

煙道排ガス分析装置 ENDA-2000シリーズ

Stack Gas Analyzer ENDA-2000 Series

藤原 雅彦・嘉田 教夫

Masahiko FUJIWARA, Norio KADA

【要旨】

煙道排ガス分析装置は、発電プラントにおいて煙突から放出される大気汚染物質の濃度管理や燃焼管理用として数多く使用されている。近年各種の公害防止技術が発展するのにもとない、高精度・高信頼性・長期安定性を強く要求されている。

本稿では、新たに開発した煙道排ガス分析装置(ENDA-2000シリーズ)の測定原理、仕様、特長などを紹介し、また発電所での長期間にわたる実装試験の結果、高い安定性が得られた事を報告する。

Abstract

Many stack gas analyzers have been used for the concentration control for air pollutants emitted from the flue and for combustion control at power generation plants. With the advances in various pollution control technology in recent years, high precision, high reliability, long-term stability have been strongly clamored for.

In this paper, the principle of measurement, specifications, features, etc. of our newly developed stack gas analyzers (ENDA-2000 Series) are introduced as well as it is reported that high stability was obtained as a result of actual installation tests over a long term at a power generation plant.

1. はじめに

近年経済活動の拡大に伴い、地球レベルでの大気汚染・水質汚濁等の環境破壊がクローズアップされている。

大気汚染の発生源としては、工場・事業所などの煙突から排出される固定発生源、自動車に代表される移動発生源、自然発生源(火山活動等)がある。

固定発生源排ガス中の大気汚染物質濃度の測定については、その施設規模に応じ、大気汚染防止法や地方公共団体の条例により規制されている。

さらに公害防止の観点から、排出物質に対する規制はますます厳しくなっており、各種燃焼排ガス中に含まれる窒素酸化物(NO_x)の低減対策としては、燃焼改善や燃料転換などによる対応が行われている。厳しい NO_x 規制に対応するためには排煙脱硝装置が効果的であり、すでに多数の発電用ボイラに適用されている。

とくにアンモニアを還元剤として用いる選択接触還元法(Selective Catalytic Reduction:SCR)は、最も信頼性の高いNO_x低減技術として評価されている^{1~5)}。

煙道排ガス分析装置は最近濃度測定だけではなく、燃焼管理やボイラの制御にも使用されている。また濃度出力は、市や県などにテレメータを通じて送られており、公害防止に役だっている。

煙道排ガス分析装置として、最新の技術を導入して開発したEN-2000シリーズを紹介する。

2. 煙道排ガス分析装置の設置

ここでいう煙道とは、例えば電力会社における発電用の燃焼ボイラから煙排出用の煙突までを指す。煙道には、図1のように排煙脱硝装置、電気集塵機、排煙脱硫装置などが必要に応じて設置されている。煙道排ガス分析装置は、脱硝装置の出入口、脱硫装置の出入口、煙突の入口などに設置され、常に排出ガスの濃度の測定を行っている。

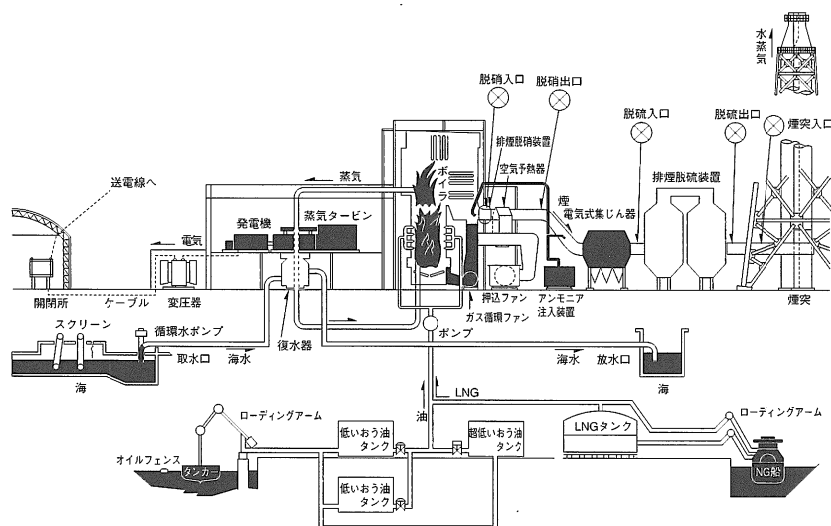


図1 発電所の仕組みと煙道排ガス分析計の設置場所
Mechanism of power generation plant and installation place of stack gas analyzer

3. ENDA-2000シリーズの特長

(1) サンプリング系におけるドレンの高い分離能力

ボイラなどからの燃焼排ガスは多量の水分を含む高温のガスである。この排ガスを分析部に導入する前には、ガス温度を分析計の設置されている環境温度以下にまで下げるため多量のドレンが発生する。サンプリング系における気液の分離能力が不足する場合には、サンプル配管中にドレンが析出し、分析計の指示に影響を及ぼす事がある。

このため、プリクーラーの設置、サンプリングラインでの加圧部分の低減などによりドレンの凝縮や混入防止等処理能力を向上させた。さらに三段除湿を採用し、ドレン中へのNO₂やSO₂の溶解損失の低減を図った。

(2)自己診断機能の充実

- バッテリー低下 ● 電磁弁停止 ● 流量低下 ● 校正不能
- CPU停止 ● 除湿器露点上昇 ● 検出器温度異常 ● 電源断

などを検出機能として標準装備し、故障発生時に原因の早期発見や、装置が正常に動作していることの確認を迅速に行うことができる。

(3)間欠的な運転に適したサンプリング系

従来、サンプルガスの流量の制御は、ある一定の高さに保った水柱の中をバブリングすることによりサンプルガスの圧力を一定にしたのち、毛細管(キャピラリー)を介して定流量化していた。しかしコンバインドサイクル発電のように、起動や停止の多い場合には、常にサンプルガス中からドレンが供給されないため、水面の高さが蒸発により変化し、圧力が一定に保てないことがある。

このため定流量サンプリング法として、水を使用しない調圧器による圧力制御方法を採用することにより、サンプルガスからの水分の供給状態に左右されない安定した圧力制御が可能となった。

(4)幅広い設置環境条件

電源電圧変動の許容範囲は100V±15%、電源周波数変動の許容範囲は基準周波数±5%、環境温度の許容範囲は-5~50℃(オプション)と外乱の影響を受けにくく、幅広い設置条件にも対応可能である。

(5)高い部品の信頼性

測定の再現性の向上やノイズの低減のために、ガス流路の切換えに長寿命の電磁弁を使うなどして信頼性を高めた。

(6)操作性を高めた前面操作

前面のLCDパネルには、各種情報を表示し、装置の操作性をやすくし、メンテナンス性の向上を追求した。

4. 煙道排ガス分析装置(ENDA-2000シリーズ)の概要

煙道排ガス分析装置ENDA-2000シリーズは主に電力会社向けに作った、高性能・高感度・高機能の分析計である。

4.1 測定原理

固定発生源のNO_xの測定法としては、非分散型赤外線分析法(Non-dispersive Infrared Analyzer:NDIR)と化学発光法(Chemiluminescence Detector:CLD)などがあるが、小型、構造が簡単、妨害成分の影響が少なく、また高感度であるなどの点から流体変調方式(Cross Flow Analysis:CFA)のNDIRを採用した。

図2にCFA方式のNDIR分析計の測定原理を示す。

4.2 仕様

主な仕様を表1に示す。

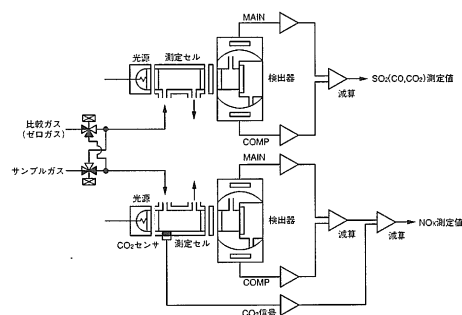


図2 CFA方式 NDIRの測定原理図
Diagram of principle of NDIR using CFA

測定対象成分	NO _x , SO ₂ , CO, CO ₂ , O ₂
測定成分数	O ₂ を含む最大3成分
測定レンジ レンジ比10倍 (3レンジ)	NO _x 10ppm~5000ppm
	SO ₂ , CO 50ppm~5000ppm
	CO ₂ 5vol%~50vol%
	O ₂ 5vol%~25vol%
再現性	フルスケールの±0.5%
CO ₂ 干渉補正	CO ₂ 濃度に応じた干渉補正(NO _x 計のみ)
O ₂ 換算値	NO _x , SO ₂ (2成分)

表1 ENDA-2000シリーズの仕様
Specifications of ENDA-2000 series

4.3 特長

NDIR法を採用したことによる特長を以下に述べる。

(1)高感度

高効率脱硝技術や低NO_xタービンの開発により、近年、排ガス中のNO_xは低濃度化しており、分析計の測定レンジも高感度化する必要がある。CFA法を採用したことにより、NDIR法としては最高感度であるフルスケール10ppmを実現した。

(2)CO₂干渉の補正

CO₂干渉は、パイロセンサを用いた専用のCO₂干渉補正用センサを搭載する事により、ほとんど無視できるまでに低減化された。

図3のデータはCO₂干渉補正機能が搭載されていない場合と、搭載されている場合の干渉値の比較を行ったデータである。NO_x10ppm計において、CO₂のガス濃度を順次変えていき、その時のCO₂干渉を確認したが、干渉補正センサによる補正機能の効果が顕著に現れている。

(3)半透膜除湿器による高い除湿

サンプルガス中の水分除去は、半透膜を使った除湿器(Perma Pure Dryer:PPD)を使用して水分露点として-20℃程度まで下げている。

NDIR法のNO_x計の場合、煙道排ガス中の干渉成分としては水分が最大であり、PPD出口の水分露点の変化は測定精度に影響を与える場合がある。従来、PPDの除湿能力を簡易に確認する方法がなかった。本装置では、専用シーケンス及び水分干渉補正用の検出器の信号のみを濃度演算する回路の追加により、ワンタッチでPPD出口のサンプルガス露点を確認することにより高い除湿能力のチェックが可能となった。

(4)用途別の充実したシステム

発電に使用される燃料は石炭、重油、LNGなどさまざまで、さらに混焼や燃料の切換えもあり、このため排ガスの組成も種々に変化するので燃料に応じた最適なサンプリングシステムと光学系を構成する必要がある。表2にその一例を示す。

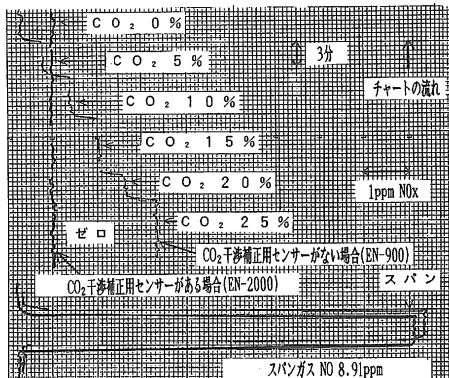


図3 CO₂干渉の補正データ
Compensation data of CO₂ interference

燃 料	問 題 点	対 応 方 法
石 炭	ダストが多い	フィルタの強化・ブローバックシステムの採用
重 油・LNG 燃 料 切 換	SO ₂ 計のCH ₄ 干渉	LNGの場合S分は極めて少ないが、SO ₂ とCH ₄ は赤外吸収が重なっているため一般的に干渉がある。LNG中の未燃のCH ₄ が存在する場合干渉を低減するLNG用のCH ₄ 干渉補正形のSO ₂ 計を準備
LNG (ガスタービン)	ガス温度が高い	排ガス温度に適した最適な材質の選択

表2 各種燃料に応じた対応方法
Methods to meet various types of fuel

4.4 実装試験

煙道排ガス分析装置はいろいろと異なった環境に設置され、連続測定機として年間を通じての長期で安定した性能が要求される。

ある発電所に1年間実際に分析計を設置して、連続測定による安定性の試験を行った結果を図4～7に示すように非常に安定していることが分かる。なお、測定条件は次のように設定した。

試 験 機 型式 ENDA-2400 (NO_x/SO₂/O₂計)
測定レンジ NO_x 0～50ppm
SO₂ 0～100ppm
O₂ 0～25vol%

試験条件 1週間に1回の自動校正を行い校正後の指示ドリフトの偏差をプロット。

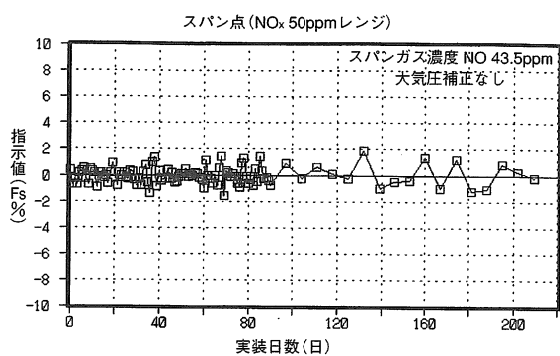


図4 NO_x計スパンドリフト
NO_x analyzer span drift

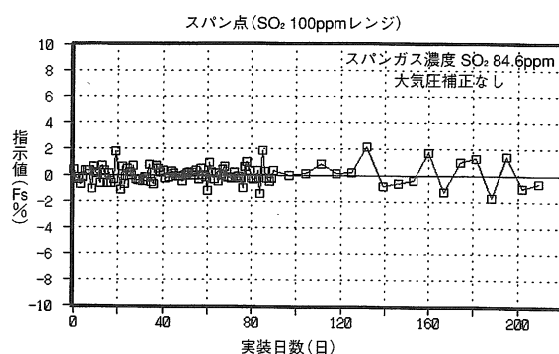


図5 SO₂計スパンドリフト
SO₂ analyzer span drift

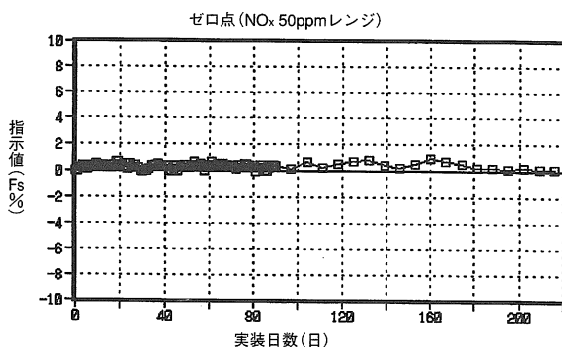


図6 NO_x計ゼロドリフト
NO_x analyzer zero drift

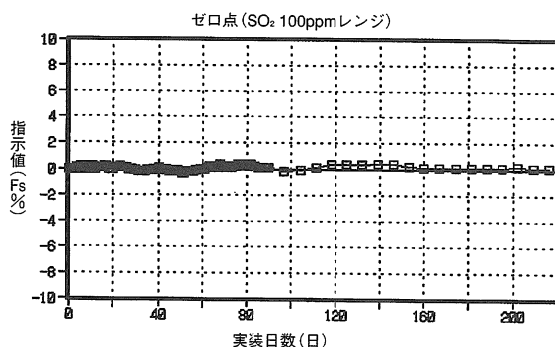


図7 SO₂計ゼロドリフト
SO₂ analyzer zero drift

5. 煙道排ガス分析装置(ENDA-C2000シリーズ)

5.1 NH₃測定法

煙道排ガス中のNH₃連続測定法としては表3に示すようなさまざまな方法がある。しかしマイクロ波吸収法や紫外線吸収法はNH₃のドレンに対する溶解損失を避けるため、分析計内部や分析計までのサンプル配管を高温に加熱する必要があり、保守する上で扱いにくい点がある。そのためできる限りサンプル採取点に近い所でNH₃を別のガス種に変換し、またNH₃を高感度に測定する必要性から、化学発光法を用いた還元方式と酸化方式が現在主流の測定方法となっている。

測定原理	化学発光法		赤外線吸収法	マイクロ波吸収法	紫外線吸収法
	還元方式	酸化方式			
検出対象	NO	NO	NO	NH ₃	NH ₃
測定方式	NO _x -NH ₃ の還元反応によって減少するNO濃度を検出し、還元反応を伴わないラインのNO濃度との差をNH ₃ 濃度とする	一つのコンバータでNO _x →NOとし、もう一つのコンバータでNH ₃ +NO _x →NOとし、両者の差をNH ₃ 濃度とする	化学発光法と同様であるが検出器として赤外線吸収を利用	NH ₃ のマイクロ波吸収(例えば23870MHZ)を利用	NH ₃ の紫外線吸収(例えば2090Å)を利用
サンプリングシステム	煙道中に設けたコンバータにより、NO _x -NH ₃ の還元反応を行わせ、サンプリング導管を通して検出器へ導く。	NH ₃ コンバータ(酸化器)でNH ₃ をNOに変換し、サンプリング導管を通して検出器へ導く		ダスト除去後、煙道ガス組成のまま検出器に導く。高温の加熱サンプリング導管を使用	
長所	●NO_xとNH₃を同時に測定できる ●高温の加熱導管が不要	●NO_xとNH₃を同時に測定できる ●高温の加熱導管が不要	●NO_xとNH₃を同時に測定できる ●高温の加熱導管が不要	●直接測定である	●直接測定である
短所	●排ガス中のNO_xとNH₃の反応を行わせるためNO_x>NH₃の条件が必要	●コンバータが高温(約700℃)のため、酸化触媒の耐久性に問題がある		●吸収セル内を減圧しており、保守性に問題がある ●加熱サンプリング導管及び加熱セルを使用するため、消費電力が大きい	●加熱サンプリング導管及び加熱セルを使用するため、消費電力が大きい ●SO₂の干渉がある

表3 NH₃連続測定法
Continuous measurement method for NH₃

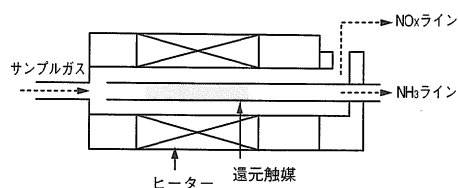
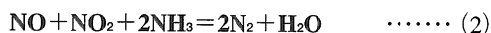
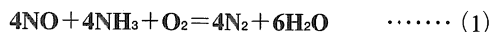


図8 前処理装置の概略図
Sketch of pre-treatment device

5.2 測定原理(還元触媒法)

還元触媒法は、図8に示すように二つの流路を持った前処理装置で入ってきたサンプルガスを二つに分ける。NH₃ラインでは、還元触媒上で(1)、(2)式に示すようにNO_xとNH₃を1:1の当量反応を行わせることにより、NH₃に相当する分だけNO_xを減少し、残ったNO_xだけを分析部へ導く。一方、NO_xラインではNO_xがそのまま通過し、分析部へ導かれる。それぞれのラインのNO_x濃度の差を演算し、NH₃濃度として出力する。



ENDA-C2000ではCLDを採用したが、理由は次の通りである。

- ①高感度にNO_xが測定できる。
- ②マイクロ波吸収法や紫外線吸収法の直接測定法のように高温の加熱サンプリング導管が不要。
- ③前処理段階でNH₃を反応させるため、NH₃のドレンへの溶解損失による測定誤差がない。
- ④当社のNDIR法と比較してサンプリング流量が少流量で測定可能なため、前処理装置のSV値(Space Velocity, 触媒の単位容積当りのガス流量, 単位はhr⁻¹)を低減させることができる。

測定レンジ	NH ₃ 10ppm～
再現性	フルスケールの±0.5%
応答速度	装置入口より90%応答 1分以内
O ₃ 発生法	紫外線ランプ
NO _x 同時測定	検出器1台で同時測定

表4 ENDA-C2000の仕様
Specifications of ENDA-C2000

5.3 仕様

表4にENDA-C2000の仕様を示す。

5.4 特長

ENDA-C2000には次のような特長がある。

(1) 分析部の高い安定性

NO_xとNH₃の両方を1台のNO_x検出器で測定するため、検出器間のバラツキやドリフトなどに影響されない安定した測定系となっている。

(2) 過渡応答およびライン指示差補正機能

5.2項で述べたように、NH₃の測定にはサンプルガスを二つに分けてそれぞれの差を検出しているため非常に高感度が実現できた。このためサンプリングラインが長くなることにより過渡応答やラインの指示の差が生じることがあるが、これらは信号処理を工夫して完全に補正した。

(3) 高濃度NH₃の測定と触媒効率の自動モニタ機能

既知濃度のNOを添加してNO_x濃度以上の高い濃度のNH₃を測定できる機能、および触媒還元効率を自動的に判定する機能をオプションとして備え、広範囲の測定対象を長期間安定して測定できるようにした。

5.5 NO_x計の高感度化

従来の反応槽の構造を改良し、反応槽の中心でサンプルとO₃を反応させ、ガスの流れを渦巻状にしてできる限り全発光量を検出器で受光できるような構造とした。更に反応槽と検出器の距離を短くし、NO_x計としての感度向上を図った。これらにより従来の当社のNO_x計に比較して約2～3倍の感度向上を図ることができた。

5.6 NO_x/NH₃同時測定の実理

図9に示すように三つの電磁弁によりNO_xライン→ゼロガス→NH₃ライン→ゼロガス→NO_xライン→……というように一定周期でガス流路を切替へ、アナログスイッチで検出器の信号を同期整流、同期平滑しアナログ信号に変換している。

NH₃濃度は、NO_xラインのNO_x出力とNH₃ラインのNO_x出力の差を演算し出力している。

5.7 酸化触媒法の適用

還元触媒法の場合では、NH₃濃度がNO_x濃度より高い場合には、NO_xが不足するため、正確な測定ができない。（このような状態は、ボイラ立ち上げ時や、緊急時にNH₃を過剰に注入する場合に発生しやすい）。

このような時にもNH₃を正確に測定する方法として酸化触媒法がある。この方法は次式のようにNH₃をNO_xに変換するため、還元触媒法のようにNH₃とNO_xとの濃度比を考慮する必要はない。



一方、NH₃を酸化するためには、触媒を約700℃にまで加熱する必要があるため、触媒の劣化が早くなる。そこで現状ではサンプル組成の比較的クリーンなLNG焚に適用が限定される。

表5に還元触媒法と酸化触媒法の特性比較を示す。

項目	還元触媒法	酸化触媒法
変換方法	NH ₃ とNO _x との脱硝反応を利用	NH ₃ のNO _x への酸化反応を利用
触媒温度	約350℃	約700℃
NH ₃ 測定方法	差量法	差量法
長所	①触媒温度が低いため、触媒の熱的劣化が少ない。 ②あらゆる燃料排ガスに適用できる。	①NO _x 濃度<NH ₃ 濃度の時でもNH ₃ 測定が可能。 ②NO _x やNH ₃ 濃度がどのような条件でもNO _x /NH ₃ の同時測定が可能。
短所	①NO _x 濃度<NH ₃ 濃度時はNH ₃ の測定は不可。 ただしNO添加を行うとNH ₃ 測定は可能となるが、NO _x を同時測定することはできない。	①触媒温度が高いため、熱的劣化が進みやすい。 ②酸化触媒の被毒を考慮すると、LNG焚等のクリーンな排ガスに限定される。

表5 還元触媒法と酸化触媒法との比較
Comparison of reduction catalytic and oxidation catalytic methods

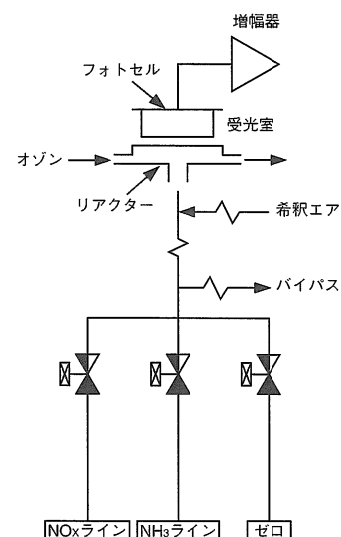


図9 電磁弁によるガス切替方式
Gas switching system by solenoid valve

6. おわりに

電力需要が今後ますます増大していく中で、ボイラやガスタービン発電、これらを組み合わせたコンバインドサイクル発電など一層熱効率の高い発電システムが要求されている。また昼夜間の電力需要変化を吸収する負荷調整機能も火力発電に求められている。

このような中で煙道排ガス分析装置は性能、機能、信頼性、安定性の高いものが要求されており、さらに操作性や保守性の向上、省エネルギー化やランニングコストの低減などが一層必要となっている。

今後ともより高性能で使いやすい排ガス分析装置の開発・販売を通じて、少しでも地球にやさしい環境づくりに貢献できることを願っている。

参考文献

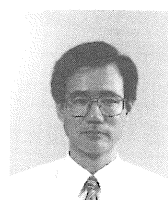
- 1) 飯山敬之 “燃焼講座69 脱硝装置”, 工業加熱, Vol.28, No.2, p63-70 (1991).
- 2) 手塚真 “排煙脱硝の技術”, 安全工学, Vol.27, No.6, p367-372 (1988).
- 3) 加藤公 “最近のボイラにおける低NO_x技術について”, 紙パ技協誌, Vol.45, No.5, p560-567 (1991).
- 4) 井上明 “触媒と化学工業 第8回 その他の公害防止触媒”, 化学経済, Vol.1, 37, No.11, p94-100 (1990).
- 5) 永井智幸, 相楽和男, 高塚汎, 出本昌則, “脱硝装置におけるアンモニア注入予測制御”, 三菱重工技報, Vol.25, No.1, p32-36 (1988).



藤原 雅彦

Masahiko FUJIWARA

環境・工業計測開発部 主任
1984年入社
環境用・工業用ガス分析計の
開発に従事



嘉田 教夫

Norio KADA

環境・工業計測開発部 係長
1980年入社
環境用・工業用ガス分析計の
開発に従事