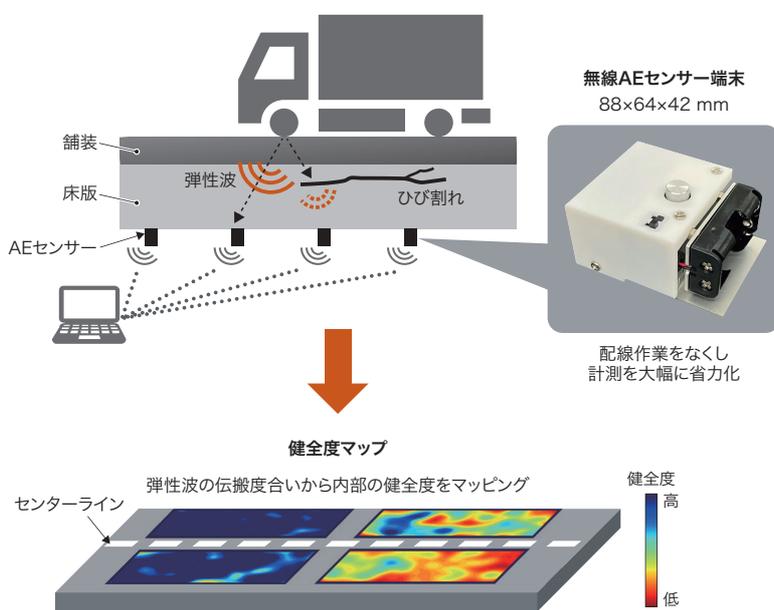


床版内部健全度マッピング手法による 橋梁の健全性評価サービス

研究開発
インフラレジリエンス



*橋梁上を通過した車両の台数当たりを検出された弾性波源発生点の密度

床版内部健全度マッピングの概要

Overview of internal soundness mapping for bridge decks

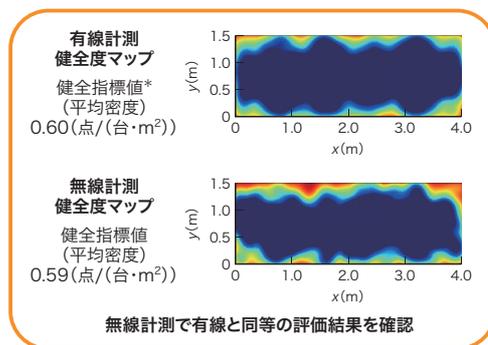
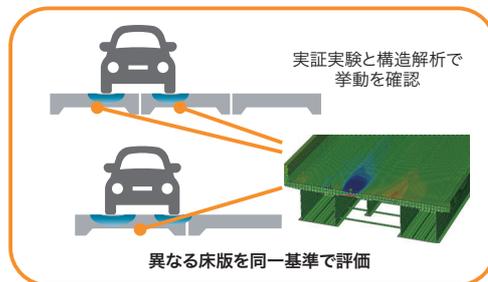
近年、老朽化が進む社会インフラ構造物の適切な維持管理が、重要な社会課題となっている。当社は、維持管理の高度化に向け、AE (Acoustic Emission) センシング技術を用いて構造物内部の健全性を評価する手法として、床版内部健全度マッピング (国土交通省「点検支援技術性能カタログ」に掲載済み) を開発してきた。今回、東芝プラントシステム (株) でこの手法を用いたサービスの提供を開始し、高速道路橋梁 (きょうりょう) のコンクリート床版を対象とした健全性評価業務を受注した。

床版内部健全度マッピング手法は、橋梁床版の下面にAEセンサーを設置し、橋梁上を車両が通過する際に発生する微小な弾性波の伝搬度合いを計測・分析することで、非破壊で橋梁床版内部にあるひび割れなどの損傷状態の分布を把握する。更に、床版内部の損傷状態を健全度マップとして可視化することによって、補修対象の優先順位付けや、補修効果の確認などを、より効果的に行える。

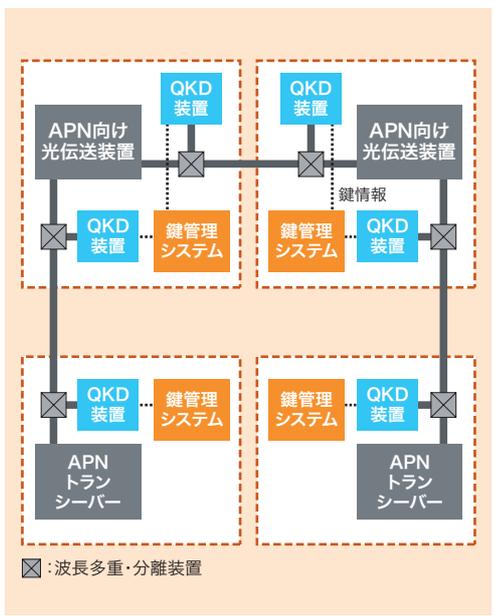
補修対象の優先順位付けなどの用途では、異なる床版の評価結果同士を同一基準で定量的に比較する必要がある。評価結果は温度や舗装の種類の影響を受けるため、補正を行っている。同様に、この手法で利用する弾性波は、車両荷重による舗装のひずみ方に影響されるため、床版の構造的な配置や車両通過位置が異なる床版でひずみ方が異なる場合、評価結果に差が出るおそれがある。そこで、実証実験と構造解析を通じて、床版配置と車両通過位置の影響を明らかにし、定量的な比較が可能な条件を把握して、評価技術を確立した。

またサービス提供にあたり、センサー配線作業といった計測前後の煩雑な現場作業の負荷を軽減するため、独自開発した無線AEセンサー端末を導入した。実証実験では、従来の有線計測と同等の評価結果が得られるように端末動作を最適化し、端末の実用化に成功した。計測の無線化により作業効率が大幅に向上し、広範囲の床版を対象とした計測サービスの実現につながった。

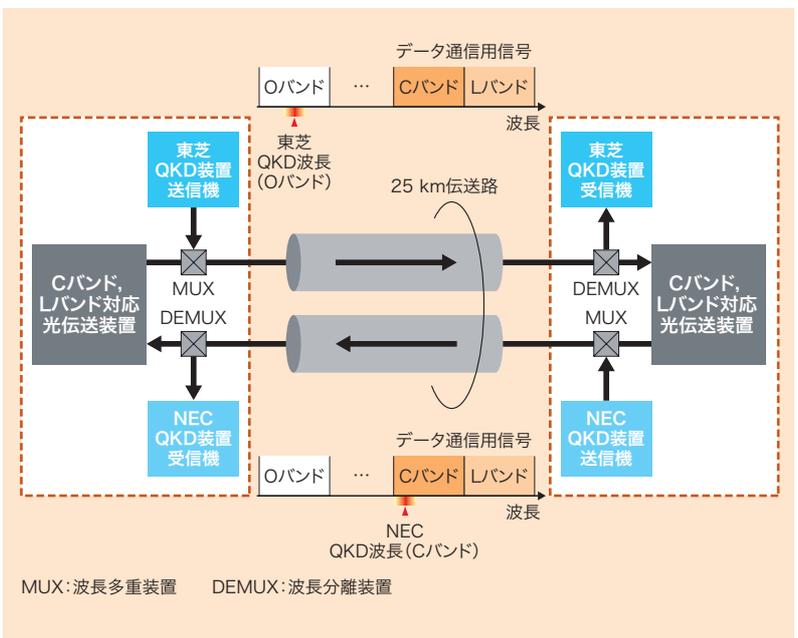
今後もサービスの展開を進め、インフラ構造物の維持管理の高度化に貢献していく。



通信キャリア向けオール光ネットワークへのQKD機能の統合に向けた実証



IOWN Open APNとQKDネットワークの統合
 Example of Innovative Optical and Wireless Network (IOWN) Open All-Photonic Network (APN) and quantum key distribution (QKD) network integration



QKDと大容量光伝送システムとの共存実験の構成
 Experimental setup to demonstrate coexistence of QKD and high-capacity optical transmission systems

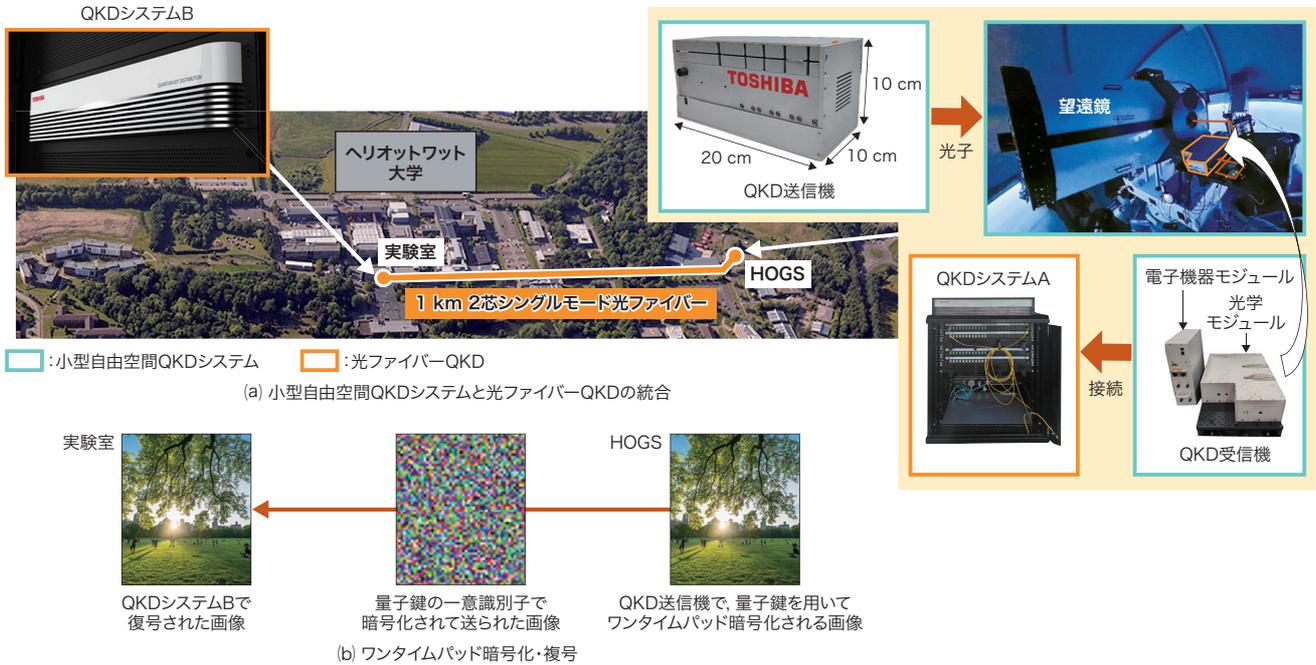
量子鍵配送 (QKD) は、量子の原理を用いることで盗聴不可能な暗号鍵を配送する技術である。このQKDの信号を、次世代情報通信基盤として期待されるIOWN[®] (Innovative Optical and Wireless Network)^(注1)のオール光ネットワーク Open APN (All Photonic Network)^(注2)向けのシステム環境で多重伝送し、鍵生成を行う実証実験に世界で初めて^(注3)成功した。この実証では、Open APNの構成機器となる光伝送装置を用いた大容量光伝送システムをNICT (国立研究開発法人情報通信研究機構)の量子ICT協創センター内に構築し、通常の高速度大容量データ通信に加えて、当社と日本電気 (株) (以下、NECと略記)が持つそれぞれ異なる2方式のQKD用の信号を同一伝送区間で多重伝送する実験を行った。

実験では、QKD用の信号として微弱な量子チャンネル信号、及びそれに合わせて送受信される制御チャンネル信号を用いた。また、高速大容量データ通信信号として、通信キャリアの基幹系光ネットワークでの使用が想定されるCバンド及びLバンドの波長帯全域にわたる出力+17 dBm、伝送速度47.2 T (テラ: 10¹²) ビット/sに相当するダミーの信号を用いた。これらの信号を25 kmのファイバー区間で共存伝送させた。それぞれの信号の波長が干渉しないように波長を割り当てて多重伝送を行うことで、二つの異なるQKD方式による同時鍵生成と高速大容量データ通信信号のエラーフリー伝送の両立を確認した。

この実証は、QKD信号専用の光ファイバーインフラを新たに構築することなく、IOWN Open APNなどの通信キャリアの基幹系光ネットワークとQKDネットワークを統合できる可能性を示すものであり、将来的に広域かつ低コストで量子暗号通信サービスをユーザーに提供することにつなげていく。この研究成果は、総務省・ICT重点技術の研究開発プロジェクト「グローバル量子暗号通信網構築のための研究開発」(JPMI00316)によって実施した内容を含む。

(注1) 光を中心とした革新的技術を活用し、高速大容量通信並びに膨大な計算リソースなどを提供可能なネットワーク・情報処理基盤の構築。
 (注2) 国際団体 IOWN Global Forum において機能アーキテクチャー策定が進められている低消費電力、高品質・大容量、低遅延の光ネットワーク。
 (注3) 2025年7月時点、当社調べ。

衛星 QKD と地上の光ファイバー QKD とのシームレスな統合に向けた実証



衛星 QKD と光ファイバー QKD の統合に向けた実証システムの構成
Demonstration system configuration for integrated satellite- and fiber-based QKD

衛星を経由した QKD (衛星 QKD) は、大陸をまたぐグローバルな量子セキュアネットワークを確立する有力な方法である。これまでに、衛星-地上間の衛星 QKD の実現可能性が示されている。衛星への搭載や地上局への設置を考慮すると、打ち上げコストや設置場所の制約を克服するために、機器の小型化・軽量化・低消費電力化が大きな課題となる。また、実用化には地上の光ファイバー QKD とのシームレスな統合が必要である。

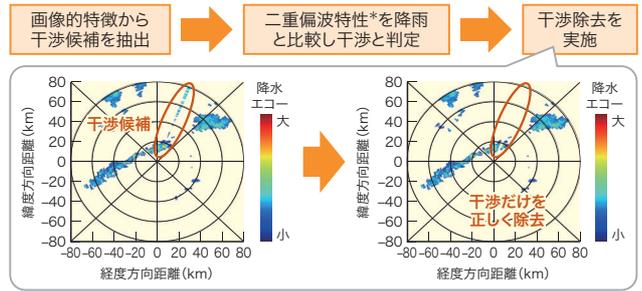
当社は、衛星-地上間をリンクする小型自由空間 QKD システムを開発した。QKD 送信機は 10 (奥行き) × 20 (幅) × 10 (高さ) cm、質量 2 kg、消費電力 16 W であり、GHz クロック動作の量子送信機として、世界最小・最軽量・最低消費電力^(注)である。QKD 受信機は、単一光子検出器を含む 30 (奥行き) × 40 (幅) × 10 (高さ) cm の光学モジュールと電子機器モジュールで構成した。QKD 送信機・QKD 受信機共に SoM (System on Module) を採用し、QKD プロトコル、鍵処理アルゴリズムの実行、及び ETSI GS QKD 014 準拠の鍵管理の機能を持つ。小型自由空間 QKD システムを、スコットランドのヘリオットワット大学のハブ光学地上局 (HOGS : Hub Optical Ground Station) に設置した。衛星からの送信を模して QKD 送信機の信号を光子として望遠鏡に入射し、QKD 受信機で受信することで、リアルタイムでの量子鍵生成を確認した。

更に、衛星 QKD と地上 QKD の相互運用性を実証するため、光ファイバー QKD と統合した。HOGS と、HOGS から 1 km 離れた同大学内の実験室に、当社製品の QKD システム A, B を設置し、その間を光ファイバーでつないだ。更に、HOGS の QKD システム A と QKD 受信機を接続し、自由空間チャンネルとファイバーチャンネルの両方を介して、リアルタイムに量子鍵を生成・中継した。このシステムは 4 日間安定に稼働し、画像のワンタイムパッド暗号化・復号に成功した。この成果は、衛星 QKD と地上 QKD の統合によるグローバルな量子通信ネットワーク構築に向けた基盤となる。

この研究は、イギリスの Innovate UK (プロジェクト 10089202) を通じて資金提供を受けた。

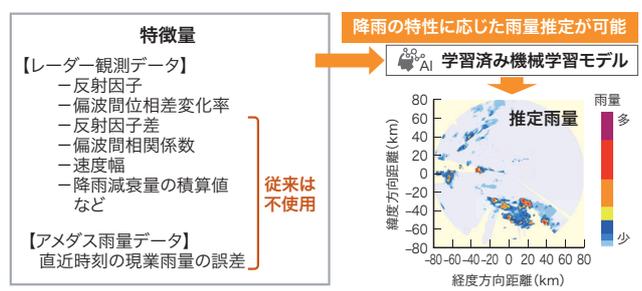
(注) 2025 年 12 月現在、当社調べ。

■ 現況降雨量サービス向け気象レーダーデータ解析技術



*水平・垂直の二つの異なる偏波を使うことで得られる特性。反射因子差や偏波間相関係数など。

画像的特徴と二重偏波情報を併用する干渉除去手法
Weather radar interference removal using combined image features and dual-polarization information



機械学習モデルによる雨量推定手法
Rainfall estimation using machine learning models

気象レーダーの観測データを用いて地上降雨量をリアルタイムに提供する現況降雨量サービスでは、レーダー観測データに含まれる干渉波などの不要信号を除去して品質改善する前処理と、前処理後のデータから降雨量を推定する後処理が必要である。

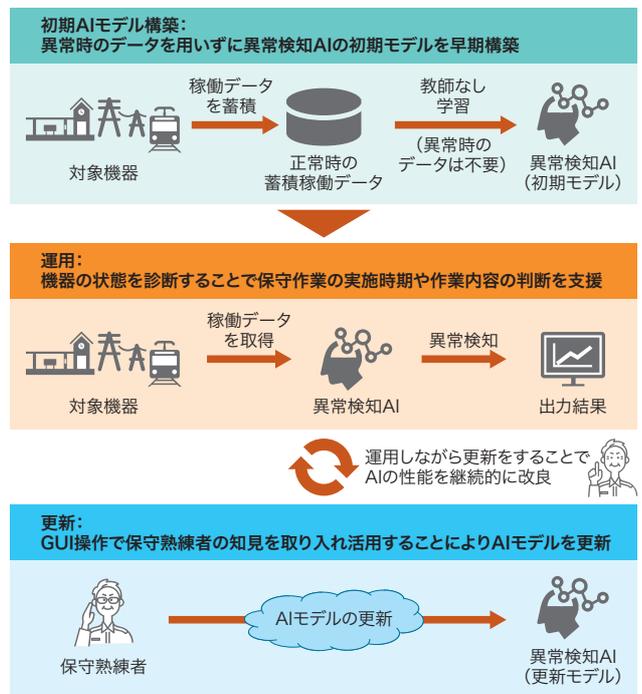
前処理では、必要な降水エコーを干渉除去の際に誤って除去してしまう問題点を、干渉波の画像的特徴と、干渉波と降水エコーとの間の二重偏波特性差を用いて改善する干渉除去手法を考案した。これを干渉が存在する代表的事例で検証した結果、誤った除去がないことを確認した。

後処理では、台風・ゲリラ豪雨・前線性降雨など多種多様な降雨状況での精度向上という課題に対して、レーダー観測データで従来不使用であった要素や、過去のアメダス雨量データなどを特徴量に加えた機械学習モデルによる雨量推定手法を開発した。これにより、対象とした降雨状況の雨量推定において、おおむね全てで、実測に対する推定値の二乗平均平方根誤差が、従来手法に比べ20%以上改善できた。

今後は両手法共に、クラウドサービスに実装して活用する。

総合研究所 インフラシステムR&Dセンター

■ 保守熟練者の知見を活用した異常検知AIの継続改良技術



異常検知AIの継続改良の概要
Overview of continual improvements to anomaly detection artificial intelligence (AI) models

インフラ機器の保守効率化実現に向けて、機器の状態に応じて保守作業を行う状態基準保全 (CBM) が注目されている。

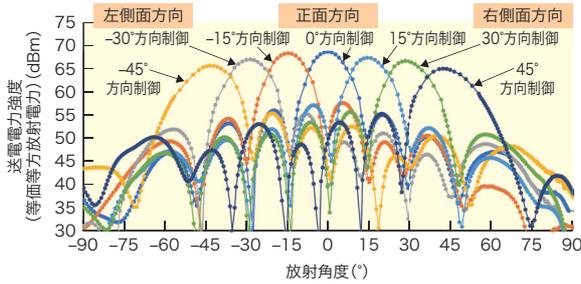
当社は、CBM向けに、機器の稼働データを学習することで異常を検知するAI技術を検討している。しかし、発生頻度の低い異常時のデータを学習に十分な量まで収集するのは困難なため、保守熟練者の知見に基づくAIモデルの調整が必要となる。これがAIを用いたCBM実用化の障壁となっていた。

そこで、初期のAIモデルを学習時に異常時のデータが不要な教師なし学習で構築し、運用しながら熟練者の知見を活用してAIモデルを継続改良する技術を開発した。GUI (Graphical User Interface) での簡単な操作により、保守の知見に基づき異常検知結果の正否をフィードバックすることで、AIモデルを更新して異常検知性能を継続的に改良する。

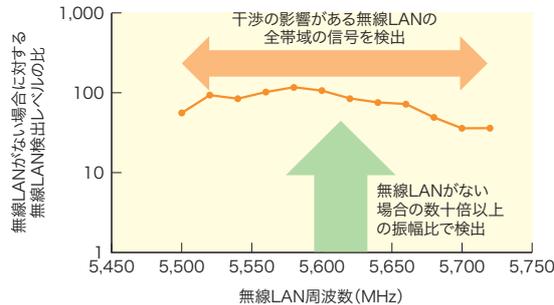
東芝グループ会社が保守する駅務機器を対象に実証実験を行い、熟練者の知見を活用することによる異常検知性能改良効果を確認した。また、開発技術適用前と比べ、AIモデル更新に要する工数を、実用化可能な水準である1/10以下に削減できる見込みを得た。

総合研究所 インフラシステムR&Dセンター

マイクロ波遠隔給電システムの免許取得に向けた技術開発



ビームフォーミング方式による各放射角度の送電電力強度
Directional wireless signal intensity enhancement using beam-forming technique



干渉がある帯域における無線LAN検出レベルの検出特性の評価結果
Evaluation results of wireless LAN receiver performance over frequency band with interference

マイクロ波を用いて数メートル離れた場所に電力を送る遠隔給電技術を開発している。給電の送信器は特定の受電対象への効率的な送電のため、複数アンテナ信号を制御して電力を集中させるビームフォーミング方式を用いている。

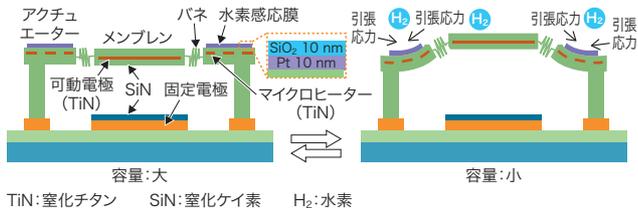
近年、電波法が改正され、給電システムを免許局として運用することが可能となった。免許取得には、無線LANや電波天文台などの他の無線システムへ影響を与えないことが要求される。

給電に使用する周波数は5 GHz帯であり、同じ周波数帯の無線LAN通信への干渉を防ぐため、無線LANの通信状態を検出することが必須となる。このため、高周波部は低コストかつ広帯域検出が可能なアナログ回路構成とした。更に、デジタル信号処理部の構成数を最小限とする手法を採用することで、安価な給電送信器を実現した。評価の結果、3 mで500 mW超の電力供給が可能であること、及び無線LAN通信が検出できることを確認でき、無線LAN通信への影響がないことを実証した。

また、電波天文台への影響となる高周波雑音レベルの低減を行い、電波法の条件を満足することを確認した。

総合研究所 インフラシステムR&Dセンター

容量型MEMS水素センサーによる初期火災検知技術



TiN:窒化チタン SiN:窒化ケイ素 H₂:水素

容量型MEMS水素センサーの動作原理

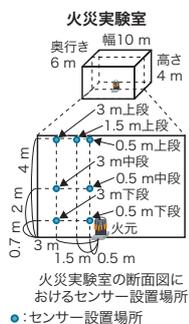
Principle of capacitive microelectromechanical system (MEMS) hydrogen sensor operation

火災の早期検知は、一酸化炭素中毒などによる逃げ遅れを防ぐために極めて重要である。

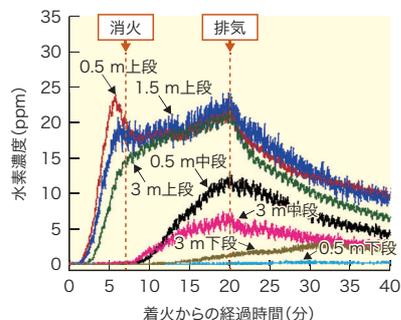
当社は、火災初期に発生するppmオーダーの極微量水素を高感度で検知できる容量型MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 水素センサーを開発した。このセンサーのアクチュエーターには、水素感応膜としてプラチナ (Pt) 薄膜を形成している。水素により感応膜表面のPt酸化物が還元されて引張応力が発生し、アクチュエーターが動作してメンブレンが上方に変動し、静電容量が減少することで水素を検知する。一方、Ptは空気中では酸化されるため、酸化反応と水素による還元反応が同時に起こって互いに打ち消し合い、感度が低下する問題点があった。そこで、二酸化ケイ素 (SiO₂) バリア膜をPt上面に適用し、酸素を遮断してPtの酸化を抑制した。このバリア膜によって感度劣化を抑制し、極微量の水素に対しても安定した出力を得ることができる。

このセンサーを試作して水素の空間分布を計測する実証実験を行った結果、発生した水素が火災の上昇気流で天井付近に移動して滞留する状況が検知でき、このセンサーの有用性を実証できた。

総合研究所 先端デバイスR&Dセンター



火災実験室の断面図におけるセンサー設置場所
Cross-sectional view of fire laboratory with hydrogen sensors installed



火災実験室での各センサー設置場所の水素濃度
Hydrogen concentration derived from sensor outputs