



応用物理学会春季学術講演会 注目講演プレスリリース

2023年 3月 13日

ドローンに搭載したガスクロマトグラフによるプラントの管理
Plant Management by a Gas Chromatograph Installed on a Drone

超小型・高感度のガスクロマトグラフで、 プラントの「空気パトロール」を実現

ボールウェーブ¹, JDRONE², イノベ機構 RTF³

山中一司¹, 岩谷隆光¹, 赤尾慎吾¹, 岡野達広¹, 竹田宣生¹, 草間貴博², 山梨寛治², 平山弘克², 菊地康仙³, 伊藤日出男³

【発表概要】

- ・ 独自開発した超小型可搬型ガスクロマトグラフで、プラントから排出される気体のオンサイト解析を実現。
- ・ プラントを模擬した施設での実証実験で、異なる種類のガスを短時間（3分）で高感度に検出。
- ・ プラント保守・管理のほか、植物の生育状況の把握や、酒蔵での醸造工程のモニタリングなど、幅広い応用が可能。

ボールウェーブ株式会社の山中一司氏らによる研究グループは、独自開発した超小型可搬型ガスクロマトグラフ「Sylph（シルフ）」をドローンに搭載したプラントの管理システムを開発。10ppm-100%の水素ガス検出が可能な高感度センサ「ボールSAWセンサ」を搭載するSylphによって、プラントを模擬した施設での実証実験で、異なる種類のガスを短時間（3分）で高感度に検出することに成功した。Sylphにおける臭気のオンサイト解析はプラント保守・管理のほか、植物の生育状況の把握や、酒蔵での醸造工程のモニタリングなど、幅広い応用が可能である。

【詳細】

プラントの「空気パトロール」

近年、プラントの保安・管理においてIoTやAI、ドローンなどのスマートテクノロジーを活用する動きがある。石油・化学プラント、電力・ガスのエネルギープラントの保安・管理は、事故による災害リスクはもちろん、テロのリスクもあることから、スマートテクノロジーの利用価値が高い分野でもある。経済産業省も、産業保安力強化にスマートテクノロジーを活用するための新技術の実証・規制改革を進めている。

センサの研究開発を行うボールウェーブ株式会社の山中一司氏らによる研究グループは、独自開発した超小型可搬型ガスクロマトグラフ（気体の分析器）「Sylph（シルフ）」をドローンに搭載したプラントの管理システムを新たに開発した。この管理システムは、空中からプラントのさまざまな場所の空気をパトロールする。プラントの煙突などから排出される有害ガスを検知し、いち早くプラントの異常を察知することができる「オンサイト解析」ができることが特徴だ。

「ドローンを使ったガスの検知はいくつかの先行事例があります。しかしそれらは“サンプルリターン”、つまりドローンで気体を回収し、持ち帰ってから解析を行うタイプのもので、私たちのシステムは、オンサイトで解析ができるため、気体の回収と解析のタイムラグが少ない。解析データをリアルタイムでプラントの制御に使うことができる点が利点です」と山中氏は話す。

ドローンに搭載できる同社の超小型可搬型ガスクロマトグラフ・Sylphは、重量では、ポータブルタイプの既製品と比較して約5分の1から7分の1、デスクトップタイプと比較して約40分の1から50分の1に抑えることに成功した。それでいて性能では標準的なガスクロマトグラフである「水素炎イオン化検出器（FID）」と同等の高感度を持つことから、画期的な軽量化を実現し、高性能を兼ね備えていると言える。

球体を走る波で、気体の分子をとらえる

2019年度から2021年度にかけて、同研究グループは、JAXAと共同研究を行い、地球外の惑星大気や表土中に存在する揮発性物質の同定・定量を行うことのできる感度1ppbv程度（10億分の1程度の濃度の気体を検出できる）の可搬型ガスクロマトグラフを研究開発していた。生命活動や資源採掘の可能性を探るためのものだ。超小型可搬型ガスクロマトグラフ・Sylphはその集大成と位置づけられるものだ。

超小型可搬型ガスクロマトグラフ・Sylphのコアテクノロジーとなるものが「ボールSAWセンサ」（図1）だ。このセンサは、図1左の写真のように直径3ミリの水晶の球にすだれ状の電極が取り付けられた圧電体であり、表面にはガスの分子に反応する感応膜が形成されている。SAWとは、弾性表面波（Surface Acoustic Wave）のことであり、固体表面を伝搬する波動のことだ。

感応膜がガスの分子を吸着すると、弾性表面波の音速や減衰に変化が生じる。この変化を電極で捉えることで、ガスを定量化するというものだ。身近なものでは、スマートフォンなどの通話音質を改善する「SAWフィルタ」がある。SAWフィルタは、すだれ状電極の周期によって電波の周波数を選別する。したがって原理は異なり、形状も平面であるという点で異なるが、圧電体という材料と電極の構造は似ている。

「開発で着目したのは、波が伝搬する距離でした。センサで使うには、弾性表面波の伝搬距離が長いほどガスの分子が起こす変化を捉えやすくなり、感度が上がります。たとえば有限の平面の圧電体では、当然波の伝搬距離は限られます。しかし球体の圧電体に特定の条件で波を発生させると、波が自然な「コリメートビーム（平行ビーム）」になり、障害物に妨げられず何度も球面上をまわる『無回折長距離伝搬』が可能になります。その伝搬距離は、従来の物理学の常識では考えられないほどです」（山中）

無回折長距離伝搬を応用し、感度を最大限に引き出した弾性表面波センサがボールSAWセンサなのだ。山中氏は、かつてボールベアリングに使われている珠の表面についた傷を検査する際に、無回折長距離伝搬の原理を発見したという。ガス濃度が低いと1周に要する伝搬時間の変化は小さく検出困難だが、100周するとこの変化が100倍に増幅されて検出しやすくなる（図1右）。ボールSAWセンサは、単一素子では初めてとなる、濃度10ppmv（0.001%）から濃度100%の水素ガス検出という高感度で検出可能範囲の広いワイドレンジ水素センサを実現している。

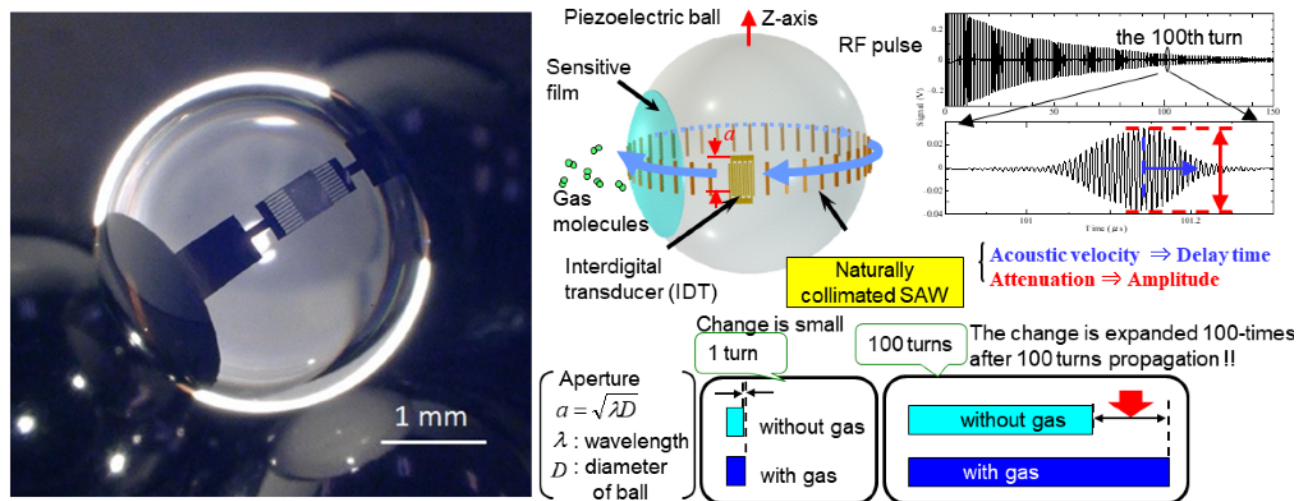


図1 ボールSAWセンサ（左：写真、右：原理の説明）

植物の生育把握から酒蔵のモニタリングまで、幅広い応用が可能

山中氏らが研究開発した超小型可搬型ガスクロマトグラフ・Sylphを搭載したプラントの管理システムは、福島ロボットテストフィールドの試験用プラントで実証実験を行った。実験は最大ペイロードが2.7kgのDJI社製のドローンに搭載されたシステムで行われている（図2）。ここで、捕集するガスがドローンのプロペラによる気流で乱されないように、ガスクロマトグラフに長さ3mのCFRP（炭素繊維強化樹脂）管で作製したサンプリング機構を接続した。

また、プラントの管理では短時間の分析が必要である。そこで、ガスを分離する部品である金属ソレノイドカラムの長さを通常の30mから10mに変更して分析時間を短縮した。

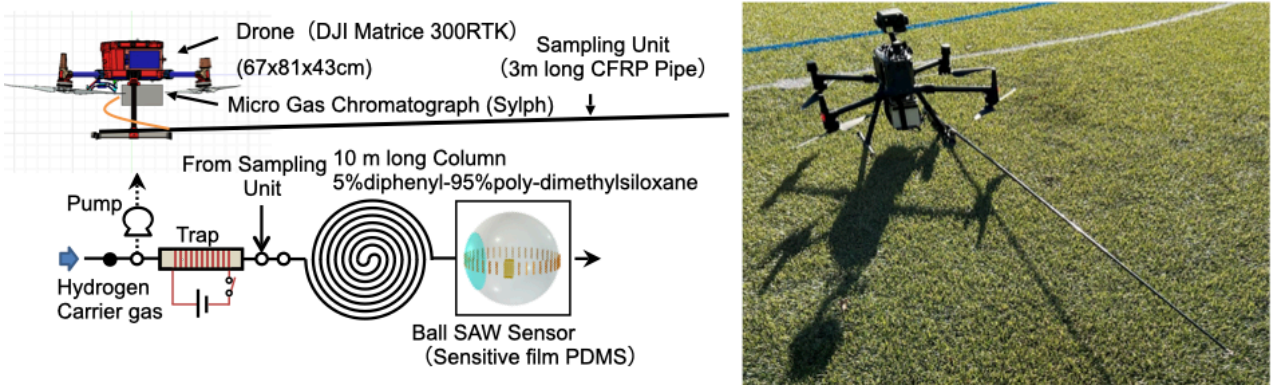


図2 実験で用いられたプラント管理システム。ドローンのプロペラによる気流の影響を抑えるべく、約3mの筒状のサンプリング機構を接続した。

実証実験では、実際の工場プラントが再現された煙突から、石油プラントで通常検出される石油成分であるヘプタン (C7)、オクタン (C8) およびノナン (C9) の等量混合液を超音波加湿器によって噴霧し、煙突から排出した。また、白色煙の発生のために煙突下部の発煙模擬装置でプロピレングリコール (P) 等の極性液体を気化した。そしてドローンが煙突に接近し、飛行しながらこれらの気体を0.5分間集め、分析を行った (図3左)。結果として、これらの異なる種類のガスが、短時間 (3分) で高感度に検出された。図3右のクロマトグラムはガスによるSAWの伝搬時間 (Delay time) の相対変化をppm (100万分の1) 単位で表している。別途行われた校正によると、捕集中のノナン (C9) の平均濃度は17ppmvだった。クロマトグラムのノイズが小さく、信号と雑音の比S/N (Signal to noise ratio) が20以上なので、検出下限は1 ppmv以下と推定される。

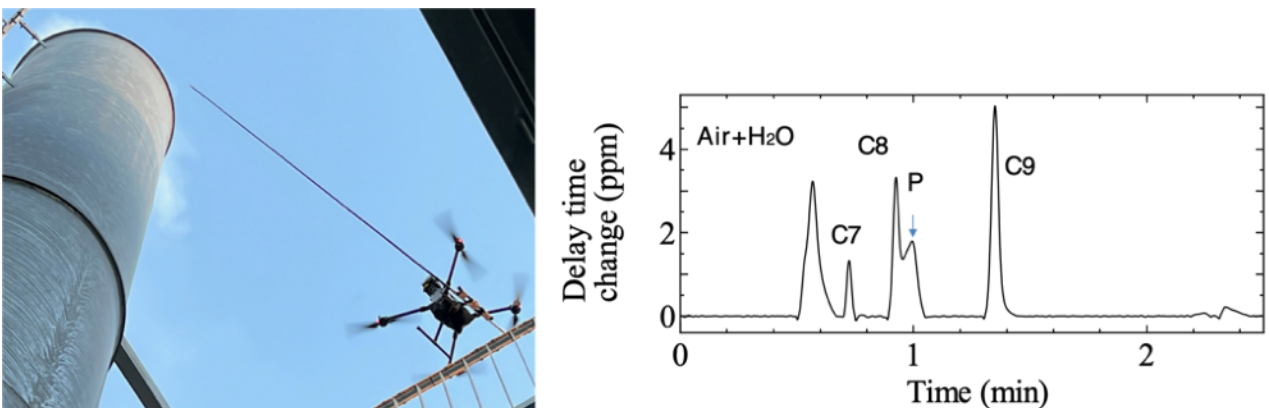


図3 煙突から排出されるガスのサンプリングの様子 (左) とクロマトグラム (右)。ヘプタン (C7)、オクタン (C8)、ノナン (C9) およびプロピレングリコール (P) が検出されている。

「実証実験では実際の工場で通常排出される石油成分のガスを検出しましたが、同時にオクタン (C8) のピーク近傍に、プロピレングリコール (P) を明瞭に検出できたことが重要です。この物

質の製造には高性能触媒を使用した特殊なプロセスが必要で、通常のプラントの正常運転では発生しません。したがって図3は、開発した管理システムがプラントの不具合で発生する異常なガスを検出できる可能性を示しています。今後は、たとえばプラントの不調を予測するための指標となる化学物質に特化した検出を行うなど、より実地的な工場の保守・管理システムの研究開発に進めていきたいと思っています」と山中氏は語る。

オンサイト分析が可能な超小型可搬型ガスクロマトグラフ・Sylphの用途は、プラントの「空気パトロール」に限らない。たとえば、シックハウスガスの検知・解析、臭気による地域の環境測定、植物の生育状況の把握や、清酒の香気成分を計測することで、酒蔵での醸造工程のモニタリング、さらに醸造の制御指標を得るなど、幅広い応用が可能だという。