新たに開発された亜酸化窒素分解処理装置の紹介

青木裕司*

〔要旨〕 新しく開発された亜酸化窒素分解処理装置レイチェルTM-N₂Oの実働試験を行った。麻酔回路内の流量を亜酸化窒素 4l・min⁻¹、酸素 2l・min⁻¹とし、セボフルランを用いて全身麻酔を行った。余剰麻酔ガスを処理装置に導入し、触媒温度を 400℃に設定した。その結果、亜酸化窒素は測定限界以下にまで分解され、処理副産物としてのNO_xの発生は認められなかった。装置の稼動により、全身麻酔装置からの温室効果ガスの排出を、二酸化炭素換算で73%削減することができた。

キーワード：亜酸化窒素、分解処理、余剰麻酔ガス

(日臨麻会誌 Vol.24 No.1, 10～14, 2004)

はじめに

亜酸化窒素は化学的に非常に安定な物質であるため、医療の分野ではこれまで分解処理は困難であると信じられていた。したがって、亜酸化窒素を無毒化するような装置を用いず、希釈するのみで大気中に放出してきた。

ところが、触媒を用いた亜酸化窒素の熱分解処理は半導体製造などの工業分野においてすでに研究されており¹⁾、その技術は確立されているといっても過言ではない。ただし、余剰麻酔ガスの処理に応用するにあたってはいくつかの問題点があげられる。すなわち、①工業用ガスに比較して亜酸化窒素の濃度自体が高い、②高濃度の酸素が共存するため分解反応の副産物としてNO_xの発生が危惧される、③併用される揮発性吸入麻酔薬が触媒を劣化させる²⁾ためあらかじめ除去を要する、などである。

2002年に、これらの問題点を独自の技術で解決し、世界に先駆けて本邦において実用型亜酸化窒素分解処理装置が相次いで開発・発表された。そのうちの

一つ、ジャパン・エア・ガシズ社(旧・日本エア・リキード社)製レイチェルTM-N₂O(図1)の実働試験を行ったので、その結果を紹介する。本装置は、加熱した貴金属触媒に余剰麻酔ガスを通すだけで亜酸化窒素を窒素と酸素に分解するという、きわめて単純な原理に基づいて設計されている。

図1 亜酸化窒素分解処理装置
レイチェルTM-N₂O 外観

*社会保険神戸中央病院麻酔科

受理日 2003. 3. 12

著者連絡先 青木裕司
〒651-1145 神戸市北区惣山町2-1-1
社会保険神戸中央病院麻酔科

I 方 法

レイチェルTM-N₂Oを当院手術室の外にある機械制御室に設置し、手術室1室分の余剰ガス排気ダクトを接続した。触媒の至適温度を検討する目的で当該手術室において全身麻酔装置(Jullian, ドレーゲル・メディカル ジャパン)を駆動し、麻酔回路内流量を亜酸化窒素 4l・min⁻¹, 酸素 2l・min⁻¹とした。この際、吸入麻酔薬を併用しないもの(A), 1%セボフルランを併用したもの(B), 1%イソフルランを併用したもの(C)の計3種類を測定対象とした。

余剰麻酔ガスは手術室壁面の吸引ユニットから引き込まれ、圧縮空気で全流量を 55l・min⁻¹に希釈し、排気ダクトから排出する。この排出ガスに対し分解処理装置の触媒温度を 520℃まで上昇させ、その際の装置出口部分での亜酸化窒素濃度を赤外線ガス分析装置(Xentra 4100, Servomex 社)を用いて測定した(図2)。また、同時に排出ガスを一部採取し、窒素酸化物検知管(NO + NO₂ no.11L, ガステック)を用いてNO_xの検出を試みた。なお、赤外線ガス分析

装置および窒素酸化物検知管の測定限界はそれぞれ 5ppm, 0.04ppmである。

つぎに、社会保険神戸中央病院で 2002 年 7 月 15 日～8 月 13 日の 30 日間に当該手術室で施行された全身麻酔 16 例を対象とし、処理装置入口側・出口側における亜酸化窒素および NO_x 濃度を同様に測定した。

さらに、出口側でのセボフルラン濃度をフーリエ変換赤外線分光分析装置(I-2000, MIDAC 社)で測定した(図2)。測定限界は 1ppm である。触媒温度は 400℃に設定した。対象期間中に行われた全身麻酔の麻酔回路内流量はすべて亜酸化窒素 4l・min⁻¹, 酸素 2l・min⁻¹に固定し、併用する揮発性吸入麻酔薬はセボフルランのみとした。

揮発性吸入麻酔薬吸着筒は、当該処理筒に充填されたケミカルインディケータの呈色反応が目視で確認された際に新しい処理筒に交換した。

II 結 果

処理装置の触媒温度が 350℃付近に達すると、A, B, C のすべてにおいて亜酸化窒素の分解が始まり、

図2 装置模式図

TL：揮発性吸入麻酔薬吸着筒(左)
TR：揮発性吸入麻酔薬吸着筒(右)
TB：揮発性吸入麻酔薬吸着筒(バックアップ)
HU-2：亜酸化窒素分解筒
MH：メインヒーター

SH：サブヒーター
AC：活性炭
C：貴金属触媒
FT-IR：フーリエ変換赤外線分光分析装置

370℃以上で装置出口側の亜酸化窒素濃度が測定限界(5ppm)を下回った(図3)。また、320～520℃の範囲においては、NO_xは検出されなかった。

対象期間中に当該手術室で施行された全身麻酔16例の麻酔時間合計は42時間50分、亜酸化窒素ガス使用量は4,642l、セボフルラン使用量は580mlであった。吸入麻酔薬吸着筒の交換は、1度行った。

期間中に施行された足趾形成術中の装置運転デー

図3 触媒温度と装置出口での亜酸化窒素濃度の関係

A：亜酸化窒素と酸素のみ

B：亜酸化窒素と1%セボフルランを併用

C：亜酸化窒素と1%イソフルランを併用

図4 亜酸化窒素分解処理装置運転状況

△：分解前の亜酸化窒素濃度 (×375)

●：分解処理後の亜酸化窒素濃度

◆：触媒上部温度

◇：触媒下部温度

×：余剰麻酔ガス流量

8:00に余剰麻酔ガス吸引装置にパイピングされ排出装置内の流量が増加している。9:10より11:25まで全身麻酔が行われている。麻酔は亜酸化窒素-酸素-セボフルランで行い、適宜フェンタニルを併用した。セボフルラン濃度は最高3%であった。

タを図4に示す。余剰ガス中に認められた亜酸化窒素はほぼ完全に分解され、装置出口では測定限界(5ppm)以下であった。装置出口でのNO_xおよびセボフルランは、麻酔中のみならず麻酔終了後も引き続き検出されなかった。

Ⅲ 考 察

1. 麻酔科医にとって地球環境問題とは？

近年、地球温暖化が問題視されるなか、京都議定書において温室効果ガスの一つに指定された亜酸化窒素への社会的注目度は年々高まりつつある。

亜酸化窒素は1分子あたりCO₂の310倍の温室効果をもっており³⁾、また排出されたのち自然分解するまでの分子の寿命が約150年とほかの温室効果ガスと比較して非常に長い⁴⁾。

後藤⁵⁾によると、大気中に排出される亜酸化窒素の大部分は工業・農業活動に由来するものであり、医療機関が排出する亜酸化窒素は全体の2.5%にすぎない。しかし、麻酔科医の全地球人口に占める割合から換算すれば、地球環境に対して麻酔科医は一人当たり、一般人の25倍重い責任を負っている。

われわれ麻酔科医は、成層圏における亜酸化窒素濃度が年に0.25%ずつ増加しつづけている⁶⁾という事実を厳粛に受け止め、余剰麻酔ガス中の亜酸化窒素の分解処理が重要かつ緊急の課題であると考え必要がある。

2. レイチェル™-N₂Oの特徴

過去にも、余剰麻酔ガス中の亜酸化窒素の熱分解処理やプラズマ分解法が研究されてきた^{7), 8)}。しかし、いずれも、NO_xの発生が認められ、しかも排出ガスの一部しか分解処理できないなどの問題があり、実用化には至っていない。

今回開発された亜酸化窒素分解処理装置レイチェル™-N₂Oは、医療分野ではあまり知られていなかった貴金属触媒を用いて、亜酸化窒素を窒素と酸素に分解する。さらに、触媒を劣化させるといわれる揮発性吸入麻酔薬を活性炭であらかじめ吸着除去する

ことで課題を解決している。

揮発性吸入麻酔薬を除去回収する方法としては、ほかに、冷却による液化回収法が報告されている^{9)~11)}。ただし、この方法は、使用電氣量が多く、また機械的に複雑で、トラブルの発生が懸念される。

一方、活性炭による吸着除去は、使用電氣量が少なくすむが、活性炭の交換頻度によってはランニング・コストがかさむ可能性がある。

3. レイチェルTM-N₂O稼働による温室効果ガスの排出削減効果

今回の1ヵ月にわたる実働試験で使用した亜酸化窒素ガス量は、4,642lであった。これは、重量に換算すると9.1kgに相当し、亜酸化窒素の温暖化係数310を乗ずると2,821kgとなる。

一方、装置の消費電力が毎時3kWであることから、試験運転中の使用電力は $3 \times 24 \times 30 = 2,160$ kWhとなる。火力発電における二酸化炭素換算係数0.3567(環境省温室効果ガス排出量算定方法検討委員会2002年資料より引用)を乗じると、装置運転により排出されたCO₂量が算出される。結果、装置は、その運転のために約770kgのCO₂を排出したことになる。

したがって、本装置の稼働により、1ヵ月でCO₂換算2,051kg、本来の排出量の73%に相当する温室効果ガスの排出が削減された。これは、理論上、100Wの蛍光灯80本を1ヵ月点灯しつづけた場合に排出されるCO₂量であり、高さ4mのサクラの木129本分のCO₂吸収量に相当する¹²⁾。

4. 亜酸化窒素分解処理装置のランニング・コスト

一方、ランニング・コストとしては、電氣代が $13.18 \text{ 円} \cdot \text{kWh}^{-1} \times 2,160 \text{ kWh} = 28,469 \text{ 円}$ (1ヵ月当たり)となった。さらに、吸入麻酔薬吸着筒内の活性炭価格が現状では3万円程度と考えられる。

今回の試験期間中セボフルランを580ml使用したため途中で吸着筒の交換が1回必要となった。しかし、通常当院では総流量 $2 \sim 3 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ の比較的低流量で麻酔を行っており、セボフルランの1室当たり

の月間使用量は250ml程度である。したがって、本来であれば吸着筒の交換は必要なく、消耗品としての吸着剤(活性炭)の購入費は一月当たり3万円程度と考えてよい。

5. 亜酸化窒素分解処理装置の将来像と今後の課題

2003年初頭時点において、このような実用的亜酸化窒素分解処理装置を発売しているのは国内2社のみである。しかし、どちらも手頃な価格とはいいがたく、また装置自体も大型である。今後、関係学会のバックアップのもとに、行政による法的規制や補助が行われれば、爆発的な需要が喚起され、それによるコストダウンが期待できる。さらには、複数のメーカーが技術開発に参入し競争することで、装置の小型化・軽量化が期待できる。

本装置では、オゾン層破壊と酸性雨の原因となりうる⁴⁾揮発性吸入麻酔薬を吸着除去することも可能である。実働試験の結果より、いったん吸着されたセボフルランがふたたび遊離してくることはないことを確認された。

その一方で、使用済み活性炭の処理という新たな課題が生じる。今回の実働試験の結果より計算すると、当院からは年間約700kgの使用済み活性炭が排出されることになる。かりに全国の医療施設に導入されると、その排出量および処理費用は膨大なものとなり、新たな問題を生む。また、当面は吸入麻酔薬を吸着した活性炭を焼却することを想定しているが、これは新たな汚染物質の大気中への放出を意味する。

吸着された揮発性麻酔薬の回収および無毒化こそが本装置開発の最終目的であり、今後も検討が必要な課題である。

結 語

新しく開発された亜酸化窒素分解処理装置の実働試験を行った。亜酸化窒素は測定限界以下にまで分解され、処理副産物としてのNO_xの発生は認められなかった。装置の稼働により、全身麻酔装置からの

温室効果ガスの排出を、二酸化炭素換算で73%削減することができた。

本稿の要旨は、日本臨床麻酔学会第22回大会(2002年、甲府)で発表した。

謝辞 本稿を執筆するにあたり、多大なるご協力を賜りましたジャパン・エア・ガシズ社の根本陸雄氏・米山昌志氏、ならびに装置の開発・運転保守にご協力いただきました神戸サンソ株式会社の問田隆三氏・坂尾博昭氏、ドレーゲル・メディカル ジャパン株式会社の高木啓太氏ほか、関係者各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) Zeng HC, Qian M, Pang XY : Catalytic decomposition of high-concentration nitrous oxide N_2O , Catalysis and automotive pollution control IV, Studies in Surface and Catalysis vol.116. Edited by Kruce N, Frennet A, Bastin JM. Elsevier Science Inc., New York, 1998, 485~494
- 2) 室井高城：長寿命触媒の開発，触媒シンポジウム 触媒の劣化—機構，寿命予測，防止対策—，東京，1997
- 3) 地球環境保全に関する関係閣僚会議発表資料：2000年度(平成12年度)の温室効果ガス排出量について
- 4) Logan M, Farmer JG : Anaesthesia and the ozone layer (editorial). Br J Anaesth 63 : 645~647, 1989
- 5) 後藤隆久：麻酔薬と地球環境汚染. 日臨麻会誌 18 : 496~499, 1998
- 6) Kole TE : Environmental and occupational hazards of the anesthesia workplace. J Am Assoc Nurse Anesth 58 : 327~331, 1990
- 7) 成沢朋広，中村洋平，井上政昭ほか：笑気ガス分解・除去の試み. 医器学 71 : 567~568, 2001
- 8) 長谷川有，新井豊久，加藤黎子ほか：笑気分解装置の実験的研究(第1報). 麻酔 28 : 1242, 1979
- 9) 昭和電工株式会社：特開2002-172171，公開特許公報(A)，2002
- 10) 甲斐哲也，高橋成輔，跡辺仁志ほか：余剰麻酔ガス処理システムの開発と実用化. J Anesth 16 suppl. : 182, 2002
- 11) Kai T, Kanmura Y, Takahashi S, et al. : Development and utilization of a system for treating waste anesthetic gases. Anesthesiology 96 : A574, 2002
- 12) 公害防止健康被害補償予防協会：改訂版大気浄化植樹マニュアル，1995

Report on State-of-the-Art N_2O Decomposition System

Hiroshi AOKI

Division of Anesthesia, Shikaihoken Kobe Central Hospital

We implemented the field test of the newly developed equipment RachelTM- N_2O whose function is to break N_2O down into N_2 and O_2 . General anesthesia was applied with the use of sevoflurane while keeping N_2O flow at $4l \cdot min^{-1}$ and O_2 at $2l \cdot min^{-1}$ within the circuit. The excess anesthetic gases were introduced into the treatment parts where the temperature of the catalyst is set at $400^\circ C$. N_2O was decomposed to the lower limit of detection of 5 ppm and no nitrogen oxide compound in the form of by-product was observed at the exit of the catalyst bed. The present study indicates that RachelTM- N_2O can successfully reduce 73% of 'greenhouse gas' from an anesthesia machine assuming that all energy is converted into CO_2 .

Key Words : Nitrous oxide, Decomposition, Excess anesthetic gas