

首都高速道路千代田トンネル換気設備用 一酸化炭素検出装置の概要

Outline of the Carbonmonoxide Detector of Ventilating Facilities
for Chiyoda Tunnels

塚 田 博* 副 島 倬 蔵**
Hiroshi Tsukada Takuzô Soejima
井 上 儀 和*** 弘 中 博 二****
Yoshikazu Inoue Hiroji Hironaka

内 容 梗 概

自動車用道路のトンネル内においては、自動車の排気ガスにより、トンネル内の見通しが悪くなるばかりでなく、特にその中に含まれる一酸化炭素 (CO) によって、空気が汚染され、その濃度によっては、人体に多大の障害を与えるので、トンネル内空気中の CO 濃度を監視することが必要である。

昭和 39 年 8 月 1 日、首都高速道路公団が建設した首都高速道路 4 号線の千代田トンネルが開通したが、日立製作所では、その換気設備とともに、トンネル用としてはわが国最初の赤外線ガス分析方式の一酸化炭素検出装置を完成納入したので、ここにその概要を紹介する。

1. 緒 言

千代田トンネルは首都高速道路 4 号線と 3 号線とが交差する千代田区三宅坂付近に建設されたもので、各部に新しい試みがなされ、都市トンネルとして今後のモデル・ケースになるものと思われる。

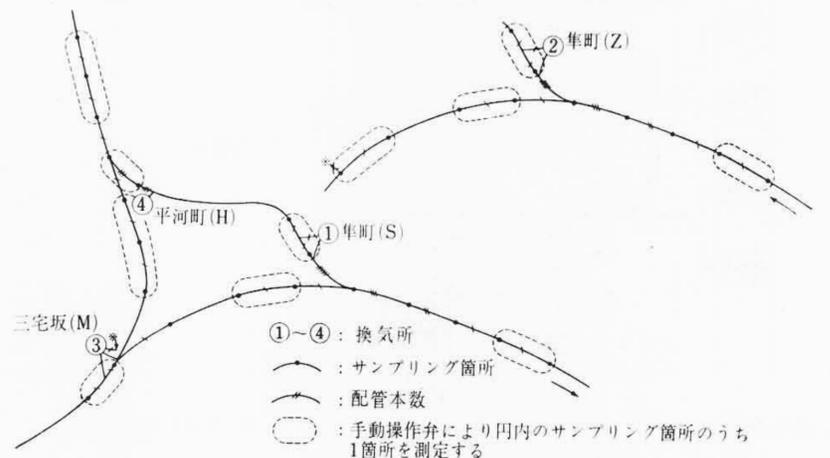
日立製作所では、さきに関門トンネル⁽¹⁾および天王山トンネル⁽²⁾に触媒方式の一酸化炭素検出装置 (以下 CO 検出装置という) を納入しており、ここでも当初、触媒方式が計画されていたが赤外線分析計の技術向上に伴い、首都高速道路公団および関係者で技術的な検討を加えた結果、赤外線ガス分析方式を採用することになったものである。

赤外線分析計は特に応答速度が速いため、1 台の分析計で 3~6 箇所からの試料空気を 1 分間隔で自動切換分析することが可能となり、しかも比較的小形にまとめることができた。

最近の国内トンネルでは、関門トンネルの経験から、CO 濃度より可視度 (煙霧透過率) に基づいて換気制御を行なう傾向になってきているが、首都高速道路の場合、関門トンネルとは車種構成が異なり、特にガソリン車の混入率が高いことが考えられ、したがって CO の人体に与える影響の大なることを考えると CO 検出装置は除くことはできない。千代田トンネルでは、可視度測定装置と CO 検出装置を設置し、可視度測定装置の指示によって換気制御を行ない、CO 検出装置指示が警報値を越えたときに、手動により最高ノッチにはいる方式となっている。千代田トンネル開通後、3 箇月を経た現在、計画当初 15% と予想したディーゼル車混入率は 5% 前後となり、CO 濃度もラッシュ時は 20~50 ppm と予想を上回っている。

一般に CO 濃度の限界としては、長時間 (8 時間) では 100 ppm、短時間 (1 時間) では 200 ppm、さらに 15 分のごく短時間ならば 400 ppm までよいとされ、この値はしばしば短いトンネル内の空気の稀釈限界とされている。しかし 100ppm は健康な成人が休息の状態での 8 時間であって、ある程度活動状態である場合には 4 時間、重労働では 3 時間、さらに女子や未成年者の場合ではこれより短いものとなる。

現在、トンネル内部において清掃、故障車の整理、道路の保守な



第 1 図 首都高速道路千代田トンネルサンプリング
フィルタおよび換気所配置図

らびに故障による渋滞を生ずる機会が比較的多いことからこの CO 検出装置による監視は欠かせないこととなっている。

2. CO 検出装置

自動車トンネルにおいて、換気装置を制御する目的から要求される CO 検出装置の具備すべき性能としては次のようなものがある。すなわち、

- (1) 24 時間連続検出する必要上、故障が少なくしかも耐久性があること。
- (2) 微量の CO (たとえば数 ppm) の連続検出が可能なこと。
- (3) 検出の時間遅れが短いこと。
- (4) 保守、運転が簡単にできること。

などである。これらの条件を考慮して、CO 検出計器としては、赤外線ガス分析法を用いた日立一堀場 EIA-1 形赤外線ガス分析計を用いている。以下装置の構成、仕様、概要について述べる。

2.1 装置の構成

本装置の構成要素は試料採取装置、サンプリング分析装置、および記録制御装置であり、そのおのおのの数量は第 1 表に示すとおりである。

2.2 装置の仕様

本装置の仕様は次のとおりである。

- (1) 測定方式 赤外線吸収、ダブルビーム、正フィルタ形、偏位法
- (2) 測定対象 空気中の一酸化炭素濃度

* 首都高速道路公団
** 日立製作所那珂工場
*** 日立製作所本社
**** 堀場製作所

第1表 CO検出装置換気所別構成表

換気所名	構成要素	試料採取装置		サンプリング分析装置		記録制御装置	
		サンプリング・フィルタ	ガス吸引装置	3点用	6点用	3点用	6点用
1 隼町 (S)		9	2	—	1	—	1
2 隼町 (Z)		9	2	—	1	—	1
3 三宅坂 (M)		5	1	1	—	1	—
4 平河町 (H)		8	1	1	—	1	—
合計		31	6	2	2	2	2

2.3 装置の説明

第2図は装置の系統図である。この系統図について以下、試料空気の流れにしたがって説明する。

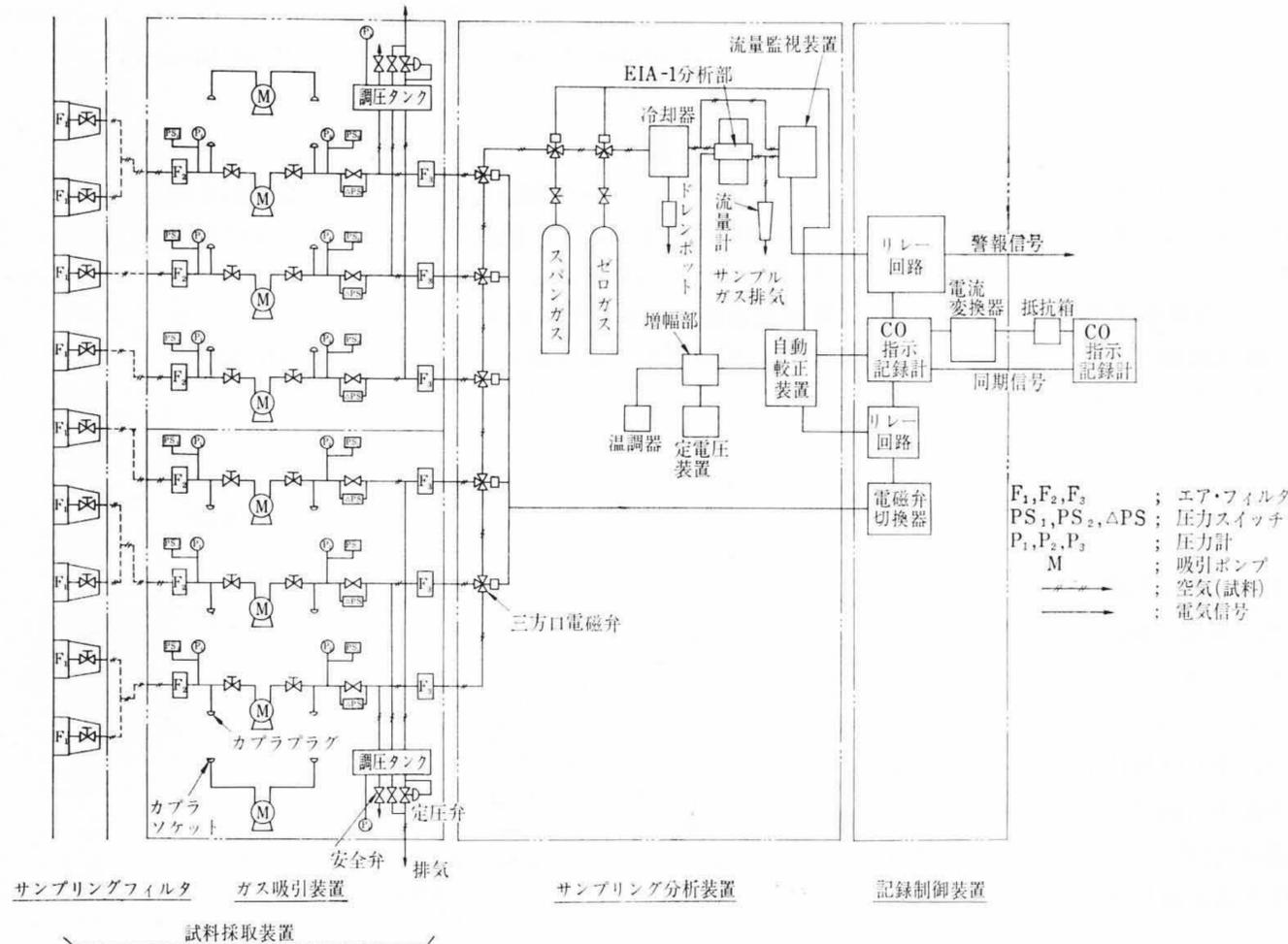
2.3.1 試料採取装置

トンネル内の試料空気は、試料採取用吸引ポンプMにより、サンプリング・フィルタF₁を通して吸引される。F₁はトンネル内所定位置31箇所に設置されており、トンネル内のじんあいの除去が目的であって、構成は三重の不織布からなっており、5μ以上の

大きさのじんあいの除去をほとんどこのフィルタで行なうように設計されている。F₁には、また、1系統ごとに2~3個のサンプリング・フィルタが付いている場合、任意のものを選択するストップ・バルブが内蔵されている。

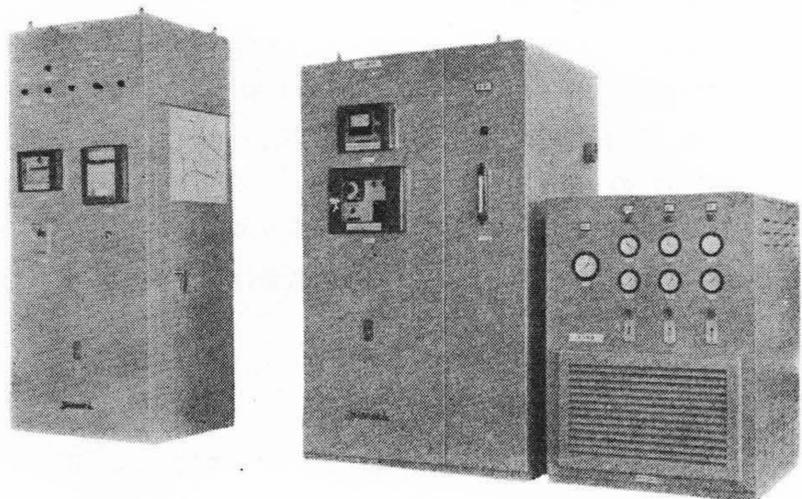
吸引ポンプMは、各系列ごとに1台ずつ、4台(1台は予備)を1組として、付属装置とともに、ガス吸引装置を構成している。ガス吸引装置およびそれ以降の各装置は各換気所内に設置されているので、ガス吸引装置とサンプリング・フィルタの間は、長いもので700m、短いもので100m離れている。このように検出端と測定端が相当距離はなれていることは、検出の時間遅れの原因となるので、試料伝送による時間遅れをできるだけ少なくするために、吸引ポンプは第5図のような吸引特性を

有するダイヤフラム式ガス圧縮ポンプを用いて、つぎの切換測定時には常に新しい試料が分析部に送られるようになっている。ダイヤフラム式ガス圧縮ポンプにより送られる分析部への試料は一定の流量でなければ測定誤差を生ずるため緩衝タンクにより定圧化されている。吸引ポンプの吸引側、吐出側にはそれぞれ圧力計、圧力スイッチが付属しており、吸引圧力、吐出圧力を監視

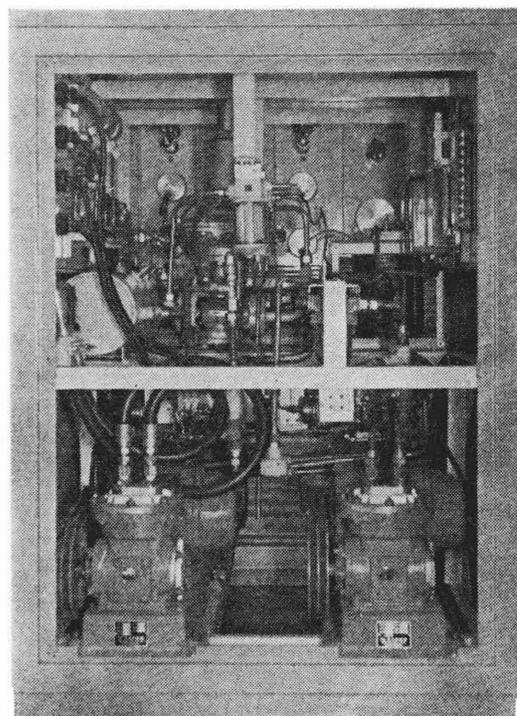


第2図 一酸化炭素検出装置系統図

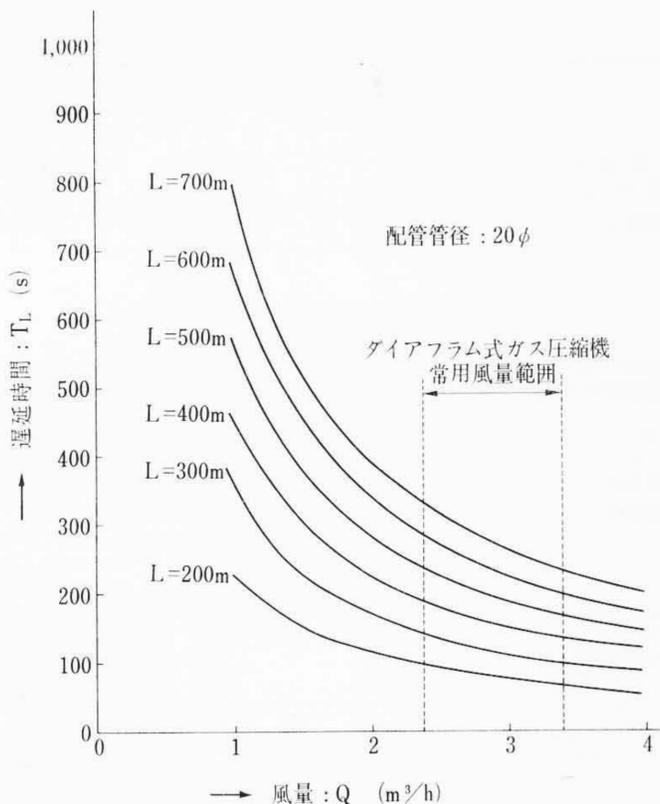
- (3) 測定範囲 0~500 ppm, CO 最小目盛 10 ppm
- (4) 測定点数 1台につき6点 (2台隼町換気所内設置)
1台につき3点 (2台平河三宅坂換気所設置)
- (5) 精度 フルスケールの±2%以内
自動零点校正, 感度校正機構つき
- (6) 自動零点校正 12時間に1回6分間
自動感度校正, 12時間に1回4分間
- (7) 防湿器 電子冷却式
- (8) 記録計 電子管式自動平衡形記録計



第3図 一酸化炭素検出装置(3点式)



第4図 一酸化炭素検出装置ガス吸引装置(内部)



第5図 吸引ポンプ特性と遅延時間

し、さらに圧力スイッチにより警報が発せられるようになっている。また付属の予備ポンプは保守および万一のポンプ故障の際の交換のため、カプラにより接続変更を行ない、いずれのポンプとも交換が行なえるよう考慮してある。

2.3.2 サンプリング分析装置

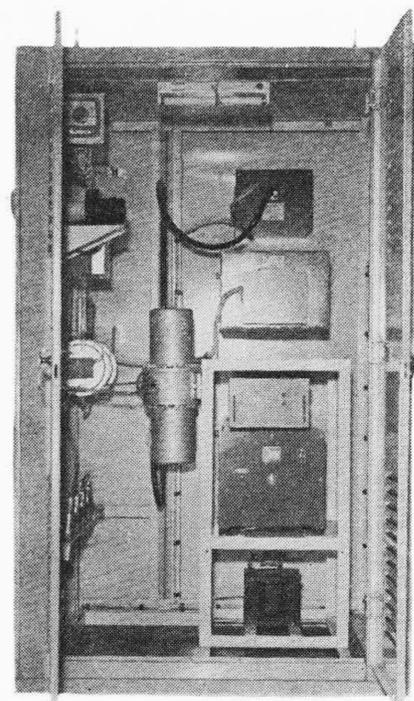
サンプリング分析装置の試料入口には、三方口電磁弁が設置されており記録制御装置内の多点式記録計の打点と連動して順次開閉を行なっている。すなわち、この三方口電磁弁は記録計の打点間隔（1分）間に、次に記録される点の電磁弁が開となるよう信号が送られており、この時間内に試料が電子式除湿器を経由して分析部に送られる。分析部は温度変化による誤差を防ぐため温調器によって定温となっており、分析部で試料中のCO濃度に比例した電気信号に変換される。赤外分析部への試料は一定流量である必要があるため、分析部の試料入口および出口の差圧を微差圧の圧力スイッチにより流量を監視し、異常流量になった場合は警報を発するようにしてある。

(1) 赤外線分析計

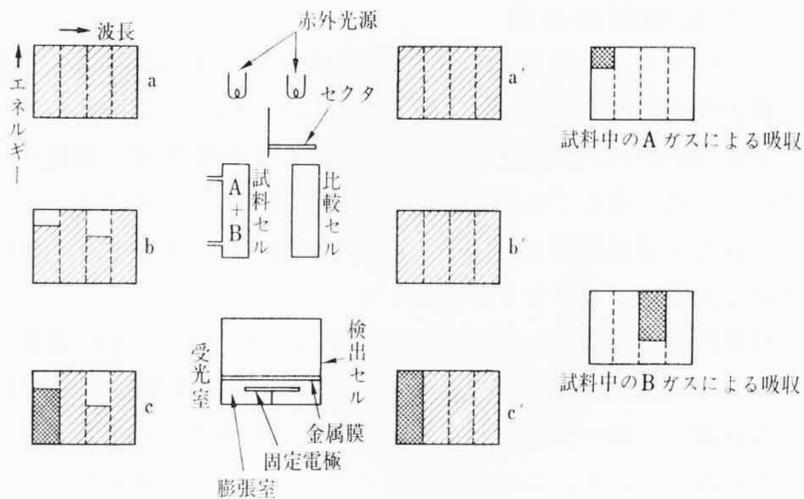
赤外線ガス分析法は、ガス体の赤外線による特定の波長の吸収を利用したものである。この吸収はガス体が一般に極性をもっているため起きるのであるから、 N_2 , O_2 , H_2 などの対称2原子分子およびNe, Arなどの不活性ガスのような極性のないガスは測定不可能である。すなわち、これらのガスは測定上の誤差にならない。

赤外線のガス体内における透過は濃度と厚さの積によって定まり指数関数的に変化する。

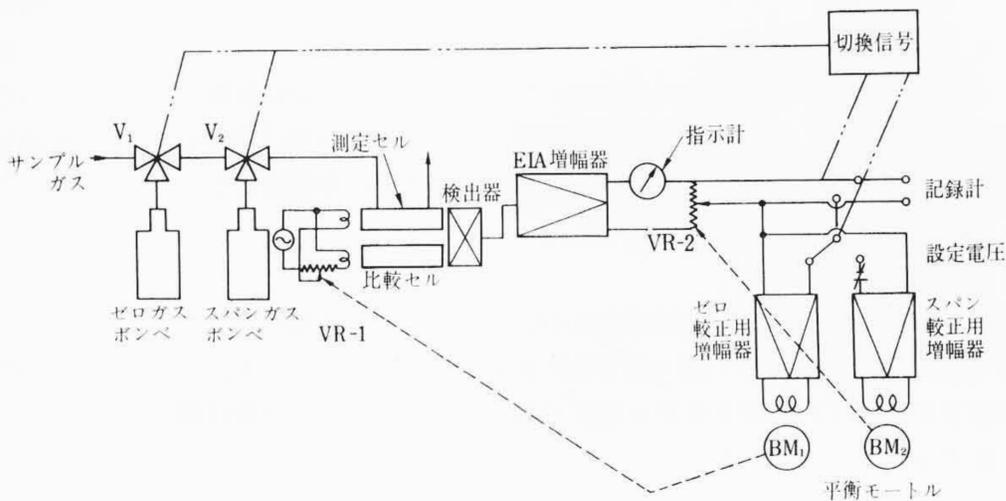
第7図において光源より放射された赤外線(a, a')はそれぞれ試料セルと比較セルを通過して検出セルに入射するが、その際の試料による吸収は(b, b')のようになる。一方検出セルにはAガス(この場合CO)が満たされているから、試料セル側を通過した赤外線は(c), 比較セル側を通過した赤外線は(c')のように、Aガスの吸収波長に相当するエネルギーが吸収される。左右の赤外線はセクタによって断続されて交互に検出器に入射するから(c, c')の吸収エネルギーは時間的に変化する。このエネルギー差(c, c')は検出セル受光室封入ガスの温度差→圧力差を生ぜしめ、



第6図 一酸化炭素検出装置 サンプルリング分析装置(内部)



第7図 赤外線分析計の原理



第8図 分析計自動校正装置原理図

膨張室との間を仕切ってある薄い金属膜を振動させる。この金属膜の非常に接近したところに固定電極がおかれており、この膜は固定電極との間にコンデンサ、マイクロフォンを形成して可動電極となっている。よってガスの濃度に応じて、これに比例した電気信号が得られる。

(2) 自動校正装置

赤外線分析計は長期連続運転で使用する場合、光源熱線の劣化、セル内の汚れなどによるゼロ点ドリフト、スパン感度変化を生ずるため12時間に1回程度標準ガスにて長時間無人運転する場合、自動校正をする必要がある。装置の原理は第8図に示すごとく、測定時においてサンプルガスは電磁弁V1, V2を通り測定セル

にはいり測定が行なわれている。指定された較正開始時間がくると切換信号により電磁弁 V_1 が動作してサンプルガスを止め、ポンペ内にはいつている標準ゼロガスが、測定セル内に流れ、EIA-1の出力は同時にゼロ較正用増幅器に切り換えられ、もし出力信号が出ていると平衡モートルが回転し、それと連動されている可変抵抗器 VR-1 を回わして光源電圧により光量を変化させ、零点調整を行なっている。この操作の次に切換信号により電磁弁 V_2 が動作し、測定セル内に標準スパンガスを流し、EIA-1 増幅器の出力はスパン較正用増幅器に切り換えられる。このスパン増幅器の入力にスパン設定電圧があり、標準スパンガス出力と等しい電圧を設定し、もし設定電圧とずれた出力が発生していた場合、平衡モートルは回転して、それと連動している可変抵抗器 VR-2 を回転させ、規定の出力が出るよう自動的に調整する。

以上の零点較正、スパン較正操作が終わると切換信号により測定セル内にサンプルガスを流して測定を開始する。もちろんこの較正中は試料の測定は中断されるが自動較正に必要な時間は10分以内であり、また記録計は前回測定の位置にて停止しているため換気装置への信号にはほとんど影響を与えない。

2.3.3 記録制御装置

サンプリング分析装置よりの測定信号 0~100 mV は記録制御装置内の VKP₃₂ 形自動平衡多点記録計に伝送され、記録されるとともに ETR-2C 形電子式変換器を使用し中央監視室へ電流伝送されている。またこの記録計には上限警報接点、バイカウント方式を行なう遅延同期スイッチ、試料空気採取の切換電磁弁を動作させる同期スイッチなどが付属している。

試料採取付近においてなんらかの原因にて一時的に CO 濃度が増加した場合、警報を出さないよう一度目の警報は保持され、2回目の計測にて同一測定点が警報濃度となったときのみ警報が出るようになっている。この方式をバイカウント方式と称している。

3点または6点の測定点は自動切換になっているが、手動切換器により任意の測定点を呼出し連続的に測定できるようにも考慮してある。

2.4 装置の警報

本装置には CO 濃度が警報点を越えた場合の警報のほかに装置自体に故障が発生した際の原因追及が簡単なように各種の自己警報装置を備えている。この自己警報は大別して次の2種に分類される。

(1) サンプリング系不調

(2) 自動較正不能

サンプリング系不調とは試料空気の伝送路における各種の異状であって、その要因別の分類は第2表に示すとおりである。一方、自動較正不能とは自動較正装置の故障であってその要因別の分類は第3表に示すとおりである。

3. 可視度測定装置

トンネルの計測装置には一酸化炭素検出装置のほかに可視度測定装置 (VI 計) が使用され千代田トンネルにもこの装置が納入されているので、その概略を紹介する。可視度測定装置は光の煙霧による散乱、吸収による減衰を定量的に測定し、ある状況 (たとえばトンネル内) 下の可視度を決定する装置で、その定量的な数段階の値によって換気装置を制御するものである。

第2表 警報信号発信原因表 (1)

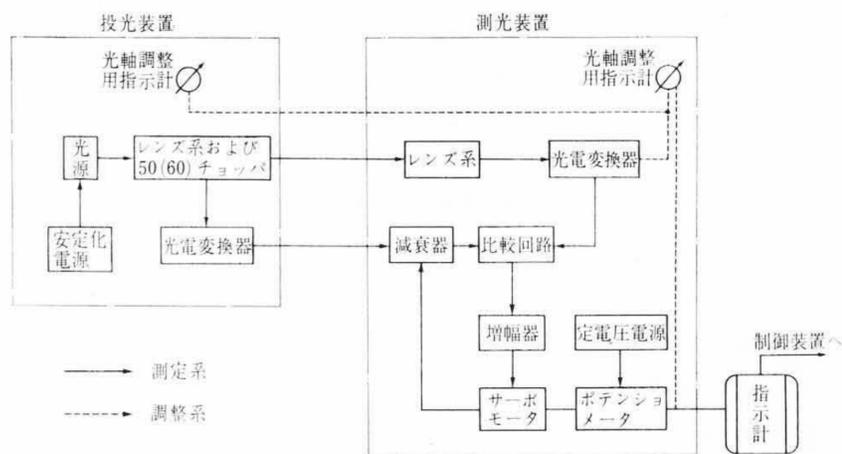
(サンプリング系不調の信号が出る場合)

サンプリング系不調信号発信原因	警報発信のときのポンプの状態	正常状態の監視
1. サンプリング・フィルタの目つまり	停止	圧力計による
2. 輸送経路が異状な場合	停止	圧力計による
3. ポンプが故障し流量が異状な場合	運転	圧力計による
4. 分析計を流れる流量が異状な場合	運転	流量計による

第3表 警報信号発信原因表 (2)

(自動較正不能の信号が出る場合)

自動較正不能信号発信原因	正常状態の監視
1. 分析計関係の計器の故障	標準ガスによる点検
2. 較正範囲の逸脱により自動零較正およびスパン較正が不能	点検により較正の余裕があるかどうかを確認



第9図 可視度測定装置系統図

可視度測定装置は投光部と受光部からなっており、その系統図は第9図に示すとおりである。

光源よりの可視光はセクタにより 100 c/s の断続光とし二つに分けられ、一方は約 100 m 離れた受光部へ投光され、もう一方は投光装置内の光電変換器へ入射される。このとき、受光部への光はレンズ系により平行光線に近い状態となっており、途中の光路中のじんあい煙霧によって吸収され、減衰した光線が受光部へ入射し、受光部内の光電送換器により電気信号に変換される。この二つの光電変換器からの出力は、投光部よりの出力を基準として比較され、サーボ機構を使用して自動平衡が行なわれ、光の減衰量が測定されている。この測定量により換気装置を数段階で制御している。

4. 結 言

以上、首都高速道路千代田トンネルの換気設備用一酸化炭素検出装置の概要について述べた。このような CO 検出装置は換気設備付自動車トンネル、地下駐車場、地下街、大気汚染の監視など、微量 CO の連続検出が必要などころでは有用であると思われるので運転実績を参考にして、いっそうの装置の長期間無保守運転のための改良を行なってゆきたいと考える。

終わりにのぞみ、本装置の完成について終始ご指導、ご助力をいただいた関係者各位に厚く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 鈴木：日立評論 40, 467 (昭33-4)
- (2) 竹原, 小林, 武藤, 石川：日立評論 45, 1960 (昭38-12)