高圧酸素ガスをプロセス流体とする粉体供給装置

加藤 芳久・橋井 一雄

日本酸素(株)*

斎藤 和男・渡辺 金之助

三協電業(株)**

高圧酸素型粉体供給装置を試作し、粉体供給の定量性の確認、粉体搬送ガスとして高圧酸素を使用する上での装置各部材質の不燃化、および鉄粉など異物混入に伴う火災・爆発などに対する安全性を検討した。

粉体試料として生石灰(200 mesh 以下)を使用した場合、供給の定量性は3%以内で、かつ搬送ガスの流速変化に対しても、その定量性に影響を与えないことがわかった。

また、生石灰に鉄粉(200 mesh)を混入し、粉体と輸送管内壁との摩擦による管壁の温度上昇を調べ、鉄粉の発火に必要なエネルギーから、鉄粉の混入率は0.1 wt%以下で、酸素ガス速度は15 m/s以下に制御されることが安全上必要であることがわかった。

緒言

近年、製鋼の分野において、鋼の品質向上と、省エネルギーのために、炉の上部から酸素ガスをランスを通して吹き込む上吹き転炉(LD 転炉)；炉の底に設けられた羽口を二重にし、酸素ガスの出口の周りから炭化水素ガスを同時に吹き込む底吹き転炉(Q-BOP)；あるいは、両者併用などの開発が行われている(Fig. 1)。

一方、製鋼工程では、原料の銑鉄に混入している不純物(炭素、磷、硫黄)を除去する目的で石灰や螢石が添加される。従来、これら添加物の転炉への投入は、回分式で行われているが、加圧した酸素ガスと共に、これら添加物を連続式定量的に転炉へ吹き込むことにより、製錬反応効率の向上、酸素圧送動力の有効利用、あるいは製鋼工程の管理が容易になるなどの大きな利点が得られる。

しかし、支燃性ガスである高圧酸素を使用するため、酸素と接触する機器、配管などの火災・爆発の危険を伴う。この危険を防止する酸素安全工学は重要な技術である。したがって、装置各部材質の徹底した不燃化、発火源の厳重管理、ガス漏洩防止など本装置構造上の安全対策と共に、系内への異物混入防止が必要である。

著者らは、以上の観点から、高圧酸素を使用する粉体供給装置(高圧酸素型マイクロフィーダー)を試作し、実用化の目途がついたので報告する。

1. 試作装置および性能確認方法

1・1 試作装置

装置の概要を Fig. 2 に示す。粉体供給機本体は、Fig. 3, Fig. 4 に示すように、回転テーブル(外径200 mm)ホッパー(容積 9 l)および2個の掻取り板から構成されたマイクロフィーダーを耐圧 5 kgf/cm² の压力容器内に設けたものである。回転テーブルは容器の底から軸受部、圧力シール部を経て駆動装置に連結され、1~12 rpm の回転数の範囲で、回転速度が調整できる。また、回転テーブルの中心軸上にホッパーを設け、ホッパーと回転テーブルの隙間から流出する粉体をまず粗掻取り板によって回転テーブル面上に均し、みかけ比重の均一な粉体層を形成せしめると同時にホッパーから流出した余剰粉体を回転テーブル外に排除し、回収槽(6)へ回収する。次に粗掻取り板にて均された粉体層の一部を精掻取り板で一定量切り出し、次のプロセスへ粉体を供給する。

一方、高圧酸素ガスは、減圧弁、流量調節弁、およびガス流量計(ロータメーター、酸素ガス用、2 kgf/cm²・G)を経て、マイクロフィーダーの压力容器内に入った後、精掻取り板の直下に設けた排出シュートから輸送管へ流れ出る。この時、精掻取り板にて一定量切り出された粉体を搬送し、輸送管の末端に設けた回収槽(8)にて固気分離される。輸送管は内径 4 mm のステンレス管を使用、粉体供給機本体の直下 1 m の位置で 90° に曲げ、10 m の水平部を設ける。さらに 90° に曲げた後、1 m の位置で回収槽(8)に接続される。両ベンドとも曲げ半径 $R=20$ mm とし、各ベンドの外壁に温度計を装着させ、ベンド部での摩擦熱による温度上昇を測定した。

* 〒105 港区西新橋 1-16-7

** 〒152 目黒区中央町 1-8-11

Fig. 1 Schematic diagrams of furnaces

Fig. 2 Schematic diagram of testing system

Fig. 3 Principle of MICRO-FEEDER

温度計は外気温の影響を直接受けないよう断熱材にて覆った。

なお、試験用粉体として、製鋼工程に使用される生石

* 禁油処理とは、酸素雰囲気にならされる配管、容器、装置すべての内壁をフロンなどの洗浄剤で附着油脂分を除去することをいう。

Fig. 4 Outer view of oxygen gas type MICRO-FEEDER

Table 1 Components of powder handled

Burnt lime	CaO	99.2~99.1%
	MgO	0.5%
	Silica	0.1~0.2%
	Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃	0.1%
	H ₂ O	0.1%
200 mesh under		
Bulk density	1 g/cm ³	
Angle of repose	40~45°	

灰 (200 mesh 以下) を用いた。

1・2 高圧酸素型粉体供給装置の安全対策

本装置は搬送ガスとして高圧酸素を使用するので、酸素と接触する機器、配管などに対し火災・爆発の危険を防止するために、以下の安全対策を実施した。

a) 装置材質の不燃化

(1) 本体・配管材質	ステンレス、または真鍮
(2) パッキン部材	バイトン、テフロン
(3) 軸受部潤滑油	フロン
(4) 禁油処理*	フロンなど不燃性有機溶剤による洗浄

b) 発火源の管理

(1) 電気火花対策	安全増防爆型モーター
(2) 静電気対策	装置を接地する。

c) ガス漏洩対策

軸受部シール	メカニカルシール
	不活性ガス封入 ²⁾
	酸素ガス漏洩検出 ²⁾

d) 異常検出機構³⁾および不活性ガスバージ機構

系内の圧力、温度の異常上昇、モーター異常時、系

Table 2 Results of powder discharge of MICRO-FEEDER at atmospheric pressure

Table speed	Fine-scraped discharge	Coarse-scraped discharge	Fine/coarse ratio
1.7 rpm	12.83 g/min	15.5 g/min	1: 1.2
	13.38	19.5	1: 1.5
	12.62	26.5	1: 2.1
	12.40	16.5	1: 1.3
	12.42	18.0	1: 1.5
	Average and Accuracy	Average	Average
	12.73±3.1%	19.2	1: 1.5
2.7	20.91	16.5	1: 0.8
	21.85	15.5	1: 0.7
	22.33	24.0	1: 1.1
	22.28	24.0	1: 1.1
	21.10	18.0	1: 0.9
	Average and Accuracy	Average	Average
	21.69±3.0%	19.6	1: 0.9
4.5	35.94	49.0	1: 1.4
	36.19	49.0	1: 1.4
	36.11	40.5	1: 1.1
	34.93	43.5	1: 1.2
	35.53	43.0	1: 1.2
	Average and Accuracy	Average	Average
	35.74±1.5%	45.0	1: 1.3
6.3	48.73	61.5	1: 1.3
	49.22	59.0	1: 1.2
	47.82	49.0	1: 1.0
	48.34	57.0	1: 1.2
	46.84	52.7	1: 1.1
	Average and Accuracy	Average	Average
	48.19±1.9%	55.7	1: 1.2
11.1	71.79	110.0	1: 1.5
	69.54	107.0	1: 1.5
	68.64	106.0	1: 1.5
	Average and Accuracy	Average	Average
	69.99±2.3%	108.0	1: 1.5

内を不活性ガスシールする。

Fig. 5 は異常検出機構および不活性ガスによるバージ機構の説明図である。

1・3 性能確認方法および結果

1) 粉体供給機単体の性能確認テスト 粉体供給機本体のみを大気圧条件下で、回転テーブルを一定回転数に保ち、粗掻取り量と精掻取り量を同時にのおの1分間サンプリングし秤量した。次に、回転数を変え同様に測定した。Table 2 は測定結果を示す。Fig. 6 は回転テーブルの回転数と精掻取り量との関係である。また、Fig. 7 は、回転数を一定にした時の精掻取り量の時間的変動を示す。

2) 搬送性能テスト [ガス流速変化に対する粉体供給精度] 粉体供給機をガスラインに接続し、粉体供給機の压力容器室の圧力が 2 kgf/cm²・G を維持するように減圧弁にて調整し、かつ搬送ガス速度が一定値になるよう、ガス流量計、調節弁、および回収槽 (8) の排出

- 1: MICRO-FEEDER
- 2: Mechanical seal and bearing
- 3: Seal box
- 4: Thermometer
- 5: Pressure detector
- 6: Over load detector for motor
- 7: Oxygen gas bomb
- 8: Inert gas bomb
- 9: Magnet valve for oxygen gas—emergency stop
- 10: Magnet valve for inert gas
- 11: Magnet valve for emergent exhaust
- 12: Emergency controller

Fig. 5 Schematic diagram of inert gas purge system

Fig. 6 Relation between table speed and fine-scraped discharge

Fig. 7 Fluctuation of fine-scraped discharge at constant table speed

Table 3 Relation between velocity of gas and powder feed rate (Table speed; at 5.5 rpm)

Gas flow rate	Velocity of gas in transfer tube	Powder feed rate [g/min]	Pressure	
			Feeder [kgf/cm ²]	Bin (2) [kgf/cm ²]
0.0 Nl/min (No connection with gas line)	0.0 m/s	43.41	0.0	0.0
		43.91		
		43.50		
17.7	9.0	42.74	1.9	1.6
		43.74		
		43.39		
25.3	12.9	42.32	1.95	1.6
		42.32		
		43.56		
40.0	21.0	45.91	1.9	1.52
		43.27		
		44.74		
Average and accuracy		43.40 ±2.3%		

Table 4 Experimental results of temperature rise in piping by mixing iron powder in burnt lime

Mixing ratio	Oxygen gas velocity [m/s]	Temperature rise in piping	
		Feeder side [°C]	Recovery bin side [°C]
0.0 wt%	9.0	0.0	0.0
	12.9	0.2	0.0
	21.0	0.2	0.1
	25.0	0.5	0.0
0.01	8.8	0.0	0.0
	12.7	0.0	0.0
	25.0	0.6	0.0
0.05	8.8	0.0	0.0
	12.7	0.0	0.2
	25.0	0.2	0.1
0.1	8.8	0.0	0.0
	12.7	0.4	0.0
	17.6	0.3	0.3
	25.0	0.4	1.5
0.5	8.8	0.0	0.0
	12.7	0.3	0.5
	17.6	0.5	0.5
	25.0	0.2	0.8
1.0	8.8	0.2	0.0
	12.7	0.6	0.1
	17.6	0.3	0.2
	25.0	0.3	0.5

口に設けた調節弁にて調整しながら、粉体供給機を1分間駆動した。酸素ガスにより搬送された粉体を回収槽(8)に溜める。ガスの供給を止め、排気後、回収槽(8)に回収された粉体を秤量した。次に、搬送ガス速度を変え、同様のテストを行った。各ガス速度に対して回転テーブルの回転数は一定とした。Table 3に、搬送ガス速度と、粉体供給量との関係を示す。

なお、搬送ガス速度、 u [m/s]は配管内ゲージ圧 P [kgf/cm²・G]を回収槽(8)におけるゲージ圧とみなして、ガ

ス流量 F [Nm³/min]から次式により算出した。ただし、 A [m²]は管断面積。

$$u = \frac{1}{60A} \cdot \frac{F}{P+1}$$

1・4 考察

(1) 粉体供給機単体での供給精度(精掻取り量)は各回転数とも±3%以内に入っており、かつ時間的変動も同様の数値内で安定していた。一方、粗掻取り量の変動は大きく、このことは、ホッパーから回転テーブルへの粉体の流出量はバラツキが大きい、粗掻取り板にて余分な粉体をオーバーフローさせているため、精掻取り量へのバラツキの影響がなくなっていることを示している。

(2) 回転テーブルの回転数と供給量の関係は、回転数7rpmまでは直線性を示し、それ以上の回転数では、供給量は低下の傾向を示す。これは、使用した粉体は凝集性が強い、回転数が増すと、本来、粉体が充填されるべき空間に十分に充填されず、みかけ比重が小さくなるからと思われる。

(3) 搬送ガス速度の変化に対する粉体供給量のバラツキは±2.3%以内であり、テストの範囲ではガス速度が変化しても粉体供給量には影響を与えないことが確認された。

2. 安全性確認テスト

2・1 目的

現在まで報告されている高圧酸素輸送用配管の事故がほとんど燃焼に関係ある事故であり⁴⁾、「日本鉄鋼連盟安全対策委員会報告」において、北川⁶⁾によりほとんど完璧な説明が行われ、西ドイツ、ベルリン国立材料研究所のWegnerの酸素配管の燃焼説明実験について同様の報告⁶⁾がある。これらのデータなどを参考にすると事故原因は「酸素中においては物質の発火点が下がり、空気中で不燃性のものも酸素中では燃焼するので、配管内に溶接スラグ、鉄粉が存在すると管壁との摩擦により着火源が形成され系内に混入せる油脂類、部品のパッキン類が燃焼する。かつ配管部位と燃焼性との関係は曲率半径 $R=5D$ 以下の湾曲部配管、およびT字配管、エルボ接続部などに燃焼の発生度が高い」と解析される。ゆえに、粉体中にたまたま可燃性異物が混入し酸素にて搬送された場合、粉体と管壁との摩擦熱が原因となり、粉体の中に混入する異物は高圧酸素気流中で着火危険が懸念される。粉体輸送においても本開発の高圧酸素粉体供給装置を用いる各部位材質の不燃化、発火源の厳重管理、ガス漏洩対策、異物混入防止策などの安全対策を講じなければならない。そこで酸素と粉体系に対する可燃性異物の着火限界とみなせる混入量、および酸素限界速度を求めるテストを行った。輸送粉体はTable 1に示す生石

灰に可燃性異物として 200 mesh 鉄粉を 0.01~1.0 wt % 混入したものを使用し, Fig. 2 の装置にて酸素圧 2 kgf/cm² により上記混合物 40 g/min を搬送させた時の粉体と管壁との摩擦熱による配管の温度上昇を測定した。酸素と粉体を輸送する配管は 4 mmφ SUS 配管を用いた。

2・2 測定結果

Table 4 に鉄粉混入率を変え, 酸素流速の違いによる配管の温度上昇値を示す。鉄粉混入率 0.05 wt % までは生石灰のみを輸送した時と変わらない温度上昇であった。また鉄粉混入率 0.1 wt % では酸素流速 8.8 m/s までは生石灰と変わらない温度上昇を示すが, 流速 17.6 m/s 以上からは多少高い温度上昇であった。Fig. 8 にはテスト中で最高の温度上昇を示した鉄粉混入率 0.1 wt %, 流速 25 m/s 時の配管温度上昇の時間的变化を示す。

2・3 考察

鉄と酸素の燃焼反応式は Eq. (1) のとおりで, 鉄 1 g あたりに燃焼熱を換算すると 1.77 kcal となる。

鉄粉の発火温度は粉体粒度が細くなるにしたがい低下し, 圧力の上昇によっても低下する。鉄粉の発火温度 T_b [°C] は多くの文献値^{1,5)} があり次式に数式化した。

$$200 \text{ mesh Fe}; \quad T_b = 315 \times P^{-0.112} \quad (2)$$

$$150 \text{ mesh Fe}; \quad T_b = 326 \times P^{-0.108} \quad (3)$$

$$100 \text{ mesh Fe}; \quad T_b = 338 \times P^{-0.108} \quad (4)$$

質量 m_s の鉄粉単粒子の W [%] が発火温度 T_b に達し着火燃焼させるに必要な摩擦熱 q は鉄粉の比熱を C_p とすると Eq. (5) で表される。

$$q = m_s \cdot W \cdot 10^{-2} (55.85)^{-1} \int_{298}^{T_b} C_p dT \quad (5)$$

粉体が管壁と衝突して得られる摩擦熱は Eq. (6) のとおりで

$$E = (1/2g_c) \cdot m_s \cdot v^2 \{1 - (\cos^2 \alpha + e^2 \sin^2 \alpha)\} \quad (6)$$

粉体が管内を流動する際の管壁と衝突する割合は水平管より曲管が最も大きい。入射角 α は粉体流速, 曲管部曲率半径, 粉体と搬送ガスの混合比によって異なる。鉄粉が着火する最も厳しい条件である入射角 α を 90°, 反発係数を 0 とすると Eqs. (1)~(5) より鉄粉の着火する限界の流速 v_b と圧力 P との関係式が導かれる。

$$200 \text{ mesh Fe}; \quad v_b = 9.8 \times P^{-0.174} \quad (7)$$

$$150 \text{ mesh Fe}; \quad v_b = 10.5 \times P^{0.100} \quad (8)$$

$$100 \text{ mesh Fe}; \quad v_b = 11.3 \times P^{-0.101} \quad (9)$$

粉体が管壁と衝突する場合, 曲管部が最も衝突率, 摩擦熱も大きく鉄粉の着火する確率が高い。特に水平から垂直上昇する場合が衝突の際の損失エネルギーも大きい。曲管部における粉体の流動する速度は Appendix (1) に示すように Eq. (10) で表される。

Fig. 8 Temperature rise in piping by mixing iron in burnt lime

Fig. 9 Permissible oxygen gas velocity in bent tube

$$v_b = e^{-2\theta} [v_{se} + 2Rg(2\lambda^2 + 1)^{-1} \times \{(2\lambda^2 - 1) - e^{2\theta}((2\lambda^2 - 1) \cos \theta + 3\lambda \sin \theta)\}]^{1/2} \quad (10)$$

曲管部入口での粉体速度 v_{se} は水平管での最終粉体速度である。さらに v_{se} とガス速度 u との間には次の関係式が成り立つ (Appendix (2) 参照)。

$$v_{se}/u = \phi_m(2\zeta_D)^{-1} \{(1 + 4\zeta_D \cdot \phi_m^{-1})^{1/2} - 1\} \quad (11)$$

Eqs. (7)~(9) で求めた粉体速度を得るに必要なガス流速を Eq. (11) で求め, その結果を Fig. 9 に示す。本実験の条件下 (酸素圧力 2 kgf/cm², 粉体粒度 200 mesh) において鉄粉混入率は 0.1 wt % 以下, 酸素流速も 15 m/s 以下に制御されることにより安全に粉体輸送できる。

結 言

酸素をプロセス流体として粉体の定量供給を必要とするプロセス条件では本装置は十分安全にその目的を遂行できる。このような粉体供給装置は本邦では製作されていなかったので装置各部材質の適切な選定, 発火源の管

理, ガス漏洩対策, パージシステムを実施して設計試作を行い, 十分性能を満足せしめた。また, 本テストにより酸素で搬送する時の摩擦熱から生ずる発火危険の条件は主なる発火危険因子である可燃性異物 (鉄粉) 量および酸素ガス流速に依存することがわかった。

Appendix (1)

曲率 R , 曲がり部分 $d\theta$ の曲管部における粉体の運動方程式は次式で表される。

$$\frac{1}{g} \frac{G_s}{v_{sa}} \cdot R d\theta \frac{dv_{sa}}{dt} = - \frac{G_s}{v_{sa}} R d\theta \sin \theta - \frac{G_s}{v_{sa}} \cdot R d\theta \times \left(\cos \theta + \frac{v_{sa}^2}{g \cdot R} \right) \lambda \quad (\text{A-1})$$

ここで $v_{sa} = R\omega = R d\theta/dt$ であり結局

$$\frac{dv_{sa}}{dt} = \frac{dv_{sa}}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = \frac{v_{sa}}{R} \cdot \frac{dv_{sa}}{d\theta} \quad (\text{A-2})$$

Eq. (A-2) を Eq. (A-1) に代入し単位重量に書き換えると

$$\frac{v_{sa}}{R} \cdot \frac{dv_{sa}}{d\theta} + \lambda \left(g \cos \theta + \frac{v_{sa}^2}{R} \right) + g \sin \theta = 0 \quad (\text{A-3})$$

Eq. (A-3) を解き Eq. (10) を得る。

Appendix (2)

粉体の水平管における運動方程式は次式で表される。

$$\frac{1}{g} \cdot \frac{G_s}{v} \cdot dl \frac{dv}{dt} = C_m d_a \frac{\gamma_a (u-v)^2}{2g} - \lambda \frac{dl}{D} \cdot \frac{\gamma_m v^2}{2g} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \quad (\text{B-1})$$

ここで無次元数を定義する。

$$T_m = \frac{g \cdot t}{u_{mg}}, \quad F_m = \frac{g \cdot l}{u_{mg}}, \quad \phi_m = \frac{u_{mg}}{u}, \quad \zeta_D = \frac{\lambda u_{mg}^2}{2gD}$$

また $v/u = \varphi$ とすると (B-1) は次のように書き換える。

$$\frac{d\varphi}{dT_m} = (1-\varphi) - \frac{\zeta_D}{\phi_m} \zeta \cdot^2 \quad (\text{B-2})$$

粉体の最終速度 v は水平管で一定とすると $d\varphi=0$ であり (B-1) は次のようになる。

$$(1-\varphi) = \frac{\zeta_D}{\phi_m} \varphi^2 \quad (\text{B-3})$$

$$\therefore \varphi = \frac{v}{u} = \frac{\phi_m}{2\zeta_D} \left\{ \left(1 + \frac{4\zeta_D}{\phi_m} \right)^{1/2} - 1 \right\} \quad (\text{B-4})$$

ところで 200 mesh 生石灰の浮遊速度 u_{mg} は 0.48 m/s であり Eq. (B-4) の ϕ_m はガス速度に依存する。 ζ_D は定義より λ を求めることにより算出できる。ここで摩擦, 浮力などの損失をすべて考慮した係数を λ_s とする。 λ_s と λ との関係は,

$$\lambda_s = m\varphi\lambda \quad (\text{B-5})$$

である (m =混合比)。 λ_s は配管径, 粉体供給量, 粉体径などによって異なるが, 本実験条件での測定では酸素流速 8, 10, 15, 20, 25 m/s の時, おおの 0.021, 0.012,

0.0068, 0.0062, 0.006 となった。Eqs. (B-4), (B-5) の関係から φ が導かれる。

Nomenclature

A	= cross sectional area of pipe	[m ²]
C_m	= coefficient of resistance	[—]
C_p	= specific heat capacity of iron	[kcal/kg·°C]
D	= diameter of pipe	[m]
d_a	= projected area of powder	[m ²]
E	= friction heat defined by Eq. (6)	[Kg·m]
e	= coefficient of restitution	[—]
F	= gas flow rate measured by rotermeter	[Nm ³ /min]
G_s	= mass flow rate of powder	[kg/s]
g_c	= gravitational conversion factor	[kg·m/Kg·s ²]
l	= length of pipe	[m]
m_s	= mass of iron	[kg]
P	= pressure	[atm]
q	= friction heat	[kcal]
R	= radius of curvature	[m]
T_b	= ignition temperature	[°C]
t	= time	[s]
u	= velocity of gas	[m/s]
u_{mg}	= float velocity of powder	[m/s]
v	= velocity of powder	[m/s]
v_b	= permissible velocity of iron powder	[m/s]
v_{sa}	= powder velocity in θ direction	[m/s]
v_{se}	= initial velocity of powder at inlet	[m/s]
α	= angle of incidence	[deg]
θ	= angular position of bent pipe from level	[rad]
γ_m	= specific weight of powder	[kg/m ³]
γ_a	= specific weight of gas	[kg/m ³]
λ	= coefficient of friction	[—]

Literature cited

- 1) Conway, J. B. and A. V. Crosse: *Ind. Eng. Chem.*, 50, 663 (1958)
- 2) Hashii, K., Y. Katoh and K. Watanabe: Japan Patent Published NO 54-67985
- 3) Hashii, K., Y. Katoh and K. Watanabe: Japan Patent Utility Model Published NO 54-76089
- 4) Hashii, K. and A. Nishioka: *Haikan To Sochi*, 10, 11 (1970)
- 5) Kitagawa, T.: *Anzenkogaku*, 5, 267 (1966)
- 6) Wegner, W.: *Koatsugasu*, Translation by K. Hashii and Y. Yasuda, 12, 100 (1964)

(1980年8月25日受理)

Testing of a Power Feeding Apparatus with High Pressure Oxygen

Yoshihisa Kato and Kazuo Hashii

Nippon Oxygen Co., Ltd., Tokyo 105

Kazuo Saito and Kinnosuke Watanabe

Sankyo Dengyo Co., Ltd., Tokyo 152

We studied the design and testing of a high-pressure powder feeding apparatus used in some process to feed powder material, such as burnt lime, or metallic compounds in oxygen atmospheres in expected accuracy, and also to examine the repeatability of powder feeding and to study the safety against ignition or explosion based on impurities contained in the powder, such as a small amount of metallic iron powder due to use of a high-pressure oxygen as carrier gas for the powder.

It was understood that the accuracy of the powder feed rate was within a range of ± 3 wt%, and gas flow rate did not affect the powder feed rate accuracy.

Further, by mixing an iron powder ranging up to 200 mesh as impurity in the burnt lime, it was found that the temperature at the surface of the transfer tube was raised by friction of the mixed powder against the wall, and we calculated the energy required to cause ignition of the iron powder as impurity.

As a result, the condition under which the mixture of powder and impurities (iron powder) was safely transferred by high-pressure oxygen gas was found to be a mixing ratio of less than 0.1 wt% and a carrier gas speed of less than 15 m/s.

~~~~~