

非常用炉心冷却系ストレーナの有効性評価について
(概要版)

平成 20 年 1 月
東京電力株式会社

1. 経緯

東京電力福島第一原子力発電所6号機において、平成19年11月6日、非常用炉心冷却系（以下、ECCS）ストレーナ取替工事のホ使用前検査受検のため高圧炉心スプレイ系（以下、HPCS）ポンプを運転したところ、HPCSポンプが吸込圧力「低」のインターロックで自動停止した。原因調査の結果、取り替えたストレーナの圧損が設計当初の想定値よりも大きかったことが判明した。

このため、ストレーナ圧損を保守的に考慮したモデルを用いて圧損評価を見直し、ストレーナの有効性を評価した結果、当該ストレーナの必要な性能は確保されており、非常用炉心冷却系の機能に支障がないことを確認した。

以上をふまえ、当社プラントのECCSストレーナについて、原子力安全・保安院の「非常用炉心冷却システムストレーナの設計時の不適合への対応について」（平成20年1月16日付け平成20・01・16原院第1号）に従い、これまで実施していたECCSストレーナの有効性評価を調査するとともに、ストレーナ有効性の再評価を行った。

2. ECCSストレーナの有効性評価に係わる調査

(1) ストレーナの取替状況

当社の17プラントにおいては、13プラントについて大容量のECCSストレーナに既に取替済であり、2プラントについては取替工事中、2プラントについては取替を計画中である。このうち取替済のプラントはGE^{*1}社、CCI社、PCI社の海外3社のストレーナを採用している。

プラント毎の取替状況およびストレーナメーカーを以下に示す。

表1 ストレーナ取替状況

プラント	ストレーナ取替状況	ストレーナメーカー
福島第一原子力発電所 1号機	取替済	GE（日立 ^{*2} ）
” 2号機	取替済	CCI（東芝）
” 3号機	取替済	CCI（東芝）
” 4号機	計画中	GE（日立）
” 5号機	計画中	CCI（東芝）
” 6号機	取替工事中	CCI（東芝）
福島第二原子力発電所 1号機	取替済	CCI（東芝）
” 2号機	取替済	GE（日立）
” 3号機	取替済	CCI（東芝）
” 4号機	取替済	GE（日立）

柏崎刈羽原子力発電所 1号機	取替工事中	CCI (東芝)
" 2号機	取替済	CCI (東芝)
" 3号機	取替済	PCI (東芝)
" 4号機	取替済	PCI (日立)
" 5号機	取替済	GE (日立)
" 6号機	取替済	PCI (東芝)
" 7号機	取替済	GE (日立)

()内はストレーナの接続される配管の設計メーカー

* 1 : GE社の現在の社名はGE日立ニュークリア・エナジー (以下同じ)

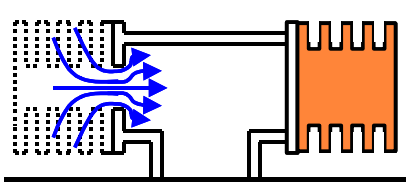
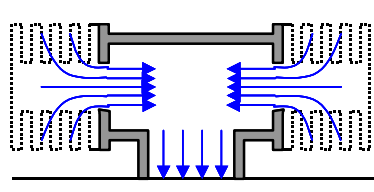
* 2 : 日立の現在の社名は日立GEニュークリア・エナジー株式会社 (以下同じ)

これらのプラントのうち、ストレーナを大容量ストレーナに既に取替済、あるいは取替工事中のプラントを対象に、工事計画申請時に実施しているストレーナ有効性評価について調査を実施した。

(2) ストレーナ圧損に係わる調査

当社においてストレーナを取替済あるいは取替工事中のプラントについて、そのストレーナの型式、構造について調査を行ったところ、1F-2、1F-3、2F-1、2F-3、KK-1、KK-2では1F-6と同型の東芝-CCI社製ストレーナを導入しており、いずれのプラントにおいてもストレーナの出口内径が接続される配管の内径に比べて有意に小さく、1F-6と同様にストレーナ出口部でのオリフィス効果やティ管内の流れが十分減速されずに合流する影響により、ストレーナの圧損が設計当初の想定値よりも大きくなることが判った。

表2 ストレーナおよびティ管における圧損の増加

オリフィス効果 (今回の知見)	ティ管内の合流 (今回の知見)
	
<p>流れがストレーナポケット部の影響を受けずにストレーナ出口へ流れ込む流線が形成されるため、ストレーナ出口部のオリフィス形状に起因する縮流による影響を受ける。</p>	<p>ストレーナ出口の内径が接続されるティ管の内径に比べて小さいために出口流速が速く、さらに左右の出口間が短いために、十分減速されないままにティ管内で合流</p>

なお、GE社製およびPCI社製ストレーナについては、いずれもストレーナ圧損評価に問題のないことを確認した。

(3) 配管の圧損に係わる調査

ストレーナから流入した流れはティ管内で合流し、配管を通過してポンプ吸込口まで導かれる。この配管の圧損評価を調査したところ、2F-2のHPCSおよび低圧炉心スプレイ系(以下、LPCS)、2F-4のHPCS、KK-5のHPCS、KK-7の残留熱除去系(以下、RHR)については、ストレーナの接続する配管からポンプ吸込口までの配管のうち一部の配管の圧損が考慮されていなかったことから、圧損の算定結果に不足があり、若干ではあるものの当初設計で想定した圧損よりも大きくなることが判明した。

なお、上記以外のプラントについては、配管圧損の算出結果に不足がないことを確認した。

3. ストレーナ有効性の再評価の結果

ストレーナの当初設計における有効性評価の調査により、ストレーナ圧損に評価不足の確認されたプラントおよびストレーナの接続する配管圧損に評価不足の確認されたプラントについて、今回の知見を反映して有効性の再評価を行った。

(1) ストレーナ圧損に評価不足のあるプラント

ストレーナ圧損に評価不足が確認された、1F-2、1F-3、2F-1、2F-3、KK-1、KK-2について、ストレーナ出口のオリフィス効果とストレーナの接続するティ管内の合流圧損を考慮した圧損評価モデルを用いて、有効吸込水頭を算出し、ストレーナの有効性を再評価した。また、あわせてストレーナの製造上の寸法公差を考慮して、ストレーナが設計上考えうる最小の寸法で製造されている場合の有効性も評価した。

この評価結果を表3に示す。ストレーナを取替済みの全てのプラントについて、有効吸込水頭は必要な値を満足し、必要な性能が確保されていることを確認した。

また、ストレーナを取替工事中のKK-1のうち、RHRストレーナについては、ストレーナが目詰まりを起こす主な原因となる繊維質保温材を全て撤去しており、安全上問題はない。しかしながら、保守的な条件を想定しても十分な安全性を有することを確認するために、繊維質保温材があると仮定し、さらにストレーナが設計上考えうる最小の寸法で製作されるものと仮定して評価を行うと、わずかながら必要な値に達しない。なお、KK-1のうち、HPCSおよびLPCSのストレーナについては有効吸込水頭が必要な値を満足することを確認した。

この有効吸込水頭の評価に用いる飽和蒸気圧力の算定にあたっては、サブレーションプール水温を原子炉冷却材喪失事故時の安全解析結果に基づく温度として算出した。これは、ストレーナの審査基準や米国 Regulatory Guide にも整合するものである。

表3 ストレーナ 有効吸込水頭の評価

対象プラント 及び系統名		有効吸込水頭の評価 (必要吸込水頭)				
		工事計画 申請時	ストレーナの公称寸法 による評価		ストレーナの寸法公差を 考慮した評価	
			オリフィスモデル 異径管ティモデル	判定 ^{*1}	オリフィスモデル 異径管ティモデル	判定 ^{*1}
1 F - 2	R H R	9.79 (5.5)	8.87 (5.5)	良	8.53 (5.5)	良
	C S	10.48 (4.3)	9.70 (4.3)	良	9.58 (4.3)	良
1 F - 3	R H R	10.00 (4.7)	8.10 (4.7)	良	7.75 (4.7)	良
	C S	10.71 (4.5)	10.56 (4.5)	良	10.25 (4.5)	良
2 F - 1	R H R	3.66 (2.9)	6.68 (2.9)	良	6.43 (2.9)	良
	H P C S	3.30 (2.0)	6.49 (2.0)	良	6.20 (2.0)	良
	L P C S	3.62 (2.0)	6.82 (2.0)	良	6.52 (2.0)	良
2 F - 3	R H R	4.36 (3.3)	4.92 (3.3)	良	4.83 (3.3)	良
	H P C S	4.49 (3.0)	5.22 (3.0)	良	5.15 (3.0)	良
	L P C S	4.73 (3.4)	5.46 (3.4)	良	5.39 (3.4)	良
*2 K K - 1	R H R	4.42 (4.0)	4.06 (4.0)	良	3.91 (4.0)	否
	H P C S	4.19 (3.5)	4.00 (3.5)	良	3.83 (3.5)	良
	L P C S	4.44 (3.8)	4.26 (3.8)	良	4.09 (3.8)	良
K K - 2	R H R	4.66 (4.2)	5.69 (4.2)	良	5.61 (4.2)	良
	H P C S	4.71 (3.6)	5.90 (3.6)	良	5.84 (3.6)	良
	L P C S	4.93 (3.9)	6.12 (3.9)	良	6.06 (3.9)	良

【単位：m】

* 1：判定「良」とは、ポンプの必要吸込水頭 < ポンプの有効吸込水頭を満足することをいう。

* 2：K K 1についてはストレーナの取替工事中、それ以外のプラントは取替済。

(2) 配管圧損に評価不足のあるプラント

配管圧損に評価不足が確認された、2 F - 2のH P C SおよびL P C S、2 F - 4のH P C S、K K - 5のH P C S、K K - 7のR H Rについて、今回の知見を反映して有効吸込水頭を評価した。この結果を表4に示す。いずれのプラントも有効吸込水頭は必要な値を満足することを確認した。

表4 ストレーナ 有効吸込水頭の評価

対象プラント 及び系統名		有効吸込水頭の評価 (必要吸込水頭)				
		工事計画 申請時	ストレーナの公称寸法 による評価		ストレーナの寸法公差を 考慮した評価	
			配管圧損 見直し後	判定*1	配管圧損 見直し後	判定*1
2 F - 2	H P C S	5.95 (5.80)	5.89 (5.80)	良	5.86 (5.80)	良
	L P C S	6.04 (4.80)	5.97 (4.80)	良	5.94 (4.80)	良
2 F - 4	H P C S	5.98 (5.80)	5.92 (5.80)	良	5.89 (5.80)	良
K - 5	H P C S	6.02 (5.60)	5.96 (5.60)	良	5.93 (5.60)	良
K - 7	R H R	3.36 (3.00)	3.31 (3.00)	良	3.25 (3.00)	良

【単位：m】

* 1：判定「良」とは、ポンプの必要吸込水頭 < ポンプの有効吸込水頭を満足することをいう。

4. 有効性評価のまとめ

当社プラントのECCSストレーナについて有効性を評価した。この結果は以下の通りである。

ストレーナを既に取り替済のプラント(1F - 1 / 2 / 3、2F - 1 ~ 4、KK - 2 ~ 7)の全てについて、必要な性能は確保されており、非常用炉心冷却系の機能に支障がないことを確認した。

このストレーナを既に取り替済のプラントのうち、ECCSストレーナの有効性評価条件である、ストレーナ圧損、配管圧損、飽和蒸気圧力のいずれかに変更が生ずる以下のストレーナについては、原子力安全・保安院の指示文書に従い、今後必要な工事計画の手続きを行う。

- ・ 1F - 2 / 3、2F - 1 / 3、KK - 2の全てのストレーナ
- ・ 2F - 2のHPCSおよびLPCS、2F - 4のHPCS、KK - 5のHPCS、KK - 7のRHR

ストレーナを取替工事中のKK - 1のうち、RHR系ストレーナについては、ストレーナが目詰まりを起こす主な原因となる繊維質保温材を全て撤去しており、安全上の問題はないものの、繊維質保温材があると仮定し、さらにストレーナが設計上考えうる最小の寸法で製作された場合を想定した評価を行うと、有効吸込水頭がわずかながら必要な値に達しない結果となった。このストレーナについてはまだ電気工作物として使用しておらず、今回の知見を反映して設計の見直しを行ったうえで工事を行うこととし、今後必要な工事計画の手続きを行う。

ストレーナを取替を計画中のプラント(1F - 4 / 5)については今回の知見を今後のストレーナ設計・製作および工事計画に反映していく。

5 . 再発防止対策

ECCS ストレーナの圧損に係わる設計時の評価不足について、業務プロセスにおける問題点を洗い出し、その原因を分析した結果、今後、以下の～の再発防止対策を実施することとした。

- ・ ストレーナ設計において異物の付着した状態においても機能することのみを評価し、異物のない状態の評価をしていなかった。今回のストレーナの圧損の評価不足については、ストレーナに異物のない状態での評価を行うことで、事象の把握が可能であったと考えられることから、
調達に際しては、運転状態を網羅した評価の実施を要求する。
- ・ ストレーナ出口の内径が接続される配管の内径に比べて小さい設計を採用したことに対する設計検証や設計の妥当性確認を十分に実施しなかったことから、
設計管理の実施においては、設計検証および設計の妥当性確認を確実に行う。なお、今回の事例に対しては、設計条件を模擬した流動解析およびモックアップによる評価手法の妥当性確認、これらの内容に対する多面的なレビューを行うとともに、実機ポンプによる確認運転を行う。
- ・ ストレーナの工事計画申請時において、配管圧損の算出根拠の確認が十分ではなかったことから、
工事計画の申請にあたっては、計算結果等の算出根拠の確認を徹底するとともに、今後調達管理においてこれらの計算結果等の根拠の提出を求める。