

技術論文

コンピュータ制御されたフローインジェクション分析装置の開発と環境水中の硝酸イオン、亜硝酸イオン、アンモニウムイオン定量への応用

城市 康隆¹, Narong LENGHOR², 高柳 俊夫^{®2}, 大島 光子²,
本水 昌二², 浦 信夫³

低電力でパーソナルコンピュータによる制御が可能なフローインジェクション分析装置の開発を目的として、ソレノイドポンプと発光ダイオード (LED) 検出器を用いるシステムを構築し、LabVIEW を用いて装置制御とデータ取り込みを行うプログラムを組み上げた。このフローインジェクションシステムを用いる分析法として、ジアゾ化カップリング反応に基づく河川水中の亜硝酸イオンの定量に適用した。各種ポンプと検出器の組み合わせにおいて、亜硝酸イオンの検量線は $0.5 \sim 3.0 \times 10^{-6}$ M 範囲で良好な直線性が得られた。また、Cd/Cu 還元カラムを用いる亜硝酸イオンと硝酸イオンの分析ではバイパス流路への分岐と遅延により、両者を分別して定量することができた。インドフェノール法に基づく河川水中アンモニアの定量にも適用し、窒素分析を目的とする環境試料に適用可能であることを示した。

1 緒 言

フローインジェクション分析 (FIA) 法では、定常的な液体流れ上で制御された反応に基づいて、迅速、高感度、かつ再現性の高い分析法を開発することができる。また、必要に応じて前処理操作や濃縮操作を系内に組み込むことができ、装置の自由度が高い。FIA 装置の構成要素である送液ポンプとして、プランジャー型ポンプやペリスタ型ポンプなどが使用されている。現在、その他の送液ポンプとして小型、軽量のソレノイド型ポンプが開発されており、低電力でパーソナルコンピュータによる制御が可能となっている。Weeks らは、ソレノイド型ポンプを FIA に使用した初期の研究を報告している¹⁾。最近では、1,5-ジフェニルカルバジドを用いた Cr(VI) の定量²⁾や、化学発光反応を利用した過酸化水素及びアンモニウムイオンの定量³⁾、ヒ素のスペシエーションのための水素化ホウ素ナトリウムの供給手段⁴⁾などへの利用が報告されている。また、FIA 法はその特徴から、現場での簡便、迅速な分析法として有効な方法といえる⁵⁾。このようなオンサイト分析が可能な FIA システムの開発において、小型で安価な自動定量装置の開発は重要なテーマの一つである⁶⁾。

本研究では、小型で安価な FIA 装置を開発するため、送液ポンプとしてソレノイド型ポンプを使用し、制御プログラムとして LabVIEW を用いた FIA システムを構築した。そして、このシステムを、ジアゾ化-カップリング反応を利用した亜硝酸イオンの定量、銅-カドミウム還元カラムを併用した硝酸イオン、亜硝酸イオンの同時定量、更にインドフェノール法によるアンモニアの定量へ適用し、その実用性を検討した。

2 実 験

2.1 装置・制御

制御・データ収集プログラムの作成には LabVIEW (National Instruments 製, Ver. 7.1) をノート型パーソナルコンピュータ (ノート PC) にインストールして用いた⁷⁾⁸⁾。ポンプ、バルブへの信号出力、検出器からの信号入力 of インターフェースには National Instruments 製 DAQCardTM-6024E をノート PC の PCMCIA スロットに挿入し、接続ケーブル (National Instruments 製, RC68-68), 端子台 (National Instruments 製, CB-68LP) を介して装置に接続した。

送液ポンプには Bio-Chem Valve 製ソレノイド型ポンプを用いた。12 V 駆動型 (120SP12-20, 吐出量 20 μ l) と 24 V 駆動型 (120SP24-20, 吐出量 20 μ l) を用いて比較した。24 V 電源にはオムロン製 CPM1A-30CDR-A-V1 を、12 V 電源には TRACO POWER 製 TXL 060-0522 あるいは

¹ 岡山大学理学部化学科: 700-8530 岡山県岡山市津島中 3-1-1
² 岡山大学大学院自然科学研究科機能分子化学専攻: 700-8530 岡山県岡山市津島中 3-1-1
³ 株式会社相馬光学: 190-0182 東京都西多摩郡日の出町平井 23-6

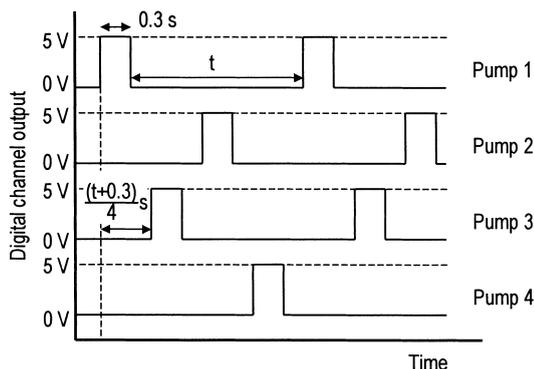


Fig. 1 Programs for the control of solenoid pumps
Time interval, t , was adjusted to control the pumping frequency and the flow rate.

松下電工製 RV GEAR ERV713 を用い、ソレノイド弁の開閉信号には PC からの 5 V 信号をトランジスタ (BC182L)、ダイオード (IN4001) で 12 V あるいは 24 V に増幅して⁹⁾ 用いた。また、比較のためにプランジャーポンプとして、旭テクネイオン製 HC-2001 を用いた。試料注入に用いる六方バルブにはハミルトン製 MVP を用いた。

紫外可視検出器として、比較のために波長可変紫外可視分光光度計 (相馬光学 S-3250) とともに、低消費電力、低価格を目的として開発した発光ダイオード (LED) 検出器 (相馬光学 S-3240; 13 cmH, 12 cmW, 23 cmD, 2.2 kg) を用いた。FIA 装置の配管には、特に断らない限り、内径 0.5 mm のテフロンチューブを用いた。

2.2 薬品

分析試料として用いる標準試薬として、和光純薬製の亜硝酸ナトリウム (特級)、硝酸ナトリウム (特級)、塩化アンモニウム (特級) を用い、精製水に溶解してそれぞれ 5.0×10^{-2} M の保存溶液とした。測定の都度これらの溶液を適宜希釈して用いた。亜硝酸イオン、硝酸イオンの定量で用いるジアゾ化カップリング試薬には和光純薬製のスルファニルアミド、東京化成工業製の *N*-(1-ナフチル)エチレンジアミンを用い、同仁化学製エチレンジアミン四酢酸 (EDTA)-2Na \cdot 2H₂O を適宜添加して用いた。硝酸イオンの還元カラムには関東化学製のカドミウム-銅 (カラム充填剤ハードタイプ) を用いた。

アンモニウムイオンの定量では、和光純薬製ジクロロイソシアヌル酸ナトリウムと α -ナフトールを用いた。

その他、塩酸、水酸化ナトリウム、アセトンは市販特級品を用いた。精製水にはイオン交換/蒸留したものを日本ミリポア製 Milli-Q Labo で精製したものをを用いた。

3 結果と考察

3.1 ソレノイドポンプの制御

ソレノイド型送液ポンプの特徴として、小型 (25.4 mm ϕ \times 63.5 mmH) であり、消費電力が \sim 4 W と低く耐久性が高いことが挙げられる。また、1 台 3 万円程度と安価である。その動作原理としては、作動電圧の上昇によりソレノイド弁が作動して液を吸引し、電圧下降により同じく液を吐出する。1 回の吐出体積が固定されているので、単位時間当たりの流量はパルス電圧の印加周期により制御される。本研究では、PC からの 5 V 出力時間を 0.3 秒に固定して吸引吐出を行い、0 V 出力時間の設定で単位時間当たりの流量を制御した。LabVIEW は 8 本のデジタル入出力チャンネルを有しているため、8 台のポンプを独立して制御することが可能である。一例として、4 台のポンプを動作が重ならないように順番に吐出させるプログラムを Fig. 1 に示す。

4 個の 24 V 駆動型ソレノイドポンプと 12 V 駆動型ソレノイドポンプを用いてポンプユニットを作製した。それぞれのポンプユニットの寸法を Fig. 2 に示す。4 個の 24 V 駆動型ソレノイドポンプをアルミケースの上部に縦一列に配置し、ネジ止めした。ケース内部に 24 V 電源とトランジスタ、ダイオード、抵抗器を組み込んだ電子基盤を配置した。基板はエポキシ樹脂を土台としてケース内部にネジ止めした。また、PC からの接続端子をケースの背面に取り付けた。同様にして、4 連の 12 V 駆動型ソレノイドポンプユニットを作製した。

3.2 六方バルブ制御

六方バルブは on/off 制御を行うプールのボタンによりインジェクトとロードとを切り替えて制御した。ロード時間、インジェクト時間を設定することで、自動制御も可能である。

3.3 記録プログラム

記録プログラムは LabVIEW 内のサンプルモードを変更して作成した。吸光検出器から出力されるアナログ信号 (1 V = 1 Abs) を 14 ビットアナログ/デジタル変換して PC モニター上に経時的に表示するとともに、一連の測定が終了した後に、時間-吸光度の一連のデータをテキスト形式で PC ファイルとして保存した。また、ヘッダー情報として測定日時、測定波長、備考を記録できるようにした。1 周期で 100 個のデータを連続して取得し、これを平均して PC ファイルの 1 カラムに記録するようにした。1 周期の待機時間を 500 ms に設定したので、PC ファイルには 2 Hz で出力される。

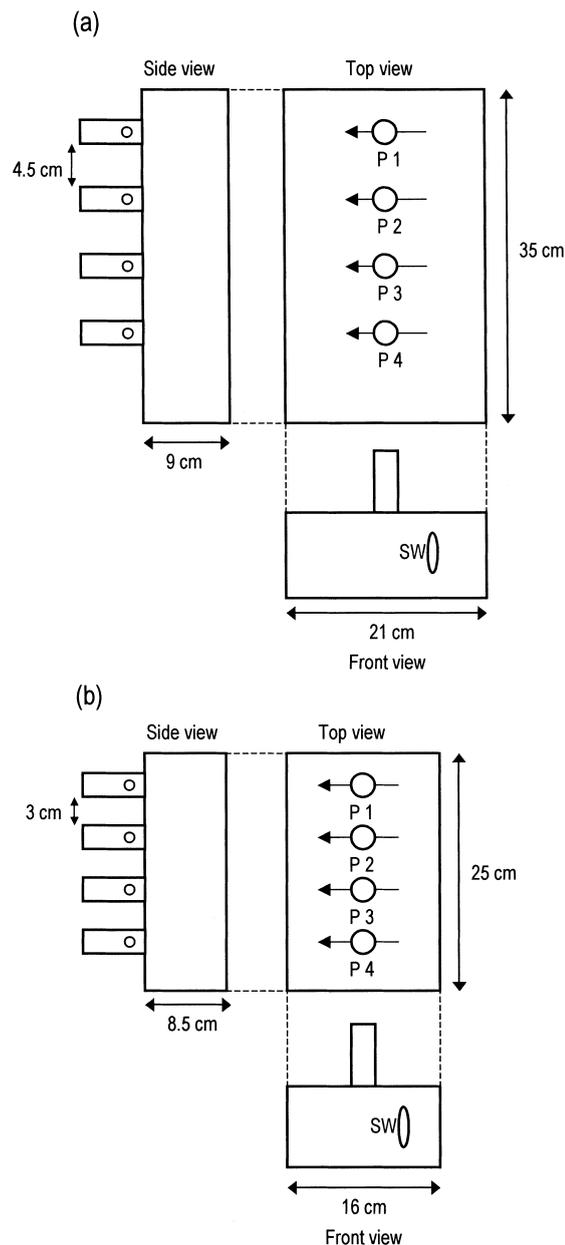


Fig. 2 Dimensions of the pumping system (a) Four 24 V driven solenoid pumps. (b) Four 12 V driven solenoid pumps. P1-P4: solenoid pumps. SW: main power switch. The arrows show the direction of the liquid streams. A DC 24 or 12 V power source converting from AC 100 V power code and an electric circuit board are contained in the metal box. A connector port to a PC is located at the backside of the box.

3.4 亜硝酸イオンの定量への応用

本研究では LabView 制御による FIA システムの性能を、ジアゾ化-カップリング反応による亜硝酸イオンの定量⁵⁾により検討した。FIA システムを Fig. 3 に示す。キャリア溶液には精製水を用い、試薬溶液には 0.12 M スルファニルアミド、 2×10^{-3} M *N*-(1-ナフチル)エチレンジアミン、

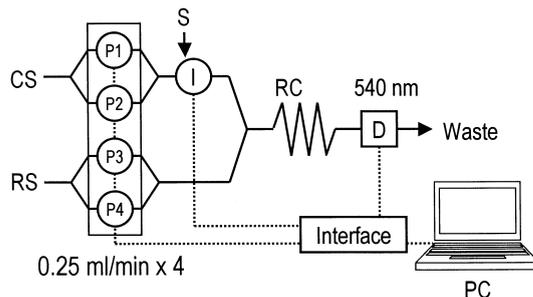


Fig. 3 Flow diagram for the determination of nitrite ion

CS: purified water; RS: sulfanilamide (0.12 M) + *N*-(1-naphthyl)ethylenediamine (2×10^{-3} M) + hydrochloric acid (0.3 M); P1-P4: solenoid pumps; S: sample injection, volume: 100 μ l; I: 6-port rotatory valve; RC: reaction coil, 0.5 mm i.d. \times 2 m; D: spectrophotometric detector, path length: 10 mm; PC: personal computer

0.3 M 塩酸を含む溶液を調製して用いた。

相馬光学製 S-3250 分光光度計を用いた場合の検量線の傾きから得られる検出感度を、24 V 駆動型ソレノイドポンプ、12 V 駆動型ソレノイドポンプ、プランジャーポンプにより比較した (Table 1)。ポンプ数の抑制による装置の小型化と複数のポンプを用いる連続的な送液/混合を比較するために、24 V 駆動型ソレノイドポンプでは、1 流路につき 2 台用いて交互に吐出した場合と、1 台用いた場合 (Fig. 3 でキャリア溶液、試薬溶液とも 1 台ずつ) の比較も行った。それぞれの送液方法において、亜硝酸ナトリウム濃度 $0.5 \sim 3.0 \times 10^{-6}$ M の範囲で良好な直線性を持つ検量線が得られた。検量線の傾きと *S/N* 比から求めた検出限界を Table 1 に示す。Table 1 から分かるとおり、ポンプによる大きな違いは見られなかった。また、検出器の種類による影響を検討するため、波長可変型検出器 (相馬光学製 S-3250) と LED 型検出器 (相馬光学製 S-3240) について比較を行った。その結果、検出器による感度の違いが見られ、波長可変型で若干高い感度が得られた。これは、波長可変型検出器がバンドパスを 7 nm に絞っている一方で、LED 型検出器は発光波長のすべてを検出に用いており、両者の検出特性の違いによるものと考えられる。ノイズ幅、検出限界は LED 検出器で若干良い結果が得られた。また、相対標準偏差 (RSD) はポンプと検出器のそれぞれの組み合わせにおいて、0.1~2.7% ($n = 3$) と精度の良いものが得られた。

例として、12 V 駆動型ソレノイドポンプ (4 台) と LED 検出器を用いた場合に得られたチャートを Fig. 4 に示す。座主川の水を河川水試料として用いた場合に得られたピーク高さから、亜硝酸イオンの濃度として 1.3×10^{-6} M の定量結果が得られた。

Table 1 Comparison of the sensitivity and the limit of detection for nitrite ion with the propelling pumps used

Pumps ^{a)}	Detector	Slope ^{b)}	Noise level, Abs	LOD, 10 ⁻⁸ M ^{c)}
24 V Solenoid × 4	Soma S-3250	1.32	0.00037	7.8
24 V Solenoid × 2	Soma S-3250	1.25	0.00031	4.5
12 V Solenoid × 4	Soma S-3250	1.18	0.00020	5.0
Plunger	Soma S-3250	1.21	0.00050	9.3
24 V Solenoid × 4	Soma S-3240 (LED)	0.91	0.00017	1.9
24 V Solenoid × 2	Soma S-3240 (LED)	0.88	0.00027	10
12 V Solenoid × 4	Soma S-3240 (LED)	0.84	0.00016	2.4
Plunger	Soma S-3240 (LED)	0.80	0.00013	3.0

a) ×4: four pumps were used; ×2: two pumps were used; Solenoid: Bio-Chem Valve 120SP24-20 or 120SP12-20; Plunger: Asahi Technieion HC-2001; b) Arbitrary unit; c) Values at $S/N = 3$

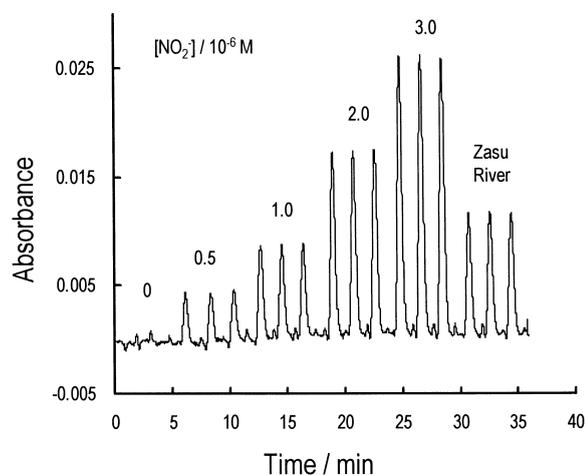


Fig. 4 Flow signals for the standard nitrite ion and a river water sample

An FIA system shown in Fig. 3 was used. Four 12 V driven solenoid pumps and an LED detector (Soma S-3240) were used in the system.

3.5 硝酸・亜硝酸イオンの同時定量への応用

本研究で開発した FIA システムを硝酸イオン、亜硝酸イオンの同時定量に適用した。硝酸イオンは銅-カドミウム還元カラムにより亜硝酸イオンに還元して硝酸イオンと亜硝酸イオンの含量として定量し¹⁰⁾、バイパスを通過した亜硝酸イオンとの差から硝酸イオン濃度を決定した。検出反応には前項と同じくジアゾ化-カップリング反応を利用した。

フローダイアグラムを Fig. 5 に示す。本システムでは、キャリアー溶液 1 として精製水を用い、キャリアー溶液 2 として 3.8×10^{-3} M EDTA, 0.056 M 塩化アンモニウムを含む溶液を水酸化ナトリウムにより pH 8.2 に調整して用いた。試薬溶液には 0.12 M スルファニルアミド, 2×10^{-3} M *N*-(1-ナフチル)エチレンジアミン, 0.3 M 塩酸を含む溶液を用いた。また、LED 検出器には相馬光学製 S-3240 を用いた。

硝酸イオンを亜硝酸イオンに還元する銅-カドミウム還

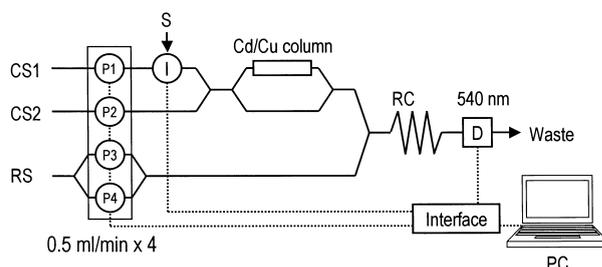


Fig. 5 Flow diagram for the determination of nitrite and nitrate ions

CS1: purified water; CS2: EDTA (3.8×10^{-3} M) + ammonium buffer (0.056 M), pH 8.2; RS: sulfanilamide (0.12 M) + *N*-(1-naphthyl)ethylenediamine (2×10^{-3} M) + hydrochloric acid (0.3 M); P1-P4: 12 V driven solenoid pumps; S: sample injection, volume: 100 μ l; I: 6-port rotatory valve; Cd/Cu column tube: 2 mm i.d. \times 4 cm; RC: reaction coil, 0.5 mm i.d. \times 2 m; D: LED detector, path length: 10 mm; PC: personal computer

元カラムとして、市販品（小川商会製、内径 2.2 mm、長さ 15 cm）、市販 HPLC 用カラム管（内径 4.6 mm、長さ 5 cm）に関東化学製 Cd/Cu 粒子を詰めたもの、ポリテトラフルオロエチレン（PTFE）チューブ（内径 2 mm、長さ 4 cm あるいは 7 cm）に同 Cd/Cu 粒子を詰めたものを用いて比較したところ、内径 2.0 mm、長さ 4.0 cm の PTFE チューブを用いた場合に還元効率、圧損、測定シグナルの広がり、硝酸イオンと亜硝酸イオンとのピーク分離、分析時間の観点から良好な結果が得られた。バイパス流れとの分岐により、亜硝酸イオンに対応する面積の比較から、還元カラム側の流路にはキャリアー液総流量の約 30%、バイパスチューブの流路には同約 70% が流れていることが分かった。

流量、EDTA 濃度、試薬濃度を最適化した後、試料液として NO_2^- 濃度 $0 \sim 3 \times 10^{-6}$ M, NO_3^- 濃度 $0 \sim 6 \times 10^{-5}$ M の標準溶液を用いて得られたチャートを Fig. 6 に示す。硝酸イオン、亜硝酸イオンの双方について、ピーク高さによる検量線は良好な直線性を示した。図中の拡大図に示すように、亜硝酸イオンに対応する第 1 ピークと亜

硝酸イオン+硝酸イオンに対応する第2ピークは十分分離しており、両者の定量を妨害しないことが分かった。S/N=3の検出限界は硝酸イオンで 8.3×10^{-7} M, 亜硝酸イオンで 1.5×10^{-7} Mが得られた。また、相対標準偏差(RSD)は3回測定で10%以内であったため精度の良いものが得られた。硝酸イオンから亜硝酸イオンへの還元率は約70%であったが、これはカラム長が短かったためである。河川水中の硝酸イオンは亜硝酸イオンよりも多量に存在するので、この還元率は硝酸イオン、亜硝酸イオンの同時定量に際して問題はないと考えられる。

また、実試料として旭川、座主川、水道の水を用いて測定を行った結果を併せてFig. 6に示す。定量結果をTable 2にまとめた。本装置、本法により、環境水中の硝酸・亜硝酸イオンの定量は十分可能であると考えられる。

3.6 アンモニア定量への応用

硝酸・亜硝酸イオンの定量に加えて、無機態窒素であるアンモニア定量への応用を検討した。これらの無機態窒素

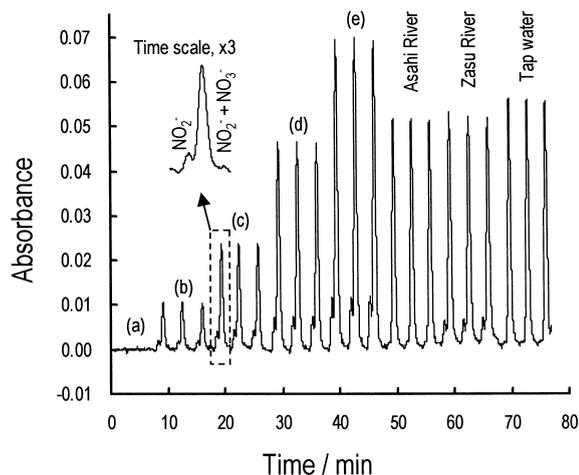


Fig. 6 Flow signals for the standard nitrite and nitrate ions and three water samples

An FIA system shown in Fig. 5 was used. $[\text{NO}_2^-]$ and $[\text{NO}_3^-]$: (a) 0 and 0, (b) 0.5×10^{-6} M and 1.0×10^{-5} M, (c) 1.0×10^{-6} M and 2.0×10^{-5} M, (d) 2.0×10^{-6} M and 4.0×10^{-5} M, (e) 3.0×10^{-6} M and 6.0×10^{-5} M; Analytical data for the three samples are summarized in Table 2.

は無機肥料、腐敗した動植物、生活排水、工場排水などから発生し、富栄養化や土壌酸性化などの原因となるため、その定量は重要な意味を持っている。

アンモニアの定量では、酸化剤、塩素源としてジクロロイソシアヌル酸ナトリウムを用い、 α -ナフトールを用いるインドフェノール法¹¹⁾を改良した方法¹²⁾を検出反応に用いた。

最適化したアンモニアの測定条件に基づき、12 V 駆動型ソレノイドポンプを4台用いてFIA装置を組み立てた。フローダイアグラムをFig. 7に示す。キャリアー1には精製水を用い、キャリアー2には0.01 M ジクロロイソシアヌル酸ナトリウムと0.1 M 水酸化ナトリウムを含むものを用い、試薬溶液には 3.5×10^{-2} M α -ナフトールと35% (v/v) アセトンを含むものを用いた。なお、検出器には相馬光学製S-3250紫外可視検出器を用い、720 nmで吸光検出した。

調製したアンモニア標準溶液あるいは実試料の100 μ lをループインジェクターによりFIA装置に導入して、アンモニアの定量を行った。検量線及び実試料のチャートをFig. 8に示す。なお、実試料としては旭川、座主川、水道水を用いた。アンモニア濃度 10^{-5} Mレベルで直線性の良い検量線が得られ、 1.6×10^{-6} Mの検出限界 (S/N=3)

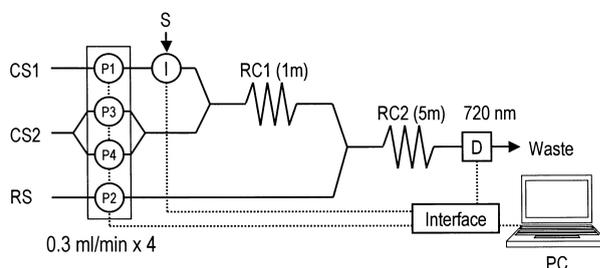


Fig. 7 Flow diagram for the determination of ammonia

CS1: purified water; CS2: sodium dichloroisocyanurate (0.01 M) + sodium hydroxide (0.1 M); RS: α -naphthol (3.5×10^{-2} M) + 35% (v/v) acetone; P1-P4: 12 V driven solenoid pumps; S: sample injection, volume: 100 μ l; I: 6-port rotary valve; RC1 and RC2: reaction coil, 0.5 mm i.d.; D: spectrophotometric detector, path length: 10 mm; PC: personal computer

Table 2 Analytical results for the simultaneous determination of nitrate and nitrite ions in water samples

Sample	Peak height		$[\text{NO}_2^-]$ / 10^{-6} M	Peak height		$[\text{NO}_3^-]$ / 10^{-5} M
	Mean, abs	RSD, %		Mean, abs	RSD, %	
Asahi River	0.0012	8.3	0.30 ± 0.04	0.0509	0.3	4.40 ± 0.01
Zasu River	0.0054	3.7	1.40 ± 0.07	0.0510	1.2	4.41 ± 0.06
Tap water	—	—	ND	0.0545	0.5	4.72 ± 0.03

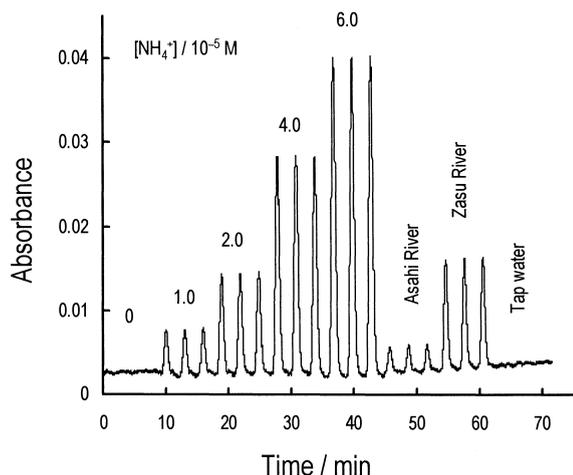


Fig. 8 Flow signals for the standard ammonium ion and three water samples

An FIA system shown in Fig. 7 was used.

が得られた。旭川、座主川中のアンモニア濃度として、それぞれ $(0.56 \pm 0.03) \times 10^{-5}$ M, $(2.12 \pm 0.02) \times 10^{-5}$ M の定量値が得られた。したがって、環境試料水中のアンモニアの定量に十分適用可能であると考えられる。

4 結 言

本研究では、ソレノイドポンプを用いる FIA 装置の開発を目的として、LabVIEW 制御による小型で安価なシステムを構築した。この FIA システムを亜硝酸イオンの定量、硝酸・亜硝酸イオンの同時定量、アンモニアの定量に応用したところ、直線性の良い検量線が得られ、環境水中

のこれら物質の定量に適用できることを示した。今回開発した FIA システムは、他の環境分析にも応用が可能であると考えられ、自動オンサイト分析への実用性が期待できる。

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金、基盤研究(B)No. 16350044 により行われた。

文 献

- 1) D. A. Weeks, K. S. Johnson: *Anal. Chem.*, **68**, 2717 (1996).
- 2) R. A. S. Lapa, J. L. F. C. Lima, B. F. Reis, J. L. M. Santos, E. A. G. Zagatto: *Anal. Chim. Acta*, **466**, 125 (2002).
- 3) F. R. P. Rocha, E. Rodenas-Torralla, B. F. Reis, A. Morales-Rubio, M. de la Guardia: *Talanta*, **67**, 673 (2005).
- 4) K. Toda, T. Ohba, M. Takaki, S. Karthikeyan, S. Hirata, P. K. Dasgupta: *Anal. Chem.*, **77**, 4765 (2005).
- 5) 馬 蘭, 大島光子, 本水昌二, 服部隆康: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **47**, 375 (1998).
- 6) 戸田 敬: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **53**, 207 (2004).
- 7) R. H. Bishop, 尾花健一郎訳: “LabVIEW プログラミングガイド—グラフィカル言語による PC ベース計測とデータ解析”, (2005), (日本ナショナルインスツルメンツ).
- 8) 井上泰典: “LabVIEW グラフィカルプログラミング”, (1998), (森北出版).
- 9) <http://www.kpsec.freeuk.com/trancirc.htm#switching>.
- 10) JIS K 0101-3723, 銅・カドミウム還元カラム還元—ナフチルエチレンジアミン吸光光度法 (1991).
- 11) 森田弥左衛門, 小暮幸全: 日本化学雑誌, **84**, 816 (1963).
- 12) 末包高史, 大島光子, 本水昌二: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **54**, 953 (2005).

Development of Computer-Controlled Flow Injection Instruments and Its Application to Determination of Nitrate, Nitrite, and Ammonium Ions in Environmental Samples

Yasutaka JOICHI¹, Narong LENGHOR², Toshio TAKAYANAGI², Mitsuko OSHIMA²,
Shoji MOTOMIZU² and Nobuo URA³

¹ Faculty of Science, Okayama University, 3-1-1, Tsushimanaka, Okayama-shi, Okayama 700-8530

² Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, 3-1-1, Tsushimanaka, Okayama-shi, Okayama 700-8530

³ Soma Optics. Co. Ltd., 23-6, Hirai, Hinodemachi, Nishitama-Gun, Tokyo 190-0182

(Received 18 April 2006, Accepted 4 July 2006)

Flow injection analysis (FIA) systems with low power consumption and personal-computer control were developed by using solenoid pumps and an LED detector. Both programs for controlling the system and acquiring measurement data were written using LabVIEW. The FIA system was applied to the determination of nitrite ion in river-water samples based on diazotization and coupling reactions. Linear calibration graphs were obtained with the combination of pump(s) and photometric detector in the concentration range of nitrite ion at $0.5 \sim 3.0 \times 10^{-6}$ M. Nitrate and nitrite ions were also determined simultaneously by the system by using a Cd/Cu reduction column and a by-pass flow. Determination of ammonia in river-water samples was also realized by the system with a modified indophenol reaction.

Keywords : Flow injection analysis; LabVIEW control; solenoid pumps; nitrate ion; nitrite ion; ammonia.