

FAIMSを用いた臭気のフィールド計測

Field Measurement of Odor Using FAIMS

時間・空間・臭気成分を統合した評価手法

（株）リコー 氏本 勝也

1. はじめに

悪臭は地域生活環境における主要な環境苦情の一つであり、日本国内では年間1万件前後の苦情が自治体に寄せられている⁽¹⁾。住民生活への影響に加え、産業施設・観光地・宿泊施設などでは経営上のリスクにもなり得るため、より迅速で正確な臭気評価手法が求められている。

従来、悪臭防止法に基づく公定法（臭袋法、吸光光度法、ガスクロマトグラフィーなど）が広く利用されてきた。このうち三点比較式臭袋法は近年における社会の動向を踏まえて、精度を確保しつつより簡便な測定方法への改良が検討されている⁽²⁾。

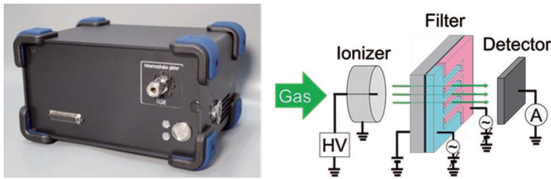
また、現場の臭気をサンプリングする過程に着目すると、下記の根本的な課題を持っている。

- サンプリング時の臭気の時間・空間変動を反映しにくい
- 臭気袋や吸着管における分子の吸着・透過・変質の影響が避けられない
- 突発的な臭気イベントの捕捉が困難

これに対して、現場でリアルタイムに揮発性分子を測定できるセンサ技術は、時間軸、空間軸、風向風速を同時に扱うことで、新しい臭気評価の枠組みを提供し得る。一方で、ガス・においセンサの技術分野の共通の課題として右記の項目が挙げられており〔検出感度、分子選択性、

湿度影響、安定性、個体差、可搬性〕⁽³⁾、各プレイヤーが技術課題の解決と実証実験を通じた啓蒙活動を行っている。

本研究では、検出感度と分子選択性に優れた気体分析器を小型化するという戦略でField Asymmetric Ion Mobility Spectrometry (FAIMS)に着目している。FAIMSは、イオン化した気体分子を特殊な交流電界でフィルタリングしたあと電流として検出する技術で、1993年にL.A. Buryakovらによって発表された⁽⁴⁾。FAIMSの背景技術の詳細は紙面の都合上、ここでは割愛し参考文献を参照いただきたい^{(5)~(7)}。従来、FAIMSは大型の化学分析装置で、一般的な環境で使用することができなかったが、近年、イオンフィルタの微細化によってシステムが小型化されてきた⁽⁸⁾。一方で、イオンのロスが起因する検出感度の低下のため、システムの小型化には限界があった。そこで本研究では、イオンフィルタの微細化に有利なSilicon on Insulator Micro Electrical Mechanical Systems (SOI-MEMS) 構造を採用し、従来よりも微細なイオンフィルタを実現した。さらに、コロナ放電方式のイオナイザを採用し、イオン化した分子がフィルタへ効率よく飛行するように電位勾配を制御できる独自の流路構造を開発した。これによってイオンのロスを低減しつつ、駆動電圧と電気回路を含めてシステム全体を小型化でき、



第1図 FAIMSの試作機の外観と構成の概略

一般環境で持ち運びして使える小型のFAIMSを実現した。FAIMSの試作機の外観と構成の概略を第1図に、特徴を下記に示す。

- 計測感度は分子の種類によるが、塩基性や酸性の高い分子の場合はppbオーダーの低濃度の変化を計測できる。
- 1台で化学特性の異なる複合ガスを分離して計測できる。
- 持ち運びでき、リアルタイムに計測できる。

筆者らはMEMS型FAIMS (Field Asymmetric Ion Mobility Spectrometry) を用いて、下記を通じた技術的な検証を行ってきた。

- 標準ガスを用いた微量分子のセンシング性能評価⁽⁹⁾
- 印刷工場および金属精錬工場で化学物質のフィールド計測⁽¹⁰⁾
- 石垣島の気体組成のマッピングデータを雰囲気分布として表現⁽¹¹⁾

本稿では、畜産施設およびバイオガス発電所が混在する地域で発生した臭気苦情を対象に、FAIMSを用いて気体組成・時間・空間・風向を統合したフィールド調査を実施した事例を紹介する。従来法では把握しにくい臭気成分の空間分布や日内変動の可視化を試みた。

2. 調査対象と調査設計

本調査は、宿泊施設周辺で悪臭苦情が発生している地域を対象とした。周辺には複数の臭気発生源候補（畜産施設、堆肥施設、飼料置場、バイオガス発電所）が存在し、拡散挙動の評価には多角的な測定が必要であった。そこで以下

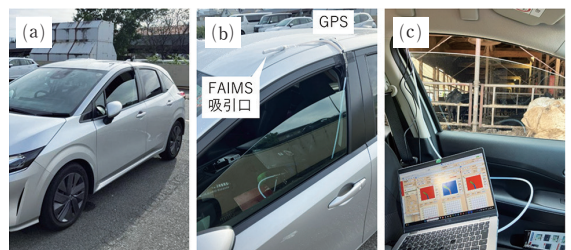
の三段階測定を実施した。

- 候補地点での基礎スペクトル取得：各施設における気体成分の“臭気スペクトル指紋 (odor fingerprint)”をFAIMSスペクトルとして取得。
- 車載FAIMSによる移動計測：地域全体の臭気成分の空間分布を把握し、拡散の傾向を評価。
- 宿泊施設・発電所での定点連続計測：風向風速データと同期し、臭気成分の動態を解析。

この三段階調査により、臭気成分・空間分布・時間変動を統合的に解析した。

3. 移動計測の方法と結果

FAIMS装置を車両に搭載、吸引口を車外に設置し、候補施設を連結するルートを走行しながら連続計測を行った（第2図）。このとき、気体のサンプリング流量を1.2 L/min、スペクトル計測周期を約1秒、平均走行速度を約40 km/hとした。



第2図 移動計測のセットアップ
(a)外観、(b)気体吸引部の拡大、(c)車内の様子

3-1 候補施設ごとのスペクトル特徴

第1表に臭気発生源候補の施設内の気体成分の計測結果を示す。正イオンおよび負イオンのFAIMSスペクトルにて、それぞれ4種および2種の成分が検出された。これらの成分は、標準ガスの計測実績および先行研究例⁽¹²⁾を参照し、正イオンはアンモニア (NH₃) およびトリメチルア

第1表 各施設における気体成分の計測結果

場所	畜産施設①		畜産施設②	畜産施設③		バイオガス発電所	
	堆肥舎	肉牛舎	肉牛舎	サイレージ置場	乳牛舎	固液分離棟	食品残渣棟
FAIMS スペクトル (正イオン)							
FAIMS スペクトル (負イオン)							
NH3 濃度 ppb	192.0	192.6	199.2	50.9	159.3	172.7	106.0
TMA 濃度 ppb	11.6	10.4	5.6	0.8	1.9	1.1	1.3
FA 濃度 ppb	21.6	9.8	9.6	7.1	7.1	3.0	13.4
NH3 10 log ₁₀ (OAV)	2.8	2.8	3.0	0.0	2.0	2.4	0.3
TMA 10 log ₁₀ (OAV)	20.6	20.2	17.5	8.8	12.7	10.3	11.0
FA 10 log ₁₀ (OAV)	10.3	6.8	6.7	5.4	5.4	1.7	8.2
Total 10 log ₁₀ (ΣOAV)	21.1	20.4	18.0	10.6	13.7	11.4	13.1
OAV → 臭気表現	強いにおい	強いにおい	はっきり分かる	何のにおい分かる	何のにおい分かる	何のにおい分かる	何のにおい分かる

ミン (TMA)、負イオンでは酢酸および酪酸などの脂肪酸 (FA) と推定した。標準ガスの計測実績では推定できない不明な信号は成分 C、成分 D として記載している。本装置単体では、臭気成分の厳密な同定は困難であるが、施設の場所ごとの臭気を反映した気体組成に由来する特徴的なスペクトルを取得することができた。推定した成分に対応する信号強度について、標準ガスを用いて事前に取得した検量線を基に成分濃度に換算した。さらに、これらの成分濃度の臭気への寄与を評価するため、Odor Activity Value (OAV) を指標として導入した¹³⁾。OAV は測定濃度 (C) を嗅覚閾値濃度 (C_{th}) で除算した値の対数を10倍した指標であり、式(1)で定義する。

$$OAV = 10 \log_{10} \left(\frac{C}{C_{th}} \right) \quad \dots(1)$$

複数成分の総合臭気影響を評価するため、アンモニア、トリメチルアミンおよび脂肪酸の寄与を合算した Total OAV を式(2)で算出した。

$$Total\ OAV = 10 \log_{10} \left(\frac{C_{NH3}}{C_{th, NH3}} + \frac{C_{TMA}}{C_{th, TMA}} + \frac{C_{FA}}{C_{th, FA}} \right) \quad \dots(2)$$

ここで嗅覚閾値濃度は以下を用いた¹⁴⁾。

- アンモニア：100 ppb
- トリメチルアミン：0.1 ppb
- 脂肪酸：2 ppb (酢酸・プロピオン酸・吉草酸・酪酸の平均値)

なお、OAV は臭気指数に相当する指標であるが、法定臭気指数とは異なる指標である。

第1表から、畜産施設①および畜産施設②の肉牛舎ではトリメチルアミンが臭気に大きく寄与していることがわかった。また、畜産施設①および畜産施設③にてサイレージ近傍では脂肪酸が特徴的に検出された。バイオガス発電所の食品残渣棟でも酢酸と思われる脂肪酸が検出された。また、畜産施設③の乳牛舎および発電所では類似したスペクトルが得られ、アンモニアが支配的な組成となっているが、OAV に換算すると他の施設に比べて低い値となった。OAV、臭気強度および臭気表現の対応の目安を第2表に示す。

3-2 臭気の空間分布

移動計測によって対象地域の臭気を俯瞰した結果を第3図に示す。プロットはOAVの値を色の濃淡で表している。各発生源ではOAVは高い値となったが、そこから離れるほどOAVが減少

第2表 OAV (臭気指数相当の指標)、
臭気強度および臭気表現の対応の目安

OAV	臭気強度 (目安)	説明
0以下	0	無臭
3-7	1	わずかに臭う
7-12	2	何のにおいかかる
12-18	3	はっきりわかる
18-24	4	強いにおい
24以上	5	非常に強烈な臭気



第3図 畜産施設周辺の臭気のマッピング結果

し、宿泊施設におけるOAVは「無臭～わずかに臭う」に相当する低い値となった。移動計測時の風向は北、風速は1.2~2.1 m/sであった。臭気の分布は気象条件に影響されるため、以降で示す定点連続計測を行った。

4. 宿泊施設・発電所における 定点連続計測

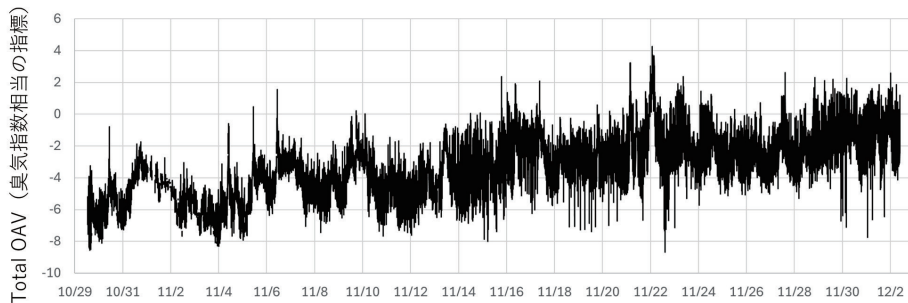
宿泊施設の駐車場でFAIMSと風向風速センサ (ULSA M5B) を用いて連続計測を行った。そして、臭気源の候補の一つであるバイオガス発電所でもFAIMSの連続計測を行った。バイオガス発電所は宿泊施設の南東方向に位置しているため、発電所の計測地点は敷地の北に設置した。

4-1 宿泊施設のOAVの連続計測

宿泊施設にて連続計測した結果から算出したOAVの推移を第4図に示す。値は概ね3以下となっていることから、本計測期間中は強い臭気は発生しなかったと考えられる。以降では、人間には感じない微量な臭気成分に対する議論を行う。

4-2 スペクトルパターンを用いた 臭気物質の由来の考察

第4図で、OAVが高くなったタイミングのFAIMSスペクトルを第3表に示す。これらのスペクトルと各施設のスペクトルの類似性を調べることで、宿泊施設に届いた臭気成分がどの



第4図 宿泊施設のOAV (臭気指数相当の指標) の推移

第3表 第4図でOAVが高くなったタイミングのFAIMSスペクトル

	①11/5 10:41	②11/6 10:46	③11/9 17:39	④11/15 19:03	⑤11/16 8:52	⑥11/17 9:11	⑦11/21 3:42	⑧11/22 1:42	⑨11/24 13:24	⑩12/2 0:14
正										
負										

第4表 各施設のスペクトル（第1表）に対する第3表のスペクトルの偏差値

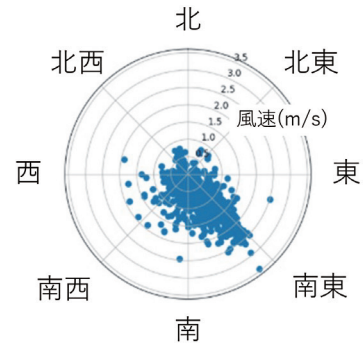
場所		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
畜産施設①	堆肥舎	2.8	2.9	2.8	2.7	3.3	5.0	3.4	3.3	3.9	3.2
	肉牛舎	3.0	3.4	2.8	3.0	3.5	5.0	3.7	3.4	3.9	3.2
畜産施設②	肉牛舎	2.2	3.3	2.9	1.8	2.0	4.0	2.1	4.6	4.3	3.8
畜産施設③	サイレージ置場	1.4	2.6	2.0	1.8	1.8	4.5	2.0	4.8	4.8	3.7
	乳牛舎	2.1	3.5	2.8	1.8	1.2	4.2	1.3	5.6	5.3	4.4
バイオガス発電所	固液分離棟	2.3	3.8	3.2	2.2	1.6	4.0	1.5	6.1	5.5	4.8
	食品残差棟	1.4	2.8	2.3	1.4	1.3	4.0	1.4	5.1	4.8	3.8

施設の由来なのかを検討した。各施設のスペクトル（第1表）を基準として、第3表のスペクトルの偏差値を算出した結果を第4表に示す。偏差値は、標準化誤差法¹⁵⁾を用いて算出し、正イオンおよび負イオンのスペクトルの平均値を示している。類似度が高い（偏差値が低い）施設は、畜産施設③とバイオガス発電所となった。

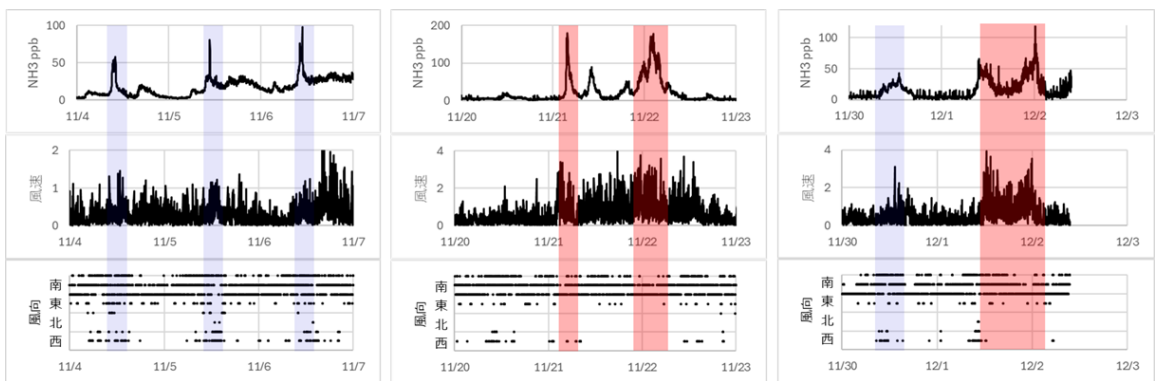
4-3 風向風速データを用いた臭気物質の由来の考察

第4図の連続計測中に最も高い濃度で検出できた成分であるアンモニアを指標として、同時に計測している風向風速を含めて解析し、宿泊施設に届いたアンモニアがどの方向に由来するのかを検討した。第5図にアンモニア濃度が高くなったタイミングの風向風速の推移を示す。アンモニア濃度が高くなるときは、北西の風速1 m/s程度以下（薄い網掛け部分）、または南

東の風速1 m/s程度以上（濃い網掛け部分）の風が吹いていることがわかった。また、アンモニア濃度が40 ppb以上となった風向風速のデータを抽出して極座標にしたグラフを第6図に示す。南東方向から強い風が吹いたときに宿泊施設のアンモニア濃度が高くなることが可視化

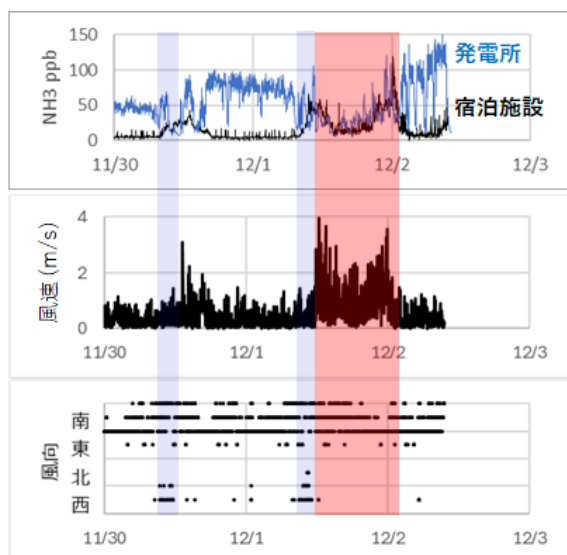


第6図 アンモニア濃度が40 ppb以上となったときの風向風速



第5図 宿泊施設のアンモニア濃度、風速、および風向の推移

された。南東方向は畜産施設②、③およびバイオガス発電所の方向である。一方で、宿泊施設の北側の未調査領域からも臭気成分が流れ込んでいることがわかった。第7図に発電所および宿泊施設のアンモニア濃度、風速および風向の推移を示す。強い風が吹いたときは風向によらず、発電所のアンモニア濃度が減少することがわかった。発電所で生じているアンモニア分子は風によって移動し周囲に拡散していると考えられる。しかしながら、発電所の北側の敷地境界は強い臭気を発生させるほどのアンモニア濃度ではなく、宿泊施設で検出された臭気成分も人間には感じない程度の微量であった（第4図）。以上から、宿泊施設で検出された微量の臭気成分の由来は、特定の単一施設に限定されるものではなく、周辺に存在する複数の臭気源や環境条件（風向・風速等）が重なって影響していることを可視化することができた。



第7図 発電所および宿泊施設のアンモニア濃度、風速および風向の推移

5. 臭気調査の方法論としての普遍化

今回の調査結果から、臭気苦情調査におけるFAIMSの標準的な計測手順を次のように整理

できる。

(1) 臭気源の候補となる

地点のスペクトル特徴の把握

“臭気スペクトル指紋”として整理し、基準データベースを構築する。

(2) 車載移動計測による空間分布把握

施設間距離・地形・風の抜け道を含めて評価する。

(3) 苦情地点での定点連続計測

突発イベントを含めた時系列を取得する。

(4) 風向風速との同期解析

成分変化と風の流れの整合性を検証。

(5) スペクトルを用いた臭気識別による

因果関係の推定

苦情地点で観測された臭気イベント時のスペクトルと臭気源候補地点のスペクトルとの類似度を統計的に比較し、発生源候補の妥当性を評価する。

(6) 不一致があれば、新たな候補地点を探索
取得したデータに基づいて調査領域を拡張する。

このように、FAIMSに基づく“多軸統合型の臭気解析”は、従来法では困難であった臭気源推定の体系化に寄与できる。

6. 今後の展望

FAIMSを中心としたリアルタイム気体計測は、今後以下の方向に発展し得る。

(1) AI解析による臭気スペクトルの自動分類
機械学習を活用した臭気源推定や異常検知。

(2) センサネットワーク化と

都市スケールの臭気マッピング

データ駆動型の環境行政と高い親和性を有する。

(3) 住民参加型 (Citizen Sensing) による
地域環境モニタリング

住民のスマートフォンアプリなどとの連携¹⁶⁾¹⁷⁾。

(4) 新しいエネルギーの社会実装に向けた アセスメント

バイオガス発電、アンモニア混焼発電、地熱発電、のアセスメントや安定運用への応用。

産官民が協働しつつ、地域・地球環境の改善に向けた実効的な取り組みが重要である。FAIMSによる臭気成分の“見える化”は、臭気という主観的課題に対して、科学的データに基づく共通理解と建設的なコミュニケーションを可能にする基盤技術になると期待している。

7. おわりに

本稿では、MEMS型FAIMSを用いた気体組成・時間・空間を統合した臭気調査事例を紹介した。複数の臭気源が混在する地域において、FAIMSは従来手法では得られない分子組成の変動と分布状況を可視化し、臭気苦情の原因推定に向けた可能性を示した。

今後はデータ解析手法の高度化や調査プロトコルの汎用化をブラッシュアップし、地域社会と協働した新しい環境モニタリング手法として提案していきたい。

<参考文献>

- (1) 環境省：悪臭防止法施行状況調査
<https://www.env.go.jp/air/akushu/index.html>
- (2) 重岡久美子：第66回大気環境学会年会、臭気環境分科会、要旨集 1J1600-2
- (3) D.Karakaya, O.Ulucan and Mehmet Turkan, Electronic Nose and Its Applications : A Survey, International Journal of Automation and Computing, 17, pp.179-209 (2020)
- (4) I.A.Buryakov, E.V.Krylov, E.G.Nazarov and U.Kh. Rasulev, A new method of separation of multi-atomic ions by mobility at atmospheric pressure using a high-frequency amplitude-asymmetric strong electric field, International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes, 128, pp.143-148 (1993)
- (5) G.A.Eiceman, Z.Karpas and H.H.Hill Jr., “Ion Mobility Spectrometry”, Routledge (2016)
- (6) A.A.Shvartsburg, “Differential Ion Mobility Spectrometry: Nonlinear Ion Transport and Fundamentals of FAIMS”, CRC Press (2008)

- (7) 菅井俊樹：“基礎から学ぶマスマスペクトロメトリー／質量分析の源流 第6回 気相移動度”, J. Mass Spectrom. Soc. Jpn., 58, pp.47-73 (2010)
- (8) A.Wilks, M.Hart, A.Koehl, J.Somerville, B.Boyle and D.R.Alonso, Characterization of a miniature, ultra-high-field, ion mobility spectrometer, Int. J. Ion Mobil. Spec., 15, pp.199-222 (2012)
- (9) Katsuya Ujimoto, Kunihiko Tan, Yoshihiko Miki, Akira Sugawa, Atsuo Hashimoto, Tomoki Nakayama, Journal of Environmental Management 395, 127758 (2025)
- (10) 氏本勝也・丹国広・三木芳彦・須川明・橋本篤男：においかおり環境学会誌、55巻、5号、pp.301-307 (2024)
- (11) 氏本勝也：車載テクノロジー、Vol.12、No.12 (2025)
- (12) 田中博：“畜産臭気の特徴について”、農業機械学会誌、51巻、4号、pp.99-104 (1989)
- (13) David B.Parker, Jacek A.Koziel, Lingshuang Cai, Larry D.Jacobson and Neslihan Akdeniz, Odor and Odorous Chemical Emissions from Animal Buildings:Part 6. Odor Activity Value, American Society of Agricultural and Biological Engineers, 55, pp.2357-2368 (2012)
- (14) (公社)においかおり環境協会：嗅覚閾値濃度データ <https://orea.or.jp/gijutsu/kyuukakusokuteihou/odor-threshold-values/> (参照日：2026年2月13日)
- (15) 手島昌一・兼高達武：“標準化誤圧とMT法の特性と診断技術－健康診断データを例として－”、品質工学、Vol.20、No.1 (2012)
- (16) Giuseppina Oliva, Federico Cangialosi, Michele Grimaldi, Isidoro Fasolino, Vincenzo Belgiorno, Vincenzo Naddeo, Tiziano Zarra, Case Studies in Chemical and Environmental Engineering 9, 100712 (2024)
- (17) 岡山県笠岡市臭気報告アプリ (KABAR)
<https://www.city.kasaoka.okayama.jp/soshiki/29/61983.html> (参照日：2026年2月13日)

筆者紹介

氏本 勝也

(株)リコー

未来デザインセンター

TRIBUS推進室

<主なる業務歴および資格>

MEMS技術を活用したイオン

移動度分析計の開発、および

フィールド実証に従事。環境検

査、労働安全衛生、製造業の品

質評価分野での実装を推進している。

<会社の主な事業内容>

リコーグループは、世界約200の国と地域でDX支援

や画像・印刷ソリューションを提供し、ワークプレイ

スの変革を支えている。

