JNC TN9410 2004-019

# 高速実験炉「常陽」２次系配管肉厚管理状況の調査報告

（技術報告）

２００５年１月

核燃料サイクル開発機構
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319－1184　茨城県那珂郡東海村村松４番地４９
核燃料サイクル開発機構
技術展開部　技術協力課
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to：
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division ,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49　Muramatsu , Tokai-mura , Naka-gun , Ibaraki 319-1184 ,
Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
２００４

Ⓝ

JNC TN9410 2004-019
２００５ 年 １ 月

# 高速実験炉「常陽」２次系配管肉厚管理状況の調査報告

## （技術報告書）

「常陽」２次系配管肉厚管理状況調査専門部会

要 旨

関西電力美浜発電所３号機の２次系配管の破損事故（2004 年 8 月 9 日）を踏まえ、原子炉等安全審査委員長（大洗工学センター内）より高速実験炉「常陽」２次系配管の肉厚の管理状況に関する調査方針が示され、本調査のための「「常陽」２次系配管肉厚管理状況調査専門部会」が 2004 年 8 月 17 日に設置された。調査方針に従い、当専門部会は実験炉部に記録の提示及び説明を求め下記の項目について調査した。

① ２次系配管の肉厚の管理方法

② ２次系配管の肉厚の管理状況及び点検検査結果

「常陽」の２次系の冷却材は水ではなくナトリウムであることから、美浜発電所の配管のように酸化物形成、成長と剥離の繰り返しによる配管内面の減肉の進行は発生し難い。これに対し２次系配管で最も腐食減肉が大きくなるのは、外面が流動を伴う空気と接触する主冷却器伝熱管と想定されることから、当該部位の肉厚管理方法を重点的に調査し、定期検査毎に自主検査が行われ、その肉厚は製作仕様の最小肉厚を上回っていることを確認した。

実施した調査結果に基づいて、専門部会は、①２次系配管の肉厚の管理方法は適切であり、また②管理状況及び点検検査結果は良好であったことを確認し原子炉等安全審査委員会に報告した。

「「常陽」２次系配管肉厚管理状況調査専門部会」の構成員

部会長

・ 山下　清信（システム技術開発部　次長:原子炉等安全審査委員会委員）

部会委員

・ 田村 政昭（開発調整室研究主幹）
・ 大久保　利行（照射施設運転管理センター環境保全課長：原子炉等安全審査委員会委員）
・ 吉田　英一（要素技術開発部新技術開発試験グループサブリーダー）
・ 笠原　直人（要素技術開発部構造信頼性研究グループリーダー）
・ 下山　一仁（要素技術開発部熱化学安全試験グループ副主任技術員）

（事務局）

・立邊　和明（安全対策課　副主任技術員）、
・鹿志村　芳範（安全対策課長）

JNC TN9410 2004-019
January, 2005

# Review Reports on Wall Thickness Maintenance of Experimental Fast Reactor "JOYO" Secondary Pipe

**Specialist review committee for the JOYO secondary pipe thickness maintenance condition**

## ABSTRACT

The reactor safety committee chairman of O-arai Engineering Center submitted review principles for the JOYO secondary pipe thickness maintenance condition, reflecting the secondary pipe break accident of Mihama power station No.3 of Kansai Electric Power Cooperation (9th. August 2004), A Specialist review committee for the JOYO secondary pipe thickness maintenance condition was established on 17th. August 2004. According the principles, the specialist committee reviewed following items based on explanations and documents of the Experimental Reactor Division,

①Maintenance method of the secondary pipe thickness

②Maintenance and inspection results of the secondary-pipe thickness.

Erosion-corrosion at inner wall of the JOYO secondary cooling loop pipe can hardly occur by the repetition of oxide formation, growth and peeling occurring in water environment, because the coolant of JOYO is not water but sodium. The maximum material loss in the secondary pipe is supposed to occur at the outer-surface of heat-transfer-pipe in the main air coolers due to contact of circulating air. Therefore, this committee paid attention to this portion for reviews. It was confirmed by the operator (Experimental Reactor Division) in periodical independent inspections that heat-transfer-pipe thickness was still larger than the minimum design value.

Based on the carried review, the specialist committee has reported to the reactor safety committee that the maintenance method(①) was appropriate and the maintenance condition and inspection(②) were well for the secondary pipe.

Members of the specialist committee

Chairman

| | |
|---|---|
| YAMASHITA Kiyonobu | Deputy Director of System Engineering Technology Division |

Members

| | |
|---|---|
| TAMURA Masaaki | Senior Scientist, Research and Development Coordination Section |
| OKUBO Toshiyuki | General Manager of Waste Management Section, Irradiation Center |
| YOSHIDA Eiichi | Deputy Group Leader of New Technology Development Group, Advanced Technology Division |
| KASAHARA Naoto | Group Leader of Structural Mechanics Research Group Advanced Technology Division |
| SHIMOYAMA Kazuhito | Assistant Senior Engineer, Thermochemistry Safety Engineering Group, Advanced Technology Division |

Secretariat:

| | |
|---|---|
| TATEBE Kazuaki | Assistant Senior Engineer, Safety Administration Section, Health and Safety Division |
| KASHIMURA Yoshinori | General Manager of Safety Administration Section, Health and Safety Division |

# 目次

要旨 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ i
「常陽」2次系配管肉厚管理状況調査専門部会の構成員 ・・・・・・・・・・・・ ii
Abstract ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ iii
Members of the specialist committee ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ iv
目次 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ v

第１章　はじめに ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
第２章　原子炉等安全審査委員会への報告及びその経過・・・・・・・・・・・・ 4
（報告書）
第３章　おわりに ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 19
参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 19
謝辞 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 19

# 第１章　はじめに

高速実験炉「常陽」は、我が国のナトリウム冷却高速増殖炉(FBR)開発の第一段階として、設計・建設・運転が進められて以来、約 30 年間、FBR 技術の研究開発の柱としての役割を果たしてきた。この間、1977 年 4 月に初臨界を達成し、50、75 及び 100MWt の運転（原子炉運転時間:61000 時間）を行い FBR 炉心の基本特性や液体金属ナトリウムを冷却材とするプラントの運転特性が把握されてきた[1]。

その後、熱出力を 140MWt まで高めた高性能照射炉心(MK-Ⅲ)のため、主中間熱交換器、主冷却器の交換を含む改造工事を 2001 年 9 月に終えた。2003 年 11 月 20 日に MK-Ⅲ定格出力連続運転を達成し、同月 27 日に使用前検査に合格した。本年 8 月 23 日から第２サイクル運転を開始する予定としていた。

今回、「常陽」の第２サイクル運転を目前にして、関西電力美浜発電所 3 号機の２次系配管の破損事故は 2004 年 8 月 9 日に発生した。この２次系配管の破損事故は水環境による配管腐食によるものとされ「常陽」の２次系はナトリウム環境で配管腐食は発生し難いとのことであったが安全確認の観点から、原子炉等安全審査委員会委員長(大洗工学センター内)より 2004 年 8 月 17 日に第１表の「常陽」２次系配管の肉厚の管理状況に関する調査方針が示され、同委員会の下に「「常陽」２次系配管肉厚管理状況調査専門部会」が同日に設置された。専門部会は、この調査方針に基づいて、「常陽」２次系配管肉厚管理状況について、これを運転・管理する実験炉部に説明を求め調査した。本報告書は、この調査結果を報告するものである。

次章では、本専門部会が大洗工学センターに設置されている原子炉等安全審査委員会に提出した報告書及びその経過を示す。

第１表　「常陽」２次系配管の肉厚の管理状況に関する調査の内容(1/2)

「平成１６年８月17日

「常陽」２次系配管の肉厚の管理状況に関する調査

大洗工学センター
原子炉等安全審査委員会
委員長　可児　吉男

1. 目的

関西電力美浜発電所３号機の２次系配管の破損事故を踏まえ、「常陽」２次系配管の肉厚の管理が確実に行なわれていることを確認し、保安の強化に資する。

2. 実施時期

平成１６年８月（調査実施期日　８月17日から20日予定）

3. 点検項目

(1) ２次系配管の肉厚の管理方法の確認

２次系配管の肉厚の管理方法について説明を受け、内容を確認する。

(2) ２次系配管の肉厚の管理状況及び点検検査結果の確認

点検検査箇所、頻度、方法等が点検検査自主基準等に従い行なわれていること及び結果が自主基準等を満たしていることをエビデンス等で確認する。また、その結果が適切に責任者によって確認されていることを確認する。

4. 点検体制

(1) 原子炉施設保安規定第27条第３項に基づき、原子炉等安全審査委員会の下に「「常陽」２次系配管肉厚管理状況調査専門部会」を設置する。

(2) 部会長は原子炉等安全審査委員会委員から指名する。

(3) 専門部会委員は、大洗工学センターの専門家を中心に構成する。

(4) 事務局は安全対策課とする。

(5) 実験炉部窓口は技術課とする。

第１表　「常陽」２次系配管の肉厚の管理状況に関する調査の内容(2/2)

専門部会構成

専門部会長

・ 山下　清信（システム技術開発部　次長:原子炉等安全審査委員会委員）

専門部会委員

・ 田村 政昭（開発調整室研究主幹）
・ 大久保　利行（照射施設運転管理センター環境保全課長：原子炉等安全審査委員会委員）
・ 吉田　英一（要素技術開発部新技術開発試験グループサブリーダー）
・ 笠原　直人（要素技術開発部構造信頼性研究グループリーダー）
・ 下山　一仁（要素技術開発部熱化学安全試験グループ副主任技術員）

（事務局）

安全対策課

立邊　和明　（安全対策課　副主任技術員）、

鹿志村　芳範（安全対策課長）

（実験炉部窓口）

技術課　　川原　啓孝（実験炉部技術課　副主任技術員）

5. 点検方法

(1) 点検項目に関し専門部会が確認を行う。必要に応じて、実験炉部に説明を求める。

(2) 専門部会委員は、専門部会開催時間以外にも実験炉部窓口を通じて「常陽」２次系配管肉厚管理状況に関して調査・確認できるものとする。

(3) 部会長は原子炉等安全審査委員会に、点検結果を報告する。

6. その他

必要に応じ現場点検を実施する。

以上

## 第２章　原子炉等安全審査委員会への報告及びその経過

当専門部会の構成員は、第１表に示すように大洗工学センター内に所属するシステム設計、要素技術開発、運転・管理の経験者から原子炉等安全審査委員会によって選ばれた。

本専門部会は、第１回会合を2004年８月17日に開催し、以後、同月20日まで「常陽」現地調査を含め計４回の会合を持って調査を行った。この中で、次回の定期検査はMK-Ⅲ改造で新しくした主冷却器伝熱管が対象となることから、検査要領書及び検査結果報告書において判断基準及び承認欄をわかりやすくすること等気づいた点について改善を促した。実施した調査に基づいて、同年同月20日の第４回目の会合で、２次系配管の肉厚の管理方法は適切であり、また管理状況及び点検検査結果は良好であったことを確認し、同月24日の原子炉等安全審査委員会に調査結果を報告書として提出した。報告書は、報告内容を要約し原子炉等安全審査委員長宛に提出したものと、調査の詳細な内容を記載したものからなり、これらを次ページから添付する。

原子炉等安全審査委員会
委員長　可児　吉男　殿

平成16年8月20日
「常陽」２次系配管肉厚管理状況調査専門部会
部会長　山下清信

「「常陽」２次系配管の肉厚の管理状況に関する調査」の報告

「「常陽」２次系配管肉厚管理状況調査専門部会」（原子炉等安全審査委員長より平成16年8月17日に設置）は、関西電力美浜発電所3号機の２次系配管の破損事故を踏まえ、標記の件について下記の項目について調査したところ、２次系配管の肉厚の管理方法は適切であり、また管理状況及び点検検査結果は良好であったことを確認したので報告する。

①　２次系配管の肉厚の管理方法の確認
②　２次系配管の肉厚の管理状況及び点検検査結果の確認

詳細は、報告書に示すとおり。

専門部会の構成員

部会長
山下　清信　（システム技術開発部 次長、原子炉等安全審査委員）

委員
田村 政昭　（開発調整室研究主幹）
大久保　利行（環境保全課長、原子炉等安全審査委員）
吉田　英一　（要素技術開発部新技術開発試験グループ サブリーダ）
笠原　直人　（要素技術開発部構造信頼性研究グループ リーダ）
下山　一仁　（要素技術開発部熱化学安全試験グループ 副主任技術員）

事務局
鹿志村　芳範　（安全管理部　安全対策課長）
立邊　和明　（安全管理部　安全対策課　副主任技術員）

JNC TN9410 2004-019

# 報告書

# 「「常陽」２次系配管の肉厚の管理状況に関する調査」の報告

平成 16 年 8 月 20 日

「常陽」２次系配管肉厚管理状況調査専門部会

## Ⅰ. 調査・検討の結果

「常陽」は、我が国のナトリウム冷却高速増殖炉(FBR)開発の第一段階として、設計・建設・運転が進められて以来、約 30 年間、FBR 技術の研究開発の柱としての役割を果たしてきた高速実験炉である。この間、昭和 52 年 4 月に初臨界を達成し、50、75 及び 100MWt の運転（原子炉運転時間:61000 時間）を行い FBR 炉心の基本特性や液体金属ナトリウムを冷却材とするプラントの運転特性が把握されてきた。

その後、熱出力を 140MWt まで高めた高性能照射炉心(MK-Ⅲ)のため、主中間熱交換器、主冷却器の交換を含む改造工事を平成 13 年 9 月に終えた。第 1 図に冷却系を示す。改造工事の内容及び 2 次冷却系の概要を付録 1 に示す。平成 15 年 11 月 20 日に MK-Ⅲ定格出力連続運転を達成し、同月 27 日に使用前検査に合格した。本年 8 月 23 日から第 2 サイクル運転を開始する予定となっている。

今回、関西電力美浜発電所 3 号機の 2 次系配管の破損事故を踏まえ、原子炉等安全審査委員長より示された調査方針(資料 0-1)に基づいて、「常陽」2 次系配管の肉厚の管理状況について実験炉部に説明を求め調査した。

「常陽」の 2 次系の減肉に関して軽水炉と異なる点として、冷却材がナトリウムであり水環境のように酸化物形成、成長と剥離の繰り返しによる減肉の進行は発生し難く、温度分布による質量移行が主な減肉因子でそれが溶存酸素により加速されることが挙げられる。「常陽」2 次系配管内面の管理方法では、このことを考慮し、その主要因子である酸素濃度がプラギング温度により管理されている。外面については、金属製のカバーシート等で覆われた部分と、主冷却器伝熱管のように流動を伴う空気と接触する部分とがある。外面が流動を伴う空気と接触する伝熱管は腐食減肉が最も大きくなるためこの部分を選び、自主検査として肉厚測定がされている。これら管理方法は、設計指針に基づいており適切と考える。

内面の管理状況に関して、プラギング温度が維持基準以下に管理されてきたことを記録データにより確認した。また、外面については、主冷却器伝熱管の肉厚が、定期検査毎に測定され、製作仕様の最小肉厚を上回っていることが確認されてきたことを確認した。これより、管理状況及び点検検査結果は良好であったことを確認した。

なお、次回の定期検査は新しい主冷却器伝熱管が対象となることから、検査要領書及び検査結果報告書において判断基準及び承認欄をわかりやすくすることが望ましい。

## Ⅱ. 調査・検討に当たっての考え方

2 次系配管の肉厚の管理が適切に実施されているかを確認するため、次の事項を調査した。

① 2 次系配管の肉厚の管理方法の確認

② 2 次系配管の肉厚の管理状況及び点検検査結果の確認

III. 調査・検討の方法

① ２次系配管の肉厚の管理方法の確認

２次系配管の肉厚の管理方法について説明を受け内容を確認する。

② ２次系配管の肉厚の管理状況及び点検検査結果の確認

点検検査箇所、頻度、方法等が点検検査自主基準等に従い行なわれていること及び結果が自主基準等を満たしていることをエビデンス等で確認する。また、その結果が適切に責任者によって確認されていることを確認する。

IV. 調査・検討の内容

## １、２次系配管の肉厚の管理方法の確認

高速実験炉「常陽」２次系配管の肉厚管理方法について、資料 1-5 に基づき実験炉部より説明を受け、その内容について以下のとおり調査・検討した。その結果、２次系配管の肉厚の管理方法は適切であることを確認した

①設計における考え方

高速実験炉「常陽」建設時における２次系配管の肉厚管理の考え方については、「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針（以下、「常陽」設計指針）[ref. 1]に示されている。それによると、ナトリウム環境による内面腐食減肉量と外気（空気）環境による外面腐食減肉量の両者を腐れ代として強度部材より除くことにより、腐食減肉を考慮している。

②内面腐食減肉の管理方法

２次系配管の内面は、ナトリウムに接することにより還元雰囲気となることから水環境のような材料の酸化物形成，成長と剥離の繰り返しによる減肉の進行は発生し難く、主要な腐食進行因子は温度分布による質量移行と溶存酸素によるその挙動の加速とされている。

「常陽」設計指針では、これら主要な腐食進行因子を考慮し、一定の酸素濃度（25ppm）と温度（520℃）で腐れ代を定めて、その大きさを評価している。原子炉施設保安規定（以下、保安規定）では、この指針を受け、原子炉運転中のナトリウム中酸素濃度を 20ppm 以下とするためプラギング温度を維持基準 225℃以下に管理することとしている。測定頻度は、１日に１回としている。この管理方法は、設計指針及び保安規定に基づくものであり適切である。

なお、質量移行現象に起因する腐食様式を想定した「常陽」設計指針の評価法の妥当性は、多くの研究開発成果に基づき確認されてきている[例えば[ref. 2]。また、本専門部会は、実際に MK－Ⅲ改造工事で切り出された主冷却器出入口配管直管部並び２次系配管の中では偏流により相対的に腐食の可能性が高くなると考えられる主中間熱交換器２次側出口配管エルボ部および配管分岐部について内面観察を行った。その結果、有意な腐食が生じ

ていないことを確認した。これらより、内面腐食に関しては、酸素濃度を制限することによって管理する方法は適切であったことを確認した。

③外面腐食減肉の管理方法

２次系配管の外面については、外気（空気）環境に接することにより腐食することから、「常陽」設計指針では内面腐食と同様に腐れ代とすることによって管理されている。

外気環境の場合は、ナトリウム中の酸素濃度のような環境管理が困難であることから、部位によって腐食量に差が出てくる。２次系配管の外面には、金属製のカバーシートで覆われその上に保温材が設置された部分と，主冷却器の伝熱管のように流動を伴う空気と接触する部分とがある。カバーシートと保温材で覆われた部位には外気がほとんど流動せず腐食量は小さいと考えられる。これに対し外面が流動を伴う空気に接触する伝熱管では、腐食量が相対的に大きくなる。実際、伝熱管表面では配管に比べて多くの錆が開放点検で観察されたとのことであり、このため、主冷却器の伝熱管を検査対象の代表とし定期検査時に自主検査として肉厚測定を実施し、伝熱管肉厚製作仕様(2.0～2.44mm)の最小肉厚である 2.0mm を上回っていることが確認されている。この最小肉厚が、伝熱管肉厚の点検検査自主基準等に相当すると考えられる。

このように、外面腐食については、腐食が緩慢であることから検査頻度を定期点検毎とすること、また、その中でも最も腐食が進みやすい伝熱管を代表部位として管理することは、管理方法として適切である。また、伝熱管の健全性を確保するため、伝熱管肉厚製作仕様の最小肉厚(2.0mm)を上回るようにすることは、維持管理の観点から保守的であるが、適切である。

なお、主冷却器は、MK－Ⅲ改造工事により、新しいものに交換されており、その設計は高速原型炉第１種機器の高温構造設計方針[ref.3]に基づいている。今後の外面腐食量の具体的な管理方法については、より確実な管理ができるように、新主冷却器の設計根拠に基づいた判断基準を、承認欄をも含め、自主点検要領書にわかりやすく明記することが望ましい。

２、２次系配管の肉厚の管理状況及び点検検査結果の確認

２次系配管の肉厚の管理状況及び点検結果について、実験炉部より説明を受け、以下の①、②及び③のとおり調査・検討した。

その結果、点検結果が保安規定維持基準、最小肉厚さ等を満たしていることを確認した。また、これらの管理は、それぞれの計画書、要領書により適切に実施され、実施結果については、管理を担当する原子炉第二課長等の責任者により確認されていることをエビデンスにより確認した。したがって、2次系配管の肉厚の管理状況及び点検検査結果は、良好であったことを確認した。

①内面腐食減肉の管理状況

「常陽」におけるナトリウム中酸素濃度の管理は、原子炉施設保安規定により 20ppm（プラギング温度 225℃（維持基準値））以下で行なうことが規定されており、分析データではこれまで最大 4.9ppm、平均 2.5ppm であったとの報告を実験炉部より受けた。また、「高速実験炉「常陽」冷却材及びカバーガス純度管理データベース（MK-Ⅱ炉心）」によりプラギング温度が維持基準値を満足していたことを確認した。

②外面腐食減肉の管理状況

第 8 回から第 12 回までの全 5 回の定期検査で行なわれた主冷却器伝熱管の肉厚測定について、「年間保守計画書」、「常陽保守作業実施要領書」、「主冷却器伝熱管の X 線検査報告書」により確認した。

この結果、肉厚測定は計画書及び要領書により適切に行なわれ、MK-Ⅲ改造工事前の最後に実施された第 12 回定期検査時の肉厚測定においては、全ての測定箇所で、実測定値は 2.2mm 以上であり、測定誤差を含めて評価した最小肉厚値も 2.1mm となり、製作仕様の最小肉厚(2.0mm)以上であることを確認した。

ＭＫ-Ⅲ改造工事により主冷却器伝熱管は更新されたが、今後とも定期検査において主冷却器伝熱管の肉厚測定を実施することが計画されているとの報告を受けた。この中で、新しい主冷却器伝熱管には、フィンがない部分を設け X 線肉厚測定でのフィンによる測定誤差発生防止等の改善が図られているとの報告を受けた。

③ＭＫ-Ⅲ改造時の撤去配管の健全性確認結果の確認

改造工事において、溶接施工管理のため切り出した２次系配管について肉厚測定が実施されるとともに、２次系配管の新-旧溶接部の機械試験測定が実施された。この肉厚測定から配管内面にエロージョンによる減肉の痕跡が認められなかったこと、機械試験結果に異常が認められなかったことの報告を受けた。

また、当専門部会としても、第 2 図及び第 3 図に示すように撤去された２次系配管及び主冷却器伝熱管の外面及び内面の目視観察を実施し、外面及び内面とも顕著な腐食による減肉が認められなかった。ここでの確認は、内面腐食減肉に対するこれまでの管理方法が適切であったことの裏づけとすることができる。

Ｖ. 経過

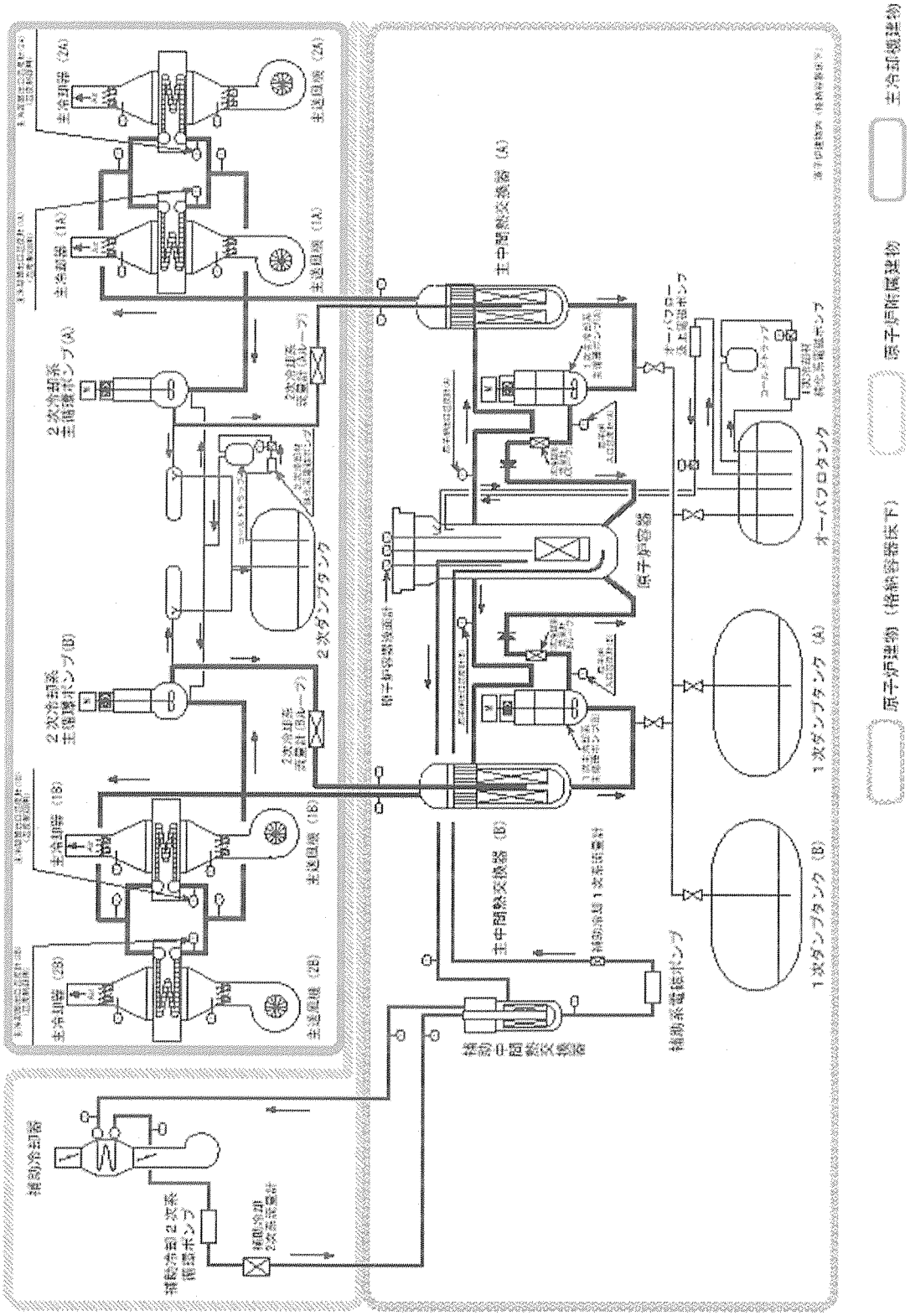
当専門部会は、別紙の構成員のもとに第 1 回会合を平成 16 年 8 月 17 日に行い、合計 4 回の専門部会を開催した。第 3 回会合では、改造工事で切り出した主中間熱交換器２次側出口配管エルボ部等の実物を観察し調査した。8 月 20 日の第 4 回専門部会で、「常陽」２次系配管の肉厚の管理状況の調査結果をまとめ原子炉等安全審査委員会に報告することを決定した。

## 参考文献

[ref. 1]　「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針、動力炉・核燃料開発事業団、N241 72-06(1972).

[ref. 2] 付録 MA.1 ナトリウム環境効果、「高速原型炉第1種機器の高温構造設計方針　材料強度基準等」、動力炉・核燃料開発事業団, N241 84-08(2)(1984).

[ref. 3]　「高速原型炉第1種機器の高温構造設計方針」、動力炉・核燃料開発事業団, N241 81-25(1)(1981).


主冷却機建物
原子炉附属建物
原子炉建物（格納容器底下）
主冷却器（2A）
主冷却器（1A）
主送風機（2A）
主送風機（1A）
2次冷却系
主循環ポンプ（A）
2次冷却系
主循環ポンプ（B）
2次ダンプタンク
主冷却器（1B）
主冷却器（2B）
主送風機（1B）
主送風機（2B）
主中間熱交換器（A）
主中間熱交換器（B）
原子炉容器
オーバフロータンク
1次ダンプタンク（A）
1次ダンプタンク（B）
補助系循環ポンプ
補助冷却器
補助冷却2次系
循環ポンプ

第１図　冷却系統図

第２図　改造工事にて切り出したエルボ配管内面の観察

第３図　改造工事にて切り出した２次系配管直管部及び主冷却器伝熱管の観察

別紙

1, 専門部会の構成員

部会長

山　下　清信　（システム技術開発部 次長、原子炉等安全審査委員）

委員

田　村　政昭　（開発調整室、研究主幹）

大久保　利行　（環境保全課長、原子炉等安全審査委員）

吉　田　英一　（要素技術開発部新技術開発試験グループ サブリーダ）

笠　原　直人　（要素技術開発部構造信頼性研究グループ リーダ）

下　山　一仁　（要素技術開発部熱化学安全試験グループ 副主任技術員）

事務局

鹿志村　芳範　安全管理部　安全対策課長

立　邊　和明　安全管理部　安全対策課　副主任技術員

2, 調査・検討の経緯

第１回　平成 16 年 8 月 17 日(火) 16:30～17:50　安全管理棟 会議室

第２回　平成 16 年 8 月 18 日(水)　9:00～12:00　実験炉部　第５会議室

第３回　平成 16 年 8 月 19 日(木)　9:00～12:00　実験炉部　第５会議室
及び伝熱管展示場（ロビー）
並び要素技術開発部ナトリウム技術開発室第１試験室

第４回　平成 16 年 8 月 20 日(金)　16:00～18:00　安全管理棟 会議室

3, 専門部会の調査・検討に用いた資料

0-1　「常陽」２次系配管の肉厚の管理状況に関する調査

1-1　東京事務所情報「第１回美浜３号機２次系配管破損事故調査委員会（メモ）」

1-2　事務連絡「二次系配管の健全性の確保について（原子力規制室）」

1-3　「常陽」２次系配管の肉厚に係る点検検査状況に関する調査（案）

1-4　関西電力美浜発電所３号機の２次系配管の破損事故を踏まえた対応について

1-5　高速実験炉「常陽」２次系配管の健全性の確保について

1-6　美浜３号事故に関連した対外対応時の応答Ｑ＆Ａ（案）（大洗）

2-1　「常陽」空気冷却器伝熱管健全性確認の考え方について

3-1　高速実験炉「常陽」２次系配管の肉厚管理について

3-2　高速実験炉「常陽」冷却材及びカバーガス純度管理データベース（MK-Ⅱ炉心）

3-3　高速実験炉「常陽」年間保守計画書

3-4　常陽保守作業実施要領書

3-5　主冷却器伝熱管のX線検査要領書

3-6　主冷却器伝熱管のX線検査報告書

3-7　原子炉施設（高速実験炉）の設計及び工事の方法の認可申請について

付録　1

1、　MK-Ⅲ改造工事での原子炉冷却系統施設の変更

① 一次冷却設備の主中間熱交換器及び一次冷却材ポンプの容量

一次冷却設備の主中間熱交換器の容量を 50MW/基から 70MW/基へ、一次冷却材ポンプの容量を 1.1x10$^6$kg/h/基から 1.35x10$^6$kg/h/基へ、それぞれ変更している。なお、容量の増加にともない主中間熱交換器は新たに製作し交換した。一次冷却材ポンプの容量の増加は、既設のポンプの能力の範囲で運転回転数を増加した。

② 二次冷却設備の主冷却器及び循環ポンプの容量等の変更

二次冷却設備の主冷却器の容量を 25MW/基から 35MW/基へ、また、循環ポンプの容量を 1.1x10$^6$kg/h/基から 1.2x10$^6$kg/h/基へ、揚程を 35mNa から 40mNa へ、それぞれ変更している。なお、容量が増加する主冷却器は新たに製作したものと交換したが、循環ポンプの容量等の増加は、既設のポンプのモータを交換することで行った。

③ 原子炉容器入口冷却材温度の変更

原子炉入口冷却材温度を 370℃から 350℃に変更している。なお、出口冷却材温度は、変更していない(500 ℃)。

2.　2次冷却系の概要

2次冷却系は1次冷却系から主中間熱交換器を介して伝えられた熱を空冷式主冷却機により大気中に放散する系統で、1次冷却系に合わせて2ループからなっている。本系統の冷却材は非放射性であるので、系統機器は原子炉附属建物に隣接する主冷却機建物内に収納し、地下の配管路を通じて格納容器内の主中間熱交換器と接続する。ナトリウムは、主循環ポンプより吐出され、主中間熱交換器の管側に入り胴側を流れる1次ナトリウムと熱交換された後、主冷却器に入り伝熱管の外側を流れる空気により冷却され、再びポンプに戻る。主冷却機は、水平に置かれた伝熱管を鉛直方向の空気流で冷却する構造になっている。冷却用空気は建物側面より吸込まれ、主送風機、主冷却器を通過して外気へ放出される。ナトリウム流量は主循環ポンプの回転数制御によって調節し、除熱量は主冷却器の風量制御により調節する。自然循環時における除熱量制御は主冷却機空気ダクトのダンパの開度調節で行う。

2次冷却系主要目

| | |
|---|---|
| 除　熱　量 | 140MWt |
| ル　ー　プ　数 | 2 |
| ナトリウム流量（1ループ当たり） | 約 1,200t/h |

| | |
|---|---|
| ナトリウム運転温度 | |
| 主中間熱交換器出口 | 約 470℃ |
| 主中間熱交換器入口 | 約 300℃ |
| 大　気　温　度 | 40℃ |
| 設計圧力（ポンプ出口） | 5 kg/cm²g |
| 設計温度 | |
| ホットレグに接続される配管 | 520℃ |
| コールドレグに接続される配管 | 400℃ |
| 配管材料 | 2 1/4Cr-1Mo |

(1)　２次冷却系主循環ポンプ

２次冷却系主循環ポンプはたて軸自由液面型遠心ポンプで主冷却器建物内に据付ける。ポンプは下端に吸込ノズルがあり、主冷却器を出たナトリウムはここからポンプに入り、インペラ、ディフューザを通過して高圧となった後ケーシング側面の吐出ノズルから流出する。ポンプ内のナトリウム自由液面の上部はアルゴンガスで覆い、上部にある軸封装置、軸受保護のための熱遮へいを設ける。熱遮へいとポンプ部分は保守点検が容易にできるように外ケーシングをそのままにして抜き出すことができる。なお、MK-Ⅲ炉心に用いる２次冷却系主循環ポンプの本体部分は MK-Ⅱ 炉心のものを使用し、駆動用電動機は容量を向上させたものが使用されている。

２次冷却系主循環ポンプ主要目

| | |
|---|---|
| 型　　式 | たて軸自由液面型遠心式 |
| 基　　数 | 2 |
| 設計圧力（容器部） | 5 kg/cm²g |
| 設計温度 | 400℃ |
| 定格流量 | 約 1,200 t ／ h |
| 定格揚程 | 約 40m Na |
| 運転温度 | 約 300℃ |
| 流量変化 | 定格の約 35 ～100％可変 |
| 胴部 | SUS304 |

(2)　主冷却機

空冷式の主冷却機は原子炉で発生する熱を大気中に放散する装置である。主冷却器は２次冷却系１ループにつき２基を並列に接続したものである。このように構成することによって自然循環を容易にする。主冷却機は多数本のフィン付管を水平に配列した主冷却器と、この管束部に空気を送り込む主送風機設備から構成される。２ループ分の合計４基の主冷却器は、主冷却機建物の両側

に２基ずつ配置され空気は建物側面の下方より取入れ、主送風機、主冷却器を通り上方に排出される。主冷却器のナトリウムのドレンは主冷却機出口側主配管から、ガスのベントは主冷却機入口側主配管から行うことができる。
主送風機設備は主送風器のほか、インレットベーン、出入口ダンパ、ダクト類及び予熱設備から構成される。主送風機はインレットベーンと入口ダンパにより、冷却材温度制御系から制御信号を受けて、風量を定格値の100％から約５％まで連続的に変化させる機能を有している。またダンパは、各主送風機停止時、自然通風冷却を行う際に冷却材温度制御系からの信号に応じて風量の調節を行うと共に必要な場合には全閉できる。予熱設備は主冷却器内でのナトリウム凝固を防止するものである。MK-Ⅲ炉心においては下記主要要目に示すように除熱能力を向上させた主冷却器を用いる。

主冷却機主要目

| | | |
|---|---|---|
| 型　　式 | | 空冷フィンチューブ多管式 |
| 数　　量 | | ２基／ループ<br>（各基は主冷却器と主送風機からなる） |
| 定　格　容　量 | | 35 ＭＷ／基 |
| 設計圧力（ナトリウム側） | | 3kg／cm²g |
| 設計温度（ナトリウム側） | | 520℃ |
| ナトリウム温度 | 入口 | 約470℃ |
| | 出口 | 約300℃ |
| ナトリウム流量<br>（１ループ当たり） | | 約1,200ｔ／ｈ |
| 空気入口温度 | | 40℃ |
| 空気出口温度 | | 約260℃ |
| 最大空気流量 | | 約8,500Nm³/min/基 |
| 主冷却器伝熱管の材料 | | 2 1/4Cr-1Mo |

## 第３章　おわりに

ナトリウム環境では、極めて緩慢であるが、温度分布による質量移行が主な減肉因子でそれが溶存酸素により加速されることが挙げられる。２次系配管の内面については、このことを考慮し、その主要因子である酸素濃度がプラギング温度により管理されていた。外面については、外面が流動を伴う空気と接触する主冷却器伝熱管は腐食減肉が最も大きくなるためこの部分を選び、自主検査として肉厚測定がされていた。これら管理方法は、設計指針に基づいており適切と判断した。

内面の管理状況に関して、プラギング温度が維持基準以下に管理されてきたことを記録データにより確認した。また、外面については、主冷却器伝熱管の肉厚が、定期検査毎に自主的に測定され、製作仕様の最小肉厚を上回っていることが確認されてきた。これより、管理状況及び点検検査結果は良好であったことを確認した。

以上の調査結果に基づいて、専門部会は、①２次系配管の肉厚の管理方法は適切であり、また②管理状況及び点検検査結果は良好であったことを確認し原子炉等安全審査委員会に報告した。

## 参考文献

(1) 動力炉・核燃料開発事業団、「動燃 30 年史」(1998).

## 謝辞

原子炉等安全審査委員長可児吉男氏をはじめとする審査委員の方々には、調査結果について確認を頂き感謝致します。また、専門部会設置のため準備・調整を行なわれました安全管理部次長樋口常久氏に感謝します。実験炉部から適切な説明・報告を受けることは当然のことでありますが、第２運転サイクルを開始する直前の忙しい中、調査に協力していただいた実験炉部技術課川原啓孝氏をはじめとする実験炉部の方々に感謝致します。本技術報告を作成するに当たり御協力頂いた安全管理部安全対策課長代理　野村紀男氏、同課副主任技術員立邊和明氏に感謝致します。