

■ 技術報告 ■

プラスチック熱交換器「リサーマ」に依る 湿り廃ガスからの熱回収

Reuse of Waste Heat from Wet Waste Gas
by Plastic Heat Exchanger "Retherma"

西 尾 公 一*
Masakazu Nishio

1. はじめに

熱交換器の素材には熱伝導率の大きい金属が用いられているが、熱伝導率の小さいプラスチックを使用しても、ガス—水系の熱交換を行う場合には、熱交換器の能力はガス側の境膜伝熱係数の影響が大きくなり、素材の熱伝導率が与える影響は非常に小さなものとなる。

すなわち、総括伝熱係数は一般に次の様に表わせる。

$$U = \frac{1}{1/h_h + S/\lambda + 1/h_c}$$

但し U : 総括伝熱係数 (kcal/m²・hr・°C)

h_h : 高温側の境膜伝熱係数 (kcal/m²・hr・°C)

h_c : 低温側の境膜伝熱係数 (kcal/m²・hr・°C)

S : 熱交換壁の厚み (m)

λ : 熱交換壁素材の熱伝導率 (kcal/m・hr・°C)

ここで、ガス側を高温側とし、熱交換壁の厚みを0.001 m、金属製熱交換器の素材を銅、プラスチック製熱交換器の素材をポリエチレンとすると、

金属製熱交換器の総括伝熱係数は、

$$U = 19.74 \sim 58.81 \text{ (kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{°C)}$$

プラスチック製熱交換器の総括伝熱係数は、

$$U = 18.50 \sim 49.07 \text{ (kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{°C)}$$

となって、ほとんど差異がない。(素材としての熱伝導率は、ポリエチレンに比べて銅は約900倍ほど大きい。)

廃熱回収に於いては、廃熱媒体は一般に汚れている場合が多く、熱交換器の素材には耐食性が必要であり、ダスト・スケール等の付着による能力低下も少ない方が望ましい。プラスチックは金属に比べて耐熱性が劣るため、工業的には低い温度領域(100°C以下)での使用になるが、耐食性に優れ、汚れによる能力低下も少ない。このような長所、短所を考慮すると、湿り廃ガ

スは、乾きガスに比べて多量の熱量を保有しており、プラスチック製熱交換器に適した熱源と思われる。

この報文では、紡績工場に設置した、プラスチック製熱交換器「リサーマ」を用いて、湿り廃ガス(ダスト含有)より熱回収を行った実績について報告する。

2. 湿り廃ガス熱回収システム

2.1 システムの概略

生産ラインよりブロワーで排出された湿り廃ガスを熱源として、ボイラー給水用地下水の予熱をプラスチック熱交換「リサーマ」を用いて行う。

(図-1 フローシート 参照)

2.2 熱交換器

廃ガスの熱回収に用いた、プラスチック製熱交換器「リサーマ」の概略を以下に説明する。

(1) 名称および型式

クリモトリサーマ, AS—O型

(2) 材質

熱交換チューブ: HDPE(高密度ポリエチレン)

(3) チューブ径および厚み

外径 12mm, 厚み 1.25 mm

(4) チューブ長さ

2100 m

(5) 構造

薄肉の熱交換チューブを特殊加工法で巻いてスパイラル(渦巻)状のコイルにしたものを、多段に積みあげて、一つのコイルパッケージに仕上げる。

チューブ内に液体を、チューブ外に気体か液体を通すことによって熱交換を行う。

チューブ外側の流体はチューブに直角に流れしかも温度勾配は向流方式のため、すぐれた性能が得られる。(図-2 リサーマの構造 参照)

* 鋼鉄本鉄工所・開発事業部・第1G

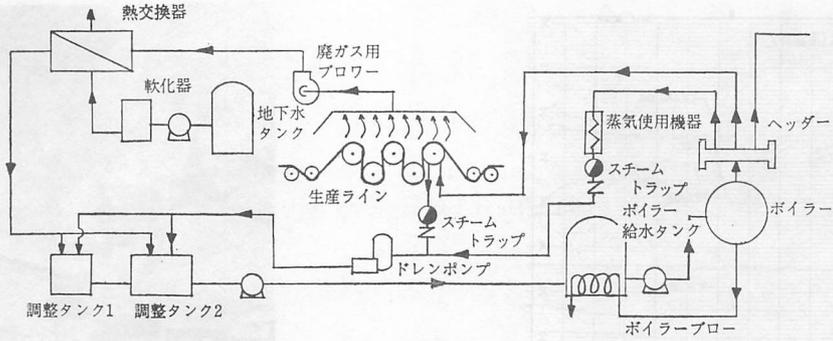


図-1 フローシート

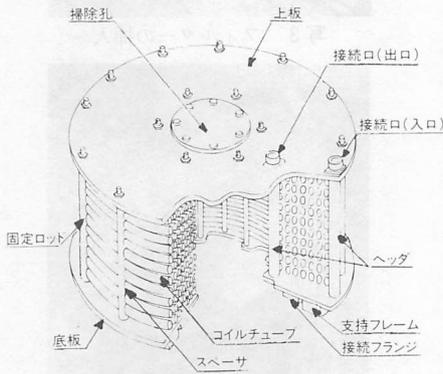
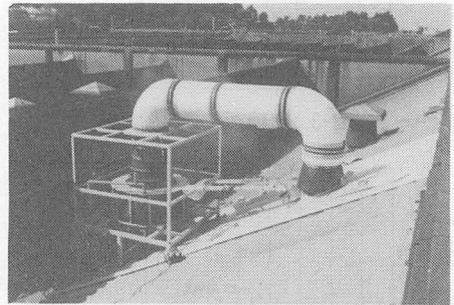
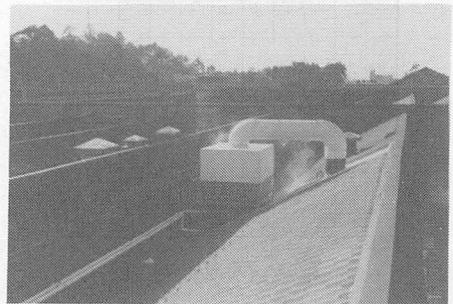


図-2 リサーマの構造



写1 設置工事



写2 稼働中の全景

3. 稼働実績

設置工事中の写真と稼働中の全景写真を写1, 2に示す。稼働中において、廃ガスの温度と風量が比較的安定している時間帯で廃ガス温度が高温時と低温時の2例についての稼働実績を表1, 図-3, 4に示す。

4. 考察

4.1 稼働時間について

熱回収フロー(図-1)において、廃ガス用のブローと給水ポンプは共に生産ラインの機械と連動しているが、給水ポンプについては、調整タンク1, 2の水位に優先的に連動しており、タンクが満水のときは生産ラインが稼働中で、廃ガスが出ている場合においても、熱回収は行われていない。このために、生産ラインの稼働時間が16時間程度に対して「リサーマ」の廃熱回収時間は13時間程度である。

表1 稼働実績データ

	CASE 1 (高温時)	CASE 2 (低温時)
廃ガス 入口温度: °C	55.0	43.5
出口温度: °C	49.0	36.5
風 量: m ³ /hr	12,000.0	12,000.0
相対湿度: %	85.0	85.0
地下水 入口温度: °C	16.0	16.0
出口温度: °C	52.5	40.0
流 量: l/hr	3,500.0	3,500.0
交 換 熱 量: kcal/hr	127,750.0	84,000.0
水 側 温度効率:	0.936	0.873
ガス側 温度効率:	0.154	0.255
総括伝熱係数: kcal/m ² hr °C	137.1	111.8

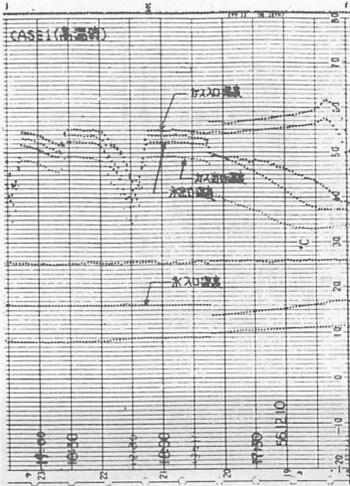


図-3 実績グラフ(高温時)

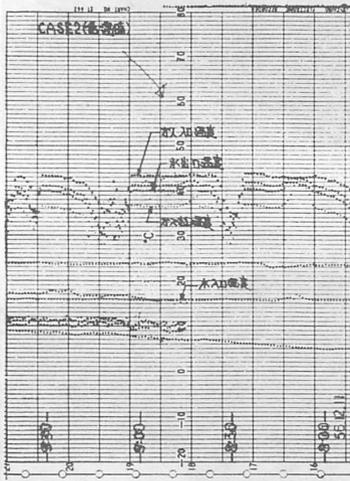
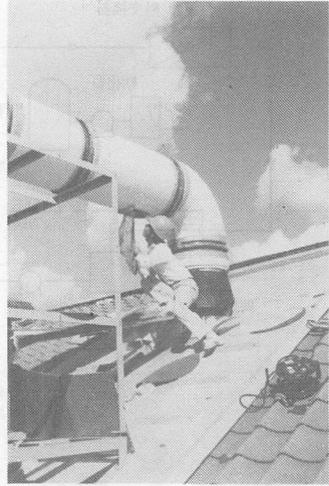


図-4 実績グラフ(低温時)



写3 フィルターの挿入



写4 紙状に付着した綿塵ダスト

4.2 回収熱量とメリットについて

廃ガス温度が変化するため、回収熱量も異なるが表1のCASE 1(高温時)、CASE 2(低温時)の回収熱量をそれぞれ、最大値(127,750 kcal/hr)と最小値(84,000 kcal/hr)とすると、年間の回収熱量および重油換算メリットは表2の様になる。

但し

1日の稼働時間	13時間
年間の稼働日数	280日
重油の発熱量	9,800 kcal/l
ボイラー熱効率	80%
重油単価	65円/l

表2. 回収熱量とメリット金額

回収熱量	465.0 ~ 305.8 (10 ⁶ kcal/年)
メリット金額	3,855 ~ 2,535 (10 ³ 円 /年)

4.3 ダストの付着について

ダストの付着については事前チェックのために、“リサーマ”の稼働に先立って、漁網製フィルターをダクト内に挿入し、付着状況を調べたところ、5日間で綿塵などがフィルターの全面に紙状に付着し閉塞した。(写3、4)

しかしながら、フィルターによるダスト除去ではメンテナンス上、問題が多いため、本稼働では、フィルター除去は行わずに、“リサーマ”へのダスト付着状態を見ながら、自動洗浄(ノズル等による散水)を行う予定であったが、結露水が多量に発生するため、結露水によって自動洗浄が行われている状態になり、問題は生じていない。表1のCASE 1(高温時)における結露水は約170 kg/hr(計算値)にもなる。

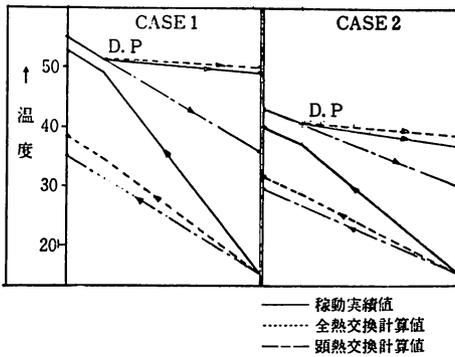


図-5 実績値と計算値の比較図

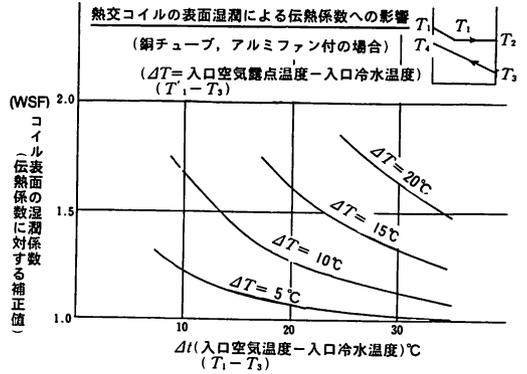


図-6 参考図(ファンコイルにおける湿潤効果)

表 3 実績値と計算値の比較

区 分 項 目	稼 動 実 績 値		理 論 計 算 値			
			全 熱 交 換 計 算 値		顕 熱 交 換 計 算 値	
	CASE 1	CASE 2	CASE 1	CASE 2	CASE 1	CASE 2
廃ガス 入口温度: °C	55.0	43.5	◇ 55.0	◇ 43.5	◇ 55.0	◇ 43.5
出口温度: °C	49.0	36.5	50.1	38.7	36.4	30.0
露点温度: °C	51.6	40.0	51.6	40.4	—	—
風 量: m ³ /hr	12,000	12,000	◇12,000	◇12,000	◇12,000	◇12,000
相対湿度: %	85.0	85.0	◇ 85.0	◇ 85.0	◇ 85.0	◇ 85.0
地下水 入口温度: °C	16.0	16.0	◇ 16.0	◇ 16.0	◇ 16.0	◇ 16.0
出口温度: °C	52.5	40.0	38.2	31.2	35.3	29.5
流 量: l/hr	3,500	3,500	◇ 3,500	◇ 3,500	◇ 3,500	◇ 3,500
交 換 熱 量: kcal/hr	127,750	84,000	77,962	53,522	67,730	47,374
水 側 温 度 効 率: —	0.936	0.873	0.569	0.553	0.495	0.491
ガ ス 側 温 度 効 率: —	0.154	0.255	0.126	0.175	0.477	0.491
総 括 伝 熱 係 数: kcal/m ² hr°C	137.1	111.8	43.2	43.2	42.9	42.9

◇印は計算条件値

4. 4 湿潤効果について

「リサーマ」における湿潤効果を見るために、顕熱交換の理論計算値と湿潤効果を考慮しない総括伝熱係数での全熱交換の理論計算値を稼働実績値と比較した。

結果を表3および図-5に示す。この結果より、湿潤効果(結露)に因る総括伝熱係数の増大が水側の出口温度を著しく上昇させることがわかる。

このように熱交換チューブの表面湿潤による伝熱係数への影響は大きいものがある。参考として図-6にファンコイルにおける例を示す(熱交コイルの表面湿潤による伝熱係数への影響: 建築設備ハンドブックより引用)。この例においてはΔt(入口空気温度と入口冷水温度の差)とΔT(入口空気露点温度と入口冷水温度の差)の最大値は、それぞれ20°Cと30°Cであるが、本報文のデータにおいては40°Cとかなり大きい。

一般に知られているように、蒸気凝縮を伴う境膜係数の変化には膜状凝縮(Filmwise condensation)と滴状凝縮(Dropwise condensation)の2系体があ

るが、ポリエチレン、ポリブデンなどは吸水率がきわめて低く、水をはじきやすいため、湿潤効果が大きい滴状凝縮になり易いことが考えられる。いずれにしても、ファンコイルにおける例との数字的な比較はできないが、プラスチック熱交換器「リサーマ」の場合でも、熱交換チューブの表面湿潤により伝熱係数が高くなる傾向が確認できた

5. おわりに

プラスチック熱交換器「リサーマ」による廃熱回収システムによって、湿り廃ガスからの熱回収は順調に行われている。本報文では、湿りガスを対象としたが、温排水からからの熱回収でも、他業種のK社等で行われている。

参 考 資 料

- 1) 熱交換器ハンドブック, 323 - 336, (昭和52年)
- 2) 建築設備ハンドブック, 371 - 373, (昭和51年)