

## 技術報告

UDC 669.162.224

## 高 炉 除 湿 送 風 に つ い て\*

面 田 和 利\*\*

## The Dehumidifying System for the Blast Furnace Air

Kazutoshi OMODA

## Synopsis:

The dehumidifying system for the blast furnace air is going to adopt at a number of furnaces in Japan where the air humidity changes fairly with the seasons.

The type of the system has employed the principles of condensation or dehydration, or a combination of the two. It is able to condition the blast humidity in constant and low level with the system.

The advantage of this blast conditioning are to operate stably and to reduce the coke ration for the blast furnace practice.

This report classified the contents of these systems, and analyzed the effect of these system on the operation of the blast furnace.

## 1. ま え が き

高炉の燃料比低減対策の一つとして最近、高炉送風の除湿方法が考えられるようになった。

高炉は、大量の送風 (1 100~1 200Nm<sup>3</sup>/t) を必要とするが、大気に含まれる湿分は、昼夜および季節によつて変動する。

送風中の湿分は、高炉羽口に吹込まれた場合、その炉内雰囲気温度は、2 200°C の高温であり、水素と酸素とともに熱解離する。これは、吸熱反応であるので、その雰囲気は熱をうばわれて、羽口前の炉内温度は、それ相当に低下する。

したがって、送風中の湿分が変動すれば、羽口前炉内温度が変動して、高炉操業の不安定要素となる。

これによる銑鉄の品質および高炉燃料比におよぼす影響が大きいためこれを改善するため、送風中の湿分をあらかじめ除去して、低位でかつ一定の湿分を得る装置技術が、考えられるようになった。

我国では、1974年に新日鉄広畑製鉄所にその1号機が設置されて以来、各社の高炉に次々と採用され、現在は、計画中のものも含めて 16 基に至っている。これらの設備の概要を Table 1 に示す。

一方、除湿に伴う損失分も含めて (特に高炉ガス発生量の低下) 総合的にその効果について評価すると、まだ検討の余地が残っているということで、その採用を見合

わせている製鉄所もあることは事実である。

ここでは、その除湿装置の内容の分類と、その効果について解析した。

## 2. 除湿装置の分類とその特質

## 2.1 防湿方法

除湿装置は、その方法によつて、Table 2 に分類されるように、空気を露点温度以下に冷却して水分を凝縮除去するものと、塩化リチウム剤と空気を接触させて水分を吸収除去するものに大別される。

さらに、凝縮方法は、大気圧力下の冷却によるものと圧縮圧力下の冷却に分けられる。

吸収剤による方法は、その吸収剤である塩化リチウムが液体の場合の湿式と、それが固体の場合の乾式とに分けられる。

## 2.2 各方式の特質

Table 2 に各装置の一般的フローを示す。

これからも解かるように、凝縮方法は冷却機そのもので、装置構成は比較的簡単であり、その運転制御も容易であるといえる。

その除湿能力は、冷却能力に支配されるため、その制約から、除湿下限値は約 6 g/Nm<sup>3</sup> と高い。これは一般的に高炉送風機の吸込側に設置される。そのため空気冷却により、高炉送風機の動力減につながる。

さらに、冷却効果を上げるため、空気の圧縮圧力下で

\* 昭和 53 年 4 月 14 日受付 (Received April 14, 1978)

\*\* 日新製鋼(株)呉製鉄所 (Kure Works, Nisshin Steel Corp., Ltd., 7-1 Showa-dori Kure 737)

Table 1. Dehumidifying systems for BF air in Japan.

| Maker | Equipped works | Date of built* | Type          | Capacity (Nm <sup>3</sup> /min.) | Humidity of exit (g/Nm <sup>3</sup> .) | Remarks                                        |
|-------|----------------|----------------|---------------|----------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| A     | a              | 1974           | wet           | 5 000                            | 5 (const.)                             | Used with freezer                              |
|       | b              | 1975           | wet           | 7 000                            | 5.8 (avr.)<br>10 (max.)                | Cooling by sea water                           |
|       | c              | 1976           | wet           | 4 500                            | 4 (avr.)<br>8.5 (max.)                 | Cooling by sea water                           |
|       | d              | 1977           | wet           | 6 500                            | 3.49 (avr.)<br>9 (max.)                | Cooling by circulating water                   |
| B     | e              | 1976.5         | cooling + dry | 6 600                            | 9 (max.)                               | Sea water and heat of blower                   |
|       | f              | 1977.3         | wet           | 5 000                            | 9 (max.)                               | Sea water and steam heat                       |
|       | e              | 1977.5         | cooling + dry | 8 500                            | 9 (max.)                               | Circulating water and heat of blower           |
|       | f              | (1978.3)       | wet           | 5 000                            | 9 (max.)                               | Sea water and steam heat                       |
| C     | b              | 1975.6         | dry           | 7 000                            | 10 (max.)                              | Sea water and heat of blower                   |
| D     | g              | 1977.5         | cooling       | 5 200                            | 6.5 (const.)                           | Sea water (1 900 t/h) and freezer (1 250 kW×2) |
|       | h              | 1977.6         | cooling       | 1 650                            | 6.5 (const.)                           | Sea water (540 t/h) and freezer (400 kW×2)     |
|       | i              | (1978.5)       | cooling       | 3 000                            | 6.5 (const.)                           | Water (1 000 t/h) and freezer (1 250 kW×1)     |
|       | g              | (1978.5)       | cooling       | 7 600                            | 6.5 (const.)                           | Sea water (2 800 t/h) and freezer (1 250 kW×3) |
| E     | j              | 1977.5         | compress      | 5 800                            | 7.7 (const.)                           | Cooling by sea water (3 000 t/h)               |
|       | k              | (1978.5)       | compress      | 2 800                            | 5.0 (const.)                           | Used with freezer                              |
| F     | l              | 1977.11        | cooling + dry | 8 000                            | 4.0 (const.)                           |                                                |

\* ( ) in contemplation

の冷却を利用したものが、圧縮方法である。

高炉送風は、その送風機で加圧されているため、一般的には、高炉送風機の吐出側に設置されるのが、普通である。

したがって、吐出側空気圧損が大きくなるのでその分だけ高炉送風機動力損をまねく。

しかし、高炉送風圧を利用するので、より合理的に除湿されることから、冷却動力が小さくてすむ。

一方、吸収剤方式はいずれも塩化リチウムの再成処理が必要である。湿式の場合は塩化リチウム液の濃度をあげる装置が、乾式の場合は塩化リチウム固体を乾燥させる必要がある。また、塩化リチウム剤に吸収されたときの湿分の潜熱により、送風機の吸込空気温度が上り、空気容量が大となるので、送風機能力低下、または、その軸動力増となる。これを防止するためには、除湿後の空気を冷却するための設備が必要である。したがって、その装置全体は、構成および、制御などに比較的複雑になる。

また、腐蝕性の強い塩化リチウム剤を扱う点で種々の

配慮が必要である。すなわち、装置構成材質の選択（ライニング管など）、装置からのキャリーオーバー防止処置（高性能フィルター）、腐蝕抑制剤の添加（インヒビター）などがそれである。

特に、湿式の場合はキャリーオーバー防止の点から負荷変動幅が、限定されるので、その対応等がとられることがある。たとえば、除湿室のユニット数が切換え使用することも、その一つである。

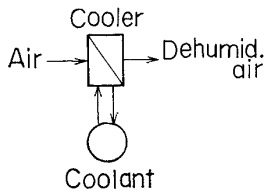
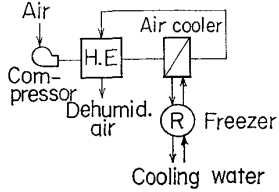
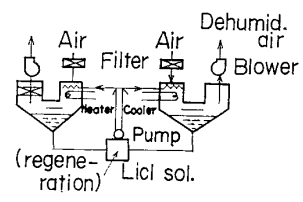
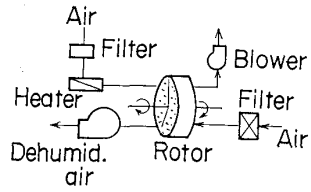
乾式の除湿能力は大気湿度の変動に対して装置後の湿分を一定にすることが困難であるのと、除湿能力をさらに向上させることの二つの目的で、除湿機本体の前に空気冷却機を併設して、あらかじめ一定湿分にまで除湿することが、一般的である。

### 3. 除湿装置運転の実際

#### 3.1 大気湿度の変動

年間の大気湿度の標準的なものとして Fig. 1 に示す。年間の平均絶対湿度は、12g/Nm<sup>3</sup>(温度 16°C)で、その最高は8月度の約 23g/Nm<sup>3</sup> である。日間のバラツキは

Table 2. Classification of the dehumidifying systems.

| Method   | Type     | Feature of system                                                                                                                                                  | Flow                                                                                  |
|----------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Condens. | cooling  | Eliminated by condensation under the dew point.<br>Propagated in many other air conditioning systems.                                                              |    |
|          | compress | Eliminated by condensation under high pressure.<br>Used with cooling water not so cold.                                                                            |    |
| Absorb.  | wet      | Eliminated by absorption into LiCl or triethylene glycol solution.<br>Usage of the difference between the partial vapor pressure of LiCl solution and that of air. |    |
|          | dry      | Eliminated by asbesto rotor impregnated with LiCl crystal.<br>Merit of simultaneous treatment of dehumidifying and regeneration.                                   |  |

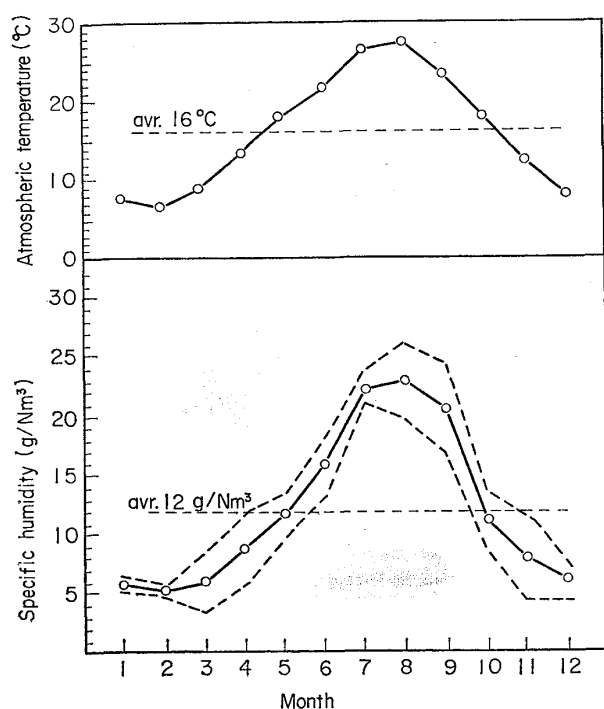


Fig. 1. Variation of atmospheric temperature and specific humidity.

最高約  $4 \text{ g/Nm}^3$  ありうるので、除湿装置設計仕様は最高  $27 \text{ g/Nm}^3 (23 + 4 \text{ g/Nm}^3)$  と考えるべきである。

### 3.2 運転条件

Fig. 1 の標準湿度に対して、今、送風量  $3600 \text{ Nm}^3/\text{min}$  の各方式の除湿装置の除湿能力およびその運転条件の事例を Table 3 にまとめてみた。この表は、あくまで一つの事例であつて、仕様設計条件によつてこの中の数値は変わりうる。

各方式の評価については、Table 3 に示すように、除湿量、その運転費、送風圧力および温度変化による送風動力および熱風炉の熱補償などを総合的に考えるべきである。

## 4. 除湿の効果

除湿送風が高炉操業におよぼす省エネルギーの影響について、主に次の2点が一般的に考えられる。

(1) 除湿することによつて送風中の湿分が、一定量近くに保持されるので、羽口前炉内温度変動要因がなくなることから、高炉操業が日、月間および年間を通して

Table 3. Operation cost and specifications of each system blast volume 3 600 Nm<sup>3</sup>/min.

|                                             |        | Condensation                                                                                           |                                                                                                            | Absorbent method                                                                                                                                         |                                                            |
|---------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Type                                        |        | cooling                                                                                                | compress                                                                                                   | wet                                                                                                                                                      | dry                                                        |
| Position from the blower                    |        | in                                                                                                     | out                                                                                                        | in                                                                                                                                                       | out                                                        |
| Humid. of blow (avr.) g/Nm <sup>3</sup>     |        | 6                                                                                                      | 3                                                                                                          | 3                                                                                                                                                        | 2                                                          |
| Amount of dehumid. (avr.) g/Nm <sup>3</sup> |        | 6                                                                                                      | 9                                                                                                          | 9                                                                                                                                                        | 11                                                         |
| Temp. of blow (°C)                          | in     | 16                                                                                                     | 170                                                                                                        | 16                                                                                                                                                       | 16                                                         |
|                                             | out    | 3                                                                                                      | 110                                                                                                        | 19                                                                                                                                                       | 14                                                         |
|                                             | out-in | -13                                                                                                    | -60                                                                                                        | 3                                                                                                                                                        | -2                                                         |
| Operation cost (yen/kg)*                    |        | 4~5                                                                                                    | 2~3                                                                                                        | 4~5                                                                                                                                                      | 7~8                                                        |
|                                             |        | Decrease of consumed power for blower.<br>Decrease of blow temp.<br>Decrease of dehumidifying ability. | Decrease of operation cost.<br>Remarkable decrease of blow temp.<br>Increase of consumed power for blower. | Low and constant humidity.<br>Need of prevention against corrosion of system and carrying over of LiCl.<br>Need of heat source for regeneration of LiCl. | Need of usage with freezer.<br>Increase of operation cost. |

Remarks\* Operation cost was calculated from unit cost of electric power (10 yen/kWh), steam (2.5 yen/kg), sea water (2.3 yen/t) and water (10 yen/t).

安定する。

この結果として、適切な操業条件が得られることから高炉燃料比の低減に結びつく。

(2) 除湿によつて、高炉羽口前炉内での水分の分解吸熱反応が減少するので、羽口前炉内温度が上昇し、その熱補償分だけ燃料比が低下する。

ただし、(2)項の効果については、湿分が分解して発生する水素ガスは、燃料として有効であるため、除湿による高炉ガス含有量等の減少は、高炉ガス発熱量の低下をまねく。

したがつて、高炉ガス発生系も含めて、総合評価する必要がある。

その他、附带的効果としては、熱風炉の熱量原単位が除湿分だけ減少すること、および羽口前炉内温度が上昇するので、羽口から重油吹込増あるいは、酸素を富化している場合は、酸素使用減のメリットが、考えられる。

以上のことを、さらに具体的に各項目ごとに解析してみると、次のように考えられる。

#### 4.1 羽口前炉内温度一定による安定操業

この効果について定量的に把握することは、難しいが、安定操業の結果、溶鉄の成分、とりわけC%, Si%が一定になること、および出鉄温度が一定になることに

よつて、燃料比低減に結びつく。

#### 4.2 炉内での湿分の分解反応減少効果

今、送風中の湿分 10g/Nm<sup>3</sup> (0.0124Nm<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup>) が除湿された場合の分解熱減少は、コークス比換算で、次の試算のように 8 kg/t と推定される。

ただし、送風原単位 1 170Nm<sup>3</sup>/t、水分々解熱 1 410 kcal/Nm<sup>3</sup>、コークスの羽口燃焼熱 2 450 kcal/kg とする。

鉄鉄 t 当り除湿量  $0.0124\text{Nm}^3/\text{Nm}^3 \times 1\,170\text{Nm}^3/\text{t} = 14.5\text{Nm}^3/\text{t}$

分解吸熱減少量  $14.5\text{Nm}^3/\text{t} \times 1\,410\text{kcal}/\text{Nm}^3 = 20 \times 10^3\text{kcal}/\text{t}$

コークス比換算  $20 \times 10^3 \div 2\,450\text{kcal}/\text{kg} = 8\text{ kg}/\text{t}$

#### 4.3 羽口前炉内温度の上昇

除湿によつて、水分々解吸熱が減少する結果として羽口前炉内温度が上昇する。試算の結果が除湿量 10 g/Nm<sup>3</sup> 当り 60~70°C 上昇する。

これによつて、羽口から重油の吹込が可能となる。

重油吹込量 1 kg/t 当り羽口前炉内温度の低下は、4.5 °C と考えられるので、除湿量 10 g/Nm<sup>3</sup> による羽口前炉内温度上昇分に見合う重油吹込可能量は、約 15 kg/t となる。これによる高炉ガス熱量は 45kcal/Nm<sup>3</sup> 増とな

ると考えて、高炉ガス原単位  $1800/\text{Nm}^3/\text{t}$  とすると、

$$45\text{kcal}/\text{Nm}^3 \times 1800\text{Nm}^3/\text{t} = 81 \times 10^3 \text{kcal}/\text{t}$$

のメリットとなる。

#### 4.4 熱風炉熱量原単位の減少

今、熱風炉熱効率 80%，送風温度  $1250^\circ\text{C}$ ，および熱風炉入口送風温度  $150^\circ\text{C}$  とすると、除湿  $10\text{g}/\text{Nm}^3$  当りの熱風炉熱量原単位の減少は、次のように  $5 \times 10^3 \text{kcal}/\text{t}$  と推定される。

$$\frac{10\text{g}/\text{Nm}^3 \times 10^{-3} \times 0.3\text{kcal}/\text{kg}^\circ\text{C} \times 1170\text{Nm}^3/\text{t} \times (1250 - 150)}{0.8}$$

$$= 5 \times 10^3 \text{kcal}/\text{t}$$

#### 4.5 コークス比低減に伴う高炉ガス減少

除湿の効果の結果として、コークス比低減に伴う、高炉ガス発生減は  $800\text{kcal}/\text{Nm}^3$  換算で、コークス比  $1\text{kg}$  当り  $4\text{Nm}^3$  と推定した。

したがって、コークス比減少  $10\text{kg}/\text{t}$  当りその熱量デメリットは、次のように  $32 \times 10^3 \text{kcal}/\text{t}$  と推定される。

$$10\text{kg}/\text{t} \times 4\text{Nm}^3/\text{t} \times 800\text{kcal}/\text{Nm}^3 = 32 \times 10^3 \text{kcal}/\text{t}$$

#### 4.6 高炉ガス中の水素ガス含有量低減による熱量減損失

炉内での湿分の分解が減少する結果として、高炉ガス中の水素ガス含有量が、次のように減少すると、考えられる。

たとえば、送風中の湿分  $10\text{g}/\text{Nm}^3$  が除湿された場合（銑鉄  $\text{t}$  当り除湿量  $14.5\text{Nm}^3$ ）の水素ガス発生減は、 $14.5\text{Nm}^3/\text{t}$  となる。それによる熱量減は次のように  $19 \times 10^3 \text{kcal}/\text{t}$  と考えられる。

$$\frac{14.5\text{Nm}^3/\text{t}}{22.4\text{Nm}^3} \times 28700\text{kcal}/\text{kmol} = 19 \times 10^3 \text{kcal}/\text{t}$$

#### 4.7 総合評価

除湿送風の効果を総合評価するために、Table 4 の「除湿効果総合評価表一事例」に、以上の除湿効果の解析結果をまとめてみた。

除湿量  $10\text{g}/\text{Nm}^3$  当りのコークス比低減効果は、高炉の安定操業と、羽口での水分分解熱減少効果とを合わせて  $10\text{kg}/\text{t}$  とした。

羽口前炉内温度上昇効果については、重油が  $15\text{kg}/\text{t}$  吹込めるものとして考えた。

設備費および各種単価については、次のように仮定した。

設備費 3.5 億円 (型式 Table 3 の乾式)

送風量  $3600\text{Nm}^3/\text{min}$

コークス単価  $30\text{円}/\text{kg}$

高炉ガス単価  $2\text{円}/\text{Nm}^3$

Table 4. Total appraisal of dehumidifying effect. (wet type in Table 3)

|         |                                                        |                                | Effect |       |
|---------|--------------------------------------------------------|--------------------------------|--------|-------|
|         |                                                        |                                | kcal/t | yen/t |
| Profits | Stable operation of BF                                 | Reduct.<br>of<br>coke<br>ratio | 72 000 | 300   |
|         | Decrease of decomposition heat of water at tuyre.      |                                |        |       |
|         | Effect of increase in tuyre temp.                      | 81 000                         | 202    |       |
|         | Decrease of consumed heat of hot stove.                | 5 000                          | 12     |       |
|         | (Total)                                                | 158 000                        | 514    |       |
| Loss    | Operation cost                                         |                                | 27 000 | 82    |
|         | Decrease of BF gas due to the reduction of coke ratio  |                                | 32 000 | 80    |
|         | Decrease of heating value of H <sub>2</sub> in BF gas. |                                | 19 000 | 48    |
|         | Redemption and preservation cost.                      |                                | —      | 42    |
|         | (Total)                                                |                                | 78 000 | 252   |
| Total   |                                                        |                                | 80 000 | 262   |

unit cost {coke 30 yen/kg  
B gas 2 yen/ $\text{Nm}^3$ }

Table 4 に示すように、熱量的には  $80 \times 10^3 \text{kcal}/\text{t}$  のメリットが考えられる。

これは、重油吹込による、高炉ガス熱量増とほぼ同値であることから、この重油吹込効果がなければ、除湿送風の総合評価は、熱量的にはないものと考えられる。

コスト面では、 $262\text{円}/\text{t}$  のメリットになる。

これを設備投資回収年数で表わすと、次のように、1 年になる。

$$\frac{2.5 \text{ 億円}}{262\text{円}/\text{t} \times 120\text{万 t}}$$

$$= 1 \text{ 年}$$

この表から考えられるように、この総合評価を左右する要点は、設備の容量（投資額）および、各種燃料の単価であり、これらは、各製鉄所の事情によつて異なるので、これは、普遍的な評価とはいえない。

また、Table 3 の事例に示すように除湿設備の型式によつて、その設置の出入側で送風温度が変化する場合に Table 3 の備考欄に記入したように、送風機動力および熱風炉の熱補償も付け加えて、総合評価をする必要がある。

## 5. 結 言

除湿送風の高炉操業におよぼす影響、とりわけ省エネ

ルギー効果について、各製鉄所の実績データが十分に入  
手できなかったため、本報は総括的に論ずることができ  
なかつた。

一つの条件に基づいて、解析し評価を加えたもので、  
その結果は、総合評価に示したような銑鉄 t 当り  $80 \times 10^3$   
kcal/t の省エネルギー効果となつた。

しかしながら、各製鉄所の操業条件、および各種燃料  
の価格等の事情によつては、検討の余地が残つており、  
以上の報告は必ずしも、普遍的なものとは、いえない。  
あくまでも、参考事例として受け止めていただければ、  
幸いと思います。