

ガスサンプリング装置

渡 辺 敦 夫*
Atsuo Watanabe

Gas Sampling Systems

Synopsis

A new series of the gas sampling systems was accomplished after many experiences in industrial gas analysis. This series is applicable to many kinds of plants and easy to set and maintain. A discussion is given of considerable matters in gas sampling systems and some applications of this series.

I. ま え が き

ガス分析装置は単に燃焼管理に使用されるにとどまらず、化学鉄鋼などの装置工業でプラントガスの分析に多数使用されている。このガス分析装置の使用に当たって常に問題になってくるのがガスサンプリング装置である。当社では古くからガス分析装置の製造を行ない、煙道ガスを初め化学、鉄鋼方面のプラントガスのサンプリングを多数手掛けてきた。この経験を基に非常に広い分野にわたって適用できるガスサンプリング機器の新系列を完成させた。

II. ガスサンプリングにおける問題点

ガス分析装置に導こうとする工業ガスは大部分まともな状態ではない。その多くは高温で多量の水蒸気を含み、さらにダストをかなり含んでいる。また腐食性のガスを含んでいたりと、圧力が高かったり逆に低い場合もある。このようなガスを清浄にし、圧力を一定にしてガス分析装置に連続的に導くのがガスサンプリング装置の役

目である。

まずガス中に含まれるダストを除く必要がある。ダストは固体の微粒子で、微粒子は固体および液体により、またその大きさにより第1図に示すように名称が付けられている。微粒子はその大きさにしたがって、その運動が非常に異なる。

粒子が大きい時は、その落下速度は早く、そのまわりの気流は乱流状態になる。その時の粒子の沈降速度はニュートンの法則にしたがい、粒子の速度 u は次の式で表わされる。

$$u=16\gamma^{1/2}d^{1/2} \text{ (cm/sec)} \cdots\cdots(1)$$

γ : 粒子の密度 (g/cm³)

d : 粒子の直径 (μ)

粒子が小さくなってくると沈降速度が遅くなり、まわりの気流は次第に層流に近くなってくる。層流状態になるまでの中間層では粒子の速度はアーレンの法則にしたがい、沈降速度は次の式で表わされる。

$$u=0.34\gamma^{2/3}d \cdots\cdots(2)$$

さらに粒子が小さくなると気流は完全に層流になる。この場合の微粒子の沈降速度はストークスの法則にしたがい、次の式で示される。

$$u_s=0.003\gamma d^2 \cdots\cdots(3)$$

粒子がガス分子の平均自由行路より小さくなれば、ストークスの法則があてはまらなくなり、ストークスの式に補正を加えなくてはならない。この場合ストークス・カニンガムの式が成立する。

$$u_e=u_s\left(1+1.7\frac{\lambda}{d}\right) \cdots\cdots(4)$$

λ : ガス分子の平均自由行路 (常温常圧で約 10⁻⁵cm)

u_s : ストークスの式から求めた粒子の沈降速度

u_e : ストークス・カニンガムの式から求まる粒子の沈降速度

粒 径	1000 μ	100 μ	10 μ	1.0 μ	0.1 μ	0.01 μ	0.001 μ
粒子の名称	ダスト			ヒューム			
	製造ミスト	ホッグ			スモーク		
粒子の測定法	ふるい分け		顕微鏡		顕微鏡		
					電子顕微鏡		
粒子の分離法	沈 降 法			電 気 集 じん			
	サイクロン						
		スクラバ					
沈 降 法 則	* アーレンの法 則		ストークスの法則		ストークス・カニングハムの法則		ブラウンの法則

第1図 粒子の性質 (※ニュートンの法則)

Fig.1. Characteristics of fine grain

* 豊田工場

さらに粒子が小さくなると粒子はブラウン運動をする。ブラウン運動は次の式で示される。

$$\sqrt{\overline{d^2}} = \sqrt{\frac{2RT}{N} \cdot \frac{u}{3\pi\mu d}} \dots\dots\dots(5)$$

- $\overline{d}$: 平均移動距離
- μ : 空気の粘性係数 (1.8×10^{-4} p at 20°C)
- R : 気体定数 (8.32×10^7 erg/deg mol)
- T : 絶対温度
- N : アボガトロ数 (6×10^{23})

ブラウン運動する微粒子は沈降することなく気体中にただよっている。このような沈降が無視される微粒子は気体の流れとともに出てゆくため、ほとんど問題にならない。また非常に大きい粒子は直ちに落下してガス中には混入しない。ガスサンプリング装置で問題になるのはダストと呼ばれている範囲の粒子でほぼストークスの法則にしたがって運動する。

この範囲の粒子の除去は非常にむずかしい。ダストを自然に沈降させるには長時間要する。サイクロンは非常に早い気流を作り、多量に気体を流さなくてはならずガスサンプリング装置としてはあまり適さない。電気集じんするには粒子が大きすぎる。そこでよく採られる方法はろ過器の使用である。

ろ過器も内容積を持ち、通過するのにある程度時間を要し、またダストはろ過器中に蓄積されるので定期的にダストを除かなくてはならない。ガスのサンプリング時間を短くするためにろ過器の内容積を小さくすれば、ダストの蓄積密度が多くなり保守の回数を増さなくてはならない。

さらにガスはダストを含むとともに高温で多量の水蒸気を含むことが多い。この場合ガスのサンプリングはさらに困難になる。高温のガスを外部に抽出するとガスの熱容量は非常に小さいので直ちに外の温度と同じになる。そこでガス中に多量の水蒸気が含まれておれば、たちまち水となりガス導管の壁をぬらしてしまう。そこへダストがくれば、堆積し導管の径を小さくしたり、つまりらせたりする。したがってガス中にダストと水蒸気がある場合にはガスが冷えて水蒸気の凝結前に必ずダストを除く必要がある。

ダストが多くなると、ろ過方式ではとても間に合わなくなる。この状態ではろ過器以前の導管部にダストの堆積が激しく、まともにガスを導びくことができなくなる。このようなガスには水または水蒸気でガス導管内を洗うようにする。ガスと一緒に入口から水または水蒸気を流し込むとダストは水や水蒸気で洗い流される。ガスに混

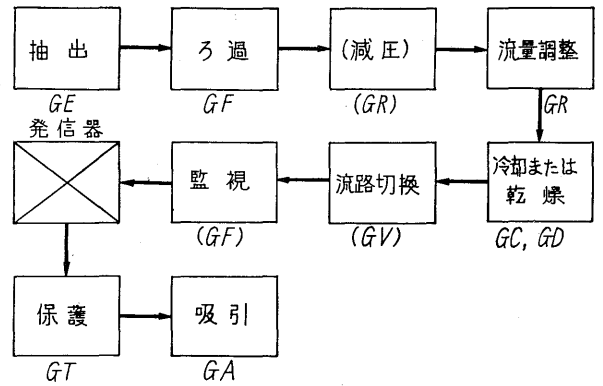
ざった水や水蒸気はあとに付ける分離器や冷却器により除かれる。

化学プラントなどからのガスは一般に圧力が高い。したがって減圧する必要がある。この場合減圧弁を使用すればよいがガスサンプリング装置用として特に耐食性が要求される。また流量は比較的小流量で使用されるため小流量域で安定でなくてはならない。

またサンプリング機器の取付工事や配管工事が容易で個々の機器の保守が簡単である必要がある。さらにガスがどの位流れているか、ダストは完全に除かれているかといったサンプリング装置の動作状態が一見してわかるようにすればなお一層便利である。このような問題点を逐次解決させ、ここにガスサンプリング機器の新系列を完成させた。

III. ガスサンプリング機器の種類

ガスサンプリング装置は種々の機能別に分けられた機器をガスが流れる順につないで構成される。ガスサンプリング装置として必要な機能をガス採取口から上げていくと第2図に示すようになる。



第2図 ガスサンプリング装置の構成
Fig. 2. Elements of gas sampling system

まずガスが流れている所から外部に抽出することが必要である。この部分はサンプリング装置でも特に重要な所で一番事故の起こりやすい所である。ここではガス中の水蒸気が凝結する前にダストを除かなくてはならない。それでろ過器は抽出器のすぐあとというよりほとんど抽出器とろ過器は一体に組まれている。ろ過器はこの他に各所でダストやミストあるいは不要成分除去などのため使用される。

ガス採取口の圧力が高ければ減圧も必要である。このため普通減圧弁が使用されるが、この場合二次圧は一定となり流量調整の役目もする。発信器にわずかながら流量による特性変化が認められる場合もあるのでサンプリ

第1表 ガス サンプ リング 機 器 一 覧 表
Table 1. List of sampling elements

種 類	名 称	形 式	種 類	名 称	形 式
抽 出 器	一般用ガス抽出器	GE-1	流量調整器	圧力調整器	GR-1H
	耐食用ガス抽出器	GE-1S		低圧用圧力調整器	GR-1L
	中温用ガス抽出器	GE-2S		圧力調整びん（バブラ）	GR-2
	高温用ガス抽出器	GE-2C		耐食用圧力調整びん	GR-2S
	低温用水ジェット式ガス抽出器	GE-3		ニードル弁	GR-3
	高温用水ジェット式ガス抽出器	GE-3S		耐食用ニードル弁	GR-3S
冷 却 器	乾式セメント用ガス抽出器	GE-4S	吸 引 器	ニードル弁付バージメータ	GR-4
	蒸気エジェクタ式ガス抽出器	GE-5		ニードル弁付フローレータ	GR-5
ろ 過 器	ガス冷却器	GC-1		耐食用ニードル弁付フローレータ	GR-5S
	蒸気分離器	GC-3		ガス分析用減圧弁	GR-6
洗 浄 器	セラミックろ過器	GF-1	弁	水落下式吸引器	GA-1
	耐食用セラミックろ過器	GF-1S		電動式吸引器	GA-2
	綿ろ過器	GF-2		水ジェット式吸引器	GA-3
	耐食用綿ろ過器	GF-2S		耐食用水ジェット式吸引器	GA-3S
	スチールウールフィルタ	GF-2B	ドレンポット	玉形弁	GV-1
	多じんガスろ過器	GF-3		耐食用玉形弁	GV-1S
	電熱式ろ過器	GF-3H		2方切換コック	GV-2
	監視ろ過器	GF-4		3方切換コック	GV-3
乾 燥 器	高圧用ガスろ過器	GF-5	ドレンポット	ドレンポット	GT-1
	ガス洗浄器	GF-6		発信器保護箱	GT-2
	ガス洗浄器付ガス洗浄分離器	GF-7A		密封形ドレンポット	GT-3
	水ガス分離器	GF-8		水受	GT-4
	ガス乾燥器	GD-1			
	耐食用ガス乾燥器	GD-1S			

ング装置では流量調整も行なわなくてはならない。
...ガスの冷却や乾燥は水蒸気を除去するために行なわれる。発信器内に水蒸気が入り凝結して水になることは発信器にとって思わしくないもので少なくともガス中の水蒸気の露点を発信器の温度以下にしないてはならない。
測定点の切換やろ過器の切換使用のためバルブやコックが多数使用されている。これらは流路切換という機能に分類される。その他サンプリング装置に異常ないかどうか監視するもの、またサンプリング装置には水を使用するのでそれを除いたり、それから発信器を保護したりするもの、採取口の圧力が低い場合はガスを吸引するものが必要である。

ガスサンプリング装置はこのような機能を持つ機器が集まってできている。したがってガスサンプリング装置の構成機器を機能別に分類し形式を決めた。形式は第2図に示すような抽出器の機能を持つものに GE、ろ過器の機能を持つものを GF というように決めている。減圧弁は性質が流量調整器類に似ているのでそれに含めた。監視器も性質がろ過器と同じなのでそれに含めた。このように分類し形式を決めたサンプリング機器を第1表に示す。

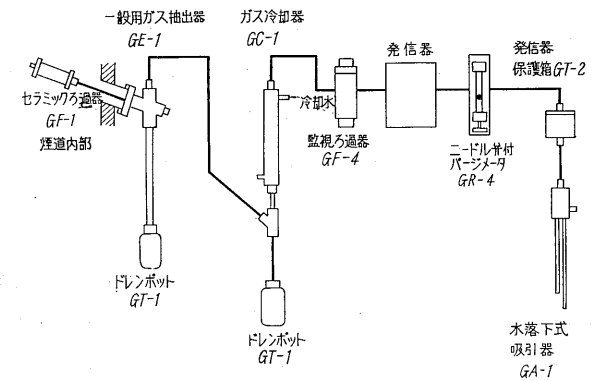
IV. ガスサンプリング機器の使用例

ガスサンプリング装置はこのように比較的単純な機能を持つ機器からなっている。しかし第1表にあげた機器

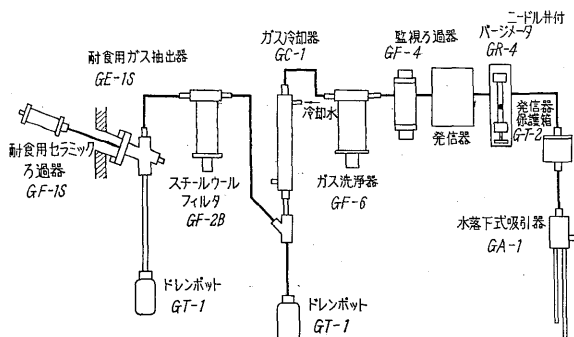
を単純に抽出器から順につないで行なっただけでは完全な動作は期待できない。まずガス採取口におけるガスの状態をよく知り、それに適したサンプリング機器を選ぶ必要がある。ここで具体的な数例の使用か所に対しサンプリング装置の構成を示し、それを構成するサンプリング機器の構造と動作を説明する。

1. 煙道ガスの場合

煙道ガスは一般のボイラや加熱炉の排ガスで、このガスの分析は燃焼管理のため一般的に行なわれている。ここのガスの状態は温度は 150℃～600℃、圧力は -100 mmH₂O～100mmH₂O、ダスト量は 10mg/Nm³～90 mg/Nm³、湿度は 30 g/Nm³～100 g/Nm³ 程度の範囲にある。



第3図 一般用ガスサンプリング装置
Fig. 3. Gas sampling system for flue gas



第 4 図 重油専焼排ガスサンプリング装置

Fig. 4. Gas sampling system for flue gas from oil burner

このようなガスに対しては第 3 図のようなサンプリング装置が使われる。

これは古くからこの種のガスサンプリングに採用されていた方法でセラミックろ過器が煙道内にそう入されている。セラミックろ過器はカーボランダムでできた円筒状の多孔質でガスが外部から内部に流れる時ろ過される。ろ過されたガスが抽出器を通して外部に出る時冷却され、水蒸気が凝結し水滴になる。したがって抽出器は傾斜をつけ、その出口にはドレンポットをつけ水滴を受ける。

この後も配管に傾斜をつけ最下部にはドレンポットをつけるようにする。途中にガス冷却器を置きガスの温度を発信器の温度以下にし、発信器内での水蒸気の凝結を防ぐ。監視用ろ過器は小形の綿ろ過器でダストが完全に除去されているかどうかを見る。ニードル弁付パージメータは簡単な流量計で測定ガスの流量監視および流量調整を行なう。発信器保護箱は吸引器からの水の逆流防止のため入れられている。水落下式吸引器は煙道内部からガスを吸引する水流ポンプである。これは吸引能力はあまり大きくないが吸引圧が一定でガスの流量変動はあまりない。

この煙道ガスに SO_2 , SO_3 が含まれていると腐食性があるので構成機器は耐食材料を使ったものでなくてはならない。すなわち GF-1 に対しては GF-1S, GE-1 に対しては GE-1S を用いるようにする。また場合によっては SO_2 および SO_3 を除いた方がよいので第 4 図のようなサンプリング装置を用いる。スチールウールフィルタは内部に細い繊維状のスチールの入ったろ過器で SO_2 , SO_3 の除去を行なう。ガス洗浄器は内部に硫酸を入れガスをその中にくぐらせ、残った SO_2 および水蒸気の除去を行なう。

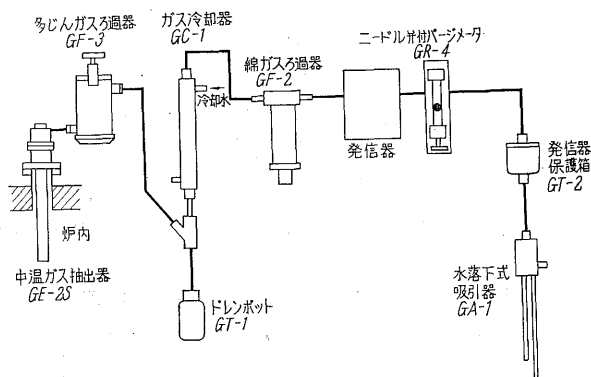
2. 高温の炉中のガスの場合

均熱炉など高温の炉中のガスを測定する場合も多い。この場合はセラミックろ過器は使えず、取出口も上

部からの場合が多い。このようなガスは圧力や水蒸気およびダストの含有量は煙道ガスと同程度であるが温度が高い。ガスの温度が $600^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C}$ の場合、中温用ガス抽出器を使い、 $900^\circ\text{C} \sim 1,200^\circ\text{C}$ の場合は高温用ガス抽出器を使う。この場合サンプリング装置は第 5 図のようになっている。多じんガスろ過器は抽出器のできるだけ近くに取り付ける。場合によっては配管およびろ過器を保温してガスの冷却を防ぎ、なおガスが冷却されるようならヒータで加熱されている電熱式ろ過器を使う。ろ過器を出たあとは一般用と同じように配管に傾斜をつけ最下部にドレンポットをつけるようにする。綿ろ過器は多じんガスろ過器で取り切れなかったダストを除去する。

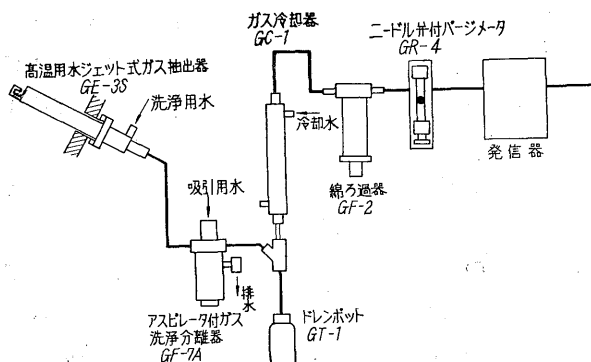
3. セメントキルン排ガス、転炉排ガスなどの場合

セメントキルン排ガスや転炉排ガスなどの場合非常に多量のダストを含んでいる。したがって今まで説明したろ過方式は全然役に立たない。ガス配管中はもちろんガスを抽出する管の先端でダストの蓄積が行なわれる。したがって管の内部を絶えず掃除するか洗うかでないといけない。水ジェット式ガス抽出器は管内を水で洗い流しながらガスを抽出する方式である。湿式セメントキルン排ガスや転炉排ガスなどのガスサンプリングはこの方式で行なわれる。



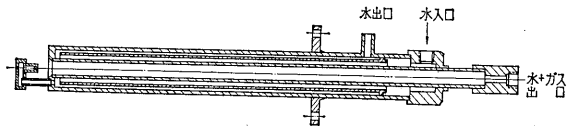
第 5 図 中温用ガスサンプリング装置

Fig. 5. Gas sampling system for hot gas

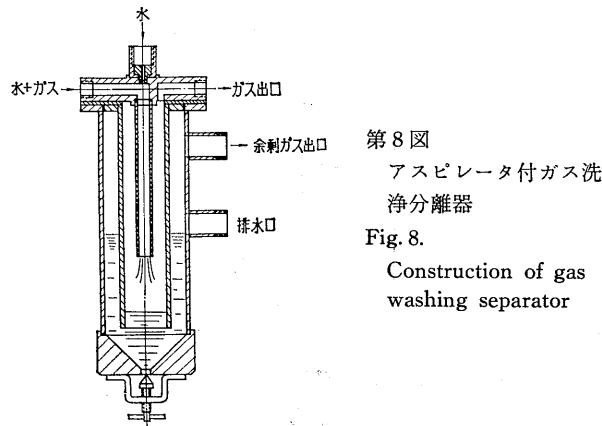


第 6 図 セメントキルンガスサンプリング装置 (高温用)

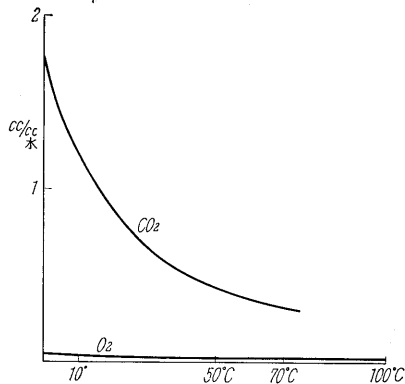
Fig. 6. Gas sampling system for kiln gas



第7図 水ジェット式ガス抽出器
Fig. 7. Construction of water washing gas probe



第8図
アスピレータ付ガス洗
浄分離器
Fig. 8.
Construction of gas
washing separator

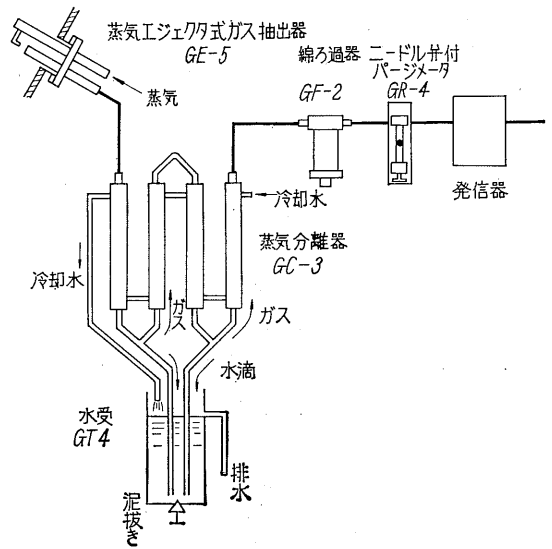


α：ブンゼン吸収系数
気体の分圧が 760 mmHg であるとき 0℃ の溶媒
1 容に溶解する気体の容積 10℃ 760 mmHg に換
算したもの

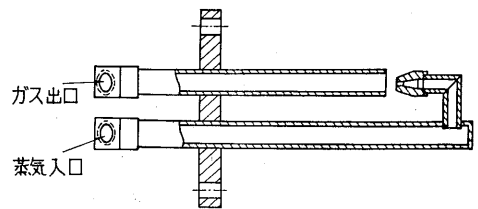
第9図 炭酸ガスおよび酸素の水に対する溶解度
Fig. 9. Dissolution of CO₂ and O₂ in water

この場合のガスサンプリング装置は第6図に示されて
いる。水ジェット式ガス抽出器は第7図のような構造で
先端より抽出管の内部に向かって水を噴出させガスと一
緒に水も管内に流す。この抽出器を出た水+ガスはアスピ
レータ付ガス洗浄分離器に入る。ガス洗浄分離器は第8
図の構造で抽出器からの水とガスを吸引し水を分離させ
る。この分離器を出たガスは大気圧に対し若干のプラス
圧になっているので吸引器は不要である。

この方式の欠点は水に可溶性のガスが含まれていれば
水に吸収されてしまうことである。一般に問題になって
くるのは CO₂ ガスである。CO₂ の水に対する溶解度は
第9図のようになっている。したがって CO₂ を特に測
定したい場合には使用できない。



第10図 高炉荒ガスサンプリング装置
Fig. 10. Gas sampling system for blast furnace gas



第11図 蒸気エジェクタ式ガス抽出器
Fig. 11. Construction of steam washing gas probe

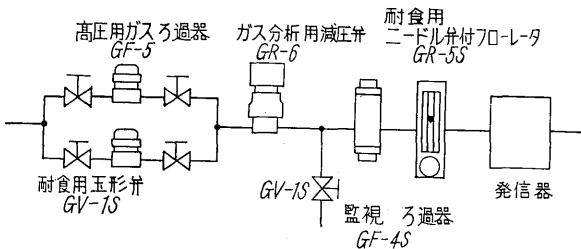
4. 高炉荒ガスの場合

高炉荒ガスの場合もダストが非常に多くしかも CO₂ ガ
スを測定しなくてはならない。したがってガス配管内を
水で洗うことはできない。しかし CO₂ の水に対する溶
解度は第9図に示すように温度が高いと少なくなる。ま
た少量の水では CO₂ の溶解もそう多くはない。そこで
この場合水蒸気で洗いながらガスを吸引する方式が採ら
れる。

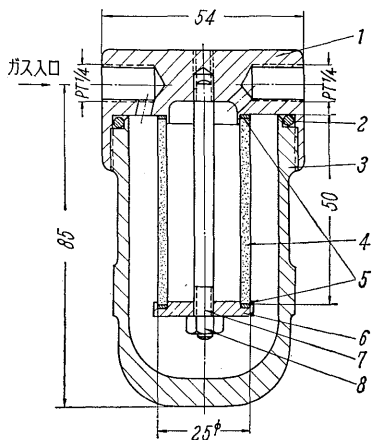
このサンプリング装置は第10図に示される。蒸気は
先端のノズルから管内に向け噴出しガスも一緒に吸い込
まれてゆく。蒸気はしだいに凝結し水滴になってゆく
が、水滴は管壁を洗い流しながら下方に下がってゆく。
抽出器から蒸気分離器までの配管は 45° 以上の傾斜をつ
け、管内に水滴の流れを阻止するような突起を作らない
ようにする必要がある。この抽出器の構造は第11図に示
す。この場合もだいたい内圧が高くなるので吸引器は不
要である。

5. 化学プラントガスの場合

アンモニア合成プラントなど化学プラントは一般にガ



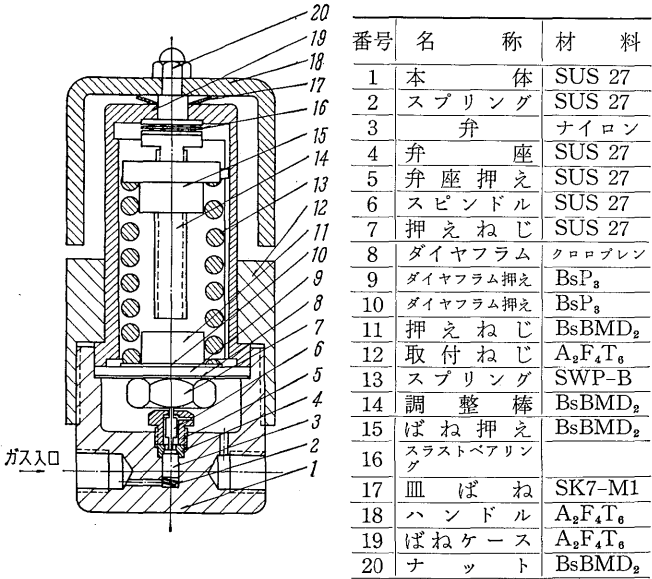
第 12 図 化学プラントガスサンプリング装置
Fig. 12. Gas sampling system for gas for chemical plant



番号	名 称	材 料
1	ヘ ッ ド	SUS 27
2	パ ッ キ ン グ	ネオプレン
3	ボ デ ー	SUS 27
4	エ レ メ ン ト	SUS 27
5	パ ッ キ ン グ	ネオプレン
6	サ ボ ー タ	SUS 27
7	ボ ル ト	SUS 27
8	ナ ッ ト	SUS 27

第 13 図 高圧用ガスろ過器構造図
Fig. 13. Construction of filter with sintered metal

スの圧力は高い。圧力が 300 kg/cm² 程度の高圧であればニードル弁その他で 10 kg/cm²~30 kg/cm² 程度に落としてそこからガスを取り出す。この場合のガスサンプリング装置を第12図に示す。まず高圧用ガスろ過器でダストを除く。このろ過器は第 13 図に示すような構造で



第 14 図 ガス分析用減圧弁構造図
Fig. 14. Construction of reducing valve

そのろ過体は焼結金属である。このろ過器を普通 2 流路切り換えで使う。ここでろ過されたガスは減圧弁に入り減圧される。この減圧弁は第 14 図のような構造でその接ガス部はすべて耐食材料でできている。ここでガスは 0.2 kg/cm² 位に減圧する。このガスを監視ろ過器を通した後耐食用ニードル弁付フローレータで流量調整して発信器に入れる。

以上代表的な使用例を上げサンプリング機器の使い方と構造について解説を加えてきた。この他多数のサンプリング機器があり必要に応じて使用できる。

V. む す び

これまでガスサンプリング装置でいろいろの機器を作り実地に使ってきた。この経験を最大限に生かすべくガスサンプリングの新系列をまとめ、ここに若干の説明を加えた。今後使われるガスサンプリング機器の選定に役立てば幸いである。



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。