

地熱発電プラント向け冷却塔納入例紹介

A Cooling Tower for Tohoku Electric Power Company, Inc.



(気)生産部 技術課
小池 一成
Kazushige Koike

当社は1995年に三菱重工業(株)殿が納入した、東北電力(株)殿澄川地熱発電所(秋田県)向け50 MW 発電プラントの、復水器用冷却水冷却装置として冷却塔を納入した。

この冷却塔は、一般工業用として多数の実績を有する当社の大型木製冷却塔の一つで、発電プラントの立地条件に適合するようコンパクトにまとめられた一例として、次にその概要を紹介する。

Shinko Pantec Company, Ltd. installed a cooling tower as a equipment of producing cooling water for a 50MW geothermal power plant turbine condenser for Sumikawa Geothermal Power Station, Tohoku Electric Power Company, Inc., which is located in Akita Prefecture, delivered by Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. in 1995.

This cooling tower is one of the largest wooden cooling towers, and an example of cooling towers compactly conforming to conditions of power plant and its location.

The followings show the cooling tower outlines.

Key Words:

冷 却 塔
プ ル ー ム
地 熱 発 電

Cooling Tower
Plume
Geothermal Power Plant

まえがき

一般に地熱発電所は内陸に位置しているため、発電所の近くから連続的に十分な量の冷水を得ることが難しい。そのため、冷却塔が重要補機の一つとして設けられる。

冷却塔性能を長期にわたり維持し、安心して運転するために、計画段階に冷却塔が建設される地域の気象条件や環境条件の調査を充分に行い、冷却塔の規模、構成部品の材質、熱交換部である充填材の型式等の仕様決定を厳格に行うと同時に、冷却塔排気の影響、冷却塔の騒音が与える環境への影響等についても充分検討を行い、立地条件に適合した厳密な冷却塔仕様を決定する。

本稿では、その一例である三菱重工業(株)殿が東北電力(株)殿澄川地熱発電所へ納入した、50 MW 発電プラントの

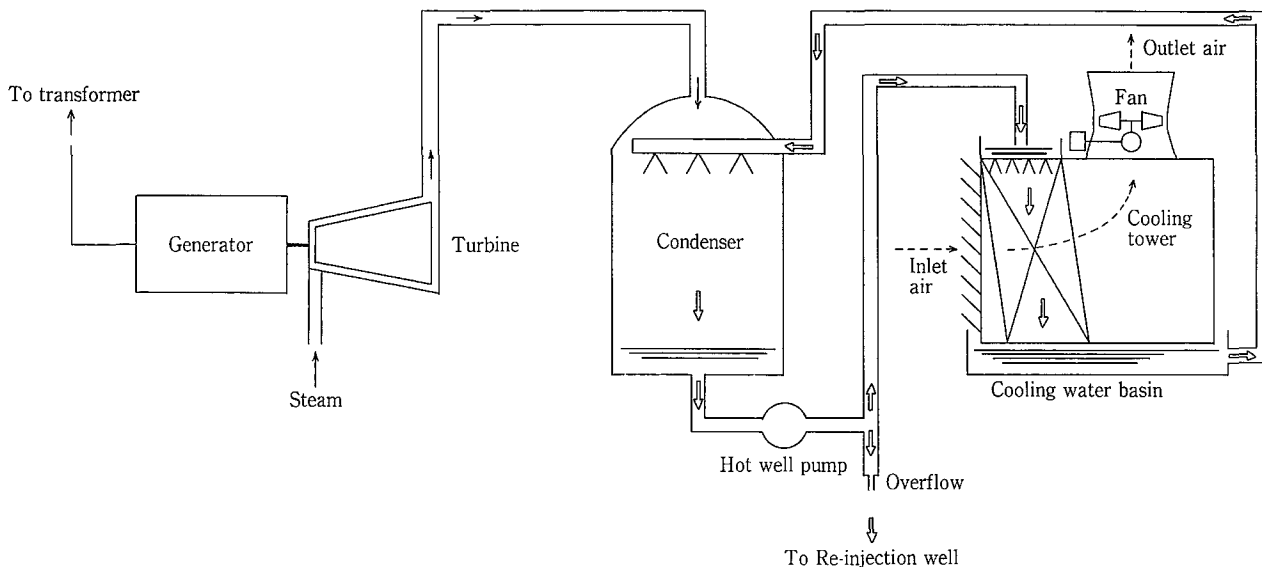
復水器用冷却水冷却装置である、当社の大型木製冷却塔の概要を紹介する。

1. 水冷却方式

澄川地熱発電所に於ける復水器用水冷却方式は循環式で、その循環水フローは第1図に示す通りである。

水冷却方式が循環式の場合の一般用冷却塔では、水の冷却に際し発生する蒸発で、循環水の一部が系外へ放出され、さらにこれに加えて、冷却塔内部の循環水の飛沫の一部が系外へ放出されて、循環水は濃縮される。この濃縮を大きくしないために、さらに幾らかの循環水をブローダウンし、これらの失われた循環水と同量の水を新たに補給して運転される。

澄川地熱発電所では、復水器がジェット型の直接接触熱



第 1 図 循環水フロー
Fig. 1 Circulating Water Flow

交換式であり、タービンで働いた後の蒸気の大部分は、冷却塔から供給された冷水と復水器で直接接触して復水し、温水となる。この温水が復水器から循環水ポンプで冷却塔に供給され、冷水となる過程では、冷却塔から系外へ放出される循環水は、一般用冷却塔の場合と同様に発生するが、系外へ放出される量がタービン排気量より少ないため、循環水系の保有水量に余剰が生じるので、循環水ポンプ出口側より排出させて地下へ還元するフローとなっている。即ち、運転中は常時新しい補給水を供給しながらブローダウンしている運転と変わりはなく、循環水に対する補給水を考慮する必要はない。

2. 冷却塔設計条件

澄川地熱発電所向け冷却塔設計条件は、次の通りである。

- | | |
|------------------------------|-------|
| (1) 冷却水量 (m ³ /h) | 9 650 |
| (2) 入口温度 (°C) | 43.5 |
| (3) 出口温度 (°C) | 22.0 |
| (4) 入口空気湿球温度 (°C) | 14.0 |

3. 冷却塔型式

冷却塔は充填材という媒介物に水を通し、空気と直接接触させて冷却する装置で、このような構成の冷却塔を湿式冷却塔と称している。

澄川地熱発電所向け冷却塔の形式は、環境対策を反映して、熱源を復水器から冷却塔への循環水(温水)とした、熱伝達のよいフィンチューブ式空気加熱器を直交流型湿式冷却塔に装備した、乾湿併用形冷却塔である。即ち、この乾湿併用形冷却塔の構造は、第 2 図に示す如く、隔壁(仕切壁)によって 1 基を 4 分割(セル)した片吸込集合型とし、充填材を自然流下する水と、ファンで導入した空気の接触が直交する直交流型片吸込湿式冷却塔と、ケーシング(外装)面に配置され、ファンで導入した空気を加熱する

フィンチューブ式空気加熱器から構成されている。

この乾湿併用形冷却塔の特長は、空気加熱器の高さを冷却塔据付基礎から冷却塔々体の最上部まで有効に活用することが出来る上、冷却塔プレナム部(ファン下部空間)を任意に拡張することが出来るので、大容量の空気加熱器を採用する場合に適している。また、湿式冷却塔の充填材を通過した湿り空気と、空気加熱器を通過した乾き空気を混合させる上で、プレナム全体を使用するので非常に良好な混合効果を得ることが出来る。混合方式からこの冷却塔を交叉流式乾湿併用形冷却塔とも称している。尚、空気加熱器を写真 1 に示す。

4. 環境対策

湿式冷却塔には、二次的に発生する可視ブルーム(霧)、騒音、排出ドリフト(系外へ飛散する水滴)等の問題がある。湿式冷却塔は周辺の環境に影響を及ぼさぬよう、気象や環境条件に適合することが重要である。澄川地熱発電所向け冷却塔には、次の環境対策について検討が行われた。

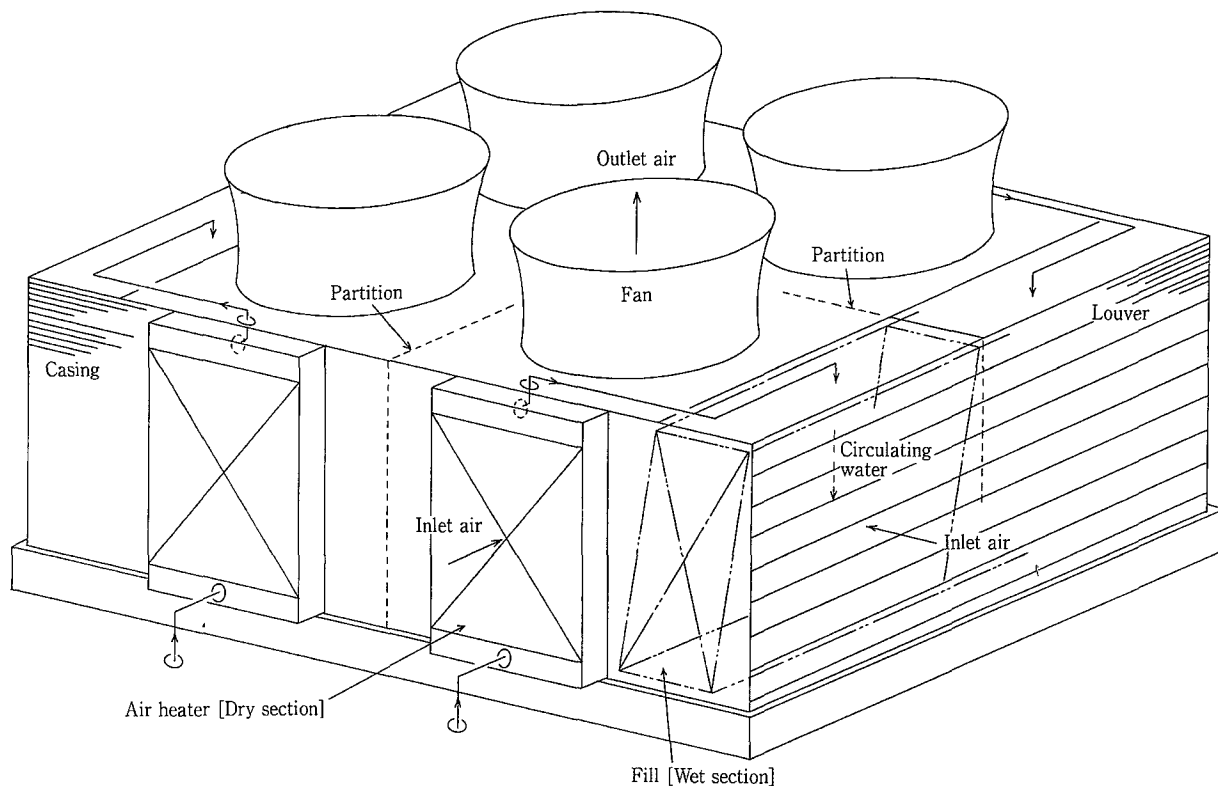
4. 1 可視ブルーム対策

冷却塔の排出空気は、循環水が冷却する時の蒸発で水蒸気を多く含み、100%に近い飽和度となっている。大気が低温となる寒冷期や高湿度の時期には、大気は冷却塔が排出する水蒸気が凝縮し白煙となる。この白煙を可視ブルームと称している。

一般に湿式冷却塔を運転した時に発生する可視ブルームの周辺への影響としては、日照障害、視覚障害、交通障害、地面、機器、構築物等の周辺の凍結、風下の増湿、地域気象への影響等がある。

澄川地熱発電所は海拔 1 062 m に位置し、十和田八幡平国立公園に隣接している。

気象は年間を通じ地上の気象とは異なり、特に冬期は厳



第 2 図 乾湿併用形冷却塔説明図
Fig. 2 Illustration of Wet & Dry Cooling Tower

寒である。当然、冷却塔の可視ブルームの及ぼす影響について、敷地面積と塔高の制約を考慮に入れて検討が行われた。

この検討に必要な可視ブルームの影響予測、及び可視ブルーム低減に関する技術開発は、環境条件によって大きく影響され、形が常に流動的な可視ブルームの挙動であるだけに、理論計算や模型実験だけでは的確な把握が不可能で、実塔規模での実験が必要である。

当社は実塔に基づく実証試験を通して開発した、当社独特の湿式冷却塔に於ける可視ブルーム発生予測技術と、乾湿併用形冷却塔を採用した場合の可視ブルーム低減効果予測技術により、また当社が我が国で初めて1974年に納入して以来得てきた多数の乾湿併用形冷却塔納入実績資料と、ブルーム拡散シミュレーション等により検討が行われた。

4. 2 騒音対策

澄川地熱発電所では、発電所境界での騒音規制があり、発電所全体での騒音の検討が行われた。

一般に冷却塔では、ファンと冷却塔内部を移動する水の落下音が音源となるが、ファンが設置されている冷却塔々体上部、空気吸込面（系外へ出る水を受け系内へ戻す役目を担うルーバー設置面）、ケーシング表面（外装表面）、空気加熱器表面等での騒音が対象となる。

当社が実塔規模の実験で集積し、多数の納入実績で検証して得た騒音資料による、冷却塔予測騒音値を騒音シミュ

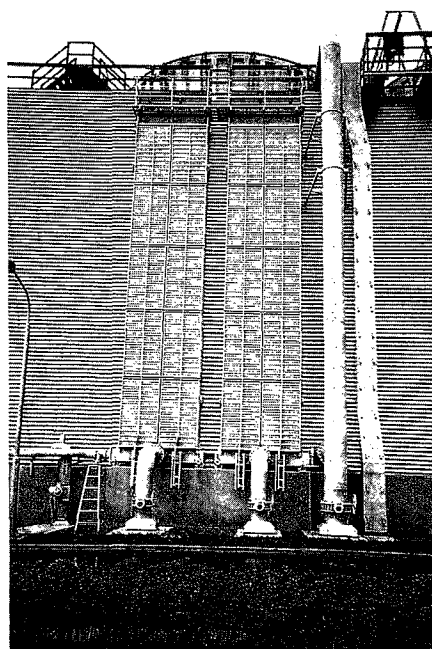
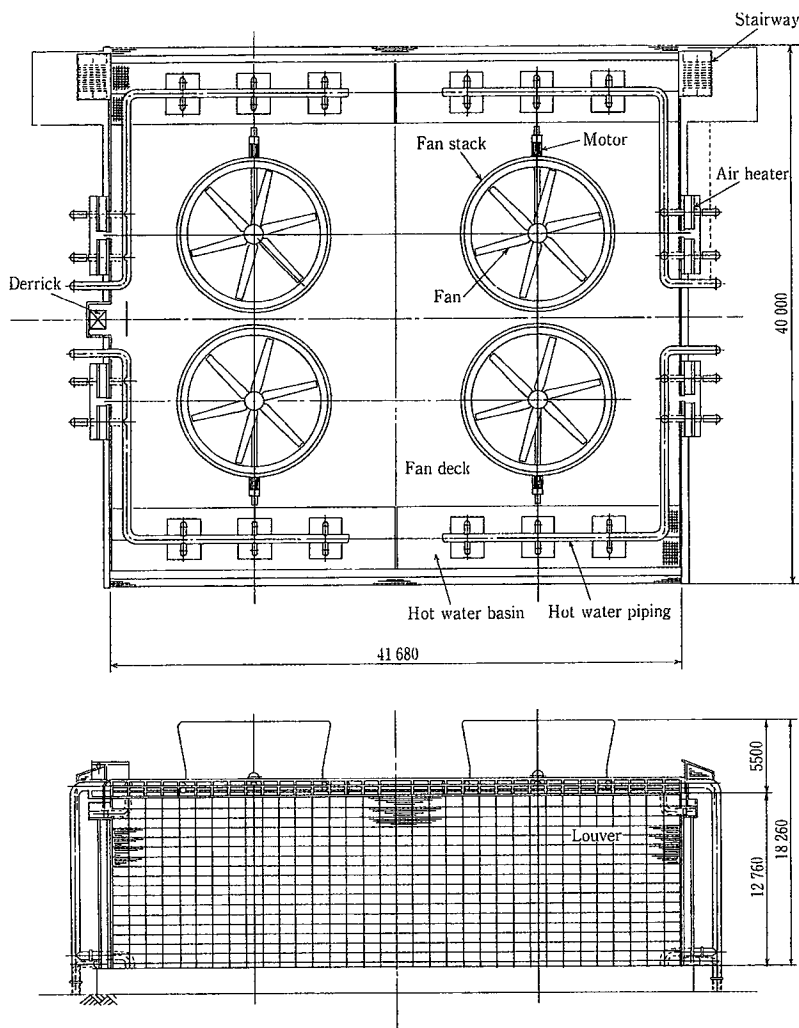


写真 1 空気加熱器外観
Photo.1 Outside View of Air Heater

レーションの一つの資料とした。

冷却塔に対しては、水の落下音を減ずべく空気吸込部と充填材部の水が落下する部分へ、消音マットを設置した。



第3図 冷却塔外観図
Fig. 3 Schematic View of Cooling Tower

4.3 排出ドリフト対策

冷却塔内部の充填材で水と空気が接触し、水の一部は微小な水滴に変化しつつ移動する。この水滴の一部が、水との接触を終えて排出される空気に伴い系外へ飛散する。この系外へ飛散する水滴を排出ドリフトと称し、冷却塔周辺の機器、構築物等へ影響を及ぼすので極力防止する必要がある。

一般に冷却塔には、充填材に隣接して排出空気に伴うドリフトを系内へ戻す役目を担う、エリミネーターが配置されている。

エリミネーターの機能は、エリミネーターを通過して系外へ放出される排出ドリフト量を、循環水量に対する率を用いて表し、これを飛沫損失と称している。この率が小さければ小さいほど高効率のエリミネーターである。

当社は、ドリフト拡散に関する研究を初め、ドリフト計測技術、ドリフト低減の技術を完成しており、この過程でエリミネーターの効率を実塔規模による実験で検証し、また、多くの納入実績でも検証された、高効率のハニカム型エリミネーターを澄川発電所向け冷却塔に使用した。

4.4 地熱蒸気中の硫化水素 (H₂S) 対策

地熱蒸気中には不凝縮ガスが含まれており、復水器から空気抽出装置で不凝縮ガス及び空気等を抽出している。不凝縮ガスには、少量ではあるが硫化水素が含まれているた

め、このガスによる周辺環境への影響を最小限に押さえるために、冷却塔の排出空気で希釈して大気に拡散している。

5. 冷却塔仕様

澄川地熱発電所向け冷却塔外観図及び断面図を、それぞれ第3、4図に示す。また、冷却塔仕様は次の通りである。

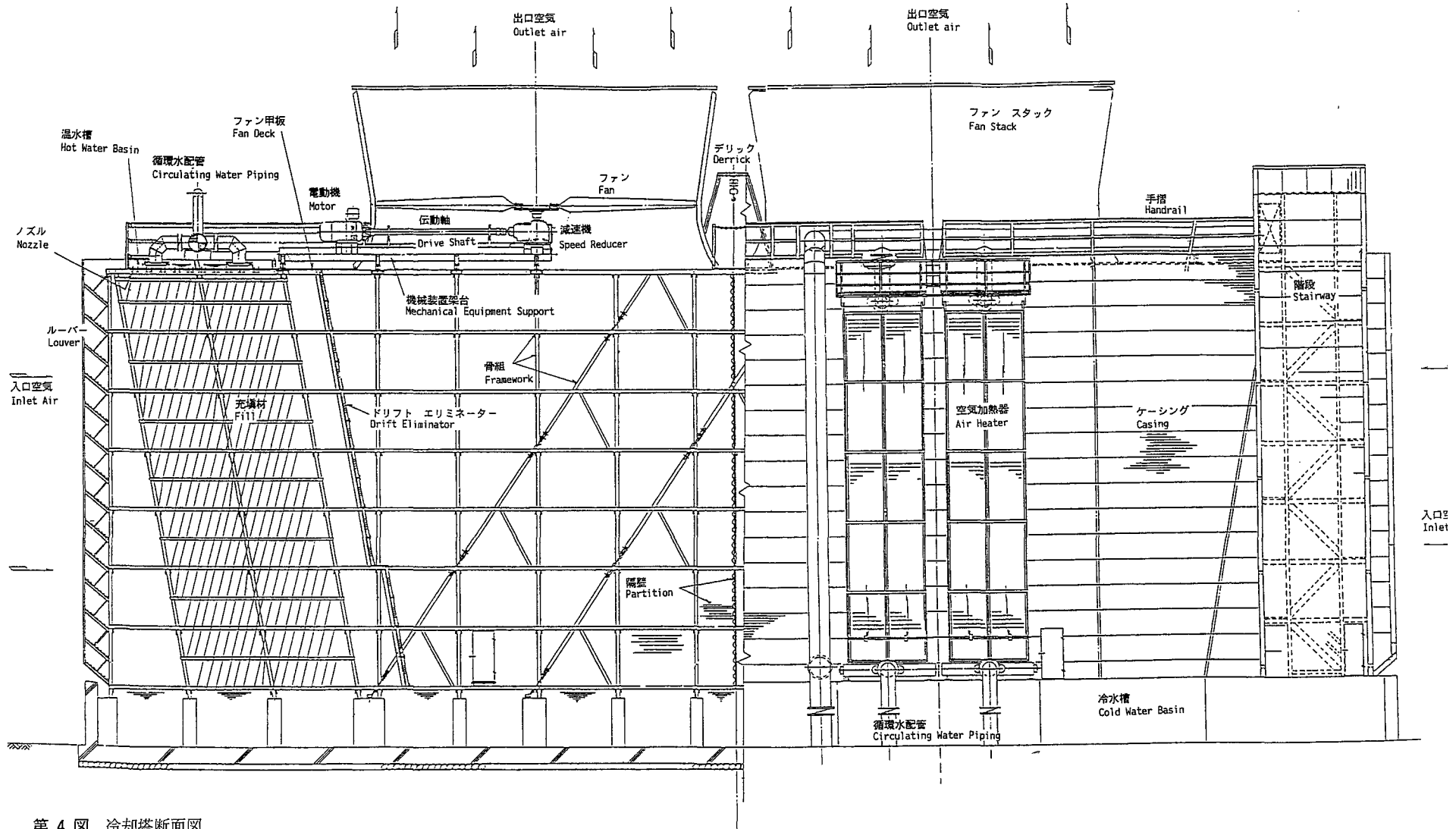
5.1 塔体

- | | |
|---------|--|
| (1) 型式 | 乾湿併用集合型クロスフロー
(直交流) 冷却塔 |
| (2) 充填材 | スプラッシュ型 |
| (3) 基数 | 1基/4セル |
| (4) 寸法 | ・全長 41 680 m
・全幅 40 000 m
・塔高 冷却塔下部冷水槽より
12 760 m
・全高 冷却塔下部冷水槽より
18 260 m |

5.2 機器

5.2.1 ファン

- | | |
|--------|--------------|
| (1) 型式 | 手動可変ピッチ軸流型 |
| (2) 直径 | 9 760 mm |
| (3) 台数 | 1台/セル, 合計 4台 |



第 4 図 冷却塔断面図
Fig. 4 Section of Cooling Tower

5. 2. 2 ファン用電動機
- (1) 形 式 スペース ヒーター付
屋外形全閉外扇三相誘導電動機
 - (2) 定 格 200 Kw, 4 P, 400V,
50 Hz
 - (3) 台 数 1台/セル, 合計 4台
5. 2. 3 ファン用減速機
- (1) 型 式 スパイラルベベル及びヘリカル
ギア-2段減速
 - (2) 付属品 ・ヒーター
・油温調節器
・油温検出用センサー
 - (3) 台 数 1台/セル, 合計 4台
5. 2. 4 ファン用伝動軸
- (1) 型 式 浮遊式シャフト カップリング
 - (2) 台 数 1台/セル, 合計 4台
5. 2. 5 空気加熱器
- (1) 型 式 フィン チューブ式
カバー プレート ヘッダー型
 - (2) 付属品 手動開閉式ダンパー
 - (3) 台 数 2台/セル, 合計 8台
5. 2. 6 振動センサー
- (1) 型 式 接触型
 - (2) 用 途 ファン装置
 - (3) 台 数 1台/セル, 合計 4台

6. 冷却塔材質

主な冷却塔構成部品の材質は次の通りである。

- (1) 塔体骨組 木材 (防腐処理施工ダグラス
ファー)
- (2) ケーシング FRP (ガラス繊維強化プラス
チック)
- (3) ルーバー FRP
- (4) 充填材 PP (ポリプロピレン)
- (5) エリミネーター 硬質PVC
(硬質塩化ビニール)
- (6) 散水ノズル PP
- (7) ファンスタック FRP
- (8) ファンブレード FRP
- (9) 伝動軸 中間軸 コンポジット ファイバー
カーボン
- (10) 空気加熱器 ステンレス
- (11) 循環水供給管 FRP
- (12) 排ガス用管 ステンレス
- (13) ルーバー部散水管 ステンレス

7. 塗装仕様

塗装は物体 (被塗物) の保護 (防錆, 耐水等), 美観, 色彩調節を目的とした役割や作用を付与するが, 澄川地熱発電所では, 周辺環境との調和がとれた色彩と腐蝕防止を目的として, 排ガス配管 (ステンレス) にはシリコン系耐熱塗料, その他はエポキシ系塗料を使用した。

8. 塔体骨組

冷却塔はその構造から建築物ではなく, 工作物として取り扱われるが, 塔体構造計算は建築基準法施行令に基づいて行い, 長期荷重と短期荷重の両面から検討を加え, 骨組

部材断面を決定した。写真2に冷却塔々体骨組を示す。

9. 寒冷地対策

冷却塔は屋外に設置されるため, 周辺の環境に影響を及ぼさぬよう, 気象や環境条件に適合することが重要であると同時に, 気象条件によって損傷や損壊, 或いは運転不能等の事態に至らぬ施策を必要とする。

澄川地熱発電所は積雪地域にあり, 冬期は外気温が -20°C にも及ぶ厳寒期があり, 凍結防止対策は極めて重要である。

かかる寒冷地での凍結コントロールには, 熱負荷上昇, 温水量増量等の様な冷却塔運転手法によって解決出来るものと, 運転手法を変えても気象の勢力に負けて解決出来ぬ場合がある。

澄川地熱発電所向け冷却塔に対し採用した対策の概要を次に示す。

9. 1 ルーバー部への対策

水のほとんどは冷却塔内部の水の流れ落ちる部分ではなく, 冷却塔の比較的乾燥した部分, 即ち, 充填材への導入空気入口であるルーバー部の, 降雨, 降雪, 落下水の水沫等が冷たい空気と接触する部分に形成される。冷却機能や部品に損傷を与えぬ程度の凍結は支障ないが, 凍結は短時間で大きく成長してルーバー部を塞ぎ, 運転に支障を来すのみならず, ルーバーの変形, 損傷, 損壊, 脱落や, 凍結部落下による部品損傷の原因になることがあるので, 寒冷期の運転では凍結及び着氷を極力避けることが重要である。

澄川地熱発電所向け冷却塔では, ルーバー部への水の落下を減らし, 水の系外への離散を少なくするために, 充填材部とルーバーとを離れた構造とし, ルーバー上に熱源を循環水に求めた散水装置による凍結防止対策と, さらに, 冷却塔最上部に配置の温水槽の温水を利用した越流式凍結防止対策とを併用し, ルーバー部凍結防止対策とした。

散水装置と越流式凍結防止対策の写真を, それぞれ写真3, 4に示す。

9. 2 ファン用減速機潤滑油への対策

寒冷期に於ける停止後の運転再開に支障がないよう, 減速機に潤滑油加熱用ヒーター, 温度調節器, 温度検出用センサーを設置し, 油温の制御温度維持と温度異常警報システムを採用した。

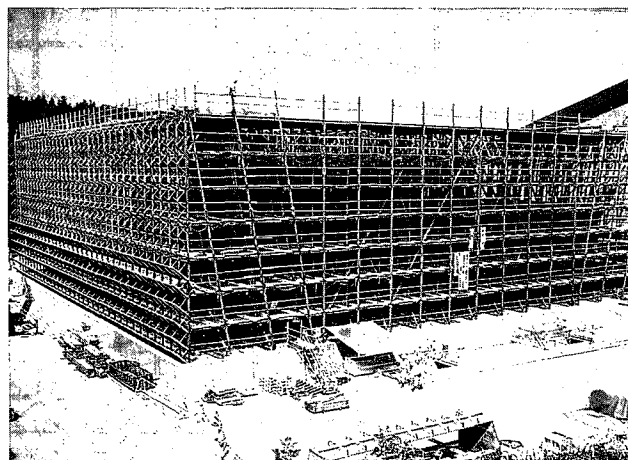


写真2 冷却塔骨組

Photo.2 Framework of Cooling Tower

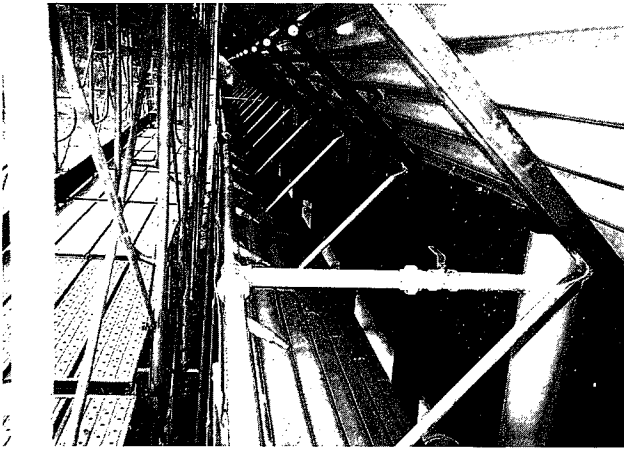


写真 3 凍結防止用散水装置
Photo.3 Watering Device for Ice Control

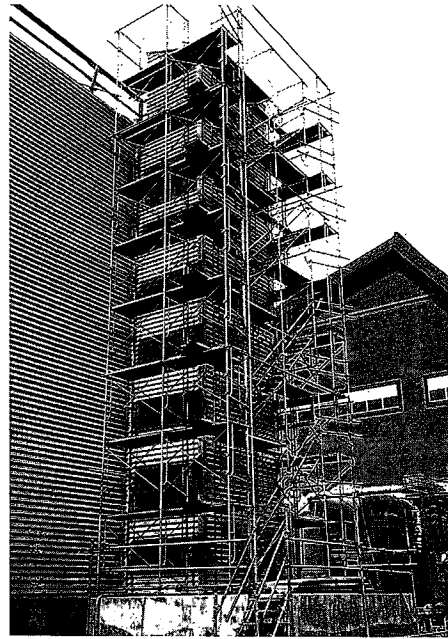


写真 5 階段外観
Photo.5 Outside View of Stairway

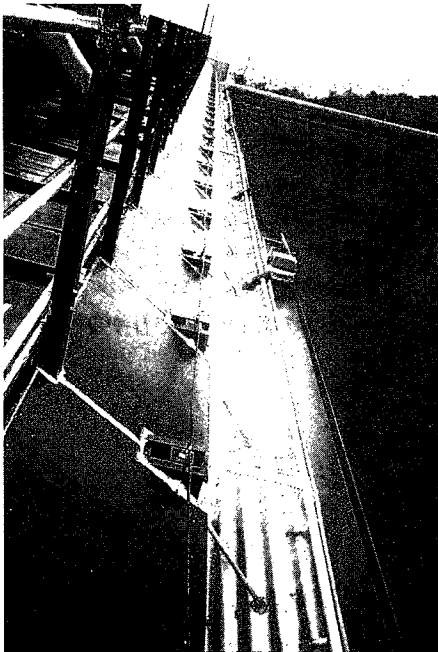


写真 4 越流式凍結防止対策
Photo.4 Overflow Type Ice Control Device

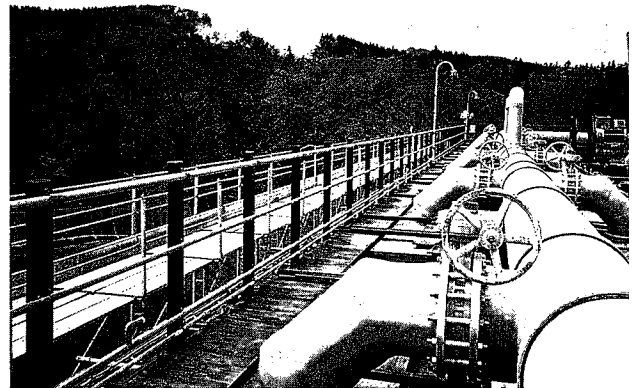


写真 6 鋼管製手摺
Photo.6 Handrail made of Steel Pipe

9.3 冷却塔昇降階段への対策

冷却塔には塔上へのアクセスとして階段を設けているが、冬期の保守・点検等のための積雪対策として、通路を確保するために階段全体を外装材で覆い、明かり取りを設けた構造にした。

写真 5 に階段の外観を示す。

9.4 塔上手摺への対策

寒冷期に於ける厳寒期の気象下で、風向きが影響して降雪や一部の冷却塔排出空気が塔上手摺で凍結し、氷柱や氷壁となり、環境の変化に伴って氷塊となって落下し、冷却塔構成部品の損傷や損壊の原因となることがある。

澄川地熱発電所では、風向きを考慮に入れて一部の塔上手摺を鋼管製手摺とし、熱源を循環水に求めた温水循環式

凍結防止対策を施工した。

鋼管製手摺の一部を写真 6 に示す。

9.5 水溜まり発生部への対策

寒冷期に於ける運転停止時の凍結を防止するために、空気加熱器、ルーバー部散水装置、及び配管内の水溜まりが発生する部分から排水が可能な様に、ドレン弁やプラグを設置した。

10. その他の対策

10.1 充填材への対策

フィルム型充填材（一般に薄い樹脂製フィルムシートで構成）では、不純物が付着して目詰まりを起し易いため、目詰まりを起し難い格子状ブラッシュ型充填材を採用した。



写真 7 充填材
Photo.7 Fill

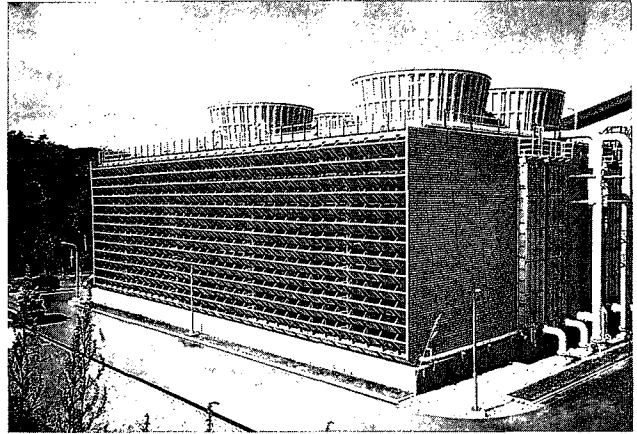


写真 8 冷却塔外観
Photo.8 Outside View of Cooling Tower

充填材を写真 7 に示す。

10.2 ファン装置への対策

ファン部の、ファン、減速機、伝動軸、及び電動機に起因する振動は、そのいずれから発した振動でもファン部全体に影響を及ぼす。従って、早期に異常振動を検出するために振動センサーをファン部に設置した。

10.3 落雷対策

冷却塔全体を落雷から保護するために、避雷設備を設置した。

むすび

今回は、当社の有する産業用冷却塔の地熱発電所向け納入例を取り上げ、その概要を紹介した。

本稿が地熱発電に限らず、あらゆる産業のユーザーの冷却塔計画に参考になれば幸いである。

環境保護はあらゆる分野の産業に求められているところであり、当社の冷却塔は必ずやユーザー各位のニーズに応えることが出来るものと確信している。

終わりに際し、写真 8 にその外観を示してむすびとする。

連絡先

小池 一成 気熱装置事業部
生産部
技術課
参事
TEL 078 - 232 - 8135
FAX 078 - 232 - 8066
E-mail k.koike@pantec.co.jp