

委 員 会 報 告

転炉酸素系統計装小委員会報告\*

片 田 中\*\*

Report of the BOF Oxygen-Line Instrumentation Sub-committee

Tadashi KATADA

1. ま え が き

本技術報告は、日本鉄鋼協会共同研究会計測部会に設置された転炉酸素系統計装小委員会における討議内容をまとめたものである。この小委員会は、転炉設備をもつ鉄鋼7社の計装技術者が小委員となり、昭和42年8月より43年4月まで4回の会合を開いて転炉酸素系統の計装について広範な討議を行なった。この間、酸素についての安全工学に関して横浜国立大学の北川徹三教授の講義を受け、また計測器メーカーおよびバルブメーカーの技術者からも有益な意見を得ることができた。

本報告文では紙面の制限もあり実際の討議内容の多くの部分を割愛せざるを得なかつた。また読者として計装技術者以外の技術者を主に考えたので、必ずしも委員会における討議内容にこだわらず、計装機器の細かい仕様や保守整備の面は簡略に記している。これら詳細については参考文献にあげた「転炉酸素系統計装小委員会報告書」を参照していただければ幸いである。

2. 酸素配管の安全性

酸素系統の計装を考えるにあたって、第一に安全性を考えるべきことは言うまでもない。過去、われわれは実際に転炉酸素配管系統において、不幸な事故火災を幾度か経験している。ここでは、酸素配管上の安全性に対する基本的な配慮について述べたい。なお、この章は小委員会がとくに講師として依頼した横浜国立大学工学部北川徹三教授の講演に基づくものである。

2.1 酸素中における鉄の燃焼

酸素配管事故を爆発事故と呼ぶことがあるが、これは正確ではなく、あくまでも鉄などの配管素材の酸素中における燃焼である。一般に、ある温度に保たれた酸素雰囲気中に鉄粉を投入し、発火するまでの時間によって瞬間発火温度および最低発火温度を定義する。Fig. 1は、横軸に発火温度、縦軸に鉄粉投入後発火するまでの待ち時間の対数をとって両者の関係を調べたものである。瞬間発火温度は、待ち時間1 sec以内で発火する温度、最低発火温度は、この温度以下では待ち時間をいくら延ばし

ても発火しない限界温度である。瞬間発火温度は鉄粉粒度によつて異なり、一例として100メッシュで382°C、10メッシュで421°C、10gの鉄塊では930°Cとなる。また酸素が常圧から30 kg/cm<sup>2</sup>の高圧になると、発火温度はさらに10~100°C低下する。鉄塊は一度発火すると鉄の燃焼熱は非常に大きい(97.6 kcal/mol)ため、急激な温度上昇をもたらす燃焼が継続するが、消費される酸素量も大きいので高濃度の酸素の供給を停止すれば大気中で燃焼を継続することはできない。

2.2 酸素配管の発火機構

配管の発火原因としては、まず可燃物が配管の局所に付着していることが考えられる。これにはつぎのような場合が考えられる。

- (1) 酸素中に混入した油が、配管接手や弁などのデッドスペースに付着している場合
- (2) 配管の油分を除去するために用いた洗浄剤が配管内部に残留している場合

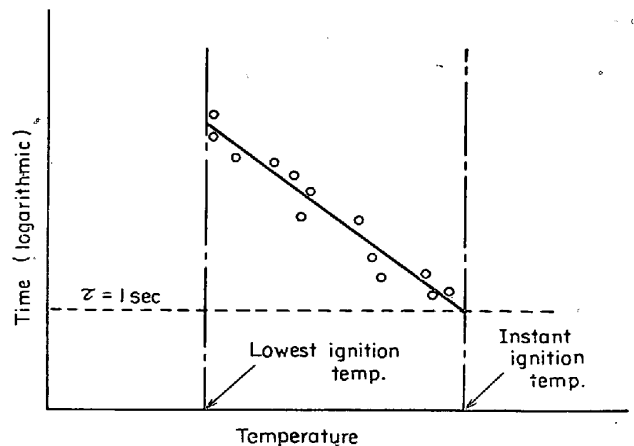


Fig. 1. Relation between the ignition and the time after the iron powder is put into oxygen atmosphere.

\* 昭和43年9月本会講演大会にて発表  
昭和45年7月18日受付

\*\* 新日本製鉄(株)  
計測部会転炉酸素系統計装小委員会 主査

(3) 可燃性のガスケット材料が使われた場合  
潤滑油やゴムの最低発火温度は常圧酸素中で 300°C 前後であり、また不燃性と言われるテフロンでも 500°C であつて、高圧酸素中ではこれより 100°C 近く低下すると考えられる。

一方、配管中には管壁から発生したスケールや鉄粉が存在し、これらは酸素気流に運ばれる間に管壁との摩擦で発熱発火する。この赤熱粒子が前述の可燃物に付着すると可燃物が発火し、ついには配管素材の燃焼が始まることが考えられる。また配管の T 字部分などでは赤熱粒子が内壁に次々に衝突して管壁に穴をあけ発火を起こさせることも考えられる。以上のことはこれまでの酸素事故が配管の T 字部や弁部などで多く発生していることからもうなずける。また湿り酸素を通した後に乾き酸素を通すと事故が起きやすいといわれているが、これもスケールが発生しやすくなるということの説明される。

### 2.3 酸素事故防止対策

前述の観点から酸素事故防止対策を列記するとつぎのようになる。

(1) 配管内をできるだけ平滑にし、デッドスペースや急激な方向転換部を作らぬこと。

(2) ガスケット、パッキングなどの配管材料に可燃物の使用を避けること。

(3) 配管内の油脂分を洗浄剤でとり除くこと。また洗浄剤は不燃性のものを選び、管内に残留させないこと。

(4) 配管内のスケールなど固形粒子をとり除き、また酸素プラントなどから混入しないように注意する。

(5) 弁類の急激な開閉は断熱圧縮による温度上昇を招くおそれがあるので避ける。

(6) 配管の一部に銅管を入れることにより、銅管部分からの発火を防止できる。(銅の燃焼熱は小さいので燃焼は継続しにくい)

管内の酸素輸送流速については、従来 8m/sec 以下 (30 気圧) という基準があつたが、上述の対策を施せば必ずしもこれ以下に抑える必要はないと思われる。西独では 1967 年以降 40 kg/cm<sup>2</sup> 以下で 25m/sec 以下としている。

## 3. 酸素流量の測定精度

### 3.1 吹錬制御上必要とされる精度

酸素流量を測定するのはいうまでもなく吹錬作業を行なうためであるから、その精度は吹錬を適中させるという条件から決定されるべきものである。吹錬制御では、鋼浴の温度および成分を適中させなければならない。まず温度の点から考えてみると

溶鋼重量	$W$ (t)
終点までの所要酸素量	$F$ (Nm <sup>3</sup> )
酸素流量測定誤差	$\Delta F$ (Nm <sup>3</sup> )
酸素流量測定精度	$\alpha$ (%)

溶鋼 t 当たりの酸素による鋼浴準度上昇率

$$\tau \text{ (}^\circ\text{C/Nm}^3\text{/t)}$$

終点温度誤差  $\Delta \theta$  (°C)  
とすると

$$\Delta \theta = \frac{\tau \cdot \Delta F}{W}$$

$$\alpha = \frac{100 \Delta F}{F} = \frac{100 \Delta \theta W}{\tau F}$$

一例として  $W=100$  t,  $F=5000$  Nm<sup>3</sup>,  $\tau=10^\circ\text{C/Nm}^3$  /t として、許容誤差を  $|\Delta \theta| \leq 10^\circ\text{C}$  とすると、前式より所要精度は  $|\alpha| < 2$  (%)

この場合は終点温度誤差として酸素流量測定誤差のみを考えたが、実際は装入物の条件や反応上の誤差要因が大きいので、流量測定精度はもつと小さくしなければならない。仮りに許容誤差全体の 20% と定めれば

$$|\alpha| < 2 \times 0.2 = 0.4 \text{ (%)}$$

もちろん、これらの数値は各転炉工場の操業条件や鋼種によつて違つてくる。

つぎに成分に関しても、上記の考え方と同じように所要精度を計算できる。ただし、酸素による脱炭効率は、カーボンの成分範囲によつて異なりまた終点のカーボン許容誤差も成分範囲によつて異なるので、成分範囲別に調べる必要がある。所要測定精度の計算例を Table 1 に示す。

さて、以上の例で算出したような精度を絶対精度として得ることは現状の計器の精度からは困難で、実際には 1% 近い誤差が生じていると考えられる。しかしながら操業上は絶対精度として偏り誤差があつても再現性精度として高い精度が得られれば吹錬作業上は支障ないので以下に述べるような配慮を行なつて、再現性精度を高めることを考える必要がある。

### 3.2 測定精度向上のための留意点

流量測定はオリフィス式となるので、オリフィスに関して下記の点に十分注意する必要がある。

(1) オリフィスが正確に設計どおりの寸法になつていて、とくにエッジ形状が重要である。また配管に対して偏心しないように正確な位置に取付けること。

(2) オリフィス前後に十分長い直管部分をとること。

(3) 配管全体からみてオリフィス部分での許容圧力

Table 1. The necessary accuracy of measuring oxygen flow for the determination of bath carbon.

Carbon %	Decarbonizing rate by oxygen	Allowance band of carbon	Necessary accuracy
0.6%	0.1%/Nm <sup>3</sup> /t	±0.05%	0.1 Nm <sup>3</sup> /t 0.2%
0.2	0.04	±0.025	0.13 0.25
0.15	0.03	±0.025	0.17 0.3
0.10	0.02	±0.015	0.15 0.3
0.05	0.01	±0.015	0.3 0.6

損失を相当量確保し、オリフィス絞り比を十分とること。

(4) オリフィス上下流部の圧力変動をできるだけ減らす。

(5) オリフィス前後の差圧の導圧管は、通酸開始時に差圧変換器に片圧のかからぬように長さ、配管容量などバランスを保つこと。

オリフィス部分での流体の温度および圧力が設計値より変化した場合には流量誤差となる。その影響の度合は温度について  $0.17\%/^{\circ}\text{C}$  ( $20^{\circ}\text{C}$  付近) 圧力については  $3.2\%/ \text{kg}/\text{cm}^2$  ( $15 \text{ kg}/\text{cm}^2$  付近) となっており、とくに圧力は通酸量の変化に伴って相当変わると考えられ、圧力、温度による補正演算が必要である。

また、計器自体の誤差も当然考慮しなければならない。オリフィス以降、差圧変換器、演算器、指示計など個々の計器単体の精度管理を行なうとともに、全体としての組み合わせ誤差を最小にすることが重要である。

最近の転炉工場ではコンピューターコントロールが一般的となつていたので、開平演算や圧力温度補正演算などをアナログ計器で行なう代わりにコンピューター内部で演算してしまうことも、精度を高めるうえで非常に有効である。また流量測定精度を長期的に維持するためには日常の計器の保守点検が重要である。酸素流量測定関係の計器については、1カ月に1回程度の総合チェックを行なうことが望ましい。ほとんどの製鉄所で、転炉酸素系統の計器は保守対象として最重点管理計器の一つと

して取り扱われている。

#### 4. 転炉酸素系統計装モデル

転炉酸素系統の計装は各製鉄所によつて操作方法や鋼種、付帯条件、設備上の制約などが異なり必ずしも1つのモデルとしてまとめることはできない。そこでここでは代表的な計装モデルを3例 Fig. 2, 3, 4 に示しこれらと比較しつつ計装上のポイントを明らかにしたい。なおここでは転炉3基の設備(2基稼動、1基整備)について示してあるが、2基の設備でも考え方は同じである。

##### 4.1 配管と予備ライン

従来の設備ではモデルのように、転炉基数より1本多い4系統の配管を持つ場合が少なくないが、最近の設備では、各機器の信頼性の向上に伴いモデル1のように転炉基数と同じ3系統の配管を持つことが多くなつている。後者でも同時稼動が2基までならば、1系列は予備ラインとして使えるので2系統同時に故障しない限り問題ないわけである。

一方、モデル2では同じ炉に対して、配管系統を切換えられない代わりに各系統で主要調節弁を2系路ずつ持つている。この場合でも調節弁以外の故障を考えると故障対策は完全とは言えない。

モデル1, 3については各配管系統のうち、1系列を専用予備ラインとして使う方法と、各系統を順次交替し

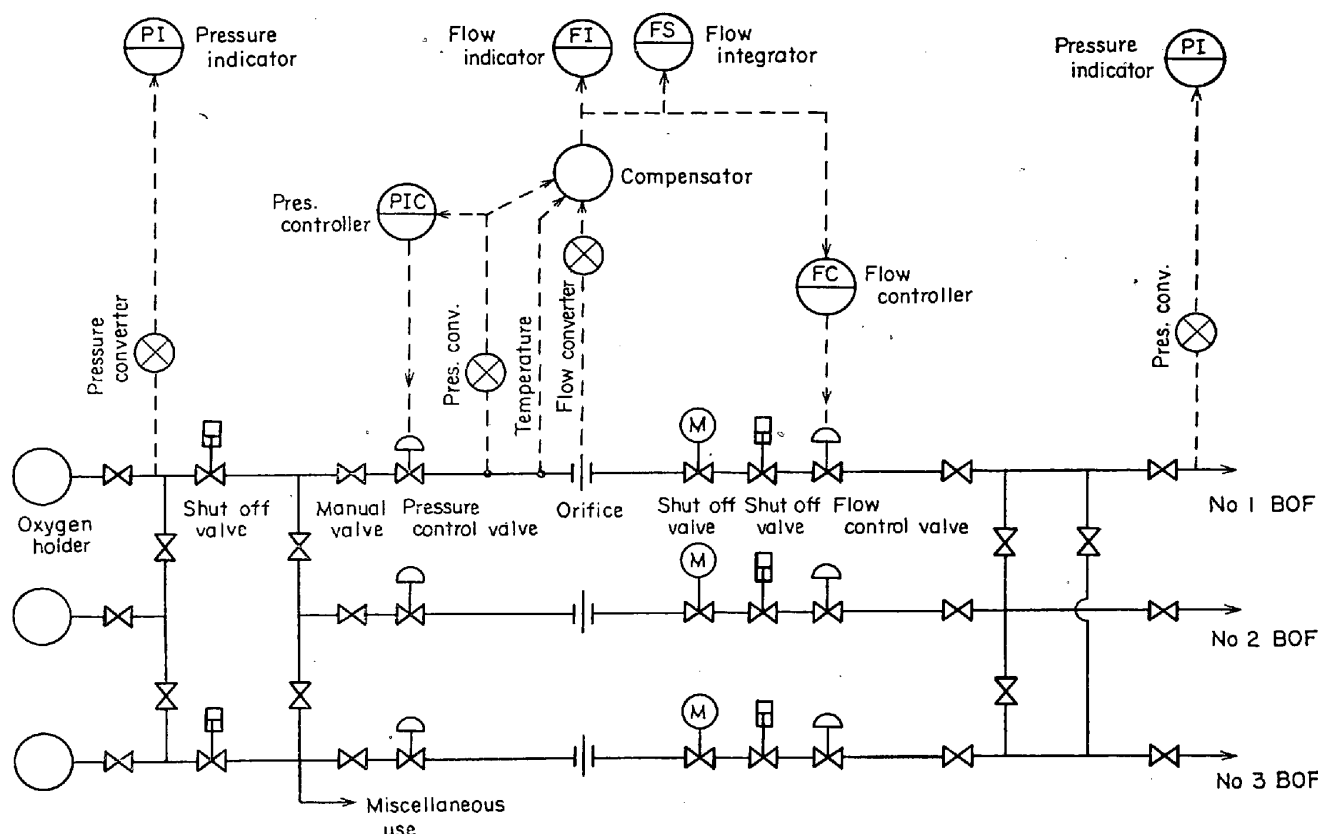


Fig. 2. Proposed instrumentation system No 1.

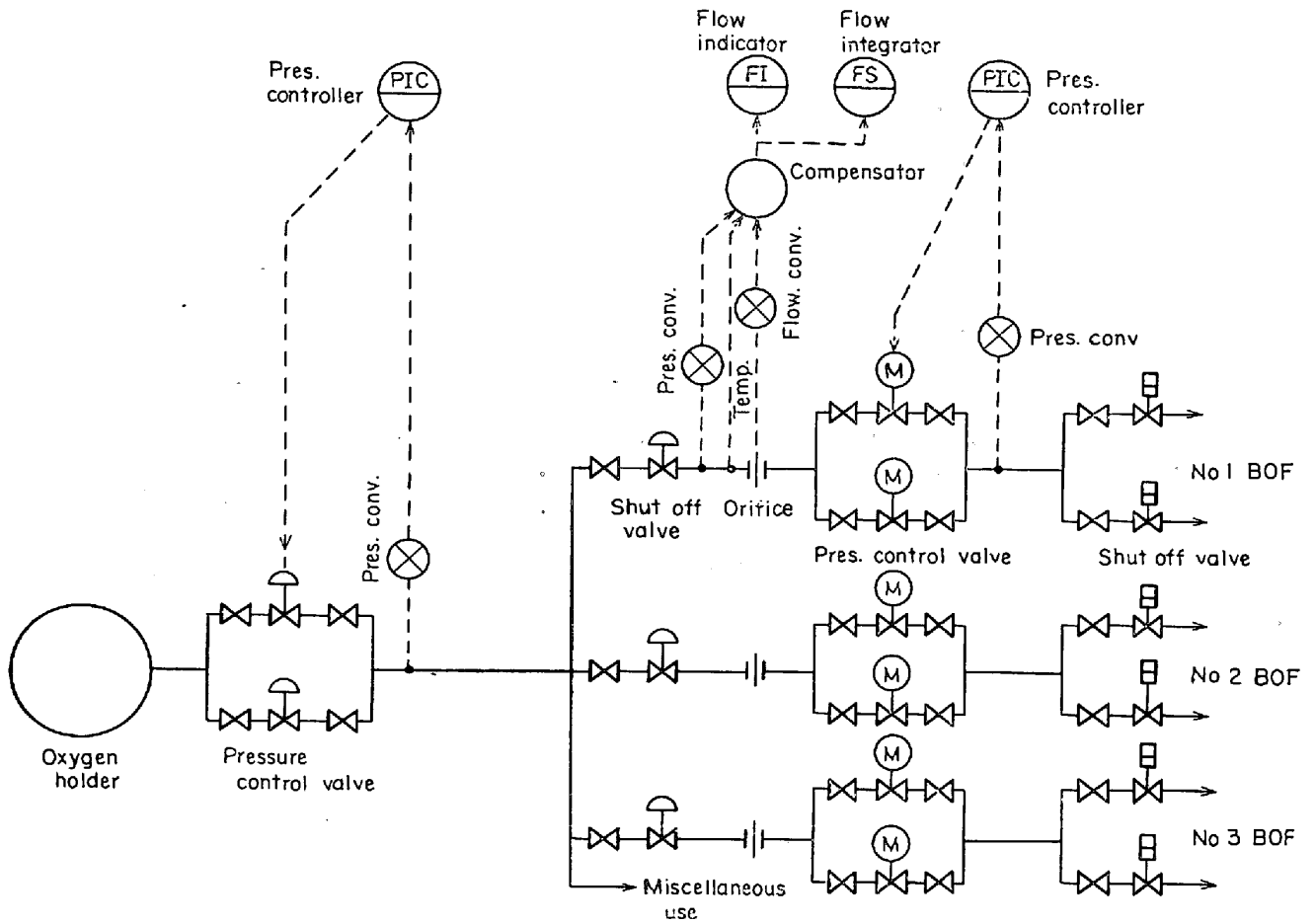


Fig. 3. Proposed instrumentation system No. 2.

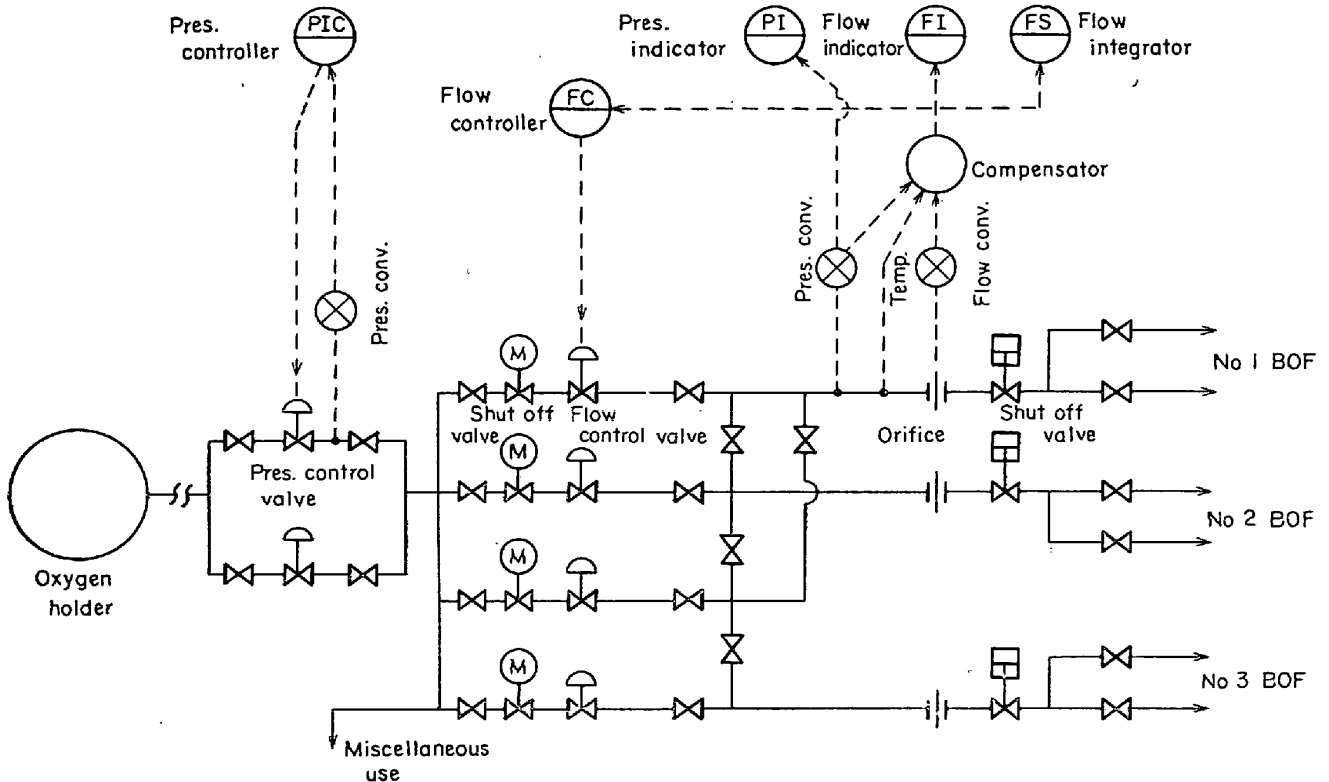


Fig. 4. Proposed instrumentation system No. 3.

て使う方法がある。前者は配管系路が各炉に固定されるので流量測定上の偏りを生じない。また誤操作の心配も少ない。しかし、専用予備ラインを長期間使用しない場合は管内面のスケールの発生や弁作動の不良化などの問題について、安全上の配慮が必要である。

4.2 流量制御方式

一般には、酸素ホルダー出口または転炉工場内で一次圧力制御を行ない、その後流量制御を行なうのが普通である。また、モデル2のように流量制御の代わりに圧力制御を行なつて間接的に流量を制御するやり方もある。

モデル1は、3系統の各配管ラインごとに一次圧力制御を行なっているのが特徴で、オリフィス上流側の圧力が一定になるので流量測定上好ましい。そのかわりに、圧力制御弁の数はモデル2、3より多くなる。またモデル1のような場合、圧力制御弁と流量制御弁の間にある程度の配管容量をとらないと制御の干渉を起こすことがあるので注意を要する。

オリフィスは、通常流量調節弁（圧力制御方式では圧力調節弁）の上流側に挿入するが、モデル3では流量調節弁後に挿入している。これは流量測定の検出端であるオリフィスおよび差圧変換器などと炉との組み合わせを固定して、配管系統を切替えてもその影響を受けないようにしようという考え方である。ただし流量の設定変更を行なうとき、上流側弁の動作が遅いとオリフィス上流側圧力が変動するため流量測定に悪影響を与える。

4.3 計装機器仕様

計測器の仕様については、前章までにある程度ふれており、また特殊なものもないので補足程度につきの事項

を上げておく。

(1) 酸素流量積算値表示装置は、デジタル表示が見やすく、最小表示単位は2.1の議論から原単位に換算して0.1~0.2 Nm<sup>3</sup>/tになるようにする。

(2) 酸素瞬時流量指示計の単位は、従来 Nm<sup>3</sup>/hrをとっているが、操業上からは Nm<sup>3</sup>/min とするほうが適当である。

(3) 酸素流量制御系で、吹錬を停止している間に流量調節弁が全開になってしまうことのないように適当な開度でロックする必要がある。

(4) 差圧変換器などのペローズ内部のシール液には不燃性のものを使う。

(5) 計装工事には防爆対策を考慮する。

つぎに、バルブ類に関しては、計装モデルに示されているように、一次調節弁（圧力）二次調節弁（流量または圧力）配管系統の切替遮断弁、吹錬用遮断弁、危急遮断弁および安全弁がある。吹錬用遮断弁は、チャージごとの吹錬開始、終了時に開閉する弁を言い、モデル1のように切替遮断弁で兼用する場合もあるが、モデル2、3では切替遮断弁とは別に末端に装備している。このように末端で開閉する方が吹錬開始時の着火が早いと言われている。

上記の各種バルブについての仕様例を Table 2 に示す。この表について以下補足しておく。

(1) 調節弁の駆動方式には、ダイヤフラム式以外に電動式もあり、シーケンスに工夫を施す場合に便利ではあるが、開閉速度をあまり速くできない難点がある。

(2) 遮断弁については、モデル3のように空気圧と

Table 2. Specification of valves for oxygen line (an example).

	1st control valve	2nd control valve	Shut off valve for emergency	Shut off valve for line exchange	Shut off valve for operation
Actuator	Diaphragm (air)	Diaphragm (air)	Air cylinder	Electric motor	Air cylinder
Port	Double ports	Double ports	Single port	Single port	Single port
Material (body)	SCS 13	SCS 13	SCS 13	SCS 13	SCS 13
Material (port etc)	SUS 29 (stellite coated)	SUS 29 (stellite coated)	SUS 29 (stellite coated)	SUS 29 (stellite coated)	SUS 27 (stellite coated)
Packing	Teflon	Teflon	Teflon	Teflon	Teflon
Pressure durability	Twice as strong as the upper pressure	Twice as strong as the upper pressure	Twice as strong as the upper pressure	Twice as strong as the upper pressure	Twice as strong as the upper pressure
Leak	Less than 0.5%	Less than 0.5%	Less than 0.01%	Less than 0.01%	Less than 0.01%
Operation	Air to open	Air to open	Air to open	—	Air to open
Time to open	Less than 15 <sup>s</sup>	Less than 15 <sup>s</sup>	Less than 10 <sup>s</sup>	Less than 30 <sup>s</sup>	Less than 3 <sup>s</sup>
Time to shut off	Less than 15 <sup>s</sup>	Less than 15 <sup>s</sup>	Less than 3 <sup>s</sup>	Less than 30 <sup>s</sup>	Less than 3 <sup>s</sup>

電動と二種類の駆動方式を併用し、駆動源の故障に備える考え方がある。

(3) 弁本体材質には BC を使用している例があるが、強度的に SCS に劣るため本体が比較的大きくなるので弁サイズには限界がある。

(4) 調節弁の内弁や弁座は SUS 27 にステライト溶着を施すが、メーカーによつてその範囲や深さが異なるので十分検討を要する。

(5) 弁耐圧に対する考え方は二通りあつて、一つは一次圧力調節弁の上流側圧力を基準とする考え方、他は下流側圧力を基準とする考え方である。前者の場合は、一次圧力調節弁の下流の配管および弁はすべて一次調節弁と同等の耐圧が必要となり高価になるが、一次調節弁のリークはあまり問題にならない。後者では、下流側の弁類の耐圧を下げられるが、一次調節弁のリークについて制限を受け、安全弁の設置が必ず必要である。

## 5. あとがき

転炉酸素系統計装小委員会が、昭和43年4月に最後の会合を開いて解散した後、すでに2年が経過している。この間の状況の変化は、転炉設備の大型化とコンピューター利用の増大であろう。これに伴い酸素系統の計装設

備の重要性はますます高まっているが、基本的な考え方と問題点についてはとくに変わったことはなく、本報告書でふれた内容は現在でも十分役に立つと思う。

## 文 献

- 1) 転炉酸素系統計装小委員会報告書：第41回日本鉄鋼協会共同研究会計測部会資料
  - 2) 高圧酸素ガス配管の燃焼事故とその原因：北川ほか「安全工学」5(1966)4, p. 269~274
- 付：転炉酸素系統計装小委員会名簿

主 査	片 田 中	富士製鉄	本 社
委 員	内藤功一郎	八幡製鉄	八幡/君津
	高橋 勝	富士製鉄	室 蘭
	(第1回のみ出席)		
〃	長尾 誠之	富士製鉄	室 蘭
〃	堂脇 光郎	日本鋼管	京 浜
〃	羽田 守幸	川崎製鉄	千 葉
〃	高松 精一	住友金属	本 社
〃	林 正照	神戸製鋼	尼 崎
〃	金 尚俊	大阪製鋼	西 島
幹 事	萩原 良衛	富士製鉄	本 社