技術論文

精密分析用ガス透過システムの設計とガス透過/フローインジェクション法によるアンモニア態窒素の吸光光度定量

樋口 慶郎*, 井上亜希子**, 坪井 知則***, 本水 昌二®*

Development of a new gas-permeation system and its application to the spectrophotometric determination of ammonium ion by FIA

Keiro HIGUCHI*, Akiko INOUE**, Tomonori TSUBOI*** and Shoji MOTOMIZU*

*Department of Chemistry, Faculty of Science, Okayama University, 3-1-1 Tsushimanaka, Okayama 700-8530

**FIA Division, Tokyo Kasei Kogyo Co. Ltd., 6-15-9, Toshima, Kita-ku, Tokyo 114-0003

***The Chugoku Electric Power Co., Inc. Technical Research Center, 3-9-1, Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-0046

(Received 6 August 1998, Accepted 30 September 1998)

A new on-line gas-permeation system was developed to enhance the efficiency and stability of gas permeation for a long time, and was applied to the determination of ammonium ion in river-water samples by the flow-injection method. The proposed gas-permeation system consists of a newly designed gas-permeation unit, a sample injection valve, a reaction coil and two six-way rotary valves in a constant-temperature oven. The gas-permeation unit was assembled using an inner microporous polytetrafluoroethylene (PTFE) membrane tubing and an outer glass tube, which could be easily connected with one another using connectors with ferrules and o-rings. A sample solution was injected into a carrier containing 0.02 M sodium hydroxide, in which ammonium ion was converted to gaseous ammonia. The gaseous ammonia generated in the carrier passed through the microporous PTFE membrane, was absorbed in a reagent solution and changed the pH of the reagent solution, which resulted in a color change to cresol red. The absorbance change of cresol red at 550 nm was measured using a visible detector with a flow cell (8 μ l, 10 mm path). After the measurement, two six-way rotary valves were switched over from the flowing state to the drain state of the gas-permeation unit, and the residual solutions in the gas-permeation unit were removed and the PTFE membrane tubing was dried. By keeping the temperature of the oven at 40°C, the sensitivity and the reproducibility for the determination of ammonium ion was improved. Furthermore, the efficiency of gas permeation through the inner tubing could be kept high and constant for a long period without any procedure for reactivating the porous PTFE membrane tubing. Calibration graphs for ammonium ion were linear over ranges of 0 to 10 ppm and 0 to 1.0 ppm of N-NH_4^+ , and the sampling rate was 30 samples per hour. The detection limit for N-NH_4^+ was about 0.01 ppm when the effective length of the membrane tubing was 5 cm. By using the proposed FIA system, ammonium ion in river-water samples was determined. The analytical results obtained by the proposed method showed a good correlation with those obtained using the indophenol derivatization/FIA method. The relative standard

deviations of ten injections were 0.51% and 0.83% with concentrations of 2.73 ppm and 4.11 ppm, respectively. The recoveries of ammonium ion were found to be 97~98%.

Keywords : gas permeation system; microporous polytetrafluoroethylene membrane tubing; FIA with gas permeation method; determination of ammonium ion; river water sample.

1 緒 言

フローインジェクション分析法 (FIA) とガス透過法を組み合わせた定量法は、測定対象が化学反応により、特異的に気体を発生する系に限られるため、非常に高い選択性を有する方法である。著者らはこの特徴を利用するアンモニア¹⁾、総炭酸²⁾、残留塩素³⁾、ヨウ素 (過酸化水素及びグルコース)⁴⁾の定量を試み、良好な結果を得た。このほか、硝酸、亜硝酸の定量⁵⁾、オゾン⁶⁾、全有機炭素⁷⁾の定量にも応用されている。

ガス透過-FIA では、測定操作も簡単で、測定装置の小型化が可能などの利点があり、有用性は高いと考えられる。装置としては当初、2 枚のブロックに溝を掘り、このブロックの間にガス透過性膜を挟み込んだガス透過ユニット⁸⁾が一般的であったが、細工が非常に困難であり、液漏れなどを起こし、実用的には不十分であった。そこで、ガス透過性の多孔質ポリテトラフルオロエチレン (PTFE) チューブとガラス管及び接着剤を使用したガス透過ユニットが製作された^{5)~7)}。多孔質 PTFE チューブは平面の膜を用いる方法に比べ表面積が大きく、又チューブを長くすることにより効率良く分離、捕集することができるという利点がある。しかし、各部分の接続に接着剤を使用することから、製作が煩雑となり、接続部からの液漏れや接着材質からの成分の溶出による汚染という問題も指摘されている。これに対し、著者らは接着剤を使わないガス透過装置を開発し、使用した^{1)~4)}。更に装置内のデッドボリュームにより、ピークがブロードとなったり、テイリングが大きくなるという従来法の欠点を改良したガス透過装置を新たに設計して、総炭酸及びアンモニア態窒素の定量に用いた⁹⁾。山根らも同じようなガス透過ユニットを作製し、アンモニアの定量に用いた¹⁰⁾¹¹⁾。しかし、多孔質膜や多孔質 PTFE チューブ

は、使用を繰り返すことによる透過効率の変動や透過機能の低下、及び再活性化に要する時間と手間などの問題は解決されていない。

そこで今回はこれらの問題点を解決するために、新たに、ガス透過ユニット部での気体の透過効率を長期間維持させるための機能を備えた、小型恒温槽を組み込んだガス透過システムを設計、試作した。その際、ガス透過ユニット部は取り扱いの操作性などの向上を図るため、既報¹⁾⁹⁾のものを改良して、デッドボリュームの減少と組み立ての容易さを向上させた。

アンモニア態窒素は水質汚濁の有力な指標の一つとされている。FIA によるアンモニア態窒素の定量においては、ネスラー法¹²⁾やインドフェノール法¹³⁾が一般的であるが、使用する水銀やフェノールの廃液処理、蒸留の必要性など問題がある。最近、改正された“下水道試験方法”では、アンモニア態窒素の定量にガス透過/FIA 法が規格化、採用された¹⁴⁾。従ってガス透過システムとしては、日常の測定業務においても、実的に機能することが必要条件である。そこで本研究では、新たに試作したガス透過システムを用いた環境水中のアンモニア態窒素の定量について検討した。

2 実 験

2・1 装 置

2・1・1 ガス透過装置 今回新たに製作したガス透過システムの機能と特徴は次のとおりである。

(1) 本ガス透過ユニットは、内管としてガス透過チューブ (多孔質 PTFE チューブ)、外管としてガラス管、そしてこれらをつなぐ各種接続ジョイント類及び PTFE チューブからなり、組み立てが容易である。

(2) 本ガス透過システムでは、ガス透過ユニット、六方切り替えバルブ、反応コイル及び試料注入部など FIA の主要な流路すべてを収納でき、又精密な温度制御が可能な恒温槽を用いているので、長時間にわたり極めて安定した再現性の良い測定が可能である。この点が従来のガス透過装置との大きな相違点であり、本システムの優れた性能となっている。

* 岡山大学理学部: 700-8530 岡山県岡山市津島中 3-1-1

** 東京化成工業(株) FIA 研究グループ: 114-0003 東京都北区豊島 6-15-9

*** 中国電力(株)技術研究センター: 739-0046 広島県東広島市鏡山 3-9-1

Fig. 1 Gas permeation unit developed in this work
1, carrier solution inlet; 2, reagent solution inlet; 3, ferrule; 4, porous PTFE tubing; 5, glass tube; 6, flow for reagent solution; 7, flow for carrier solution; 8, O-ring; 9, carrier solution to the waste; 10, reagent solution to the spectrophotometer

(3) 本ガス透過システムでは, 測定終了後, ガス透過ユニットに滞留する溶液を, 透過ユニットを分解することなく, 簡単・迅速に強制排除可能な機能を備えている。これは, 従来のものにはない特徴である。これにより煩わしい再活性化の操作なしに, 高いガス透過効率を長期間安定的に維持することができるようになった。

(4) 本ガス透過システムではガス透過ユニットを垂直に装置していることから, 重力による加圧のため, 若干ではあるが透過効率が向上し, 又発生したガスの滞留もほとんどない。

本研究で試作したガス透過ユニットの概略構造を Fig. 1 に示す。ガス透過ユニットの基本構造は既報⁹⁾を参考にして外管をガラス管とし, フェラルと O-リングを用いて組み立て容易に, かつデッドボリュームが小さくなるように改良した。ガラス管 5 (内径 2.1 mm, 外径 6 mm) の中に多孔質 PTFE チューブ 4 (内径 1.0 mm, 外径 1.9 mm) を挿入した二重管構造になっており, 多孔質 PTFE チューブの内側を検出反応試薬が流れ, 多孔質 PTFE チューブとガラス管の間をキャリアー溶液が流れる構造である。ガス透過ユニットとの接続及び他の流路には, 内径 0.5 mm, 外径 1.58 mm の PTFE チューブを用いた。外管をガラス管にすることで, ジョイント類との接続が容易になり, 組み立てが非常に簡単になった。又, ガラス管のため, 折れ曲がりもなく, 多孔質 PTFE チューブをたゆむことなくガラス管内に保持できるので, 二重管のすき間が均一となる。ガス透過部の長さは透過効率に大きな影響を及ぼすことから, ガラス管及び多孔質 PTFE チューブの長さは任意に変えることができるようにした。多孔質 PTFE チューブやガラス管及び配管との接続には O-リングやテフロン樹脂製フェラルなどを新たに作製することにより, 接着剤は使用せず, 更にその細部においてもデッドボリュームを小さくし, 得

られる FIA ピークのテイリングが小さくなるように設計した。本ガス透過ユニットは, 前述の構造から分かるように多孔質 PTFE チューブの交換が簡単に行える構造になっている。

一方, 気体の透過効率は一般に温度の上昇とともに増加し, 温度の変動に極めて鋭敏である。従って, 透過効率を一定に保ち, 安定した再現性の良い測定を行うためには, 一定温度で測定しなければならない。そのために, 本研究では, ガス透過ユニットを精密に温度制御できる小型恒温槽内に収納することとした。恒温槽の温度は, 30~60℃ の範囲で任意に設定できるように設計し, ガス透過ユニットのほかに反応コイル, 試料注入用のインジェクターなどを同時に格納できる構造とした。又, 従来のガス透過ユニットでは長時間の連続使用あるいは使用を重ねることにより, 多孔質 PTFE チューブの透過効率が低下した。そのため, ガス透過効率の活性化, すなわちメンブランチューブの再生が必要であった。本ガス透過システムでは活性化操作を簡単・迅速に行うことができる。一般に PTFE チューブは疎水性で気体を良く通すが, 実際に長時間の使用などにおいては, 透過効率の低下が起こる。この原因は, 多孔質 PTFE チューブが水に長時間接触させられることにより, チューブの表面が疎水性から徐々に親水性に変わることによる。従って多孔質 PTFE チューブの長時間の性能維持には, ガス透過ユニット内を使用するとき以外は, 水を抜いて乾いた状態にしておくことが重要である。そこで本研究では, メンブランチューブの性能の長期間の安定化と簡単・迅速な水抜き操作が容易な装置とした。この流路系を Fig. 2 に示す。2 個の六方切り替えバルブ 6 とガス透過ユニット 9 を図のように接続した。六方切り替えバルブ 6 を回し, 実線で示した状態で測定を行う。このとき, キャリヤー溶液, 試薬溶液共にガス透過ユニット 9 を通過する。測定終了後は六方切り替えバルブ 6 を回し, 破線のような流路にし, 下方のバルブに接続されたキャリヤー溶液排水用 1 と試薬溶液排水用 2 の二つの吸引ポート各々に注射器を差し込み, 中に滞留している溶液を吸引除去する。これにより, ガス透過ユニットの内管, 外管の水を容易に除くことができる。なお, 水を除いた後, 適当な吸引ポンプ, 例えばアスピレーターなどを用いて, 5~15 分間空気を通しておくとメンブランチューブは長期間使用できる。使用しない間は, 六方切り替えバルブ 6 をそのまま排水側にしておくと, 流路内の水は下に流れ落ち, 又開放系となっているのでメンブランチューブの乾燥にはより効果的である。

2・1・2 流路 本研究で使用した FIA のフローダイ

Fig. 2 Gas permeation system developed in this work

1, drain tube for carrier solution; 2, drain tube for reagent solution; 3, carrier solution inlet; 4, sample injection valve; 5, reagent solution inlet; 6, 6-way rotary valve; 7, carrier solution to the waste; 8, reagent solution to the spectrophotometer; 9, gas permeation unit; 10, constant temperature oven

Fig. 3 Schematic diagram of flow system for ammonium ion

CS: carrier solution (0.02 M NaOH); RS: reagent solution (2.5×10^{-4} M Cresol Red, 4×10^{-4} M HEPES, pH 7.0); P: pump ($0.5 \text{ ml min}^{-1} \times 2$); S: sample injector (200 μl); RC: reaction coil (0.5 mm i.d. $\times$ 1 m); GP: gas permeation unit; TC: constant temperature oven (40°C); D: detector (550 nm); R: recorder; W_{CS} : carrier solution waste; W_{RS} : reagent solution waste

アグラムを Fig. 3 に示す。ポンプはフロム製ダブルプランジャーマイクロポンプ (Model 201 型) を用い、キャリアー溶液、試薬溶液共に流量 0.5 ml min^{-1} で送液した。吸光度の測定には相馬光学製波長可変型可視吸光

光度計 (S-3250) を用い、波長 550 nm での吸光度変化を大倉電気製記録計 (DR1212 型) で記録した。六方切り替えバルブを用いてキャリアー溶液中に試料 200 μl が注入され、今回試作したガス透過システムに導かれる。ガス透過システム内には内径 0.5 mm、長さ 1 m の反応コイル及びガス透過ユニットが収納されており、装置内は 40°C に保たれる。まず、反応コイルを通過する間にキャリアー溶液中の水酸化ナトリウムと反応して試料中に存在するアンモニウムイオンはアンモニアに変化する。その気体はクレゾールレッドを含む検出試薬の流れの中に効率良く、連続的に透過して吸光度変化を与える。

2.2 試薬

既報⁹⁾に従って調製した。本実験で使用する水はミリQ-ラボを用いて精製した。

キャリアー溶液: 水酸化ナトリウム 4 g を水に溶かし、100 ml としたものを更に水で 50 倍に希釈して用いた (0.02 M)。

試薬溶液: クレゾールレッド保存溶液 ($2.5 \times 10^{-2} \text{ M}$, 0.1 M NaOH 溶液) 10 ml と 10^{-2} M N-2-ヒドロキシエチルピペラジン-N'-2-エタンスルホン酸 (HEPES) 溶液 40 ml を混合し、塩酸を用いて pH 7.0 に調整した後、水で 11 とした。このとき試薬溶液中のそれぞれの濃度は、クレゾールレッド $2.5 \times 10^{-4} \text{ M}$, HEPES $4.0 \times 10^{-4} \text{ M}$ である。

アンモニア態窒素標準液: 塩化アンモニウム 3.8189 g を水に溶かし 11 としたものを保存溶液とする (N-NH_4^+ として 1000 ppm)。この溶液を水で適宜希釈してアンモニア態窒素標準液とした。

3 結果及び考察

3.1 ガス透過システムの性能評価

今回、新たに試作したガス透過ユニットは既報¹⁹⁾のガス透過ユニットと比較して、デッドボリュームはわずかではあるが小さくなるよう設計されている。外管をガラス管として、樹脂製フェラルや O-リングを用いて、特別な細工をすることなく、容易に取り付け、取り外しを行うことができる。ガス透過温度は、透過効率に影響を及ぼし、その結果として感度に変化する。Fig. 4 にその結果を示す。温度の上昇とともにピーク高が高くなっており、安定して再現性の良い測定を行うためには、ガス透過ユニットはもちろん、反応コイル、試料注入部から配管系まで恒温槽内に収納することは効果的であると考えられる。

Fig. 4 Effect of temperature in the oven for the gas permeation unit

A: $[N-NH_4^+] = 5$ ppm; B: $[N-NH_4^+] = 2$ ppm;
Carrier solution: 0.02 M NaOH; Cresol Red:
 1.25×10^{-4} M

3・2 アンモニア態窒素定量のための試薬液の検討

既報⁹⁾を参考に測定条件の検討を行った。試薬溶液としてクレゾールレッド ($pK_a = 8.3$) を使用し、試薬溶液中の濃度を $0.5 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-4}$ M の範囲で検討したところ、濃度の上昇とともにピーク高さも高くなるが、ベースラインの安定性などを考慮して 2.5×10^{-4} M を使用することとした。緩衝液としては既報⁹⁾とおり 4×10^{-4} M HEPES, pH 7.0 とした。キャリアー溶液中の水酸化ナトリウムの濃度は 0.02 M が感度、ガス透過の安定性及び耐久性において最適であった。

3・3 アンモニア態窒素定量用流路系

測定波長は 550 nm を使用して測定を行った。透過温度は、Fig. 4 の結果から、恒温槽の温度を 40°C に設定した。試料を注入してから、ガス透過ユニットに到達するまでの反応コイル (内径 0.5 mm) の長さを 0.25~5 m の範囲で検討した。3 m まではピーク高さは一定で、5 m では試料ゾーンの拡散によりわずかに低くなる。そこで、反応コイルの長さは迅速性を考慮して 1 m とした。又、試料注入量を 50~300 μ l の範囲で検討した。注入量の増加に伴ってピーク高さも高くなるが、試料処理数を考慮して 200 μ l とした。ガス透過ユニット内の透過チューブの長さを 5 と 10 cm について検討した。アンモニア態窒素濃度 0~10 ppm の検量線において 10 cm のほうが 5 cm のときよりもその傾きは約 80% 大きな値となり、高感度化のためには有効透過長を長くする必要があることが分かった。

Table 1 Optimal conditions for the determination of ammonium ion in river water

Carrier solution	0.02 M NaOH
Reagent solution	2.5×10^{-4} M Cresol Red + 4×10^{-4} M HEPES + HCl (pH 7.0)
Sample volume	200 μ l
Reaction coil	5 mm i.d. $\times$ 1 m
Temperature of oven	40°C
Effective length of gas permeation unit	5 cm or 10 cm
Flow rate	1.0 mlmin ⁻¹
Detection	550 nm (path length 10 mm)

Fig. 5 Flow signals for calibration graphs of ammonium ion

$[N-NH_4^+]$, ppm: A, 0; B, 2; C, 4; D, 6; E, 8; F, 10; a, 0; b, 0.2; c, 0.4; d, 0.6; e, 0.8; f, 1.0

3・4 検量線

以上の検討結果から、アンモニア態窒素の実用的分析を考慮して、Table 1 のように測定条件を定め、この条件下で検量線を作成した。そのときのフローシグナルを Fig. 5 に示す。検量線はアンモニア態窒素 0~10 及び 0~1.0 ppm の範囲で良好な直線性を示し、2 ppm アンモニア態窒素を用いた 10 回測定による相対標準偏差は 0.45% であった。本法では 1 時間当たり 30 検体の測定が可能となる。又、検出限界 ($S/N = 3$) は 0.01 ppm であった。

3・5 ガス透過チューブの耐久性

従来のガス透過ユニットでは、使用を重ねることに

Table 2 Determination of ammonium ion in river water

Sample	Found (N-NH ₄ ⁺ , ppb)		RSD ^{b)} , %	Recovery ^{c)} , %
	This work	Other work ^{a)}		
Ara River	2.73 ± 0.01	2.86	0.51	98
Sumida River	4.11 ± 0.03	4.30	0.81	97

a) Flow injection spectrophotometric determination using Indophenol derivative method (ref. 15). b) The relative standard deviation of ten injections. c) 2.0 ppm of N-NH₄⁺ was added.

り多孔質 PTFE チューブの気体の透過効率は低下する。1 日 8 時間連続運転の後、水で系内を洗浄後、一晚そのまま放置すると、感度は約 30% 低下する。この原因は多孔質 PTFE チューブが水に長時間接触すると、チューブ表面が疎水性から親水性に変わるためと思われる。このような場合、多孔質 PTFE チューブの再生操作が必要となる。従来は、多孔質 PTFE チューブをまず水に溶け合うエタノールで洗浄し、次にエタノールと良く溶け合うクロロホルム、最後にベンゼンで洗浄してチューブを親水性から疎水性に再生した。この再生操作は煩雑な上、長時間（約 3 時間）を要し、しかも有害有機溶媒を用いるため好ましくない。本研究では、2 個の六方切り替えバルブと排液用吸引口を利用して、装置を使用しないときに、滞留する溶液を完全に抜き取ることで、1 日 8 時間の連続運転を繰り返しても、少なくとも 2 週間は感度の低下が見られず、しかも、1 日の測定の始まりと終わり（8 時間後）でも感度の差がほとんどないことが分かった。

3・6 河川水中のアンモニア態窒素の定量

5 cm のガス透過ユニットを使用して、河川水中のアンモニア態窒素の定量を行った結果を Table 2 に示す。同時にサリチル酸を用いるインドフェノール誘導体/FIA/吸光度法¹⁵⁾による定量値と比較したところ、良い一致を示した。又、10 回の繰り返し注入における相対標準偏差は、0.51 と 0.83% であった。更に、あらかじめ試料に標準液を添加して求めた回収率は 97～98% と良好な結果が得られた。

本研究で開発した新規ガス透過システムは、従来の装置に比べ、容易に組み立てられるガス透過ユニットの構造に改良した。更に、ガス透過ユニット、試料注入器及び反応コイルを恒温に保つ機能と、簡単・迅速な水抜き

機構の付与により、常に安定で再現性の良い測定が可能となり、煩雑な多孔質 PTFE チューブの再生操作をほとんど必要としない。これにより耐久性に優れたアンモニア態窒素の定量を可能にした。

本研究は文部省科学研究費補助金（No. 10558084）により行われたものであり、深く謝意を表します。

文 献

- 1) 桑木 亨, 秋庭正典, 大島光子, 本水昌二: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **36**, T81 (1987).
- 2) 桑木 亨, 桐栄恭二, 秋庭正典, 大島光子, 本水昌二: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **36**, T132 (1987).
- 3) S. Motomizu, T. Yoden: *Anal. Chim. Acta*, **261**, 461 (1992).
- 4) M. Oshima, M. Sanada, S. Motomizu: *J. Flow Injection Anal.*, **9**, 1 (1992).
- 5) K. Nagashima, M. Matsumoto, S. Suzuki: *Anal. Chem.*, **57**, 2065 (1985).
- 6) 青木豊明, 大黒宏司: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **38**, 347 (1989).
- 7) 青木豊明, 伊藤浩一, 宗森 信: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **37**, 133 (1987).
- 8) M. Van Son, R. C. Schothorst, G. Den Boef: *Anal. Chim. Acta*, **153**, 271 (1983).
- 9) 真田昌宏, 大島光子, 本水昌二: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **42**, T123 (1993).
- 10) 山根 兵, 斉藤真佐恵: 日本海水学会誌, **49**, 318 (1995).
- 11) 薦田光徳, 小野昭紘, 金子真也, 山根 兵: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **44**, 725 (1995).
- 12) F. J. Krug, J. Ruzicka, E. H. Hansen: *Analyst* (London), **104**, 47 (1979).
- 13) J. W. B. Stewart, J. Ruzicka, H. Bergamin F°, E. A. Zagatto: *Anal. Chim. Acta*, **81**, 371 (1976).
- 14) “下水道試験方法”, 上巻, p. 350 (1997), (日本下水道協会).
- 15) H. Muraki, K. Higuchi, M. Sasaki, T. Korenaga, K. Tōei: *Anal. Chim. Acta*, **261**, 345 (1992).

要 旨

ガス透過分離におけるガス透過の長期間の安定性と高効率化, 更にガス透過効率の長期間の再現性を向上させた, 新しいオンラインガス透過システムを構築した. このシステムでは新しく設計・製作したガス透過ユニットを組み込み, ユニット中を溶液が下方から上方に流れるようにし, 気泡の発生を防ぐ工夫がほどこされ, 更に測定後にガス透過ユニット内に滞留する溶液を排除するために 2 個の六方切り替えバルブを内蔵させている. ガスの安定的透過のために温度制御できる小型恒温槽を装着した. この装置中にガス透過ユニット, アンモニウムイオン定量用の反応コイルなどを組み入れ, 精密測定の向上を目指した. ガス透過ユニットは, 多孔質ポリテトラフルオロエチレン (PTFE) チューブとガラス管からなり, 接続には樹脂製フェラル及び O-リングを用い, 組み立てを容易にし, デッドボリュームも小さくした. ガス透過ユニット, 反応コイル及び試料注入器などを恒温槽の中で一定温度に保つことにより, 安定した再現性の良い測定が可能となった. ガス透過ユニット内に滞留する溶液を簡単かつ迅速に強制排除する機能も備えており, 測定後はガス透過ユニット中の溶液を除いておくことにより, 多孔質チューブの透過性能が長期間維持され, 再活性化の操作をすることなく, 高いガス透過効率を維持することができた. 本システムを用いると, 検量線は 0~10, 0~1.0 ppm の範囲で良好な直線性を示し, 1 時間当たり 30 試料の分析が可能となった. 実際に, 河川水中のアンモニウムイオンの定量を行ったところ, インドフェノール誘導体/FIA/吸光光度法による定量値と良く一致し, 試料に対する相対標準偏差は 0.51, 0.83% で, 回収率は 97~98% と良好であった.