

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	外竜巻 30 R <u>1</u>
提出年月日	令和 4 年 <u>3</u> 月 <u>18</u> 日

## 設工認に係る補足説明資料

### 竜巻防護設計の基本方針に関する

### 冷却塔の冷却性能について

1. 文章中の下線部は、R 0 から R 1 への変更箇所を示す。
2. 本資料（R 1）は、令和 4 年 1 月 26 日に提示した「竜巻防護設計の基本方針に関する冷却塔の冷却性能について R 0」に対し、ヒアリングにおける主な指摘事項である圧力損失計算に対し各値の出典を明らかにするとともに記載内容の適正化を図ったものである。

## 目 次

1. 概要	1
2. <u>冷却性能への影響</u> について	1
2.1 <u>冷却性能への影響確認方法</u>	1
2.2 損失係数の設定	<u>3</u>

■:商業機密の観点から公開できない箇所

## 1. 概要

本資料は、再処理施設の第1回設工認申請（令和2年12月24日申請）のうち、以下の添付書類に示す竜巻防護設計の基本方針を補足説明するものである。

- ・再処理施設 添付書類「VI-1-1-1-2-3 竜巻防護に関する施設の設計方針」

竜巻防護対象施設のうち冷却塔は、再処理施設の各施設を冷却した後の冷却水を、空気と熱交換することで冷却するための設備である。

本資料では、冷却塔の竜巻防護対策として飛来物防護ネットで冷却塔を覆うことによる冷却塔の冷却性能への影響確認方法について説明する。

なお、本資料で示す飛来物防護ネット設置による冷却塔の冷却性能への影響については、今回申請対象以外の再処理施設の冷却塔に対しても適用するものである。

また、本資料は、第1回設工認申請の対象設備を対象とした記載であることから、第2回設工認申請以降の申請対象を踏まえて、記載を拡充していく。

## 2. 冷却性能への影響について

冷却塔に対する竜巻防護対策は、冷却塔の冷却性能に影響を及ぼさないために、空気の流入・流出が可能な防護ネットを主構造とする、飛来物防護ネットを設置する方針としている。

上記方針を踏まえ、2.1項以降に飛来物防護ネットの設置が冷却塔の冷却性能に影響を与えないことの確認方法を示す。

### 2.1 冷却性能への影響確認方法

飛来物防護ネットを設置することで、ファンの吸気側及び排気側で圧力損失が増加する。そのため、飛来物防護ネットを設置することで増加する圧力損失と冷却塔で生じる圧力損失（既知の値）の合計値とファンの設計静圧（冷却に必要な空気流量を送り出すための圧力）を比較し、ファンの設計静圧が上回ることで、冷却塔の冷却性能（冷却に必要な空気流量）への影響を与えないことを確認する。

飛来物防護ネットを設置したことによる、ファンの吸気側及び排気側の圧力損失を下式より算出する。ここで、損失係数 $\zeta$ は未知数であることから、「2.2 損失係数の設定」に示す試験を用いて設定する。また、圧力損失の算出に用いる記号を第2-1表に示す。

$$\Delta P = \zeta \times \rho \times \frac{u^2}{2}$$

$\Delta P$  : 圧力損失 [Pa]

$\zeta$  : 損失係数 [-]

$\rho$  : 空気密度 [kg/m<sup>3</sup>]

$u$  : 風速 [m/s]

この時、ファンの風速  $u$  については、次式より算出する。

$$u = Q \div A$$

$Q$  : ファンの風量 [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$A$  : 空気流路の断面積 [ $\text{m}^2$ ]

飛来物防護ネットを設置することによる吸気側及び排気側の圧力損失はそれぞれ以下のとおり算出する。

$$\Delta P_{\text{in}} = \zeta \times \rho_{\text{in}} \times \frac{(Q_{\text{in}} \div A_{\text{in}})^2}{2}$$

$$\Delta P_{\text{out}} = \zeta \times \rho_{\text{out}} \times \frac{(Q_{\text{out}} \div A_{\text{out}})^2}{2}$$

この時、ファンの排気風量  $Q_{\text{out}}$  については、次式より算出する。

$$Q_{\text{out}} = Q_{\text{in}} \times \frac{\rho_{\text{in}}}{\rho_{\text{out}}}$$

第2-1表 記号の定義

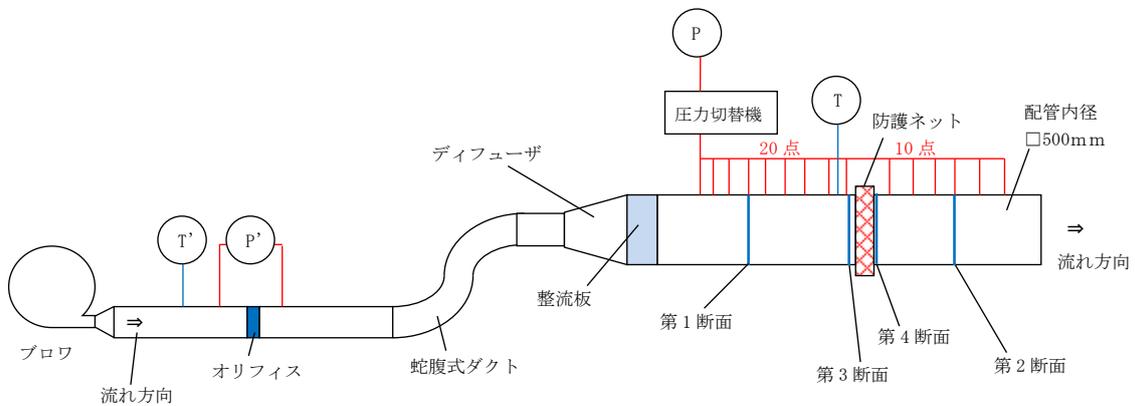
記号	単位	定義
$h$	Pa	ファンの設計静圧
$u$	m/s	ファンの風速
$Q_{\text{in}}$	$\text{m}^3/\text{s}$	ファンの設計吸気風量
$Q_{\text{out}}$	$\text{m}^3/\text{s}$	ファンの排気風量
$\rho_{\text{in}}$	$\text{kg}/\text{m}^3$	ネットの吸気側の空気密度
$\rho_{\text{out}}$	$\text{kg}/\text{m}^3$	ネットの排気側の空気密度
$A_{\text{in}}$	$\text{m}^2$	ネットの吸気流路の断面積
$A_{\text{out}}$	$\text{m}^2$	ネットの排気流路の断面積
$\zeta$	—	ネットの損失係数
$\Delta P_{\text{in}}$	Pa	ネットの吸気側の圧力損失
$\Delta P_{\text{out}}$	Pa	ネットの排気側の圧力損失
$\Delta P_{\text{c}}$	Pa	冷却塔本体の圧力損失

## 2.2 損失係数の設定

圧力損失を算出するためには，防護ネットを通過する際の損失係数を設定する必要があるが，防護ネット通過時における損失係数に関するデータは文献等では確認できなかつたため，試験結果を用いて設定する。

### (1) 測定方法

ネット通過時の損失係数をベルヌーイの定理を用いて算出する。試験装置を第2-1図に示す。試験に用いる防護ネットは，実機と同じ，50mm目合のネット2枚及び40mm目合のネット1枚の計3枚を用いた構成とする。なお，実機では2枚の50mm目合のネット同士の重ね合わせにおいて目合間の飛来物のすり抜けを伴う貫通を防止するため，半目ずらしで設置することから，試験に用いる2枚の50mm目合のネットについても同様な半目ずらしとする。



第2-1図 試験装置概要図

ネットの上流直管部で十分に流れが安定した断面を第1断面，下流側で十分に流れが安定した断面を第2断面，防護ネットの上流断面を第3断面，防護ネットの下流断面を第4断面とする。

第1断面と第2断面の間でベルヌーイの定理を適用すると，下式となる。

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_1 U_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_2 U_2^2 + \Delta h_{13} + \Delta h_{24} + \Delta P_{\text{LOSS}} \quad \dots (1)$$

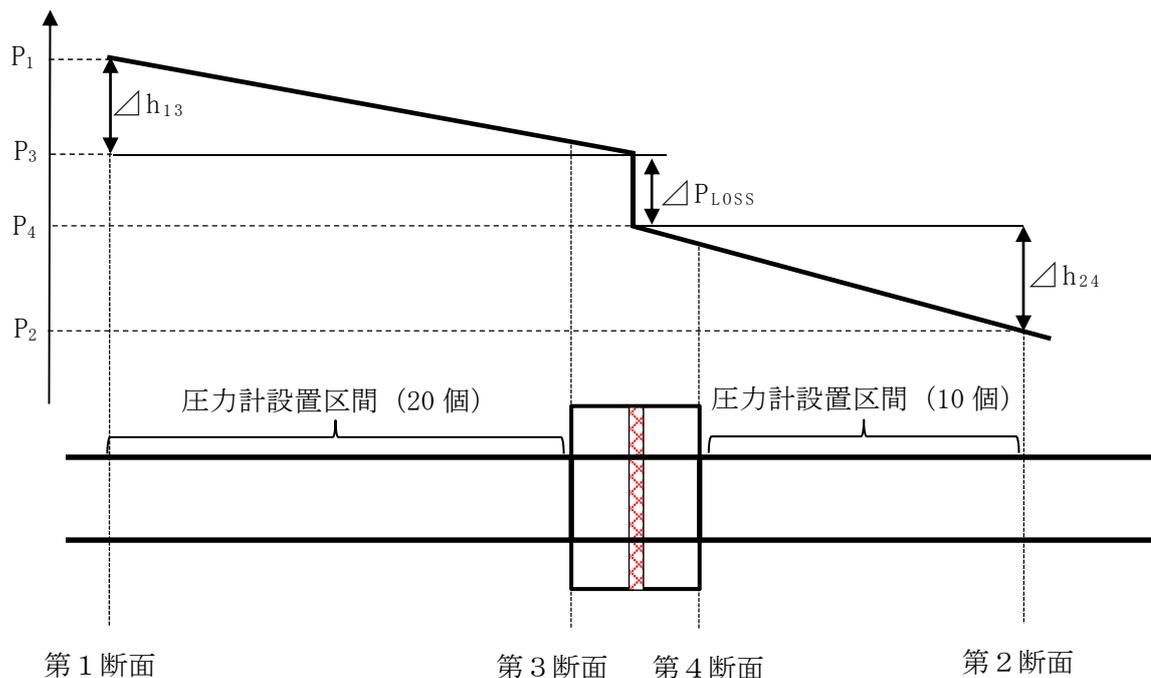
- ここで，
- $P_1$  : 第1断面における圧力
  - $\rho_1$  : 第1断面における空気密度
  - $U_1$  : 第1断面における風速
  - $P_2$  : 第2断面における圧力
  - $\rho_2$  : 第2断面における空気密度
  - $U_2$  : 第2断面における風速
  - $\Delta h_{13}$  : 第1断面から第3断面の摩擦損失 (管部)
  - $\Delta h_{24}$  : 第2断面から第4断面の摩擦損失 (管部)
  - $\Delta P_{\text{LOSS}}$  : 防護ネットの圧力損失

## (2) 圧力損失の算出方法

圧力損失は、第2-1図の試験装置から得られる測定データを元に算出する。また、圧力損失を算出する際は、計器の測定誤差や流路の誤差を考慮する。

圧力損失の測定のイメージ図を第2-2図に示す。

圧力損失



第2-2図 圧力損失の測定イメージ図

第2-2図より、

$$P_3 = P_1 - \Delta h_{13}$$

$$P_4 = P_2 + \Delta h_{24}$$

$P_3$  : 第3断面における圧力

$P_4$  : 第4断面における圧力

であることが分かる。

ここで、 $\Delta h_{13}$  は、第1断面から第3断面の間に設置された20個の圧力計より得られた圧力値を最小二乗回帰することで、静圧勾配線を求めて算出する。 $\Delta h_{24}$  は第2断面から第4断面の間に設置された10個の圧力計より得られた圧力値を用いて同様に算出する。

空気密度及び流速を一定とすると、(1)式は以下のとおりとなる。

$$\Delta P_{LOSS} = P_3 - P_4 \quad \dots (2)$$

また、 $\Delta P_{\text{Loss}}$  は下式より算出される。

$$\Delta P_{\text{Loss}} = \frac{1}{2} \rho_1 U_1^2 \zeta \quad \cdot \cdot (3)$$

(2) 及び (3) 式より、損失係数は下式より算出される。

$$\zeta = \frac{P_3 - P_4}{\frac{1}{2} \rho_1 U_1^2}$$

### (3) 圧力損失の算出結果

測定結果から算出された圧力損失を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 測定結果と損失係数

流速 $U_1$ (m/s)	空気密度 $\rho_1$ (kg/m <sup>3</sup> )	圧力損失 $P_3 - P_4$ (Pa)	損失係数 $\zeta$ (-)
3.0	<u>1.13</u>	3.98	0.77
5.4	<u>1.14</u>	12.04	0.72
7.0	<u>1.14</u>	17.96	0.64
10.1	<u>1.16</u>	37.87	0.63

第 2-1 表より、損失係数が最大であった流速 3.0 m/s 時の損失係数を全流速範囲に適用することとする。流速 3.0 m/s 時の算出結果 0.77296 より  $\zeta = 0.773$  とする。

# 別紙

## 外竜巻30【竜巻防護設計の基本方針に関する冷却塔の冷却性能について】

別紙				備考
資料No.	名称	提出日	Rev	
別紙-1	安全冷却水B冷却塔の冷却性能への影響について	3/18	1	
別紙-2	安全冷却水A冷却塔の冷却性能への影響について			後次回で示す範囲
別紙-3	冷却塔Aの冷却性能への影響について			後次回で示す範囲
別紙-4	冷却塔Bの冷却性能への影響について			後次回で示す範囲
別紙-5	安全冷却水冷却塔Aの冷却性能への影響について			後次回で示す範囲
別紙-6	安全冷却水冷却塔Bの冷却性能への影響について			後次回で示す範囲

令和4年3月18日 R1

別紙-1

安全冷却水B冷却塔の冷却性能への影響について

## 目 次

1.	概要	1
2.	<u>冷却性能への影響確認対象設備について</u>	1
2.1	安全冷却水 B 冷却塔の機能について	1
2.2	安全冷却水 B 冷却塔の構造について	1
3.	冷却性能への影響確認方法	4
4.	<u>冷却性能への影響確認条件</u>	<u>4</u>
6.	<u>冷却性能への影響確認結果</u>	<u>7</u>

## 1. 概要

本資料は、飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B) (以下、「飛来物防護ネット(A 4 B)」という。)の設置による安全冷却水 B 冷却塔の冷却性能への影響について確認した結果を示す。

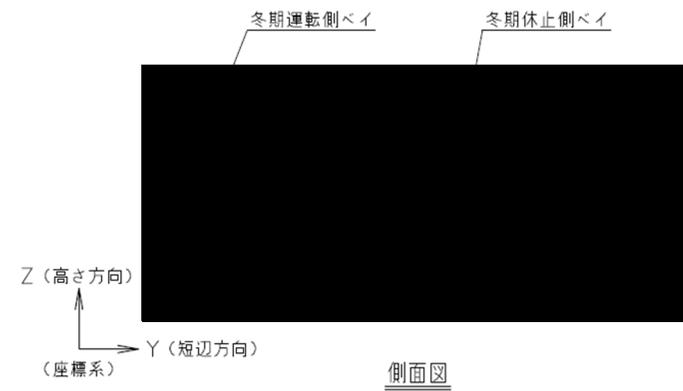
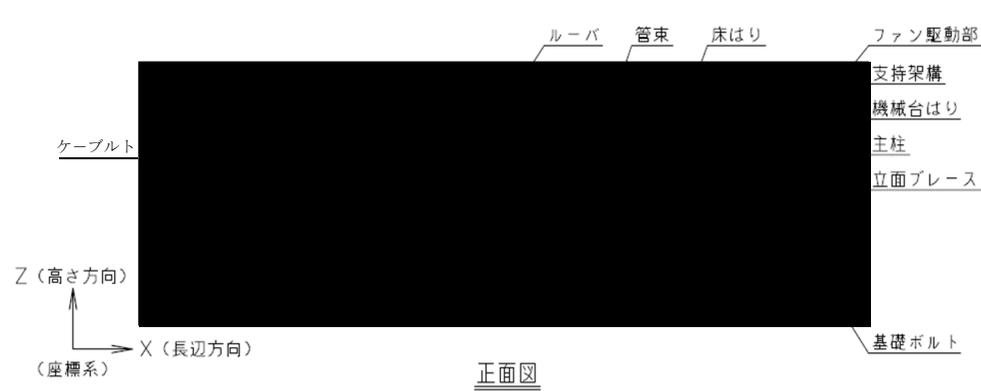
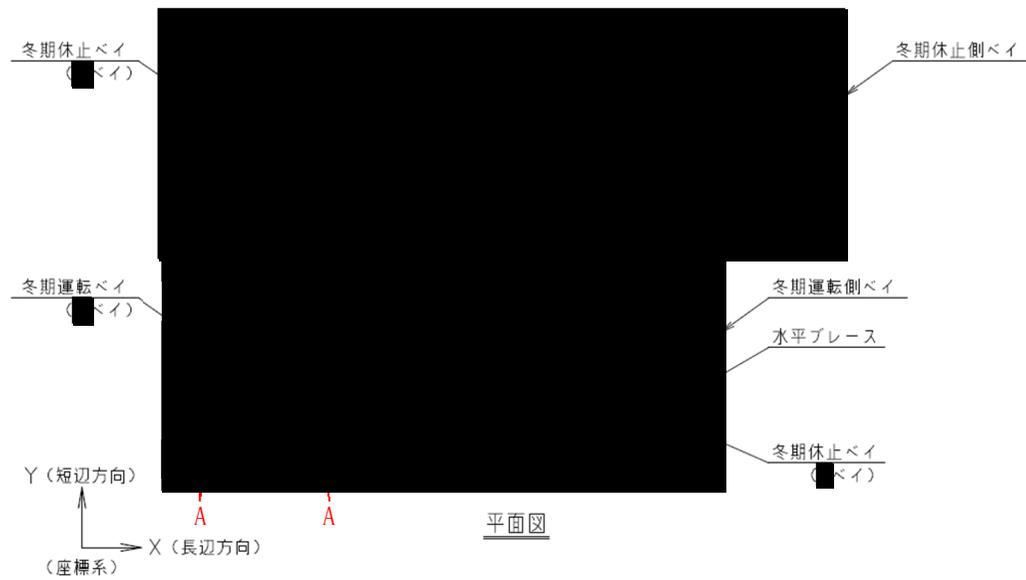
## 2. 冷却性能への影響確認対象設備について

### 2.1 安全冷却水 B 冷却塔の機能について

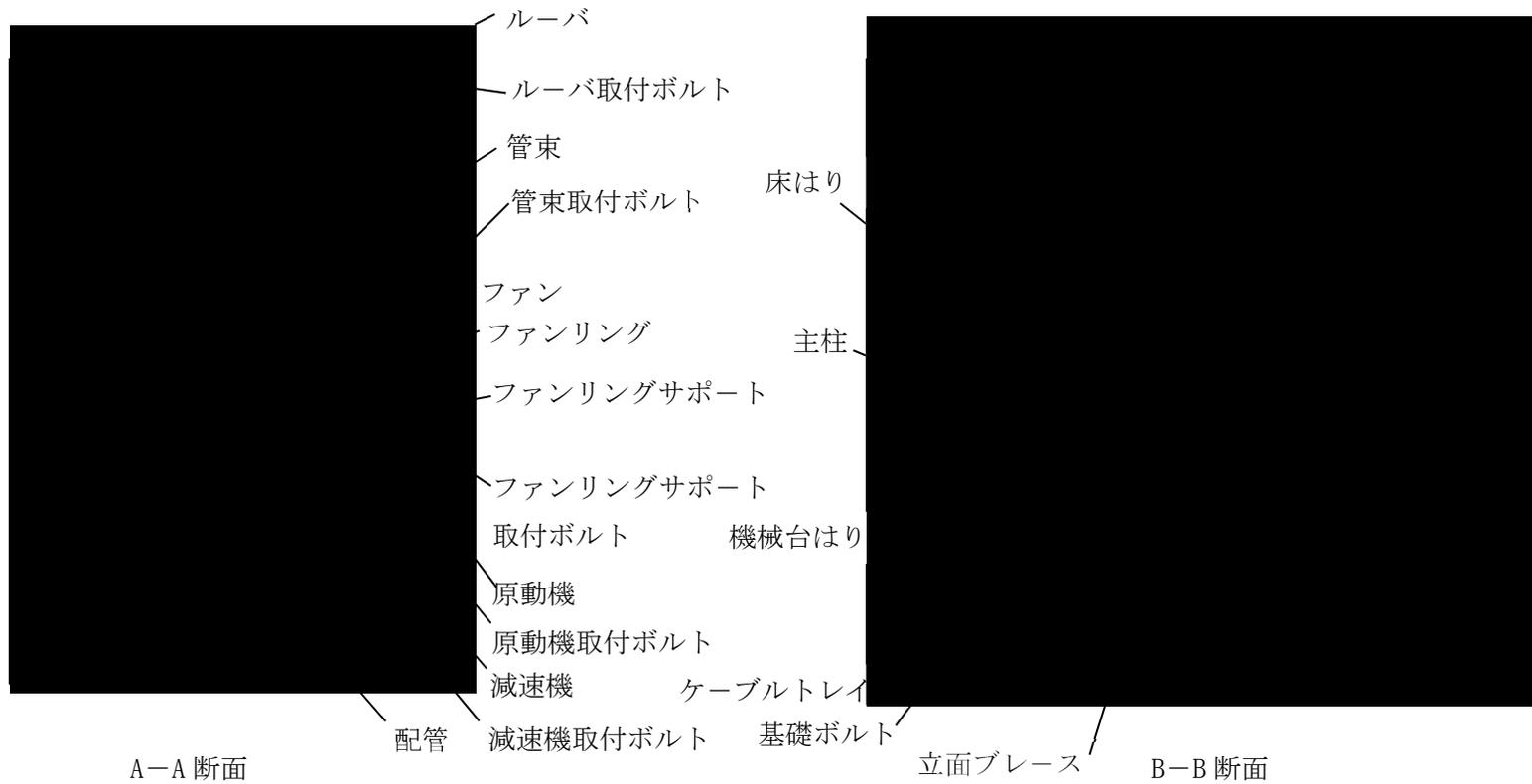
安全冷却水 B 冷却塔は、再処理施設内の各施設を冷却した後の冷却水を、空気と熱交換することで冷却するための設備である。そのため、安全冷却水 B 冷却塔は崩壊熱により溶液が沸騰するおそれのある機器の崩壊熱を除去するための冷却能力を有しており、その冷却機能の維持に必要な機器として、支持架構、ファン駆動部、管束及び配管により構成される。

### 2.2 安全冷却水 B 冷却塔の構造について

安全冷却水 B 冷却塔の概要図を第 2-1 図に示す。また、第 2-1 図に示した A-A, B-B 断面について第 2-2 図に示す。



第2-1図 安全冷却水B冷却塔 概要図



第 2 - 2 図 安全冷却水 B 冷却塔 断面概要図

### 3. 冷却性能への影響確認方法

冷却性能への影響確認は本文記載のとおり、冷却に必要な空気流量において、ファンの設計静圧と飛来物防護ネット（A4B）設置後の各圧力損失の合計値を比較し、ファンの設計静圧が上回ることで、安全冷却水B冷却塔の冷却性能への影響を与えないことを確認する。

### 4. 冷却性能への影響確認条件

#### (1) 冷却性能への影響確認に用いる条件

冷却性能への影響確認に用いる条件を第4-1表に示す。ここで、ネットの吸気側流路の断面積  $A_{in}$  及びネットの排気側流路の断面積  $A_{out}$  を算出するためには、冷却空気が飛来物防護ネット（A4B）を通過する空気流路（吸気及び排気）を設定する必要があることから、「4. (2) 飛来物防護ネット（A4B）の流路設定について」に示す空気流路を用いて算出する。

なお、安全冷却水B冷却塔のファンの風速は、本文記載の「2.2 損失係数の設定」に示す試験で用いた流速内に収まっていることから、試験により算出した損失係数は適用可能である。

第4-1表 冷却性能への影響確認に用いる条件

記号	単位	値	備考
$h$	Pa	■	設計値
$Q_{in}$	$m^3/s$	■	設計値
$Q_{out}$	$m^3/s$	■	
$\rho_{in}$	$kg/m^3$	■ <sup>※1</sup> (吸気温度：■°C <sup>※2</sup> )	※1：伝熱工学資料改訂 第5版 ※2：設計値
$\rho_{out}$	$kg/m^3$	■ <sup>※1</sup> (排気温度：■°C <sup>※2</sup> )	※1：伝熱工学資料改訂 第5版 ※2：設計値
$A_{in}$	$m^2$	511	4. (2)項による
$A_{out}$	$m^2$	485	4. (2)項による
$\zeta$	—	0.773	本文記載の2.2項による

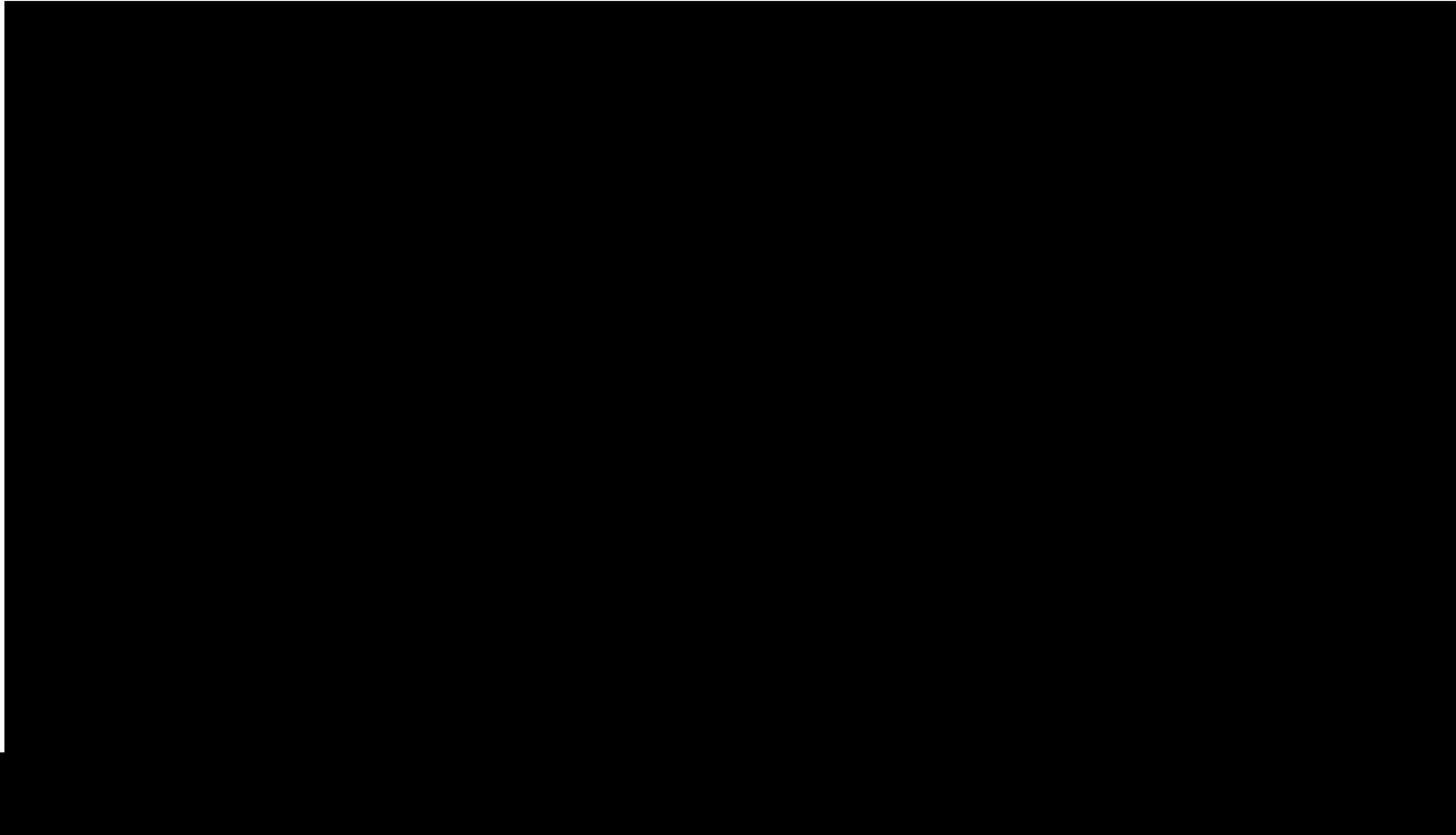
(2) 飛来物防護ネット（A 4 B）の流路設定について

飛来物防護ネット（A 4 B）の圧力損失を算出するため、冷却空気を通過する空気流路（吸気及び排気）を設定する。

飛来物防護ネット（A 4 B）の吸気側流路は、流路面積を小さくした方が圧力損失は大きくなることから、地上から安全冷却水 B 冷却塔のファン駆動部のファンリング下端までの高さと吸気側流路の高さを同じとし、流路面積を制限して設定した。また、排気側流路においても同様な考えで安全冷却水 B 冷却塔の天面開口の投影面と同じ大きさとし、流路面積を制限して設定した。

また、飛来物防護ネット（A 4 B）の吸気側及び排気側の圧力損失の算出は、支持架構や防護板及び補助防護板を考慮し、流路面積から支持架構、防護板及び補助防護板の面積を差し引いたうえで、算出する。

第 4-1 図に飛来物防護ネット（A 4 B）の吸気側及び排気側の空気流路を示す。



※流路面積は支持架構, 防護板及び補助  
防護板の面積を差し引いた値となる。

第 4 - 1 図 飛来物防護ネット (A 4 B) の空気流路 (吸気側・排気側)

5. 冷却性能への影響確認結果

冷却に必要な空気流量において、ファンの設計静圧及び各圧力損失の合計値（冷却塔本体，飛来物防護ネット（吸気側），飛来物防護ネット（排気側））を第5-1表に示す。

冷却に必要な空気流量において、ファンの設計静圧が各圧力損失の合計値を上回っていることから，飛来物防護ネット（A 4 B）で安全冷却水B冷却塔を覆うことによる安全冷却水B冷却塔の冷却性能への影響はないことを確認した。

第5-1表 ファンの設計静圧と圧力損失の比較

		安全冷却水B冷却塔	備考
①ファンの設計静圧：h		■ Pa	設計値
②圧力損失	冷却塔本体： $\Delta P_c$	■ Pa	設計値
	ネットの吸気側： $\Delta P_{in}$	■ Pa	
	ネットの排気側： $\Delta P_{out}$	■ Pa	
影響確認結果	①-②	■ Pa	
	影響確認結果	○	