

技術 報告

UDC 669.162.224.047

直接々触冷却式高炉送風除湿装置の開発*

川 本 良 正**・松 永 吉之助***

竹 村 雅 之***・浅 井 武 二**

New Dehumidification Plant of Direct Contact Cooler Type
for Blast Furnace AirYoshimasa KAWAMOTO, Kichinosuke MATSUNAGA,
Masayuki TAKEMURA, and Takeji ASAI

Synopsis:

There are thirteen units of blast furnace dehumidifiers now at works in our country. We have four methods: dry type lithium chloride method, wet type lithium chloride method, refrigerating method, and blower discharge side-cooling method. Each method has its merits and demerits. It seems there is no conclusive factor to select one from these four.

Among these dehumidifying methods, we gave attention to the blower discharge side-cooling method which had the most compact equipment. Then we developed the direct contact cooling method. After we manufactured a test plant on a scale of 1 to 20 and made an actual gas test, we equipped at No. 2 BF in our Kokura Steel Works in May this year. This plant is working satisfactorily.

We developed this method for the purpose of reducing the equipment cost and operating cost. Our direct contact cooling plant is constituted by the heat pipe type exchanger, direct contact air cooler, and high-efficiency mist separator.

In comparison with the conventional type, the installation space and equipment weight are about half. So we could reduce the equipment cost drastically.

1. 緒 言

現在、高炉の送風除湿装置として全国で約 13 基が稼動しており、その方式には衆知のごとく、湿式および乾式塩化リチウム法、冷凍法、送風機吐出側冷却法があるが、実機として種々の方式が採用されているのをみてもわかるように、いずれの方式も一長一短があり、決定的な決め手はないようである。

一方、送風除湿による効果として

(1) 水分の分解熱補償によるコークス比低減 0.7~1.0 kg/pt/g/Nm³

(2) 送風量減による送風動力および熱風炉燃料減

(3) 羽口先温度一定化による炉況安定

などがあるが、反面デメリットとして

(1) 発生 B ガス減(節減コークスカロリーの約60%)

(2) 除湿運転用ユーティリティ増(同上の約10~15%)

があるため、その効果は半減し、小型高炉の場合には投資効率が悪くなり、設備費、ランニングコストを低減することが必要である。

そのため筆者らは各種除湿法の中でもつとも設備のコンパクトな吐出側冷却法に着目し、その改良型ともいべき直接接触式除湿装置を試作し、設備費、ランニングコストとも大巾に低減することに成功した。

本年 5 月に当社小倉製鉄所第 2 高炉に実機を設置し、順調に稼動している。

2. 開 発 経 緯

2.1 従来方式

従来の吐出側間接冷却法のフローを Fig. 1 に示す。本方式は圧縮された送風空気を処理するため、設備がコンパクトで、海水などで冷却するだけでよく、保守も容易である反面、設備費がやや高い欠点がある。

* 昭和 53 年 3 月 13 日受付 (Received Mar. 13, 1978)

** 住友金属工業(株)本社 (Sumitomo Metal Industries, Ltd., 5-15 Kitahama Higashi-ku Osaka 541)

*** 住友金属工業(株)小倉製鉄所 (Kokura Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

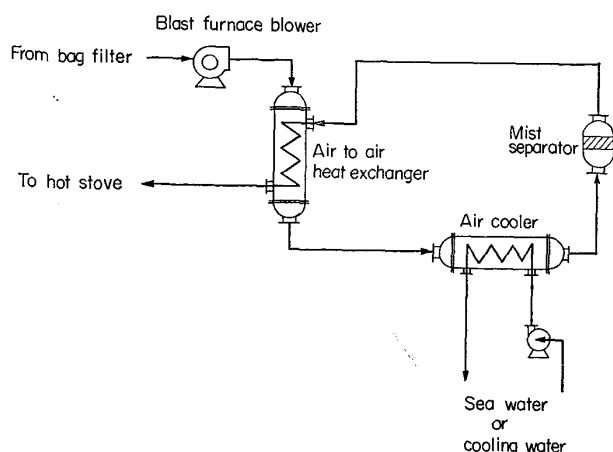


Fig. 1. Flow diagram of conventional indirect cooling dehumidification.

Table 1. Features of new type dehumidification plant.

Items	Conventional type	New type
1. Air to air heat exchanger	Shell & tube indirect exchanger	Heat-pipe exchanger
2. Air to water heat exchanger	Shell & tube indirect exchanger	Direct contact air cooler
3. Mist separator	1 Stage demister	3 stage type mist eliminator, coalescing screen, demister

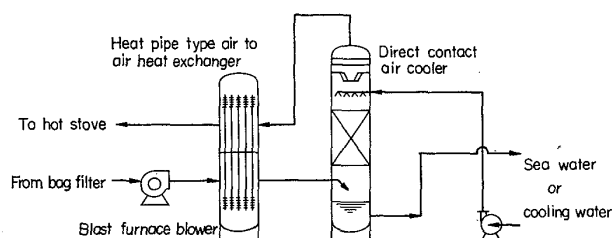


Fig. 2. Flow diagram of new direct contact cooling dehumidification.

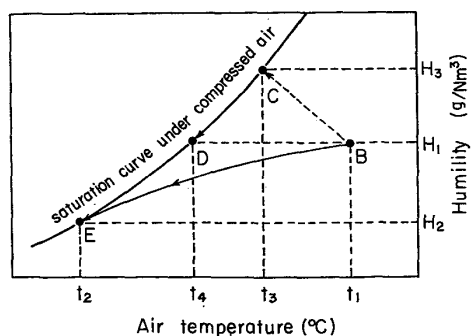


Fig. 3. Principle of indirect and direct contact cooling dehumidification.

Table 2. Specification of test plant.

Items	Specification
Blast volume	173Nm³/min.
Blast pressure	2.3 kg/cm²G
Blast temperature	160°C
Air to air heat exchange	1.2mφ × 10.4mH
Heat pipe	50.3φ × 6.2m
Direct contact air cooler	1.0mφ × 10.2mH
Cooling water	Max. 34 t/h

2.2 本方式の特徴

筆者らはこの方式の開発にあたって、Table 1 のような 3 項目を重点とし、Fig. 2 に示すフローとした。

2.3 除湿原理

除湿原理の比較を Fig. 3 に示す。送風機で加圧された空気が B 点にあり、間接冷却方式では B D E と除湿されるのに対し、本方式では断熱冷却線に沿って C 点まで一度増湿されたのち、E 点まで冷却除湿される。

3. テストプラント概要

本開発方式をいきなり実機に適用するには不明な点が数多くあつたので、筆者らは 1/20 スケールのテストプラントを試作し、実ガス試験をすることとした。Table 2 にその仕様を示す。

3.1 ヒートパイプ式空気熱交換器

熱交換効率を向上させ、極力コンパクト化をはかるため、ヒートパイプを用いた。現在実用化されているヒートパイプは小口径であり、これらを多数配列することは圧損増大の点からも好ましくないため、口径 2 インチ、長さ 6 m の世界最大のものを開発した。また、熱媒体としては、洩れなどがあつても安全のように水を主体とした媒体を封入することとした。なお、本テストに用いたヒートパイプは実機と同寸法のものである。

3.2 直接々触式空気冷却器

安定した冷却効果を与えるためには、空気と冷却水を均一に、くまなく接触させなければならない。そのため、散水ノズルと充填層の形状、間隔などを工夫し、最適水量と最適充填層厚さの関係を見いだした。

3.3 ミスト除去装置

空気冷却器で冷却除湿された空気は多量のミストを同伴しているため、このミストがどこまで分離除去できるかにより、本方式の性能が決まる。このためミストエリミネータ(粗粒ミストの捕捉)、コアレッサー(細粒ミストの粗大化)、デミスターを種々組合わせて、除去効率の向上をはかった。

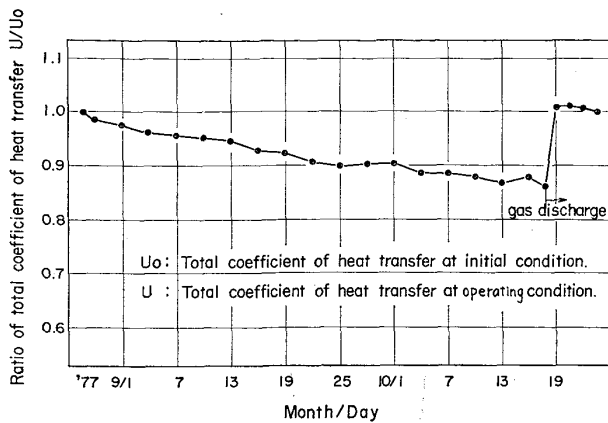


Fig. 4. Fluctuation of heat transfer of heat pipe type heat exchanger.

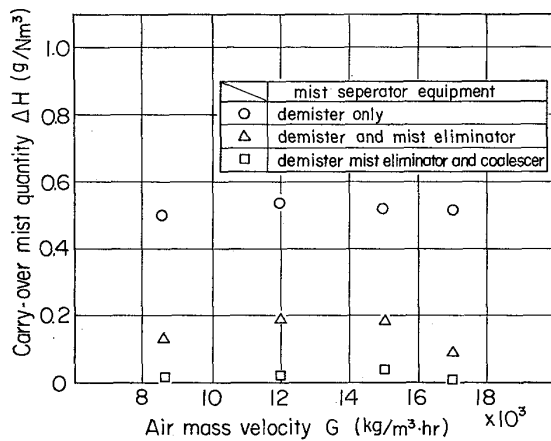


Fig. 5. Relationship between carry over mist and air mass velocity at mist separator equipment.

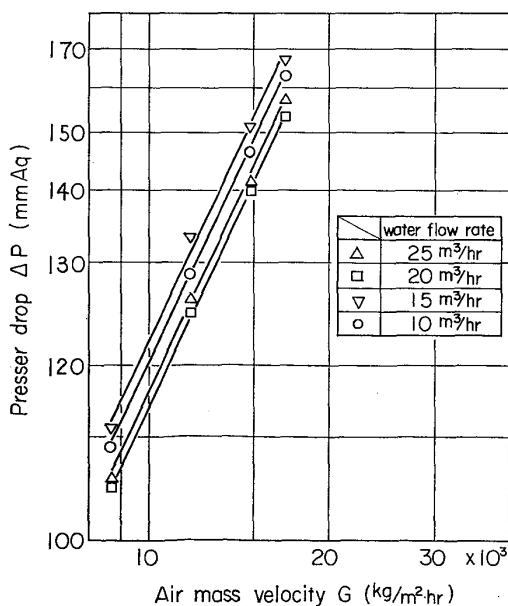


Fig. 6. Relationship between pressure drop and air mass velocity at mist separator equipment.

4. テ ス ト 結 果

4.1 ヒートパイプ式熱交換器性能

総括熱伝達率の変化を Fig. 4 に示す。ヒートパイプ内で媒体中の水と Fe が反応し、水素ガスを発生し、その容積分だけ伝熱面積が減り、性能が低下するが、定期的にガス抜きすることにより十分性能は回復している。なお、このガスの発生は次第に減少し、飽和に達する。

4.2 空気冷却器の性能

充填層の形状および厚さと冷却水量のあいだには密接な関係があり、ある水量以下では水膜切れをおこし、空気温度が十分下らない。また、水温と空気温度の差も $1.5 \sim 2.0^\circ\text{C}$ と間接冷却法にくらべ大巾に向上することも判明した。

4.3 ミスト除去装置の性能

ミスト除去装置の性能は Fig. 5 に示すように空気の質量速度によつてほとんど影響されず、エリミネータやコアレッサーの形状や組合わせによつて決まり、3 種組

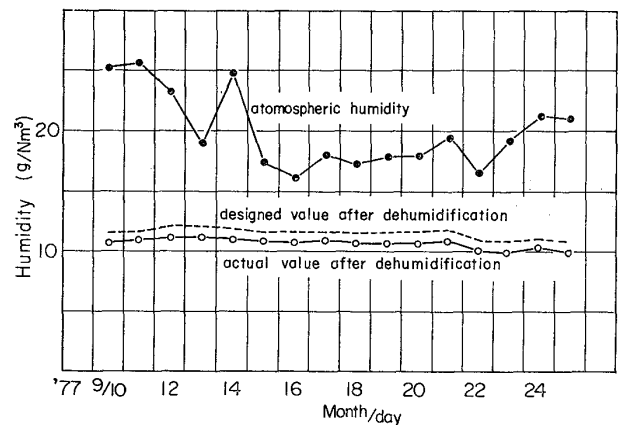


Fig. 7. Fluctuation of atmospheric humidity and humidity after dehumidification.

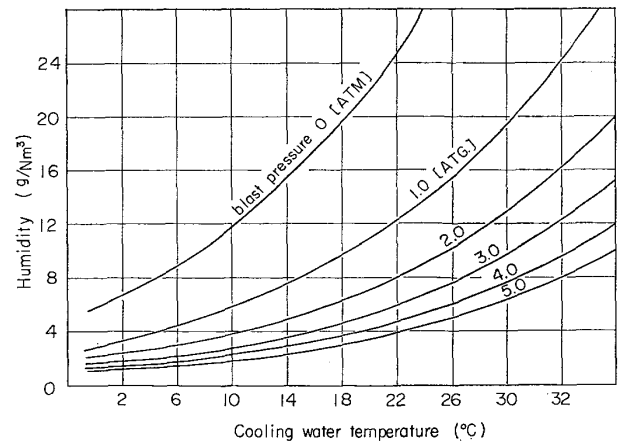


Fig. 8. Relationship between humidity and cooling water temperature by new dehumidification equipment.

Table 3. Comparison of equipment specification ($5\,000\text{Nm}^3/\text{min} \times 3.5\text{ kg/cm}^2\text{G}$).

		Conventional type	New type
I. Air to air heat exchanger	Type	Shell & tube type	Heat pipe type
	Heat transfer tube	$31.8\phi \times 8\,000\text{L}$ 4 500 pieces (STB 35)	$50.8\phi \times 6\,200\text{L}$ 704 pieces (STB 35)
	Size	$4.3\text{m}\phi \times 13\text{mH}$	$3.5\text{m}\phi \times 10\text{mH}$
	Weight	124 t	52 t
II. Air cooler	Type	Shell & tube type	Direct contact type
	Heat transfer tube	$25.4 \times 4\,000\text{L}$ 3 200 pieces (CNTF)	Packing layer (polyester or steel)
	Size	$4.4\text{m}\phi \times 8.1\text{mL}$ (Horizontal)	$5.0\text{m}\phi \times 16.1\text{mH}$ (Vertical)
	Weight	103 t	55 t
III. Mist separator	Type	Demister type	Mist eliminator, coalescing screen
	Heat transfer tube	$3.3\text{m}\phi \times 7.8\text{mL}$	Demister (including in air cooler)
	Size	$3.3\text{m}\phi \times 7.8\text{mL}$	
	Weight	14 t	
Total weight		274 t	140 t
Installation space		$18\text{m} \times 15\text{m}$ (270m^2)	$13\text{m} \times 8\text{m}$ (104m^2)

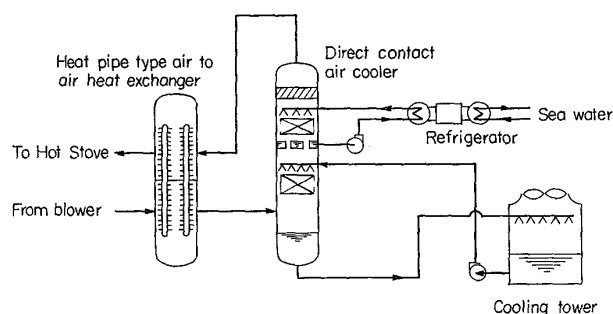


Fig. 9. Flow diagram of actual equipment at No. 2 BF in Kokura works.

合わせの場合ミストのキャリーオーバーはほぼ無視しうる量であることが判明した。また、本装置による圧損はFig. 6のように、質量速度の上昇に応じて増加するため、除湿性能を加味した最適設計が必要である。

4.4 総合除湿性能評価

各種テストの結果、除湿性能、ユーティリティとも、当初の予想をはるかに上回ることが判明し、実機の最適設計に必要なデータを数多くえた。Fig. 8に除湿後の湿分の変動を示す。湿度の制御は冷却水の温度のみを管理すれば良く、制御性も非常に優れている。

本テスト結果をもとに作成した各種送風圧における冷却水温度と残存湿分との関係を Fig. 9 に示す。

5. 実機適用に際しての検討

$5\,000\text{Nm}^3/\text{min} \times 3.5\text{ kg/cm}^2\text{g}$ の送風空気を処理する場合の従来方式との比較を以下に記す。

5.1 機器仕様比較

従来方式のシェルアンドチューブ型に比べ伝熱管が全

Table 4. Comparison of blower operating power and cooling water flow rate.

Items	Conventional type	New type
1. Pressure drop of dehumidification plant (Increase of blower operating power)	1 000 mmAq (376 kW)	700 mmAq (264 kW)
2. Cooling water flow rate	1 864 t/h	595 t/h
3. Electricity (pump etc.)	182 kW	179 kW

く不要のため、設置スペースで $1/2$ 以下設備重量で約 $1/2$ となり、設備費は大巾に低減できる。Table 3 にこれらの比較を示す。

5.2 送風機所要動力および冷却水量の比較

Table 4 に示すように、送風機所要動力、冷却水の量也大巾に削減できる。全装置の圧損は高炉送風機の消費動力に影響する。圧損を小さくするには、設備を大きくしなければならないため、設備費とのかねあいを考えた最適設計が必要である。

6. 小倉製鉄所実機概要

当社小倉製鉄所 2. BF に設置したフローおよび仕様 Fig. 9, Table 5 をに示す。冷凍機を設置し、年間平均湿分 3.1 g/Nm^3 まで除湿することをねらいとしており、設備費は 2 年以内で回収可能である。

Table 5. Specification of dehumidification plant for No. 2 BF at Kokura works.

Items	Specification
Designed point	
Blast volume	2 700 Nm ³ /min
Blast pressure	2.4 kg/cm ² G
Blast temp.	Max. 160°C
Atmospheric humidity	Max. 28 g/Nm ³ at 27°C (wet bulb)
Moisture after dehumidification	Designed valueMax. 4.7 g/Nm ³ at 28 g/Nm ³ , 27°C Annual mean value3.1 g/Nm ³
Equipment specification	
Air to air heat exchanger	2.8m ϕ $\times$ 10.8mH (Heat pipe 453 pieces)
Direct contact air cooler	4.1m ϕ $\times$ 21.5mH
Cooling tower	376 t/h
Refrigerator	546 USRT
Installation area	13m $\times$ 13m (including cooling tower and refrigerator)
Utilities (annual mean value)	
Electricity	
Refrigerator	270 kW
Pump and fan of cooling tower	133 kW
Cooling water (supply)	18 t/h
Sea water	285 t/h

7. 結 言

最近の省エネルギー技術は高炉送風除湿はもとより、炉頂圧回収タービンなども実用機が稼動し始めてからまだ日も浅く、大半が開発段階にあるといつても過言ではない。それだけに1つの技術の効率、性能、コストなどの究極の可能性がどこまであるか適切に見極めることが今後の省エネルギー対策上、非常に重要かつ、むずかしい問題となつてきている。

今回の除湿装置が最終の姿のものとは思われないが、現有方式に種々の改善を加え、従来、投資採算面で困難とされていた小型高炉への適用を可能としたことは1つの成果である。

なお、本開発は日立造船(株)の御協力によつて行なつたものであり、同社、富田開発室長はじめ、関係諸氏に多大の感謝の意を表します。