

## PID 式連続 VOC 計を用いた土壌・地下水修復事業の効率化

村田明弘、篠田裕之、田中克知、  
 横河電機株式会社  
 東京都武蔵野市 2-9-32

### 概要

近年地球規模で有害な VOC (Volatile Organic Compounds: 揮発性有機化合物) 汚染が問題になっており、VOC 使用事業所での環境保全や汚染域の環境修復活動が進められている。これら活動に要望されている安価な VOC 連続計測に対応するため、PID (光イオン化検出器) 方式の連続 VOC 計を開発した。本連続 VOC 計の応用例として、土壌・地下水の VOC 汚染修復における遠隔モニタリングが可能になり、浄化進捗状況の把握や活性炭破過状態の自動検知等、事業の効率化が期待できる。

キーワード

環境モニタリング、土壌・地下水環境修復、VOC 連続計測

### 1 はじめに

トリクロロエチレンやテトラクロロエチレンなど塩素系 VOC (揮発性有機化合物) による土壌・地下水汚染は全国で 20 万箇所を越えていると推定されており、汚染地域の浄化修復が全国規模で行われている。一方、浄化事業に必須である、VOC 濃度の測定・監視については、殆どが人手によるサンプル採取と手分析にゆだねられている。こうした現状をふまえて、質の高い監視情報の提供により、環境保全・修復活動の効率化、省力化、信頼性向上を実現させるため、現場設置型の連続 VOC 計を開発した。計測対象は、空気中の VOC 監視と地下水等の水中 VOC 監視がある。本 VOC 計は、検出器に空気中の VOC を高感度で検出する小形 PID (光イオン化検出器) を使い、水中 VOC 用では水中 VOC 成分を連続的に抽出するスパージング器と組み合わせて、地下水環境基準である 10 $\mu$ g/L のテトラクロロエチレンを検出することができた。今回は、その技術構成と検出特性、及びその土壌・地下水修復プロセスへの応用について紹介する。

### 2 PID 式連続 VOC 計

#### 2.1 構成 (水中 VOC 測定用)

図 1 に開発した水中 VOC 測定用連続 VOC 計の全体構成を示す。地下水 VOC 浄化処理プロセス等のプロセス側よりサンプル水が定流量ポンプによりスパージング器に連続的に導入される。同時に、VOC 成分を含まない清浄空気を一定流量でスパージング器に連続的に導入する。導入された空気は、スパージング内

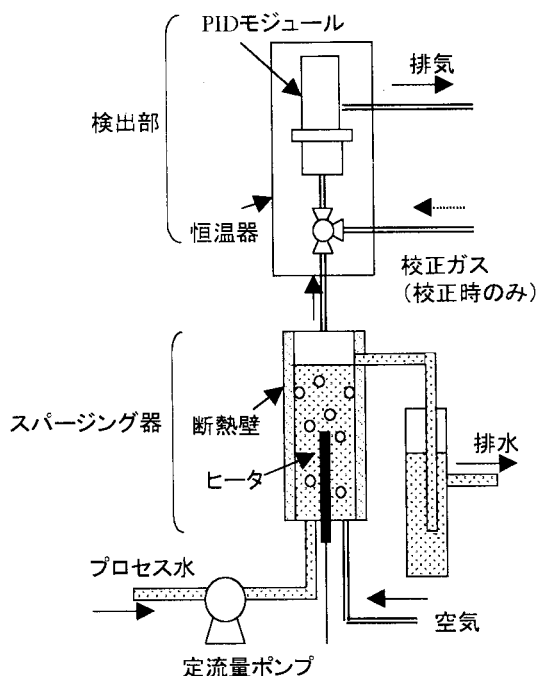


図 1 水中 VOC 測定用連続 VOC 計の全体構成

のサンプル水中を気泡となって通過する。その過程で、サンプル水中の VOC 成分は気泡中に気化して連続的に抽出される。抽出された VOC 成分を含んだ空気は検出器側に導入される。気体・液体の二相状態における気液平衡状態では水中 VOC の Henry の法則に従い、ガス中に VOC 成分が抽出される。

$$H \propto P / S$$

H: Henry 定数 物質固有、温度の関数 → 高温ほど抽出量大

P : VOC 成分気中分圧

S : VOC 水中濃度

土壌地下水浄化監視応用で測定対象となる VOC 成分であるトリクロロエチレンとテトラクロロエチレンを効率よく抽出することを考慮して、スパージャ温度は 5 0 °C に設定した。実際には、液・ガスが連続的に外部より流入、流出している非平衡状態なので、サンプル水流量、空気流量に VOC 抽出量が依存するため、これら流量を一定にすることで再現性の良い抽出効率を得るようにした。

気化抽出された VOC 成分を含んだ空気は、検出器の PID (光イオン化検出器) に導入される。図 2 に PID の原理構成図を示す。ランプ内に特定成分ガスが封入され、外部から高周波電界励起することで 10.6 eV の真空紫外光が放射される。この紫外光により、10.6 eV 以下のイオン化エネルギーを持つ成分はイオン化され、イオン電流として検出される。ベンゼン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン等の主な有害 VOC 成分はイオン化されるが、空气中主成分の N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>O 等はイオン化エネルギーが高く検出されないため、VOC 検出器として動作する。PID は、VOC 成分間の選択性はないので検出される成分のトータル換算値が測定値となる。ただし、成分ごとの相対感度が決まっているため、標準成分で感度校正をおこなうことで、測定物質の組成比率が変わらない限り、換算濃度を測定することができる。

主な測定対象となる成分のイソブチレンガスに対する CF 値 (Correction

Factor) を表 1 に示す。例えば、100 ppm 濃度のイソブチレンガスで校正すれば、テトラクロロエチレンを測定する場合、測定指示値に 0.58 を乗算すれば実際の測定濃度となる。今回紹介した水中 VOC 測定用連続 VOC 計は、予め校正溶液でスパージング器抽出率を求めておくことで、その後はイソブチレン標準ガスとゼロガスによりスパン、ゼロ校正を行える構成にした。空气中 VOC 測定用の場合は、スパージャーを省略した構造となる。

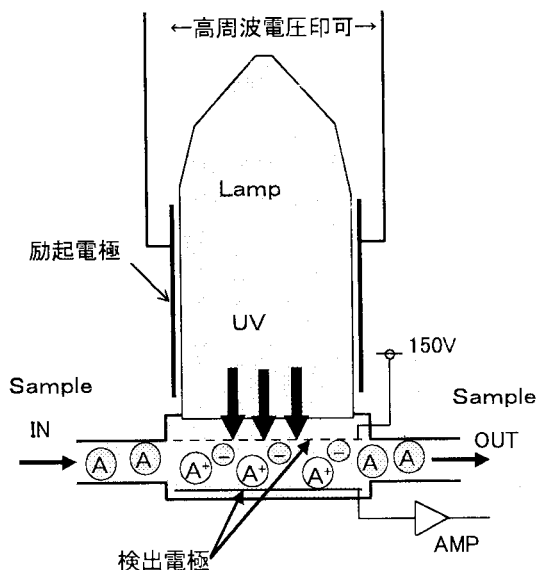


図 2 PID (光イオン化検出器) の原理構造

検知対象ガス	CF	検知対象ガス	CF
イソブチレン	1.0	MIBK	1.2
ベンゼン	0.53	エチルアセテート	4.6
トリクロロエチレン	0.52	ブタジエン	1.0
テトラクロロエチレン	0.58	プロピレン	1.7
アセトン	1.1	n-ヘキサン	4.3
塩化ビニル	2.0	n-ペンタン	2.6
酢酸ブチル	2.6	IPA	6.0
スチレン	0.42	二硫化炭素	1.2
トルエン	0.5	硫化水素	4.1
MEK	0.86	エタノール	12.0

図 3 10.6eV PID の主な VOC 成分の CF 値

## 2.2 VOC 検出特性

図4にガス中 VOC 測定用連続 VOC 計で、ゼロガス (VOC 成分のない清浄空気) と 1.8 ppm のイソブチレン (空気バランス) をサンプルガスとして交互に導入した場合の測定結果を示す。高い S/N 比で測定できており、ppm 以下の微量 VOC 濃度も十分測定できることが分かった。

図5は水中 VOC 測定用連続 VOC 計で、ゼロ水 (VOC 成分のない水) と一般環境水基準であるテトラクロロエチレン 10 μg/L 濃度水を切り替え測定した結果である。環境基準レベルの水中の微量 VOC を十分な感度で検出できており、環境監視用として使用できる感度を有していることがわかる。

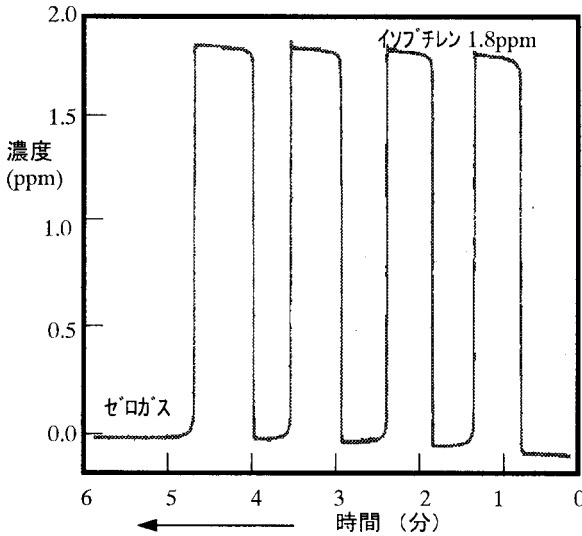


図4 PIDによる気中 VOC の測定例

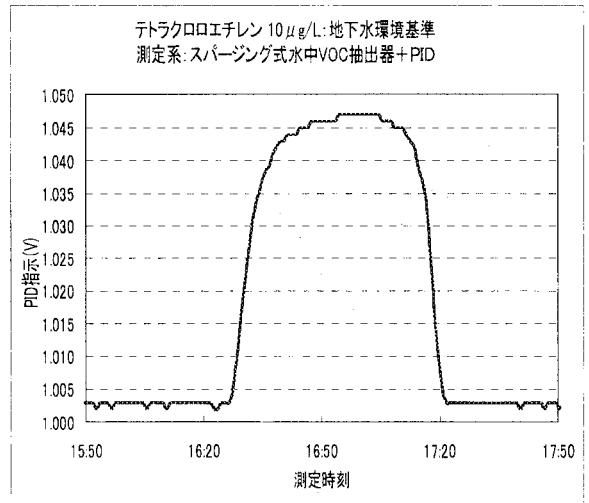


図5 連続 VOC 計による水中 VOC の測定例

## 3 土壌・地下水修復での VOC 連続監視応用

### 3.1 浄化プロセスと VOC 監視ポイント

図5に、VOC 汚染土壌・地下水の浄化プロセスと VOC 監視箇所を示す。VOC 汚染で普及している浄化方法は、土壌汚染の場合は、汚染箇所にあけた縦坑より真空ポンプ等で土壌中ガスを吸引し、活性炭への吸着や紫外線による VOC 分解等の処理を行い、処理ガスを大気へ放出する。地下水浄化の場合は、揚水ポンプにより地下水を引き揚げ、暴気することで VOC 成分を気化させ、その VOC 成分を含む空気を、土壌浄化と同様に活性炭吸着等で処理して大気排出する。暴気処理水はそのままか、さらに水用活性炭吸着処理後、下水へ放流、若しくは工業用水として使用する。VOC 濃度の主な連続監視目的は、下記の通りである。

原ガス、原水監視として、

- ①土壌中ガス、地下水の浄化レベルの把握と、累積処理量の把握
- ②汚染負荷に対応した浄化装置運転

処理ガス、処理水監視として

- ③VOC 吸着容量を超えたときの活性炭破過の検知
- ④排水基準、排ガス基準値との比較監視と警報発信

①と②は浄化装置と連続 VOC 計を連動させることで、浄化状態に対応した効率の高い浄化システムの構築が期待できる。また、③と④は排出系を連続監視することで、異常時の迅速対応など、周囲環境、地球環境に責任を持った浄化活動を実現できる。

### 3.2 広域監視システムの構築

各浄化サイトに連続 VOC 計を設置しその計測情報を情報通信ネットワークに接続することで、広域に多数点在する浄化サイトを管理もしくは監視している自治体や民間浄化会社が、管轄浄化サイトの浄化状態、を常時中央集中監視することができる。図6は、そのシステム構成例であり、VOC 計出力を通信機能付き記録計に接続し、電話回線を介して中央監視室のコンピュータで常時監視でき、異常警報等、浄化状態に対応した迅速効率的な対応を広域で実行可能なシステム構築が期待できる。

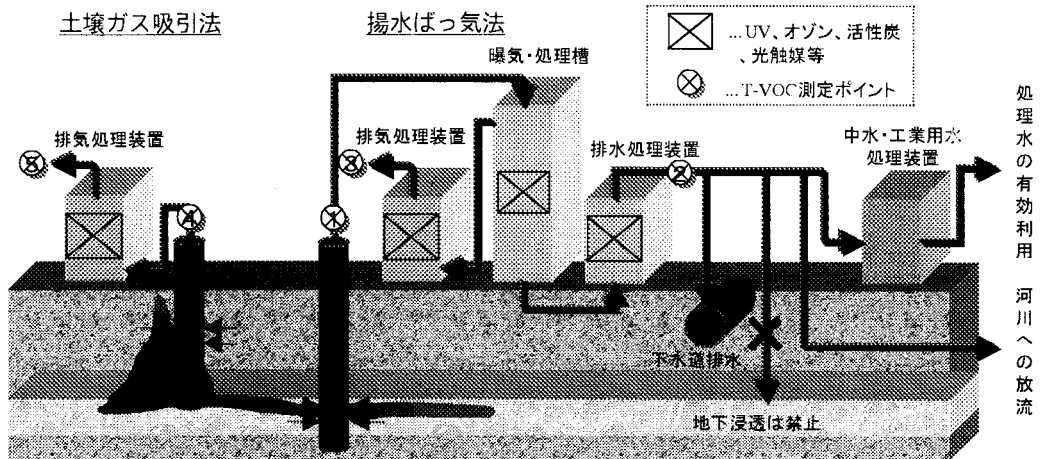


図6 土壌・地下水浄化プラントと VOC 監視ポイント

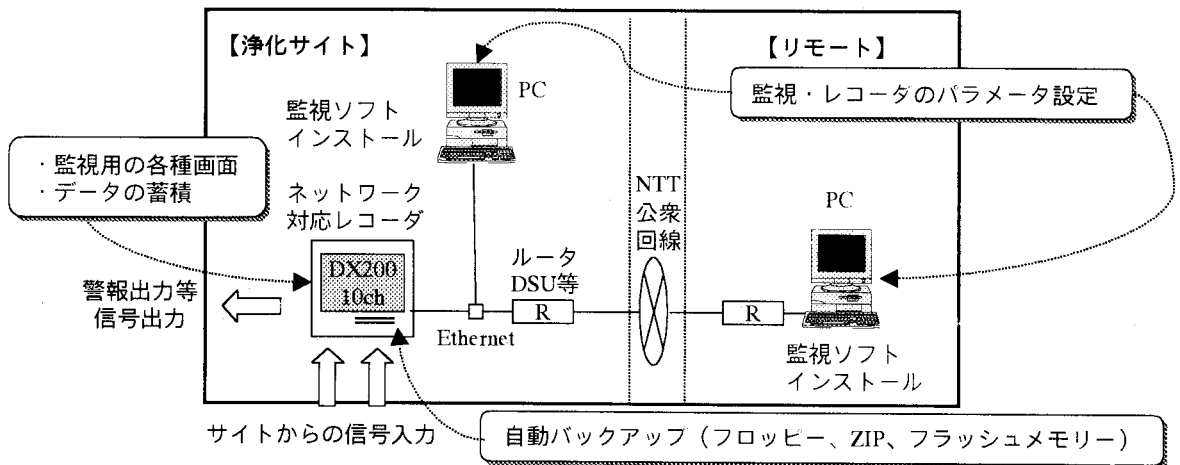


図7 広域 VOC 監視システム構成例

#### 4 まとめ

VOC に高い検出感度を持つ小形 PID を用いた連続 VOC 計について述べ、応用例として、土壌・地下水 VOC 汚染域における連続自動浄化監視、及びその計測信号を情報通信ネットワークに接続して構築する広域監視システムの構想について述べた。連続 VOC 監視、及びその広域監視システムが普及し、VOC 汚染環境の修復事業の効率化に役立っていくことを期待する。

#### 参考文献

- 1) 村田明弘他：横河技報、Vol.44, No02. p67-p70. 2000
- 2) 篠田裕之他：横河技報、Vol.44, No02. p87-p90. 2000