

エアフィンクーラの安全技術

Safety Technology for Air-Cooled Heat Exchangers

河 合 理 文 技術開発本部基盤技術研究所解析技術部 主幹 博士（工学）

宮 本 仁 志 株式会社 IHI プラントエンジニアリング 技術顧問 技術士（機械部門）

エアフィンクーラ（空冷式熱交換器：AFC）は大気を安定した無尽蔵な冷熱源として扱う装置であり、海水、河川水を用いる場合と比較して環境変化に強く、非常時の安全設備として貢献することができる。当社の AFC は、大規模な地震に対する耐震性、厳しい風環境下における熱交換性能について、種々の手法によって十分な検討を行って設備自体の安全性を確保している。本稿では原子力施設向けの AFC について、耐震設計手法、冷却性能確保のための風洞実験とシミュレーションの概要と実績を紹介する。

The air-cooled heat exchanger is a device that enables a large amount of heat exchange (cooling) by utilizing the atmosphere as a stable and infinite heat sink. It is widely used in general industrial plants, and nowadays it is also utilized in nuclear facilities. This type of exchanger is advantageous in that it can be constructed in any location without having to be near the sea or rivers. It can be operated safely if a natural disaster, such as a tsunami or flood, occurs, thus contributing to the safety of the mother facility. IHI's air-cooled heat exchangers are designed to ensure safe operation and withstand a large earthquake or severe atmospheric conditions. This report describes the technologies used to establish these safety features and their performance.

1. 緒 言

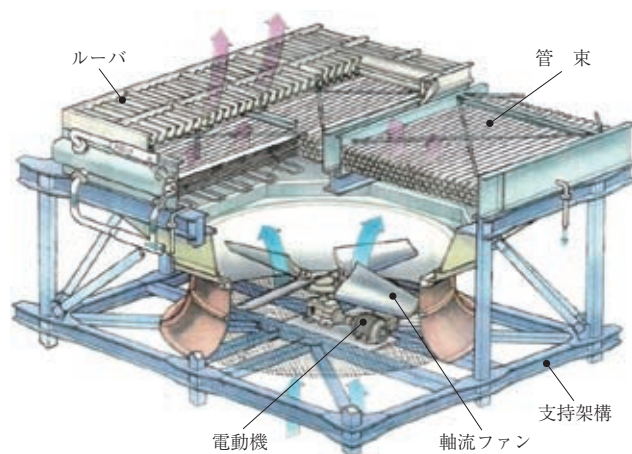
空冷式熱交換器（Air-Cooled Heat Exchanger、通称 Air Fin Cooler：以下、AFC と呼ぶ）は大気を冷熱源として大規模な熱交換を行う装置であり、石油化学プラント、火力発電プラント（水系熱交換システムに比べ建設コストが掛かるため国内では小規模の自家発電などに限定）など一般産業用に 50 年以上にわたって多くの実績がある。さらに、約 20 年前からは原子力施設においても重要な設備として採用が進んできた。AFC は湿式冷却塔のオープンサイクルとは異なり、完全なクローズド冷却サイクルであり、閉じ込め機能を基本とする原子力施設に合致した設備である。

AFC は冷却源としての水を必要としないため、海岸や河岸から離れた任意の箇所に設置することで、津波、洪水などの自然災害からの想定しにくい危険から施設の安全維持に貢献することができる。特に原子力施設向けでは、AFC 自体が想定する環境下で本来の機能を発揮できなければならない。

本稿では原子力施設向けに設置した AFC について、設計段階における耐震性検討⁽¹⁾と厳しい風環境下における冷却性能確保のための検討⁽²⁾および運転の実績について概要を紹介する。

2. 耐震設計技術

第 1 図に AFC の代表的構造例を示す。AFC は鉄骨支持架構の上に管束（内部をプロセス流体が通るフィン付き伝熱管が集合したもの）を載せ、冷却装置として大型軸流ファンとその駆動装置を管束の上流側（または下流側）に設置し、さらにシステム要件、環境条件に応じてルーバを搭載している。全体として所要設置面積が大きく、比較的重心の高い構造物となっている。したがって、



第 1 図 AFC の構造

Fig. 1 Structure of air-cooled heat exchanger

AFC は大型支持架構を中心とする構造体であり、安全設備の AFC としては、耐震強度を評価するうえで架構の評価に限らず、特に冷却機能を維持するための送風機能維持、伝熱機能確保が重要である。

原子力施設の機器では、設置場所での地震応答の影響を最小限とするため剛な構造とすることが望ましいが、AFC では本来の冷却性能を維持するため、十分な大気流路面積をファンの下流側または上流側に確保する必要がある。このため、共振を避けた範囲で経済性を考慮した最適な振動特性をもった構造設計が肝要である。設計手法の詳細は文献に譲るが、支持架構、ファン送風部を個々にモデル化し、地震応答を予測することがポイントになる。

第 2 図に原子力施設向け AFC を示す。上述の耐震設計を経て認可・建設され、青森県内の原子力施設において運転開始後 16 年以上にわたり安定した運転を継続している。第 1 表にその主要諸元を示す。

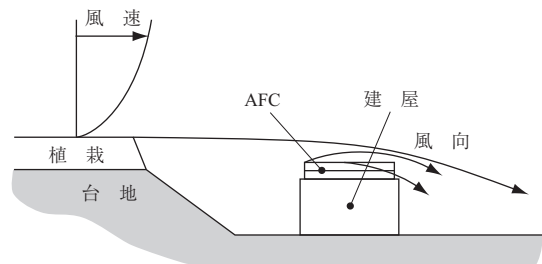


第 2 図 原子力施設向け AFC
Fig. 2 Air-cooled heat exchanger for a nuclear facility

3. 冷却機能確保のための技術

安全系の AFC はいかなる環境条件においても所定の冷却機能を発揮できなくてはならない。通常は、建設地における過去の最高気温を基に、その発生確率と異常気温時の冷却システムの運用を考慮して外気条件を決める。原子力施設の最終ヒートシンク（放熱装置）の場合、アプローチ温度（AFC からの冷却水供給温度 - 設計外気温度）が 5 ~ 10℃あるいはそれ以下が要求されるため、これが膨大な建設費を生む要因となる。一方で、周囲の地形あるいは設置場所の環境によっては、夏場の風の影響によって AFC からの暖まった排気が吸気側に一部戻り、冷却空気温度を上昇させる現象がある。特にアプローチ温度が数度の設計条件では冷却機能に多大の影響を及ぼす。これをリサーキュレーションと呼んでいる。

福島県内の原子力施設に設置した AFC においては、第 3 図に示すような地形と風向の関係から、排気が十分に上昇することができずリサーキュレーションが発生する恐れがあった。そこで事前に風洞実験および流れのシミュレー



第 3 図 地形と流れの状況
Fig. 3 Schematic of the terrain and flow pattern

第 1 表 原子力施設向け AFC の諸元

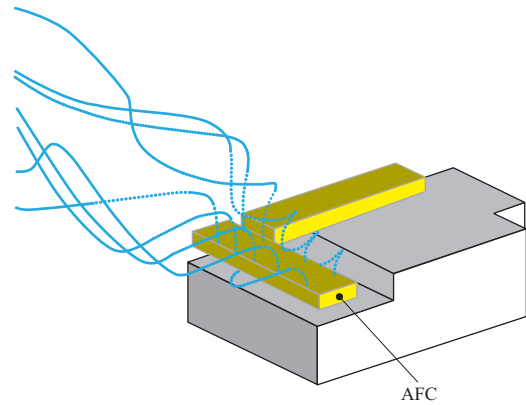
Table 1 Specifications of the air-cooled heat exchanger for a nuclear facility

項	目	単 位	仕 様
形	式	-	押込通風型
交 換 熱 量		MW	26.7
伝 熱 面 積		m ²	75 400
主 要 材 質		-	SGV450/STB340
耐 震 ク ラ ス		-	As
主 要 寸 法		m	37.5 (幅) × 28.5 (奥行) × 10.1 (高さ)
据 付 質 量		t	1 320
設計一次固有振動数		Hz	11.1
ファン	台 数	台	20
	形 式	-	4877OD 軸流ファン (FRP 製)
ファン用電動機	形 式	-	全閉外扇型
	出 力	kW	37 (6 極)

シオン (CFD: Computational Fluid Dynamics) を実施して AFC の建屋における最適な配置や高さを検討した。

第 4 図に風洞実験のモデルを示す。中央が AFC を設置する建屋で、その屋上に直角に並んだ二つの矩形部分が AFC である。周囲の地形や主な構造物も可能な限り再現した。AFC のモデルは吸気側と排気側が独立となっている。リサーキュレーション率、すなわち排気側からの排気が、吸気側からどれくらい再吸気されたかが正確に求められるようになっている。第 5 図は結果の例で、ある配置における風向・風速とリサーキュレーション率の関係を示す。

第 6 図にシミュレーションの結果の一例として排気側に入れたマーカー粒子の軌跡を示す。これはリサーキュ

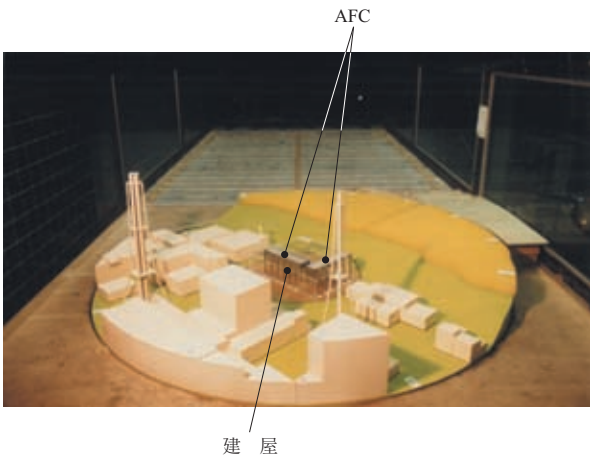


第 6 図 AFC 周りの流れの様子
Fig. 6 Flow pattern around air-cooled heat exchanger

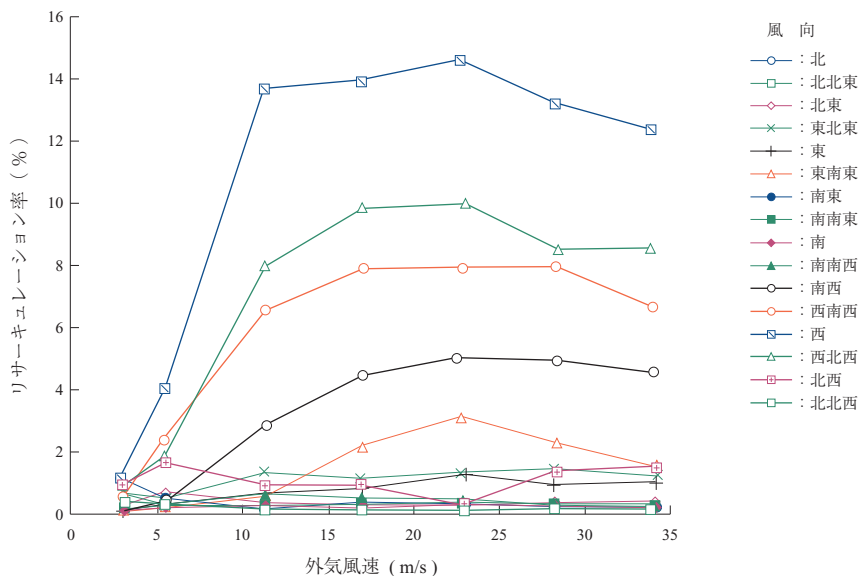
レーションが大きい場合の流れ場の様子で、AFC の周りに 2 本の渦が形成され、この影響で排気側から吸気側に流れが回っている様子が分かる。

これらの結果からリサーキュレーションのメカニズムと AFC の配置や高さとしリサーキュレーション率との関係が明らかになった。AFC を高くするほどリサーキュレーション率は小さくなるが、前章で述べた耐震設計の面からは好ましくない。そこで数多くのシミュレーションを実施し、最適な配置と高さを決定した。

以上は夏期におけるリサーキュレーションの課題解決の手法である。一方で、使用済み燃料貯蔵施設のように運転開始初期において熱負荷のない施設、あるいは通常時熱負荷のない非常用冷却設備としては、冬期の積雪、降雪、融雪など別の課題が存在する。これら課題の解決手法については文献(1)に譲る。



第 4 図 風洞実験モデル
Fig. 4 Wind tunnel test model



第 5 図 外気条件によるリサーキュレーション率の変化
Fig. 5 Variation of the recirculation ratio under various wind conditions

4. 原子力施設における実績

ここで取り上げた青森県、福島県向けの4件のAFCは設置後16年余りが経過したがいずれも順調に稼働している。昨今の猛暑を経ても所期の冷却性能を発揮し、複雑地形、冬期の厳しい風環境においても所定の性能を確保できることが分かった。

さらに、これらの原子力施設では2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の直撃を受けた。しかし、運転中の使用済み燃料貯蔵施設、および地震発生後起動した非常用設備においても所定の機能を発揮し、施設の安全確保に貢献することができた。

5. 結 言

空冷式熱交換器(AFC)に関して、特に原子力施設への適用を念頭においた耐震設計技術、熱交換機能を確保する

ための流体技術について解説した。これらに基づいて建設されたAFCは、今回の地震で耐震性が十分であることが立証され、また想定しがたい自然環境への適用性が過去16年以上にわたる運用実績から証明された。

今後、各地の原子力施設で津波による海水冷却喪失事象を考慮した非常用安全冷却設備として、AFCはその期待に十分こたえられるものと確信している。

参 考 文 献

- (1) 宮本仁志, 花輪 純: 再処理プラントにおける空冷式熱交換器の建設 火力原子力発電 第49巻 第12号 1998年12月 pp.1714 - 1721
- (2) 河合理文, 永井清之, 竹前 恵, 鈴木貴子, 安藤安則, 鈴木 幹: エアフィンクーラの熱拡散の研究 石川島播磨技報 第34巻 第2号 1994年3月 pp.115 - 119