

「次世代情報社会の実現」領域

研究開発課題名：「香り再現にもとづいたデジタル香り技術の構築」

研究開発代表者：中本 高道（東京科学大学 総合研究院 教授）



＜課題概要＞

人間の五感のうち嗅覚は化学感覚であることから、計測やデータ化、言語表現、および再現・提示などは容易ではなく、情報化社会でも活用の機会が非常に限られています。そのため既存のデジタル技術は視覚や聴覚、あるいは触覚など物理感覚に立脚したものが中心でした。しかし、感覚や感性において嗅覚に依存する部分は少なくなく、化学感覚をデジタル情報として取り込むことで、情報化社会の飛躍的発展が期待できます。

従来も優れた嗅覚研究は行われてきましたが、香りを情報として扱うための技術、具体的には、香りを計測し、保存や流通が可能な形式でデータ化し、さらにデータに基づいて任意の香りを生成し、それを人に提示するという一連の技術は未踏の領域でした。本研究開発課題では、これらの技術群を統合した「デジタル香り技術」の実現を目指します。

これまでに取り組まれてきた香りの研究開発の代表的なものとして、香りを提示する装置（香りディスプレイ）や匂いセンサーが挙げられます。香りディスプレイはさまざまな方式が提案され、すでに一部は製品化されていますが、いずれも簡便に香りを発生させることに主眼が置かれ、多種多様な香りを柔軟に再現するコンセプトを有していませんでした。また、匂いセンサーも、金属酸化物を活用したものやバイオセンサーなどの提案がありますが、十分な性能と安定性を有するセンサーはまだ実現されていません。

本研究開発課題は、研究開発代表者らが培ってきた要素臭を用いた香り再現技術を基盤として、匂いセンサーなどによる香りの計測とデータ化、香りデータの保存と伝達、および香りの再現や創作、そして提示までを包括的に含むデジタル香り技術の確立を目指すものです。ここで開発する香りの再現や創作の技術は独自性が高いため、日本がデジタル香り技術分野の研究開発をリードするとともに、主導権を持って国際標準化し、サービス化や製品化などを推進することが可能になります。

研究開発代表者らは、探索研究期間において人間の知覚による要素臭作成方法を考案し、香りディスプレイによる28種類の精油の香りの再現、センサーを用いた混合臭の濃度定量、および言語表現から香りを創作する基礎実験に成功しています。本格研究ではこれらの成果を活用し、①少数の要素臭による悪臭を含む日常生活臭全体の7割の再現と香り情報の汎用的な表現法の確立、②言語表現を用いた対話型香り創作AIの開発、および③香りディスプレイとゲームやシミュレーターなどのコンテンツから成る香り提示技術による臨場感の高い香り疑似体験の実現、という3つの目標を掲げて研究開発を行います。

本技術は、嗅覚情報の応用可能性を大きく広げるとともに、まったく新しい価値を持つ多様な製品やサービスを生み出す基盤となり、日本の産業界への多大な寄与が期待できます。具体的には、食品・飲料、ヘルスケア、広告・エンターテインメント、各種シミュレーター、教育、文化保存・継承など、多岐に渡る分野への適用が想定されています。



図 デジタル香り技術の研究開発の全体像

研究開発課題名：「バイオマス由来触媒によるPower-to-Xの確立と
資源・エネルギー循環社会の実現」

研究開発代表者：藪 浩（東北大学 材料科学高等研究所 教授）



＜課題概要＞

再生可能エネルギー（Renewable Energy：RE）の利用拡大は、我が国のエネルギー自立と脱炭素化に向けて必須の課題です。しかし発電量などの時間変動が大きいREをフル活用するためには、REの変換・貯蔵（Power-to-X）技術が必須となり、大型蓄電技術や水素、合成メタンや合成燃料（e-fuel）などへの転換技術が期待されています。

しかし、これらPower-to-X技術に共通する課題が、電極反応に要する白金を始めとしたレアメタル触媒であり、コストと鉱物資源制約リスクの両面でPower-to-X普及の足かせとなっているため、これらの問題を払拭する触媒が切望されています。

本研究では、レアメタル鉱物資源に依存しない、廃棄バイオマスを原料とする世界で初めての高性能触媒を開発するとともに、その触媒を用いて低コストかつ鉱物資源制約リスクから解放されたPower-to-X技術を確立し、REの拡大と最大活用の実現を目指します。

探索研究では、ホヤ殻由来の高品質なセルロースナノファイバーと家畜の乾燥血粉などに含まれる金属錯体を混合および焼成することで、全く新しい触媒（ナノ血炭触媒）の合成に成功し、水素生成に必要な水電解反応において、白金系等のレアメタル触媒と同等以上の性能を達成し、環境・コスト性能でも優位性を有することを明らかにしました。また、ナノ血炭触媒と類似の構造を有する金属錯体を触媒として用いることで、CO₂からメタンの電解直接合成が可能であることを見いだしました。現在主流のメタン合成技術やe-fuel合成技術は多段階反応を要するため、1段階でメタンを合成できる直接合成技術は低コスト化の面でも有望な技術です。

本格研究では、メタンの直接合成に要する触媒を廃棄バイオマス原料によるナノ血炭触媒で実現するとともに、触媒の原子・分子レベルの構造を最適化し従来触媒をしのぐ性能を目指します。そして、本触媒を担持した電極およびセルスタックを開発し、電解槽システムでの合成メタン製造を実証します。さらに、廃棄バイオマスの収集から触媒合成、電極と電解槽システムの開発製造、合成メタンの流通といった一連のサプライチェーンを構築します。これにより、REの拡大と最大活用を通じて、我が国のエネルギー自立と脱炭素との両立を可能とする資源・エネルギー循環社会の実現を目指します。

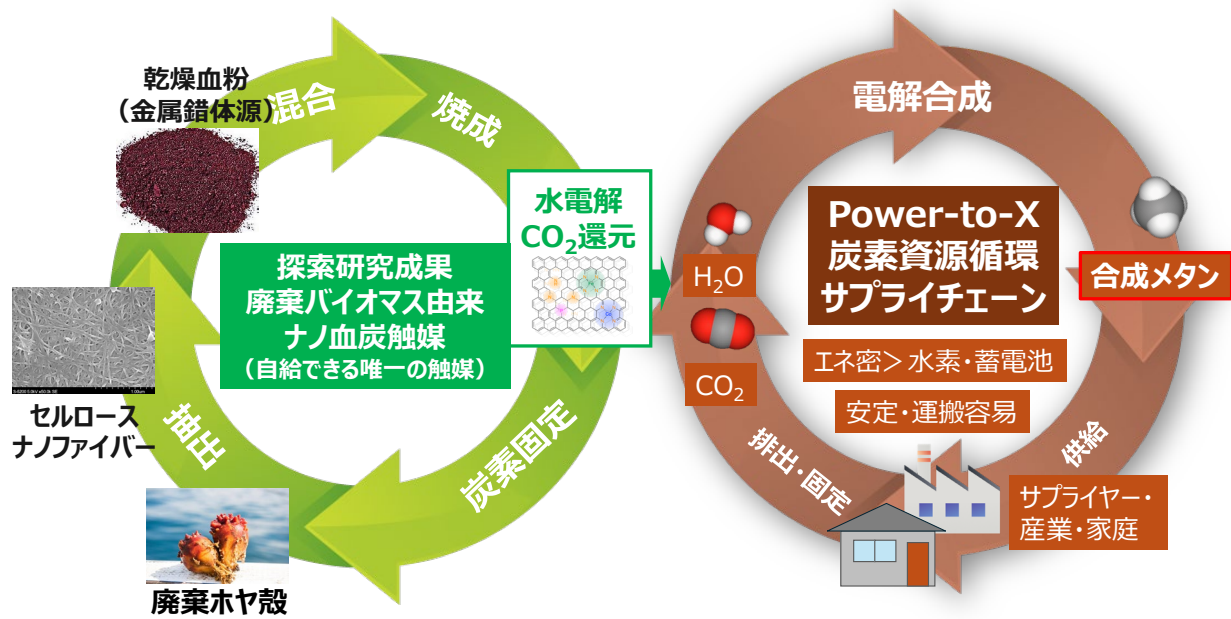


図 エネルギー自立と脱炭素との両立を可能とする資源・エネルギー循環社会

研究開発課題名：「多様な子どもたちの個性とウェルビーイングを支えるデータ活用技術開発」

研究開発代表者：千住 淳（浜松医科大学 子どものこころの発達研究センター教授）



＜課題概要＞

日本の子どもたちは、精神的幸福度が先進国の中で最低水準であると報告されていて（令和 2 年 9 月 3 日付 ユニセフ プレス リリース より、URL：<https://www.unicef.or.jp/news/2020/0196.html>）、現在も改善に至っていません。いじめや不登校も増加傾向にあり、家庭や地域、学校での発育や教育目標が画一的であり、子どもの多様な個性を支える仕組みが存在しないことに加え、教育現場は人員不足です。子どもたち一人ひとりに寄り添った支援体制は整っておらず、子どもたちを支える環境は厳しい状況となっています。この日本においては、子どもの多様な個性を支え、次世代の活力や多様性を維持して将来に向けた創造的な問題解決能力を保有する多様な人材を育む、エビデンスに基づいた社会基盤を作ることが急務です。

子どもたち個々人の幸福感、自己肯定感を育むためには、教育や支援の現場において多様な子どもたちの日常を可視化し、そのデータを時系列に連携させ活用する科学的基盤が必要となります。しかし、子どもたちが成長する現場において、再現性の高い計測技術の開発や導入が進まないことに加えて、その計測データを連携させる技術、E L S I（倫理的・法的・社会的課題）対応など、制度設計を始めとする多くの課題があります。

本研究開発課題では、探索研究で築き上げた子どもの「声なき声」を可視化するデータ計測・解析技術や、計測と支援を可能とする E L S I 対応や制度設計のノウハウを結集させて、多様な子どもたちの発達を支えるデータ活用技術（Well-being Base；WeBB）を開発し、多様な子どもたちが多様なままウェルビーイングが高く育ち、自身の個性を自覚、肯定、十全に発揮して活躍できる社会基盤の構築を目指します。

探索研究では、学齢期の子どもたちを対象とし、学校での日々の健康観察をアプリ化し、そこからウェルビーイングを予測して教職員にリアルタイムで共有し、個別支援につなげるシステムを構築しました。また、子ども本人とその支援者を対象としたウェルビーイング向上のための研修プログラムを開発し、E L S I の検討を経てガイドラインの策定を進めました。さらに乳幼児を対象として、日常場面における動画・音声データから発達指標を予測し、支援者と共有する技術を開発しました。

本格研究では、自治体や教育現場と連携して乳児期および学齢期の子どもの「声なき声」を可視化する計測技術を統合させ、数千人規模で計測したデータを蓄積し、連携させます（見守り（データベース）DB）。また、計測データから子ども一人ひとりの個性やウェルビーイングを推定するためのアルゴリズムを開発します（個性DB）。さらに、子ども一人ひとりに対してデータに基づいた支援やサービスの開発と効果検証を行います（支援DB）。産官学の連携や国際標準化への貢献を通してデータ活用技術を社会へ展開し、子どもたちの発達段階に応じたシームレスなデータ活用や支援を可能にします。これにより、多様な子どもたちが高いウェルビーイングで個性を発揮し、未来の主人公として活躍する社会の創出に貢献します。

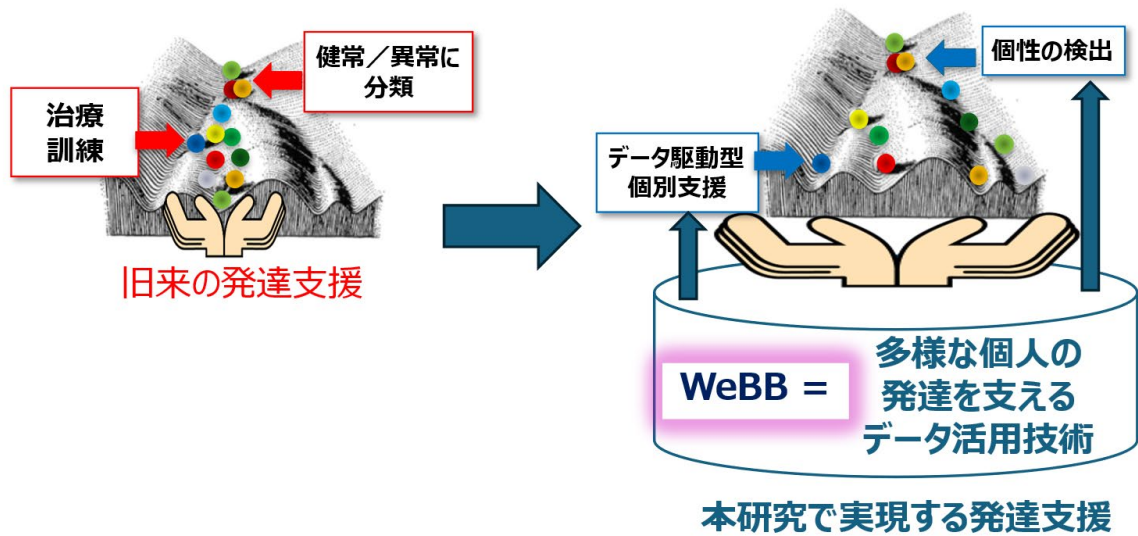


図1 多様な子どもたちを支えるデータ活用技術 (Well-Being Base; WeBB) により実現する未来社会 (イメージ)

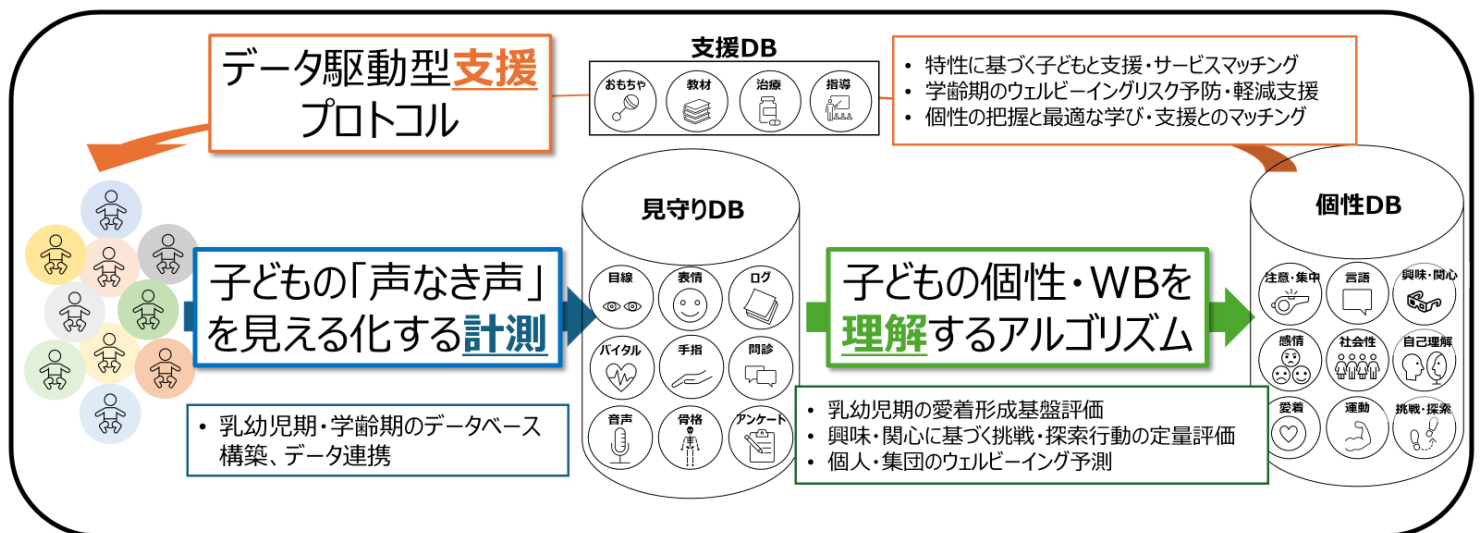


図2 WeBBの構成と本研究での研究開発内容

※統合前の探索研究課題

「多様な子どもの幸福な学校生活を支える技術開発」(千住 淳)、「Neurodiversityを跨ぐ相互理解のためのコミュニケーション基盤の創出」(西尾 萌波)

研究開発課題名：「世界初のグラフェン光源赤外センシングによる革新的分析・診断技術の創生」

研究開発代表者：牧 英之（慶應義塾大学 理工学部 教授）



＜課題概要＞

赤外分光法は、分子を識別する技術として、医薬品の研究開発、食品等の化学分析、環境計測など、さまざまな分野で利用されてきました。現在では計測スループットを改善したフーリエ変換型赤外分光法（F T - I R）と呼ばれる技術が主として使われています。近年、健康・食料・環境問題が深刻化しており、それらを解決するために、より高分解能での局所分析、より高感度な分析の必要性が高まっています。また、バイオ分野では、細胞の働きをより高度に理解するために細胞内分子イメージングが必要とされ、様々な手法が研究されています。

研究開発代表者は、シリコンウエハー上にグラフェンを集積する独自の技術を用いて、グラフェンデバイスの研究開発を行っており、世界で初めて実用を見据えたグラフェンデバイスとして、マイクロメートルサイズの超小型で高速変調が可能な光波長の熱光源デバイスの開発に成功しました。このデバイスは光源自体の大きさが赤外光の波長よりも小さいことから、近接場光を利用して回折限界を超える空間分解能での赤外分析も期待されます。また、高速変調を利用した雑音の大幅な低減も現実的なものとなりました。この特性を生かして、電球型の赤外光源を使う F T - I R の空間分解能、感度の大幅な改善のみならず、グラフェン光源チップによる赤外分析の応用可能性を研究してきました。

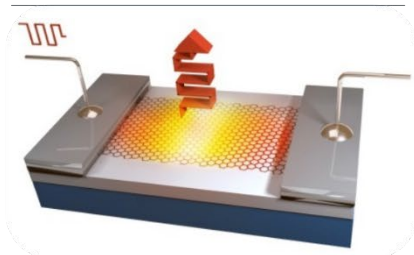
探索研究では、バイオ分野への赤外分析の適用を目的とし、開発したグラフェン光源チップを用いて、従来の F T - I R の 10 倍の高空間分解能かつ高感度な赤外分光分析が実現できることを示しました。さらに連続点灯寿命が実用可能なレベルに達していることを確認し、グラフェン光源チップが赤外分光分析の性能を飛躍的に高められることを確認しました。

本格研究では、バイオの分野で望まれている 1 細胞内の分子の分布を無染色で観察できる高時空間分解能の赤外分光・顕微装置の開発に挑戦します。また、その解析に必要な数理技術の構築に取り組むとともに、基盤となるグラフェン光源チップの性能向上も推進していきます。

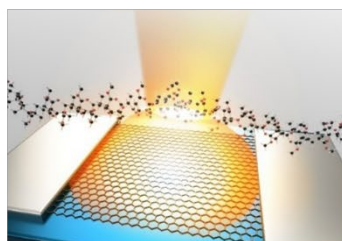
本課題では、グラフェン光源チップの特長を活かしたその他の応用を含めて、革新的な分析・診断技術を創生することで、新しいヘルスケア・医療・生活スタイルを創造し、誰でも安心して暮らせる社会の実現に貢献します。

慶大の持つコアテクノロジー

① グラフェン赤外光源



② 赤外分析センシング



③ デバイス作製技術

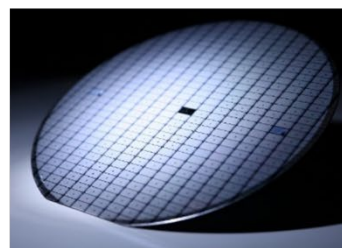
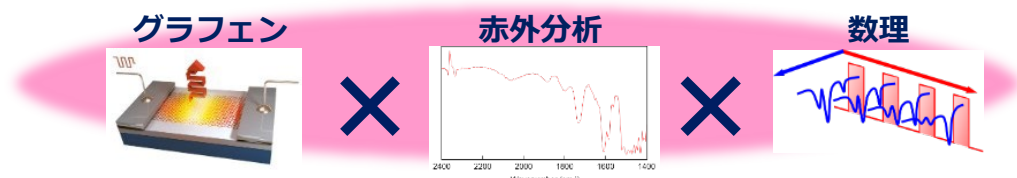


図1 グラフェン光源技術の概要

実現したい未来社会像



誰もが気軽に健康で豊かな生活を手に入れられる未来社会

新バイオ分析で、
医薬品・治療・診断が
次々と生まれる社会

新赤外分析・検査技術で、
誰でも安心して
暮らせる社会

新たな診断技術で、
病気にならない社会

図2 本格研究で目指すPOCと未来像

研究開発課題名：「材料探索を価値の探索へと変革する超広域反応探索基盤の開発」

研究開発代表者：谷池 俊明（北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 教授）



＜課題概要＞

化学反応を特定の化合物や材料に効率的に誘導する触媒は、持続可能な社会の構築に不可欠な物質です。例えば、二酸化炭素（ CO_2 ）の有効活用と削減、水素エネルギーの利用拡大、バイオマスの利用促進、環境浄化等、触媒が介在する化学反応は化石燃料への依存を減らし、カーボンニュートラルと循環型経済の実現に大きな役割を持ちます。

触媒の多くは複数の物質の組み合わせから成る組成物であり、その構造や、これらが媒介する化学反応は、化学式上は単純に見えても、複数の素反応が絡み合う複雑なものです。そのため、因果関係に基づく予測は困難であり、現状の触媒開発は、試行錯誤による実験研究が中心です。理論計算やシミュレーション技術は進歩していますが、複雑な触媒系の正確な予測には限界があり、特に表面反応や多成分系触媒の挙動を完全に理解するには至っていません。データ駆動型の触媒設計も注目はされているものの、データ収集と解析手法に改善が必要です。特に知識の蓄積が十分でない新規物質を対象とする場合、機械学習に用いる記述子が不明確であり、その活用には大きな制限がありました。

本研究課題においては、独自のデータ駆動型のアプローチでこの問題に取り組みます。

探索研究では、ハイスループット実験システムと、データから機械に記述子を自動生成させる技術を開発しました。これにより事前知識を必要とせずに触媒材料のスクリーニングを行う汎用的な手法を構築しました。メタンドライリフォーミング（DRM：膨大な CO_2 を排出する現行の水蒸気改質に変わり得る水素製造法）の触媒を対象にこの手法を適用することで、短期間で、従来の触媒を大幅に上回る高性能な触媒を多数発見することに成功しました。

本格研究では、触媒に加えて、その触媒が媒介する化学反応自体も同時に探索する汎用手法を開発します。これによって、現状、全く知られていない有益な化学反応を発見することを目指します（図1）。このために、反応空間の効率的な探索を実現するハードウェア・ソフトウェアの研究開発を行います（図2）。記述子設計においても、探索研究で実装した記述子設計技術に加え、触媒特徴量ライブラリーを整備することで、効率と解釈性を兼ね備えた機械学習を実現します。また触媒・反応探索にかかる繰り返し計算を大幅に削減するアルゴリズムを開発します。この手法を実装し、例として、研究期間中に革新的なメタン転換を実現する触媒プロセス（触媒と化学反応のセット）を発見することを目指します。

「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」においても、14の重要分野のうち9分野が材料技術に関連しており、触媒技術の革新がこれらの目標達成には不可欠です。また触媒だけでなく、他の材料分野の組成物にも展開することで、より一層カーボンニュートラル社会の実現に向けて貢献していきます。

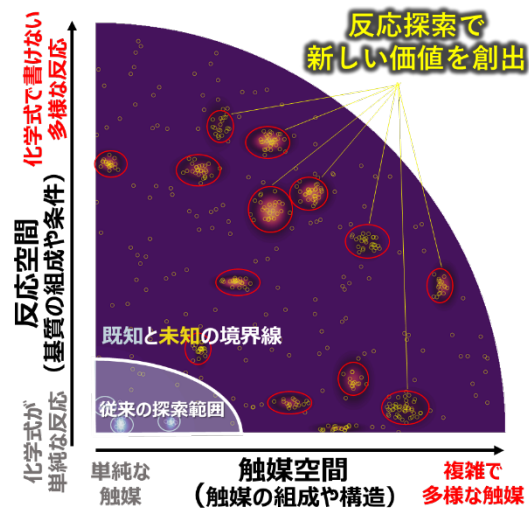


図1 本格研究で実施する触媒・反応の同時探索

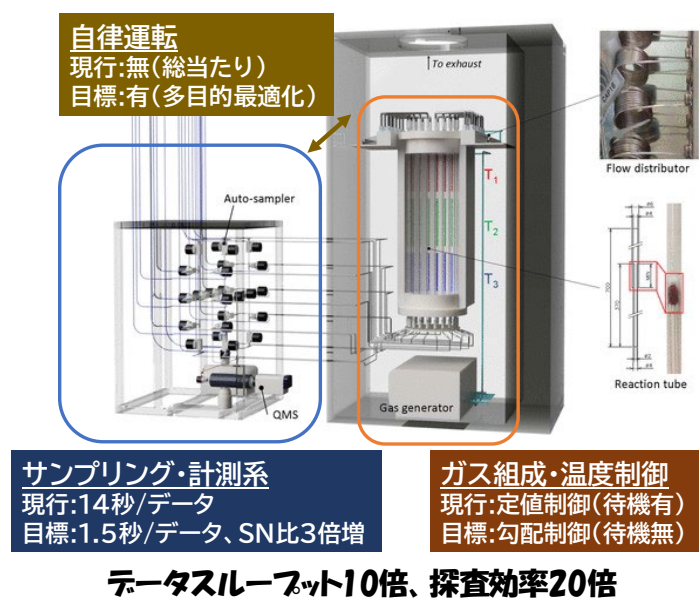


図2 触媒評価システムの再設計