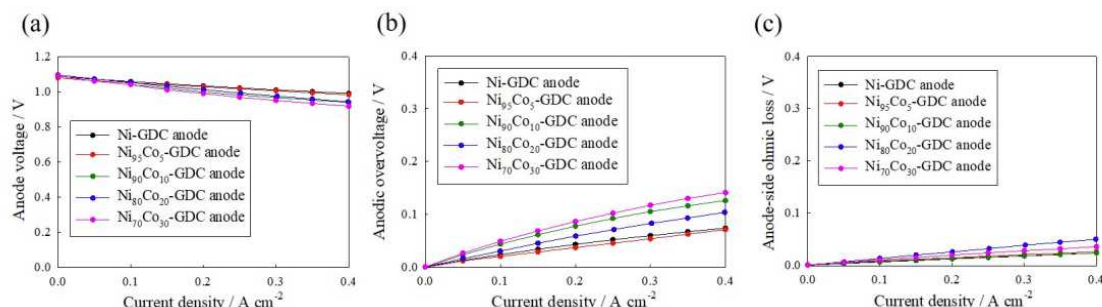


図 4.1.3.4. NiCo 合金アノードの発電特性 (a) アノード電位 (b) 過電圧 (c) オーム損

更なる高効率化と高耐久性の両立に向けて、1つの大きな課題である高燃料利用率運転を可能にするアノードの高耐久・高性能化を進めた。実用レベルの耐久性を実現するアノードの開発へとつながった。

具体的には、発電効率 60%超の実現に向けて高性能・高耐久なアノード電極の開発を進めた。ニッケル Ni とコバルト Co の合金を電極に用いた Ni-Co 合金電極の開発により、耐久性を向上させ、従来の Ni 電極 (図中の Ni-GDC anode) と同等の性能を示すことを確認した (**図 4.1.3.4**)。また、**図 4.1.3.5** の電極の電子顕微鏡元素分布像で Ni と Co が同じ箇所に分布しており、相分離せずに合金化していることが確認できた。起動停止時に起こる酸化還元の際に、アノード Ni 合金表面に酸化 Co 被覆膜が生成することで Ni 合金の更なる酸化還元が抑制される、酸化還元耐久性が実証されている。特に、NiCo 合金 SOFC アノード (燃料極) を用いたプロトタイプセルのセル性能は、800°Cにおいて、空気極に空気、燃料極に加湿水素 (50%H₂O-50%H₂) ガスを供給して燃料電池発電させた際の標準的な作動条件 (電流密度 0.2 A/cm²) において 0.894V の高いセル電圧が達成できた。燃料利用率 95%の場合、発電効率 (DC) は 68.3%となり、本 COI が掲げた発電効率 60%を超え、新規開発材料で目標を達成することができた。これらの新規電極材料は燃料電池のみならず、高温での水蒸気電解 (SOEC) にも使えるポテンシャルを有しているため、可逆水蒸気電解セルの研究プロジェクト (NEDO「クリーンエネルギー分野における革新的技術の国際共同研究開発事業/革新的水素製造・利用の要素技術開発/革新的な可逆水蒸気電解セルの国際共同研究開発」) に発展している。

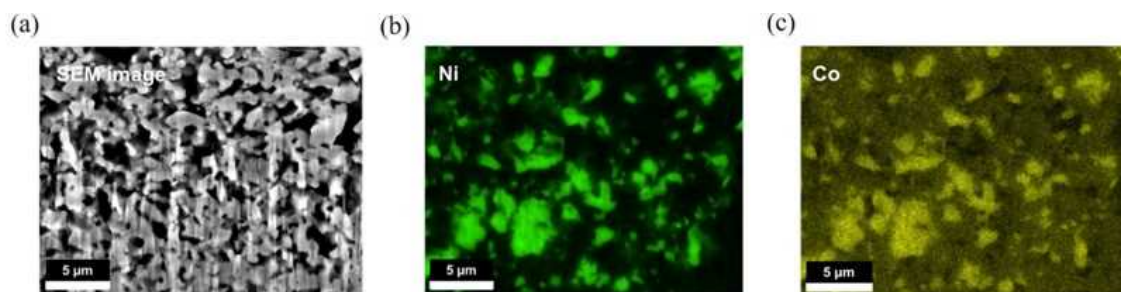


図 4.1.3.5. NiCo 合金アノードの電子顕微鏡画像 : (a) SEM 像、(b) Ni 分布、(c) Co 分布

＜新規電解質材料によるプロトタイプセルの開発＞

化学的安定性を確認できた新規多層プロトン導電性電解質を用いて 1000 時間以上の耐久性確

認と 60%超の発電効率を両立させたデバイスが得られるとともに、そのデバイスの応用による脱炭素システムの概念設計も可能となった。上記(3)の「研究開発期間終了時の達成目標」で示した(a)～(g)については以下のとおりに研究を進めた。

(a) 化学的安定性を評価し、各材料のスクリーニングを完了:

高温 CO₂ 暴露試験+ラマン分析により、電解質材料のスクリーニングを実施し、安定組成を抽出できた。さらに高温 H₂O 暴露試験+SEM/EDX/XRD 分析により、電極材料のスクリーニングを実施し、安定組成を抽出できた。

(b) セル製造試作技術を確立:

図 4.1.3.6 に示す通り、10 μm の緻密なプロトン伝導性電解質層（多層構造）を燃料極基板上に形成する技術を確立できた。

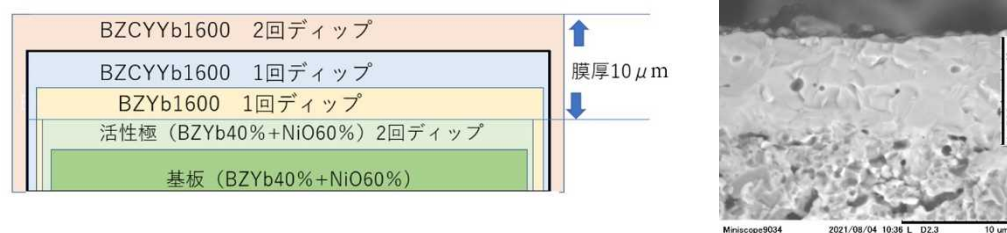


図 4.1.3.6. プロトタイプを開発したプロトン伝導性セルの断面模式図と断面写

(c, d, e) 目標とする性能・耐久性の達成

化学的安定性評価によって選定された各材料 (a) と確立した製造技術 (b) でセル・デバイスを製造し、60%超の発電効率に必要な性能と 1000 時間超の安定運転に成功した (図 4.1.3.7)。すなわち、社会実装に必要な耐久性の見通しを総合的に得ることができた (60%超と高耐久の両立)。

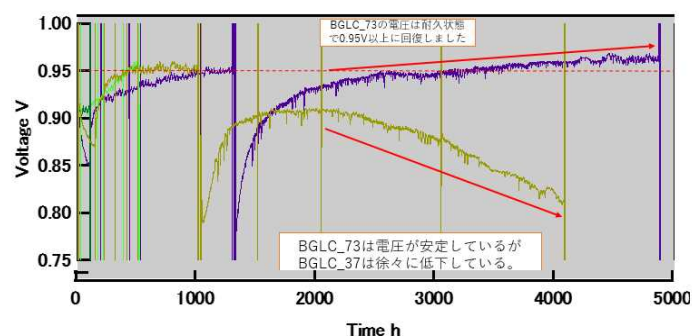


図 4.1.3.7 空気極に BGLC_73 ($\text{Ba}(\text{Gd}_{0.7}\text{La}_{0.3})\text{Co}_2\text{O}_6$) と BGLC_37 ($\text{Ba}(\text{Gd}_{0.3}\text{La}_{0.7})\text{Co}_2\text{O}_6$) を用いプロトン伝導性 SOFC デバイスの 5000 時間までの長期耐久試験結果

(f) 実装に向けた取り組み

革新的高効率セルの実用化に向けて開発メーカー候補 2 社との協力を進めている。

(g) 更なる技術展開

革新的高効率発電の技術・材料を応用した革新的脱炭素化システムの設計を実施した。例えば、メタン接触熱分解法を革新的高効率デバイス技術に適用することで発電システムの高効率化と脱炭素化が可能となることを示した。

(5) 今後の課題と対応方針

(A)については既に商用化しており社会実装に成功し、(B)については COI 後のシステム化・社会実装を可能にするためのシステムメーカーとの連携を開始した。また、本テーマにおける成果の中核をなす一部の材料については、今後 NEDO プロジェクトにより、社会実装に向けて開発が加速する見込みである。今後 2030 年をめどに社会実装が実現すれば、市場性の向上によって高効率システムの普及拡大が加速し CO₂ 排出量の大幅低減が期待できるだけでなく、普及後のシステムのカーボンニュートラル化・脱炭素化を進めることによって CO₂ 排出量実質ゼロに向けた更なる排出削減が期待できる。

(6) その他特記事項

革新的高効率発電の Nature 姉妹紙への発表成果 (Matsuzaki et al., *Scientific Reports*, 2015) は、日経の全国紙でも取り上げられ、国内外で広く引用され、超高効率発電を目指したプロジェクトの立上げへとつながった。日本では、2017 年度からの NEDO 先導研究の立上げにつながり、先導研究後にはさらに本格的な NEDO プロジェクトが開始されている。

4.1.4 en④ 移動体用電源（水素モビリティ・再エネ電気モビリティ）

テーマリーダー（氏名、所属、役職）：	佐々木一成 九州大学 副学長 主幹教授
サブテーマリーダー（氏名、所属、役職）：	谷口俊輔 九州大学 教授
研究開発実施期間：	2013-2021
参画機関：	九州大学、日産自動車

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

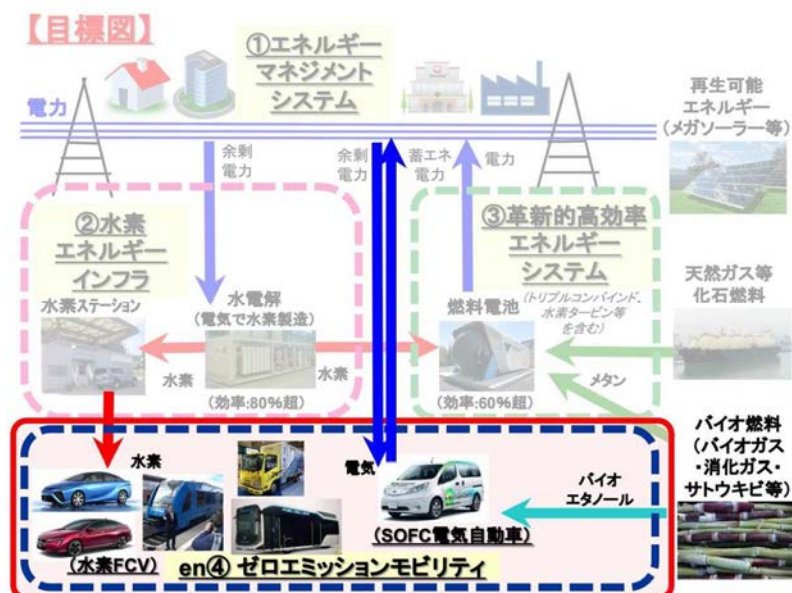


図 4.1.4.1 真のエネルギー地産地消に向けた将来の目標図の中での課題 en④移動体電源の位置づけ

昨今、世界各国が脱炭素化の目標年限を明言し、国内外でグリーンイノベーションが大幅に加速する中、エネルギー部会では脱炭素化時代の「真のエネルギー地産地消」の具体的な姿を明示し、環境と経済を両立させる成長戦略の技術的な基盤を構築してきた（図 4.1.4.1）。「脱炭素化」と「真のエネルギー地産地消」の実現のためには、電力部門や他のセクターと同様に、多くのエネルギーを消費する移動体部門においても「ゼロエミッションモビリティ」によるエネルギーの効率的な利用が不可欠である（図 4.1.4.1）。電力部門における脱炭素化は、再生可能エネルギーの積極導入が重要となるが、余剰電力の中～大規模で週や季節を超える蓄エネルギーの場合は、化学的なエネルギー媒体である水素が期待される。

水素モビリティでは、「ゼロエミッションモビリティ」である燃料電池自動車（FCV）に搭載する燃料電池の高耐久・高性能化を進めることで、FCV を実社会に実装し、モビリティ部門における脱炭素化に寄与する。さらに、再生可能エネルギー由来の地産地消の水素を活用することにより、移動体部門における「真のエネルギー地産地消」を実現させる。

再エネ電気モビリティは、地域で作れるバイオエタノールなど多様なカーボンニュートラル燃料を用いて高効率、高出力密度で発電可能な固体酸化物形燃料電池（SOFC）を搭載した電気自動車（EV）である。EV の蓄電池はインバランス補償に使えるが、EV 車に SOFC システムを搭載し、SOFC で EV の蓄電池に充電しながら走行するため、SOFC がいわゆる「レンジ・エクステンダー」となり、航続距離が長くなる。既存の燃料インフラが利用できるというメリットがある。カーボンニュートラルサイクルを活用したバイオエタノールを燃料に用いるとライフサイクル合計での CO₂ 排出をゼロに近づけることもできる。資源の有効活用、電力のインバランス補償、系統に依存しない真のエネルギー地産地消が実現できる。拠点ビジョンであるクリーンエネルギーの活用、地球環境への負荷低減、持続可能な地域創成に貢献できる。再エネ電気モビリティの実現のために

は、耐熱衝撃性をクリアできるメタルサポート SOFC で、高出力密度と安定作動の両立が必要となる。本テーマでは、自動車メーカーと共同で安定作動技術の開発に取り組んだ。

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

水素モビリティでは、移動体用電源として燃料電池自動車に使用される燃料電池の高耐久・高性能化を進めることで、次世代の燃料電池自動車への実装を目指している。課題 en②の図 4.1.2.3 に示すように、水素燃料電池自動車は 2030 年に 80 万台の普及目標が掲げられており、相応の規模のユーザーや市場規模を有すると考えられる。また、ヨーロッパで 2035 年以降に発売される自動車は全てゼロエミッション化が求められるなど、移動体の脱炭素化は急速にその重要性が増している。競合技術として蓄電池のみ搭載の電気自動車が挙げられるが、走行距離などの関係から一般的には市場において、将来、燃料電池自動車（大型車、商用車など）と電気自動車（一般車、軽自動車など）の住み分けがされると考えられ、共に移動体の脱炭素化に資する技術となる。

一方、高温作動の燃料電池である SOFC で車上で発電し、その電気を蓄電池に供給して走行する電気自動車が水素自動車と並んで期待されている。この電気自動車用 SOFC には、従来型セル（アノードサポートセル）における最高レベルの出力密度（ $\sim 2 \text{ W/cm}^2$ ）だけでなく、急速起動時にスタック内に生じる大きな温度分布（熱応力）にも耐える高い耐熱衝撃性が求められる。この要求に応えられる唯一の技術は、熱伝導性が高く機械的強度も高い金属材料で SOFC の発電部を支持するメタルサポート SOFC である。しかし、耐熱合金からなる支持体とセラミックスからなる発電部を複合化した構造、およびその製造方法に起因して、材料的な安定性が大きな課題であった。メタルサポート SOFC は、国外メーカー（英国セレスパワー）の開発が先行しているが、上記の要求を満たすものはまだ得られていない。国内のセルメーカーは、従来型のセル開発で世界をリードしてきたが、メタルサポート SOFC の開発は出遅れている。

本テーマでは、電気自動車用 SOFC の実現に不可欠な、高出力密度、耐熱衝撃性メタルサポート SOFC を安定に作動させるための技術を開発し社会実装する。本 COI 期間内に安定化技術の基本を確立し、その後の SOFC-EV 開発に活用する。本テーマおよび後続の開発によって構築される安定化技術は、電気自動車用 SOFC の実現だけでなく既存の定置用 SOFC のコンパクト化、低コスト化にもつながるため波及効果は大きい。

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

エネルギー部会の最終的なゴールである「真のエネルギー地産地消」を実現させるためには、再エネの余剰電力から作られる水素や水素を多く含む燃料を利用する移動体用燃料電池の開発が欠かせない。これらの実現のためには、水素モビリティである燃料電池自動車（FCV）の実用化に向けた燃料電池性能の向上と安定作動技術の確立が必要となる。水素モビリティで達成すべき具体的な数値目標として、 1 W/cm^2 を超える発電を可能とする高効率かつ高耐久性な燃料電池システム開発、実証を行い、到達目標の達成を目指す。すでに当研究グループでは、 2 A/cm^2 でセル電圧 0.55 V 、つまり数値目標値を超えるセル出力 1.1 W/cm^2 を到達済みであり、今後、更なる高出力化を目指す。

本 COI の最終年度である 2021 年度、再エネ電気モビリティでは、メタルサポート SOFC の実運転模擬条件での安定性を向上させ、劣化率の目標 10%以下/5000 h を達成する。材料課題解決指針を明確化し、自動車メーカーでのスタック仕様設計へ反映させる。また、クロム被毒のない FeCrAl 合金集電体について、実用レベルの表面抵抗（ $20 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$ ）、安定性（10 万時間見通し）を確認し、これを用いた低コストセル開発を行い普及に向けた取り組みを進める。

(4) 主な成果と達成状況

<水素モビリティ>

課題 en④の移動体用電源の中でも、水素モビリティに用いられる固体高分子形燃料電池 (PEFC) の性能向上の重要な課題の一つが、電極触媒層の高耐久化、高性能化である。この実現に向け、en④の水素モビリティでは、酸化スズなどの導電性酸化物を活用した金属酸化物系触媒担体の開発をこれまで進めている。

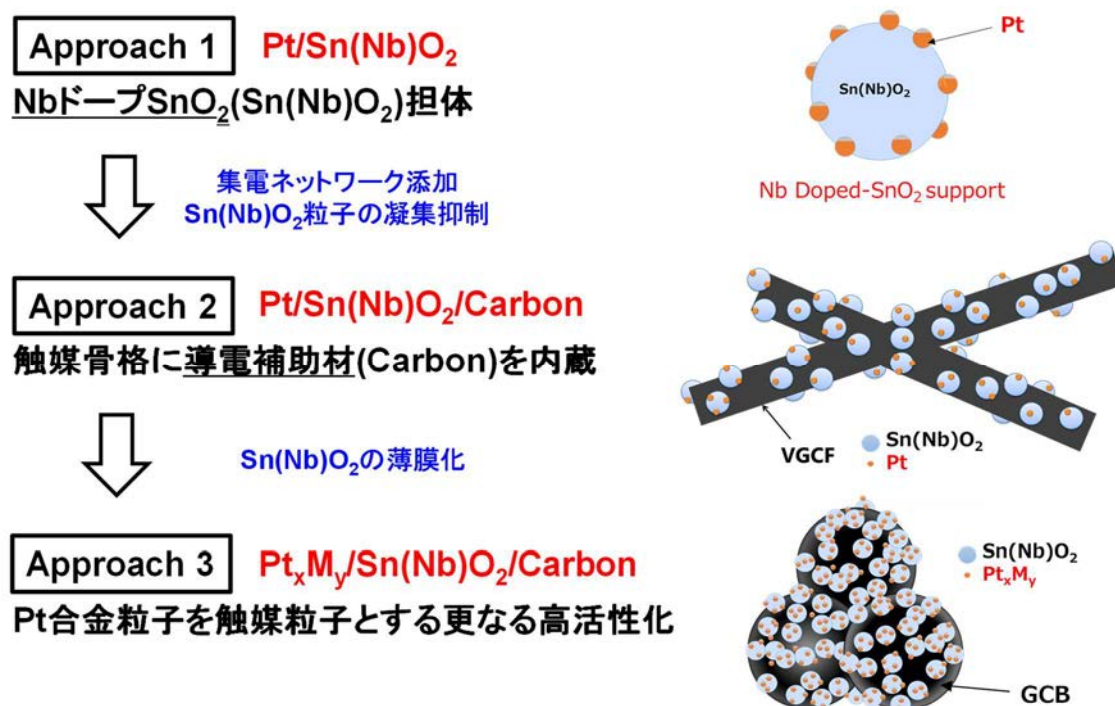


図 4.1.4.2 エネルギー部会における水素モビリティ向け高耐久高性能電極の開発アプローチ

図 4.1.4.2 に示すアプローチ 1 のカーボンフリーの Pt/Sn(Nb)O_2 電極は COI 開始前から開発を進めてきたが、本 COI において、アプローチ 2, 3 に示す手法によって高耐久化と高性能化を両立できた。触媒の担体骨格として黒鉛化度を高めた炭素材料である高黒鉛化カーボンブラック (GCB) を用いて、GCB 上に Nb をドープした数ナノ径の Sn(Nb)O_2 微粒子を分散し、GCB 上に高分散させた Sn(Nb)O_2 微粒子上に Pt-Co 合金触媒をさらに分散させ、電極触媒 ($\text{Pt-Co/Sn(Nb)O}_2/\text{GCB200}$) を調製した。この $\text{Pt-Co/Sn(Nb)O}_2/\text{GCB200}$ 電極触媒は、Pt-Co 触媒が高い性能を示し、さらにこの Pt-Co 触媒に接触する Sn(Nb)O_2 が高い耐久性を示すことから、本 COI で目指す 1 W/cm^2 (2 A/cm^2 でセル電圧 0.55 V 、つまり本 COI の数値目標値を超えるセル出力 1.1 W/cm^2 の達成に成功) を達成可能かつ高い耐久性 (6 万回の起動停止サイクル耐久性) を有するプロトタイプ燃料電池セルが作製できた。

この $\text{Pt-Co/Sn(Nb)O}_2/\text{GCB200}$ 電極触媒構造の確認を行うため、STEM 観察を行った (図 4.1.4.3)。Pt-Co/ $\text{Sn(Nb)O}_2/\text{GCB200}$ 電極触媒の調整に、アンモニア共沈法 (図 4.1.4.3 上段) と凍結乾燥法 (図 4.1.4.3 下段) を用いたが、それぞれの方法で得られる電極触媒材料の構造比較の結果、共に数ナノ径の Pt-Co 粒子が Sn(Nb)O_2 上に高分散で選択的に担持されていることが確認でき、高い耐久性と活性を有する電極であることが観察結果からも可視化できた。

また、高効率かつ高耐久な固体高分子形燃料電池システムのコンセプト開発の一環で、電極内部のイオン伝導性の重要性に着目し、電極内イオン (プロトン) 抵抗の直接測定手法を、評価システムの改良等行うことで確立を目指してきた。一般的に用いられる伝送線モデルにより求められる電極内プロトン抵抗 ($0.2\ \Omega\text{ cm}^2$) と同等の精度となった。

本電極材料を含む PEFC 関連材料が、COI における開発の成果として特許・権利化されている。これらの研究成果が高く評価され、NEDO 事業の新規採択につながっている (NEDO「燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業/水素利用等高度化先端技術開

発／高分子形と酸化物形の技術融合による電極一体型次世代 PEFC の創製」)。今後、製品化に向けた社会実装を COI 期間終了後も加速化させる。

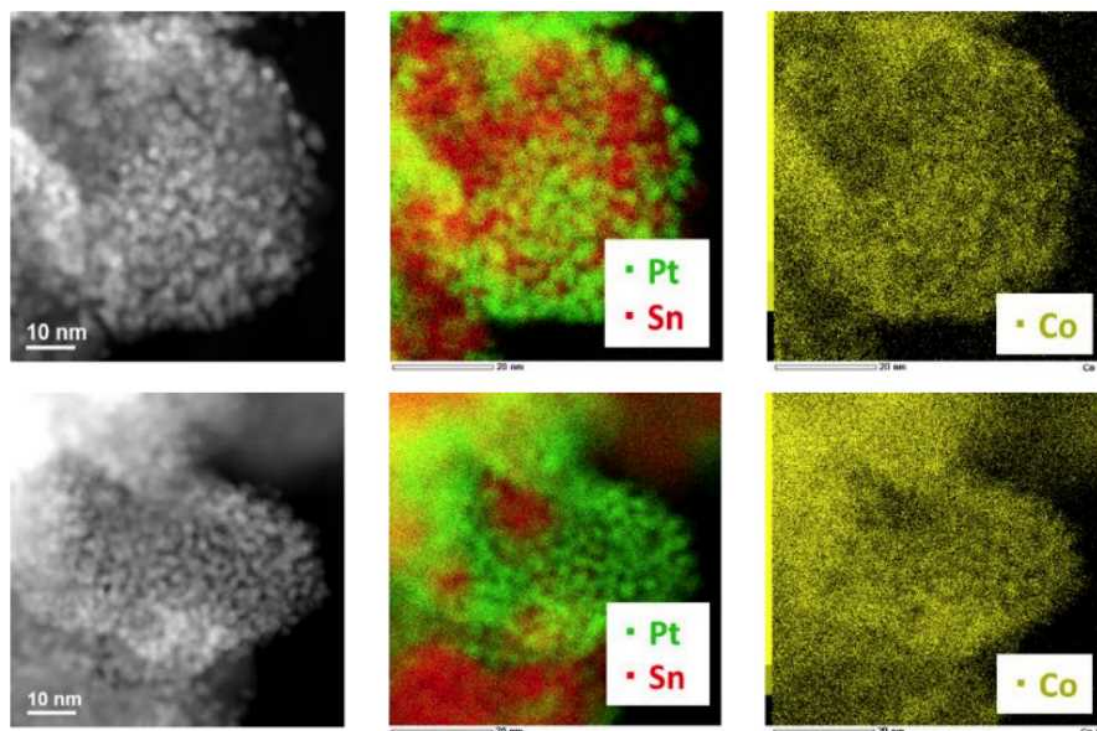


図 4.1.4.3 Pt-Co/Sn(Nb)O₂/GCB200 の高分解能 STEM 像、上段：アンモニア共沈法で作製、下段：凍結乾燥法で作製

<再エネ電気モビリティ>

メタルサポートセルの出力密度の向上

電気自動車用 SOFC のコア技術となるメタルサポートセルの出力密度を向上させながら、劣化現象と要因を分析し、材料的な課題の解決につなげた。まず、ガスシール構造、集電方法、電極微構造の改良によって出力密度を向上させた。ガスシール構造について、メタルサポートセルの周囲に配置するセラミックス板、ガラス板の積層順序や厚さを適正化し、ガスリークを問題ないレベルに低減した。空気極側の集電方法について、ガス拡散性を維持しつつ、比較的小さい押圧によって均一な接触が可能となる集電材と押圧条件を選定した。燃料極の微構造について、ニッケル粒子の繋がりからなる電子伝導経路、酸化

物粒子の繋がりからなる酸素イオン伝導経路、気孔の繋がりからなるガス拡散経路が交わる電極

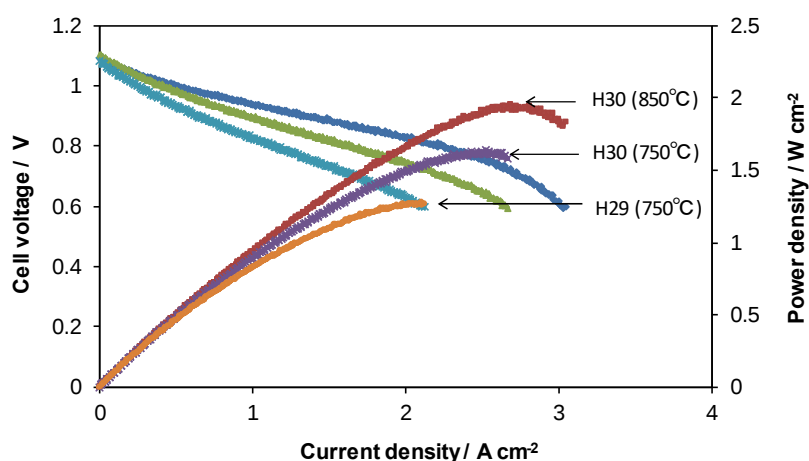


図 4.1.4.4 再エネ電気モビリティ用メタルサポートセルの出力特性

物粒子の繋がりからなる酸素イオン伝導経路、気孔の繋がりからなるガス拡散経路が交わる電極

反応場（三相界面）が増加するように電極材料と微構造を調整した。その結果、作動温度 750℃ では、電流密度 2.49 A/cm²、セル電圧 0.651 V、出力密度 1.62 W/cm² を得た（図 4.1.4.4）。スタックを高出力密度で発電した場合には、発熱量が増え温度が上昇する傾向にあるため、出力密度の温度依存性を測定した。作動温度 850℃ では、電流密度 2.65 A/cm²、セル電圧 0.732 V、出力密度 1.94 W/cm² が得られた。

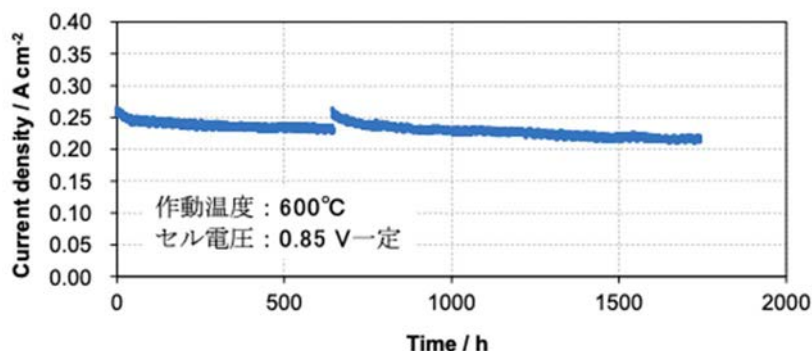


図 4.1.4.5 FeCr 合金を用いたメタルサポートセルの安定性向上

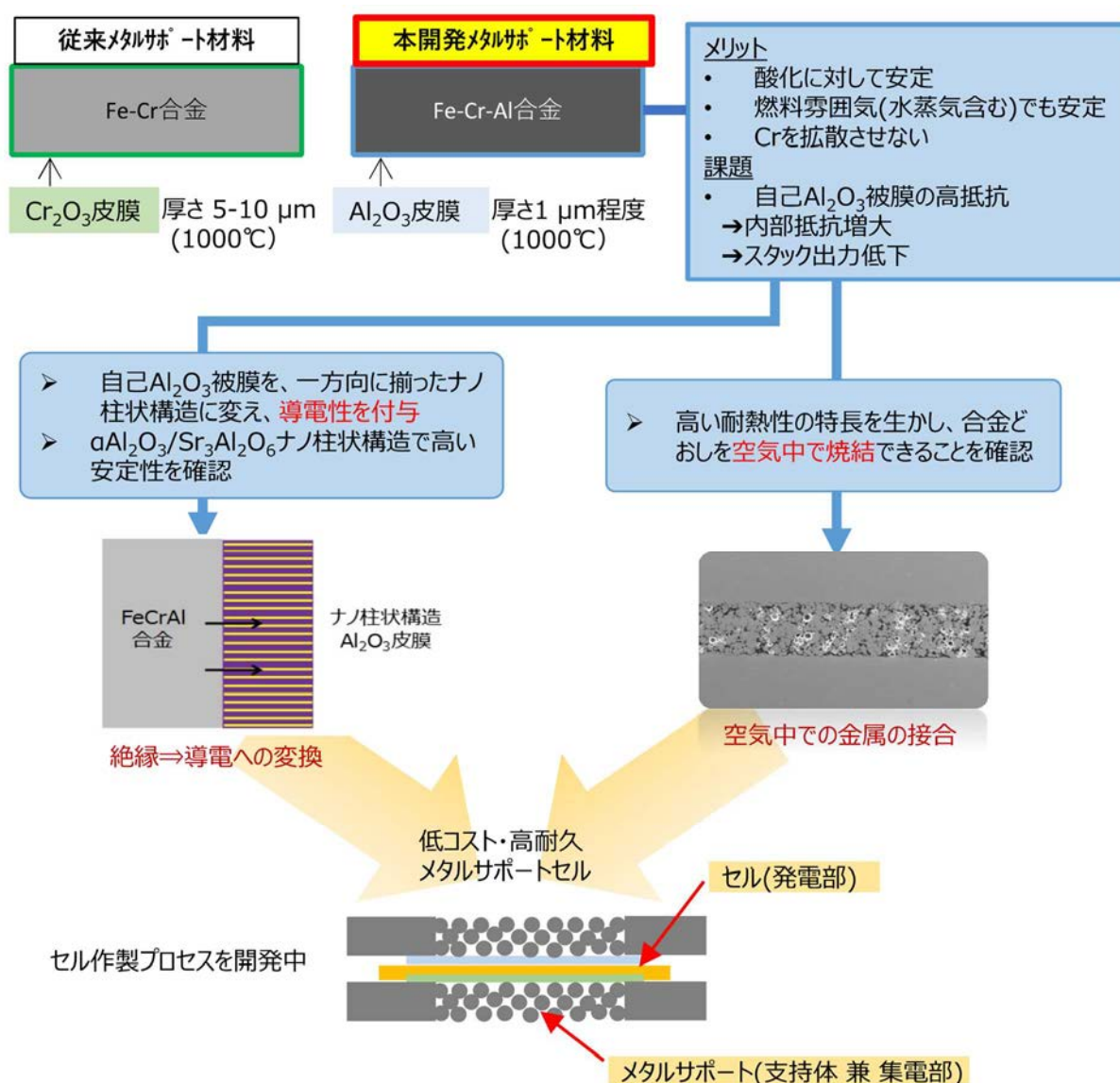


図 4.1.4.6 独自材料技術（FeCrAl 合金）に基づく低コスト・メタルサポートセルの開発

メタルサポートセルの作動安定性の向上

メタルサポートセルの連続発電試験を行い安定性を評価した。電気化学測定によってセル電圧低下や内部抵抗増加の要因を解析した（図 4.1.4.5）。セル試験後の高分解能分析・解析によって、

電極微構造の変化、金属材料からの微量元素拡散による反応生成物、析出物の有無、その他材料組成の変化などを詳細に調べた。主に電解質の微小リークを発端とする劣化現象であることを確認し対策方針を明確にした。この結果、セル作製工程の変更、電解質の緻密化、微小リークの低減につなげ、連続発電試験における劣化率を、2020 年度末時点において 6.5 %/1000 h まで向上させた。現在、更なる耐久性の向上に取り組んでいる。

新規 FeCrAl 合金支持体と低コスト・メタルサポートセルの開発

上記開発と並行して、メタルサポートセルに用いる新しい金属支持体の開発を戦略的に進めた(図 4.1.4.6)。FeCrAl 合金は、高い耐熱性、被毒物質の低拡散性などの優れた特長を持つが、表面に形成されるアルミナ保護皮膜に導電性がないため、他では検討されてこなかった。我々は、FeCrAl 合金の表面に形成されるアルミナ保護皮膜の電気抵抗を文献値の 1000 分の 1 に下げる処理法と、導電性が発現する特異な微構造（一方向に揃った $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ ナノ柱状構造）を発見したので、本テーマでは集電体としての応用開発を進めた。表面導電性を付与した FeCrAl 合金の耐久性向上策の検討と、この材料を用いたセル開発を実施した。耐久性向上策については、 $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ ナノ柱状構造を持つアルミナ保護皮膜では、空气中 700℃において板材で 400 mΩ cm² 程度、多孔体で 40 mΩ cm² 程度の低い電気抵抗値を、少なくとも数万時間以上維持することを確認した。

セル開発については、FeCrAl 合金の高い耐熱性の特長を生かしたセル構造と作製法を検討した。一般にメタルサポート SOFC の支持材料には FeCr 合金が用いられてきたが、空气中 1000℃以上では金属の酸化が過剰に進むため、電解質焼結などのセル作製を真空や還元ガス中で行う必要があり、製造コストの問題があった。これに対して、FeCrAl 合金は耐熱性が高く、空气中 1000℃以上の熱処理にも耐える。表面に生成する酸化皮膜が薄いので、熱処理中に合金どおしを接合することも可能になる。この可能性を実験的に検証し、空气中で作製できるメタルサポートセルのコンセプトを創出した。セル構造やセル製造法を設計し開発を進めている。

上記のとおり、九州大学が日産自動車と連携して、SOFC-EV に必要となるメタルサポート SOFC の安定作動のための技術開発に取り組んだ。本 COI 期間内に安定化技術の基本を固め、開発を推進する原動力となった。今後、SOFC-EV への実装を目指したセル開発、スタック開発を加速させる。

(5) 今後の課題と対応方針

水素モビリティに向けて、上述のとおり開発を進め COI 内で特許を取得した高耐久 PEFC 電極の技術は、実際の製品への適用が今後の課題となる。FCV メーカーとも密な連携を進めている。

再エネ電気モビリティでは、独自開発の FeCrAl 合金を用いたメタルサポートセルは、低コスト化、高耐久化のため有望な技術であるが、製造条件の確立、発電性能の実証が課題として残った。本 COI 終了後も継続して開発し、スタックへ適用できるレベルに引き上げる。また、スタック側の検討において、起動・停止時間の短縮や低コスト化の観点で、より低温での作動が望ましいと認識されるようになった。一般に、低温では電極反応活性が低下し出力密度が低下するため、触媒活性の高い電極材料や、低温作動に適した電極微構造、製造方法が必要となる。今後、これらの課題を早急に解決し、SOFC-EV への実装を目指したスタック開発を加速させる。本技術は、電気自動車用 SOFC の実現だけでなく定置用 SOFC のコンパクト化、低コスト化も実現できるため、資源の有効活用、電力のインバランス補償、系統に依存しない真のエネルギー地産地消、持続可能な地域創成にも貢献する。2020 年度から NEDO「燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業／共通課題解決型基盤技術開発／固体酸化物形燃料電池スタックの高度評価・解析技術の研究開発」において、社会実装に向けた開発を継続して実施している。

(6) その他特記事項

特になし

4.2 モビリティ部会

インターネットの普及によってモノや情報、サービスの流通が急速に高速化・個別化・広域化していく一方で、社会経済活動のための人々の移動については、地方都市や大都市郊外を中心に、自家用車への依存が進行し続けている。自家用車への過度な依存は、交通事故や環境負荷、身体不活動に伴う健康リスクの増大、市街地の拡散と中心市街地の衰退、公共交通サービスの低下による移動困難者の発生といった様々な弊害をもたらす。しかもそれらは不可逆的な性質を備えており、このまま何も手を打たなければ、悪化の一途を辿ることが懸念される。

そこで、モビリティ部会では「自動車中心のまちから住み続けられる人間中心のまちへ！」をビジョンに掲げ、図 4.2.0.1 に示す 3 つの研究開発テーマに取り組んだ。このビジョンは SDGs の「No. 11 住み続けられるまちづくりを」に対応したものとなっている。

自家用車依存からの脱却を図るには、自家用車を使わなくても済む状況、あるいは使わない方が良く見える状況を、人々の生活の中に作り出す必要がある。そのためには、既存公共交通サービスの使いやすさと包摂性を高めることに加え、それらのサービスを補完・補強する新たな交通システムの開発と実装が求められる。そして、個々の輸送サービスの総体としてのモビリティシステムは、居住環境・地球環境・生態系への負荷が小さく、財政的に安定で、社会的包摂に強く配慮されたものでなければならない、というのが基本的な考え方である。



図 4.2.0.1 拠点ビジョンと研究テーマの関係（モビリティ部会）

上述のビジョンに対応した数値目標として、移動のしやすさの自家用車の有無による格差を表す「1日あたり移動回数」と、移動における自家用車への依存度を表す「交通手段の構成比」を設定した。人々のマクロな交通行動の変容には長期を要するため、2050年頃にビジョンを実現するものとし、そこからバックキャストしたシナリオを図 4.2.0.2 に描出した。既存の公共交通サービスを補完する協働・共有型モビリティシステムの社会実装により、2030年頃に自家用車を利用できない層の1日あたり移動回数を10%増加、全移動における自家用車の構成比を5%減少させ

ることを中期目標とした。その達成に向け、大都市郊外のモデル地区において協働・共有型モビリティシステムを財政的に持続可能な形で社会実装し、それを他地域へ展開するための自立的な体制（プラットフォーム）を構築することを、COI 終了時点での目標とした。

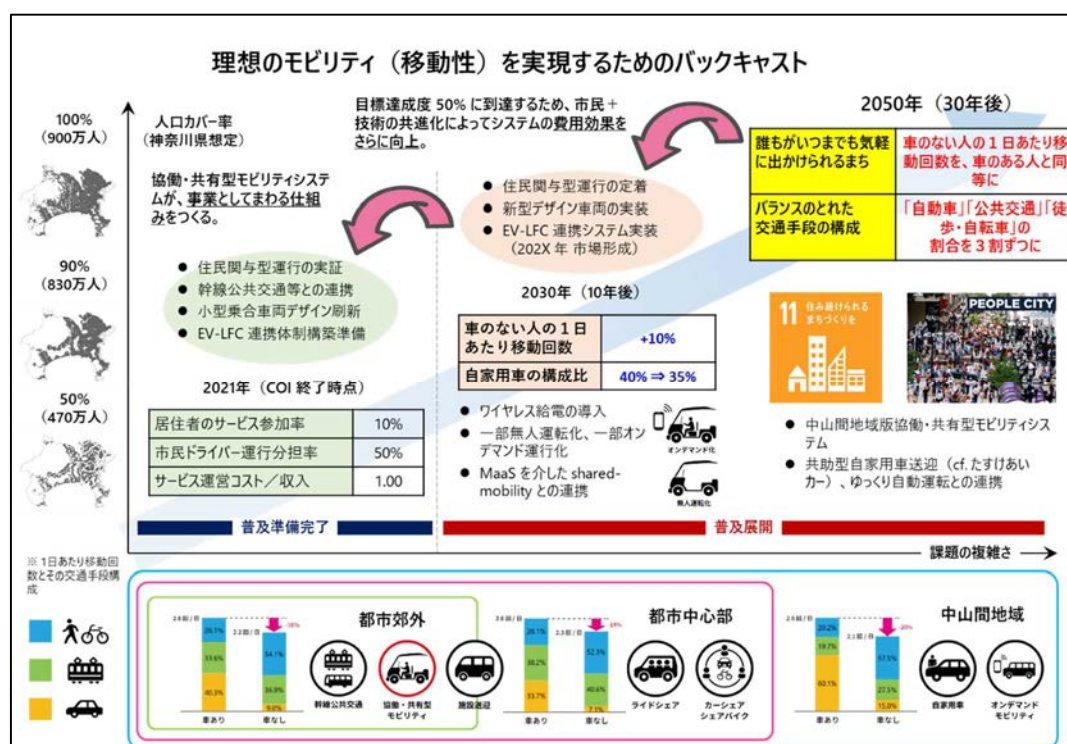


図 4.2.0.2 バックキャスト（モビリティ部会）

上述の達成目標（マイルストーン）を目指し、本 COI 支援期間で取り組んだ研究開発テーマの位置づけを図 4.2.0.3 に示す。鉄道や路線バス等の公共交通サービスの基盤が存在する大都市郊外地域を想定し、自宅から最終目的地までの一連の移動のしやすさを「① 協働・共有型モビリティシステム＝移動手段の選択肢拡大」と「② MaaS 対応型マルチモーダル情報提供システム＝移動手段間の連携」で向上させるアプローチとした。①②はそれぞれ異なる課題領域を対象とするが、究極的には両者の融合によって全領域をカバーすることを企図している。そして、①の安全かつ効率的な運用を支える仕組みとして「③ 道路維持管理支援システム」を位置付けている。

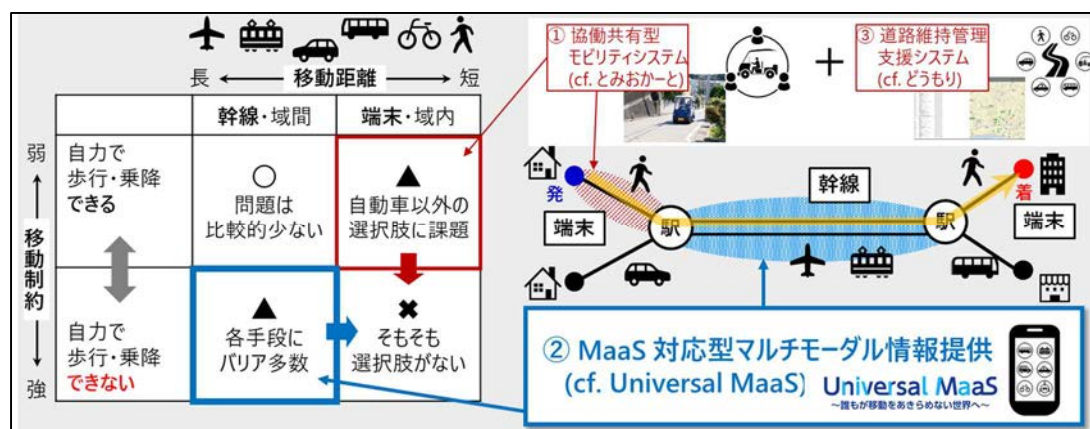


図 4.2.0.3 モビリティ部会の各課題との関係

4.2.1 mo① 協働・共有型モビリティシステムの開発

テーマリーダー（氏名、所属、役職）：	有吉 亮（横浜国立大学 大学院 都市イノベーション研究院、特任准教授）
サブテーマリーダー（氏名、所属、役職）：	藤原 徹平（横浜国立大学 大学院 都市イノベーション研究院、准教授）
研究開発実施期間：	9 年
参画機関：	（財）計量計画研究所 日産自動車株式会社 日野自動車株式会社 パーク 24 株式会社 株式会社日立製作所 京浜急行電鉄株式会社 日本能率協会総合研究所 株式会社 IHI 日本マイクロソフト株式会社 Local iST 株式会社

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

本テーマの目標は、大都市郊外地域において、自家用車への依存を抑制する新たな移動手段を提供することで、誰もが将来にわたって無理なく出かけ続けられるまちを実現することである。郊外地域は都市活動の主役である市民が住まう、都市の活力源たる地域である。様々な社会経済活動や価値の集積する都心が機能するためには、郊外と都心の間で、モビリティ（人々の移動のしやすさ）が担保されている必要がある。そのために、モビリティ部会では COI の開始より一貫して、地域のモビリティを補完する小量輸送システム研究と、交通結節空間の拠点化および付加価値化を目指す多機能モビリティハブ研究を行ってきた。



図 4.2.1.1 協働・共有型モビリティシステムの開発経緯

こうした研究開発のなかで明確化された「持続的共進化地域」のビジョンからのバックキャストによって、「協働・共有型モビリティシステム（以下、「本システム」という）」の提案と実装に取り組んできた。これは、自家用車や運転免許の有無に関わらず、誰もが無理なく外出を続けら

れる住環境を実現するため、鉄道やバス等の既存の公共交通を補完・補強する新たな移動サービスである。既存サービスが不足している領域における移動手段の選択肢の拡大によって、地域の移動サービス全体を向上させ、日常生活の中で自家用車を使わなくてもよい場面を増やしていくことを目指している。

大都市郊外地域において自家用車の代替手段となるような新たな移動サービスのあり方を見出し、それを社会実装につなげていくためには、経済面でのサービスの持続可能性確保が最大の課題となる。その解決策の一つに、市民が移動サービスの消費者としてだけではなく、ドライバーやアテンダントなどとしてサービスの供給にも関与し、サービス全体の運営コストを低減するという発想がある。これを実現するには、法制度、規範、技術、ビジネスモデルなどを有機的かつ整合的に変化・変容させていく必要があるが、そのような変化・変容は、当該移動サービスの運営システムに関与する全てのステークホルダーの「共進化」ともいえ、その「共進化」が持続的に進展していく機構を備えた地域を「持続的共進化地域」とする。本テーマでは、現実の車両を使った新たな移動サービスの実体験（実証実験）を地域社会で共有することが、モビリティ分野の「共進化」を能動的に起こすためのドライビングフォースとして有効に働くという仮説を立て、その検証作業を反復的かつ発展的に行ってきた。また、本システムを他地域への展開可能性を検証するにあたって、システムの中の標準化できる部分と、地域ごとに個別化すべき部分を明確化することが必要になる。そのために、他地域との比較をとおした評価を行った。

また、協働・共有型モビリティシステムの開発においては、地域内輸送システムの重要な構成要素である乗合車両のリデザイン研究を行ってきた。国内外の多様な事例を検証しつつ、対象を郊外住宅地向けの小型車両に絞り込んでコンセプトを描出した。また、協働・共有型モビリティの実証実験で使用する電動カート車両を市民参加のワークショップを通してデザインした。これは、都市デザインへの市民参加と社会的包摂が進んだ将来からのバックキャストによるものである。市民参加型デザインには、地域のニーズへの合致や地域のソーシャルキャピタルの醸成といった意義がある。参加型デザインの実践を通して、未来の公共車両のあり方を明確にし、これを実現していくための方法論を示してきた。

（2）想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

a：協働・共有型モビリティシステムの開発

「協働・共有型モビリティ」とは、「協働」と「共有」のコンセプトを兼ね備えた移動手段あるいは移動サービスを意味する。ここで「協働」とは、異なる主体が協調して行動することで、移動サービスの運営システム全体の費用効果を高めていくという発想である。たとえば、利用者同士の協調行動によって共有車両の事故発生リスクを下げる、市民がドライバーとして移動サービスの供給を担うことでコストを抑え、その動機付けを地域全体で行うといった考え方がある。

「協働・共有型モビリティ」における「共有」とは「車両の共有」あるいは「移動の共有」である。先行サービスとしてはカーシェアリングやride-hailingがある。これらは民間企業が提供するサービスとして既に社会実装されており、サービスの供給エリアも拡大を続けている。しかし、営利目的であるが故のクリームスキミングが起こりやすく、結果として都心部の道路混雑の悪化や交通事故リスクの増大、既存交通事業者との摩擦などの問題を引き起こしている。同じ理由により、移動需要の密度が相対的に低い郊外地域では、カーシェアリングやride-hailingといった民間サービスだけでモビリティの確保を実現することは難しく、市民と事業者と自治体と大学の「協働」によって、経済的に持続可能な「車両共有」及び「移動共有」の運営システムを構築していく必要がある。

そこで、本テーマでは「協働・共有型モビリティ」のモデルとして、「エネルギー連携型モビリティシステム」を提案し、市街地や大学キャンパスなどで実証実験を展開してきた。このシステムは、①小型EVによる乗合型の小量輸送サービスを基本とし、②運休車両の蓄電池を用いてアンシラリーサービス（電力システムの負荷周波数調整および電力需給のインバランス補償）を提供する、異分野連携・複合型の新たなモビリティサービスの仕組みである。

表 4.2.1.2 実現する商品・サービス

商品・サービス	規模	事業主体	社会実装の時期	顧客・ユーザーのニーズ	競合・類似サービス	特徴・優位性
既存公共交通補完型の小量乗合輸送サービス	大都市郊外の比較的高密度な鉄道住宅地（神奈川県内：470万人）	鉄道事業者、バス事業者、タクシー事業者、駐車場事業者、カーシェアリング事業者、給電設備メーカー、車両メーカー	2022 年以降	自律的な外出の促進、社会参画機会の増加、自己効力感の向上、心身の健康増進	市民バス、自家用車有償運送、オンデマンド交通、マイクロトランジット、TNCs (Uber, Lyft 等の ride-hailing)	交通事業者主導による公共交通及びまちづくりとの一体的連携、運休 EV の蓄電池を活用したアンシラリーサービスによる財政的持続力強化

b：車両のリデザイン

「協働・共有型モビリティ」のための車両を、地域のまちづくりの一環として、市民参加を通してデザインしてきた。都市デザインにおいては、倫理的な公正さや、社会的持続可能性の観点から、市民参加と少数者の包摂をとおしたボトムアップのプロセスが必須のものとなされている。モビリティ車両のデザインも都市デザインの一部としてとらえることができるが、現状では市民参加が進んでいない。そのために利用者ニーズと車両デザインの不一致が起きていたと考える。そこで、車両デザインにおける市民参加を可能とするハードとソフト両面のデザインを、参加型デザインの実践を通じて探ってきた。

・担い手

事業者、車両メーカー、市民、大学を含むステークホルダーが協働的に車両をデザインする。

・社会的インパクト

利用者ニーズと車両デザインの合致、地域のソーシャルキャピタルの醸成、異なる規範を持つ他者との出会いを通じた（専門家と非専門家の双方にとっての）学び、地域らしさの形成への貢献。

・経済的インパクト

協働・共有型モビリティでは、サービス提供への市民参加がシステムの経済的持続可能性をもたらすと考える。これは市民を単なる消費者として見なすこれまでのモデルを超える経済のあり方を目指している。モビリティをまちづくりの一環として市民の参加によってデザインすることは、モビリティにたいする利用者の愛着と責任感の醸成をとおしてモビリティの経済的持続性に貢献する。

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

表 4.2.1.3 最終目標とフェーズ3終了時（2021 年度末）達成目標の関係

研究開発課題	COI 終了時目標 (2021 年度末)	COI 終了後目標 (2022 年度以降)	最終目標 (2030 年)
協働・共有型モビリティシステムの開発	富岡モデル（とみおかーと）を収入/費用 $\geq$ 1.0 のシステムとして事業化準備完了	富岡モデルの事業化（社会実装）、同モデルを他の鉄道沿線郊外住宅地に展開	（協働・共有型モビリティの面的な普及により、）大都市郊外の自家用車利用率 5% 減、自家用車非保有層の 1 日当たりトリップ数 10% 増
車両のリデザイン	市民参加型デザインを通じた次世代電動カートのプロトタイプ制作と実証実験への投入。	富岡モデルの事業化及び他地域展開に合わせて、次世代モデルカーの製品化と市場への投入を推進。	

(4) 主な成果と達成状況

a: 協働・共有型モビリティシステムの開発

① 協働・共有型モビリティシステムの概念実証

2014 年、横浜市保土ケ谷区の丘陵住宅地（明神台）において、軽乗用車 5 台を用いた協働・共有型モビリティシステムの概念実証（PoC）を実施し、高齢者でも無理なく使える高頻度定路線運行方式（＝予約不要）の有効性と、それによる参加者の外出促進効果を確認した。

② 協働・共有型モビリティシステムのオプション拡大とそのインパクト評価

2015 年は UR の集合住宅団地にて、2016 年は横浜国大キャンパスにて、協働型カーシェアリングの実証実験を実施し、料金動機付けによる協調行動の効果（安全運転意識向上、エコドライブ意識向上、車両の損傷や汚損のリスク低減）を確認した。

③ エネルギー分野連携型モビリティシステムの予備実験

2017 年度、市街地への展開を見据えた予備実験として、EV の蓄電池を用いた負荷周波数制御（LFC）の実証試験を東京大学サテライトと共同実施した。横浜国立大学キャンパスにカーシェアリング用の EV1 台を設置したうえで、同車両の非稼働時にはグリッドに接続して充放電を遠隔制御し、負荷周波数制御装置としての実現可能性の評価に必要な基礎データを取得した。

④ 小型電動車による小量乗合輸送サービスの社会実装実験

2018 年度、横浜市金沢区富岡地区にて、京急電鉄及びパーク 24 社との協働による小量乗合輸送サービスの社会実装実験を開始し、丘陵住宅地の地区内移動支援による居住者の外出促進効果、既存公共交通等との連携効果、低速小型電動車（ゴルフカートタイプ）に対する受容性を確認した。交通事業者および自治体との連携体制が確立され、中心的な主体となる交通事業者自らの手によって、社会実装に向けた 4 か年のロードマップが作成された。

2019 年度は、上記のロードマップに沿って 2 年目の実証実験を行った。車両ラインナップの拡大、運行ダイヤを含めた鉄道との連携、異なるルートを走る小型電動車同士の連携、普通乗用車によるオンデマンド運行との組み合わせなど、2018 年度に得られたユーザーのニーズに基づいて、システムをより実用的なものに発展させるとともに、車載端末やユーザーの個人端末から取得した利用実績データを用いて、次年度に向けたマーケティング分析を行った。

2020 年度は、道路運送法 21 条に基づく有償運行の実験を行い、小量乗合輸送サービスの事業性を検証するとともに、居住者の外出促進、地域全体としてのマルチモーダルな移動サービスの運用効率の向上、および外部経済の生じる異分野（商業、医療福祉等）との連携可能性を検討した。

b: 車両のリデザイン

① 狭小型 EV バスのデザイン

- ・デザインコンセプトを明らかにし、モックアップを制作した。

② 電動カート（グリーンスローモビリティ）の市民参加型デザイン

- ・a の乗合型移送サービスの実証実験で用いられる小型電動車に関して、既存車両をベースとしつつ市民参加のワークショップを通じて部分的なリデザインを行い、これを実際に架装して実証実験で使用した。実証実験をつうじてデザインについてのフィードバックを得た。
- ・乗合型移送サービスの実証実験における輸送だけではなく、地域のまちづくりイベントなどにおいて、車両の停車時の拠点的利用の実証を行った。そのために、車両から電源を取り出せるに加工した。

③ 市民参加型モビリティ車両デザインの枠組みの構想

- ・a の実証実験の行われる既存車両をベースにしたリデザインのために、地域住民が参加するワークショップを企画、開催した。
- ・新型コロナウイルス感染症の流行下において市民参加デザインを可能にするための方法を開発した。

- ・aの実証実験が行われる地域にオープンラボを整備し、ワークショップ会場として使用した。
- ・障害者支援者、バス運転手等へのモビリティの課題とデザインへの参加の方法等についてヒアリングを行った。
- ・ワークショップの記録と考察を報告書と動画にまとめて公表した。
- ・参加型デザインの方法論にかんしてシンポジウムで議論した。(デザインプロセスの報告と、オートポイエーシスおよびセカンドオーダーサイバネティクスの理論からの考察)

④ 市民参加を通じた未来の公共車両の構想

- ・モビリティのあり方を問い直し再構想することを通じて未来の公共車両をデザインするワークショップを開催する(予定)。これまでの成果を、市民の対話に開いていく(対話の材料として残していく)ことを意図している。

(5) 今後の課題と対応方針

a: 協働・共有型モビリティシステムの開発

産学公による提案型の実証実験とその発展的反复によって地域のニーズを掘り起こし、地域とビジョンを共有し、サービスの事業化に向けた最終段階までこぎ着けたことがC0Iの成果である。今後は、事業化したサービスを持続させていくための方法論の構築と、それを担保するための技術開発が主な課題となる。有償での実証実験を通じて、直接の受益者である乗客からの運賃収入だけでは、輸送サービスの供給コストを賄えないことが明らかになっており、現状ではその不足分を協賛金や広告収入でカバーするモデルとなっている。そうした間接収入を拡大し、安定化させるためには、客観的なデータに基づいて、小量乗合輸送サービスの外部(不)経済構造を明らかにしたうえで、多様な受益者との経済的な連携を図っていく必要がある。本学では、個人の移動データおよび活動(消費行動)データの縦断的な取得、分析、評価手法の研究開発に取り組み、地域交通システムの新たな経営モデルの基礎となる学理を創出していく予定である。

b: 車両のリデザイン

- ・市民参加型デザインでカスタマイズしやすい車両のデザイン原理について、さらなる検討が必要である。特に、標準化し地域間で共有すべき部分と、地域ごとに個別化させるべき部分の切り分けの原理を明確化することが求められる。
- ・市民参加型デザインのプロセスにかんしても、標準化し地域間で共有できる部分と、地域ごとに個別化すべき部分の切り分けが課題になる。また、新しい仕方で異なるステークホルダーが関与する、参加型デザインのプロセスは、専門化だけによる従来のデザインのプロセスにくらべ不確定性が高くなる。そうした不確定性を創造性に結び付けるプロセスのハーネシングの手法が課題となる。オートポイエーシスおよびセカンドオーダーサイバネティクスの理論からのさらなる検討を行いたい。
- ・公正さと社会的包摂の観点からは、モビリティの市民参加型デザインのプロセスにおける障害者などのエクストリームユーザーの参加が必要であるが、コロナ渦という制約もあり、これまで十分に実現できなかった。今後は積極的にエクストリームユーザーとの協働を進めたい。

(6) その他特記事項

協働・共有型モビリティシステムの他地域展開を図るため、とみおかーの実証実験で得られた知識やノウハウを他地域と共有する活動に精力的に取り組んだ。元テーマリーダーの中村特任教授(東京大学)および現テーマリーダーの有吉特任准教授が、都市・交通分野の自治体担当者や運輸事業者、コンサルタント等が聴講するセミナーや講演に数多く登壇し、地域のモビリティシステムのあり方とその社会実装における勘所を伝えたほか、両名は川崎市、横浜市、藤沢市、横須賀市などの地域交通政策の検討委員として、協働・共有型モビリティシステムのコンセプトを反映した施策の立案に貢献した。さらに、国土交通省・国土技術政策総合研究所の「成熟社会に対応した郊外住宅市街地の再生技術の開発」プロジェクトにおいては、有吉特任准教授が実証実験のスキーム検討におけるアドバイザーを務め、対象地域とのゲートキーピング、C0Iで開発したデータ取得技術や運行管理システムの提供を含む多角的な支援を行い、2020年度から埼玉県日

高市のこま武蔵台地区や神奈川県綾瀬市の綾西地区、八王子市の北野台地区などで、地域内小量乗合輸送サービスの社会実装に向けた取り組みが展開されている。また、中村特任教授は名古屋大学 COI 拠点の森川教授や金森特任准教授とともに、国土交通省が 2021 年 3 月に発行したガイドライン「ニュータウン等における末端交通サービス導入及び自動運転技術活用に向けたポイント集」の作成に携わっており、そこにも COI の研究開発で得られた知見が反映されている。

小量乗合輸送システムの他地域への展開可能性については、地勢や交通特性などの客観データおよび居住者の公共交通サービスに関する主観データに基づき、定量的なアプローチによってそのポテンシャルを分析した。客観データによる分析は、関東エリアにおける 2010 年 国勢調査の小地域の人口密度、通勤通学での交通手段分担率、小地域図心から最寄り駅（新幹線の駅を除く）までの直線距離、最寄り駅と小地域図心との高低差を説明変数として、小地域の階層的クラスタリング（Ward 法；N=30,550）を行い、その結果として得られた 5 類型を被説明変数とした正準判別モデル（説明変数はクラスタ分析と同一）を推定し、関東エリアを含む全国の小地域を A 高密度、B1 中密度・鉄道型、B2 中密度・自動車型、C 低密度、D 中山間、の 5 類型に分類した。

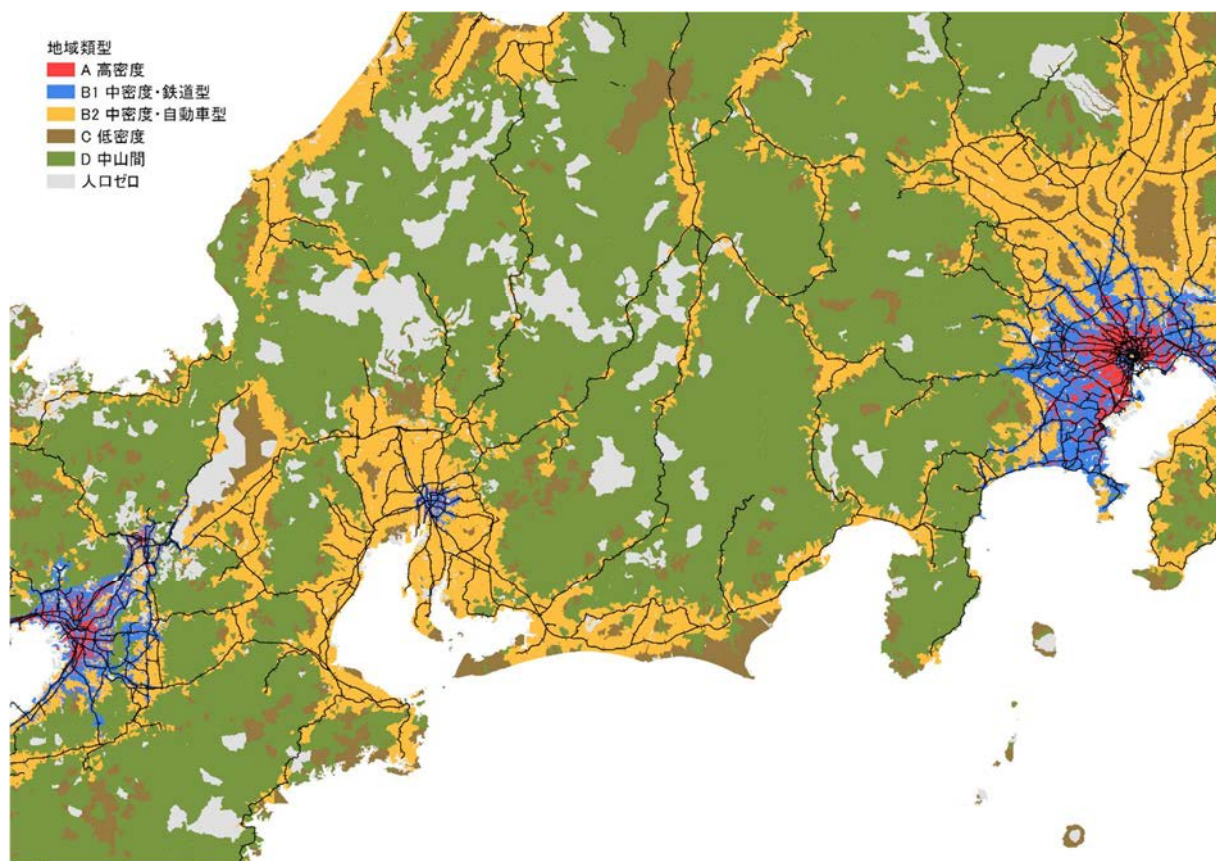


図 4.2.1.2 階層的クラスタ分析による関東エリア小地域の類型化

得られた 5 類型の特徴量を集計した結果を次頁の表 4.2.1.4 に示す。各類型の人口密度、交通手段分担率、駅までの距離、駅との高低差については、外れ値の影響を緩和するため平均値ではなく中央値を示している。とみおかーとのキャッチメントエリアである横浜市金沢区富岡西エリアは、類型 A および B1 に属する。類型 A よび B1 に属する地域の人口は約 4,700 万人であり、日本の総人口の約 37% に相当する。こうした高密度で、鉄道を中心としたライフスタイルが定着している地域で、とみおかーとのような協働共有型モビリティシステムの展開可能性が高いと考えられる。

なお、上記の評価は地勢や交通条件などの客観データのみに基づく画一的なものであり、地域居住者の嗜好や考え方、地域の文化的背景等は反映されていない。そこで、公共交通サービスに

対する地域居住者の主観に基づくフィージビリティ評価手法の開発にも着手した。九州大学芸術工学研究院の迫坪知広助教と連携し、人々が認知する「公共性」の観点から、協働共有型モビリティシステムの意義や有効性について多角的な検証を進めている。

表 4.2.1.4 客観データに基づくとみおかーとの他地域展開ポテンシャル分析結果

類型	類型名	小地域数	面積 (km ²)	面積シェア	人口 (万人)	人口シェア	人口密度 (人/ha)	鉄道利用率	駅までの距離 (km)	駅との高低差 (m)
A	高密度	12,005	1,177	0.3%	2,181	17.1%	185.6	50.1%	0.51	1
B1	中密度・鉄道型	25,421	3,883	1.2%	2,546	19.9%	84.7	41.3%	0.66	3
B2	中密度・自動車型	110,991	61,481	18.3%	5,986	46.8%	25.9	7.6%	1.26	4
C	低密度	23,846	60,493	18.0%	799	6.3%	2.9	0.9%	8.70	19
D	中山間	35,390	209,789	62.3%	1,273	10.0%	0.7	3.7%	4.93	125

4.2.2 mo② MaaS 対応型マルチモーダル情報提供システムの開発

テーマリーダー（氏名、所属、役職）：	有吉 亮（横浜国立大学 大学院 都市イノベーション研究院、特任准教授）
サブテーマリーダー（氏名、所属、役職）：	佐土原 聡（横浜国立大学 大学院 都市イノベーション研究院、教授）
研究開発実施期間：	9 年
参画機関：	ESRI ジャパン株式会社 西日本鉄道株式会社 株式会社デンソー 日本電気株式会社 京浜急行電鉄株式会社 株式会社ナビタイムジャパン 株式会社ゼンリンデータコム トヨタ自動車株式会社 神奈川県箱根町 Local iST 株式会社

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

本研究開発テーマでは、4.2.1 の協働・共有型モビリティシステムを含む多様な交通サービスの選択を支援するための情報およびデータの連携・統合システムの研究開発に取り組む。人々の交通行動調査結果や交通シミュレーションの分析結果、交通システムや都市デザインの改良に関する政策代替案を可視化するための基盤として、「交通対応型 ICT プラットフォーム」を構築し、自家用車依存の脱却に資する持続可能なモビリティシステムの構築に向けた、行政・運輸事業者・都市デザイナー・研究者・市民等の協働をたすける。

また、多様な移動ニーズに対応可能な移動支援情報提供システムを開発し、MaaS の構成要素として社会実装することで、人々の移動に関する多様できめ細やかなデータを上述のプラットフォームに蓄積し、同データを活用した公共交通システムの運用改善、UX の向上等につなげる。

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

MaaS に対応した情報提供サービスによって公共交通機関での移動のしやすさを高め、自家用車への過度な依存からの脱却に繋げるためには、「交通手段の変更による環境負荷低減効果の評価」、「人の移動に関する多様できめ細やかなデータの取得と一元管理」、「取得データの分析に基づく交通システムの再設計および運用改善」、「次世代センシングデバイスによるデータの質の向上」、「需要側・供給側の双方向の情報連携による交通システム高度化」といった要素の研究開発が必要となる。これらの実装可能性を検証するため、センシングによる人の移動に関する多様できめ細やかなデータの取得と一元管理、混雑予測を活用した交通システムの運用、多様なニーズに対応可能な移動支援情報提供アプリの開発などに取り組み、既存交通情報サービスが提供しないローカルな交通情報を統合した移動支援システムを構築した。

これらの成果を、マルチモーダル情報の一元化と多様な移動需要への対応、個人の意識・態度・行動の変化へのはたらきかけ、人の移動データと交通システム運用の連携など、MaaS の実現に資する基盤技術として活用することで、徒歩、自転車、バス、鉄道、そして協働・共有型モビリティシステムのような新たな交通手段を組み合わせた移動が、統合されたひとつの移動サービスとしてシームレスに享受できるようなデータ連携の仕組みを提案・実証した。本研究開発テーマで社会実装を目指すサービスの代表として、全日本空輸株式会社（以下「ANA」）、京浜急行電鉄株式会社（以下「京急電鉄」）、横須賀市（以下「横須賀市」）、横浜国立大学による「Universal MaaS」の概要を、表 4.2.2.1 に示す。

表 4.2.2.1 実現する商品・サービス

商品・サービス	規模	事業主体	社会実装の時期	顧客・ユーザーのニーズ	競合・類似製品	特徴・優位性
移動者支援業務高度化システム	各国内空港ならびに空港に結節する交通事業者	航空会社、鉄道会社、バス会社、各自治体	2021 年度末	各交通事業者の移動躊躇層（障がい者や高齢者、ベビーカー利用者など）への対応効率化や省力化、ダイヤの遅延率減少。	なし	交通機関利用者目線のサービス展開が多い中、交通事業者の業務改善のための MaaS を展開。
ユニバーサルナビゲーションアプリ	移動躊躇層（約 800 万人/年）	航空会社、鉄道会社、バス会社、各自治体	2021 年度	既存の乗り換え検索サービスでは提供されない、個別ユーザー特化型の乗り継ぎサービスの提供と、利用交通機関への登録情報の一元化。	EMot、やさしいちず（ナビタイムジャパン）等	車いす利用者のニーズに配慮した乗り継ぎ案内と、支援に必要な情報の複数交通事業者間でのリアルタイム共有

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

本研究開発テーマと達成目標の関係を表 4.2.2.2 に示す。異なる交通手段の組み合わせによるシームレスな移動を支援するための情報提供、人の移動に関する多様できめ細やかなデータの取得、および同データを活用した交通システムの設計と運用につながるアプリケーションを開発し、MaaS の構成要素として社会実装することで、自家用車以外の交通手段の組み合わせによる移動のしやすさを高め、移動制約者を含む全ての層の外出機会の増加と、自家用車依存の緩和を目指す。

表 4.2.2.2 最終目標とフェーズ 3 終了時（2021 年度末）達成目標の関係

研究開発課題	COI 終了時目標 (2021 年度末)	COI 終了後目標 (2022 年度以降)	最終目標 (2030 年)
MaaS 対応型マルチモーダル情報提供システムの開発	Universal MaaS の一部としての鉄道旅客支援高度化システムの社会実装完了、地域特化型マルチモーダル情報提供アプリの社会実装完了	受益者負担によるシステムおよびアプリの継続運用（社会実装）。COI 発ベンチャー（LocalIST）の事業としての B2B 型サービスの提供。	（協働・共有型モビリティの面的な普及により、）大都市郊外の自家用車利用率 5% 減、自家用車非保有層の 1 日当たりトリップ数 10% 増

(4) 主な成果と達成状況

本研究開発テーマ：「MaaS 対応型マルチモーダル情報提供システム」の設計思想は、多様な活動ニーズから派生する移動ニーズへの対応、移動に係るあらゆるロス（物理的、経済的、心理的）の削減である。フェーズ 1 では、個人の行動や意思決定にはたらきかけ、かしこい交通手段や移動経路の選択を通じて移動の質を高め、需要の分散や環境負荷の低減を図るべく、大学キャンパスでのテストベット検証を経て、都市部への展開を見据えた研究開発を進めた。フェーズ 2 では、個人の移動だけでなく、サービスを実際に展開する交通事業者にも便益が発生するスキームを構築したうえで、導入に対するハードルを下げる方策を検討した。フェーズ 3 では、産官学の連携による社会実装モデルの開発と実証をアジャイルに進め、運輸事業者サイドの業務改善やコスト削減と一体となったサービスを指向することで、COI 終了後の持続的な運用可能性を高めた。以下にそれらの成果と達成状況を示す。

①横浜市みなとみらい 21 地区(MM21 地区)を対象としたネットワークモデルの構築

歩行での移動をより詳細に再現するため、交通結節点の実態調査と併せて、歩行者動線をより細かな空間ごとに調査し、それらを基に GIS 上に動線データとして描き出し、さらに道路幅員や階段といった属性を格納して、ネットワークモデル化した。従来は、主に車両が走行できる道路データを基にネットワークの分析が行われてきたが、歩行者しか通行できない小路なども GIS で可視化することで、ヒトの移動においてこれまで把握が困難だったものが、より直感的な理解ができるようになった。また、地域内での移動はバスなど公共交通機関などが考えられるが、MM21 地区内にはカーシェアリングやレンタルといった新たな移動手段が整備されていることから、歩行者モデルと同様に、自転車走行路のネットワークモデルを構築し、これらを利用した際の移動のしやすさをシミュレーションすることで、個人の地区内移動の効率化と質の向上を検証した。

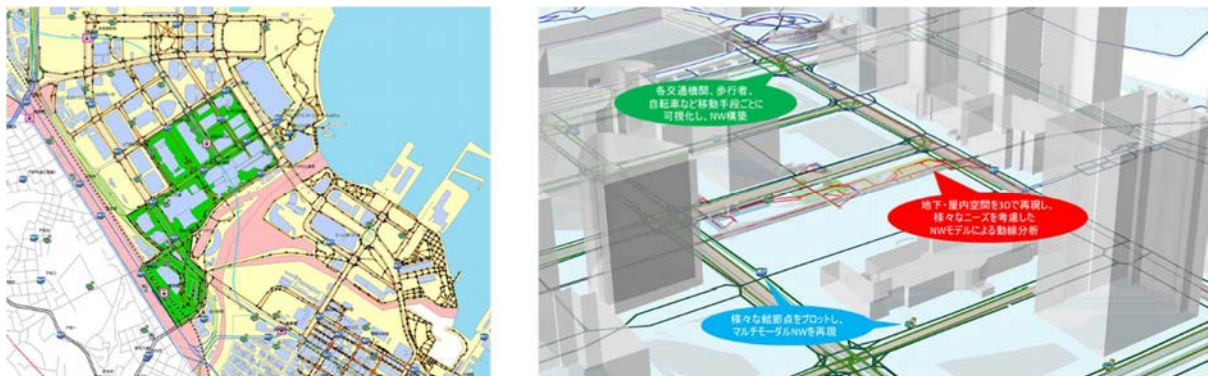


図 4.2.2.1 横浜市みなとみらい 21 地区を対象としたネットワークモデルのイメージ

②次世代型交通情報提供アプリの開発

移動の選択の幅を広げることを目的に、詳細な交通空間モデルと動的なデータ等を活用した次世代交通情報提供アプリを開発した。「駅・バス停から学内施設までの歩行経路案内機能」と「一元的な路線バス運行情報表示機能」を備えたスマートフォン用キャンパスアクセス支援アプリ「YNU ナビ」を試験公開し、その有効性を検証した。開発したアプリの概要と特徴を以下に示す。

1) 路線バスの運行情報の一元的な表示機能

異なる事業者（横浜市営バス、相鉄バス）がそれぞれの WEB サイトで公開している路線バスの運行情報を、1つの地図上にまとめて表示することに成功した。バスの目次の現在地は一定の時間間隔で自動更新しながら動的に表示される。複数の事業者による路線バス運行情報の一元的な提供は国内初の事例（2017 年 11 月当時）であった。

2) 最寄り駅・バス停から目的建物までの最短歩行経の案内機能

駅、バス停、大学施設名のリストから発着地点を選択し、最短経路の検索を可能にした。汎用の WEB 地図などには掲載されていない歩行者通路を含む詳細な移動経路の確認が可能である。

3) 公式マップに準拠した施設位置情報の表示

敷地内に複数の建物がある場合でも、1号棟・2号棟のような詳細な建物名称まで網羅したリスト機能があり、正確な目的地を設定することが可能である。



図 4.2.2.2 大学キャンパスでの次世代型交通情報提供アプリの構成

③臨時バス輸送高度化システムの開発

大規模イベント会場などで運行される臨時バスには、路線バスと異なり運行計画に可変的な要素の多い専用の運行管理システムが存在しない。このため、運行経路上で渋滞等が発生しバスの運行が乱れた場合は適切なオペレーションが困難になり、バス到着のご案内が遅れるなど、利用客の安全かつ円滑な誘導および輸送の担保に問題が生じることもある。また、バスの的確なオペレーションは現場担当者の経験と勘に基づく高度な判断に委ねられており、これら技能の継承には時間がかかり、個人によるオペレーションのばらつきを平準化することが課題となっている。

このような問題の解決に向け、現場担当者の運行支援を通じた安定なオペレーションの実現を目的に、モバイルデータ通信とクラウド型 GIS による動的な空間データ処理を活用して全ての臨時バスのリアルタイムな運行状況を可視化する、臨時バス輸送高度化システムのプロトタイプを開発し、福岡市内で実際のイベント開催時に実証実験を行った。

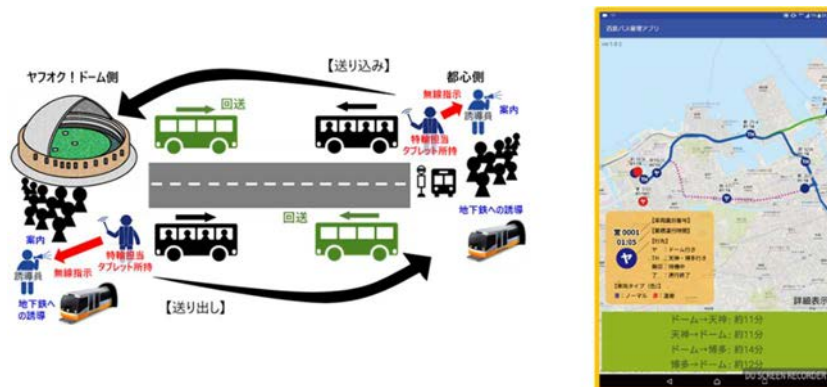


図 4.2.2.3 大型イベント会場での臨時バス輸送高度化システム

④大規模イベント会場における混雑度可視化

大規模集客イベントの運営補助ツールとしての群衆密度可視化技術の有用性検証と、イベント会場のリアルタイム混雑度情報に対する来場者のニーズ検証を目的に、会場内に Wi-Fi センサーを設置し、個人が所有する端末を検知し、混雑度をリアルタイム推定する実証実験を行った。

計測地点ごとの群衆密度の時間変化を把握でき、空間的に可視化された群衆密度情報を、タブレットやデジタルサイネージでリアルタイムに表現することが可能となった。このシステムにより、イベント運営側で会場全体の状況についての共通理解を保たれ、合理的かつ整合的な来場者への対応と案内が可能となった。また、各観覧エリアがどのような順番で埋まり、どのように人が去っていったかの時系列データがログとして残るため、それらを活用することで、次回イベント時の集客計画や警備計画を戦略的に立案することが可能となった。



図 4.2.2.4 大型イベント会場でのリアルタイム混雑度可視化状況

⑤ Universal MaaS の取り組み

2020 年 2 月に、ANA、京急電鉄、横須賀市、横浜国大が共同で発表した「Universal MaaS」プロジェクトは、さまざまな理由で移動にためらいのある人々＝移動躊躇層に提供する移動サービスの総称である。『誰もが移動をあきらめない世界の実現』をスローガン（原案は横浜国立大学 COI サテライトの有吉特任准教授が考案）とし、公共交通機関の運賃、運航・運行状況、バリアフリー乗り継ぎルートなどの情報を移動者に提供するとともに、移動者のリアルタイムな位置情報や移動者が必要とする介助の内容を交通事業者、自治体、大学が共有し連携することにより、シームレスな移動体験の実現を目指すものである。



図 4.2.2.5 Universal MaaS が実装する移動者用アプリと事業者用アプリの構成

移動者から提供された情報などを基に、事業者側は移動者の介助業務をより効率的に行うことで、事業者側にも恩恵があるシステムを確立することが、Universal MaaS の大きな特徴である。移動者が「移動者用アプリ」に登録し共有を許諾した、自身の属性情報・サポート希望内容・旅程・位置情報などをリアルタイムかつ一斉に確認できるシステムを導入することで、これまでの電話などを介した口頭での情報伝達の曖昧性や齟齬、ダイヤ遅延や移動者の突発的経路変更によるトラブルなどを回避することで、介助業務への負担軽減だけでなく、移動者が享受するサービス品質向上につなげることができる。「事業者用アプリ」としての展開は、移動者が保有するスマ

ートフォンなどの端末はもちろん、該当の端末を保有していなくても名詞サイズのカード型ビーコンを貸与することで、それらから発せられる BLE 信号を、あらゆる場所に配置されている交通事業者職員が所持している端末で検知し、移動者のリアルタイム位置情報を代替的に送信することで、同システム内のデータベースを閲覧できる関係者は、移動者の属性情報と位置情報をいつでもどこでも共有することができるようにした。

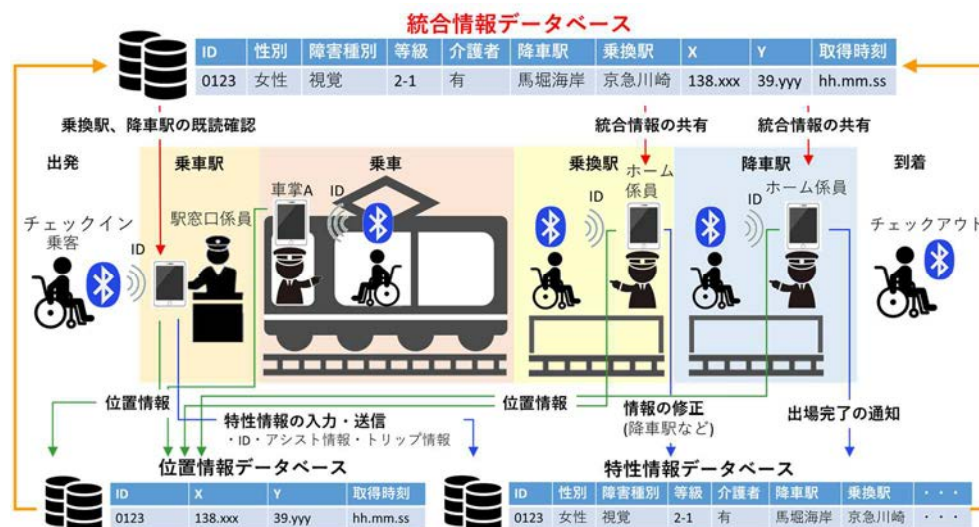


図 4.2.2.6 事業者用アプリにおける移動者の各情報提供・共有構成

⑥バス車両内混雑度可視化実証実験の取り組み

昨今の新型コロナウイルスによる社会情勢はもちろんだが、移動で利用する交通機関の混雑状況は、移動に対して大きな要素である。車イス利用者は、バス車両が満員状態だとそもそも乗車自体を諦める可能性があり、白杖利用者にとっては、車内空間の安全性が損なわれる可能性がある。そこで、大型集客施設などで Wi-Fi センシングを活用した混雑度情報提供技術を水平展開することで、移動躊躇層の安全性向上はもちろん、健常者にもいわゆる 3 密を回避する有効な手段とするべく、研究開発を行った。

計測は 2020 年 10 月～12 月の間の平日 30 日間で実施し、真値(計測時乗客数)と突合せ可能な集計データは、約 5 万件となった。これらを基に、推計値の全数比較を精査したところ、差分平均値 (μ) は約-3 人(真値より推計値が 3 人少ない)、標準偏差 (σ) は約 7.3、相関係数 (ρ) は全体 0.69 と、一定の有意性が認められた。



図 4.2.2.7 横浜国立大学周辺を運行するバス路線の混雑度可視化

これらの結果を基に、京急電鉄が実装を進めている三浦半島観光 MaaS アプリとのデータ連携に向けて、三崎口発の京急バスを中心とする車内混雑度計測・可視化システムの開発を行った。これにより他の事業者が開発する MaaS アプリ（小田急の Emot、トヨタの my route 等）と、Universal MaaS アプリの連携準備が整ったことで、ユーザーの多様化やサービス利用可能地域の拡大につながる。また、Universal MaaS の持続可能な運営スキームの確立に向けて、他の事業者を巻き込んだ取り組みが加速するものと考えられる。

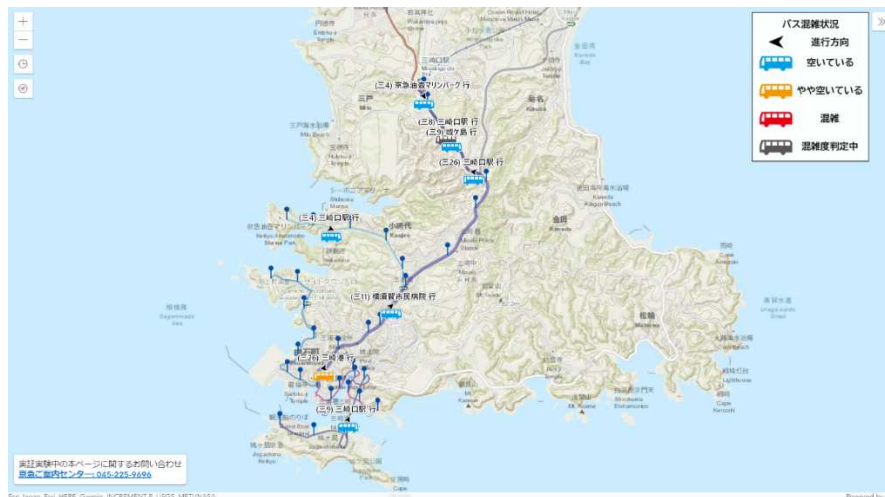


図 4.2.2.8 三浦半島で運行する京急バス路線の混雑度可視化

⑦交通防災情報統合サイトの運用

これまで培ってきた研究開発を集約させることで、平時はバスロケーションシステム等を活用した交通情報を、災害発生等有事の際は避難所の開設状況等の防災情報を閲覧することができ、町民や観光客が、日常から非常時まで必要な情報を提供する web サイトを箱根町と共同で開発し、一般市民を対象に公開した。

様々な交通機関の情報を一元化して掲載するとともに、町内を運行するバスのリアルタイムな現在地情報を提供することで、町民・観光客の利便性向上を図り、災害等の発生時は避難所の開設状況をマップに掲載し、町民だけでなく観光客も閲覧できることにより、安心・安全な観光地としての PR 効果も期待できる。また、情報提供による様々な公共交通機関の利用促進により移動手段を分散化し、渋滞緩和、コロナ禍での密回避に寄与することも期待できる。

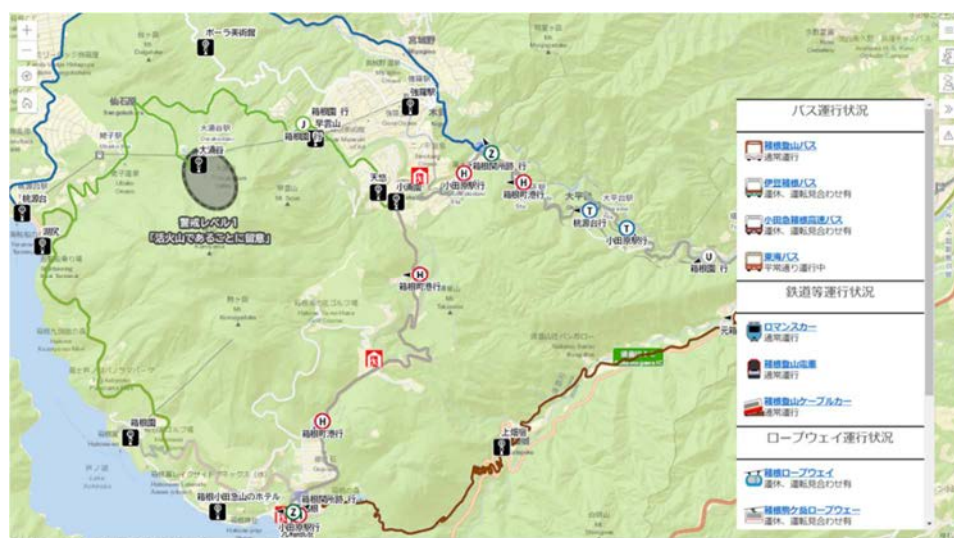


図 4.2.2.9 箱根町における交通防災情報統合サイト「はこぼうマップ」

(5) 今後の課題と対応方針

9年間にわたり、研究開発を続けてきた中で、本研究開発の根幹技術となる位置情報は、現在の社会状況の中でこれまでも増して重要かつ価値の高いものになり、またそれらを扱える状況や機会も大幅に増加したと考えられる。一方で、位置情報自体をより扱いやすく提供する手法や、位置情報自体の価値を高める手法は、いまだ満足できる上には程遠い。いわゆる生データをそのままユーザーインタフェースに落とし込むだけの単独情報だけで、ユーザーが利用するにあたり必要な情報が加味されていないことが多い。本研究は、それまではサービス提供側が、ある意味一方通行的に公開していた情報を整理し、位置情報単独では成し得ない「移動支援情報」として昇華させることである。

開発当初は、対象地域全体に存在するあらゆる情報の整理をし、いかにそれを把握しやすくすることに注力し、第2段階として、ヒトを主としてその中を移動する存在が、今どのような状態かをいかにあくすることが重要と考え、その可視化手法を開発してきた。スマートフォンに代表される情報端末が普及する中、情報を入手する手続き自体は格段に容易になっているものの、ユーザー目線で情報提供されている移動支援は、まだまだ普及しているとは言い難い。Universal MaaSに代表される移動支援情報サービスは、あらゆる状況の人々に展開できるものを目標に掲げているが、そのためにはサービス提供側が網羅的に情報を取得し、且つわかりやすく提供することが必須である。そのためには、鉄道・バス・タクシーなどの垣根を超えた交通事業者間の連携、さらには、それを取り巻く様々な関連団体の協力が必須である。また、市民自体の協力も求められることになるが、一方で個人情報管理など様々な課題が今後増加すると思われる。データバンクの制度など、様々な関連分野との連携をさらに深めていくことが今後の課題である。

(6) その他特記事項

本研究開発の社会実装を実現するにあたり、段階的な実証実験を繰り返しながら、ステークホルダーとの連携を深めていくことが必要不可欠である。臨時バス輸送高度化システム実験も、横浜国大COIと西日本鉄道株式会社との間で議論を重ね、信頼関係を構築できたからこそその成功であるといえる。また、Universal MaaSは、横浜国立大学が横須賀市と連携して進めていた「ヨコスカ・スマート・モビリティ・チャレンジ」を軸として、当該地域を重要拠点としてとらえていた京急電鉄株式会社、全日本空輸株式会社がさらに加わることで、これまで個別にサービスを提供してきた各事業者が垣根を越えて連携し、ユニバーサルデザインの発想で包括的な移動サービスを提供することにより、ユーザーの新たな移動体験の創出を目指すという、画期的な機会である。さらに、事業者間での情報の連携と共有により、ユーザーの移動・活動を支援する人員の動きを最適化することで、ユーザーとサービス提供者の双方にメリットのある仕組みを共創するという、本拠点の理念と合致するものと考えられる。

4.2.3 mo③ 道路維持管理支援システムの開発

テーマリーダー（氏名、所属、役職）：	有吉 亮（横浜国立大学 大学院 都市イノベーション 研究院、特任准教授）
サブテーマリーダー（氏名、所属、役職）：	佐土原 聡（横浜国立大学大学院都市イノベーション 研究院教授）
研究開発実施期間：	8 年
参画機関：	横浜市（保土ヶ谷区） 横須賀市 ESRI ジャパン株式会社 LocaliST 株式会社 株式会社富士通交通・道路データサービス 宮川興業株式会社 富士ゼロックス株式会社

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

本テーマの目標は、「協働・共有型モビリティシステム」の物理的な基盤となる生活道路（市町村道）の構造物としての機能を、将来にわたって保障することである。生産年齢人口の減少による税収（財源）の逓減と、高度成長期に整備された道路インフラの更新需要の増大が同時に進むなかで、歩行者、自転車、パーソナルモビリティ、自動運転車などの様々な移動体が支障なく通行できる道路網を保持していくためには、応需的な道路点検業務の効率化と省力化によって日々の道路維持管理コストを下げつつ、戦略的な道路維持修繕計画に基づくアセットマネジメントによって、中長期的なコストの抑制を図る必要がある。

そこで、本テーマでは「① 道路維持管理情報の収集・管理システムの高度化」と「② センシングと AI を活用した道路網のアセットマネジメント手法の開発」に取り組んだ。本テーマは、「協働・共有型モビリティシステム」の安心安全な運用に資するため、道路点検支援アプリおよび道路維持管理情報プラットフォームの開発と、路面性状評価のための数理モデルの有効性検証を行い、ユーザからのフィードバックに基づく実用的なシステムの社会実装を進めた。道路維持管理情報プラットフォームについては人口分布や交通流を考慮し、オープンデータ基盤と連携した戦略的な道路維持修繕計画の策定支援システムの構築に取り組んだ。また、九州大学・情報科学部会との協働によって、道路の路面性状評価や異常検出に特化した数理モデルを開発した。

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

本システム開発では、画像からの歩行者交通量の推計、街路樹の検出、カーブミラーやガードレールの変形検出など、「交通計画的な視点で、まちの画像から多様な価値をマイニングするための手法開発」を共同で検討している。そのため、道路パトロール車の取得するドライブレコーダーの静止画像データを、モビリティと情報科学チームの両者がアクセス可能なクラウドストレージに蓄積するための環境を構築し、共進化の取り組みを加速させた。

道路管理者からのフィードバックを得ながら、道路点検支援アプリ、道路維持管理情報システム、路面性状評価モデルからなる統合システムの社会実装に向けた研究開発を進める一方、道路点検支援アプリの導入による道路維持管理業務の効率化効果を、インシデント 1 件当たりの削減作業時間や、標準業務時間当たりのインシデントデータ作成件数などの指標で定量的に評価することで、あらゆる面での道路維持管理のコスト削減を図った。

道路維持管理情報システムについては、道路のコンディションの現況把握に加えて、アセットマネジメントや Life Cycle Assessment の視点から、中期・長期での道路維持修繕計画の立案支援のための研究を行った。損傷箇所（インシデント）の維持補修の優先順位を決めるための「道路の重み付け」の論理や、一般車両を活用したインシデント箇所のモニタリングおよび劣化度判定の自動化技術等の普及促進に向けた知見を蓄積した。さらに、以上の研究開発要素の社会実装に向けた集大成として、道路関連インシデントの管理・監視機能と道路維持修繕シナリオの多角

評価機能を備えた商用パッケージの開発を進め、市町村道を中心とした一般道路を管理する自治体道路維持管理業務への実装に取り組んだ。

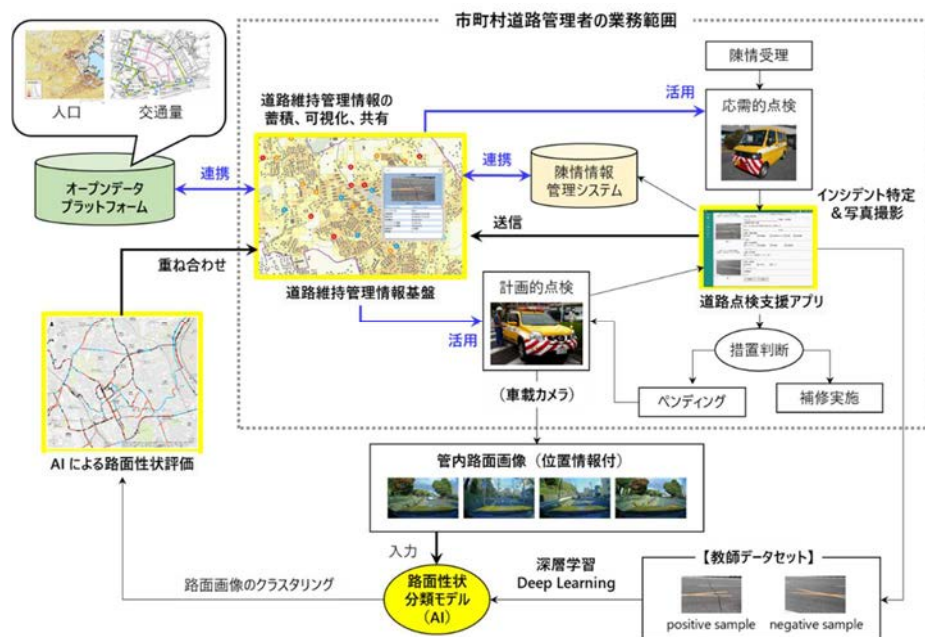


図 4.2.3.1 道路維持管理システムの構成図

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

これまで進めてきた道路維持支援システムの開発を、対地域への展開とつなげる。これまで構築したシステムの根幹は維持しつつ、新規の導入先に対応したユーザーインターフェースとユーザーエクスペリエンスを実現し、取得データの管理運用。道路維持管理以外への活用、ウィズ/ポストコロナ状況下での他分野連携に向けた体制作りと制度設計を目指した。

表 4.2.3.1 最終目標とフェーズ3終了時（2021年度末）達成目標の関係

研究開発課題	COI 終了時目標 (2021 年度末)	COI 終了後目標 (2022 年度以降)	最終目標 (2050 年)
道路維持管理支援 システムの開発	連携自治体への道路点 検支援アプリの社会実 装完了、同自治体の道 路維持管理データの作 成に係る作業時間を月 間 400 時間削減。	多様な受益者の費用負 担によるシステムおよ びアプリの継続運用 (社会実装)。COI 発 ベンチャー(Local iST)の 事業としての B2B 型サ ービスの提供。他自治 体への展開。	導入市町村の管理道路 網全体の健全度を 1 段 階向上。徒歩・自転車 の利用率を 10%向上、生 活道路での死傷事故率を 現状比で 25%削減。

(4) 主な成果と達成状況

①道路点検支援システムの開発

道路の維持管理に必要な情報を一元的に扱える「道路維持管理情報プラットフォーム」の構築と、このプラットフォームと連動したデータ収集ツールとしての「道路点検支援アプリ」の開発を行った。舗装の劣化など、道路関連のインシデントの画像、発生箇所、種類、緊急度（優先度）といった情報を電子的に記録し、それらをオンラインでサーバー（道路維持管理情報プラットフォーム）に送信できることで、従来の紙媒体による記録よりも業務効率が改善する。

アプリのインストールされた情報端末を道路点検業務の担当者が携行することで、事務所と

現場の間で最新の道路維持管理情報が同期されるため、外出中の職員が、新たに生じたインシデントに機動的に対応することが可能となった。

上述の「道路点検支援アプリ」で取得されたインシデントの位置、初回登録日時、種別、緊急度は、アプリのマップ上に可視化され、リアルタイムに更新される。管轄道路の「どこの道路に、どんな問題があるか」を把握するためのものであるが、道路管理者が投資効果の高い中長期的な道路維持修繕計画を立案するためには、「どこの道路から修繕すべきか」の検討に資する情報を加味できるシステムを構築した。



図 4.2.3.2 道路点検支援システムの構成

②路面性状スクリーニングシステムの開発

道路の点検に係るコストの削減および戦略的な道路維持修繕計画の立案支援に資するため、平成 27 年度に構築した道路舗装劣化判別モデルのプロトタイプをベースに、より実用的な道路性状のスクリーニングシステムの開発に着手した。

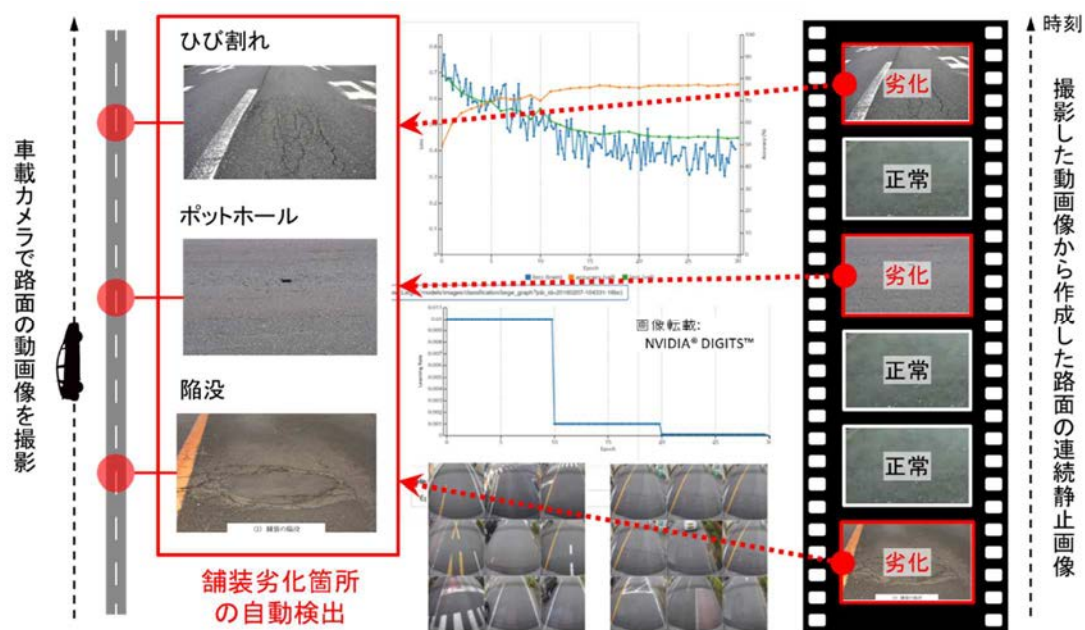


図 4.2.3.3 道路性状の機械学習モデル

上述の道路点検支援アプリおよび道路維持管理情報プラットフォームによって蓄積されたデータから、画像ベースの機械学習用データセットを生成し、それらを用いた道路性状のクラスタリングモデルを構築することを目指している。この取り組みは、九州大学の情報科学チームと連携

体制で進めており、機械学習モデルの構築に必要なデータの取得を横浜国立大学との協働によって行い、データの解析とモデル構築および手法の改良などを九州大学が行った。

③沿道状況センシングシステムの開発

道路維持管理システムの対地域展開を目的に、横須賀市、モービルアイ株式会社、丸紅株式会社、ESRI ジャパン株式会社と連携して、横須賀市が主導している「ヨコスカ×スマートモビリティ・チャレンジ事業」の一環として、車載型エッジ AI を活用した沿道状況センシングシステムの共同開発に着手した。本取組では、路面状況等の道路資産に関するデータを取得するだけでなく、歩行者や自転車の位置・量に関するデータを、車載センサーによって連続的に収集・蓄積し、得られるデータと他の既存データを重ね合わせ、道路の通行安全性を多角的に評価することで、新型コロナウイルス感染拡大により自家用車への依存傾向が強まる状況下において、道路上での弱者である歩行者と自転車への配慮を強め、より人間中心で安心安全な歩行環境および自転車走行環境の実現に貢献することを目指すものであった。街路における歩行者の量を時系列で分析することにより、感染症流行時における外出抑制策等の効果を検証でき、ホットスポット分析等のリスク評価が可能となった。

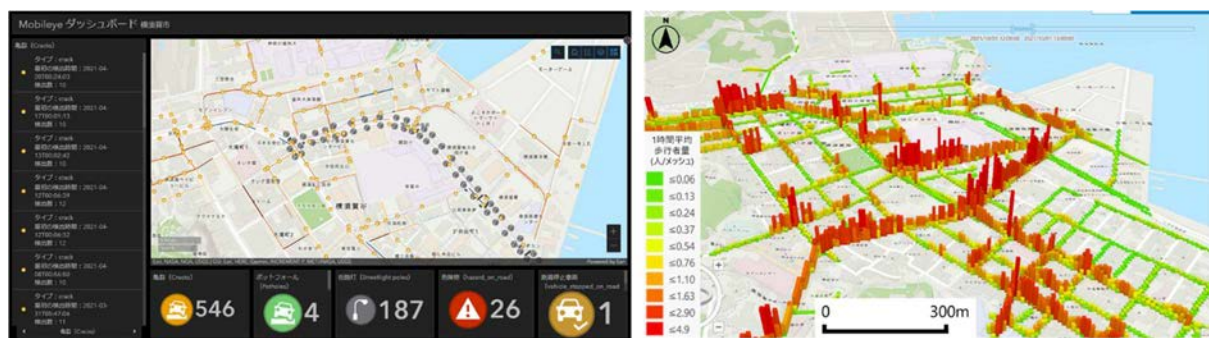


図 4.2.3.4 沿道状況センシングによる道路性状と歩行者量の可視化

④バリアフリー情報収集システムの開発

横浜市道路局は、羽沢横浜国大駅を中心とした地区を対象に、高齢者、障害者など誰もが円滑に移動し、施設を利用できるよう、市民の皆様や事業者と協力して、バリアフリー化を推進するための基本構想の検討を進めている。

1. 下図の生活関連道路（赤色矢印部）以外にバリアフリーに整備したほうがいい道路があれば、下図にご入力ください。
2. 重点整備地区（青色点線部）内に含まれている生活関連施設（緑色部）以外によく利用する施設があれば、その施設の位置にポイントを入力し、駅からその施設に行く時の経路を下図にご入力ください。

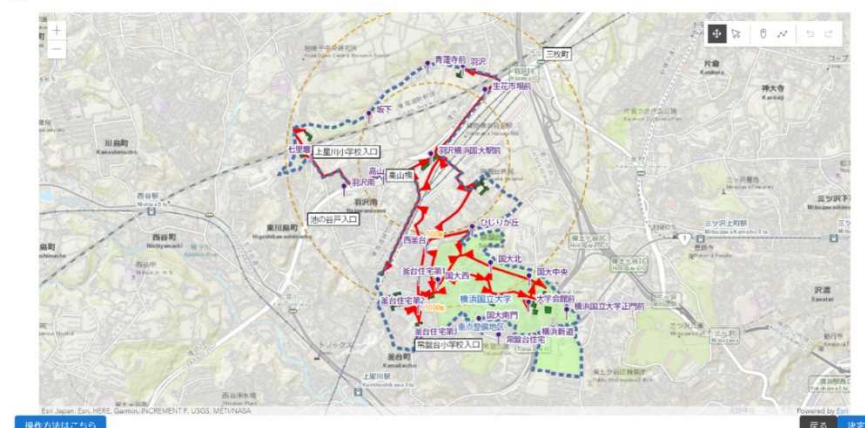


図 4.2.3.5 横浜市羽沢地区でのバリアフリー情報収集システム

横浜国大 COI サテライトは同市からの要請を受け、羽沢横浜国大駅および周辺地区の道路を日常的に利用している市民から、同地区のバリアフリーに関する問題点等の情報を集めるため、従

来の質問紙形式のアンケートを置き換え、より効率的かつ直感的な情報収集を実現するツールとして、これまで開発を進めてきた道路維持管理システムを、一般市民でも扱えるように機能を簡素化した web アプリに再構築した。これにより、今まで膨大なコストを計上してきた情報収集が、いつでも容易かつ常時管理できるようになった。

羽沢地区での実証実験を経て、横浜市内の他の地区への導入が順次検討されており、市内全域でのバリアフリー対策が、一般市民と協働で進めることが期待できる。

(5) 今後の課題と対応方針

本研究開発の課題は、道路面性状のより精細な情報収集である。近い将来、あらゆる車両(あるいは都市空間)に、カメラを主とした記録端末が搭載され、それによって撮影・収集される画像を基に、それらを人口知能(AI)によって重畳的に解析させることで、異常の事前検知や予測を行い、それに基づいてインフラの維持管理を計画することが想定される。本研究開発もその視点に立ち、当初から開発を進めてきたが、公共施設である道路の維持管理という、人々の命に関わる政策領域においては、人間が下す措置判断の意義とその重要性が改めて明らかになった。

我々は、本研究開発の当初から道路維持管理の現場と協働体制を確立できていたため、AIによる道路の異常検出は完璧ではなく、最終的には人間の責任に基づく判断によって全ての業務フローが決定されるという事実を正しく認識でき、研究開発アプローチの修正が必要なことに早い段階で気付くことができた。その経験を基に、道路維持管理システムの開発方針も、自動化はなくヒトの意思決定と措置判断に係るコストの削減を最優先にすることとした。これは、社会実装をするうえでとても重大な観点であり、まずは現場ニーズに沿った形でシステム導入を検討し、進める中でAIを用いた手法をアジャイルに検討していくという、立案の仕組みを整理することが重要である。また、画像による解析は今後も主流となると考えるが、解析手法はもちろん、撮影技術の発展など取得側の技術向上も必須である。さらには、画像を取り扱う限り、個人情報の管理に最大の注意が必要であり、それを取り扱う環境整備も必須であるとする。

(6) その他特記事項

本取組で収集した沿道状況データを可視化および共有するための方策として、国土交通省が整備を進めている3D都市モデル「PLATEAU(プラトー)」との連携を開始した。「PLATEAU(プラトー)」は、国土交通省が推し進める3D都市モデル基盤の総称で、バーチャルな都市空間に都市活動情報のレイヤーを重ねることができるという拡張性によって、官民を問わず、あらゆる分野の知見が集積するプラットフォームとなることが期待されている。持続可能な都市開発、災害対策、パンデミック対策など、様々な社会課題を解決し、都市のポテンシャルを最大限引き出すためには、都市に関する多様な情報を分野横断的に統合・可視化し、都市経営のデジタルトランスフォーメーションを進める必要があることから、本研究開発テーマの取り組み(横須賀市における沿道状況センシング)がそれに貢献できるという位置づけで、国土交通省の事例紹介ページに掲載された。<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/activity-monitoring/1-010/>

4.3 情報科学部会

情報科学部会では、持続可能できめ細やかな都市サービスを実現するため、COI 発足当初より、センシングデータを利活用するためのハードソフトの両面から環境整備を進め、特にデータの相互利用に焦点をあてたデータ連携基盤の研究・開発を推進してきた。このデータ連携基盤を活用した、市民に「安全・安心・快適」を提供する「見守りサービス」を実現する要素技術の開発を、屋内外における実証実験を通じて、エネルギー部会、モビリティ部会、産業数学部会と連携して実施した。第3フェーズからは、地域経済活性化に向けて、まちの安心安全、賑わいの創出に資する社会実証実験を公共空間において進めた。また、コロナ禍における社会課題への取り組みとして、新しい生活様式に向けた、安心安全と活性化の両立の取り組みを参画機関と共に推進した（図4.3-1）。

まちの安心安全の取り組みとしては、ict①「都市空間における見守りサービスの構築と実証」において、人々の外出阻害要因である交通結節点での「身体的／心理的乗り継ぎ抵抗」を軽減させるため、駅・バス停等の「交通結節点における的確な誘導」を実現する都市空間における見守りサービス（移動困難者の自動検知に基づく乗り継ぎ支援）の仕組みを構築した。

まちの活性化の取り組みとしては、ict②「ICT等を活用したまちの賑わいの創出」において、「まち」の賑わい状態を定量化するための指標の策定と、その指標に基づく賑わいの計測を、実空間である中洲川端の商店街に実現した。

研究課題横断的に、コロナ禍への対応として、九州大学が開発してきたデータ連携基盤上に、カメラによるバス停の混雑把握・予測の仕組みを実装し、モバイルサイト及びLINEによるバス停混雑度情報の提供を開始した。さらに、学内バス停を実験バス停化し、情報による行動変容誘発実験の準備を進めており、アプリだけでなく、バス停のサイネージによる情報通知環境の整備を進めている。また、コロナ禍において「まちの回遊コンテンツ」を検討するために、これまでに開発した回遊促進アプリ（Smart Compass）を活用することを前提とした「With コロナ時代の賑わいコントロール回遊システム」構築のための検証機構を開発した。今後は、本 Web サービスを活用して、混雑や賑わいを考慮したツアーコンテンツの提示する仕組みをもつ回遊アプリの実装を目指す。



図4.3-1 拠点ビジョンと研究テーマの関係（情報科学部会）

2050年、ICT見守りによる安心安全で活力のある街を実現させるために、COI終了時には、公共空間での見守りおよび賑わいの計測を実現した。所謂AIカメラを公共空間に設置するために、地元の自治協議会、自治体、警察署に許認可を取り、道路占用許可を取得し、長期的にICT見守りサービス環境を構築した事例は国内でも珍しく、我々の活動が先駆けである。しかしながら、依然としてAIカメラを公共空間における防犯カメラとして活用するルールが整備されていない。COI終了後も、情報科学部会が中心となり参画機関と共に、監視社会と揶揄されることのない個人のプライバシーに徹底的に配慮した防犯カメラの機能を持つAIカメラの普及に努め、ICT見守りにより「さりげない見守り」を実現する。最終的に、with/after コロナ時代においても頑健なICT見守りサービスを社会実装し、賑わいによる経済発展と社会的課題の解決の両立を実現していく。

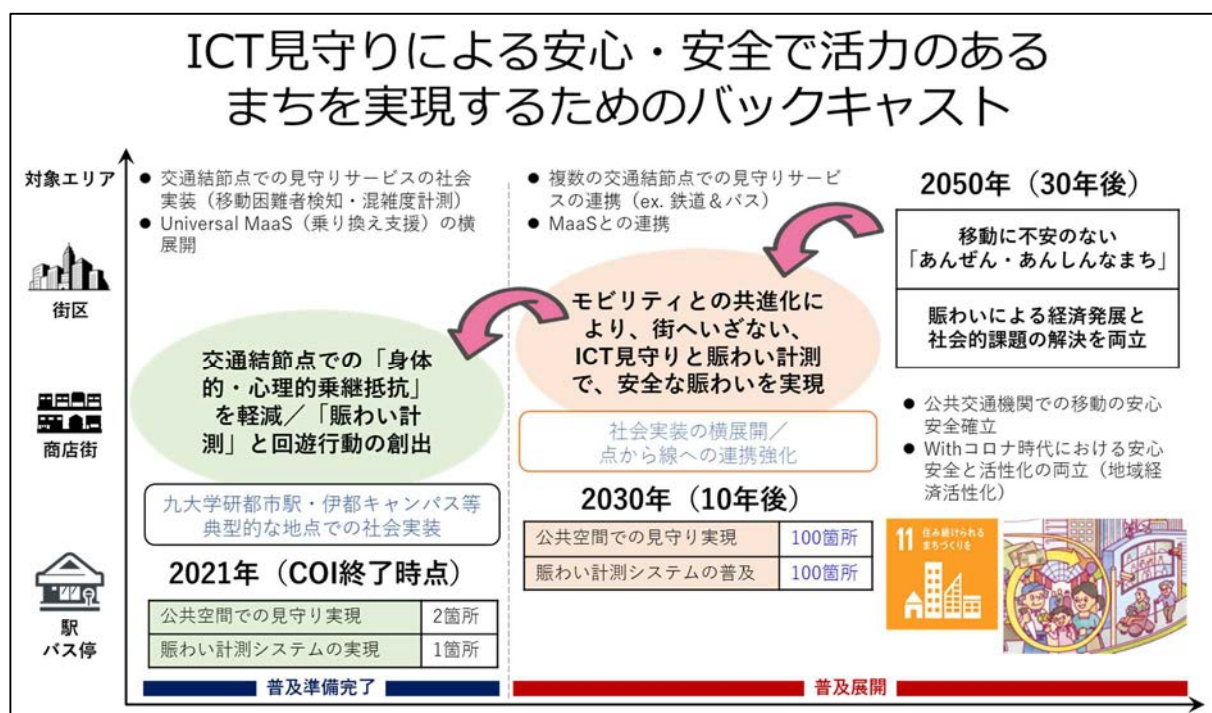


図 4.3-2 バックキャスト（情報科学部会）

4.3.1 ict① 都市空間における見守りサービスの構築と実証

テーマリーダー（氏名、所属、役職）：	荒川 豊、九州大学、教授
サブテーマリーダー（氏名、所属、役職）：	高野 茂、九州大学、客員准教授
研究開発実施期間：	2013 年度～2021 年度
参画機関：	日立製作所、昭和自動車、九州先端科学技術研究所

4.3.1.1 ict①-a：交通結節点における安心安全の実現

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

本研究開発テーマでは、拠点ビジョンである「あんしん・あんぜんで活力ある持続的地域創成」を目指すために、まちの「あんしん・あんぜん」にかかる都市サービスの社会実装を推進する。具体的には、人々の外出阻害要因である交通結節点での「身体的／心理的乗り継ぎ抵抗」を軽減させるため、駅・バス停等の「交通結節点における的確な誘導」を実現する都市空間における見守りサービス（移動困難者の自動検知に基づく乗り継ぎ支援）を実装する。

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

交通結節点において、移動困難者の検知と交通事業者とのシームレスな連携を実現する見守りサービスと、結節点の安心度を可視化するシステムを社会実装する（図 4.3.1.1-1）。いずれも、COI による実証を通じて、公共空間にカメラを設置することに対する便益を理解していただければ、近年中に全国の駅前空間へと展開できると考えている。



図 4.3.1.1-1 見守り・移動支援サービスの社会実装モデル

また、九州大学 COI が開発しているデータ連携基盤ソフトウェアは、1 つのサービスのためのシステムではなく、多様なサービスを提供可能な基盤であり、FIWARE など他の情報基盤との連携が容易となるフレームワークをもつ。本研究テーマでは拡張性の高いデータ連携基盤を活用し、商業施設等を含む九大学研都市駅周辺のステークホルダーとの連携を見据えた即時性の高い見守りサービスを公共空間に実装する。

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

2021 年度は、FDC（福岡地域戦略推進協議会）における産官学連携および福岡市実証実験フルサポート事業の一環として、九大学研都市駅を舞台とした、交通結節点での移動支援の実証を実施する。同時に 2020 年度に展開したバス停混雑度可視化システムを発展させ、実験バス停において、混雑度予測に基づいて、通勤・通学時間を変更してもらうための情報提示実験を行う。

交通結節点における見守りサービスを社会実装（九州大学・日立製作所・昭和自動車、周辺ステークホルダー）する。バス停混雑度可視化システムの構築に必要な混雑度センサのソフトウェアを公開し、混雑度計測を横展開できるようにする。また、①-b で開発するバスプローブから得られるバリアフリー車両位置情報やその混雑度情報を加味した移動困難者向け乗り換え支援システムを構築し、その効果を検証する。バスプローブシステムは他地域でも利用可能な形で公開するとともに、乗り換え支援システムについても、他地域でも展開可能なパッケージ化を図る予定

である。

(4) 主な成果と達成状況

交通結節点において、誰もが移動に際して苦痛を感じない仕組みを実現することを目的に、九大 COI では、ICT 見守りサービスの社会実装準備のフィールドを、第1フェーズに大学キャンパスで実施し、第2フェーズに準公共空間、第3フェーズに公共空間へと段階的に発展拡張した。最終年度は、検知精度をあげるべく参画機関の日立製作所と共に AI モデルの追加学習に取り組む計画である。その際に利用する訓練画像はオープンデータとして公開し、本取り組みを広く世の中に広めていく。オープンデータの保守については、参画機関の九州先端科学技術研究所が中心に継続していく。

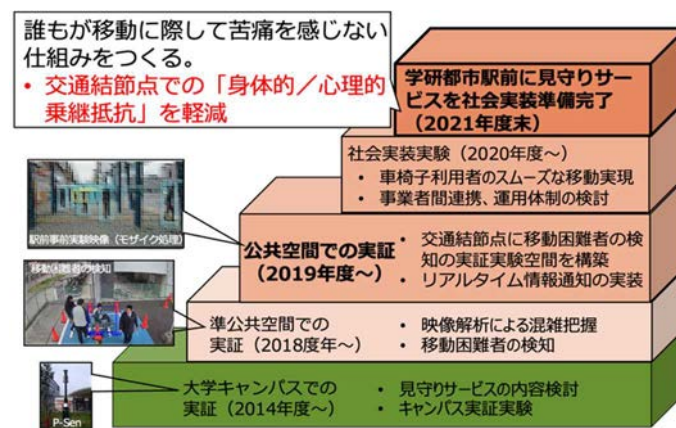


図 4.3.1.1-2 安心・安全な移動空間の創出

① 大学キャンパスでの実証（ポール型センサーノード Petit Seonsr Box (P-Sen)）

ICT を活用した見守りサービスを実装するためには、人流を計測する環境を構築することが必要不可欠である。九州大学 COI では、2013 年度に、九州大学伊都キャンパス内の人流および交通流をセンシング可能な大規模センサーネットワークを構築するために、汎用センサーモジュール「PetitSensorBox (P-Sen)」の開発に着手し、2014 年 11 月に人流分析実証実験を開始した（図 4.3.1.1-3）。これらの人流データをクラウドサーバに収集する機構を構築し、その基盤となったデータ連携ソフトウェア「CircleCore」は、オープンソースソフトウェアとして公開しており、他研究所のセンサーデータ収集機構として活用されている。分析機構として、センサーデータの異常検知や予測技術の研究開発を進め、これまでに、人流データだけでなく、電力需要予測など異分野においても発展応用された。また、参画機関の NEC と共にセンサーデータプラットフォーム（FIWARE）とのプラットフォーム間のデータ連携の取り組みを進めている。

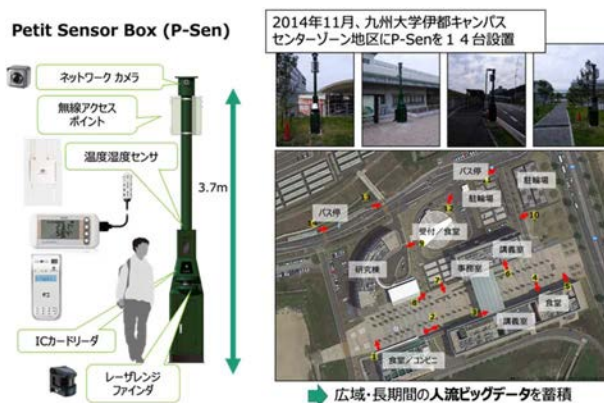


図 4.3.1.1-3 P-Sen：ポール型センサーノード

② カメラを活用した市民サービスの検証を実施

2017 年度には、P-Sen のまちでのユースケース検討するために、総務省「IoT/BD/AI 情報通信プラットフォーム」社会実装推進事業に参画企業の日立製作所と共に応募し、採択された。本事業では、快適生活を実現する見守りサービスの構築に向けた映像解析技術に関する研究開発を推進し、日立製作所の研究グループと共に、キャンパス人流センシング環境においてカメラを活用した市民サービスの検証を実施した。さらに、映像利活用に関わる政府動向や民間サービス事例の情報収集を行い、整理し、自治体、交通事業者、不動産事業者（デベロッパー）、警備会社などを対象とした、マーケティングなど平時も活用可能なサービスメニュー（図 4.3.1.1-4）を作成した。



図 4.3.1.1-4 高度見守りサービスメニュー（全体図）

③ 準公共空間での実証実験（移動困難者の検知および混雑把握）

2017 年度に作成した高度見守りサービスメニューの「移動」に着目し、2018 年度より、バス事業者の私有地（バス停）におけるカメラを活用した準公共空間における見守りサービスの実証実験を開始した。図 4.3.1.1-5 に、当時の車椅子検知実験の結果を示す。車椅子の他、白杖やベビーカーの検知実験を実施し、90%前後の検知精度であった。バス停下は屋根があること、照明があること、また、歩道に赤や青色でペイントされたあるなど、屋外であるものの物体検知に関して非常に条件の良い空間でもあった。

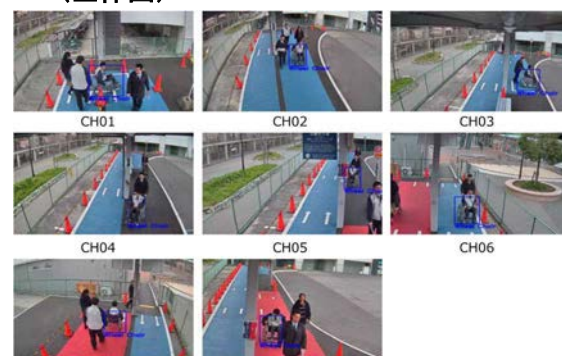


図 4.3.1.1-5 車椅子の検知例

④ 公共空間での実証実験（福岡市実証実験フルサポート事業に応募、採択）

移動困難者の到来を事前に検知するために、2019 年度から公共空間における実証実験を開始した。所謂 AI カメラを活用した来訪者の混雑検知、属性判定は近年さまざまな事業者がサービス化しつつあり、今後も増えていくと予想されるが、道路占用許可申請手続きを経て、AI カメラの実証を実施したのは国内でも稀な取り組みである。コロナ禍の影響で当初より開始が遅れたものの、2021 年 6 月 25 日に車椅子の検知及び通知実験を開始し、乗車支援サービスの社会実装準備を進めている。具体的には、本学と参画機関である昭和自動車が構築する実証実験空間（図 4.3.1.1-6）において、移動に何らかの制約がある方々（車椅子、ベビーカー、シルバーカー、白杖等、以下、移動困難者）をリアルタイムに検知し、その結果を九州大学が準備するサーバに JSON 形式にて通知する仕組み（以下、見守り機能）を日立製作所が担当し、実装した。これによって移動困難者の「身体的／心理的乗り継ぎ抵抗」を抑制するとともに、今後、副次的に交通事業者が求める定時運行を支えるサービスの提供も期待される。学研都市駅前における移動困難者の検知の実証実験空間（図 4.3.1.1-6）において、検知情報を交通事業者にリアルタイムに通知する仕組みを実装し、加速予算を活用して、移動困難者の検知精度を向上させるべく各種調整の実証実験を実施した。本システムは、現地の乗合所に併設した屋外のサーバ収納 Box に設置しており、画像はサーバで処理後に削除している（図 4.3.1.1-7）。

検知の通知は、JSON 形式に整形された検知情報を、九州大学が設置したサーバの API を介して、検知情報として事業者のスマートフォンに送信する。本システムを用いた通知実験では、データ送信が移動困難者の検知から 1 秒～2 秒程度で完了することを確認した。

屋外での検知機構は、日立製作所のもつ製品版のソリューション（空港、駅構内等の屋内での採用実績多数）を屋外用にカスタマイズして実装しているが、当初の想定より外乱の影響が大きく、誤検知が多く発生している状況であるため、検知に使用している AI モデルの再学習を実施した。具体的には、現地環境において撮影した車椅子、白杖、ベビーカー、自転車の画像セットに加えて、オープンデータで公開されている車椅子画像にアノテーションを施し、6,000 枚程度の訓練画像セットを構築した。この訓練画像セットを用いることで、どのカメラにおいても検知精度を向上させることができた。とくにターゲットの全体が大きく映る画角で設定しているカメラでの車椅子検知精度は、95%を超えており、車椅子乗車支援サービスの運用においては、検知精度の高いカメラにおいて連続して検知された場合に発報する仕組みを実装することで、実サービスとして運用可能である。こちらの訓練画像セットはクレンジングを実施し、オープンデータとしての公開を予定している。なお、撮影対象者のプライバシーに配慮し、本実証で取得する画像データは、処理後速やかに削除しており、ハードディスクへの蓄積やサーバ等への送信はしていない。カメラで撮影していることについて、現地に張り紙をし、プライバシーポリシーの Web サイトの情報とともに掲示している。



図 4.3.1.1-6 実証実験空間

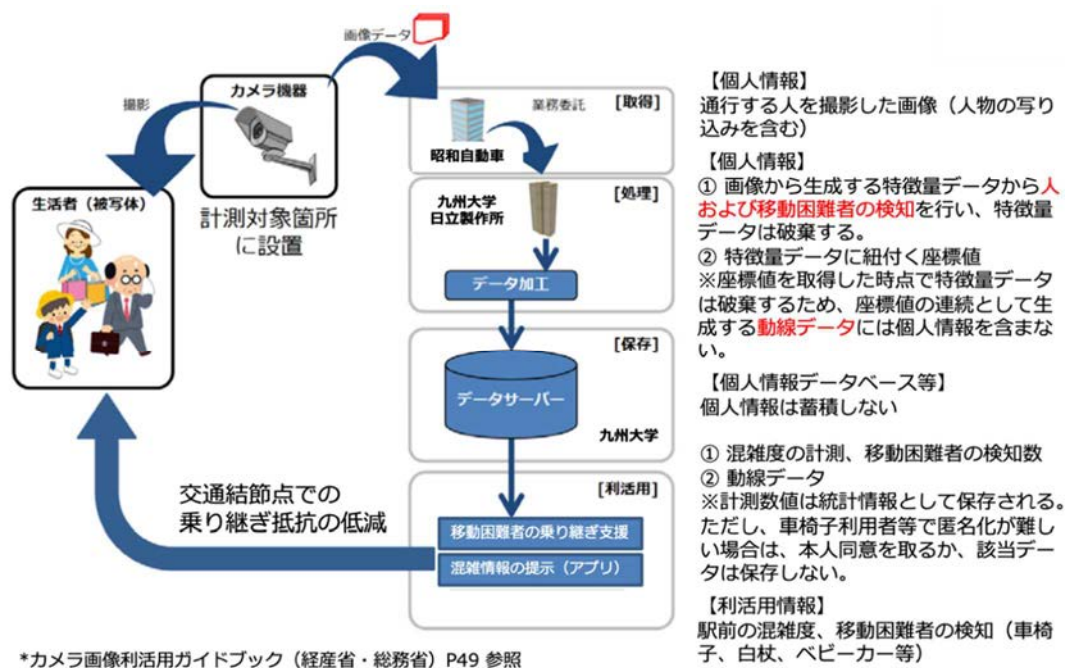


図 4.3.1.1-7 画像データの取扱

⑤ 混雑センシング環境の開発と実装

九州大学伊都キャンパスは単一キャンパスとして日本最大級の面積を有し、教職員・学生合わせて2万人以上が在籍している。コロナ禍以前は職員の46%、学生の23%がバスで通勤・通学をしており、朝や夕方の特定の時間帯ではバスが非常に混雑する。密を避け、感染拡大を回避するためにはバス利用者が自主的な時差通学や時差通勤をする必要があるが、バスの混雑状況は天候やイベントなどにより日々変化する。そこで複数の混雑度センサ（図 4.3.1.1-8 参照）を用いてバス停の混雑度を可視化することで、混雑を避ける行動を取りやすくするためのシステム itocon (<https://hub.arakawa-lab.com/itocon/>)を開発し、キャンパス構成員向けにリリースした。キャンパス内の主要バス停2箇所には、2014年に運用を開始したポール型センサーノード Petit Seonsr Box (P-Sen) と、情報科学部会で開発してきたデータ連携基盤を活用することで、コロナ禍でキャンパスに立ち入り制限がある中で、どこよりも速く混雑度センシングと可視化を実現することができた。九大学研都市駅前の混雑度に関しても、これまで情報科学部会が日立製作所とともに移動困難者検知を目的として整備してきたカメラを活用することで、いち早く准公共空間での混雑度計測の実現に至った。



図 4.3.1.1-8 混雑度センサ

itocon は、スマートフォンなどが発信する WiFi の Probe Request 信号と、COCOA をインストールしたスマートフォンから発信される Exposure Notification 信号を観測し、それらの数値から混雑度を推定している。そのため、利用者は何もインストールする必要がない。当初、駅前2箇所、キャンパス内2箇所からスタートしたが、開発を継続し、現在対応している計測箇所は、学内10箇所のバス停と9箇所の食堂となっている。

また、産業数学部会との連携により、過去データ分析に基づき、混雑度予測を提供することに成功した。これもコロナ禍以前より、九大学研都市駅において、カメラを用いたセンシングを行っていたことで、データが蓄積されていたことで早期に実現できたことである。より多くの人々が、混雑度情報を見て、混雑を回避し、あんしん・あんぜんな通勤・通学を行うために、LINE による情報提供、後述する NTT ドコモとポイントを活用した混雑回避促進等を実施し

ている。さらに、加速予算により、学内バス停を実験バス停化し、情報による行動変容誘発実験の準備を進めており、自分から開く必要があるアプリだけでなく、バス停のサイネージから発信される情報通知により、混雑回避行動を促進していく。図 4.3.1.1-9 にキャンパス混雑度可視化サービス (itocon) の概要を示す。



図 4.3.1.1-9 キャンパス混雑度可視化サービス (itocon) の概要

(5) 今後の課題と対応方針

九大学研都市駅前における車椅子利用者の乗車支援サービスについては、COI 終了後以降は、参画機関であるバス事業者と福岡市の公益財団法人を中心に持続的なサービスとして定着を目指す。現在、本実証実験を通じて、制度と技術の課題を抽出し、その対策を進めている。具体的には、現状、公共空間における AI カメラの設置条件（道路占用許可）として、画像は処理後に即削除が大前提であり、防犯カメラとしての機能を持たせることができない。今後、公共空間においても AI 防犯カメラを設置するためのガイドライン等の作成を視野に活動していく。また、車椅子等の移動困難者に関する訓練画像セットを構築し、検知精度の向上を図るとともに、それらをオープンデータ化し、AI 見守りサービスの横展開に必要な環境の整備を行う。

キャンパス混雑度可視化サービスについては、次年度より、九州大学のコロナ対策室が正式サービスとして運用することで調整を進めており、計測箇所を拡張しつつ、with コロナ時代のキャンパスサービスとして運用する。また、キャンパス内に構築した実験バス停では、マルチセンシングによる混雑センシングを実施する。これにより、カメラ映像に基づき生成する真値データ（混雑人数）を活用して、WiFi や Bluetooth など電波を用いた混雑計測の精度を向上させる。さらに、内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム「MyIoT 開発プラットフォーム」と連携する仕組みを各混雑センサーに実装し、COI 終了後も持続可能なキャンパス混雑度可視化サービスとして運用していく計画である。

(6) その他特記事項

本研究課題における公共空間での AI カメラの取り組みから、福岡市が自治体として AI 防犯カメラを事業化する取り組みが加速された。2021 年度後半に、福岡市の繁華街における悪質な客引きを低減させることを目的に実証実験が進んでいる。また、「itocon」は、学内のコロナ対策の取り組みとして定着しており、学生グループを中心としたアジャイル開発により進化を続けている。本アプリは、本学の新型コロナウイルス特設ページにおいても紹介されており、日々の通勤・通学時に、できるだけ「密」を避けるツールとして活用されている。また学内サービスだけでなく、「itocon」は、コロナ禍における公共交通利用促進策の事例として、国土交通省の Web サイトにて紹介されている。itocon と同様のサービスを、誰もが簡単に利用できるように、新たに itocon-GO を開発し、「e-ZUKA スマートフォンアプリコンテスト 2021」にて複数の賞を受賞した。

A イノベーション創出に向けた活動実績
4 研究開発テーマの成果

さらに本技術は、福岡市東区役所における混雑計測の実証実験にて検証が進められている。

4.3.1.2 ict①-b：混雑度および換気度計測可能な安価なバスプローブの展開

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

本研究開発テーマでは、拠点ビジョンである「あんしん・あんぜんで活力ある持続的地域創成」を目指すために、まちの「あんしん・あんぜん」にかかる都市サービスの社会実装を推進する。具体的には、コロナ禍への対応として、交通結節点における混雑度の計測と予測情報を加味した乗り継ぎを支援するサービスを社会実装し、誰もが安心して快適に移動できるまちを実現する。

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

本研究課題では、ict①-a と共有するデータ連携基盤を活用して、交通結節点における移動支援に係る利用者向けサービスを社会実装する。本研究課題を推進するために、安価なバスロケーションシステムを開発・導入し、特に移動困難者が「乗りたい／乗れるバス」を知ることができるサービスを実装する。

バリアフリー車両の位置確認のために開発してきたバスプローブシステムに、混雑度と換気度を計測できる機能を搭載することで、移動中の安心安全を可視化する。バス車内環境を二種類のデータ分析に基づいて計測する。これによって、単一センサでは不可能な混雑度および換気度計測の高精度化を実現する。また、混雑度計測と換気度計測は、カメラを用いないため、プライバシーに配慮した上で、低コストに実現できるものである。

さらに、コロナ対策として、二酸化炭素濃度をリアルタイムに可視化し、バス車内の換気アラートを出す機能を実装する。実際は、参画機関の昭和自動車の企業努力により、混雑時間帯において密にならないよう臨時便を出すなど、室内で快適とされる CO2 濃度が 1,000ppm 前後でのバス運行が実施されている。今後もバス車内の計測を続け、with コロナ時代のバス車載器の機能として、暖房のために窓を閉めて運行するであろう冬期運行における効果的な換気のタイミングなどの検討を進める。

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

バスプローブで計測する混雑度および換気度の精度検証を行う（九州大学、昭和自動車）。また、バス交通/鉄道乗継情報の提供の仕組み（API）をデータ連携基盤上に実装し、API を活用したアプリケーションとしてリリースする（九州大学）。さらに、MaaS との連携を見据えた地域バス事業者向けの API を検討、整備を目指す（九州大学、昭和自動車）。

混雑度・換気度計測機能を備えた安価なバスプローブシステムを完成させるとともに、ict①-a と統合し、バリアフリー車両情報を加味した交通結節点での移動支援を実現する。そして、センシング機能を備えた安価なバスプローブシステムをパッケージとして、他地域での社会実装を支援する。

(4) 主な成果と達成状況

バス車内のあんしん化（マルチセンシング機能付バスロケーションシステムの開発と導入）

当初の目的である、移動困難者が「乗りたい／乗れるバス」を知ることができるサービスを実装するためには、ノンステップバスの運行情報をリアルタイムに把握する必要がある。参画機関の昭和自動車等の地方バス会社にある問題として、全台を車椅子搭載可能なノンステップバスで運行することができないことが挙げられる。また、バス車両に運転手が紐付いているため、運転手の働き方にバス車両の運行が左右されるため、毎日の運行において、同時刻にノンステップバスに乗れる保証をすることができない。

そこで、本研究課題において、センシング機能を備えた安価なバスプローブの開発を完了し、昭和バスが運用しているすべてのノンステップバス 50 台に導入した。車内への設置に関してはモビリティ部会と情報交換した上で、昭和自動車の協力で、車両の電源を利用する形態で、長期間設置のための安定した電源供給を実現させた（図 4.3.1.2-1）。



図 4.3.1.2-1 バスプローブ端末設置状況

さらに、コロナ対策として、車内環境をセンシングする機能を開発し、バスプローブ端末に実装した。具体的には、スマートフォン等が発するWiFiのprobe request信号を受信し、端末の重複を除く1分間の台数を管理サーバに送信する機能をもたせた。また、車両のGPS位置情報とともに、CO2濃度を管理サーバに送信する機能も搭載した。図4.3.1.2-2に実際のバス車両におけるバス車内の混雑度とCO2濃度の取得例を示す。

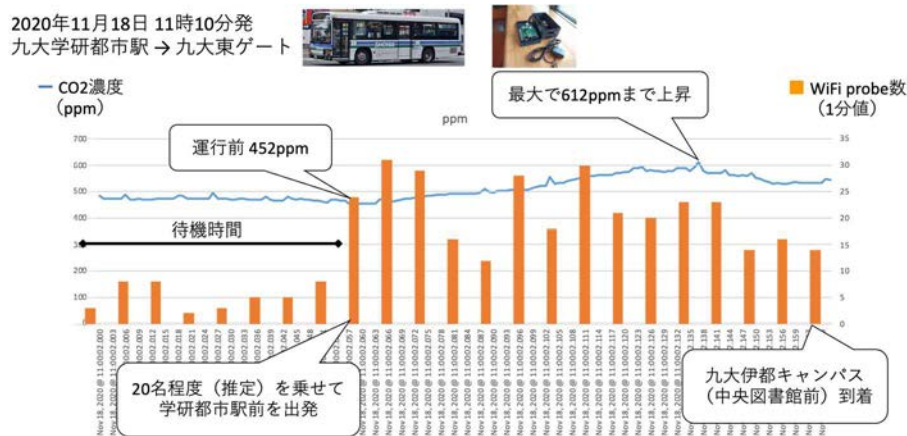


図 4.3.1.2-2 バス車内の混雑度とCO2濃度の取得

また、全てのプローブデータをデータ連携基盤上に集約し、可視化するダッシュボードを実装した。コロナ禍における追加機能として、CO2濃度も加えて可視化できるように改修した。データ連携基盤内の各アプリケーションはDocker化されているため、本システムを横展開する上で、外部の商用クラウドサーバに移植することも、容易な実装となっている。

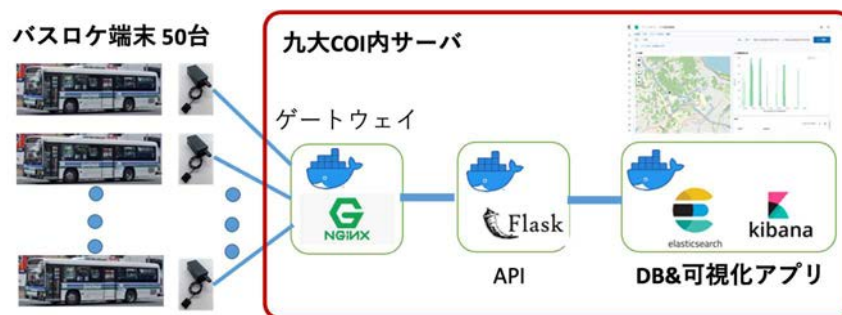


図 4.3.1.2-3 : バスロケーションシステムの概要

また、バスロケ端末の通信には、3G 通信網を利用しているが、対象エリアが都市部ではないため、通信エラーが起こる。今回、通信エラーが生じて適切にリトライする機構を実装したことで、ロスデータを大幅に削減することに成功した。

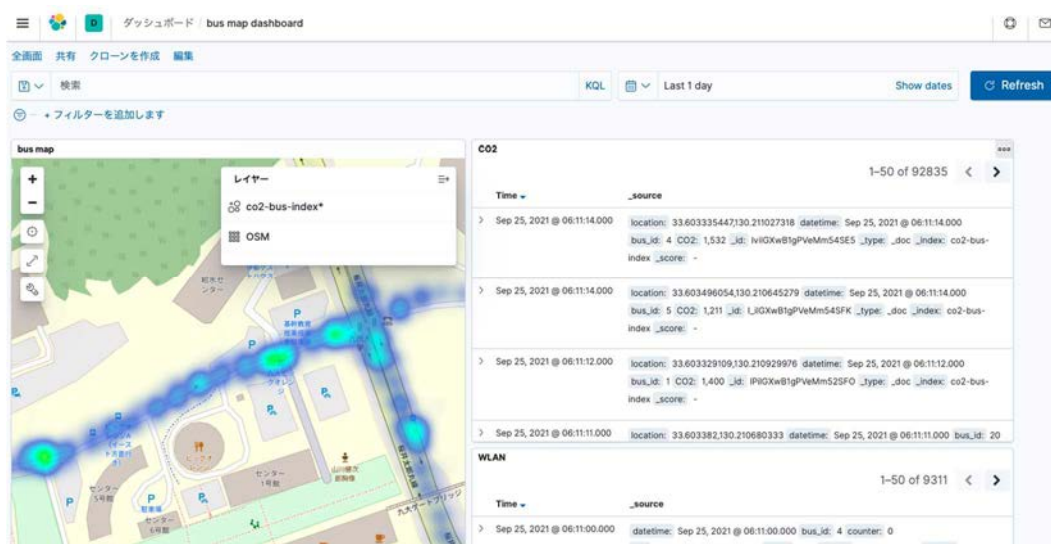


図 4.3.1.2-4 バスプローブデータ可視化

(5) 今後の課題と対応方針

バスロケーションシステムは、容易に商用クラウドサーバ上に実装できるものの、その運用にはコストがかかるので、地方交通事業者にとっては大きな負担となる。そのため、今後は、ict①-aと同様に、内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム「MyIoT 開発プラットフォーム」と連携する仕組みを各バスロケ端末に実装し、COI 終了後も参画機関の昭和自動車のバスロケーションシステムとして持続可能な運用を目指す。また、利用者向けの運行状況可視化アプリの開発も進める。

(6) その他特記事項

車内環境をセンシングする機能をもつバスプローブ端末は株式会社コードキューよりカタログ化（図 4.3.1.2-5、型番 CDQ-BUSLOC02）されて販売されている。すでに横展開先として、某企業の工場内バスへの導入が検討されている。また、図 4.3.1.2-6 は自家用車において大人 1 名が乗車した際の CO2 濃度の推移である。換気をせずに運行した場合、20 分程度で約 3000ppm に達している。このことは生体検知に利用できることを示唆しており、降ろし忘れ防止の観点で某自治体

A イノベーション創出に向けた活動実績
4 研究開発テーマの成果

の幼稚園バスなどの導入が検討されている。なお、混雑センシングや可視化の仕組みなどのソフトウェアについては、MyIoT エッジアプリとして公開予定である。



図 4.3.1.2-5 バスロケ端末カタログ

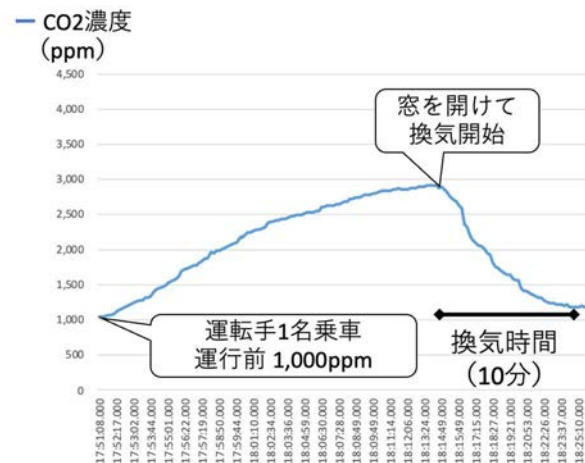


図 4.3.1.2-6 自家用車における CO2 濃度の推移例

4.3.2 ict② ICT等を活用したまちの賑わい創出

テーマリーダー（氏名、所属、役職）：	荒川 豊、九州大学、教授
サブテーマリーダー（氏名、所属、役職）：	高野 茂、九州大学、客員准教授
研究開発実施期間：	2018 年度～2021 年度
参画機関：	NEC、YEAH、NTT ドコモ

4.3.2.1 ict②-a：賑わいの指標化と見える化

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

本研究開発テーマでは、拠点ビジョンである「あんしん・あんぜんで活力ある持続的地域創成」を目指すために、まちの「賑わい創出」にかかる都市サービスの社会実装を推進する。具体的には、まちの賑わい創出のための「まち」の賑わい状態を定量化するための指標の策定と、その指標に基づく賑わいの計測を、実空間である中洲川端の商店街に実装する。

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

まちの賑わい創出に先立ち、賑わいを定量的に表すための指標の策定と、その指標に基づいた賑わいの計測手法を開発し、商店街などの賑わい分析 BI ツールを社会実装する。2020 年度の福岡市実証実験フルサポート事業採択により、公共空間である川端通商店街にカメラを設置することができたため、実環境での計測を通じて指標の妥当性を検証する。

川端通商店街では、平日 1 万人の来訪者が見込まれる一方、ほとんどが周辺商業施設への通過利用が多い。また、コロナにより、ソーシャルディスタンスを考慮した適度な賑わいというもの求められている。そこで、通過客と買い物客の動作の違いを加味した賑わい指標を立てることで、単に歩行者通行量を増やすイベントではなく、商店街が呼びたいお客様をいざなうためのイベントデザインを可能にする BI ツールを開発する。開発は、九州大学と NEC が共同で行い、その運用は、商店街組合を中心としたエリアマネジメント団体が実施することを検討する。なお、ict①と同様に、福岡市は、カメラ利活用による市民の安全・安心のための取組として、従来の防犯用途だけでなく、賑わい分析や混雑予測などの公共空間での市民サービスへの活用事例として期待を寄せており、本事業の社会実装の支援を表明している。

さらに、マイナンバーカードを活用した訪問者の追跡を可能とするトレーサブル空間の構築を、2021 年内に大学の研究施設内で実施し、共同研究にて得られた知見を元に、参画期間の NEC がトレーサブル空間としてしてカタログ製品化する。本研究課題でターゲットとする施設は、飲食店やイベント施設となる。これらは、緊急事態宣言下に関わらず、入出を制限するなどの対策が必要不可欠となっている。トレーサブル空間を活用して、サービス提供者と訪問者の信頼関係を構築することが、コロナ禍におけるまちの賑わい創出への打開策となる。

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

実計測データに基づく賑わい指標の評価（九州大学・NEC、周辺ステークホルダー）を進めるとともに、BI ツールをパッケージソフトウェア化（NEC）することで、COI 期間終了後の社会展開の土台としていく。また、マイナンバーカードを活用した訪問者の追跡を可能とするトレーサブル空間を構築し、参画期間の NEC がトレーサブル空間としてしてカタログ製品化する。

2021 年度は、FDC（福岡地域戦略推進協議会）における産官学連携および福岡市実証実験フルサポート事業の一環として、川端通商店街を舞台とした、賑わいの計測と見える化の実証を実施する。特に、産業数学部会と共に策定した「賑わい指標」については、実計測データをシミュレーション評価と比較して、その妥当性を明らかにしていく。具体的には、商店街の各店舗で効果的なセールス（購買意欲をもつ来訪者が多い時間帯に対応人員のリソースを集中させるなど）を実現するために、商店街の通過が目的ではない人（購買意欲のある来訪者）の行動を自動検知し、商店街にフィードバックする。実際、通過が目的でない来訪者の多い時間帯では、周りを観察し

ながら、または、店先に立ち止まって来店を検討する行動が増え、歩く速度が平均的に遅くなる傾向にある。また、コロナ対策を十分に実施した上で、通過目的の来訪者に対して、効果的なイベントや回遊情報の提供などの施策を実施し、「賑わい指標」の変化を可視化することも検討したい。そして、地域への賑わい分析システム（BI ツール）として、パッケージソフトウェア化し、他地区へと横展開を図る。

さらに、個人認証と「賑わい指標」を用いた歩行者の分類とを統合することによって、より高度な分析結果を得るために、マイナンバーカードや顔認証を活用した個人認証が必要な市民サービス（顔認証による決済管理等）との連携を進める（九州大学、NEC）。

（4）主な成果と達成状況

商店街において、誰でもが訪れたい街を作ることを目的に、九大 COI では、ict①と同様に、キャンパス人流計測で培った技術を活用して、第3フェーズより、産業数学部会と共同で、単に人が多い状況と、買い物客が多い状況を区別できる賑わいの新しい指標を策定し、特許出願をした（特願 2020-204436）。2020 年度より、福岡市実証実験フルサポートを活用し、川端通商店街という公共空間にカメラを設置し、社会実装の場を構築している。そこでは、九州大学が開発するデータ連携基盤上に、カメラによる人流計測の仕組みを実装し、賑わいの指標、さらに NEC の性別・年齢層自動推定システム「FieldAnalyst」に基づく来訪者属性（性別／年齢）の推定結果を、リアルタイムに自動集計する仕組みが実装されている。

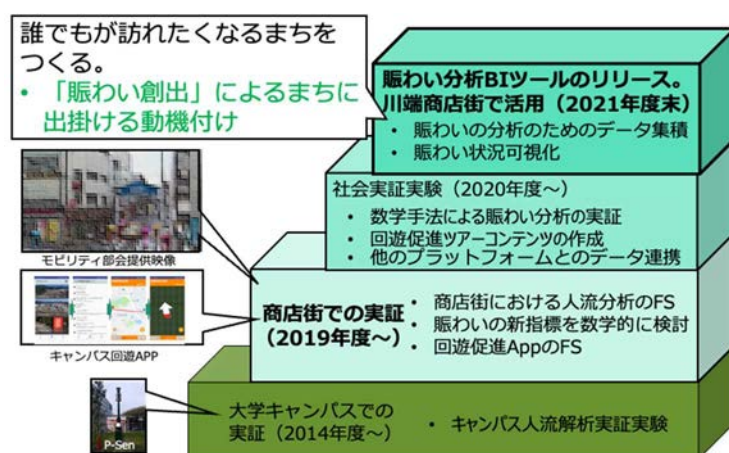


図 4.3.2.1-1 ICT 等を活用したまちの賑わい創出

① 商店街における人流分析環境の構築（福岡市実証実験フルサポート事業）

2020 年度より、福岡市実証実験フルサポートを活用し、川端通商店街という公共空間にカメラを設置し、社会実装の場を構築している。そこでは、九州大学が開発するデータ連携基盤上に、カメラによる人流計測の仕組みを実装（図 4.3.2.1-2）し、さらに NEC の性別・年齢層自動推定システム「FieldAnalyst」に基づく来訪者属性（性別／年齢）の推定結果を、リアルタイムに自動集計する仕組みが実装されている。なお、撮影対象者のプライバシーに配慮し、本実証で取得する画像データは、処理後速やかに削除しており、ハードディスクへの蓄積やサーバ等への送信はしていない。カメラで撮影していることについて、現地に張り紙をし、プライバシーポリシーの Web サイトの情報とともに掲示している。



図 4.3.2.1-2：商店街への属性付き人流分析環境の実装

図 4.3.2.1-3 に 2020 年 11 月の人流データから、検出人数を分析し、主要な 4 つの代表データを示す。これらは、平日と休日（平日は混雑ピークが多い。休日はピークが少ない）、さらにそれぞれの混雑の大小で分類されている。図 4.3.2.1-4 は、コロナ感染ピーク後に人流が増えた 2020 年 11 月の混雑状況と、3 回目の緊急事態宣言の影響を受けている 2021 年 6 月の混雑状況である。

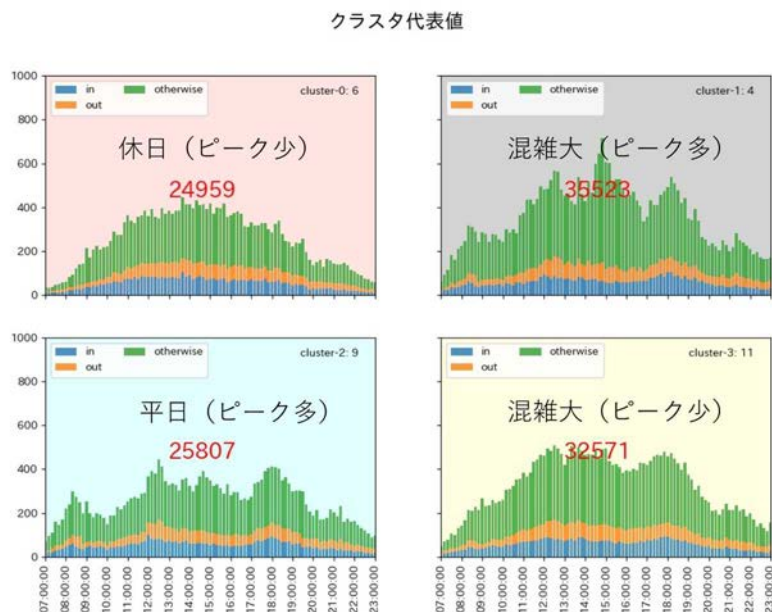


図 4.3.2.1-3 1 日の混雑状況の代表クラスタ

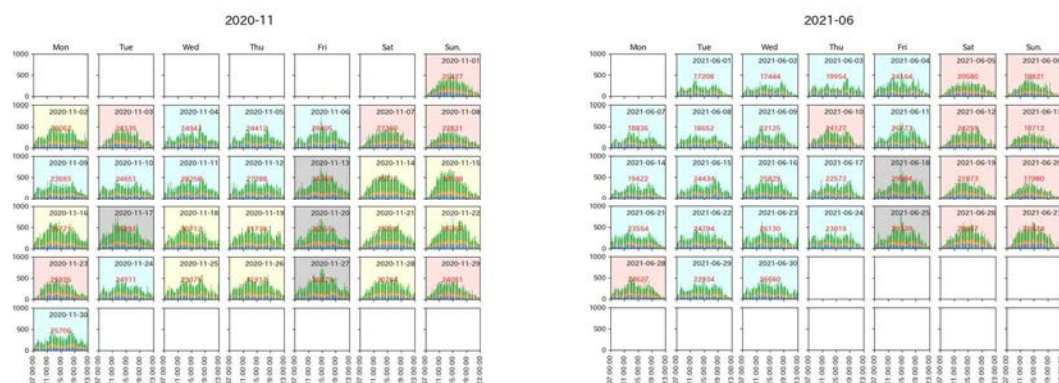


図 4.3.2.1-4 2020 年 11 月と 2021 年 6 月の混雑状況

通年で人流計測実験からも、緊急事態宣言下の人流の減少が観測されている。2021 年 6 月の検出数は、2020 年 11 月と比較すると 20%減であった。これらのデータを使って商店街組合にヒアリングしたところ、飲食店に限らず、ほとんどの店舗が閉店時間を早めるなどの対応を自主的に行うなどの影響もあり、これらのデータが表すように人流が減少している。

② 賑わい分析システム (BI ツール) の開発

2020 年度は、参画機関の NEC が中心となり、BI ツールを代表するアプリケーションである tableau を利用し、収集された属性データの可視化システムのプロトタイプを実装した。まず指定した期間での訪問者の全体像を可視化し、2 地点 (みどりや仏壇店様前、商店街組合事務所様前) での比較機能を実装した。その一部を図 4.3.2.1-5 に示す。

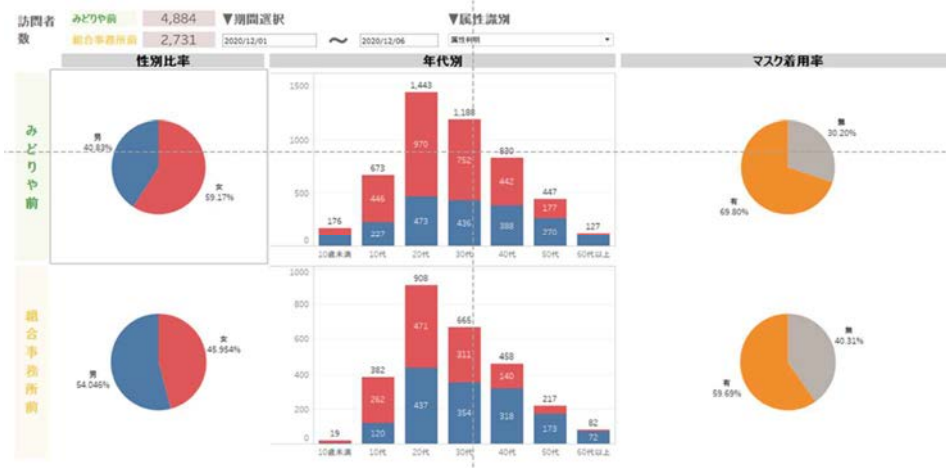


図 4.3.2.1-5 属性データの可視化

提案する可視化システムは、来訪者の特徴を多面的に分析することができる。たとえば、昨年度由一の川端商店街でのセール期間中 (2020 年 11 月 15 日から 22 日) において、20 代から 30 代の若い女性の来訪者が多く計測される一方、同期間の男性客の来訪者は少なく、年代にはバラつきがあったなどの分析結果が得られた。今回は、蓄積した属性データでの可視化分析を実施したが、属性データはリアルタイムに集計しているため、10 分単位での現在の状況を商店街事業者へ通知し、販売戦略に活かすことが想定される。今後は、可視化機構に賑わいの指標を取り込み、商店街事業者へヒアリングを進めて、現場に求められる BI ツール (図 4.3.2.1-6 : 2021 年 12 月完成予定) として社会実装を進める。

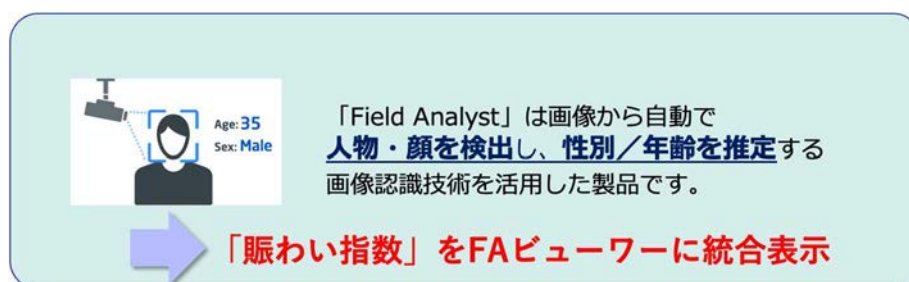


図 4.3.2.1-6 賑わいを可視化する BI ツール

③ 賑わいの指標の検討と実装

産業数学部会と共同で、賑わいの新しい指標を策定し、人流シミュレーションを用いて、単に人が多い状況と、買い物客が多い状況を区別できることを確認した。賑わい指標の算出のためのフローチャートを図 4.3.2.1-7 に示す。提案手法では、ネットワークカメラの映像から、人物をトラッキングし、人と人、または場所毎に、それぞれとの相対速度を考慮した局所賑わいを算出し、その和の平方根をもって、場の大域的な賑わい値を算出する。図 4.3.2.1-8 に示す例では、人と人（または場所）との相対距離のみを考慮した賑わい値と、提案手法である相対速度も考慮した場合の賑わいの値の違いを示しており、同じ密度であっても、人々の振る舞いにより、大域的な賑わい値が増減することがわかる。

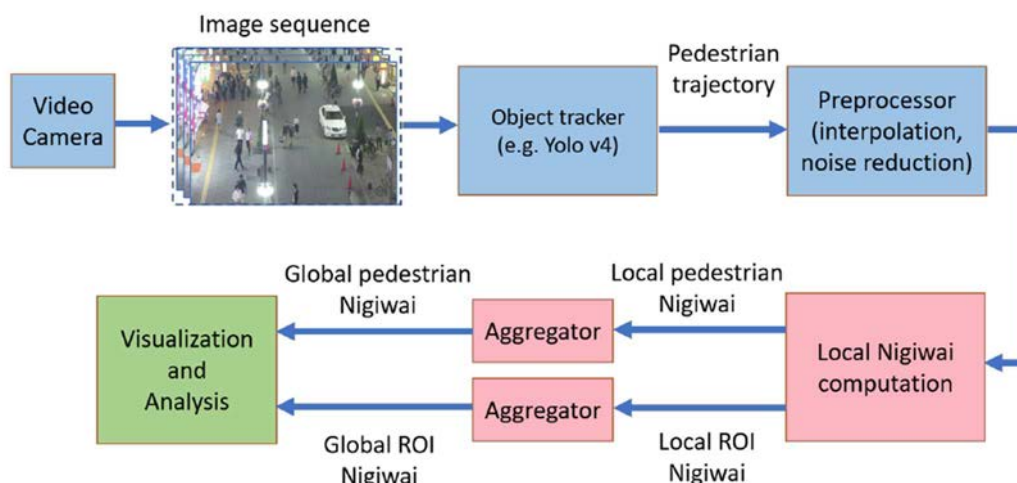


図 4.3.2.1-7 賑わい指標の算出のフローチャート



図 4.3.2.1-8 賑わいの指標の概要

④ マイナンバーカードを活用した訪問者追跡可能空間の構築

人流計測及び分析に関連して、個人の追跡やカテゴライズ等の分析をより深く高度に行うため、加速予算により、マイナンバーカード等の ID カードと顔による認証基盤とを活用した市民サービスの社会実装に向けたプラットフォームの構築を進めた。具体的には、大学の研究室にマイナンバーカード対応リーダを導入し、マイナンバーカードを活用した見守りや、賑わいの創出にかかる市民サービスのさまざまな実証を、個人情報に配慮しつつ検証できる環境を実装した。

(5) 今後の課題と対応方針

福岡の繁華街である天神・中州川端地域の明治通り及び那珂川エリアにおいて、AI カメラによる「さりげない見守り」を実装し、プライバシーを考慮した街の徹底的な見える化技術を確認する。具体的には、10 地点にエッジ型の AI カメラを設置し、街の状態を適切に把握・予測し、新たな施策を検討・実行した際の効果をフィードバックする仕組みを 2021 年度内に実装した。短期間ではあるが、天神地区は 20 代～30 代の女性が多く活動しており、平日は通勤通学や昼食時間における混雑のピークが発生し、土祝日とは異なるデータが計測されている。また、夜の街の入口とも

いえる那珂川エリアでは、40代以降の男性を中心に、休日の前日の夜の20時をピークにした大きな賑わいが発生する、など、関係者の想像できる分析結果が得られている。今後は、エリア間の連携分析を実施し、エリア内の地下鉄新駅開設に伴う人流変化および春吉橋賑わい空間の可能性や明治通りの再開発事業において乱される広場空間の活用可能性などを検証するPoCを実施する。特に、withコロナ時代における「まちづくり」に向けて、持続的に訪問したくなる施策立案に寄与する研究活動を進める。

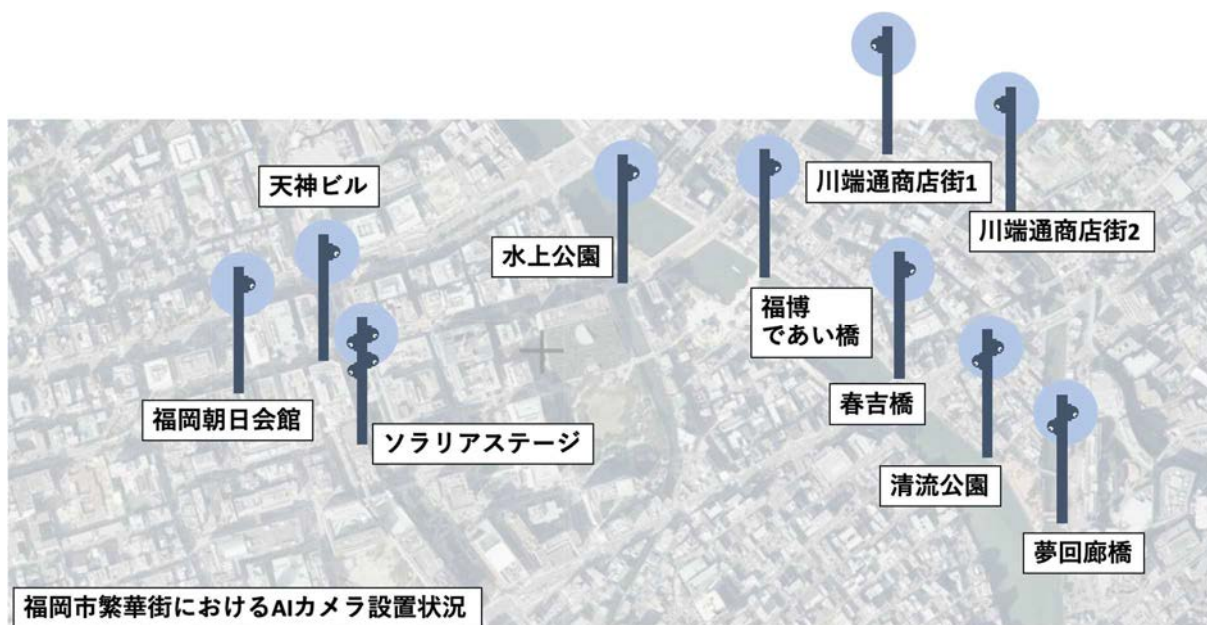


図 4.3.2.1-9 福岡市繁華街における AI カメラ設置状況

(6) その他特記事項

産業数学部会と共同で進めた賑わいの新しい指標技術は、特許出願するとともに国際論文誌に提出し、複数回の査読を経て採択された。なお、本研究課題について、川端通商店街における実証実験開始のプレスリリースを福岡市と共同で実施している。

また、マイナンバーカードを活用したトレーサブル空間の社会実装のターゲットとなる施設は、飲食店やイベント施設となる。これらは、緊急事態宣言下に関わらず、入出を制限するなどの対策が必要不可欠となっている。トレーサブル空間を活用して、サービス提供者と訪問者の信頼関係を構築することが、コロナ禍におけるまちの賑わい創出への打開策となる。

4.3.2.2 ict②-b：混雑度分散による適度な賑わいの創出支援

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

本研究開発テーマでは、拠点ビジョンである「あんしん・あんぜんで活力ある持続的地域創成」を目指すために、まちの「賑わい創出」にかかる都市サービスの社会実装を推進する。具体的には、混雑度を加味した回遊行動を誘発し、ソーシャルディスタンスを保った賑わいの創出を支援する。

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

本研究課題では、ict①-a で開発した混雑度センシングの仕組みを活用し、混雑度に応じてユーザに提示する情報を変化させ、行動変容を誘発することで、混雑を分散し、過度な密を回避した適切な賑わいを創出する手法を研究する。実証フィールドとして、ict②-aにより賑わい計測が行われている川端通商店街と2万人の学生・教職員が生活する伊都キャンパスを用いる。前者については、これまでに開発した回遊促進アプリケーション「Smart Compass」上で、混雑度を加味

した回遊ルートを示すことにより、まち全体で賑わいの平滑化を図る。後者については、ポイント事業者である NTT ドコモと連携し、混雑度に応じて、時間・場所・形態の変更に伴うポイント付与をダイナミックに変動させることで、キャンパス全体の食堂混雑度の平滑化を図る。

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

混雑度を加味し、ソーシャルディスタンスを保った賑わいを創出可能な回遊行動支援アプリを完成させ、ほかの地域への展開を図る。その際に必要となる安価な混雑度計測のシステムについても、誰もが使える形でソフトウェア公開をしたいと考えている。ダイナミックポイント付与による食事行動の行動変容誘発システムは、ポイント事業者による全国展開を目標とする。

with コロナ時代に対応するため、感染防止となる密を避ける要素を盛り込んだ回遊システム提供を目指す。川端通商店街では、賑わいと混雑度を加味した回遊ルートを示したツアーを実施し、混雑度の分散と賑わいの両立具合を検証する。具体的には、特定の有名なスポットに集中して密にならないように、その混雑情報を取得して回遊する際の選定情報の一要素として提供する仕組みを実装する（九州大学、YEAH）。また、その効果や状況を、ict②-a で開発する BI ツールで分析し、フィードバックを得ることとする。

キャンパス内では、金銭的価値を持つポイントを外発的動機付けとして、食事の時間を変える、場所を変える、形態を変える（イートインからテイクアウトへ）、という3つの行動変容を促す大規模実証実験を行う（九州大学、NTT ドコモ）。

その際に、混雑度予測アルゴリズム、および、予測した混雑度に基づいてポイントの付与率を変化させるダイナミックポイントアルゴリズムを開発する（九州大学、NTT ドコモ）。

(4) 主な成果と達成状況

① 回遊促進アプリの開発

「Smart Compass」は YEAH 社と九州大学とが共同で開発を進めており、これまで Android 版、iOS 版をリリースしている。現在、コンテンツは九州大学伊都キャンパスのツアーコンテンツを実装しており、大学の見学ツアーにおいての活用を実験的に導入している。これまで静的なツアーコンテンツのみを搭載可能であった Smart Compass に、あらたに動的なコンテンツを導入できる機構の実装を YEAH 社が進めている（図 4.3.2.2-1）。

スポットの密集度データを考慮して回遊できる個人ツアーPFの構想し、
拠点を中心に散策できるしくみを構築した。



図 4.3.2.2-1 スポットの密集度データを考慮した回遊ツアープラットフォームの構想

2020 年度以降コロナ禍の影響が大きく、屋外での回遊実証を実施することが困難であった。そこで、コロナ禍において「まちの回遊コンテンツ」を検討するために、これまでに開発した回遊促進アプリ（Smart Compass）を活用することを前提とした「With コロナ時代の賑わいコントロー

ル回遊システム」構築のための検証機構を開発した。具体的には、利用者の現在地および持ち時間等を考慮したツアーコンテンツを動的に提案する機構を開発し、複数の研究者が Web 上で検討できる仕組みを実装した。具体的には、図 4.3.2.2-2 の中心の散策開始地点（起点）において、目的地までの「所要時間」と想定する「歩行速度」を入力し、検索タイプを設定して、「検索実行」をクリックすると、目的地候補リストの検索結果が表示される。選択された目的地は地図上で確認することができる。この目的地候補リストは CSV もしくは JSON のデータとして出力することができる。今後は、本 Web サービスを活用して、混雑や賑わいを考慮したツアーコンテンツの提示する仕組みをもつ回遊アプリの実装を目指す。現在、回遊アプリの 2021 年度内のリリースに向けて参画企業の YEAAH が開発を進めている。



図 4.3.2.2-2 賑わいコントロール回遊システム構築のための検証機構

現在、本回遊アプリを元にして、参画期間の YEAAH が法人向け観光スポット案内サービス事業「YEAAH Short Trip」(<https://yeaah.jp/short-trip-for-biz/>)を展開している。



図 4.3.2.2-3 法人向け観光スポット案内サービス事業「YEAAH Short Trip」

ダイナミックポイント付与による行動変容誘発システムの開発

参画機関の NTT ドコモと共同で、買い物の際に進呈する d ポイントの進呈率を、店舗内の混雑

状況に応じて変動させ、店舗内の「密」を防ぐ共同研究を開始した。新型コロナウイルスの感染拡大により、密集や混雑を回避するなどの「新しい生活様式」の実践が求められる中、飲食・小売業では売り上げが落ち込むなど、コロナの感染拡大防止と社会経済活動の両立が課題となっている。本共同研究において、店舗の混雑回避対策と売り上げアップの両立を目指す。

本共同研究は、九州大学伊都キャンパスの学生約 1,500 人にモニターとして参加してもらい、伊都キャンパス内の飲食店や小売店店舗で実施する。店舗に来店、または来店が予測される学生モニターへ、テイクアウトや混雑時間帯を避けた来店でボーナスポイントを進呈するメッセージを送り、図 4.3.2.2-3 に示すような 3 密回避の行動を促進する。実際にテイクアウトを利用した方や、混雑時間外へ来店時間を変更した方に、d ポイントを進呈する。本共同研究では、混雑状況に応じて d ポイント進呈率を即座に変える「ダイナミックプライシング」を導入する。加えて、心理学に基づいて、情報提示メッセージを工夫し、より行動変容を誘発するような文章表現について研究を進めている。

● 3 パターンの行動変容

✓ 場所のピークシフト

- 学内生協間で移動を促す
- ローソン、モスバーガーも参加



✓ 時間のピークシフト

- 食堂に行く時間の変更を促す



✓ 形態の変更

- イートインから
テイクアウトへの変更を促す



図 4.3.2.2-4 食事行動のシフト

混雑度センサは、学内バス停および食堂に設置されている。混雑度計測は、プライバシーに配慮し、カメラを使わず、安価なハードウェアで構成されており、別の場所に設置することも容易である。NTT ドコモのモバイル空間統計を用い、地域全体というマクロな混雑度からそのエリアにおける食堂別の混雑度を予測するアルゴリズムを産業数学部会と共同で開発しており、その成果の学会での発表を検討している。

(5) 今後の課題と対応方針

2020 年度は、コロナ禍のため、賑わい創出のための直接的なイベントの実施は困難であったが、with コロナ時代のまちの賑わいについて、参画機関と共にさまざまな検討を実施した。特に、今年度より新しく参画した NTT ドコモは、来年度中の事業化を見据えて、共同研究で得られた知見の社会実装を目指していることは高く評価できる。2021 年度以降も with/after コロナの観点で、まちの賑わいを支援する取り組みを進めていく。

(6) その他特記事項

NTT ドコモとの共同研究では、九州大学の学生参加型産学連携プラットフォームである「iQ Lab」の学生が、実証実験で使用するシステムやアプリの開発・運用からモニターの募集、実験の運営やサポート業務全般を受託している。共同研究で得られた成果を踏まえて、混雑予測とダイナミックプライシングのアルゴリズムの高度化を図り、2021 年度中にドコモから商用サービスとして提供予定である。なお、店舗内の密を防ぐ共同研究開始のプレスリリースを 2020 年 11 月 19 日に

A イノベーション創出に向けた活動実績
4 研究開発テーマの成果

参画機関の NTT ドコモと共同で実施した。

4.4 産業数学部会



図 4.4.1 拠点ビジョンと研究テーマの関係（産業数学部会）

計測や通信技術の進歩によって昼夜を問わず収集される多様かつ大量のデータを高速に解析し高精度に予測を行うことは、今後、持続的で活力ある地域社会を実現するために要となる技術である。産業数学部会では、現代数学のノウハウを取り入れたデータの利活用技術を開発して、エネルギー／モビリティ／ICT 見守りの研究開発・社会実装を支えてきた。具体的には図 4.4-1 に示す地域社会づくりに向けた課題解決のため、統計理論やトポロジー解析を深化させ、それらに基づく計算技術を開発することによって、数理面から社会実装の高度化や効率化に貢献している。

スパース推定はビッグデータを扱う先進的な統計理論であるが、これを電力需要予測分野に導入した。電力需要の時系列データに適用できるオリジナルな統計モデル化手法を開発し、JEPX のスポット市場での電力調達に使えるソフトウェアとして実現した。本ソフトウェアは気象やイベント情報を取り込めるのが特徴で、汎用のソフトウェアに比べて、安価でかつ精度が高い。機械学習に頼った予測と異なり、信頼区間を導出できるのでインバランス回避にも貢献できる。また昨今の COVID19 蔓延の状況では公共の場での密の回避が求められる。電力需要量予測で開発したアルゴリズムがバスの混雑度予測に適用でき、情報科学部会が開発した itocon に組み込まれて、通勤・通学のためのバス利用者の行動変容を促している。

アンケートデータは離散的である。離散データを扱えるスパース推定に基づく因子分析法を開発し、ソフトウェアパッケージとして公開した。モビリティ部会と連携して、これを都市計画のための大規模アンケートのデータ分析に適用した。従来、担当者の主観によって行われていた暮らしやすいまちづくりのための政策立案をより客観的かつ高速に行うことを可能にする。

情報科学部会と連携して、まちの賑わい創出、更に COVID19 蔓延の状況下において、賑わい創出と両立する混雑回避に取り組んだ。商店街の賑わいは人流密度だけでは測れない。カメラによる商店街の人流の計測データから、速度ベクトル場の情報も取り込むことによって、賑わいと通過のためだけの混雑とを識別する「賑わい指標」を考案し、実際に、賑わいと混雑とを識別できることを検証した。速度場の揺らぎ、さらに、通行人の属性などのデータが利用可能になれば、高次元ベクトル場のトポロジー解析によって消費行動に関するより有用な情報が引き出せる。

4.4.1 mi① 数理解析基盤の開発

テーマリーダー（氏名、所属、役職）：	福本康秀 九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所 応用理論研究部門 教授
サブテーマリーダー（氏名、所属、役職）：	廣瀬慧 九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所 数学テクノロジー先端研究部門 准教授
研究開発実施期間：	
参画機関：	ホープ株式会社、秩父新電力株式会社

産業数学の参画が本拠点の特色の1つであり、数学と「エネルギー部会」、「モビリティ部会」、「ICT 見守り部会」との連携によって、それぞれが取り組む社会課題において、研究成果の高度化、低コスト化に貢献してきた。

数学は、他の科学分野と異なり、具体的な現象やモノを対象としない。経験に頼らず、仮説を設けず、厳密な論理を積み重ねる思考によってのみ世界を創造するのが大きな特色である。数学とは、ばらばらの知識の集まりではなく、固有の思考様式・体系である。数学は自由であり、汎用性と柔軟性に富み、諸科学の内容を記述する言語として供されてきた。数学理論は計算アルゴリズムに焼き直すことが比較的容易で、コンピュータとの親和性が高く、コンピュータの発達とともに数学の活躍の場が広がってきた。コンピュータ登場の初期は、主として、微分方程式など自然科学を記述する言語として役立っていたが、ICTの時代が訪れてからは、科学を介することなく、数学が直接課題解決につながる技術が次々に生まれている。暗号・情報セキュリティやCTスキニングなどが古くからある例であるが、機械学習・AIが主役の座を占めるDX時代においては、数学を避けてはイノベーションが望めない技術分野が飛躍的に増大している。

数学者は、産業界や社会の課題を意識することなく、好奇心に導かれながら、想像の柔らかな羽を自由にのばすことによって、壮麗で精緻な世界を築き上げてきた。美しい様式はしばしば力強い機能を併せ持つ。それゆえ、純粋数学の中にも新しい技術につながる芽が数多くあるが、何もしないと、数学の中に埋もれたままである。2つの異なる世界を見渡して、橋渡しができる才能が求められる。近未来の社会を描き、その実現に向けて産業界や社会が解決を待つ重要課題を設定し、その問題解決に活かせる数学分野を嗅ぎつけられる嗅覚を備えた人材である。数学的素養があることが前提である。本拠点では、本部の運営担当者が、安心安全で活気のある地域社会創成に向けた課題設定とその解決に応えられる数学を結びつける役割を担っている。数学は、2020年から全世界を覆うウィズコロナにも即対応できる柔軟さを有している。

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所（IMI）は、2011年、大学院数理学研究院を分割改組して設立された数学の研究所である。純粋・応用数学を流動性・汎用性をもつ形に融合再編しつつ産業界からの要請に応えようとする中で生まれる、未来技術の創出基盤となる数学の新研究領域がマス・フォア・インダストリの理念で、これに応えられる教員を応用数学のみならず、純粋数学からも集めている。数学による産学連携研究を推進すること、そして、それを担う次世代人材を育成することが大きなミッションである。理学部数学科発足以来、強力な統計学講座を途絶えることなく維持し続けている、という九州大学固有の伝統にも負う。IMI設立時より、産業界のニーズとIMI教員がもつシーズを結びつける活動を行う教員を雇用し、産学連携の促進を図ってきた。COIプログラムには、2013年開始時より参画し、産業数学によってプログラムの特色を出す学理の注入を行ってきた。後半からは、持続的共進化地域創成の描くビジョン実現のため、拠点本部からの指示や助言を得ながら、「エネルギー」、「モビリティ」、「ICT見守り」の3部会と連携して、課題解決の取り組む態勢を整えた。

具体的には、数学分野の中で、「統計学」と「トポロジー」が本拠点に貢献している。IoTが社会の隅々に行きわたると、あらゆる分野で昼夜を分かたずことなく諸データの取得が可能になり、ビッグデータが蓄積している。ビッグデータを処理して利活用するため、多くのパラメータを含むモデルを立てなければならないが、そのパラメータの最適値を決定できるのが「スパース推定」と呼ばれる統計学の先端分野である。産業数学部会では、電力需要予測に特化したスパース推定の方法を開発し、それをオリジナルなソフトウェアとして実装した。ベンチマークテストを行っ

たところ、予測精度は汎用ソフトウェアより優れ、高機能性と低コストを併せもつ。しかも、数理統計の特長として、信頼区間を提供できる。これによって、地域電力会社が強く求めるインバランス回避にも対応できる。類似のアイデアがバスの混雑時刻の予測に適用でき、2020 年秋から、itocon に備え付けられて、九州大学伊都キャンパスの通勤・通学バスの混雑回避に貢献している。

「スパース推定」と「因子分析」という統計手法はアンケートの統計処理と利活用にも役立てられる。データが離散的かつビッグである点が数学的なチャレンジである。モビリティ部会との連携によって、「まちづくり」や「交通アンケート」分析に役立つことが検証されている。

トポロジーは、連続変形で不変な空間図形の性質を追求することに端を発するが、現代では、その上に分布するベクトル場の特徴づけや高次元図形の特異点の分類など。多方向に発展している。特異点理論は、コンピュータによるデータの可視化技術を提供する。持続的共進化地域創成のビジョンにおいては、まちの活性化に貢献している。情報科学部会が福岡市の協力を得て取得した商店街の人流データから、賑わいと混雑を識別する「賑わい指標」を打ち建て、この指標によって、商店街を素通りする人達と買い物に訪れる客とを識別できることが検証できた。人の密度だけではこの識別は不可能で、人の移動速度、すなわち、ベクトル場の情報を取り込んで初めて可能になった。現時点で利用可能なデータの種類には制限が設けられているが、買い物客の属性データなどが利用できるようになると、高次元トポロジーを援用することによって、さらに詳細かつ有用な情報を引き出せる。データは必ず不可知なゆらぎを含む。ゆらぎを扱う確率論も数学の中で大きく発達した分野で、産業数学部会では、人流データの揺らぎから賑わいに関する有用な情報を引き出す数学的指標づくりを行っている。

産業数学によって特徴づけられる九州大学の数学研究ならびに教育の先進性は高く評価され、2020 年度に、IMI を中核とする文部科学省卓越大学院プログラム「マス・フォア・イノベーション」が採択され、2021 年度より始動している。九州大学のポスト COI プラットフォームにおいては、卓越大学院との連携を通じて、若手人材の育成も含めて、社会課題の解決に数学を積極的に活用していくという COI プログラムのレガシーを組み込んでいく計画を立てている。

4.4.1.1 mi①-a：電力需要及び発電量予測技術の開発

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

エネルギー部会と連携して推進するエネルギービッグデータを活用した最適な電力調達計画、高精度の電力需要予測技術の開発に関して、新たな電力需要予測のアルゴリズムを一から構築し、ソフトウェアとして実装し、信頼区間・予測区間を検証した。実際には、より短い計算時間で動かす必要があるため、回帰モデルによる定式化を行った。このように、実問題における要請を数学の問題として捉え、新たなモデリングを一から構築することは、産業数学部会なしではなし得ないことである。さらに、時系列モデリングによる定式化も行い、参画機関チーム AIBOD から提供されたデータに適用して有効性の比較検証を行った。

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

COI で提案した新たな電力需要予測モデル[1]のアルゴリズムを使った電力需要予測ソフト[2]を開発した。CSV ファイルをアップロードし、ボタンを押すだけで簡単に予測することができる。現在、多くの受給管理者は手動で予測しているが、ある程度精度よく予測できるツールがあれば、手動予測の手間を省くことができ、人件費削減にもつながる。現段階では学術目的なら誰でも無料で使えるサービスとなっており、まずは不特定多数の受給管理者に使っていただいてフィードバックを得る段階であるが、将来的には受給管理ソフトと統合した新たなサービスへとつなげたい。

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

株式会社 AIBOD に、COI で提案した統計手法に基づく予測を実装していただき、予測精度等の有効性を検証したところ、AIBOD の開発した機械学習の手法と比べても、比較的高精度に予測できることを確認した。しかしながら、現段階ではメモリを 50GB ほど使う必要があることが判明し、

実務で使うのは難しいとのコメントを頂いた。そこで、メモリを削減するプログラムを作成し、AIBOD と連携してソフトウェア開発を目指す。

(4) 主な成果と達成状況

- [1] Hirose, K. Event Effects Estimation on Electricity Load Forecasting. ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR OPERATION AND MANAGEMENT OF ENERGY SYSTEMS. I² CNER & IMI INTERNATIONAL WORKSHOP. Zoom Meeting, 25 January 2021.

基底展開法に基づく電力需要予測モデルで、基底展開法に基づいており、基底が与えられれば容易に予測できる。さらに、パラメータ非負制約を導入することにより、気象の影響の解釈しやすくすることができる。いま、 y を電力需要、 X を過去の需要から気温の影響を取り除いたもの、 γ をパラメータと置くと、提案したモデルにおけるパラメータ推定法は以下ようになる。この手法では、パラメータ γ にリッジ正則化に加え、パラメータが 0 以上という制約を加えた

$$\min_{\gamma} \|y - X\gamma\|_2^2 + \lambda \|\gamma\|_2^2 \quad \text{subject to } \gamma \geq 0$$

以下の最適化問題に対応する。この問題は、最小二乗法に制約を加えた NNLS（非負最小二乗）と呼ばれる問題に帰着されるため、NNLS の標準的なアルゴリズムを用いてパラメータを計算できる。この最適化問題を解くことにより、パラメータの推定値を求め、予測値を計算することができる。

- [2] 電力需要予測ソフト

<https://platform.coi.kyushu-u.ac.jp/elcf/>

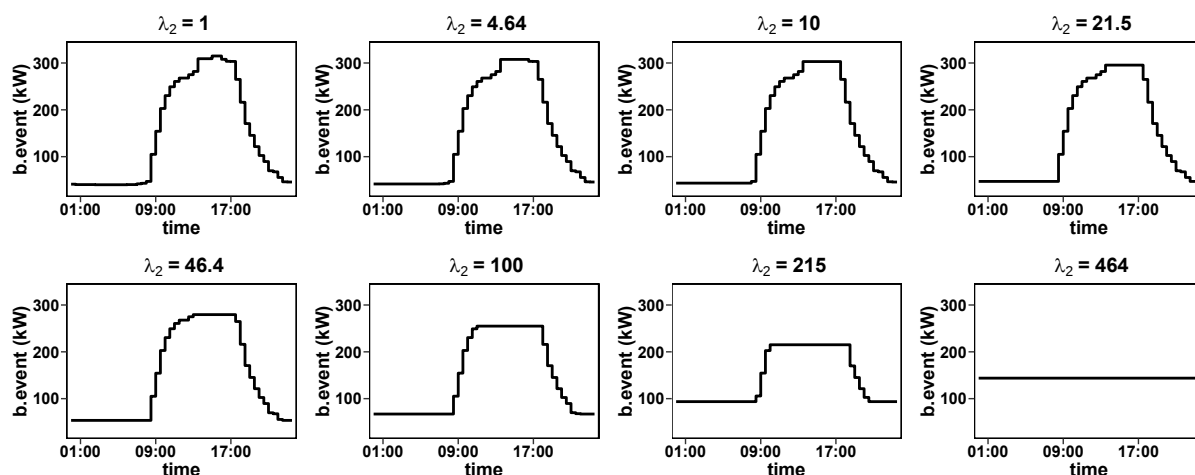
JEPX のスポット市場での電力調達に使える需要予測ソフトで、過去の 30 分ごとの電力需要と日時の気象データ（最高気温など）、曜日情報やイベント情報などを記載した CSV ファイルをアップロードし、実行ボタンを押すことで計算が完了する。実行時間は 2~3 秒であり、比較的高速である。

- [3] Hirose, K., Wada, K., Hori, M., & Taniguchi, R. I. (2020). Event Effects Estimation on Electricity Demand Forecasting. *Energies*, 13(21), 5839.

電力需要予測は基底関数を用いてモデリングすることが多く、一般に、基底は既知の関数であることが多い。しかしながら、イベント等不規則な情報を既知の基底関数で表現することは難しく、基底をデータから推定する必要がある。そこで、基底を自動で推定するために Fused lasso を用いる手法を考案した [2、3]。具体的には、先程のモデルパラメータ γ を、気温とイベントのパラメータとして区別しておく。つまり、 $\gamma = ((\gamma^w)^T, (\gamma^e)^T)^T$ とおく。そして、以下の最適化問題を解く。

$$\min_{\gamma} \|y - X\gamma\|_2^2 + \sqrt{n}\lambda_1 \|\gamma^w\|_2^2 + \sqrt{n}\lambda_2 \left(\sum_{j=2}^J |\gamma_j^e - \gamma_{j-1}^e| + |\gamma_1^e - \gamma_J^e| \right) \quad \text{subject to } \gamma^w \geq 0,$$

この式の第 3 項目が Fused lasso の項であり、この項を設けることでパラメータを同じ値として推定することがあり、なめらかな曲線を描くことができる。正則化パラメータ λ_2 を変化させたときのイベントの影響は下図に示すようになり、提案法がイベントの影響をうまく捉えることができることがわかる。



この手法を九州大学の筑紫キャンパスのデータに適用した。筑紫キャンパスでは、QUEST と呼ばれる大型施設があり、不定期に電力を大量に消費する。イベントを考慮した場合としない場合とで予測手法を比較した結果、予測精度が 8.9% から 7.7% に向上した。また、この場合においても、既存の機械学習の手法よりも提案法のほうが 2~4% 予測精度が高かった。

- [4] 廣瀬 慧 電力需要予測のための統計モデルとソフトウェア。

2020 年度 統計関連学会連合大会。

オンライン開催。2020 年 9 月 10 日。

- [5] 廣瀬 慧, 増田弘毅 回帰モデルの合計値予測とクラスタリング。

2021 年度 統計関連学会連合大会。

オンライン開催。2021 年 9 月 7 日。

(5) 今後の課題と対応方針

これまで、単一の時系列データから将来の電力需要を予測するモデルを考えた。しかしながら、実際は、たとえば各世帯の電力需要のように、複数の時系列データを同時に推定する方法が望まれる。1 件 1 件の電力使用パターンはかなり不安定であるが、それらを集めると安定する傾向にある。ためしに、合計値をそのまま予測した場合と、1 件 1 件情報をうまく用いて予測して合計した場合と比較したところ、個別に予測して合計したほうが、予測精度が高くなることがわかった [5]。そこで、予測精度を向上させるためにクラスタリングを行うことも検討した。ためしに単純な回帰分析モデルでクラスタリングを行ったところ、うまくクラスター数を選ぶことによって予測精度が大幅に向上することが確認された。さらに、新たな Bias-variance tradeoff の理論を発見し、学術的にも興味深い結果を得ることもできた [5]。今後はこのモデルをさらに発展させ、高次元の時系列モデリングをクラスタリングする動的因子分析モデルに拡張したいと考えている。

(6) その他特記事項

電力需要予測モデルを拡張させることにより、バスの混雑度を予測する itocon に数学チームの作ったアルゴリズムが実装された。

<https://coi.kyushu-u.ac.jp/topics/view/304>

4.4.1.2 mi①-b : 賑わい創出における数理モデルの開発

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

属性付き人流データ（歩行者通行量＋属性＋人の動き）から、場の「賑わい」を定量化し、特に単なる混雑と賑わいを弁別可能な指標を構成することを目的とする。特別な機器無しに市販品のカメラと PC のみで構成されるシステムにより、人の動きの検知から人流の解析までを可能とし、更に消費やイベント・天気などの情報との相関を検知する高次元人流データ解析プラットフォームを開発する。ウィズ/アフターコロナの社会において、密を避けつつ、コロナ禍で失われた街の賑

わいを取り戻すことに貢献する。

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

商店街やショッピングモール、ブースが並ぶイベント会場などに安価に導入できる人流観測装置と、観測結果と外部情報を組み合わせて解析を行うことができるシステムを、既存のビジネスインテリジェンスソフトウェア（BI ツール）のプラグインとして提供する。金銭的にも精神的にも低い導入コストで、特に古くからの商店街の活性化に役立ててもらうことを想定している。

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

カメラ画像に基づき、リアルタイムに人流の計測、可視化、定量指標の計算を行うソフトウェアを完成させる。ユーザーインターフェースについては、BI ツール側に任せるため開発対象には含めない。また、川端商店街における実証実験で得られた人流データの利用法として、福岡県のコロナ新規感染者数の推移との関連を明らかにする。

(4) 主な成果と達成状況

情報科学部会と共同で、人流から賑わいを定量化する指標を定義し、その結果を論文発表[1]した。また、NEC（日本電気株）の BI ツール（FieldAnalyst）などとの連携を念頭に、ソフトウェア開発と特許出願[2]を行った。さらに、シミュレーションとベンチマークデータを用いてその指標の評価を行い、通行のための混雑と、賑わいの状態を識別できることを示した。この指標を用いて、福岡市内の商店街の活性化を図るため、商店街にカメラとサーバーを設置し、深層学習を用いた物体検出と追跡技術を用いて、カメラ映像から人の流れを抽出するシステムが安定的に作動している。このシステムにより、10 分ごとの人の流れのデータが蓄積できている。このデータをもとに、午前 7 時から 9 時の人流をもとにその日の賑わいを予測したり、曜日などから予測される値から大きく外れる日の検出を可能とした。

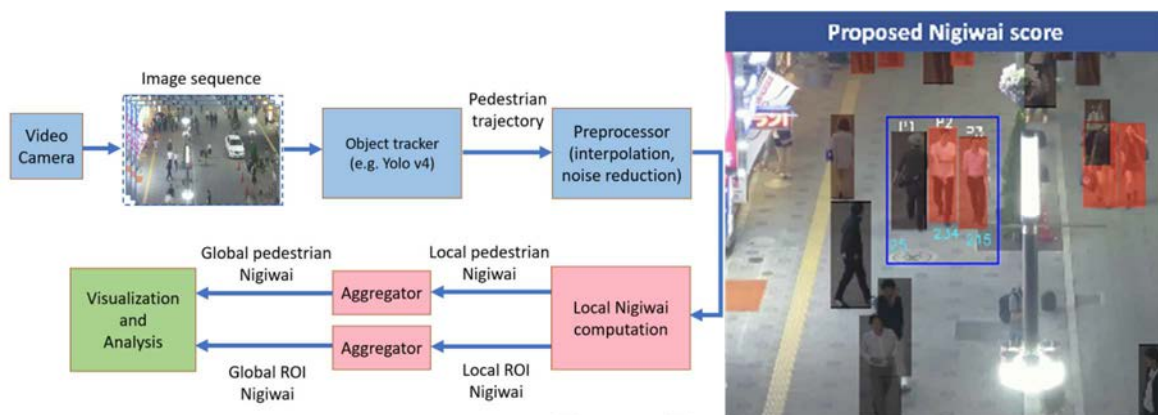


図 4.4.1.2.1(左) 賑わい定量・解析システムのシェーマ (右) 場全体の指標だけでなく、店や歩行者に局所化した値が得られ、細やかな解析を可能としている。

[1] Mohamed A. Abdelwahab, Shizuo Kaji(corresponding), Maiya Hori, Shigeru Takano, Yutaka Arakawa, and Rin-ichiro Taniguchi, Measuring “Nigiwai” from Pedestrian Movement, IEEE Access, vol 9 (2021), 24859—24871

[2]（特許出願） 特願 2020-204436「人流評価装置、人流評価方法、及び人流評価プログラム」、発明者：鍛冶静雄，モハメド・アハメド・アブデルワハブ・モハメド，堀磨伊也(5%)，高野茂，荒川豊，出願人：国立大学法人九州大学，出願日：2020 年 12 月 9 日

(5) 今後の課題と対応方針

賑わいの定量指標を含む人流解析においては、商店街側としては消費行動、訪問客側としてはイ

ライラ/満足度などと繋がると有用性が増すが、これらのデータは取得が困難であり、コロナ禍も災いして現段階では検証結果が得られていない。この点の検証は今後の課題である。

また、学術的な発展として、人流のランダム性から賑わいを考察するという新しい軸の定量化を策定中である。ベクトル場の分布に対する統計を対象にし、理論上も新しい知見が得られることを期待している。

(6) その他特記事項

物体追跡に深層学習を用いつつ、それ以外では数学的な手法を用いることで計算量を低減し、消費電力やハードウェアの必要性能を抑えつつもリアルタイムに人流を解析できるシステムを構築した。深層学習と数学をうまく組み合わせ併用し、商店街などターゲットユーザーに必要な機能を低コストで提供する点は産業数学が活かされた成果と言える。

4.4.1.3 mi①-c: 大規模アンケートに対するデータ解析手法の開発

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

モビリティ部会と連携し、都市計画に使われるアンケートデータの解析アルゴリズムを提案する。具体的には、都市計画で使われるアンケートデータは、連続変量と2値変量が入り混ざっており、そのままでは解析しづらい。さらに、変数の数が大きいため、スパースな推定法が必須となる。そこで、連続変量と2値変量に適用でき、更にスパースに推定を行うことができるスパース推定法を提案する。スパース推定法は、深い数学の知識が必要な手法であり、アルゴリズムや理論的性質といったことを一から考えることは、産業数学部会にしか達成できないことである。

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

新たなスパースモデリングに基づく因子分析モデルを提案した。具体的には、パラメータの積に基づくスパース正則化である Prenet 正則化を考案した。さらに、Prenet と Varimax を一般化した、全く新しい正則化項を導入した。また、解析アルゴリズムをソフトウェアパッケージ fanc として Web 上に公開した。モビリティ部会と連携して、提案手法を、ある地域の交通のアンケートデータに適用し、都市計画やそのための政策立案に活かせるデータ解析結果を提供する。さらに、検定機能 (Post Selective Inference) を追加して、ソフトウェアの信頼性の向上をはかる。

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

モビリティ部会を通じて取得したデータは、連続変量だけでなく、2値変量のデータであった。そこで、2値変数にも適用できる新たなスパース推定法を提案する。これを実現するためには、まずは主成分分析における2値のスパース推定法を提案し、さらに、そのモデルを因子分析に拡張させ、計算アルゴリズムを構築する必要がある。さらに、提案手法を交通アンケートデータに適用し、提案手法の有効性を検証する。

(4) 主な成果と達成状況

[1] 廣瀬 慧. 正則化因子分析とその応用. RIMS-IMI 合同談話会. オンライン開催. 2021 年 3 月 12 日.

産業数学部会では、これまで正則化因子分析と呼ばれる方法を行ってきた。これが提案された当時は単に探索的因子分析の一般化をただけであったが、COI での研究を通じて、実際に様々な正則化項に基づく正則化法を提案した。具体的には、Lasso を一般化した MC ペナルティ、さらに Quartimin 回転を一般化した Prenet (Product-based elastic net) 正則化という手法を提案した。この手法は、数学的には k-means の一般化など、興味深い性質を有するが、実用面でも様々な場面で有効であることが数値シミュレーションにより実証されている。

[2] 沖永 悠一, 廣瀬 慧.

バリマックスの一般化による因子分析のスパース推定とその信頼区間

第 25 回 情報・統計科学シンポジウム

オンライン開催. 2020 年 12 月 4 日.

Prenet 正則化法は因子負荷行列の行ベクトルのみに着目しており、列ベクトルに関しては考慮していない。そのため、列に関する分散の大きさがアンバランスな因子負荷行列が推定されることがある。そこで、バリマックス (Varimax) 回転の一般化を行うことによって、列に関しても考慮した正則化項を考案した。バリマックスは因子回転で最もよく用いられる回転手法であるため、この手法の拡張ということだけでもこの正則化項の価値が高いと考えられる。

さらに、推定値の信頼区間を求める方法を検討した。一般に、SCAD などの非凸のペナルティに基づく正則化因子分析では、適切な正則条件のもとでモデル選択の一致性とパラメータの漸近正規性が成り立つ。そのため、その性質を使ってパラメータの信頼区間を構築することができる。一方で、バリマックスの一般化による正則化法ではそのような性質を持たず、信頼区間を構築することが難しい。そこで、推定を行って、選択されたモデルに対して検証的因子分析を行うことで、モデルに含まれる因子負荷量の信頼区間を導出する事を考えた。このように、モデル選択の後に行なう統計的推論は、モデル選択を行ったという条件付きで行う必要があることが指摘されており、Post-selection inference とよばれる。Post-selection inference の有無と信頼区間の間にどのような関係があるのかを数値的に検証した結果、真のパラメータが 0 のとき、そのパラメータを非ゼロとした推定した場合、従来の検定では、バイアスが出て、95%信頼区間が真の値を含む確率が 50~60%とかなり過小評価するのに対し、Post-selection inference を用いることで 95%にかなり近い確率で真の値を含むことがわかった。調べたところ、実証では Post-selection inference をやっている研究はいくつかあったが、信頼区間を数値的に評価している論文は見つからなかった。そのため、本研究は、Post-selection inference の重要性を数値的に示した初めての結果であるといえる。

(5) 今後の課題と対応方針

これまで、MC ペナルティ、Prenet ペナルティ、Varimax の一般化など、様々な正則化法を提案してきた。これらは、データの特性に合わせて作られた手法であり、パラメータをチューニングすることによって良い結果を得ることができる。一方で、様々な手法があった場合、一般のユーザーはどの手法を使えばよいかわからないことが多い。そこで、様々な手法を比較し、どのようなデータセットに対してどの手法を適用するとよいのか、自動で最適手法を選択できるアルゴリズムを考案することが重要であると考えられる。そのためには、自動で選択するための指標を新たに作る必要があると考えている。

4.5 情報デバイス（平成 30 年度でテーマ終了）

テーマリーダー（氏名、所属、役職）：	安達 千波矢 九州大学工学研究院応用化学部門・主幹教授／最先端有機光エレクトロニクス研究センター長
サブテーマリーダー（氏名、所属、役職）：	①中野谷 一 九州大学工学研究院応用化学部門・准教授／最先端有機光エレクトロニクス研究センター ②服部 励治 九州大学グローバルイノベーションセンター 教授
研究開発実施期間：	平成 25 年～平成 30 年
参画機関：	学校法人早稲田大学、株式会社ジャパンディスプレイ等 16 機関

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

フェーズ 1 においては、拠点ビジョン「都市 OS による持続可能な社会の構築」に基づき、「全ての人がいつでも、どこでも必要な情報を、個人のニーズに対応し入手・発信できる社会」を実現するため、都市 OS のユーザ I / F 機能を具現化する「フレキシブル有機 EL などの研究開発と新規アプリケーション開発」、「有機デバイスを用いた新しい価値の創造（脈波センサ等の開発）」及び「都市 OS と連動するアプリケーション開発」に取り組んだ。

フェーズ 2 においては、変更後の拠点ビジョン「真のエネルギー地産地消に基づく地域活性化」のもと、「あんしん・あんぜんで活力ある持続的地域創成」の一環として、有機エレクトロニクスを活用した「有機デバイスの応用（脈波センサ、情報提示技術（透明有機 EL ディスプレイ）」に取り組んだ。

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

フェーズ 1 においては、プロジェクトの最終的なアウトプットとして、「都市 OS と人との懸け橋」となる革新的な表示デバイスの創出を想定した。様々な情報表示ディスプレイの中において、有機 EL は「超薄型・超軽量・低消費電力」、「高い視野性」、「フレキシブル性（空間の有効利用）」、「広い動作温度範囲」等の優れた特性を有し、更に表示形態、ユーザビリティ、屋内外での利用シーン、コンテンツの多様性にも十分な性能を発揮できる。しかしながら、一般に有機 EL を始めとする有機デバイスは製造工程において厳密な真空成膜が必須であるためにコスト高の課題があり、幅広い表示分野への普及が困難な状況にある。そこで、有機デバイスの本質的な課題を解決し、都市 OS における屋外サイネージ等への応用も視野に入れるため、本質的に耐酸素／水分性を有する画期的な材料の開発に取り組むこととした。

有機 EL（OLED）は電気を光に変換するデバイスであるが、更にその逆機能である光-電気変換デバイスの構築（フォトセンサ）も可能であり、OLED とはマッチングの取れたデバイスである。そこで、OLED とフォトセンサの複合デバイスを構築することで、都市 OS からの情報提供（アウトプット）に加え、インプット機能としての役割も担うデバイスを開発することとした。

また、都市 OS と有機デバイスが連動する将来のアプリケーションとして、自動運転バス等での利用を想定した車載 OLED や光 ID 通信による公共交通機関向け情報ポータルデバイスを想定した。曲面型 OLED の採用でバスの狭い空間を有効利用する。あらゆる場所に Invisible デバイスを埋め込むことによって、人と都市 OS との融合を図る。より人に密着した「乗り換え案内」や「最寄り情報」等の従来の情報提示に加え、将来的には、Wearable デバイスから人間の意思等も含む生体情報を読み取ることで、情報の双方向コミュニケーションを実現することが可能となる。

フェーズ 2 においては、フレキシブル脈波センサ開発に関して、想定する製品・サービスを高齢者の健康を常時検知するデバイスと位置付け、高齢者の見守りサービスを構築することとした。その担い手は将来共同研究を行う医療機器メーカー、または、このために立ち上げる新会社

を想定した。社会的インパクトとしては、現在多くのこの種のデバイスが開発されているが、常時脈波を測定できるデバイスは存在しておらず、このデバイスは画期的なものとなる。デバイス販売の経済的インパクトは一つのベンチャー企業を設立できる程度に大きい、それ以上にサービスビジネスによる経済的インパクトは大きいと考えられる。

一方、透明ディスプレイは今後さまざまなシチュエーションに用いられる製品であり、近未来的な情報提供デバイスとなりうる。サービスについては車両内外の情報サービス、商店街のショーウィンドウでの情報サービスなどが考えられる。社会的インパクトとしては今までにない情報表示デバイスであり、その影響力は計り知れない。特筆すべき点は非表示時においてこのディスプレイは透明であり、その存在が見えないことである。必要のない時には完全にその存在が邪魔にならないという今までにないディスプレイは、情報表示方法を大きく変え、社会をスマートに近未来的なものに変えていくキーデバイスとなる。

(3) 研究開発期間終了時の達成目標、主な成果と達成状況、今後の課題と対応方針

(i) 塗布型プロセス対応の TADF 材料・デバイス開発 (C-1-①)

〈達成目標〉

塗布型プロセス対応の TADF（熱活性型遅延蛍光）を基とした本質的に耐酸素・耐水分性を備えた材料・デバイスを実現する。

〈成果と達成状況〉

新規 TADF 発光材料については、ライトブルーで高効率発光する新規 TADF 材料を 4 種類開発した。本材料群を利用した OLED は 14%~19%という高い最大外部量子効率を示した。従来型の蛍光材料を利用した場合の最大外部量子効率は 5%が限界であり、本 TADF 材料群の優位性は明らかである。また、このうち 1 種類については OLED 用発光材料としては実用的なレベルまで溶解性を向上させることに成功した。

〈課題と対応〉

発光効率の面においては基本性能の高い発光材料を開発することに成功したものの、発光色はライトブルーの色域であり、実用的にはさらに短波長な青色（ディープブルー）に改良する必要がある。

(ii) 有機 EL デバイスの新規アプリケーションの開発 (C-1-②)

〈達成目標〉

OLED や有機薄膜太陽電池 (OPV) 等で知られる有機エレクトロニクス技術を活用し、身体への負担が軽く、柔軟性に富み、装着感を感じさせない生体センシングデバイスを実現する。

〈成果と達成状況〉

OLED 光源と OPV 受光素子の複合デバイス開発の開発に必要な試作プロセスを構築し、生体計測実験に利用可能なデバイスの試作に成功した。さらに試作デバイスを用いた生体計測実験を実施し、脈拍・呼吸・動脈血酸素飽和濃度に関する生体情報を得ることに成功した。

〈課題と対応〉

これまでのガラス基材ベースのデバイスに加えて、有機の特徴を活かしたフレキシブル化への展開を進める。

(iii) 大面積・高精細フレキシブル有機 EL デバイスのプロセス開発 (C-1-③)

〈達成目標〉

印刷プロセスによって大画面・高精細フレキシブル有機 EL デバイスを安価に提供することで、都市 OS と人とを繋ぐマンマシンインターフェースの創成を実現する。

〈成果と達成状況〉

正孔注入層 (HIL) と発光層 (EML) をフレキソ印刷で成膜した OLED において最大外部量子効率 12%以上、輝度半減期 150 時間以上を達成した。また 100mm 角のフレキシブル基板上にフレキソ印刷で正孔注入層 (HIL)、発光層 (EML) を成膜した OLED の試作に成功した。これにより大面積化へ

の可能性を示すことができた。更に、長寿命化を目的とした正孔輸送層（HTL）を導入した塗布型 OLED について、HTL の分子配向および最表面状態が特性低下の要因であることを解明した。

〈課題と対応〉

OLED 素子の性能向上については、HTL の塗布時の特性低下を改善した上で、フレキシ印刷による成膜および積層プロセス開発を行う必要がある。また大面積 OLED については、基板の反りや発光ムラを低減するための作製プロセスの低温化、補助電極の導入等が必要である。

(iv) 酸化物 TFT 試作ラインの導入とプロセス技術の確立 (C-1-④)

〈達成目標〉

フレキシブル AMOLED パネル技術を用いた多様な形態のディスプレイを開発する。

〈成果と達成状況〉

InGaZnO 系の酸化物薄膜トランジスタ (Thin Film Transistor: TFT) 装置を立上げ、11 プロセスにおよぶ成膜、フォトリソ、エッチングなどの条件を最適化した。

〈課題と対応〉

今回の試作においては、TFT の電界移動度が $1\sim 2\text{cm}^2/\text{Vs}$ 、電流オンオフ比 (Ion/off) が 104、SS 値 (Subthreshold Swing Slope) が $1.5\sim 2\text{V}/\text{decade}$ 、有機 EL パネルは外部量子効率 (EQE) が 6% であり、目標値の電界移動度 $5\text{cm}^2/\text{Vs}$ 、Ion/off が 106、SS 値 (Subthreshold Swing Slope) が $0.5\text{V}/\text{decade}$ 、有機 EL パネルの EQE 15% を満たしてない。今後、IGZO 膜の成膜条件、ゲート絶縁膜、保護膜、ITO の成膜条件などプロセスの微調整と改善が必要である。

(v) 都市 OS と連動する具体的アプリケーションの構想検討及びプロトタイピング (C-1-⑤)

〈達成目標〉

都市 OS との連動を前提としたうえで、OLED デバイスを小画面用途から大画面用途へと順次展開し、更にフレキシブル性に着目したアプリケーションを開発し、車載用途や交通標識、街中サイネージ等への応用を図る。

〈成果と達成状況〉

都市空間における都市 OS のマンマシンインターフェースを具現化するアプリケーションを検討した。その結果、以下 3 つの有望なアプリケーションを抽出した。

① バス停への応用 [薄型、曲面、軽量、大画面、低消費電力、低コスト]

OLED を活用してバス停を「バスを待つところ」から「都市におけるハブ空間」に進化させる。更に平常時は大型サイネージ・防犯拠点、災害時は防災拠点として活用する。

② 交通機関 (ex. ベロタクシー) への応用 [薄型、曲面、軽量、低消費電力、低コスト]

ベロタクシーが都市 OS と連動することで、ベロタクシーの利用者およびドライバの利便性を向上させるとともに、ベロタクシー運営会社の経営をより安定化する。

③ 止まれの標識への応用 [薄型、軽量、低消費電力、低コスト]

前方に交差道路があることを意味する「止まれの標識」は、ドライバのみならず歩行者にとって重要。夜間、歩行者に視認できない問題を解消し、更に非常時は情報発信基地として活用する。

④ 都市 OS への入力デバイス (人流計測機能) としても機能する、2 インチサイズの OLED パネルを搭載したカード型端末 (OLEL カード) のプロトタイプを作製した。

⑤ 車両側面に貼付可能な 4 桁 7 セグメントの有機 EL デバイス (車載 OLED) を開発し、TMS サテライトとともにカーシェアの車両に実装した。

〈課題と対応〉

都市 OS と連動した具体的なアプリケーションの構想検討とプロトタイプ開発において、EL カードは最初の試みであり、今後もカラーアプリの創出を継続して行う必要がある。

(vi) 有機デバイスの応用 (ict④)

〈達成目標〉

フレキシブル基板上に有機 EL 素子と有機太陽電池素子を作製するプロセスを開発するとともに、最新の小型/低消費電力 IoT チップ及びアクティブマトリックス駆動有機 EL 透明ディスプレ

イを用いた、高い透過率を有する透明有機 EL 素子を開発する。仕様としては、緑色発光、発光輝度 1000cd/m²、透過率 70%以上を達成する。

〈成果と達成状況〉

薄型ペーパーバッテリー(1.7 mAh)を用い、Bluetooth Low Energy (BLE)を用いて低消費電力でデータ転送を行う厚さ 2mm 以下の有機 EL 素子を開発した。

〈課題と対応〉

それぞれのデバイスのパフォーマンスを上げていくことにある。同時に社会実装において問題点の抽出を正確に行い、その問題点について検討し、対応する必要がある。

(6) その他特記事項

情報提示技術及び双方向ユーザ I/Fとしての有機 EL デバイスの開発については、ビジョナリーチーム、JST とも協議し平成 30 年度で終了することとした。

4.6 科学技術イノベーション政策（平成 29 年度でテーマ終了）

テーマリーダー（氏名、所属、役職）：	永田 晃也 九州大学科学技術イノベーション政策教育研究センター長 教授
サブテーマリーダー（氏名、所属、役職）：	
研究開発実施期間：	2013 年 11 月～2018 年 3 月
参画機関：	

(1) テーマの概要と目指すべき将来の姿（拠点ビジョン）との関係

本研究開発課題（科学技術イノベーション政策研究）の役割は拠点内で研究開発を進める技術・システムの社会実装を社会科学的観点から支援することにある。この役割を遂行するために、開発された技術システムをめぐる多様なステークホルダーとのコミュニケーションを促進することにより、社会実装に伴う問題を予測し、それを新たな開発課題にフィードバックさせること、すなわち、将来的視点に立った技術課題のバックキャスティングを行うことにある。

(2) 想定する製品・サービスについて（担い手、社会的インパクト・経済的インパクト）

本研究開発課題は、文部科学省科学技術・学術政策研究所が実施している「技術予測調査」の結果から、本 COI 拠点に関連する技術課題を抽出し、その実現予測時期等のデータに基づいて「共進化社会システム」の将来像を具体化することを目的としている。

さらに、社会実装イメージを具体化するため、アプリケーションに関するアイデアないしビジネスモデルの創出を目的としたワークショップを、他ユニットの要請に応じて継続的に実施する。

上記の役割を遂行するために、九州大学 CSTIPS（科学技術イノベーション政策教育研究センター）を中心として、社会実装イメージの具体化、サイエンス・コミュニケーションの実践、ディマンドサイドからみた技術課題を把握するための質問票調査の実施、社会実装による長期的なインパクトの評価、政策課題の分析などの一連のプロセスを確立する。これにより新しい社会システムがスムーズに社会に受け入れられる素地を作ることが可能になる。

(3) 研究開発期間終了時の達成目標

本 COI 拠点が目標とする「共進化社会システム」のビジョンを具体化するため、社会実装に伴う課題を検討する。検討に当たっては、必要に応じて、当該技術課題を開発テーマとしている他ユニット担当者の協力を得て進める。

本 COI 拠点が目的とする新しい社会システムの開発・社会実装においては、都市生活を営む市民の多様なニーズを予め把握し、そのニーズを充足できる次世代都市の市民サービスにかかる機能的なスペックを明確にしておくことが重要な課題となる。この市民ニーズ及び対応する都市機能のアーティキュレーション（明確化）が、将来の視点に立ったバックキャスティングを可能にする前提的な取組となる。フェーズ 2 においては、「次世代都市構想に向けた市民ワークショップの開催」、「次世代の都市機能に関する質問票調査」及びこれらの結果を踏まえた「次世代の都市機能に対する市民ニーズのアーティキュレーション」を実施する。これらは、本 COI 拠点が構想する新しい社会システムについて、その受容性を予め捕捉し、技術開発のプロセスにフィードバックするための活動であり、その意味で本 COI 拠点のマーケティング活動を構成する取組に他ならない。

(4) 主な成果と達成状況

まず、第9回「技術予測調査」で取り上げられた832件の技術課題の中から、本COI拠点の技術課題と関連の深い80課題程度を抽出し、それら技術課題における「技術的実現予測時期」（世界のどこかで課題内容が技術的に可能になる時期）と、「社会的実現予測時期」（日本において課題内容が社会に適用される／普及する時期）との乖離（これを社会実装ラグと呼ぶ）を分析した。その結果、社会実装ラグの大きい技術課題には、「燃料電池自動車への水素供給インフラネットワーク（水素ステーション：5000箇所）」（ラグ10年）や、「希少金属を用いない自動車用の高効率燃料電池」（ラグ10年）など、エネルギーモビリティ関連技術が相対的に多く含まれていることが明らかになった。この結果を受けて、当年度に実施する社会実装支援の対象モデルケースは、水素エネルギー技術に設定した。

以後、水素エネルギーの実用化技術である燃料電池車とエネファームを中心に関連文献をレビューし、それら技術の普及がもたらす社会システムのイメージを具体化した。

さらに平成27年度は、情報デバイスユニットの開発する有機ELに関する社会実装イメージを検討した結果、具体的な用途開発を課題としているため、将来像を描く上では、まず用途のイメージを具体化する必要があることが明らかになった。このため、本年度は予定外の取り組みとして有機ELの用途に係るアイデア創出をテーマとするデザインシンキング・ワークショップを実施した。ワークショップでは、大学内外から21名の参加を得た。

当日は、安達千波矢教授より有機EL技術に関するレクチャーを頂いた後、永田ユニットリーダーが全体のファシリテーターを務めた。



図 4.6.1 有機EL 技術に関するレクチャー



図 4.6.2 ワークショップ風景

本ワークショップの参加者は、エレベーター・ピッチでのアイデアのプレゼン、ワールドカフェ方式によるアイデアの共有などの経験を通して、用途のイメージを具体化するための技法を習得した。即ち、社会実装イメージの具体化に資する学習効果が本取組みの成果である。

また、プラットフォームの技術を対象として、センサーボックスの設置等に係る規制情報の収集を開始した。

(a) 次世代都市機能に関する調査および市民ワークショップ

本研究開発課題は、第1フェーズで実践してきたサイエンス・コミュニケーションの形態を活かして次世代都市構想に向けた市民ワークショップを福岡市内にて開催し、開発課題である技術・システムに対する理解増進を図るとともに、本COI拠点が開発する新技術の社会実装に伴う課題を明らかにし、開発課題にフィードバックすることを目標に設定している。具体的には以下の成果が得られている。

(a-1) 有機 EL デバイスを対象としたデザインシンキング・ワークショップ

情報デバイスユニットの開発する有機 EL に関する社会実装イメージを検討した結果、具体的な用途開発を課題としているため、将来像を描く上では、まず用途のイメージを具体化する必要があることが明らかになった。このため、有機 EL の用途に係るアイデア創出をテーマとするデザインシンキング・ワークショップを実施した(図 4.6.1)。ワークショップでは、大学内外から 21 名の参加を得た。当日は、安達千波矢教授より有機 EL 技術に関するレクチャーを頂いた後、永田ユニットリーダーが全体のファシリテーターを務めた。本ワークショップの参加者は、エレベーター・ピッチでのアイデアのプレゼン、ワールドカフェ方式によるアイデアの共有などの経験を通して、用途のイメージを具体化するための技法を習得した。即ち、社会実装イメージの具体化に資する学習効果が本取組みの成果である。

(a-2) サイエンスカフェ「水素エネルギー社会と福岡の未来」

エネルギー部会と連携し、「水素エネルギー社会と福岡の未来」と題してサイエンスカフェを開催した(図 4.13.2)。2 件の話題提供と参加者とのディスカッションから構成され、県内外より 34 名の参加を得た。大学が進める研究に関する話題提供を九州大学の立川雄也助教が担当し、産業界が進める研究に関する話題提供を東京ガス株式会社の松崎良雄主席研究員が担当した。

話題提供の後、6~7 人で A から E まで 5 つのグループを作り、ディスカッションを行った。各グループには、ファシリテーター 1 名を配置し、議論を促した。水素エネルギー社会と共進化社会システム創成拠点が実現を目指すビジョンに対して、市民としての率直な感想、意見、期待、不安感などを表明してもらい、ディスカッションを行った。さらに、参加者が感じた疑問には、松崎主席研究員と立川助教が可能な限り直接回答していった。また、サイエンスカフェの実施後には、参加者にアンケートに協力してもらい、水素エネルギーに対する参加者の基本認識を把握できるようにした。

概して水素エネルギーに対する関心の高い市民が参加したことを反映して、エネルギー部会が地球規模の課題に立ち向かうために掲げる「持続可能な脱炭素社会の実現」というビジョンや産学官と地域が一体になって推進するエネルギー研究に対する期待感が示された一方で、水素エネルギーの安全性や経済性に対する不安感が示された。



図 4.6.3 水素エネルギー社会と福岡の未来

(a-3) サイエンス・ポッドキャストの実施

拠点の取り組みを市民に広く理解してもらうため、サイエンス・ポッドキャストというサイエンス・コミュニケーションの手法を選択した。媒体は、FM 福岡「BBIQ モーニング・ビジネススクール」という九州大学ビジネス・スクールの教員をゲストに、政治・経済・世界情勢から経営まで幅広く話題を提供するラジオ番組である。九州大学のイノベーションに関する取り組みとして、共進化という概念や当拠点の位置づけ等の「共進化社会システム創成拠点」に係る内容を市民向けに解説した。

(b) 次世代都市機能に対する市民ニーズのアーティキュレーション

既往研究のレビュー、大規模質問調査、実施したワークショップにより得られた知見に基づいて、次世代の都市機能に対する市民ニーズを分析した。具体的な成果は以下の通りである。

(b-1) 次世代のまちづくりに向けた市民意識調査

ダイヤモンドサイドからみた技術課題を包括的に把握するため、大規模質問票調査を実施し、調査結果に基づいて技術課題を構造的に整理することを目標とし、データの収集を実施した。

まちづくり推進の取り組みにおいては、利便性の追求など機能的側面を重視した考え方に偏りがちになる虞がある。そのような偏りのあるシーズプッシュの志向による研究開発により生み出された技術・システムを市民が受け入れることはありえない。新技術を心理的にも市民が受容し、都市生活に根付くということが重要である。

そこで、我々が生活する社会で懸念されている希薄な人間関係という負の側面に対し、新技術が効果を発揮するための手掛かりを得ることは、まちづくりの取り組みを推進するにあたり重要であると考え、ソーシャル・キャピタル (Social Capital) および市民生活支援サービスに関する意識調査を行うこととした。

アンケート調査は、「次世代のまちづくりに向けた市民意識調査」と題して、次世代のまちづくりに役立つ新エネルギーや情報通信技術などの新技術を利用する可能性のある地域の生活者の意見を把握することを目的に、2017年3月、ウェブ調査法により実施した。

対象母集団は、神奈川県横浜市、兵庫県神戸市、福岡県福岡市、宮城県仙台市、福岡県北九州市、石川県金沢市、富山県富山市、愛知県豊田市、千葉県柏市、岩手県盛岡市、新潟県長岡市、佐賀県唐津市、福島県会津若松市の13自治体に居住する20歳以上人口とし、調査客体を居住地人口規模及び年齢階級に応じて比例抽出した4,329名である。調査回答者に対し、現在の暮らし、居住地域について感じていること、自治体が進めるまちづくりの取り組みに関する考えなどを調査した。

(b-2) 市民意識調査に基づく市民ニーズのアーティキュレーション

新しい社会システムの実装という本拠点全体の課題に鑑み、新たな都市計画のもとで提供される市民サービスの社会受容性を、当該地域の市民の視点に立って検討することを目標として、前述の調査結果に基づいて次世代の都市機能に関する市民ニーズに対応するための技術課題を抽出した。

本調査では、信頼、規範、ネットワークといったソーシャル・キャピタルに関する変数を、世界銀行などの調査により標準化された質問項目を用いて取得している。分析結果から、様々な地域団体活動や交流活動に参加することを通じて市民がソーシャル・キャピタルを蓄積する過程は、当該地域の都市計画に対する関心が喚起される契機となっていることが検証された。また、都市計画に反対であるとした市民に、その理由を尋ねた結果は、行政等が十分な説明責任を果たすとともに、都市計画の策定過程で市民の意向を反映させる取組みが、そのコミットメントを引き出す上で重要であることを示唆するものであった。

(b-3) エネルギー領域に対し社会実装に伴う科学技術イノベーション政策の課題を分析

2015年3月に実施した大規模質問票調査に基づく分析結果を踏まえ、燃料電池応用製品の普及に伴う課題に言及した。

まず、燃料電池応用製品では、現状と消費者の要求水準との間に大きな乖離が存在しており、このような状況下で「水素社会」に対する過剰な期待を持たせる宣伝がなされると、反動として極端な幻滅を招来し、社会的受容プロセスに歪みを生じさせるというハイプ（誇張宣伝等による過度の興奮）に起因する「ハイプ・サイクル」に陥る可能性を増幅させてしまう虞があることを指摘した（図4.6.4）。ハイプ・サイクルを回避するためには、その効果が現在に得られるのではなく、将来において得られるものであることに対する理解の増進を図る取り組みが政策的イニシアティブとして重要であるということを提言としてまとめた。

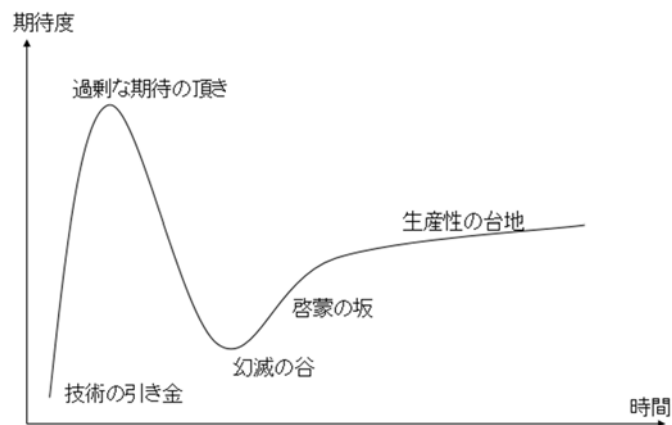


図 4.6.4 ハイプ・サイクル (Fenn and Raskino (2011)に基づいて作成)

(5) 今後の課題と対応方針

社会実装イメージを具体化するため、アプリケーションに関するアイデアないしビジネスモデルの創出を目的としたワークショップは、他ユニットの要請に応じてフェーズ 2 でも継続的に実施する。

本課題については、これまでの質問票調査、サイエンスカフェの実施等を通して、市民とのコミュニケーションの仕組みを構築する手法をおおよそ確立したと判断し、研究自体は平成 29 年度をもって終了とした。ただし、市民とのコミュニケーションについては、本 COI 拠点の「持続的共進化地域創成」の実現に向けて、参画企業等の連携を通して、引き続き進めていくこととした。

(6) その他特記事項

プロジェクト開始の H25 (2013) 年度からフェーズの H30 (2018) 年度までは「1. 目指すべき将来の姿の設定」において述べたように「共進化社会システム創成拠点として」バックキャストに基づき、都市 OS (オペレーティングシステム) の開発を目指すこととした。

しかし、フェーズ 2 中間時点においても目標達成の見通しが立たなかったため、拠点内での議論やビジョナリーチームとの議論を重ね、H30 (2018) 年度に下記の「真のエネルギー地産地消とあんしん・あんぜんで活力ある持続的地域創成」を行うよう、再度バックキャストを行うことにより研究課題を見直した。

またほぼ同時期に担当する研究者が他大学へ異動することとなり、後任の研究者をアサインすることが困難であった。

このため、ビジョナリーチーム、JST とも協議し、本課題は H29 (2017) 年度をもって終了することとした。

4.7 研究開発全体の成果について（科学技術・学術上の新たな体系的知見等）

4.7.1 エネルギー部会

エネルギー部会・課題 en①の電気代そのまま払いとインバランス補償技術については、以下のような学術上の新しい知見がある。

本課題は、エネルギーシステムの抜本的な脱炭素化を図るため、再生可能エネルギーと省エネルギーの高度普及を進めるファイナンスの仕組みを提示し、その分析および社会実装を進めると共に、再生可能電源大量導入による電力システムの安定性を維持するためのインバランス補償システムを確立し、実証実験と社会実装を進めるものである。

ノーベル経済学賞リチャードセイラーの限定合理性に基づく省エネ推進のため、本課題で提唱した「電気代そのまま払い」が Google で 3750 万件ヒットとなり、静岡、北海道、熊本、福岡の 4 か所で、PV（太陽光発電）、HP 給湯器等を対象に社会実装し、イノベーションの端緒とした。また本課題で PV に伴う電力システムのインバランスを HP 給湯器の遠隔制御により補償する研究を行い、社会実証を進めた。本成果はエネルギー事業者の新聞に掲載、その後、大手事業者 7 社と意見交換を行い、本研究への高い関心を裏付けた。以上の点から、電気代そのまま払いとインバランス補償技術の実証並びに実装は科学技術の点からも新たな体系的知見として位置付けられると考えられる。

また、水素燃料電池関連の課題 en②～④の取り組みにおいては、多様な電気化学デバイスに用いられる革新材料や各種プロトタイプセルの創製ができた。不可能を可能にする技術の開発によって、電気化学デバイスの新たな可能性を拓く基礎基盤成果を生み出すことができ、電気化学や水素工学の新たな学術創成にも貢献できた。特に、エネルギーシステムの寿命を左右する耐久性までも考慮した材料・デバイス設計を行うことで、将来の社会実装に向けて欠かせない学術的な知見や基礎基盤を体系的に構築することができた。

4.7.2 モビリティ部会

交通計画や都市計画の基礎となる交通需要推計の理論的枠組みにおいて、利用交通手段の推定は最も重要な問題の一つである。これまでの交通手段選択モデルにおいては、出発地から目的地への経路上の高低差が人々の交通手段の選択に及ぼす影響については明示的に取り扱われてこなかった。本 COI では、とみおか一との研究開発と実証実験を通じて収集した、起伏に富んだ実験対象エリアの居住者行動調査データを用いて、徒歩による鉛直方向の移動負荷を説明変数に組み込んだ鉄道駅端末トリップの交通手段選択モデルを構築し、交通手段選択における地形条件の影響を明らかにした。その研究成果は、交通分野の代表的アカデミー組織である Transportation Research Board 等において発表した（Gen Hayauchi, Fumihiko Nakamura, Ryo Ariyoshi, Shinji Tanaka, Shino Miura: Topographical factors in travel mode choice: evidence from Yokohama, Japan Transportation Research Board, 2020）。

4.7.3 情報科学部会

人流データからの賑わいの計測技術について

市民や来訪者が集まり交流する街並みを形成することを目的として、賑わいを創出する事業が盛んに行われるようになってきている。特に混雑・密を避けながら街のアクティビティや活気を取り戻すことは、ウィズ・アフターコロナの社会において重要な課題である。本研究では、「混雑と賑わいの違いとは何か、客観的に弁別・評価することは可能か」という問いに取り組んでいる。混雑と賑わいは、通行者の感じ方をアンケートにより調査したり、その地域でどれくらい消費が行われたかを売り上げのデータなどから確かめることにより区別できるであろう。しかし、これらのデータは入手が非常に困難である。本研究では、市販のカメラのみを用いて測定できるデータか

ら、通行しているだけの歩行者と、買い物やグループ行動などの活動を伴う歩行者との区別が可能な、細やかな賑わいの指標を提案した。深層学習を利用することで人の手や特殊センサーを用いることなく、設置した定点カメラのみから商店街における歩行者の経路を追跡し、歩行者間および歩行者と店などの地点との相対的な運動に着眼した数理モデルを用いて指標を構成することで、「問い」にひとつの解答を与えた。歩行者数のカウント情報などに基づく従来の粗い解析と比較して、場全体だけでなく歩行者や地点(店)ごとの定量評価を与えることと、賑わいと混雑を弁別することを可能とした。例えば、集団で同じ方向に歩いている歩行者の一団は指標に大きく反映される一方、すれ違ったり異なる速度で歩いている歩行者はたとえ数が多く密集していても指標の増加に貢献しない。提案指標の妥当性はシミュレーションにより検証された。実装はオープンソースソフトウェアとして公開しており、企業と共同でビジネスインテリジェンスソフトへの組み込みも進行中であり、今後も社会実装が期待される技術である。

4.7.4 産業数学部会

電力需要予測の研究では、各時間帯で個別のモデルを構築し、そのあとに時間帯の関係性を考慮したモデルを提案したが、このモデルは、より一般の需要予測や混雑度予測などに用いることができる。また、汎用性も高く、たとえばイレギュラーなイベントを抽出するために Fused lasso を使って基底を推定することができる。また、予測精度も高く、例えば ARIMA, Lasso, XGBoost など 13 もの従来手法と比較したところ、提案法が最も予測精度が高いことが確認できた。

賑わいの研究では、カメラから得られる人の動きから補間により平面領域上のベクトル場を構成し、位相流体解析の手法を用いて特徴量を抽出したうえで、特徴量からなる時系列をクラスタリングするといった、総合的な枠組みを開発した。人流の実データにはまだ適用できていないが、疎な観測から流体の時系列解析を行う一般的な手法として、乱流や生物データの解析への適用を始めている。さらに、これまでの人流研究では着目されてこなかった新しい視点として、人の動きのランダム性を定量化する方法を導入した。特に、それを用いて賑わいの状態を特徴づける方法を考案した。人=‘意思をもつ粒子’の動きのランダムネスという新しい統計が対象になり、古典力学と統計力学の間に位置するメゾスケールのパラダイムとして、人流以外にも展開が期待される。

大規模アンケートに対するデータ解析手法の研究では、因子分析における正則化法が約70年間使われてきた因子回転の一般化であるという数理的裏付けを初めて行った。さらに、因子回転の Quartimin 回転をもとに新たな正則化項を提案した。この正則化項は、正則化パラメータが十分に大きいときに変数クラスタリングと対応し、さらにその変数クラスタリングが k-means の一般化であるという、興味深い理論的性質が示された。それゆえ、因子分析をクラスタリングの手法として使うことができるようになり、従来から社会科学で多用される因子分析を、脳科学等の全く別の分野に応用することができるようになった。

電力需要予測と大規模アンケート解析の研究を通じて、ビッグデータの解析を行うスパースモデリングを起点に統計学の学理を広げることができた。基底展開によってイベント情報を取り込むことができるが、基底関数は滑らかではない。情報が一部欠落している場合でも、激しく変動する基底関数を自動的に生成する方法を編み出した。また、因子回転の一般化によって、因子分析におけるスパースモデリングの新たな可能性を拓いた。

5 社会実装に向けた必要な対応

5.1 知的財産マネジメントの状況

5.1.1 知的財産保護の方針

5.1.1.1 特許発明の出願・維持・管理ルールの方針

九州大学知的財産取扱規則に基づき、九大 COI 拠点の発足当初から知財マネージャを置いて、知財特区として認定を受けた。この認定により、COI 拠点は出願／中間処理／権利維持等に関して裁量権を得ることとなった。

また、図 5.1.1.1-1 に示す特許出願フローを策定し、各部会（当時はユニット）に周知を図るとともに、参画機関にも当該フローを通知し、拠点全体としての運用ルールを明確化した。なお意匠については、特許出願フローを援用する取扱いとした。

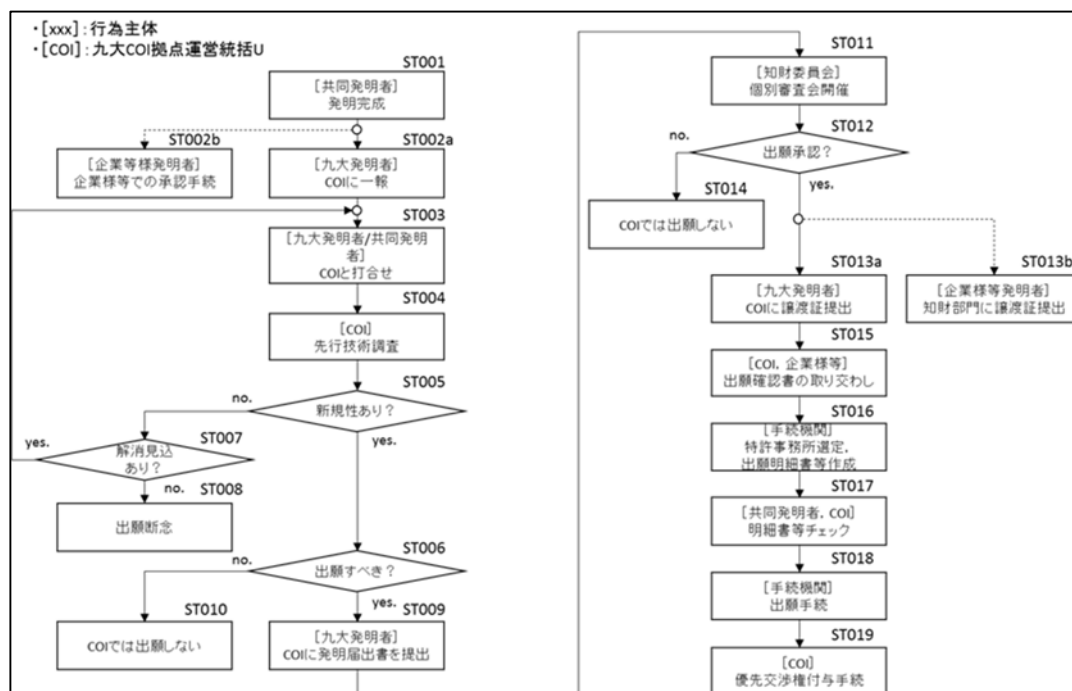
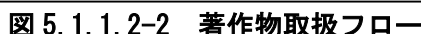


図 5.1.1.1-1 特許出願フロー

5.1.1.2 著作物の保護・管理ルールの方針

研究成果にプログラムやデータベース等の著作物が含まれることが想定されたことから、図 5.1.1.2-1 に示すように著作物の利用について著作物取扱フローを策定した。

5 社会実装に向けた必要な対応



論文投稿等を含む対外発表に先立ち、届出と資料の提出を各部会及び参画機関に義務付けた。拠点運営部門において資料を精査し、必要に応じて拠点判断で特許出願を進めるようにした(図 5.1.1.3-1)。これにより客観的に重要な知的財産権を発掘できる仕組みを構築した。



5.1.1.4 知財戦略の策定

5.1.1.4.1 「攻め」の戦略

COI プログラムの成果を参画機関が安心して社会実装できるよう、研究の過程で創出された発明を適切に保護し、将来的に群として権利を確保し、有効活用する戦略が必要であり、以下を策定した。

- ・ 出願件数の重視：群として権利を確保するには物量が不可欠
- ・ 基礎研究成果の重視：大学の基礎研究が参画機関によって実用化されることを期待
- ・ 多産多死の容認：新しい技術の芽を適切に保護

また後述の検索システムを用いて出願・出願審査請求の際に先行技術調査を行い、拒絶理由（特に、新規性・進歩性否定）を持つと予見される事案については、部会へのフィードバックを行って適切な権利化を図ることとした。

5.1.1.4.2 「守り」の戦略

社会実装の際に他者の権利を侵害しないよう予防を図る必要がある。通常、侵害予防の取り組みは企業の研究開発では日常的に行われるが、大学は特許発明等を実施する機関ではないことから、いわゆるクリアランス調査は、これまで積極的に取り組まれていない。しかしながら、COI プログラムでは「社会実装」が目標となることから、COI 拠点でもクリアランス調査を実施するとともに、出願時等に先行技術を調査する目的で、プロフェッショナル仕様の特許検索システムを導入すべきである。そこで、拠点運営部門に Panasonic が外販する特許検索システム「PatentSQUARE」を導入した。なお大規模な調査については、調査会社の活用も図ることとした。

5.1.1.4.3 権利化推進の具体方針

(1) エネルギー部会

研究開発課題に材料・デバイス開発を含んでおり、このようなタイプの研究開発では単発で特許権を取得しても技術的・社会的インパクトが小さいことから、いわゆる「特許群」を構成する方針で権利化を推進した。なお、「特許群」を構成すると思われる事案は、出願人に参画機関を含めない取扱い（即ち、九大単独出願）とし、将来的な権利活用を支障のないよう手当した。他方、燃料電池を核とする発電システムについては参画機関との共願を進め、参画機関が中心となって活用いただけるよう措置した。

(2) モビリティ部会

研究開発課題は主に社会システムの構築であるところ、ソフト面を主とするアプローチは侵害立証が困難で、特許権確保の必然性に乏しいため、論文等により優先権を確保することとした。

(3) 情報科学部会

特に ICT 関連技術のごとき技術進化が速い分野の出願に対して、国内優先権主張出願を行って実際の実施態様との整合を図るとともに権利範囲の拡大を図ったうえで、早期審査を行って権利化を推進した。

(4) 産業数学部会

産業数学部会の役割は、当拠点の研究開発課題におけるコア技術の提供にあるが、他方、研究者のベースは「数学」であり、権利化になじみにくい性質を持つことから、特に他部会連携テーマに関して、拠点運営サイドが主導して知財発掘を行って権利化を図ることとした。

(5) (旧) 情報デバイスユニット

研究開発課題に材料・デバイス開発を含んでおり、かつ出願内容としては新規 TADF 材料が見込まれた。通常、秀でた特性を備える有機材料は大量の実験等を通じて見いだされることが多いため、「多産多死」を容認して出願を推進することとした。なお、(旧) 情報デバイスユニットの出願は参画機関との共願を推し進め、「多産多死」による出願等予算が膨大とならないよう手当した。また、有機 EL デバイス開発が中断となった平成 30 年以降、COI で出願した事案は、(旧) 情報デバイスユニットの母体である九州大学最先端有機光エレクトロニクス研究センター (OPERA) に移管し、COI 拠点の管理から切り離すこととした。

5.1.2 知財成果

5.1.2.1 クリアランス調査

九大拠点で出願する事案については、事前に先行技術調査を行っている。他方、重要な研究開発課題については、第三者に委託してクリアランス調査を行った。

5.1.2.1.1 都市 OS 等の重要なコンセプト・技術に関する調査(平成 27 年)

(1) 調査対象

①都市 OS の構成

現実世界で得られた大量のデータをサイバー空間で解析し、その結果を現実世界にフィードバックする情報システム（都市 OS）の基本構成。

②誘導システム（ヒトモノ系）

- ・人や車の流れを、直接的なセンシング、または、Wi-Fi スポットへのアクセスやカープローブ等を利用した間接的な情報から計測するシステム

- ・上記計測結果を利用して、渋滞回避または短時間で目的地に到達するように、人や車を誘導する情報システム

- ・上記計測結果を利用して、個人の状態（例えば、身障者や高齢者）に合わせて、安全性等を確保しつつ移動できるように、人や車を誘導する情報システム

- ・蓄積された過去のデータに基づき、人や車の流れの予測を行う情報システム

③誘導システム（エネルギー系）

クラスター内の消費電力を計測し、計測結果が所定値を上回った場合（あるいは上回ることが予測された場合）に、電力使用を低減する行為を促すようクラスター内の住人（個人／企業）を誘導する情報システム。

④電力融通システム

複数のクラスター間において、需要が逼迫するクラスターの要請があった場合に、電力供給に余裕のあるクラスターが電力を融通する電力融通システム

⑤デマンドレスポンスシステム

クラスター内の消費電力を計測し、計測結果が所定値を上回った場合（あるいは上回ることが予測された場合）に、予め蓄積しておいたエネルギー源（発電のための水素など）を用いて発電してクラスター内に電力を供給するシステム

(2) 調査結果

重要度の観点において、抽出した特許の大部分は本調査内容の②誘導システム（ヒトモノ系）に関する特許であり、③誘導システム（エネルギー系）や⑤デマンドレスポンスシステムに関する特許は一部散見されたものの、①都市 OS の構成自体や④電力融通システムに関する特許は殆ど見当たらなかった。

社会実装において注意すべき事案（COI で特許出願を行った際に、新規性・進歩性の観点で引例となり得る事案を含む）として以下の 4 件を抽出した。

- ・特許第 3276945 号「データ処理装置およびデータ処理プログラムを記録した記録媒体」（地域未来研究所）

- ・特許第 3399421 号「交通信号制御装置」（住友電気工業）

- ・特許第 5018599 号「交通信号制御装置及び方法、到着プロファイルの推定装置、並びに、コンピュータプログラム」（住友電気工業）

- ・特開 2013-161145「歩行者誘導装置」（三菱自動車工業）

また、調査当時、既に出願から 20 年を経過し調査対象から除外されたものの、都市 OS との関連性が認められる事案として以下を抽出した。

- ・特開平 6-251030「都市ライフライン運用管理システム」（日立製作所）

以上から、都市のデータと機能を一元管理するシステム、即ち都市 OS の機能そのものが権利化された事案（都市 OS 特許）は存在しないと判断した。

5.1.2.1.2 電力需要量予測(平成 30 年)

産業数学部会が推進している電力需要量予測については、大企業のみならず多くのベンチャー企業が取り組んでおり、研究成果における差別化はもちろんのこと、第三者の権利との関係は十分に把握しておく必要がある。このため、電力需要量予測の技術テーマについて、クリアランス調査を実施した。

(1) 調査対象

「電力需要量を気象条件やイベント等を踏まえて予測する方法、アルゴリズム等に関する発明」であり、登録特許 1555 件を抽出しランク判定を行った。その結果、関連が高い事案として、118 件を抽出した。

(2) 調査結果

関連度の高い抽出特許の出願人は、電力関連の事業分野を持つ A 社、B 社、C 社、及び電力会社の D 電力であった。特に D 電力は、この調査対象分野以外にも多くの出願をしており特許への関心度が非常に高いと思われる。その他の電力会社の出願も散見されたが D 電力のように知財への関心度は高くない。ベンチマークとしては、この 4 社は要チェックと思われる。

118 件を精査したところ、産業数学部会で推進する電力需要量予測手法と近似する(あるいはその上位概念の)特許は発見されず、当該発明を参画機関等に利用いただいても問題ないと判断した。

なお、本調査を通じて、以下の分野の出願が多いことが分かった。

- ・電力デマンドの調整や制御
- ・電力デマンドの管理・監視システム
- ・エネマネ (HEMS、BEMS、FEMS)
- ・電力小売、売買、取引等
- ・コージェネレーション
- ・消費電力の算出、電力負荷予測
- ・ガス、給湯、空調等
- ・車両、自動車 (蓄電池)
- ・燃料電池
- ・家電品、電気機器の使用電力予測

5.1.2.2 出願、権利化、ライセンス等実績

5.1.2.2.1 出願、権利化実績と成果

表 5.1.2.2.1-1 に出願及び権利化実績を示す。

表 5.1.2.2.1-1 出願及び権利化実績

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	年度合計	権利化	備考
エネルギー部会	2	11	3	7	6	6	3	4	1	43	20	
情報科学部会	0	0	4	2	1	0	0	0	0	7	4	
産業数学部会	0	0	0	0	1	2	0	4	0	7	1	
旧情報デバイス	0	3	4	8	18	0	0	0	0	33	-	2018年にOPERA移管
全体	2	14	11	17	26	8	3	8	1	90	25	

以下、成果を示す。

(1) エネルギー部会

43 件中 30 件が PEFC に関する九大独自構成(炭素担体上に、触媒粒子を担持した金属酸化物粒子を担持する)の関連出願である。同構成を水電解技術にも展開し、強力な特許群を構築した。

(2) 情報科学部会

「見守り(異常検出)」で権利化した技術を「混雑度予測」に展開し「特異な混雑パターン」の

抽出に応用した。

(3) 産業数学部会

「電力需要量予測」や「混雑度指標」といった他部会で使用するコア技術を出願した。「電力需要量予測」技術について権利化し、株式会社チーム AIBOD にて技術導入を推進中。

5.1.2.2.2 ライセンス及び移転

旧情報デバイスユニットで出願した以下事案については、参画機関に有償譲渡を行い、収益化を図った。(注：QP1xAxxx は九大の整理番号)

QP14A008-CN, EP, JP, KR, US：株式会社 Kyulux(参画機関)に譲渡

QP14A015-EP, JP, US：株式会社 Kyulux に譲渡

QP15A014：東洋紡株式会社(もと参画機関)(共願)に譲渡

QP16A003-CN, JP, KR, TW：東洋紡株式会社(共願)に譲渡

QP16A005：株式会社 Kyulux に譲渡

QP16A011-CN, EP, JP, KR, TW, US：東洋紡株式会社(共願)へ譲渡

QP17A002-PC (JP のみ移行)：コニカミノルタ株式会社(もと参画機関)(共願)へ譲渡

5.1.2.3 著作物

図 5.1.1.2-2 著作物取扱フローに従って、以下の著作物について九大規則に基づき、適切に管理した。

(1) Circle Core

都市 OS におけるデータ連携基盤を構成するプログラムとして開発された Circle Core(センサデータを収集・蓄積・同報転送するソフトウェア)を職務著作と認定したうえでソフトウェア開発プラットフォーム「GitHub」に MIT ライセンスを適用したオープンソースとして公開した。

(2) 電力需要量予測プログラム

産業数学部会が開発した電力需要量予測プログラムを、九大サーバ上で公開した。

<https://platform.coi.kyushu-u.ac.jp/elcf/>

5.2 社会実装に向けた課題（規格標準化、規制対応、社会規範・倫理等）の抽出と対応

5.2.1 エネルギー部会

エネルギー部会の課題 en①「エネルギーシステムの脱炭素化施策の設計と実装およびコストエンジニアリング」における課題 en①-c の電力小売り事業と水素関連技術を統合した電気・水素コプロダクションについては、COI 終了時点までに社会実証を実施した。社会実装に向けては以下のような課題と対応策が考えられる。

- (1) 電気・水素コプロダクション事業の経済性は、発電インバランスのペナルティコストの大小に影響を受ける。ところが、このペナルティコストは規制官庁によって決定され、また、しばしば変更されるため、事業を社会実装するにあたってはリスク要因となっている。ただし、電力システムにおける調整力を市場から調達するための需給調整市場が本年から開設されており、上記の発電インバランスと同じ時間区分（30 分単位）での調整力の取引が既に始まり、価格も公表されている。長期的には、この需給調整市場における当該調整力の価格と発電インバランスのペナルティコストは整合性が取れるはずである。したがって、ペナルティコストの予測性が高まり、電気・水素コプロダクション事業を社会実装するにあたってのリスクは低下すると期待される。
- (2) 電気・水素コプロダクション事業については、プラントの概念設計も行い、研究論文としても公表してきたところである。しかし、本事業を実証するにあたり、地域の自治体、事業者、補助金を支給する行政の意思が複雑に影響しあうことになる。その結果として、社会実装とイノベーション活性化を目的とし、事業性を最優先して設計したプラントの概念が、変質することがしばしば起こる。これについては、行政、自治体、事業者との意見交換を密に行い、イノベーションを活性化して、社会の為になるには、どういう設計でなければならないかについて、ステークホルダー全体の意識が一致するように努めなければならない。

エネルギー部会の課題 en②水素インフラの en②-b 水電解システムでは、再エネ水電解-水素貯蔵システムに向け、低圧で非危険物に相当する MH タンクの住宅地領域へ普及には、導入例が今後増加することが必要不可欠である。エネルギー部会の林教授が中心となって、「グリーンアジア国際戦略総合特区」において、本課題に関する例示基準が新たに示されたことから、導入が加速すると期待される。

エネルギー部会の課題 en③と課題 en④においては、開発したプロトタイプを、デバイスの集合体であるスタック、さらに実際のエネルギーシステムとして実用化する必要がある。そのためにも、多様な作動条件での性能と実用レベルの耐久性の達成が求められる。例えば、定置用の燃料電池などのエネルギーシステムの場合、5 年間のシステム耐久性を担保するためには、4 万時間でシステム性能の低下が 1 割程度に収まることが目安となる。さらに、一般商用化には、10 年寿命に相当する 9 万時間の耐久性が求められる。移動体の場合は、乗用車の場合は、15 年間 20 万 km の走行での耐久性が求められるが、正味の運転時間は 5000 時間程度と比較的短い。ただ、6 万回程度の起動停止電位サイクル耐久性とともに、40 万回程度の負荷変動電位サイクル耐久性が必要になってくる。ただ、用途拡大に向けて商用車も視野に入れる場合、数倍の耐久性が必要になってくる。本 COI で開発できた多様な革新的なプロトタイプセルに対して、これらの評価を繰り返して、課題を順次解決していくことで、社会実装が見えてくる。

5.2.2 モビリティ部会

社会実装に向けて必要な対応を下表に示す。

研究課題	これまでの対応	今後の課題	C0I 終了後の展開
M①：協働共有型モビリティシステム	●有償運行の供給コストと需要量を把握：運賃収支比率 < 1.0	●地域内活動機会の創出、外出の動機付け ●多様な居住者層の関与強化（子育て世代、中高生等）多様な受益者による共同経営モデル確立	・まちづくり政策、福祉政策との一体的推進 ・とみおかーとが地域にもたらし価値の多角的評価手法の開発 ・地域公共交通の経営手法革新（運賃収支×独立採算からの脱却）
研究課題	これまでの対応	今後の課題	C0I 終了後の展開
M②：MaaS対応型マルチモーダル情報提供	●利用者向けサービス 航空券予約者用サービスとして社会実装へ（ANA「空港アクセスナビ」） ●事業者向けサービス 鉄道旅客介助高度化システムの実地検証最終段階（京急電鉄）	●利用者向けサービス ・既存の交通情報検索サービスとの連携 ・サービス運営原資の持続的な確保 ●事業者向けサービス 同業他社や異なる交通手段とのデータ連携	●国交省のユニバーサルデザイン政策との一体的推進 ●観光、医療福祉、防災など、他分野の政策との連携強化 ●都市 OS 等のデータ連携基盤との接続
研究課題	これまでの対応	今後の課題	C0I 終了後の展開
M③：道路維持管理支援システム	●横浜市 保土ヶ谷区土木事務所で試用継続中 ●市民参加型バリアフリー調査に応用 → 緑区、港北区に展開へ ●藤沢市：道路維持課で使用継続中 ●横須賀市：「みちまちセンシング」としてシステムを発展させ、実証開始	●自治体による予算措置とシステムの本格導入 ●LINE 等による市民通報型アプリとのシステム連携 ●自治体以外の受益者によるシステム運用コスト負担	●C0I 発ベンチャー「LocaliST 株式会社」の事業として他地域移転 ●総合商社や大手運送事業者との連携によるデータ収集と販路の拡大 ●収集データの多角的活用（感染症対策、エリアマネジメントなど）

5.2.3 情報科学部会

公共空間における AI カメラの設置について

国内では、公共空間にカメラを設置すること自体がタブー視されており、屋外の実公共空間に 16 台ものカメラを設置した事例は全国的にも珍しく、一般的に個人情報やプライバシーの問題で実施が難しいケースが多い。九州大学 COI では、2018 年より、参画機関である昭和自動車の協力を得て準公共空間へのカメラ設置を実現してきた。2019 年以降、情報科学部会、参画機関及び福岡市が協働して計画の詳細について関係各所（JR、警察、自治協議会等）に丁寧な説明を実施し、およそ 2 年を経て公共空間でのカメラを活用した見守りサービスに関する関係各所及び近隣住人の合意形成に成功した。

更に COI でこうした地道な取組が福岡市に評価され、2020 年に福岡市の実証実験フルサポート事業として採択された。そして、公共空間でカメラを活用した見守りに関する実証実験を実施することができた。福岡市は、本研究課題を屋外カメラ利活用の好例と位置づけ、今後のカメラ画像利活用について様々な社会課題解決や市民の利便性向上に資する技術として社会実装に向けた支援を表明しており、今後、九大学研都市駅前での実証成果をもとに、さまざまな公共空間におけるカメラ設置に対する受容性を高めるきっかけにしたいと考えている。実際、ict①および ict②における公共空間での AI カメラの取り組みから、福岡市が自治体として AI 防犯カメラを事業化する取り組みが加速された。2021 年度後半に、福岡市の繁華街における悪質な客引きを低減させることを目的に実証実験が進んでおり、参画機関の NEC と共同で天神地区における AI 防犯カメラ実証実験を実施し、川端通商店街における賑わい分析と連携した多面的な人流分析などを進める計画である。

5.3 マーケティング・試験的な取組の状況（必要に応じて記載）

5.3.1 エネルギー部会

エネルギー部会の電気代そのまま払いについて、大阪府能勢・豊能町の自治体および E-konzal と連携し、省エネ家電製品の普及促進の可能性について、試験的な取り組みを進めている。また、EV を用いた太陽光発電のインバランス補償のシステム導入について、上述した大阪府能勢・豊能町の自治体および E-konzal ならびに、横浜国立大学の有吉特任准教授、川崎市、パーク 24 とともに試験的な取り組みの相談を開始した。

エネルギー部会の課題 en①では、省エネルギーの高度推進や再生可能エネルギーの高度普及を進めるための革新的ファイナンス・サービスとして、「電気代そのまま払い」を開発し、実証実験から社会実装を進めてきた。社会実装の観点からは、既に国内 4 か所で自治体や事業者と協力して社会実装を達成し、更に複数の自治体の計画や理科の教師用教材にも掲載されるなど社会的インパクトが急速に増している。更に 2021 年度には、国内 5 か所目の社会実装を行うための試験的な取り組みをおこなった。本調査は、大阪府の北部に位置する、大阪府豊能郡能勢町および大阪府豊能郡豊能町（図 5.3.1.1）で実施した。両町に関する規模などの概要を表 5.3.1.1 に示す。

社会実装に向けては、冷蔵庫や電気温水器などの家電製品の電力消費量の実データを取得したうえでのスキームの精緻な設計が必要であるが、実際の家電製品運用時における実データの取得は個人情報保護の問題もあり、容易ではない。そこで本事業では、本地域に設立された地域電力小売り事業者である株式会社 能勢・豊能まちづくりに依頼することで、対象家電製品の実測データを取得することを目的に業務を行った。両町の協力のもと、主に公共施設内に導入されている冷蔵庫等の家電製品について消費電力量を計測し、電気代そのまま払いを適用した場合の投資回収年数の推定と実現可能性を分析した。調査・分析の結果、国内 5 か所目の社会実装地点として、能勢・豊能町が適していることが判明し、今後鋭意社会実装を進めることとした。

表 5.3.1.1 調査地域の概要

町名	人口	面積
能勢町	9,701 人	98.68km ²
豊能町	19,063 人	34.37km ²



図 5.3.1.1 調査地域の位置

社会実装を実現した例

＜水素ステーション配置検証シミュレータ（図 5.3.1.2）＞

エネルギー部会の課題 en②で開発した水素ステーション配置検証シミュレータは FCV の 2014 年 12 月販売開始を見据えたニーズを早期に捉えることで開発を開始した取組である。さまざまな条件での普及シナリオを考慮できる製品の開発によって将来ユーザーであるステーション事業者や FCV 利用者に求められるレベルのシミュレータの開発に成功した。現在は、開発したシミュレータをもとに、各企業の持つ個別データを利活用して開発されたアドバンスド版の利用、およびそれらから得られる結果をもとに、2021 年現在、当初の水素ステーションの普及目標である 160 基超（整備中等含む）が国内に商用として整備され、一般の FCV 利用者の水素充填に利用されている。

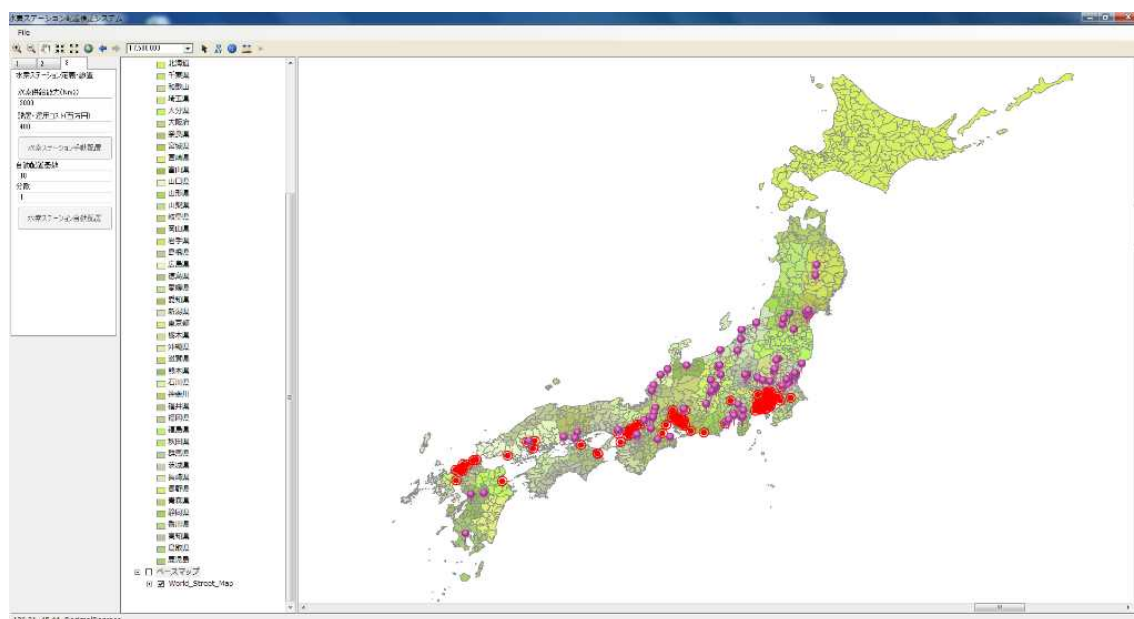


図 5.3.1.2 水素ステーション配置検証シミュレータ（既設の水素ステーションの位置を赤丸で、最適化計算により示された水素ステーションの今後の最適設置位置を紫丸で示す）

<250kW SOFC-マイクロガスタービン複合システム(図 5.3.1.3)>

エネルギー部会の課題 en③では、産業用燃料電池複合発電システムの実システムでの社会実装性について多面的かつ総合的な評価を行い、社会実装性の改善や規制の適正化を実現し、市場導入に成功した。250 kW 級の出力でありながら、100 万 kW 級の最新ガスタービン・コンバインドサイクルと同水準となる約 55 %LHV の高い発電効率を有するだけでなく、排気ガス中の NOx 濃度 (O2=16%換算値) も 1.0 ppm で、騒音や振動も従来の発電システムと同等以下であり、優れた省エネルギー性と環境性を兼ね備えた分散型発電システムであることを確認した。家庭用燃料電池（エネファーム）と比較しても 1 機あたりの CO2 削減量が数百倍となるため、この装置を普及拡大することで、大幅な CO2 低減につながる。2019 年 3 月より商用運転が開始され、図 4.1.3.2 にも示した通り、本システムは国内各地で 10 機稼働、海外でもドイツで 2022 年 3 月から稼働予定であり、海外展開も含めて普及拡大が期待される。

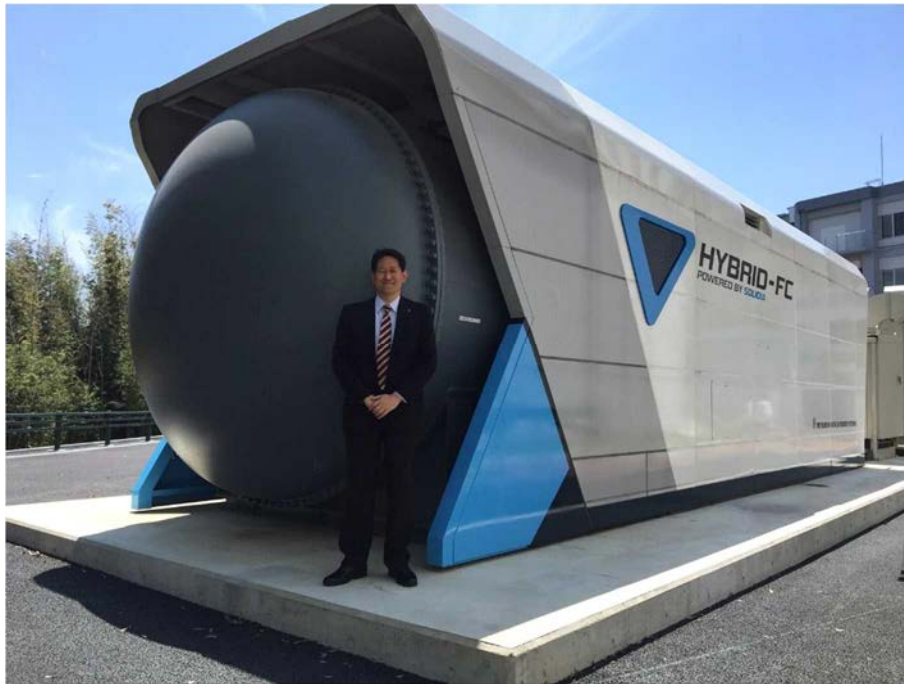


図 5.3.1.3 伊都キャンパスで実証され、社会実装が国内外で始まった 250kW SOFC 複合発電システムの外観写真（2 万 5 千時間の運転実証に成功）

社会実装に向けたプロトタイプ開発例

<再エネ水電解-水素貯蔵システム>

風力電圧変動を水電解単セルに実際に印加した環境下で水電解水素製造を行い、その水素を水素吸蔵合金により低圧（1MPa 以下）で貯蔵する、再エネ水電解-水素貯蔵システムのプロトタイプ（**図 5.3.1.4**）を開発した。



水電解セルとMHタンクを繋ぐ水素チューブ

図 5.3.1.4 再エネ水電解-水素貯蔵システムのプロトタイプ

＜超高効率 SOFC セル＞

エネルギー部会の課題 en③では、図 5.3.1.5 にセルの外観写真（左）、応力緩和機能とガスの分離機能を有する金属薄板からなるセパレータ（中央）、及びセルとセパレータを特殊な封着材で接合した発電デバイスの（右）外観写真を示す。このデバイスは図 4.1.3.3 に示した革新的な高効率を維持しながら 5000 時間の連続安定運転が確認された発電デバイスである。さらにこのデバイスを可逆運転（逆反応＝水素製造）可能にするための高い酸化還元耐性を有する燃料極について開発し、本 COI での成果をもとに、現在、社会実装に向けて NEDO で研究開発を進めている。



図 5.3.1.5 超高効率 SOFC セルの外観写

＜高耐久高出力 PEFC 電極＞

エネルギー部会の課題 en④では、ゼロエミッションの水素モビリティに向けて、図 5.3.1.6 に示すような電極構造を有する高耐久高出力 PEFC 電極を開発し、プロトタイプ開発に成功している（開発した実材料の電子顕微鏡写真は図 4.1.4.3 参照）。現在、先述の NEDO プロジェクトによって、参画する本研究グループがプロトタイプセルの更なる改良に取り組み、社会実装に向けたアプローチを継続している。

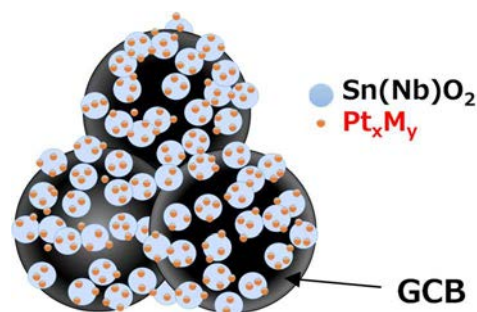


図 5.3.1.6 社会実装に向けて開発を進めている高出力高耐久 PEFC 電極

試験的な取組例

<九州大学-日産自動車の連携による再エネモビリティ社会実装>

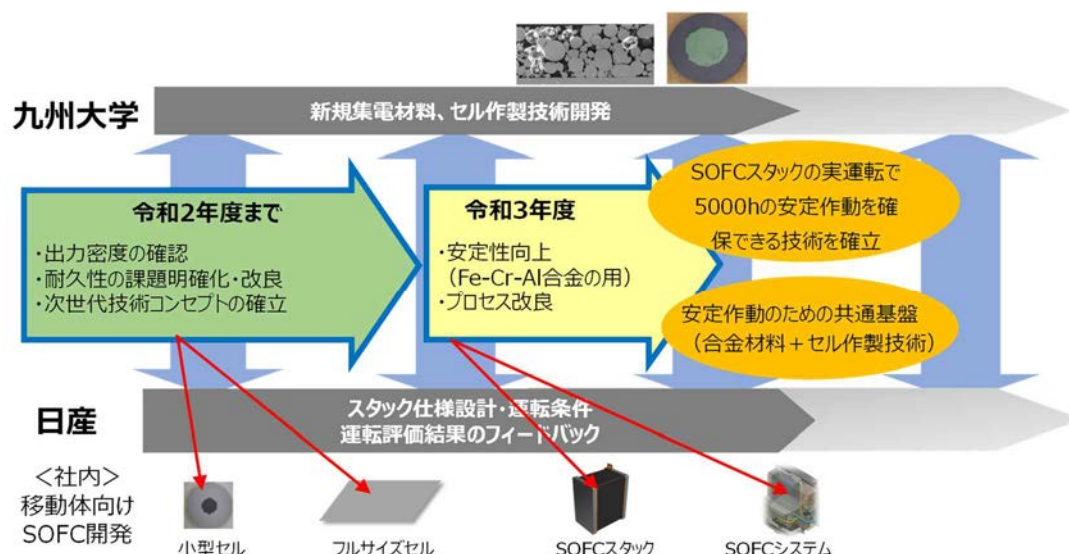


図 5.3.1.7 九州大学-日産自動車の連携による再エネモビリティ社会実装へのビジョン

エネルギー部会の課題④では再エネ電気モビリティの実現に向けて、九州大学が日産自動車と連携して、SOFC-EV に必要となるメタルサポート SOFC の安定作動のための技術開発に取り組んだ結果、安定化技術の基本を固め、開発を推進する原動力となった。ポスト COI において、今後、図 5.3.1.7 に示したビジョンに基づき SOFC-EV への実装を目指したセル開発、スタック開発を加速させる。

5.3.2 モビリティ部会

多様な活動ニーズから派生する移動ニーズへの対応、移動に係るあらゆるロス（物理的、経済的、心理的）の削減、実空間におけるソーシャルキャピタルの形成に資する交通システムを目的としている。大都市の郊外地域に協働・共有型のモビリティシステムを導入し、高齢者や子供連れの移動をスマートに支援することで、地域に活力を生み、人々の絆を強めるのがねらいである。具体的サービスは、公共交通機関サービスの拡充、カーシェア・レンタルサイクルシステムなどの新しい交通手段の創出などが挙げられるが、自家用車の利用頻度に対する維持管理費用、とりわけ駐車関連費用が割高なことが起因となっている自動車保有率の低下、また高齢者も含めた免許保有の問題、需要の集積が期待できない地域には民間のモビリティサービスが密に展開されないことなどを鑑みると、自動車を運転できない人の外出促進、活動目的の多様化、行動範囲の拡大、そして共助による移動支援の基盤づくり等に貢献できる点で、地域あるいはコミュニティで協働・共有する公共的な交通サービスは非常に有効と考える。自分が自家用車を保有していなくても、運転免許をもたない近所の知人と一緒に自動運転車両を使って出かける、あるいは自分が自動車の運転免許もっていないくても、免許をもつ近所の知人と一緒にカーシェアリング車両で出かける、といった行動が地域内で創出され、移動制約のある地域内活動者の外出頻度が増加し、サービスの利用を通じてコミュニティの交流が活性化し、ソーシャルキャピタルの醸成につながると期待される。

車両デザインに関しては、車両メーカーとの協議のもと、開発対象となる新型バス車両が持つ現在および将来の市場における価値について検討している。その際、将来の都市ビジョンの検討をもとに、将来のモビリティの役割に焦点をあわせた協議を進めている。ハブ空間システムのデザインに関しては、横浜国立大学キャンパス内のバス停における実証実験を通して、バス利用者、地域の生活者のハブ空間に対する潜在的なニーズについて検討している。

マルチモーダル移動支援情報システムの考え方は、一連の移動に関する複数の交通手段の情報やサービスの統合であり、MaaS（Mobility as a Service）の概念そのものである。MaaSはC0Iの第1フェーズの後半頃に世界的に注目され始め、日本においても中央政府や民間企業の主導で様々な取り組みが広がるに至ったが、横浜国立大学サテライトにおいてはC0I開始当初からMaaSの基本的なコンセプトに基づく研究開発に着手していたといえる。

現状、国内外の各都市において様々な形で展開されているMaaS系のサービスは、輸送サービスの予約決済機能が一元化されたアプリケーションとプラットフォームの開発が主流である。確かに予約決済は必要不可欠なサービスの一つではあるが、サービス運営の持続可能性の観点からすると、ユーザーだけでなく交通事業者にもコストメリットのあるサービスを指向することが重要である。そこで、本C0Iでは移動者向けのバリアフリー対応交通案内アプリとともに、鉄道駅における車いす利用客の介助業務を高度化するためのシステム開発し、両者をAPIで連携させることにより、移動者本人の物理的・心理的なロスの軽減と、駅係員のヒューマンエラー防止および業務効率向上の同時達成を図っている。2020年度以降、京急本線の横浜駅～上大岡駅間での試験的な運用を重ねながらアプリとシステムのアジャイル開発を継続しており、C0I終了後の社会実装と、他の鉄道事業者との連携を見据えている。

多様なモビリティサービスを支える道路維持管理業務の高度化については、昨今の自治体の財政状況を考慮すると、自治体が自ら予算措置をして独自にシステムを導入するのは困難な場合が多い。近年では、LINE等の一般に広く普及しているプラットフォームを活用して市民から道路環境の劣化や損傷に関する情報収集を行う自治体（例えば横須賀市）も増えてきていることから、本C0Iで開発した道路維持管理支援システムについても、こうした既存技術と連携するための機能開発に着手している。

5.3.3 情報科学部会

店舗内の「密」を防ぐ共同研究

参画機関であるNTTドコモ（以下、ドコモ）との共同研究として、買い物の際に進呈するdポイントの進呈率を、店舗内の混雑状況に応じて変動させ、店舗内の「密」を防ぐ実証実験を2020年11月から実施している。新型コロナウイルスの感染拡大により、密集や混雑を回避するなどの「新しい生活様式」の実践が求められる中、飲食・小売業では売り上げが落ち込むなど、コロナの感染拡大防止と社会経済活動の両立が課題となっている。本共同研究において、店舗の混雑回避対策と売り上げアップの両立を目指す。本実証実験は、九州大学伊都キャンパスの学生約1,500人にモニターとして参加してもらい、伊都キャンパス内の飲食店や小売店店舗を対象に実施する。店舗に来店、または来店が予測される学生モニターへ、テイクアウトや混雑時間帯を避けた来店でボーナスポイントを進呈するメッセージを送り、3密回避の行動を促進する。実際にテイクアウトを利用した方や、混雑時間外へ来店時間を変更した方に、dポイントを進呈し、本共同研究では、混雑状況に応じてdポイント進呈率を即座に変える「ダイナミックプライシング」を導入している。

店舗の混雑度は、店舗に設置したセンサーからデータを収集し混雑を可視化する九州大学の技術と、店舗周辺の混雑状況が把握できるドコモの「モバイル空間統計[®]」を掛け合わせて予測している。この混雑予測に合わせて、最適なポイント進呈率を算出する。本共同研究では、九州大学の学生参加型産学連携プラットフォームである「iQ Lab」※の学生が、実証実験で使用するシステムやアプリの開発・運用からモニターの募集、実験の運営やサポート業務全般を受託している。このように学生が幅広く参加し、本共同研究の実施を支援していることは評価に値する。

共同研究で得られた成果を踏まえて、混雑予測とダイナミックプライシングのアルゴリズムの高度化を図り、2021年度中にドコモから商用サービスとして提供予定である。

※ iQ Lab とは、株式会社イマーゴ（本社：東京都港区、代表取締役：神尾 寿）が九州大学内に

A イノベーション創出に向けた活動実績
5 社会実装に向けた必要な対応

て運営する産学連携の支援プラットフォーム。“学生参加型の新たな産学連携”を特長とし、大学と企業の共同研究・実証実験の企画・支援をZ世代の学生たちが中心となって実施している。

5.4 研究開発成果の多様な展開の状況（必要に応じて記載）

5.4.1 エネルギー部会

エネルギー部会の課題 en①-d の取り組みを通じて、コストエンジニアリングの手法が認知されるようになり、次世代技術への展開が進められている。新型燃料電池（プロトン伝導性セラミック燃料電池：PCFC）は、次世代の高効率燃料電池として実用化が検討されているが、コストエンジニアリングの手法を取り入れた研究開発が国のプロジェクトとして進められている。また、化学ループ法の研究についても、水素や CO_2 を木質バイオマスから分離・生成するポリジェネレーションプロジェクトとして拡張され、現在国内企業が参画する国のプロジェクトとして進められている。今後の CCS および CCUS の基盤技術としての実機の社会導入が期待される。

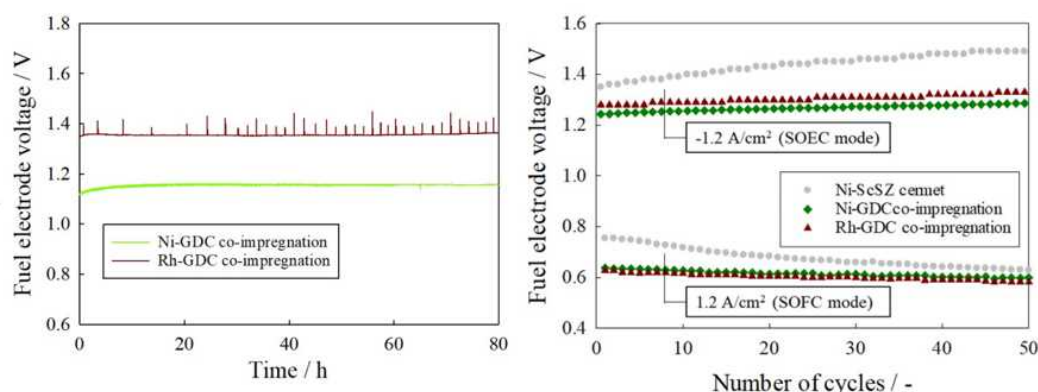


図 5.4.1.1 高耐久燃料極を用いた燃料電池モード/電解モードでの運転耐久性

エネルギー部会の課題 en③の取り組みを通して、本 COI で開発した燃料電池用の高耐久アノードは当初想定していなかった可逆作動条件である電解時の運転特性にも優れており（図 5.4.1.1）、それらを展開、社会実装すべく、NEDO「革新的な可逆水蒸気電解セルの国際共同研究開発」（参画機関：九州大学-MIT）で可逆燃料電池・水電解セルの開発を進めている。

エネルギー部会においては、本 COI 事業が目指す「社会を変える」ための普及啓発活動にも積極的に取り組んだ。研究開発成果の世界展開に向けて、2016 年に我が国初の水素社会コンセプトを世界に発信する英語専門書として図 5.4.1.2 に示す “Hydrogen Energy Engineering: A Japanese Perspective”（佐々木ほか）を Springer 社から出版した。世界における水素研究教育や水素戦略策定のバイブルになっており、チャプターダウンロードは 11 万回を超えている。エネルギー部会に参画する研究者が共著者として加わっている。本 COI 事業の成果の世界展開に今後とも活用していく。

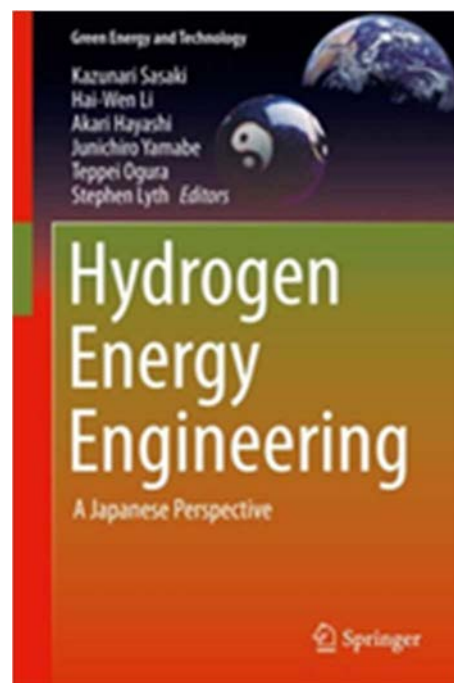


図 5.4.1.2 エネルギー部会の研究や社会実装を世界に発信する英語専門書

エネルギー部会が開発する技術の本格的な社会実装には、開発する研究成果の意義や「未来社会」の姿を社会全体に発信していく必要がある。そのため、伊都キャンパスを「水素キャンパス」と位置付けて、多くの見学者・視察者を受け入れて、水素エネルギー関連技術について地道に説

明してきた。図 5.4.1.3 に示すように、九大の伊都キャンパスの工学系エリアの中心に「九大水素ステーション」を設置し、2005 年から運営している。これまでに、5 万人以上受け入れ、その活動成果は令和元年度の環境大臣表彰につながっている。今後とも、エネルギーの地産地消による脱炭素・水素社会の姿を発信して、本 COI のコンセプトである「人が変わる、社会が変わる」のレガシーを伝えて行きたい。



図 5.4.1.3 九大伊都キャンパスの水素ステーションを含めた「水素キャンパス」施設群

エネルギー部会では、脱炭素社会のキーテクノロジーとなってきた「水素」に関する講演や Web 面談、マスコミ取材対応、企業との面談、見学会などを毎週のように開催している。本 COI が目指す「社会を変える」ためには、技術開発だけでは不十分で、未来社会の姿や将来展望、世界の動向などを社会で広くご理解いただいてはじめて、産業界も経営判断や投資、共同研究などを行うことができ、結果的に社会実装につながる。そのような取り組みの一例を図 5.4.1.4 に示す。COI 事業終了後も「社会を変える」取り組みをグリーン分野で着実に継続していきたいと考えている。

TMトピックス No.248



水素について熱く語る
佐々木氏

TM研究会は6月14日、都内で今年度第3回研究交流会を開き、佐々木一成・九州大学副学長が講演を行った。テーマは、「脱化石燃料の推進と水素社会の実現」。

佐々木氏は、同大学水素エネルギー国際研究センター長や次世代燃料電池産学連携研究センター長などの肩書も持つ。

これまでの日本のエネルギーの転換を振り返り、石炭、石油、天然ガスと、それぞれ数十年の歳月をかけて転換してきたことを説明。ところが昨秋、「2050年カーボンニュートラル」が打ち出され、脱炭素化の流れが一気に加速、国も水素の普及に本腰を入れた。

TM研究会・研究交流会
佐々木一成・九州大学副学長による講演①
水素社会の実現には水素の用途の拡大と価格の大幅な低下が課題

脱炭素というと、電力を再生可能エネルギーに転換していくというイメージが強いかもしれないが、電力由来のCO₂排出量は全体の4割強。「6割以上の非電力部門で削減しないと社会全体の脱炭素化は実現できない」と指摘する。

そのためには水素の用途の拡大が欠かせない。燃料電池車だけではなく船や航空機といった運輸部門、さらに産業用や工業燃料などに広げていくことが想定されるようだ。

さらに「水素普及の大きなカギを握るのが価格です」と強調。

現状は水素ステーションで見ると、1立方メートルで約100円。これをガソリンと同等に普及させるには約30円に、工業燃料で天然ガスと同等にするには約20円にまで下げる必要があり、今後の大きな課題だとした。

《以下、次号に続く》

TMトピックス No.249



6月中旬に開催された研究会の様子

《前号から続く》

九州大学伊都キャンパス（福岡市西区）は、日本最大級の27.2万㎡（東京ドーム57個分）という広大な敷地を有する。ここが水素に関する多様なCOI（センター・オブ・イノベーション）プロジェクトの社会実装や産学連携の舞台となっており、佐々木氏の「本拠地」で、関係者は「水素キャンパスと呼ぶのだ」という。社会実装の例として、産業用燃料電池をあげた。耐久性向上の実証で運転時間が3000から2万5000時間に延び、24時間常時監視の規制撤廃に貢献した。

水素社会の実現にはインフラとしての水素ステーションの整備が欠かせないが、人口分布や交通量などのビッグデータを活用し、最適な設置場所を

TM研究会・研究交流会
佐々木一成・九州大学副学長による講演②
日本最大級の広大な九大伊都キャンパスが水素に関する産学連携やプロジェクトの舞台に

シミュレーションする手法を開発した例なども紹介した。

水素の用途の拡大も不可欠だ。そのための研究成果として、トラックや船舶にも使える耐久性の高い「タフな燃料電池」や、発電することができ、水素をつくることもできる可逆燃料電池の開発を説明した。

さまざまな研究に対して特許を取得している点も、企業がプロジェクトに参画しやすい点だという。

「大学を、皆さんにもっと使っていただきたいのです。イノベーションハブになり、インキュベーターにもなれる。産業界の方にもそのことをお伝えしていきたい」「2050年カーボンニュートラルまでは長いマラソンに似ているが、水素については「旧七大帝の一角でしっかりと研究を続けていきたい」と抱負を語る佐々木氏だ。

（文責 本誌・高須賀剛）

図 5.4.1.4 水素エネルギー関連や COI 活動成果の産業界向け講演例

（TM 研究会での佐々木講演、2021 年 6 月、「財界」誌に講演内容紹介記事掲載）

No. 248 号（8 月 4 日号）No. 249 号（8 月 25 日号）より引用

5.4.2 モビリティ部会

当初十分には想定されていなかった研究開発成果として、バス車体およびハブ空間システムのデザインにおける市民参加の重要性が認識された。拠点のコンセプトである「共進化」を、技術が進化するだけではなく、それと呼応して、人、地域あるいはコミュニティが進化することと見なす。ここで、人や地域やコミュニティの進化とは、他者との関わりを通じた学びであり、それを通じたソーシャルキャピタルの向上である。技術とは、市民を単にサービスの受け手、消費者としてみなした上で、快適、便利、安心、安全なサービスを提供するというものではなく、市民の学びやソーシャルキャピタルの醸成を後押しすべきものである。こうした考えのもとで地

域コミュニティがデザインや管理運営に参加できるようなモビリティのあり方についての研究を展開する必要がある。

マルチモーダル移動支援情報システムは、研究開発を進める中で、Universal MaaS という大きな概念を導入した。これは当初から想定していた車いす利用者や白杖利用者などの身体的ハンディキャップを有している人だけでなく、高齢者やベビーカー利用している親子連れなど、移動に少なからず弊害を感じている人にも安全・安心な移動を提供することを目的としていたものだが、屋外だけでなく屋内での情報提供や、それに付随する施設情報などの提供も必要となってきた。これらの情報を整理するだけでも相当な労力が必要だが、例えば車イスが走行できるルートだけでなく専用施設も市民募集型で公開しているサービスなども存在している。それらと連携していくことで、よりよいシステムに昇華させることが可能となり、多くの利用者獲得にもつながる。データ連携が、ヒトの連携拡大につながるものが Universal MaaS の大きな目標であり、推進体制の本流である。

道路維持管理システムの発展版として、沿道状況センシングシステムの開発に乗り出したが、これまでは、自治体向けのデータ運用を前提とし、予算化などで持続可能性を模索してきたが、今後の展開として、道路資産を多角的に感知することで、保険事業への展開を検討している。より安全な道路を検出または予測することは、安全な移動を提供することに直結し、たとえば状況別あるいは時間帯別の走行実績における自動車保険料の引き下げや新商品開発のきっかけとなると考えられる。ひいては、安全・安心な道路維持は、自動運転システムの導入の大きな足掛かりになるとも考えられ、技術開発だけでなく、社会実装ならびに地域貢献に大きな効果が期待できる。

5.4.3 情報科学部会

研究開発課題「CS② ロボットによるスマート 生活支援」の取り組み（H29 度終了）

H29 年度に終了した研究課題「CS② ロボットによるスマート 生活支援」は、移動支援については企業への技術移転が完了、介護支援に関しては独立したプロジェクトとしてスピンアウトした。特に、5G を用いた実証実験では、ロボット開発企業だけでなく通信事業者、テーマパーク事業者らが連携して、準天頂衛星システム（みちびき）のセンチメートル級測位補強サービス C L A S を利用した日本初となる屋外サービスロボットを開発し、本実証実験においては、案内ロボットサービス提供に必要な遠隔監視や、ロボットに搭載した全方位 4 K カメラによる映像の取得とロボットの遠隔制御を、5 G を通じて実現させた。また全周レーザーセンサーを搭載した車いすロボットでは、レーザーセンサーで取得した大量の点群データを 5 G で遠隔にある P C に送信し、高速に処理されたデータを使って車いすロボットを誘導可能とし、これにより、テーマパークといった広大な園内や街中の案内や巡回監視の自動化、遠隔地から街中を自由に散策できる分身ロボットを、移動困難者に対する自動運転パーソナルモビリティビークル（1 人乗りコンパクト移動支援機器）としての利用が期待されている。

研究開発課題 ict③ 生活センシングに基づく情報発信による生活快適化（R2 度終了）

高齢者の自宅見守りや自宅からの外出促進を目指していた研究課題 ict③は、コロナ禍の影響も大きく、2020 年度で終了することとした。しかし、これまでの開発成果が無駄になるというわけではなく、見守りの実現のために開発してきた、時系列信号からの異常検知技術などの要素技術は、継続課題で活用している。具体的には、ict②-a において、実際に商店街にて収集した人流データから賑わい値を算出し、カレンダー形式で、日や時間帯の賑わい値を可視化するプロトタイプシステムとして、異常検知の手法を使って、通常と異なる賑わい（混雑）を示す日を検知する機構を実装している。今後も、時系列データの分析を必要とする社会サービスにおいて活用を検討していく。

A イノベーション創出に向けた活動実績

5 社会実装に向けた必要な対応

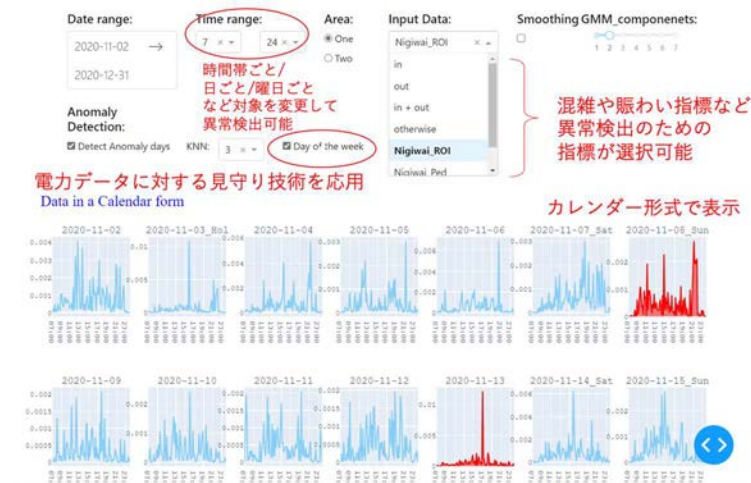


図 5. 4. 3-1 カレンダー形式での賑わい日の可視化

マイナンバーカードを活用した訪問者追跡可能空間の構築（ict②）

ict②で進める屋外公共空間での人流分析を進める中、本技術を屋内において活用する検討を進めてきた。現在、with コロナ時代に資する研究開発として、マイナンバーカードを活用した訪問者の追跡を可能とする空間（トレーサブル空間）の構築を進めている。トレーサブル空間では、訪問者が施設利用時にマイナンバーカードをかざし入室した際にカードのもつ顔画像データを登録し、各所にカメラを設置したトレーサブル空間において「誰と誰が」接触したかを把握することが可能になる。そのため、後日訪問者が感染した際には、速やかに濃厚接触者を特定し、対象者に通知する機構を構築できる。

with コロナ時代において、「濃厚接触者」の定義は、今後の国内外の感染状態や社会情勢により変わることが予想される。今後、この定義をダイナミックに変更可能な濃厚接触状態の検知機構を実装する。また、国内では、イベント参加や飲食店への入店にワクチンパスポートの活用が見込まれている。そのため、トレーサブル空間の入室機構にワクチンパスポート連携する仕組みを検討、実装する。さらに訪問者のプライバシーに配慮し、カメラ映像の消去だけでなく、一時的に蓄積する個人の滞在履歴を完全に削除する機構の開発を進める計画である。最終的に、参画機関の NEC が製品化し、カタログ化することを検討する。

B イノベーションが連続的に創出される自立的なプラットフォーム構築に向けた活動実績

1 自立的なイノベーション・プラットフォームの構築について

1.1 自立的なプラットフォームの構築に向けた拠点の強み・資産の形成状況

1.1.1 持続的共進化地域創成拠点のレガシーを継承するプラットフォームの全体

これまでの9年間にわたる持続的共進化地域創成拠点の活動により、これまでの大学発オープンイノベーションではあまり経験したことのない以下の4点に関して知見を得た。

- 1) 社会環境を考慮しての来るべき未来社会の想定、及び、その未来社会からのバックキャストによる研究開発項目と、必要な社会実装
- 2) 研究開発のゴールを論文だけではなく社会実装とし、社会実装から得た知見を学理にフィードバックさせて、新しい領域の確立
- 3) 複数の大学や企業、自治体と連携することにより、お互いの得意領域を活かすことにより研究開発の価値を増幅し、かつ、社会実装スピードの加速
- 4) アンケートやカメラ、電力使用量など「まち」で得られるさまざまなデータを使って、社会実装の高度化や高精度化を実現、人々の行動や意識、「まち」を変えるための起点とするデータ利用

これらを踏まえて、九州大学、東京大学、横浜国立大学、及び、関連企業と関連自治体の連携によって活動してきた持続的共進化地域創成拠点は、COI終了後においても、そのアンダーワンルーフを維持して連携を継続発展させる。なお、活動による知見は、図B.1.2.1の組織に引き継がれ、かつそれらの組織が今後も連携してアンダーワンルーフを継続する。

これらCOIの社会実装経験により得られた知見は、現在のところ暗黙知となって共有化されているため形式知として表現してはじめて、COIの経験を広く展開できるようになる。そのため、1番のバックキャストに必要な未来社会を予測する「未来デザイン統括本部」を立ち上げる。この未来デザイン統括本部が予測する未来社会に基づきバックキャストすることにより、必要な技術開発や政策立案、文化の創造などの今行うべき課題解決が明らかになる。また、2番、3番に関しては、同様にCOIの経験に触発されてバックキャストと社会実装、企業や自治体との連携に基づく新しいオープンイノベーションの立ち上げをサポートする「オープンイノベーションプラットフォーム(OIP)」を立ち上げる。さらに、COIの活動の大部分が社会実装により得られたデータを使って活動の付加価値を高めてきた。この知見を生かすべく、「データ駆動イノベーション推進本部」を立ち上げる。

さらに、これまで行ってきた持続的共進化創成拠点の活動をこのままの姿で継続すべく、九大、東大、横浜国大のモビリティ、ICT見守り、エネルギーのアンダーワンルーフ持続のため「持続的共進化COI研究会」を九大で新たに創設するOIP内に設立し、知財などの基本的なサービスの他、これまで築いてきた連携活動をさらなる広範囲に発展させるための支援を行う。加えて、アンダーワンルーフにおけるバックキャスト型オープンイノベーションの知見、企業や自治体の連携の経験を九大OIPはじめ、東大、横浜国大のオープンイノベーション関連組織へ還元させる役割を持つ。

現在のモビリティ、ICT見守り、エネルギー、及び、これらの活動に新たな価値を提供してきた産業数学は、組織の都合上、各組織上は新規の組織を立ち上げ、または、既存のプラットフォームと一体化して活動を継続するが、上記の持続的共進化COI研究会がこれらの活動を束ねて、現在のCOI拠点本部と同様の連携活動のマネジメントの役割を担いアンダーワンルーフを維持する。

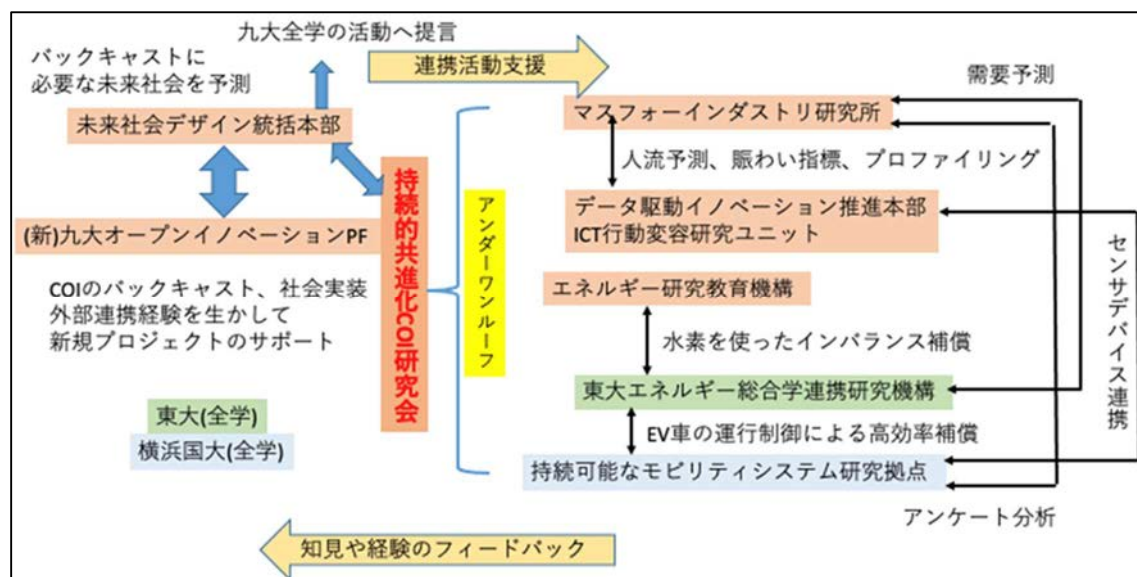


図 B.1.1.1 COI 終了後のアンダーワンルーフを実現する持続的共進化 COI 研究会
(関連企業や関連自治体名は省略)

モビリティに関しては、横浜国大と、同大学発スタートアップの LocaliST 株式会社を中心となって活動する「持続可能なモビリティシステム研究拠点 <http://www.rcsm.ynu.ac.jp/index.html>」が、現在の横浜市金沢区富岡西地区におけるとみおかーと（京急電鉄、横浜市等との協働による小量乗合輸送システム）や、ANA・京急電鉄・横須賀市と連携するユニバーサル MaaS の取り組みを各参画企業や自治体と共同で維持継続しながら、他地区への展開やサービス対象範囲の拡大を行う。

ICT 見守りに関しては、ICT 見守りがデータドリブンベースの社会実装であることから、「ICT 行動変容研究ユニット」を九州大学に設立される「データ駆動イノベーション推進本部」内に設立する。そして、九州大学キャンパス内を使ったバスや食堂における人間行動変容の実験を継続するだけでなく、広くキャンパス内を利用した実験環境を利用して企業や自治体と連携し新しい実験に挑戦する。また、川端通り商店街で行っている賑わいを取り戻すための活動を中洲天神付近に地域を拡大してより大規模な人流データ収集を行う。さらに見える化から行動変容への活動を福岡市と連携して広げる。これまでは見える化を中心に行ってきたが、ICT のデータを活用に加えて都市デザインの専門家の参加により、データから得られる都市デザインの観点からの人流の制御や人間の行動変容に取り組む。

エネルギーに関しては、東京大学での活動に関しては、「エネルギー総合学連携研究機構」を設立し、現在のインバランス補償を使った地産地消の取り組みをより発展させるとともに、これらインバランス補償の社会実装を日本の各地で行うことのできる人材の育成に取り組む。九州大学においては、カーボンニュートラルなエネルギーシステムの実現に不可欠な「水素」に関わる多くの国家プロジェクトや民間企業等との共同研究を九州大学・次世代燃料電池産学連携研究センター（NEXT-FC）において実施する。この NEXT-FC センターを含めた関連するエネルギー研究教育活動を、総長を機構長とする九州大学「エネルギー研究教育機構」（久枝 COI 拠点長が副機構長、佐々木 COI 副拠点長・エネルギー部会長が担当副学長）での下で加速し、2050 年のカーボンニュートラルの国家戦略に対して、COI でのバックキャスト型の研究開発と社会実装の経験を持ち込み、より成果の大型化に挑戦する。

産業数学に関しては、数学の汎用性を鑑みると産業数学の活躍の場面をあらかじめ定義することは不可能であり、状況ごとに産業数学の有効性の検討を組織的に行うことが重要である。そこで、

九州大学のマスフォーインダストリー研究所内にアセットと応用のマッチングを行うファンクションを持った組織を立ち上げ、現状のアンダーワンルーフの活動における産業数学のさらなる適用を検討する他、OIPとも連携の上、全学的な数学の適用可能性のコンサルティングなどを行う予定である。また、数学が社会実装に関係することで得られた知見を新しい数学の学理にフィードバックすべく、適用された技術の学理化を同時に進める。

このように各活動がそれぞれプラットフォームを形成するが、それを束ねる持続的共進化 COI 研究会を通じて現在のアンダーワンルーフを積極的に発展、継続するプラットフォームとする。

1.1.2 COI 後の活動

1.1.2.1 モビリティ

横浜国立大学の部局横断型研究拠点である「YNU 研究拠点」(https://www.ripo.ynu.ac.jp/company/find/YNU_base/)として 2018 年に設立した「持続可能なモビリティシステム研究拠点（以下、「モビリティ拠点」と略記する。）」が、本 COI 拠点におけるモビリティ部会の活動を引き継ぐ。モビリティ拠点のリーダーは、8 年以上に渡って横浜国大 COI サテライトの研究開発を牽引してきた有吉特任准教授が務める。同拠点は、公的機関等からの経済的支援に依存せず、自立的にモビリティ分野のイノベーションを創出し続けていくため、COI 発ベンチャーである LocaliST 株式会社（有吉特任准教授が代表を兼業）を活用した運営スキームの確立を進めている。



図 B1.1.2.1 横浜国大サテライトの COI 後継組織「持続可能なモビリティシステム研究拠点」

モビリティ拠点の研究開発は、MaaS、小量乗合輸送システム、移動空間デザイン、交通インフラ運用、TOD (Transit Oriented Development: 公共交通指向型開発) など、6 つの研究開発テーマから構成される。各研究開発テーマは、交通と都市研究室および LocaliST 株式会社が核となり、東京大学や九州大学、名古屋大学（モビリティ社会研究所）、ポートランド州立大学（横浜国立大が 2017 年にブランチを設置）をはじめとする他大学の研究チーム、テーマに関連する民間企業や自治体に横串を通す形の連携体制によって推進される。この枠組みで、持続的共進化地域創成拠点のビジョンである「自家用車に頼らずとも、誰もが無理なく移動し続けられる都市の実現」の実現に向けた取り組みを継続していく。

研究開発テーマ [1] に位置付けられる「Universal MaaS」については、COI 終了時点で既存の航空旅客向けサービスである「ANA・空港アクセスナビ」への社会実装が実現される見通しである。COI 後は、引き続き国土交通省「日本版 MaaS 推進・支援事業（2019 年度、2020 年度採択）」等の外部資金を活用しながら、他の航空会社や空港を介して接続する鉄道会社、移動の起終点となる自治体とのサービス連携を進め、既存の交通案内サービス/アプリに対してバリアフリー関連情報

の API 等を提供するオープンなプラットフォームを構築する。

研究開発テーマ [2] に位置付けられる小量乗合輸送システム「とみおかーと」については、C0I 終了時点で有償サービス化による社会実装を達成する見込みであり、C0I 後は同サービスの持続と地域への定着に資する研究開発を継続する。最終的には、沿道店舗や自治会・町内会の負担金、企業からの協賛金など、多様な受益者によって支えられる共営型のサービスモデルを確立し、首都圏を中心とした大都市郊外地域に同モデルを移転していく。

モビリティ拠点では、C0I の支援期間中に参画機関と締結した共同研究契約のうち、引き続き学術研究として取り組むに相応しい案件については横浜国大との共同研究として、事業化や製品化などの社会実装を目指す案件については Local iST との共同事業として、それぞれ戦略的に展開していく。Local iST 株式会社は既に、いくつかの C0I 関連研究開発プロジェクトを、同社の事業（アドバイザー、コンサルティング、アプリ/システム開発等）として引き継いでいる。C0I 後は、そうした事業による収益の一部を共同研究費として横浜国大に提供し、横浜国大は同資金で特任の研究員や教員を雇用し、首都圏郊外を中心とした地域のモビリティ保持向上のための研究開発を継続していく予定である。このスキームによって雇用される研究者としては、C0I の予算で雇用されていた研究者をはじめ、交通と都市に関する研究や実務を志す学生（修士、博士）を想定している。この枠組みによって、モビリティ分野の博士課程後期進学者を増やしてわが国の研究リソースの増強を図るとともに、企業との共同研究や Local iST の事業を介したオンザジョブラーニングを通じて、若手研究者の専門的応用能力（社会実装能力）や起業家マインドを養成し、次代を担うイノベーション人材を育成・輩出するためのエコシステム形成につなげる。

上記のスキームによる C0I 後の自立的な研究開発活動においては、C0I で構築した九州大学（情報科学部会、産業数学部会）および東京大学（エネルギー部会）との連携実績や連携体制を最大限に活用する。MaaS 関連システムの研究開発では、with/after COVID-19 に対応するための公共交通機関を対象とした混雑センシングにおいて、九州大学のデータ科学研究ユニットと知見の共有および技術連携を図る。また、小量乗合輸送システムの研究開発においては、同システムの運用に伴って蓄積される利用者の移動ログや購買ログといったクロスセクターデータの統計解析を、九州大学のマスコアインダストリ研究所と連携して行い、高精度な需要予測モデルの構築や、輸送サービスがもたらすクロスセクター効果の定量化に取り組む。さらに、東京大学サテライト・松橋教授との協働によるエネルギーマネジメント連携型モビリティシステムの研究開発については、パートナー企業や自治体（自治体新電力）との協業を加速し、デバイスの開発に必要な外部資金を獲得し、カーシェアリング等による広域の事業展開を見据えた実地試験に着手する。

1.1.2.2 ICT 見守り

ICT 見守りに関する研究を通じて得られたものは、研究だけではなく、研究から生み出されたデータや自治体や企業とのネットワークがある。特に、この2年間は、コロナ禍という想定外の災害に対して、C0I が整備してきた街の ICT 見守りシステムを活用し、三密回避という新たな行動への変容を促すという取り組みを実施してきた。この取り組みの中で開発したキャンパス混雑度可視化システム itocon（<https://itocon.arakawa-lab.com/>）はすでに1年半にわたって稼働しており、バス停や食堂などの混雑度をリアルタイムに発信している。C0I 終了後は、九州大学の公式サービスの1つとして、研究開発を重ね、改良していく予定である。また、この itocon をベースとし、可視化に加えて、ポイントによるインセンティブを用いた行動変容誘発に関して、NTT ドコモと大型の共同研究を実施している。すでに学生 1500 名がモニタ登録しており、混雑度×インセンティブによる行動の変化メカニズムを解明するためのデータ収集がキャンパス内で進んでいる。このプロジェクトについても、C0I 終了後も継続予定である。さらに、itocon を福岡市の区役所など混雑する場所で活用した Fukucon といった話も進んでおり、広く社会実装を進めていく。

ICT 見守りにおいては、移動困難者の支援を目的として、バス事業者とも長年連携してきている。具体的には、糸島半島で稼働する昭和バスの車両 50 台に、ETC2.0 の装置、および、混雑度・換気度センサ付きリアルタイムバスプローブを搭載している。これらは、C0I 終了後も引き続き、

活用し、地域のプローブとして活用することで、自治体の交通施策の立案、効果検証等に利用できると考えている。ネットワークという観点では、この昭和バスを運行するシードグループが中心となり、約 70 社から構成される地域プロジェクト「よかまちみらいプロジェクト」との連携も強くなっており、今後、地域の事業者と九州大学がさまざまな形で連携した研究を行っていく予定である。

さらに現在の川端通り商店街での見守り活動により混雑と賑わいの分離を行うことができ、商店街からも現在の状態の可視化の観点で高い評価を得たが、見える化から踏み出すことが難しかった。そこで社会実装対象を現在再開発中の那珂川流域から天神地域まで広げ、かつ、都市デザインの専門家に参画いただいて都市デザインの観点からの行動変容の可能性に関する社会実装を行う。AI カメラを多数設置した上で、ベンチの設置といった簡単なデザイン変更からイベントの開催、カフェのオープンスペースやキッチンカーの設置、新たに設置される橋の照明などのデザイン変更によって、人の行動の変化の見える化と人の行動誘導をシームレスに行い、あんしん・あんぜんかつ活気あるまちの創出を行う。

これら COI 後の活動を行う母体として、九州大学に新たに設置される総長直轄組織「一タ駆動イノベーション推進本部」内に、「ICT 行動変容研究ユニット」を設ける。このユニットでは、情報科学分野の研究者だけではなく、行動経済学や心理学といった他分野の研究者、自治体、企業と連携し、人の行動変容をデザインし、社会に変化を引き起こす研究を進めていく。これは、まさに COI が目指していた社会を変えていく研究の延長線上にあるものであり、COI 終了後もそのレガシーを引き継いでいくユニットとなる。

COI 拠点が終了後に継続する COI 研究会のプロジェクトマネジメント支援を行う。イシュードリブンのプロジェクトマネジメント支援の 1 つとして、「持続的共進化 COI 研究会」を位置付け、ICT 見守りの活動や九大におけるエネルギーの活動を含めてアンダーワンルーフを構築する。また、持続的共進化 COI 研究会の支援を進めていくことにより、OIP におけるアンダーワンルーフやバックキャストベースのプロマネ支援の経験やノウハウを蓄積していく。

1.1.2.3 エネルギー

1.1.2.3.1 エネルギー部会（東大）

東京大学では、産業技術総合研究所、物質・材料研究機構、理化学研究所と連携し、エネルギー問題に関する社会からの強い要請に応え、「エネルギー総合学」として、安心安全で豊かな脱炭素社会を実現する課題解決法を開発・実装すると共に、文理融合の新たな学理創成をめざして 10 部局間を横断する「エネルギー総合学連携研究機構」（機構長：松橋隆治 東京大学 大学院工学系研究科 教授）を設置した。



図 B.1.1.2.3.1 エネルギー総合学連携研究機構の学内関係部局と外部研究機関

「エネルギー総合学連携研究機構」は、研究開発、教育、社会連携の各々を推進する。

研究開発ではエネルギー分野の新たな価値創造に挑む学術の戦略的展開に対して、卓越した研究者が集い、社会におけるエネルギーの諸問題や気候変動に関する対応策を企画、開発する組織として価値創造を進める。また教育では現状の社会課題を抽出・分析すると共に、望ましい未来社会をデザインする。その未来ビジョンから技術的課題をバックキャストする思考法を涵養すると共にエネルギー総合学の学理を創成し、人材を育成する。更に社会連携ではエネルギーに関する社会からの強い要請に応え、文理融合による革新的で実践的な研究を実現すると共に、学産官の連携により成果の社会実装を可能にする強力なプラットフォームを形成する。

2050年までにカーボンニュートラル社会の実現を目指すためには、地球環境の安定性と自主回復性を保ちつつ、インクルーシブで持続的な未来社会をデザインし、そこからのバックキャストにより、現在どのような社会実装を進めるべきか検討を開始しなければならない。その際に鍵となるのは、政策・制度の革新であり、この政策・制度の革新と、エネルギー技術の革新の相乗作用により、環境と経済の両立を図る必要がある。ここにデジタル転換とグリーン転換の最新の知見を加味することにより、安心安全で豊かなカーボンニュートラル社会の実現が可能となる。

このように、本連携研究機構では、エネルギー諸問題を解決するために、技術開発ばかりでなく、政策や社会システムを総合的に検討するため文理融合による新たな学理＝エネルギー総合学を創成し、学理を実践し社会に貢献することを目指す。具体的な研究テーマは、エネルギーシステムに関する研究、革新的再生可能エネルギーとエネルギー貯蔵に関する研究、革新的エネルギー変換・輸送・利用とCO₂削減に関する研究、エネルギー政策・エネルギー経済と地球資源管理に関する研究、人間の快適性向上のための革新的材料とエネルギー管理に関する研究などである。

本学の関係部局として図中の10部局が有機的に連携し、今後、益々関係部局、構成人員を増やし、発展させる。学外の機関として我が国最大級の公的研究機関である産業技術総合研究所、物質・材料科学を牽引する国際的な中核機関である物質・材料研究機構、日本で唯一の自然科学の総合研究機関である理化学研究所と連携し、研究開発能力を結集して課題を解決する。また、多くの企業とも共同研究、社会連携講座や寄附講座等による産学連携を進め、政府研究開発プロジェクト等に積極的に提案し、国、自治体とともにゴールを目指す。今回の「エネルギー総合学連携研究機構」の開設により、カーボンニュートラル実現に向け技術開発から政策、システムまで幅広く社会変革に貢献する。

1.1.2.3.2 エネルギー部会（九大）

エネルギー部会の中で九州大学においては、本COI拠点のミッションである「真のエネルギー地産地消」や「地域活性化」に向けたハード面の技術開発に取り組んだ。図4.1.7、図4.1.6、図4.1.7に詳細を記述したが、オリジナルの研究成果を明示した多くの学術論文や学会発表、特許出願につながってきた。これらの研究成果が基盤となって、本COIの研究活動を実施した「次世代燃料電池産学連携研究センター」には十数社の関連企業がラボを構え、COI事業が目指す「アンダー・ワン・ルーフ」の産学共創拠点が九州大学伊都キャンパスの入口に出来上がっている。さらに、研究成果が高く評価されて、NEDO事業を数件受託して国家プロジェクトがすでに立ち上がり、年間数億円の全体予算でエネルギー部会関連の取り組みが進められており、COI事業が求める「自立化」に成功している。エネルギー部会が9年間で獲得した研究資金は32億円を超えており、研究環境も十分に整備できている（佐々木教授他が獲得したグリーンアジア国際戦略総合特区推進運営費交付金20.5億円を含む）。

これらの活動を継続・発展させるポストCOIにおいては、研究開発プロジェクトをさらに加速させることで、「脱炭素」分野を主要ミッションに掲げる九州大学のグリーンイノベーションの牽引役を果たす。

- 社会実装済みの技術については、実装における課題抽出とサイエンスに立ち返った課題の解決
- COI事業において開発したプロトタイプの社会実装
- 社会実装の際に見いだされた新たな技術課題を根本的に解決する革新技術の創製
- 国家プロジェクト等で得られた成果の知財化と、社会実装に向けた研究加速

●新たな社会課題からバックキャストして得られた研究開発テーマの推進

●脱炭素・水素社会実現に向けた産学官地域連携や異分野との横連携

これらの取り組みは、次世代燃料電池産学連携研究センター（佐々木エネルギー部会長がセンター長）をフル活用して進める。さらに、本学の産学官連携の活動の中心的な取り組みとなる「オープン・イノベーション・プラットフォーム」（佐々木エネ部会長が担当副学長）の「持続的共進化 COI 研究会」で、社会実装の進捗や課題をお互いに共有して、社会実装やバックキャストの取り組みを加速させる。さらに、以下の図 B.1.1.2.3.2 に示す、九州大学総長を機構長とする「エネルギー研究教育機構」（久枝 COI 拠点長が副機構長、佐々木 COI 副拠点長・エネ部会長が担当副学長）の学内ネットワークを活かして、脱炭素社会実現に向けて、COI で構築できた活動の輪を全学のあらゆる学術領域に横展開する。

ポストCOI（エネルギー）：オール九州大学でエネルギー問題の解決に挑戦！

**エネルギー研究教育機構：総長が機構長、オール九大・文理融合での
未来エネルギーへの取り組み**（平成28年10月設置）

部局の壁を取り去ったオール九大のプラットフォーム組織「機構」
「あるべき未来社会」→個別要素研究⇄連携プロジェクト⇄学際融合

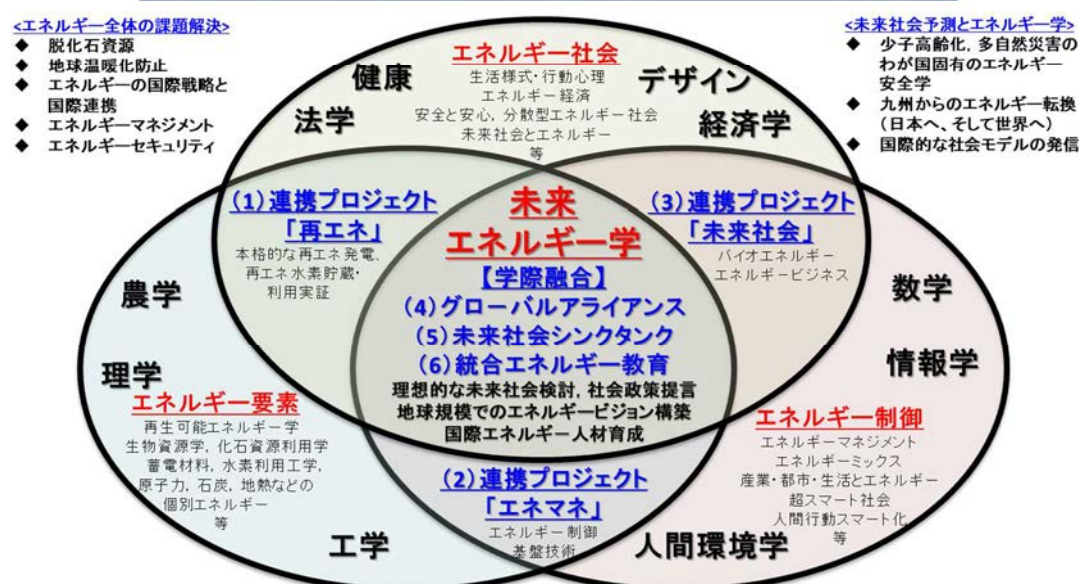


図 B.1.1.2.3.2 本 COI（エネルギー部会ほか）などの取り組みを全学展開して、あらゆる学術領域を巻き込んで大学を挙げて脱炭素化に取り組む九州大学「エネルギー研究教育機構」（総長が機構長、久枝 COI 拠点長が担当理事、佐々木 COI 副拠点長・エネルギー部会長が担当副学長）

1.1.2.3.3 エネルギー部会（東大と九大の連携）

エネルギー部会において、東京大学の松橋教授、現東京工業大学の太田教授をはじめ、民間企業研究者も含めた研究者間の信頼関係と強力な連携体制を構築できたことは、9年間、多くの困難を克服してきた本 COI エネルギー研究チームの最も大きな財産・レガシーである。

本報告書の図 4.1.8 に詳細を記述しているが、数年来、東大・松橋教授は九州大学客員教授を務め、佐々木エネルギー部会長が取りまとめる講義「エネルギー政策論」の一翼を担っている。研究面での連携のみならず、COI の東大サテライトの研究成果を九州大学の工学府の学生も学べる連携体制を取っている。このように、形式的でない実質的な連携体制がすでに出来上がっている。例えば、佐々木エネルギー部会長が産学連携WG主査を務める、「大学支援フォーラム (PEAKS)」

の産学連携セミナー（第1回、10月29日）で両者が基調講演を行うなど、我が国全体のグリーン分野の研究を盛り上げる取り組みなども共同で進めている。

さらに、東大サテライトで成果を上げて東京工業大学教授に栄転した大友教授との連携体制も強化する。これにより、エネルギー部会の連携ネットワークをさらに広げる。

1.1.2.4. 産業数学

数学の内部で固有の進化を遂げた数学理論の中には、社会の課題を抜本的に解決できる能力を秘めたものも多々あると思われる。その真価を引き出すためには、数学の素養を備え、社会課題に数理を見出して、問題解決に役立つ数学分野とそれを展開できる数学者が見通せる人材が必要である。

マス・フォア・インダストリ研究所（IMI）の「連携推進・技術相談窓口」に、COIで培ったバックキャスト型の社会課題解決を企画・実施するポストCOI研究の司令塔としての機能を持たせる。具体的には、産業数学会長がその役割を担う。連携推進・技術相談窓口では、未来社会が解決を必要とする重要課題を設定し、それに対応できる数学者を充てるだけでなく、解決に必要なノウハウを有する他分野研究者を学内外に求め、共同で技術開発を行いその社会実装を担える企業の協力をとりつけて、数学・他分野・企業研究者の連携体制を築く。ゴールに向けたロードマップを描いて、それに沿った研究・開発を進める支援を行う。

産業数学のポストCOI研究は、当初は、「数学テクノロジー先端研究部門」と「数理計算インテリジェント社会実装推進部門」に属するCOI担当者が担う。これらの部門は、もとより、産業界と連携して数学に基づく技術の社会実装を行うことをミッションとする。前者では、ビッグデータ処理の統計学の学理を深めながら、電力重要予測アルゴリズムとソフトウェアの性能向上をはかる。後者では、トポロジーを援用した人流データの分析を行って、ICT見守りで継続して行っている「まちの賑わい創出」プロジェクトに貢献する。なお、九州大学が提案した「総合知による社会変革をブーストする分野横断数理基盤形成事業～マス・フォア・インダストリ研究所産業数理統計研究部門新設」が文部科学省の2021年度概算要求事項に採用された。これの設置が実現すれば、ポストCOIの統計研究はこの新部門が担う。

IMIは将来の技術開発を担う数学・数理科学人材の育成もミッションとしている。2020年度に、IMIを中核とする文部科学省卓越大学院プログラム「マス・フォア・イノベーション」が採択され、2021年度よりこの教育プログラムが開始されている。これは、九州大学における全学横断型の5年一貫大学院プログラムで、IMIが運営を担う。ここには、現COI拠点の情報科学部会長が担当者として参画している。このプログラムを通じた分野横断型の連携を通して、ポストCOIの研究に大学院生を誘い、課題設定・バックキャストによる研究・開発、技術の社会実装という一連の流れを経験させる。

1.1.3 オープンイノベーションプラットフォームOIP

九州大学では、令和4年4月より、オープンイノベーションプラットフォーム（OIP）を新たに創設し、産連支援の専門業務の高度化と総合知を駆使した「学問」でしか探究できない未来の予見に対して、大学・企業・自治体などの多様なステークホルダーとともにビジョンを作り上げていく取組を確立する。なお、上記取組の実行には、COIの9年間で培った、「社会課題の探究から、その課題解決に向けたプロジェクト組成とプロジェクトマネジメント手法」の要諦を、OIPで立ち上げていく新規プロジェクトに対しても導入することで、社会実装に向けた取り組みの実現性を高めていく。

以下に取り組みを示す。

■取り組み

- ①フューチャーデザイン：学術分野を超えた産学での議論の場の提供、課題の探究からバックキャストした課題解決プロジェクトの組成

＜COIで得た知見の導入＞

・議論の場の設定に必要なステークホルダーのコミット：組織同士のコミットメントを強化させるために、大学・自治体・企業のトップ同士の合意形成を進めて、共通の会議体における取組みテーマとして昇華させる。

なお、福岡には地域の将来像を描き、国際競争力を強化するために成長戦略の策定から推進までを一貫して行う「福岡地域戦略推進協議会」という上述の条件を満たす産学官民一体のプラットフォームがある。本プラットフォームの活動の中に OIP のフューチャーデザイン事業を導入することで、地域社会のあり方の議論から、解決に向けたプロジェクトの組成までを実行する。

・フューチャーデザインの運営には、多様な専門家同士の議論を最終的に 1 つのテーマに落とし込むファシリテート能力やプロジェクト実行を見据えた座組み作り必要がある。本取り組みを推進するディレクターには、事業会社での事業運営経験や、シンクタンクにて戦略立案経験を持つ企業人材の採用を検討している。

②イシュードリブン：社会課題解決プロジェクトのプロジェクトマネジメント支援

＜COI で得た知見の導入＞

・プロジェクトリーダーの要請に応じて、プロジェクトの進捗支援、連携企業とのマッチング、実証試験時の自治体への相談・調整などを進めることで、事業化推進サポートを支援する。

・COI 終了後に組成される持続的共進化 COI 研究会のプロジェクトマネジメント支援を実行することで、COI で培ったプロジェクトマネジメントのメソドロジーを OJT で導入する。

・また、今後、OIP で支援する予定のプロジェクト「オープンサイエンスプラットフォーム（企業と自治体、九州大学の研究者や学生が、九州大学病院のビックデータや各企業が保有するデータを共有し、それらのデータに基づいたアイデアからイノベーションを創出する仕組み、工学研究院片山教授ら）」や「Circular Economy（資源の効率化を目指した経済発展システム、アジア・オセアニア研究教育機構 スコット・バレンタイン教授ら）」などのプロジェクトマネジメント支援についても、COI 研究会のメンバーとの相互意見交換を進めていくことで、9 年間の COI 経験を全学のプロジェクトマネジメント業務へと昇華させる。

・なお、実際の運営には、一般的なアドミニ支援に加えて、各プロジェクトに応じた支援については、企業においてプロマネ経験を持つメンバーを複数名アドバイザー採用してチーム運営や参画企業や自治体の巻き込みなど、実務的な支援が可能な体制で行う。

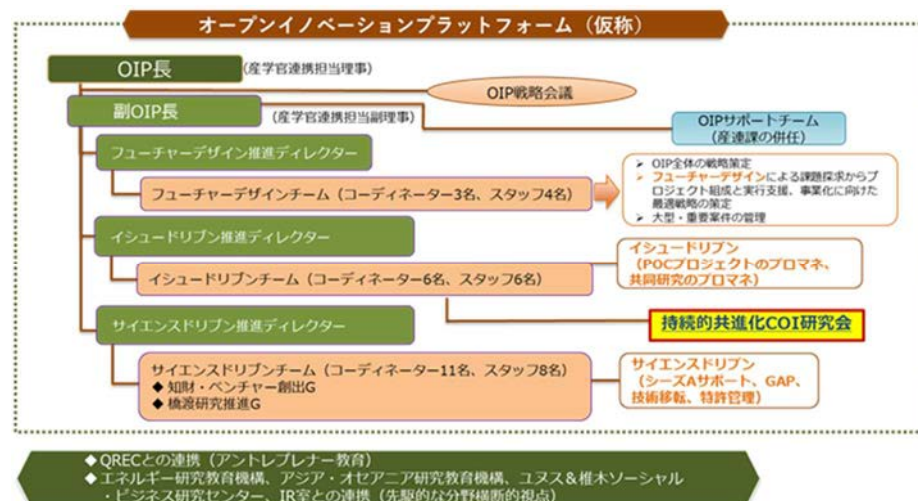
③サイエンスドリブン：知的財産の事業化に向けたマーケティング・事業開発

＜COI で得た知見の導入＞

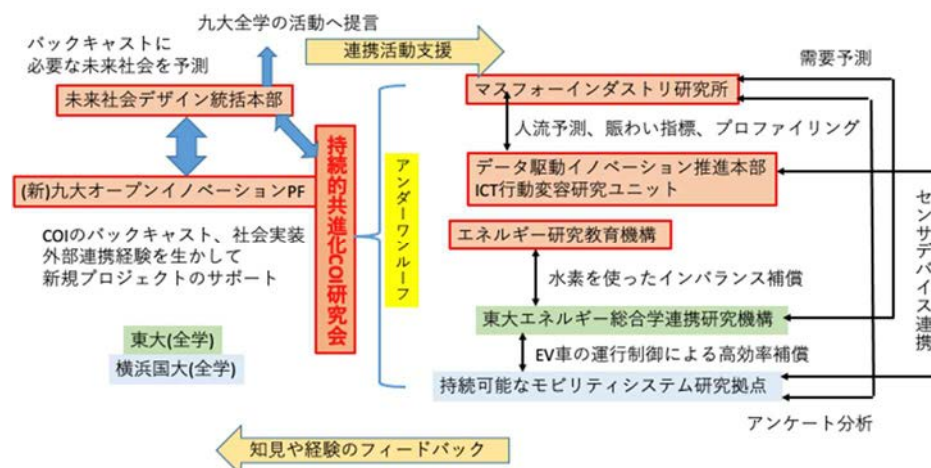
・将来的な事業化を見据えた特許戦略を立案して、その計画に則った特許群を構築することで、事業化する際の競争優位性を担保する。これにより、企業にとって参画することにより魅力のあるプロジェクトが構築される。OIP においても、知財管理活用機能を強化することで、COI で得た本戦略を実践していく。

体制・組織の名称	オープンイノベーションプラットフォーム（仮称）
体制・組織の位置付け・種別	本部内部部門
体制・組織の長となる者の職位	理事・副学長（産学官連携担当）
運営資金（財源）	総額規模 5.5 億円（2021 年度） 収入の構成割合の見通し（学内予算 100%）

全学の産学官連携支援組織である。フューチャーデザイン、イシュードリブン、サイエンスドリブンの3つの事業を進める。特に、フューチャーデザイン、イシュードリブンについては、COI9 年間で培ってきた「社会課題の探究から、その課題解決に向けたプロジェクト組成とプロジェクトマネジメント手法」の要諦を、OIP で立ち上げていく新規プロジェクトに対しても導入することで、社会実装に向けた取り組みの実現性を高めていく。



さらに、COI 拠点が終了後に継続する COI 研究会のプロジェクトマネジメント支援を行う。イシュードリブンのプロジェクトマネジメント支援の 1 つとして、「持続的共進化 COI 研究会」を位置付け、ICT 見守りの活動や九大におけるエネルギーの活動を含めてアンダーワンルーフの活動をサポートする。また、持続的共進化 COI 研究会の支援を進めていくことにより、OIP におけるアンダーワンルーフやバックキャストベースのプロマネ支援の経験やノウハウを蓄積していく。



九大のエネルギー研究は上記の図 B.1.2.2.3.2 のように、九州大学総長を機構長とする「エネルギー研究教育機構」が担い、ICT 見守りに関しては、データ駆動イノベーション推進本部の中に設立される ICT 行動変容研究ユニットがその活動母体となる。

B イノベーションが連続的に創出される自立的なプラットフォーム構築に向けた活動実績
1 自立的なイノベーション・プラットフォームの構築について

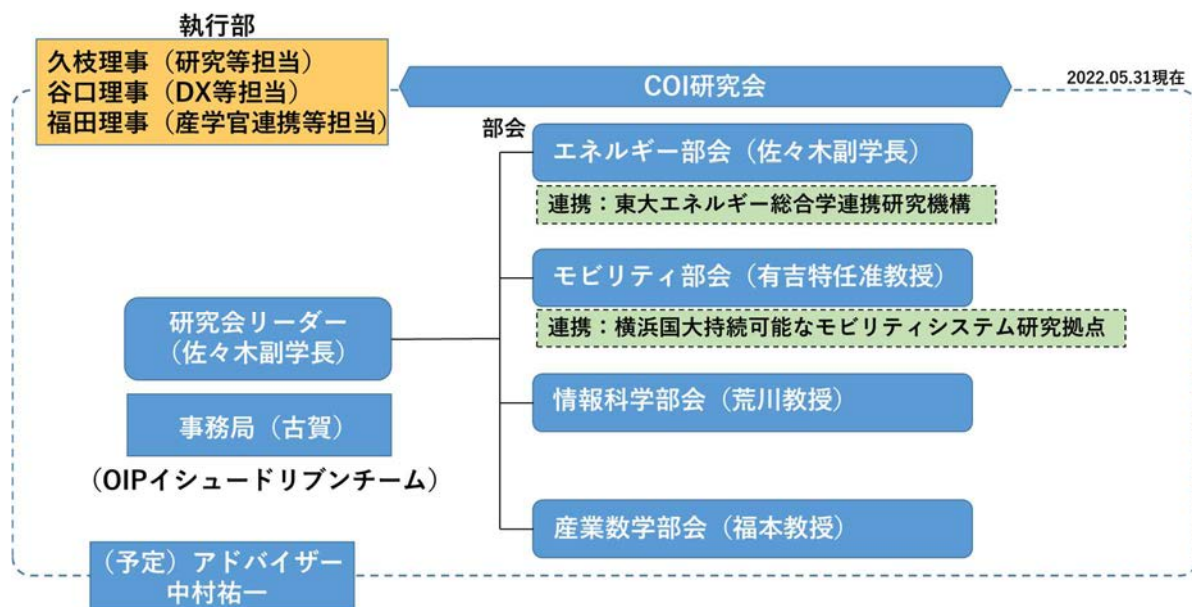


図 B. 1. 1. 3 持続的共進化 COI 研究会組織図

1.2 産学連携を効果的にするルール・運営方法の工夫

「3.3 拠点のマネジメント体制と仕組み・実績」にも記載している通り、当拠点では“共進化委員会”を定期的に行なわれ、産学連携を推進している。

「3.3 拠点のマネジメント体制と仕組み・実績」より抜粋

①共進化委員会

エネルギー、モビリティ、情報科学、産業数学など異なる領域の研究者が交わることで“共進化”が継続的に生まれる「共進化委員会」を設置し、これをベースに下記の特徴を持たせることにより、イノベーションが連続的に創出される、自立的なプラットフォームの設立準備をすすめている。

- ・ 社会実装のため産業界からのコンソーシアムへの参画
- ・ 学内の先端的研究組織との連携
- ・ 産業界やサテライト機関の研究者の常駐スペース確保
- ・ プロジェクトごとに産業界からプロジェクトリーダーを招致
- ・ 学内より最適者をリサーチリーダーに選任
- ・ プロジェクトマネジメント、知財戦略・管理、企業との契約等、組織対組織型の研究開発のためのマネジメント体制整備

本共進化委員会には、下記に示す従来の研究開発推進協議会、拠点統括協議会等も含み、原則1回/月の開催とする。

①-1 拠点統括協議会

本拠点においては産学官の連携を推進するため全研究ユニットおよび全参画機関が参加する拠点統括協議会を最低年1回開催する。また、プロジェクトリーダーが認めた場合、拠点統括協議会を书面会議によって行なわれることがある。

拠点統括協議会のミッション、構成員等は以下の通りである。

- ・ 拠点での運営方針、研究計画（年度、長期等）、成果等についての報告及び意見交換
- ・ 構成員：プロジェクトリーダー、研究リーダー、研究ユニット長、研究サテライト及び参画機関（企業等）の代表者

①-2 拠点研究開発推進協議会

拠点におけるユニット間連携を推進するために本拠点では、拠点研究開発推進協議会を設置し、センター・オブ・イノベーション(COI)拠点の中核組織として機能させる。協議会のミッション、構成員等は以下の通りである。

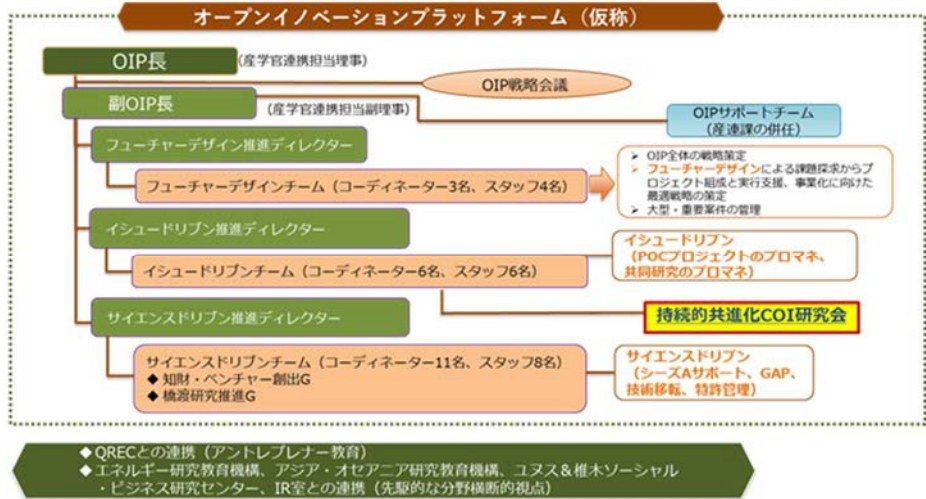
- ・ 拠点での各種方針、研究計画（年度、長期等）についての協議
- ・ 年度末（2月）、中間（10月）、その他プロジェクトリーダーが必要とするとき。
年3～4回開催
- ・ 構成員：プロジェクトリーダー、研究リーダー、研究ユニット長、研究サテライトの代表者、拠点運営部門から数名

COI終了後は、下記に示すように「持続的共進化 COI 研究会」(COI 研究会)が各 PF 間の連携をサポートし産学連携を推進する。

- ・ 東京大学はプラットフォームとして「エネルギー研究クラスター」を構築
- ・ 横浜国大は「持続可能なモビリティシステム研究拠点」プラットフォームを構築
- ・ 九州大学は数学、見守り、エネルギーの3つはそれぞれPFを構成
- ・ それぞれのPFはCOIでのバックキャスト、社会実装、外部連携経験を生かす
- ・ 各PFにおいてはCOIで連携した各企業や自治体との良好な関係を継続発展させていく
- ・ 九州大学オープンイノベーションプラットフォーム(OIP)傘下に「持続的共進化COI研究会」(COI研究会)を設置、COIの経験・知見を各大学にフィードバックして、バックキャストや社会実装の価値を還元する
- ・ COIの「暗黙知」であるバックキャストや大学連携、自治体連携などの経験はOIPに集約し形式知化を図る

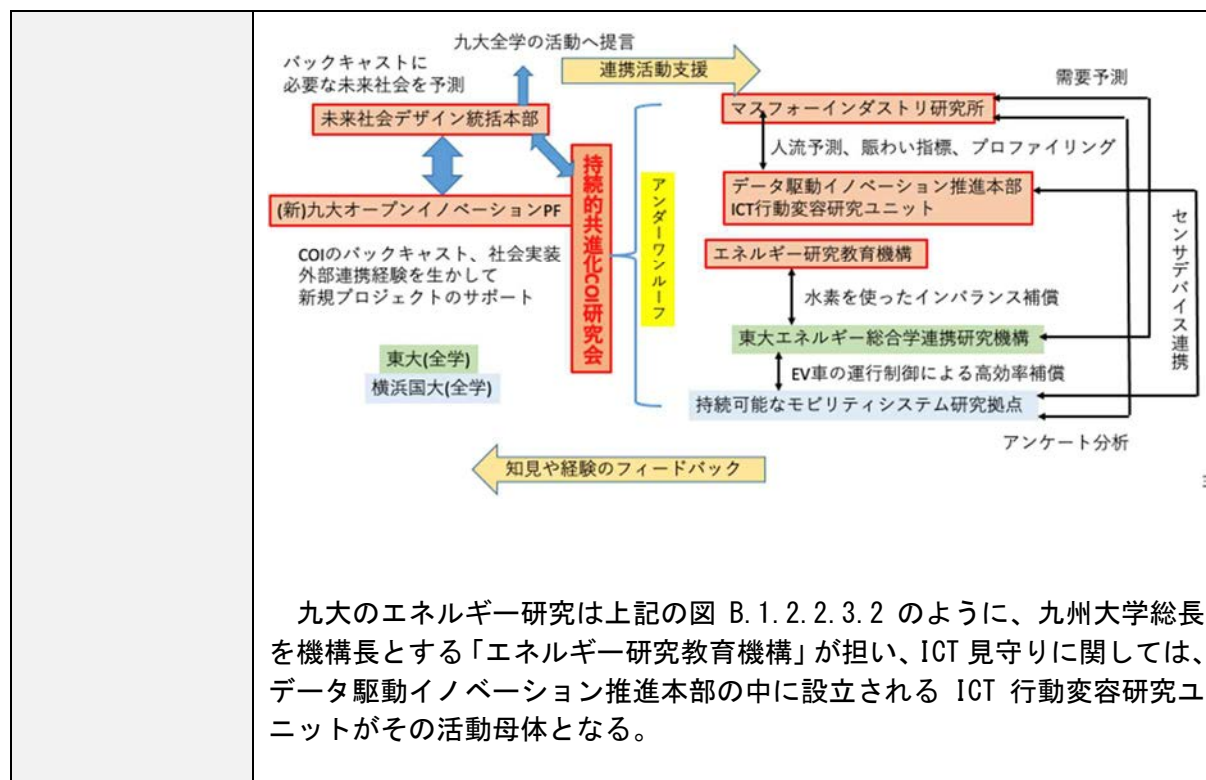
1.3 自立的なプラットフォームの構想・設計・稼働の状況

1.3.1 九州大学「オープンイノベーションプラットフォーム（仮称）」

体制・組織の名称	オープンイノベーションプラットフォーム（仮称）
体制・組織の位置付け・種別	本部内部門
体制・組織の長となる者の職位	理事・副学長（産学官連携担当）
運営資金（財源）	総額規模 5.5 億円（2021 年度） 収入の構成割合の見通し（学内予算 100%）
概要	全学の産学官連携支援組織である。フューチャーデザイン、イシュードリブン、サイエンスドリブンの3つの事業を進める。特に、フューチャーデザイン、イシュードリブンについては、COI9 年間で培ってきた「社会課題の探究から、その課題解決に向けたプロジェクト組成とプロジェクトマネジメント手法」の要諦を、OIP で立ち上げていく新規プロジェクトに対しても導入することで、社会実装に向けた取り組みの実現性を高めていく。  さらに、COI 拠点が終了後に継続する COI 研究会のプロジェクトマネジメント支援を行う。イシュードリブンのプロジェクトマネジメント支援の1つとして、「持続的共進化 COI 研究会」を位置付け、ICT 見守りの活動や九大におけるエネルギーの活動を含めてアンダーワンルーフの活動をサポートする。また、持続的共進化 COI 研究会の支援を進めていくことにより、OIP におけるアンダーワンルーフやバックキャストベースのプロマネ支援の経験やノウハウを蓄積していく。

B イノベーションが連続的に創出される自立的なプラットフォーム構築に向けた活動実績

1 自立的なイノベーション・プラットフォームの構築について



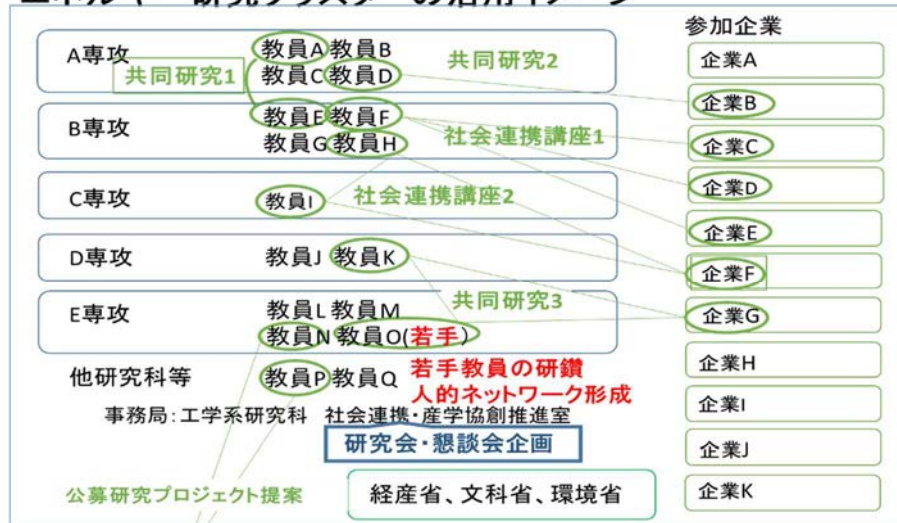
1.3.2 東京大学「エネルギー研究クラスター」

(i) エネルギー研究クラスター

体制・組織の名称	エネルギー研究クラスター
体制・組織の位置付け・種別	大学研究推進機構公認の分野横断型研究組織
体制・組織の長となる者の職位	教授
運営資金（財源）	エネルギー研究クラスターは、工学系内部の組織で、工学系の社会連携・産学協創推進室メンバーによって運営されており、ここから企業との共同研究や外部資金の獲得につながった事例はあるものの明確にエネルギー研究クラスターの獲得資金と判別することは難しい。よって、総額を具体的に書くことはここでは控える。 東京大学大学院工学系研究科 社会連携・産学協創推進室メンバーとエネルギーの研究・教育に携わる教員によって構成される組織で、運営資金の特定は難しいが、上記推進室を中心に適宜工学系研究科の資金と推進室所属の URA などの人的資源を用いて運営されている。

概要

エネルギー研究クラスターの活用イメージ



NEDO, JSTなどの外部資金へプロジェクト提案、社会連携講座設置

■基本構想

- (1) 特定のエネルギー種やエネルギー技術に偏ることなく、常にエネルギー、およびエネルギー技術全体を包括する。
- (2) 専攻や業種の垣根を超えたエネルギー関連の人材育成や教育を推進する。
- (3) 国際的な連携と将来展望を視野においた共同研究をすす推進する。

■エネルギー研究クラスターの活動

- (1) 共同研究などの連携
 - ・国内およびMITなど海外の大学、産業界との連携
 - ・次世代エネルギー産学連携研究会(発足済み)
 - ・持続的共進化地域創成拠点終了後、九州大学、横浜国立大学と連携して、プラットフォーム構築に貢献
- (2) 人材育成・教育
 - ・専攻の垣根を超え、エネルギー全体を俯瞰する人材育成、教育
 - ・エネルギーに関心のある社会人向けの教育
- (3) 東京湾岸ゼロエミッションイノベーション協議会(経済産業省)への幹事としての参画

(ii) エネルギー総合学連携研究機構

体制・組織の名称	エネルギー総合学連携研究機構
体制・組織の位置付け・種別	東京大学の公式な部局間連携研究機構であり、全学の組織と位置付けられる
体制・組織の長となる者の職位	教授
運営資金（財源）	工学系から支給される運営費交付金および各種外部資金

概要

本 COI 事業におけるエネルギー部会の活動を中心に、九州大学、横浜国立大学の関係教員とも連携し、エネルギーに関連する研究・事業の継続、カーボンニュートラル社会の実現を目指す



■基本構想

エネルギー問題に関する社会からの強い要請に応え、安心安全で豊かな脱炭素社会を実現する課題解決法を開発・実装すると共に、文理融合の新たな学理を創成する。

(1) 研究：エネルギー分野の新たな価値創造に挑む学術の戦略的展開 に対して、卓越した研究者が集う。社会におけるエネルギーの諸問題や気候変動に関する対応策を企画、開発する組織として価値創造の中心となる。

(2) 教育：現状の社会課題を抽出・分析すると共に、望ましい未来社会をデザインする。その未来ビジョンから技術的課題をバックキャストする思考法を涵養すると共にエネルギー総合学の学理を創成し、人材を育成する。

(3) 社会連携：エネルギーに関する社会からの強い要請に応え、文理融合による革新的で実践的な研究を実現すると共に、産学官の連携により成果の社会実装を可能にする強力なプラットフォームを形成する。

1.3.3 横浜国立大学「持続可能なモビリティシステム研究拠点」

【横浜国立大学】

横浜国立大学サテライトにおける自立的なイノベーション・プラットフォームの構築活動の実績は以下の通り。

組織の名称	持続可能なモビリティシステム研究拠点
組織の位置付け・種別	大学研究推進機構公認の分野横断型研究組織
組織の長となる者の職位	特任准教授
運営資金（財源）	総額規模：73,611 千円 収入の構成割合の見通し：受託研究費 49%、民間資金 23%、外部資金（競争的資金等） 38%
体制（マネジメント体制を含む）	・都市と交通研究室 - 有吉 亮（都市イノベーション研究院 特任准教授 /Local iST 株式会社 代表取締役 交通計画・博士（工学）） - 松行 美帆子（都市イノベーション研究院 教授 都市計画・博士（工学）） - 田中 伸治（都市イノベーション研究院 教授 交通工学・博士（工学）） ・都市計画研究室 - 高見沢 実（都市イノベーション研究院 教授 都市計画・博士（工学）） - 野原 卓（都市イノベーション研究院 准教授 都市計画・博士（工学）） ・都市環境計画研究室 - 佐土原 聡（都市イノベーション研究院 教授 都市環境計画・工学博士） - 吉田 聡（都市イノベーション研究院 准教授 都市環境計画・博士（工学）） - 西岡 隆暢（都市イノベーション研究院 非常勤研究員 /Local iST 株式会社 取締役 都市環境計画・工学修士） ・Y-GSA - 藤原 徹平（都市イノベーション研究院 准教授 都市デザイン、建築デザイン・工学修士）
概要	国連の持続可能な開発目標（SDGs）の1つである「11. 住み続けられるまちづくり」の達成に資する持続可能な交通システムを実現するため、①交通手段の選択支援システム、②自家用車を代替し得る新たな交通手段、③交通の構成要素の空間デザイン、④交通インフラの機能保持と運用効率化、⑤TOD 型まちづくりと公共交通計画、⑥都市・交通データ連携基盤 から構成される包括的な計画手法を構築し、実証実験に基づく手法の研鑽を通じて、新たな枠組みや事業としての社会実装につなげる。このうち、①、②、③、④は COI による研究開発成果の直接の受け皿となる取り組みであり、COI における研究課題（M①：協働・共有型モビリティ、M②：MaaS 対応型マルチモーダル情報提供、M③：道路維持管理支援）と完全に整合している。 将来的には、学術的な成果展開による外部資金の獲得に加え、共同研究機関からの研究資金の総額を一定水準まで高めて安定化させ、持続可能な拠点運営体制に移行する。共同研究機関は COI プログラムの参画機関を基本とし、研究開発が進展する過程で、新たな機関と連携体制を構築し、本拠点の活動をハブとしたパートナーシップを拡充していく。

B イノベーションが連続的に創出される自立的なプラットフォーム構築に向けた活動実績

1 自立的なイノベーション・プラットフォームの構築について

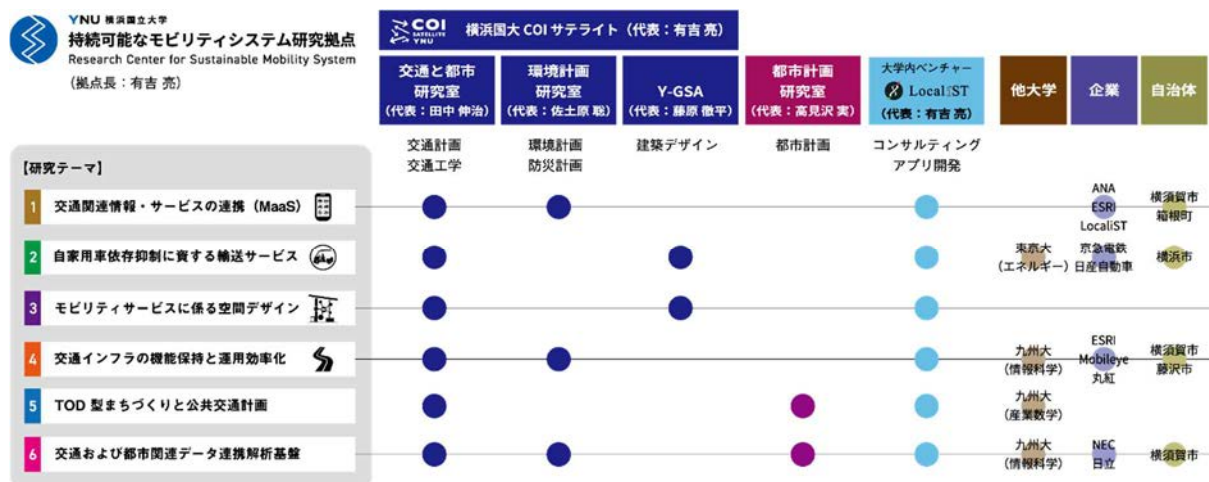


図 B. 1. 4. 3. 1 横浜国立大学サテライトの COI 後継組織「持続可能なモビリティシステム研究拠点」

2 若手を中心とする多様な人材の活躍促進について

2.1 次代を担う若手等の多様な人材の育成・活躍促進の状況

エネルギー部会では佐々木部会長が実施責任者、本部会の林教授が主要担当者となって、脱炭素エネルギー分野の博士人材育成を目指す「脱炭素エネルギー先導人材育成フェローシップ」プログラムが、2021年に採択された（図B2.1.1）2021年4月から文理を超えた九州大学の全学府・全専攻から脱炭素エネルギー研究を進める博士課程生に経済的な支援を行うとともに、横断的なエネルギー研究教育を推進する全学組織であるエネルギー研究教育機構の関連メンバーを交えて、毎月「合同ゼミ」を開催して、博士課程生の研究を多様な分野の教員がサポートする取り組みを開始している。本COIのエネルギー部会に関わった教員やCOI事業での連携企業からの客員教授が若手研究者を育てる取り組みである。COIで培った産学ネットワークを次代を担う若手研究者の育成にも活用している。2050年のカーボンニュートラルを指導する若手世代の育成は、ポストCOIの取り組みの中で重要な取り組みと考えている。



図B.2.1.1 本COI事業等で培った産学ネットワークや研究チームが連携して進める博士人材育成プログラム「脱炭素エネルギー先導人材育成フェローシップ」
(実施責任者:佐々木一成副学長、実施担当者:林灯教授ほか)

モビリティ部会では横浜国立大学理工学部数物・電子情報系学科情報工学 EP 吉田顕策、同学部建築都市・環境系学科都市基盤 EP 永矢悠介氏の協力をあおぎ、アプリ開発の主たる業務を協働。吉田は、本学卒業後、COIプログラム非常勤研究員として、引き続き参画・着任。

プログラム期間中を通して、ほぼ全ての実証実験に本学学生が参加。プログラム技術開発だけでなく、データ解析・可視化手法などにおいても、研究実績・論文など多数。これらの活動を受けて、参加学生の一部は実証実験で協働した参画機関に就職。

COIプログラム参加時、非常勤研究員として着任した有吉亮は、期間中に特任准教授に就任。後にサテライトリーダーとなる。他にも、ヨコスカ・スマートモビリティ・チャレンジのタスク

フォースチーム構成員に就任など、地域貢献事業に従事。また、C0I プログラム終了後のプロジェクト継続を想定し、C0I 発ベンチャーとして LocaliST 株式会社を設立、代表取締役就任。参画機関と引き続き連携を強化、各テーマのプロジェクトを展開。

情報科学部会では、本拠点に参画する若手研究者が、ビジョンが掲げる研究課題を自身の研究テーマとし活動している。研究開発環境については、参画する教員の各研究室に所属し、C0I 外のゼミなどにも参加し、十分な研究環境を構築することができた。今後の C0I 活動に向けて若手育成の場が整いつつあるが、大学としては、テニュアトラック制度による雇用を推進することが課題である。

情報科学部会では、14 名の若手研究者を採用し、全体で 101 名（内学生 74 名）の若手研究者が研究活動を行なった。これは、情報科学部会全体の約 90%であり、プロジェクトの推進の中心的な役割を果たした。有期雇用者のうち、C0I を退任後、無期雇用に転換したものは少ないものの、他大学や公益財団法人の研究者として活躍を続けている。主な研究者の動向としては、下記の通りである。

C0I 発足当初より、情報科学全般の研究開発のために准教授を 1 名採用した。特に公共空間におけるカメラを活用した市民サービスの研究開発に従事し、社会実証実験を推進した。現在は、九州大学とクロスアポイント制度を活用し、C0I の参画機関でもある公益財団法人九州先端科学技術研究所に在籍し、産学連携活動を推進すると共に、公共空間における AI 防犯カメラの普及に尽力している。

第 1 フェーズでは、人流データプラットフォーム全般の研究開発を実施するために、IPA 未踏ソフトウェア事業にて、天才プログラマー/スーパークリエータの認定を受けた若手研究者を学術研究員として雇用した。C0I 退職後は、公益財団法人に転籍した後、現在は、九州大学学術研究員として、プラットフォーム構築に関する研究開発に従事している。

また、人流データ等のデータの異常検知に関する研究開発のために、ドイツ在住の若手研究者を招聘し、特任助教として採用した。現在、ウルム大学（ドイツ）の教授としてデータサイエンスの領域で国際的な研究活動を進めている。

さらに、電力見守りサービスの社会実装に関する研究開発のために学術研究員を 1 名雇用し、後に特任助教に昇進し、電力異常検知などの研究成果を特許化するなど活躍した後、同一機関のエネルギー研究教育機構の准教授に昇進した。現在も C0I に参画し、賑わい創出にかかる人流分析の研究開発に従事している。

第 2 フェーズから第 3 フェーズにかけて、プラットフォームの保守運用のため、テクニカルスタッフとして、若手研究者を雇用した。並行して博士課程に進学し、学位取得後、岡山大学の特任助教として活躍している。

第 3 フェーズから、賑わい人流データの分析に関する研究開発のために、エジプトの大学の助教のポストを持つ若手研究者を学術研究員として雇用し、新しい賑わいの指標に関する理論の構築に尽力し、特許申請まで実施した。

全期間において、学生の参加者は 74 名であり、そのほとんどが企業に就職をしている。

マス・フォア・インダストリ研究所（IMI）の大きなミッションは、数学を用いた産学官連携で、産業界からのニーズに導かれることによって、数学の内容を深化させることを狙っている。本物の数学の深化は単に産学の研究者が議論を繰り返すだけでなく、数理技術を現場で利用できるまで連携を深めることによって初めてもたらされる。産業界と大学との協働によって、学理に裏打ちされた技術を社会実装し、さらに、その普及・活用を図ることによって、近未来社会を変えるところをゴールとして設定し、バックキャスト型で研究を進めていく C0I プログラムの建付けは、数学の研究者が本格的な産学連携を学べる絶好のプログラムであった。部会リーダー（兼研究リーダー）自ら、若手研究者に対して C0I プログラムでの活動に対する動機付けを行い、以下詳細に示すように、多様な人材の育成を果たすことができた。

廣瀬 慧：30 代半ばで、若手准教授として採用した廣瀬は、数理的な理論色の濃い統計学が専門で

あったが、計算機能力にも長け、日本計算機統計学会論文賞（2015）を受賞した。採用と同時に C0I プログラムに参加し、電力需要予測という新しい問題に出会った。従来の数理統計ではあまり取り上げられなかった問題であり、ビッグデータを扱うゆえ、廣瀬が得意とする「スパース推定」が活かせる。この出会いによって、統計学の新たな分野を開き、かつ、オリジナルなスパース推定によるモデル決定を計算機ソフトウェアとして実装した。「スパース推定」をソフトウェアとして実装できる研究者は希少で、廣瀬が HP で公開するソフトウェアは、インターネットを通じて国内外で大きな注目を集めている。このソフトウェアおよびアルゴリズム関連で二件の特許出願を行い、令和 3 年 9 月末時点において一件の権利化を果たした。

鍛冶静雄：幾何学が専門の純粋数学者であるが、好んで他分野や産業界の研究者と連携し。前任校時代から、JST さきがけ研究者として活躍していた。IMI に准教授として着任すると同時に C0I プログラムに参加し、第 2 フェーズ当初からの課題であった、街の「混雑」と「賑わい」の区別に興味をもち、情報科学部会と共に人流データの分析に乗り出した。データが十分ではない中、人の密度だけではなく、移動速度の情報も取り込むことによって、「混雑」と「賑わい」の区別を可能にする指標（Nigiwai 指標）を編み出すことに成功した。Nigiwai 指標は、単に「混雑」と「賑わい」を区別するのみならず、例えば生体における血流の動態判定への展開も可能と考えられ、学理としての今後の発展が期待される。これら数学の異分野融合における顕著な活躍によって、栄えある藤原洋数理科学賞奨励賞（2020 年度）を受賞し、短時間で IMI 教授への昇進を果たした。

山口尚哉・和田啓吾：両名は大学院数理学府博士課程修了後、C0I プログラムの学術研究員に採用されて、学位の専門とは異なる分野の研究を実施し、「二足のわらじ」によってキャリアパスを大きく開いた例である。山口は表現論で学位を取得した純粋数学者で、和田は流体力学分野で学位を取得した応用数学者である。両名は、学位取得直後から、廣瀬の研究室のセミナーに参加しながら統計学の勉強を 0 から開始し、短期間で先端的な数理統計の手法をマスターし、統計学の専門レベルでも高い水準で、かつ、当拠点が取り組む社会課題解決に貢献する成果をあげた。

山口は、学術研究員就任から数カ月で、JEPX での電力調達のインバランスを回避しながら最適化を行う支援のアルゴリズムを考案し、それをソフトウェアとして実装した。この顕著な能力と業績によって、長崎大学関係者に乞われて、助教して情報データ科学部の新規立ち上げ（2020 年設置）に参画し、その後 1 年経たないうちに宮崎大学に准教授に昇進と、とんとん拍子で出世を果たしている。

和田は山口の後任として、学術研究員に採用され、同じく、廣瀬のもとで統計学を 0 から学び、わずかな期間で、電力需要予測において、大手企業の汎用ソフトウェアにはない「イベント情報を取り込めるモデリング」のアルゴリズム構築に貢献し、予測ソフトウェアとしての優位を検証して、学術論文をものにした。その高い能力が目にとまって、1 年半後には、金沢大学に助教として異動した。

朴炯基（PARK Hyeongki）：同じく、「二足のわらじ」で能力を大きく伸ばしている。朴は大学院数理学府において離散可積分系の研究で学位を取得した応用数学者である。和田の後任として、C0I プログラム学術研究員に採用され、鍛冶や情報科学部会の研究者のもとで、街の賑わい創出の課題に取り組んでいる。短期間でベクトル場のトポロジーと確率論をマスターし、人流データの揺らぎも取り込んだ新たな「賑わい指標」を打ち建てた。採用時から新型コロナウイルスが蔓延していたので、人流抑制が求められるが、それにも対処できる。この業績は、朴の能力に厚みと深みを付与するものである。

安井雄一郎：グラフ計算とビッグデータ最適化における高い能力に期待して、第一フェーズにおいて学術研究員に採用した。当初のビジョンである「都市 OS」構築に対して、若手の中心メンバーとして活躍し、日経 BP 社に記者として就職し、社会の第一線で活躍する人材に育っている。

2.2 人材の育成・人材循環整理表

○人材の育成、人材循環整理表

※大学等：大学・研究機関 単位：人

(人材の育成等の状況)		合計 (H25-R3)
昇格	同一機関	10
	他機関	2
定年制の取得	同一機関	3
	他機関	4

(出向・クロスアポイントメント等の人事交流状況)		合計 (H25-R3)
大学等→大学等		0
大学等→企業		0
企業→大学等		3

※転籍出向や兼業は含みません。

(転籍等の人材流動の状況)		合計 (H25-R3)
大学等→大学等		7
大学等→企業		5
企業→大学等		0

(外国機関との滞在型研究交流の状況)		合計 (H25-R3)
短期	派遣	0
	受入	8
2ヶ月以上	派遣	3
	受入	6