

「常陽」 MK-III 冷却系改造工事
— 1 次冷却系機械設備（主中間熱交換器）—
(技術報告)

2004年4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

「常陽」MK-III冷却系改造工事
— 1次冷却系機械設備（主中間熱交換器）—
(技術報告)

大嶋 淳^{*1}, 芦田 貴志^{*2}, 磯崎 和則^{*2}, 住野 公造^{*2}
山口 明^{*3}, 坂場 秀男^{*2}, 富田 直樹^{*2}, 小澤 健二^{*4}

要旨

高速実験炉「常陽」の照射能力の高度化を目的とした MK-III計画では、炉心の高速中性子束を高めることで熱出力が MK-II の 100MWt から 140MWt に増大した。冷却系の改造は、除熱能力の向上を目的として大型ナトリウム機器を交換するものであり、1次冷却系では、主中間熱交換器(IHX)及び IHX 接続配管の交換を行った。本改造は、既設プラントの冷却材バウンダリを維持した状態で放射性ナトリウムが付着した大型機器を交換する我が国初めての工事であり、さらに限られた作業エリア、高放射線環境下での作業等、多くの制約条件があった。このため、従来の「常陽」における運転・保守に関する経験、知見、ナトリウム取扱技術に関する研究開発成果等を参考にしつつ、工事準備段階で綿密な検討を行い、改造工事を実施した。

MK-III冷却系改造のうち、1次冷却系機械設備（主中間熱交換器）の改造工事で得られた主要な成果は以下のとおりである。

- (1) モックアップ試験による基本工法の確認、最適な作業方法と作業条件の選定、トレーニングによる作業習熟等を図り、的確な工事方法と作業時間短縮により、作業員の被ばく線量を低減することができた。
- (2) ナトリウムバウンダリを開放する作業（配管切断、ナトリウム除去・洗浄、配管溶接）時のシールバッグによる雰囲気隔離方法の有効性を実証した。
- (3) 冷却材バウンダリ開放時間を低減する適切な切断順序の策定、各切断部位に応じた適切な切断工法（パイト切削+押切り等）の選定により、内外管を含む計 44箇所の配管切断時における異物混入を防止できた。
- (4) 配管切断開口部に付けた専用の仮閉止治具（閉止キャップ、固定治具、ヘキサプラグ）により、工事期間中、冷却材バウンダリを確実に維持することができた。
- (5) 配管切断部に残留したナトリウムの掻き出し及び内面付着ナトリウムの拭き取り方法の有効性を実証すると共に、効率的な作業方法を見出した。
- (6) 配管溶接時の差圧管理（パックシールガスとシールバッグ内圧）と配管表面温度の監視によるシールバッグ内溶接作業の施工方法を確立した。

1次冷却系機械設備（主中間熱交換器）の改造工事は、2000年10月30日に開始し、大きなトラブルもなしにほぼ計画通り 2001年9月21日に完了した。これらの成果は今後同様な工事を実施する場合に十分反映できるものと考えられる。

*1: 実験炉部原子炉第二課（現在 三菱重工業株式会社）

*2: 実験炉部原子炉第二課

*3: 実験炉部原子炉第二課（現在 株式会社日立製作所）

*4: 実験炉部原子炉第二課（現在 照射施設運転管理センター）

April, 2004

JOYO MK-III Heat Transport System Renovation Operation
—Primary Heat Transport Mechanical System (IHXs (Intermediate Heat Exchangers)) —
(Technical Report)

Jun Ohshima*¹, Takashi Ashida*², Kazunori Isozaki*², Kouzou Sumino*²
Akira Yamaguchi*³, Hideo Sakaba*², Naoki Tomita*², Kenji Ozawa*⁴

Abstract

The MK-III project to improve the irradiation capability of the experimental fast reactor JOYO have been carried out since 1987. The increase of fast neutron flux and the enlargement of irradiation field increase the reactor thermal power from 100MWt to 140MWt. To accommodate the increased thermal power, the IHXs and the IHX connecting piping were replaced. The IHXs were replaced with securing cooling system boundary in high dose rate surroundings and very limited operation space of the radiation controlled area in the containment vessel. Primary sodium contains radioactive ^{22}Na , ^{24}Na and radioactive CPs such as ^{60}Co and ^{54}Mn , and this sodium adhered to the inner surface of IHXs and pipe. Therefore, the renovation procedure and method were carefully examined based on the JOYO operation and maintenance experiences and research and development results on the sodium handling technique.

The major results obtained in the primary heat transport mechanical system (IHXs) renovation operation were shown as follows;

- (1) The mock up tests to optimize the operating methods, to check the operability and for workers training were useful for reduction of radiation exposure by shortening the operation time in high dose rate surroundings.
- (2) The effectiveness of seal bag for prevention of impurity ingress to the sodium system and contamination during sodium boundary opening (cutting pipes, sodium removal and welding pipes) was confirmed.
- (3) The pipes were cut without foreign object such as cutting piece and tool ingress by careful examination of cutting procedure and methods such as bite, roller cutter.
- (4) The temporary closing equipment such as seal cap and seal plug were effectively worked to seal the cooling system boundary between cutting and welding pipes.
- (5) Sodium adhered on the inner surfaces of pipe was effectively and safely removed by a mechanical scraper or drill and a cloth moistened by a mixture of alcohol and water.
- (6) Control of low gas pressure difference between cover gas pressure and seal bag pressure and monitoring of pipe surface temperature is useful to avoid welding flaw during pipe welding in the seal bag.

Replacement operations started October 30, 2000 and finished September 21, 2001 without major troubles. The above results obtained this operation will be applied not only the operation and maintenance activity of JOYO but also the renovation of FBR and design for future sodium cooled FBR.

*1 : Maintenance Engineering Section, Experimental Reactor Division

(At present, Mitsubishi Heavy Industries Ltd)

*2 : Maintenance Engineering Section, Experimental Reactor Division

*3 : Maintenance Engineering Section, Experimental Reactor Division
(At present, Hitachi Ltd)

*4 : Maintenance Engineering Section, Experimental Reactor Division
(At present Irradiation Center)

目 次

1. はじめに	1
2. 工事及び交換機器の概要	2
2.1 工事概要	2
2.2 交換機器の概要	3
3. 工事手順及び工程	7
3.1 工事手順	7
3.2 工事工程	10
3.3 計画工程と実績の主要相違点	11
3.3.1 工事工程へ影響を与えた相違点	11
3.3.2 その他の相違点	13
3.3.3 実績工程のまとめ	14
4. 配管切断・溶接モックアップ試験	16
4.1 試験目的	16
4.2 試験内容	16
4.2.1 モックアップ試験の実施範囲	16
4.2.2 試験体の製作	17
4.2.3 試験内容	17
4.3 試験工程	18
4.4 試験結果	19
4.4.1 要素試験結果	19
4.4.2 フルモックアップ試験結果	21
5. 準備作業	25
5.1 先行工事と準備工事	25
5.1.1 先行工事	25
5.1.2 準備工事	25
5.2 本体工事の準備作業	26
5.2.1 干渉物の撤去	26
5.2.2 仮設遮へい体の設置	27
6. 旧主中間熱交換器の撤去	29

6.1 配管切断	29
6.1.1 配管切断位置	29
6.1.2 配管切断部の特徴と切断方法	29
6.1.3 配管切断順序	29
6.1.4 配管切断手順	31
6.1.4.1 1次主冷却系配管（入口配管垂直部、出口ノズル部）の切断手順	31
6.1.4.2 1次主冷却系配管（出口配管水平部）の切断手順	32
6.1.4.3 1次主冷却系配管（入口ノズル部）の切断手順	34
6.1.4.4 2次主冷却系配管（入口配管、出口配管）の切断手順	35
6.1.4.5 その他配管の切断手順	36
6.1.5 配管切断時のガス圧管理、酸素濃度管理	37
6.1.5.1 カバーガス（1次及び2次アルゴンガス系）圧力管理	38
6.1.5.2 酸素濃度管理	38
6.1.6 シールバッグの特徴と取付け方法	39
6.1.6.1 シールバッグの構造	39
6.1.6.2 シールバッグの特徴	39
6.1.6.3 シールバッグの取付け方法と漏洩対策	40
6.1.6.4 シールバッグの漏洩チェック	40
6.1.7 配管切断後の閉止方法	41
6.1.7.1 外管開口部の閉止方法	41
6.1.7.2 内管及びその他配管開口部の閉止方法	41
6.1.7.3 既設系統側配管の圧力と閉止キャップの耐圧強度	42
6.1.7.4 撤去配管及び旧主中間熱交換器ノズル部の閉止方法	43
6.1.8 配管切断作業の特記事項	43
6.2 旧主中間熱交換器の撤去	45
6.2.1 撤去手順	46
6.2.2 旧主中間熱交換器運搬時の一時管理区域の設定	47
6.2.3 旧主中間熱交換器のナトリウム付着量の推定	48
6.2.4 旧主中間熱交換器の表面線量率	48
6.2.5 旧主中間熱交換器の保管方法	49
6.3 ナトリウム除去・洗浄	49

8.2 主中間熱交換器の交換に係る現地試験検査対象と検査項目	70
8.2.1 試験検査対象と検査項目	70
8.2.2 耐圧検査（耐圧代替試験）の方法	72
8.3 試験検査工程	73
8.4 使用前検査実績	74
8.5 試験検査関連の特記事項	75
9. 復旧作業	77
9.1 本体工事の復旧作業	77
9.2 先行工事の復旧作業	77
9.3 干渉物復旧時の検査（自主検査）	77
9.4 復旧作業の特記事項	78
9.5 復旧作業後の不具合事象	79
10. 考察及びまとめ	82
10.1 主要な工事方法	82
10.2 工事管理	89
10.3 不具合事象	89
10.4 今後の反映事項	94
11. おわりに	98
12. 謝　　辞	100
13. 参考文献	101

表リスト

表 2.2-1 主中間熱交換器主要目	103
表 2.2-2 1次主冷却系配管仕様	104
表 2.2-3 2次主冷却系配管仕様	105
表 2.2-4 1次アルゴンガス系配管仕様	106
表 2.2-5 1次冷却材純化系配管仕様	107
表 2.2-6 2次ナトリウム充填ドレン系配管仕様	108
表 3.2-1 MK-Ⅲ冷却系改造工事（1次冷却系機械設備） の予定及び実績工程	109~110
表 4.2-1 配管切断・溶接モックアップ試験の実施範囲	111
表 4.2-2 配管切断・溶接のモックアップ試験内容	112
表 4.3-1 配管切断・溶接のモックアップ試験工程（実績）	113
表 4.4-1 要素試験体によるモックアップ試験結果	114~116
表 4.4-2 フルモックアップ試験体によるモックアップ試験結果	117~118
表 4.4-3 作業時間の比較	119
表 4.4-4 開先形状の変更前後	119
表 5.2-1 機械設備の干渉物一覧	120
表 5.2-2 電気・計装設備の干渉物一覧	121
表 6.1-1 配管切断箇所の配管仕様一覧	122
表 6.1-2 配管切断フローの比較一覧	123
表 6.1-3 シールバッグの特徴	124
表 6.1-4 1次主冷却系配管（外管）開口部の閉止方法	125
表 6.1-5 1次主冷却系配管（内管）及びその他配管開口部の閉止方法	126
表 6.1-6 1次主冷却系配管（内管）及びその他配管切断部のナトリウム付着状況	127
表 6.2-1 旧主中間熱交換器のナトリウム付着量（推定値）	128
表 6.3-1 1次及び2次冷却系統から除去したナトリウム量（推定値）	129
表 6.3-2 シールバッグ内持込治工具一覧（ナトリウム除去・洗浄作業）	130
表 6.4-1 開先加工対象配管の一覧（開先加工機等）	131
表 7.2-1 配管溶接箇所一覧	132~133
表 7.2-2 1次系改造工事（MK-Ⅲ）における配管溶接フローの比較一覧	134

表 7.2-3 外管溶接時のバックシール用アルゴンガスの給排気部位	135
表 7.2-4 シールバッグ作業による系統内酸素混入量（推定値）	136～137
表 8.1-1 MK-Ⅲ計画に係る設工認の分割申請一覧	138
表 8.1-2 設工認、使用前検査申請、計画書及び要領書一覧	139
表 8.2-1 品質管理程度表	140
表 8.2-2 耐圧代替試験方法と溶接検査の非破壊試験	141
表 8.3-1 (1/3) 現地試験検査工程実績（1次系配管 A 系溶接）	142
表 8.3-1 (2/3) 現地試験検査工程実績（1次系配管 B 系溶接）	143
表 8.3-1 (3/3) 現地試験検査工程実績（2次系配管溶接）	144
表 8.4-1 主中間熱交換器の交換に係る現地使用前検査実績	145
表 10.1-1 MK-Ⅲ工事期間中に系統内に混入した酸素量	146
（シールバッグ又はキャスク内作業によって混入した酸素量推定値）	
表 10.1-2 MK-Ⅲ工事期間中に系統内に混入した酸素量	146
（MK-Ⅲ新規据付機器の内面に付着した酸素量推定値）	
表 10.3-1 配管溶接施工条件の比較	147

図リスト

図 2.1-1 1次冷却系機械設備の改造工事範囲	149
図 2.1-2 1次冷却系機械設備の改造工事エリア	150
図 2.2-1 主中間熱交換器構造図	151
図 2.2-2 接続用1次冷却系配管構造図	152
図 2.2-3 1次主冷却系系統図	153
図 2.2-4 接続用2次冷却系配管構造図	154
図 2.2-5 2次主冷却系系統図	155
図 2.2-6 接続用1次アルゴンガス系配管構造図	156
図 2.2-7 1次アルゴンガス系系統図	157
図 2.2-8 1次冷却材純化系配管閉止キャップ構造図	158
図 2.2-9 1次ナトリウム純化系系統図	159
図 2.2-10 接続用2次ナトリウム充填及びドレン系配管構造図	160
図 2.2-11 2次ナトリウム充填ドレン系配管止弁構造図	161
図 2.2-12 2次ナトリウム充填ドレン系系統図	162
図 3.1-1 1次冷却系機械設備の改造工事（主中間熱交換器の交換）フロー	163
図 4.2-1 (1/4) 要素試験体の構造図（1次主冷却系配管入口ノズル部）	164
図 4.2-1 (2/4) 要素試験体の構造図 （1次主冷却系配管入口垂直部及び出口ノズル部）	165
図 4.2-1 (3/4) 要素試験体の構造図（1次主冷却系出口配管水平部）	166
図 4.2-1 (4/4) 要素試験体の構造図（2次主冷却系配管（STPA24））	167
図 4.2-2 フルモックアップ試験体の構造図 （1次主冷却系入口側配管及び出口側配管）	168
図 4.2-3 フルモックアップ試験体の製作状況	169
図 4.4-1 要素試験体によるモックアップ（要素試験）状況	170～174
図 4.4-2 フルモックアップ試験状況	175～178
図 4.4-3 アルゴンガス置換の作業時間と酸素濃度	179
図 4.4-4 仮閉止板及び固定治具の耐圧試験状況	180
図 5.1-1 遮へいコンクリート冷却系系統図	181
図 5.1-2 先行工事の工事状況	182

図 5.1-3 準備工事の工事状況	183
図 5.2-1 本体工事の準備作業状況	184~187
図 5.2-2 機械設備の干渉物の撤去状況	188~189
図 5.2-3 電気・計装設備の干渉物の撤去状況	190
図 5.2-4 仮設遮へい体の設置位置及び数量	191
図 5.2-5 1次系改造工事の被ばく線量	192
図 6.1-1 旧主中間熱交換器接続配管の切断位置	193
図 6.1-2 旧主中間熱交換器接続配管の切断順序（実績）	194
図 6.1-3 1次主冷却系配管（入口配管垂直部／出口ノズル部）の切断手順概念図	195
図 6.1-4 1次主冷却系配管（出口配管水平部）の切断手順概念図	196
図 6.1-5 1次主冷却系配管（入口ノズル部）の切断手順概念図	197
図 6.1-6 配管切断時のカバーガス圧力管理状況	198
図 6.1-7 シールバッグの系統構成と設置状況	199
図 6.1-8 配管切断時の酸素濃度及び窒素濃度管理状況	200
図 6.1-9 シールバッグ構造図	201
図 6.1-10 シールバッグの取付け状況（モックアップ試験時）	202
図 6.1-11 切断開口部の閉止治具と取付け状況	203
図 6.1-12 旧主中間熱交換器ノズル部保管用本閉止板構造図	204
図 6.1-13 1次主冷却系撤去配管保管用本閉止板構造図	205
図 6.1-14 2次主冷却系撤去配管保管用本閉止板構造図	206
図 6.1-15 撤去配管及び旧主中間熱交換器ノズル部の閉止版取付け状況	207
図 6.1-16 残留ナトリウムが確認された切断部位の配管構造	208
図 6.1-17 配管切断部のナトリウム付着状況	209~210
図 6.2-1 旧主中間熱交換器の撤去・搬出状況	211~212
図 6.2-2 旧主中間熱交換器(B)運搬時の一時管理区域	213
図 6.2-3 旧主中間熱交換器(B)仮置き時の一時管理区域	213
図 6.2-4 旧主中間熱交換器の表面線量率	214
図 6.2-5 固体廃棄物貯蔵設備の構造図	215~216
図 6.3-1 ナトリウム除去・洗浄作業状況（2次主冷却系配管）	217
図 6.3-2 ナトリウム除去・洗浄作業状況（その他の対象配管）	218
図 6.3-3 ナトリウム除去・洗浄作業時のカバーガス圧力管理状況	219

図 6.3-4 ナトリウム除去・洗浄作業時の酸素濃度及び窒素濃度管理状況	220
図 6.3-5 ナトリウム除去・洗浄用治工具	221
図 6.3-6 閉止板（ヘキサプラグ）の構造図	222
図 6.4-1 1次冷却系及び2次冷却系配管の開先形状（一例）	223
図 6.4-2 開先加工の作業状況	224
図 7.1-1 新主中間熱交換器の搬入・据付作業状況	225～227
図 7.1-2 新主中間熱交換器ノズル部の閉止板交換作業状況	228
図 7.1-3 新主中間熱交換器の運搬ルート	229～230
図 7.1-4 ダミー配管の構造及び外観	231
図 7.2-1 新主中間熱交換器接続配管の溶接位置	232
図 7.2-2 新主中間熱交換器接続配管の溶接順序（実績）	233
図 7.2-3 入口ノズル接続体の溶接手順概念図	234
図 7.2-4 入口側接続配管内管の溶接手順概念図	235
図 7.2-5 出口側接続配管内管の溶接手順概念図	236
図 7.2-6 1次主冷却系配管外管の溶接手順概念図	237
図 7.2-7 予熱窒素ガス系 I S I 窓の設置位置	238
図 7.2-8 1次主冷却系配管外管溶接時の	
バックシールガスページ要領	239～241
図 7.2-9 配管溶接時のカバーガス圧力管理状況	242
図 7.2-10 配管溶接時の酸素濃度及び窒素濃度管理状況	243
図 7.2-11 RT 検査結果（メーカ自主）の溶接不良発生率	244
図 8.1-1 MK～Ⅲ設置変更許可申請書の変更点と設工認の分割申請項目	245
図 8.1-2 設工認申請と使用前検査申請の方法	246
図 8.2-1 規定圧力で耐圧検査を実施する場合の耐圧試験系統図	247～249
図 9.1-1 復旧作業状況	250～251
図 9.4-1 更新したナトリウム漏えい検出器の取付位置	252
図 9.4-2 1次ナトリウム漏えい検出器の交換工事作業状況	253～254
図 9.4-3 主中間熱交換器ナトリウム液面計の回路構成図	255
図 9.4-4 主中間熱交換器ナトリウム液面計の展開接続図	256
図 10.3-1 接続用 2次冷却系配管（A）の配管長	257
図 10.3-2 接続用 2次冷却系配管（B）入口配管の溶接施工履歴	258

図 10.3-3 補修溶接時のシールバッグ状況	259
図 10.3-4 補修溶接時の作業状況	260
図 10.3-5 接続用 2 次冷却系配管（B）入口配管の構造図	261
図 10.3-6 閉止板及び固定用部材の取付け構造	262
図 10.3-7 落下物の内部確認状況と回収治具及びモックアップ試験状況	263
図 10.3-8 溶接スタート板の落下状況概略図	264
図 10.3-9 主中間熱交換器(B)落下物回収作業状況	265

1. はじめに

高速実験炉「常陽」の照射能力の高度化を目的とした MK-III 計画では，“炉心の高速中性子束を高める”，“照射運転時間を増やす”，“照射技術を向上させる”ことであるが、炉心の中性子束を高めることで熱出力が MK-II の 100MWt から 140MWt に増大した。MK-III 冷却系改造では、その除熱能力を高めるため、原子炉冷却系機器の主中間熱交換器、主冷却機をはじめとした冷却系機器を交換する工事を 2000 年 10 月 30 日に開始し、ほぼ計画通り 2001 年 9 月 21 日に完了した。

このうち、1 次冷却系機械設備の改造では、主中間熱交換器の交換、1 次主冷却系接続配管（入口及び出口）の交換、2 次主冷却系接続配管（入口及び出口）の交換、1 次アルゴンガス系接続配管の交換、2 次ナトリウム充填ドレン系接続配管の交換及び 1 次冷却材純化系接続配管（A 号機）の撤去を行った。

1 次冷却系機械設備の改造の特徴は、撤去する機器及び配管内面に放射性ナトリウム及び放射性腐食生成物（CP）が付着していること、工事期間中は 1 次系バウンダリを維持した状態であること、作業場所周辺は高放射線環境で、かつ、狭隘部であること等が上げられる。また、ナトリウムを冷却材として使用する高速炉の 1 次系大型機器の交換は、我が国初めての経験であり、工事方法と工事管理については、従来の「常陽」における運転・保守に関する知見、ナトリウム取扱技術に関する研究開発成果等を参考にしつつ、工事準備段階で綿密な検討を行い現地工事に反映した。

工事方法については、配管切断及び溶接作業のモックアップ試験を行い、工事方法の確認と見直しを行うと共に、作業員のトレーニングを行った。現地作業に於ける工事管理については、作業員の被ばく低減及び汚染拡大防止等の放射線管理、系統内への酸素混入防止等のナトリウム純度管理、カバーガス圧力の低圧制御等のカバーガス管理、系統内への切粉混入、治工具類の落下防止等の清浄度管理、配管構造健全性維持と溶接施工管理等にポイントをおいて現地工事を実施した。

本報告書は、MK-III 冷却系改造工事のうち、1 次冷却系機械設備の改造に係るナトリウム配管の切断、旧主中間熱交換器の撤去、既設系統側配管のナトリウム除去、新主中間熱交換器の据付、配管溶接、試験検査について現地工事の方法と結果、改造工事で得られた経験等についてまとめたものである。

2. 工事及び交換機器の概要

2.1 工事概要

MK-Ⅲ冷却系改造の本体工事は、「常陽」MK-Ⅱ第35サイクル運転終了(2000年6月1日)後、第13回定期検査期間中(2000年6月1日から2003年11月27日)である2000年10月30日から2001年9月21日の間に実施した。

図2.1-1に1次冷却系機械設備の改造工事範囲を示す。

1次冷却系機械設備の改造で交換した機器は、以下のとおりである。

- | | |
|----------------------------|----------|
| (1) 主中間熱交換器（一部計装品を含む） | : 2基 |
| (2) 1次主冷却系配管内管及び外管（入口及び出口） | : 2式 |
| (3) 2次主冷却系配管（入口及び出口） | : 2式 |
| (4) 1次アルゴンガス系配管 | : 2式 |
| (5) 1次冷却材純化系配管（A号機） | : 1式（撤去） |
| (6) 2次ナトリウム充填ドレン系配管（止め弁含む） | : 2式 |

主中間熱交換器の交換は、本体工事に先立ち2000年7月に先行工事として干渉する遮へいコンクリート冷却系配管の撤去準備（フランジ部の切り離しと閉止フランジ取付け）、予熱室素ガス系配管(B)保温材の一部改造を実施した。

本体工事は、2000年10月30日から着手し、準備作業と主要な干渉物の撤去作業を2000年12月下旬までに完了した。配管切断は、2001年1月から着手し、1次主冷却系配管（二重管）の外管（16箇所）、内管（9箇所）、1次アルゴンガス系配管（4箇所）、1次冷却材純化系配管（2箇所）、2次主冷却系配管（9箇所）、2次ナトリウム充填ドレン系配管（4箇所）の計44箇所の配管を切断した。

既設系統側配管の開口部については、全13箇所の切断開口部について、配管内部に残留したナトリウムの除去及び配管内面に付着したナトリウムの洗浄作業（配管端部から約300mmの範囲）を行い、当該部の開先加工時に干渉しない仮閉止板（ヘキサプラグ）を取付けて開先加工を行った。なお、ナトリウム除去作業は配管切断と同様に系統バウンダリの開放を伴うことから、ヘキサプラグ取付けまでの作業はシールバッグ内で実施した。

旧主中間熱交換器の搬出、移動、固体廃棄物貯蔵設備への搬入作業は、固体廃棄物貯蔵設備内の配置制約から、B号機（2001年3月26日～27日）、A号機（2001年4月4日～5日）の順番で原子炉格納容器から搬出し、メンテナンス建家へ搬入後、固体廃棄物貯蔵設備へ収納保管した。

新主中間熱交換器の搬入、ダミー配管合せ、据付作業は、撤去順序に対応してB号機（2001年4月13日～5月2日）、A号機（2001年4月23日～5月10日）の順番で大型機器保管倉庫からメンテナンス建家へ輸送し、原子炉格納容器内へ搬入後据付を行った。

配管溶接作業は、主中間熱交換器を1次冷却系バウンダリへ接続するため、1次主冷却系配管（二重管）の内管（10箇所）、1次アルゴンガス系配管（4箇所）及び1次冷却材ナトリウム純化系配管（1箇所）の溶接を行った。次に、外管（42箇所）及びリークジャケットノズル部（14箇所）の溶接、2次主冷却系配管（9箇所）、2次ナトリウム充填ドレン系配管（4箇所）の計84箇所についてティグ溶接を用いて実施した。

試験検査は、溶接検査（原安センター）、機器の交換に伴う設計及び工事の方法の認可申請（以下設工認という）及び使用前検査申請に基づく使用前検査（文部科学省）を受検した。溶接検査は、2001年5月9日～8月8日の間に計41回の溶接検査を受検し、溶接継手部が健全であることを確認した。使用前検査については、2001年6月7日～8月21日の間に計8回の使用前検査を受検し、現地工事が設工認どおり行われ、交換した機器が健全であることを確認した。

復旧作業は、配管溶接及び試験検査に引き続き本設サポートの取付け、仮設サポートの撤去、保温材の取付け及び一時撤去した干涉物（機械設備、電気・計装設備）の復旧等を8月中旬から着手し、仮設電源分電盤の撤去、片付け清掃までの全作業を2001年9月21日に完了した。

図2.1-2 に本改造工事で作業を行った工事エリアを示す。

2.2 交換機器の概要

(1) 主中間熱交換器（一部計装品等を含む）

主中間熱交換器は、伝熱管に直管を採用した縦置きシェルアンドチューブ型有液面式平行向流型熱交換器で、1次冷却材が管外、2次冷却材が管内を流れる構造となっている。

原子炉容器から出た高温の1次冷却材は、配管を通って主中間熱交換器の胴中間部に位置する1次ナトリウム入口ノズルから主中間熱交換器内に流入し、外側シェラウドの流入窓を通って伝熱管に沿って下方に流れ、伝熱管内を流れている2次冷却材と熱交換を行う。熱交換を行った低温の1次冷却材は、外シェラウドの流出窓を通って、1次側下部プレナムに入った後、1次ナトリウム出口ノズルから配管に戻る。2次冷却材は、2次ナトリウム入口ノズルから主中間熱交換器の中央を通る下降管を通して、2次側下部プレナムに入った後、伝熱管内を通って上昇し管外を流れる1次冷却材と熱交換を行う。熱交換後の高温の2次冷却材は、上部管板から2次側上部プレナムに流入し、ミキシングされた後、2次ナトリウム出口ノズルから配管に戻る。原子炉定格出力運転時には、1次系ナトリウムは500°Cから350°C

へ、2次系ナトリウムは300°Cから470°Cへ熱交換される。1基当たりの熱交換量は70MWtで、1ループ当たり1基、計2基設置される。

主中間熱交換器は、管東部が板厚約100mmの上下管板、2,088本の伝熱管(外径φ19.0mm、肉厚1.0mm)等で構成され、本体胴部外径約1,900mm、高さ約7,900mmである。また、主中間熱交換器外周には、原子炉冷却材バウンダリが破損した場合でもナトリウムを保持し、液位が確保できるようリークジャケットを設けている。なお、リークジャケットと1次側胴との間は、窒素ガスで満たされており、冷却材をドレンする定期検査時等においては、主中間熱交換器を予熱する高温(約200°C)の窒素ガスが流れれる。

表2.2-1に主中間熱交換器の主要目を示す。図2.2-1に主中間熱交換器構造図を示す。

(2) 1次主冷却系配管(内管及び外管)

1次主冷却系配管は、1次系ナトリウムを内包する内管とスペーサを介して内管の外側に外管を設置する二重管構造となっている。本改造工事で交換した配管は、1次主冷却系配管のうち、主中間熱交換器の交換に伴う主中間熱交換器入口ノズルに接続するホットレグ配管及び出口ノズルに接続するコールドレグ配管の一部である。

ホットレグ配管は、原子炉容器出口ノズルと主中間熱交換器1次側入口ノズルとを連結し、コールドレグ配管は、主中間熱交換器1次側出口ノズルと1次主循環ポンプ入口ノズルとを連結する。また、これらに設置する外管は、主配管と同様の配管引き回しとなり、主配管の熱膨張を吸収するため、直管部にペローズ継手を設置している。これらの配管は、原子炉容器に対して鏡面対称に格納容器内に配置されている。

ホットレグ配管は、SUS304製20B管(内管)/22B管(外管)、コールドレグ配管はSUS304製18B管(内管)/20B管(外管)で製作されている。

表2.2-2に1次主冷却系配管(内管及び外管)の仕様を示す。図2.2-2に主中間熱交換器接続用1次冷却系配管の構造図を示す。図2.2-3に1次主冷却系系統図を示す。

(3) 2次主冷却系配管

2次主冷却系配管は、主中間熱交換器及び2次冷却系各機器を連結し、2次系ナトリウムを循環させて熱輸送を行う配管すべて一重管構造となっている。本改造工事で交換した配管は、2次主冷却系配管のうち、主中間熱交換器の交換に伴う主中間熱交換器2次側ナトリウム出口ノズルから主冷却器(主冷却機建物)に至るホットレグ配管と、2次主循環ポンプ(主冷却機建物)から主中間熱交換器2次側ナトリウム入口ノズルに至るコールドレグ配管の一部である。これらの配管は、原子炉容器に対して鏡面対称に格納容器内に配置されている。

ホットレグ配管及びコールドレグ配管は 12B の配管で、主中間熱交換器 2 次側出入口ノズル部から 316FR 配管、SUS304 配管、STPA24 (2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼) 配管で製作されている。

表 2.2-3 に 2 次主冷却系配管の仕様を示す。図 2.2-4 に主中間熱交換器接続用 2 次冷却系配管の構造図を示す。図 2.2-5 に 2 次主冷却系系統図を示す。

(4) 1 次アルゴンガス系配管

1 次アルゴンガス系は、1 次系のナトリウム液面における酸化防止及び主循環ポンプの軸封等に使用するアルゴンガスを供給、排出する系統である。本改造工事で交換した配管は、1 次アルゴンガス系配管のうち、原子炉容器及びベーパトラップに至る呼吸ラインの一部である。

当該呼吸ライン配管のうち、主中間熱交換器 A ループから B ループに連結される配管は SUS304 製 6B 配管で、原子炉容器からこれら 6B 配管へは、SUS304 製 4B 配管で連結されている。また、当該 1 次アルゴンガス系配管を接続する主中間熱交換器の配管ノズル部には、主中間熱交換器本体とリーケジャケットとの熱膨張量差を吸収するためにベローズが設置されている。

表 2.2-4 に 1 次アルゴンガス系配管の仕様を示す。図 2.2-6 に主中間熱交換器接続用 1 次アルゴンガス系配管の構造図を示す。図 2.2-7 に 1 次アルゴンガス系系統図を示す。

(5) 1 次冷却材純化系配管 (A 号機)

1 次冷却材純化系はコールドトラップ、エコノマイザ、プラギング計、サンプリング装置、配管及び弁類で構成され、1 次系ナトリウムの純度管理及び純化を行うための設備である。1 次冷却材純化系戻り配管は、オーバフロータンクからナトリウムを汲み上げ、汲み上げられたナトリウムをエコノマイザにて冷却しコールドトラップに流入させ、不純物を除去した後、再びエコノマイザで熱を回収させオーバフロータンクに戻す構成になっている。本改造工事では、主中間熱交換器 (A) のみに接続されている当該 1 次冷却材純化系緊急時汲上げライン配管を切断した後、先端部を閉止キャップにて閉止しアンカで支持する。当該配管及び閉止キャップは、SUS304 製である。

表 2.2-5 に 1 次冷却材純化系配管の仕様を示す。図 2.2-8 に閉止キャップの構造図を示す。図 2.2-9 に 1 次ナトリウム純化系系統図を示す。

(6) 2 次ナトリウム充填ドレン系配管 (止め弁含む)

2 次ナトリウム充填ドレン系は、2 次主冷却系及び 2 次補助冷却系にナトリウムを充填、ドレンするための系統である。本改造工事で交換する対象は、2 次ナトリウム充填ドレン系配管のうち、主中間熱交換器から 2 次系ドレン弁 (止め弁) 及び補助中間熱交換器からの配

管合流点に至る配管の一部と止め弁である。当該配管は、主中間熱交換器上部の2次主冷却系コールドレグ配管のノズル部から引き回され、ノズル部以降2B×1BのSUS304製ティーを介して、SUS304製1B配管及びSTPA24製1B配管によって製作されている。

表2.2-6に2次ナトリウム充填ドレン系配管の仕様を示す。図2.2-10に接続用2次ナトリウム充填及びドレン系配管の構造図を示す。図2.2-11に2次ナトリウム充填ドレン系配管止め弁の構造図を示す。図2.2-12に2次ナトリウム充填ドレン系系統図を示す。

3. 工事手順及び工程

3.1 工事手順

図 3.1-1 に MK-III 冷却系改造工事のうち、1 次冷却系機械設備の改造工事（主中間熱交換器の交換）フローを示す。

(1) 先行工事

先行工事では、主中間熱交換器に接続されている配管を切断するために必要な切断機、仮設遮へい体等の搬入ルートを確保するため、一部干渉する遮へいコンクリート冷却系配管を工事期間中一時撤去する必要があり、フランジ部の切り離し及び系統側配管の閉止フランジの取付けを行った。本作業は、予熱窒素ガス系統を停止する必要があるため、MK-II 第 35 サイクル運転終了後から本体工事開始までのナトリウム充填中（平成 12 年 7 月）に実施した。また、新主中間熱交換器（B 号機）と予熱窒素ガス系配管の保温材が一部干渉するため、予熱窒素ガス系が運転していないナトリウム充填中に当該部の保温改造を行った。

(2) 準備作業（本体工事）

本体工事の準備作業では、先ず作業区域のハッチを開放し、原子炉格納容器から搬出すると共に、工事に必要な機材類の搬入、工事用電源を確保するためのケーブル及び仮設分電盤の設置、作業用足場の組立て、局所排気ダクトの引廻し等を行った。その後、グリーンハウスを設置して保温材の解体、主中間熱交換器及び配管に取付けられているヒータ、熱電対、ケーブル、電線管、変位計等の計装品の撤去を行った。また、これらの作業に合せて作業用架台の設置、仮設サポートの取付けと本設サポートの取外し、主中間熱交換器廻りの仮設遮へい体の取付け及びその他干渉物の撤去を行った。

(3) 配管切断

配管切断作業は、1 次主冷却系配管（二重管）の外管切断を行い、切断開口部へ仮閉止板（4 分割閉止板）の取付けを行った。外管切断は入口垂直配管、出口水平配管、出口ノズル配管の順に行い、外管周方向をリング状に切断し、続けて長手方向を切断して取外しを行った。

次に、1 次主冷却系配管の内管切断を行い、切断開口部へ仮閉止板（閉止キャップ）の取付けを行った。内管切断は、系統バウンダリの開放を伴うことから、先行切削（板厚の約 2/3 切削）後、シールバッグを取り付け、アルゴンガスで置換を行い、シールバッグ内圧力を系統圧と同等に保持した状態で切断を行い、閉止キャップの取付け及びシールテープ養生までの作業をシールバッグ内で行った。切断順序は外管切断と同様に、入口垂直配管、出口水平配

管、出口ノズル配管の順に行った。

次に、1次アルゴンガス系配管及び1次冷却材純化系配管の切断及び切断開口部への仮閉止板（閉止キャップ）の取付けを内管切断と同様の手順で行い、主中間熱交換器を1次主冷却系系統から完全に隔離した。この状態で1次主冷却系入口ノズル配管の外管切断及び内管切断を同様の手順で行い、切断開口部へ仮閉止板の取付けを行った。入口ノズル配管の切断は、内管及び外管の配管口径が大きく、また他の配管に比べて厚肉配管であること、さらに作業環境が高線量率エリアであることから、主中間熱交換器及び接続配管を系統から切り離した後に行つた。

次に、2次主冷却系配管の切断及び開口部への仮閉止板（閉止キャップ）の取付けを行つた。2次主冷却系配管は一重管構造であり、1次主冷却系配管の内管切断と同様に先行切削後、シールバッグを取り付け、シールバッグ内で配管切断及び閉止キャップの取付け作業を行つた。切断順序は該当配管の入口配管、出口配管が上下関係にあることから、上部にある出口配管、下部にある入口配管の順に切断を行つた。

(4) 本閉止板取付け

撤去する旧主中間熱交換器は、メンテナンス建家内固体廃棄物貯蔵設備へ搬入し、長期保管する計画である。保管時には本体内部をアルゴンガス雰囲気で保持する必要があるため、切断を行つた各ノズル部には、保管用の本閉止板（鋼製）を取り付け、溶接を行つた。なお、本閉止板には、アルゴンガス給排気及びガス圧管理用のカプラを取付けた。

また、1次主冷却系及び2次主冷却系の撤去配管については、サーベイランス材取り出し作業までの間保管する必要があることから、同様の本閉止板を取り付け、溶接を行つた。

(5) 旧主中間熱交換器吊上げ、搬出

旧主中間熱交換器の吊上げ、搬出、移動、固体廃棄物貯蔵設備への搬入作業は、固体廃棄物貯蔵設備内の配置制約から、B号機、A号機の順で原子炉格納容器から搬出し、メンテナンス建家へ搬入した。

まず初めに、大型機器搬入口からメンテナンス台車を用いて保管架台、立起こし用反転台、立て起こし用レール等を搬入し、反転台を用いて保管架台を立起こし、機器ピットハッチ脇の所定位置へ設置した。次に、旋回クレーンを用いて旧主中間熱交換器を吊上げ、保管架台へ設置し、梁材の取付け及び本体胴部の固定を行つた後、反転台を用いて旧主中間熱交換器を保管架台と共に横倒し状態とした。次に、旧主中間熱交換器をメンテナンス建家へ移動・搬入するため、メンテナンス台車に積載し、仮設遮へい板を取付け、移動時の一時管理区域設定を行い、原子炉格納容器から搬出し、メンテナンス建家の固体廃棄物貯蔵設備へ収納

した。

(6) ナトリウム除去、開先加工

既設系統側配管との取合い部となる配管切断部位（計 18 箇所）について、溶接作業へ向けた残留ナトリウムの掻き出し及び配管内面に付着したナトリウムの洗浄と開先加工を行った。ナトリウム除去作業は、系統バウンダリの開放を伴うことから配管切断と同様にシールバッグを取付け、アルゴンガスで置換を行い、シールバッグ内圧力を系統圧と均圧に保持した状態で作業を行った。まず初めに、閉止キヤップを取り外し、ナトリウム掻き出し用治工具を用いて残留ナトリウムを除去し、ナトリウム回収缶へ収納した。次に、希釈アルコールを染み込ませたガーゼを用いて配管内面の洗浄（ふき取り）を行い、配管開口部には、ヘキサプラグを取付け系統バウンダリの閉止を行った。開先加工は、ナトリウム除去作業完了後、シールバッグを取り外した後、各配管口径に合せた開先加工機を用いて開先加工を行った。

(7) 新主中間熱交換器搬入、ダミー配管合せ、本据付

新主中間熱交換器の搬入、ダミー配管合せ、本据付は、B 号機、A 号機の順で大型機器保管倉庫で保管架台からスキッド（引起し架台）へ積替えを行い、大型トレーラーでメンテナンス建家へ搬入した。次に、メンテナンス建家でメンテナンス台車への積替えを行い、原子炉格納容器内へ搬入した。搬入した新主中間熱交換器は、立起こし用仮設レール上に位置決めし、旋回クレーンを用いて立起し、機器搬入口上部へスキッドを固定した後、スキッドから切り離しを行った。次に、新主中間熱交換器をハッチ開口部より吊り込み、仮設定後、ダミー管による主中間熱交換器ノズル部と既設系統側配管の合せ寸法取りを行った。ダミー管の搬出及びダミー管に合せて加工した接続用配管の搬入のため、新主中間熱交換器の吊上げを再度行い、1 次主冷却系接続用配管（入口及び出口）搬入後に本据付を行った。

(8) 配管溶接、試験検査

配管溶接作業は、先ず初めに 1 次主冷却系配管（内管）及び 1 次アルゴンガス系配管の溶接を行い、新主中間熱交換器の 1 次主冷却系バウンダリへの接続を行った。次に、1 次主冷却系配管（外管）及びリーコジャケットノズル部の溶接を行った。外管は、二重管の構造上、半割れ状態の外管を合せて、長手方向 2 箇所及び周方向 2 箇所の順に溶接を行った。2 次主冷却系配管は、出入口配管の引廻しが上下関係にあることから、下側にある入口側配管、上側にある出口側配管の順に溶接を行った。

外管及びリーコジャケットノズル部を除く配管溶接作業は、系統バウンダリの開放を伴うことから、開先合せから初層溶接までの作業はシールバッグ内で行い、シールバックを取り外してメーカ自主検査による放射線透過試験で初層溶接部の健全性を確認した後、1/2 層溶接、

最終層溶接を行った。なお、溶接方法は一部の2次主冷却系配管を除き全て手動ティグ溶接で行った。

試験検査では、現地溶接部に係る溶接検査（原安センター）及び改造工事に係る設工認及び使用前検査申請に基づく使用前検査（文部科学省）を受検した。溶接検査は現地溶接作業の進捗に合せて、各溶接部の「材料確認」、「開先面検査」、「開先合せ検査」、「溶接記録確認」、「熱処理確認（STPA24材の溶接部）」、「非破壊検査（浸透探傷試験(PT)又は放射線透過試験(RT)）」、「機械試験」、「耐圧検査（代替試験）」、「仕上り検査」の項目について実施し、溶接部が健全であることを確認した。使用前検査については、各溶接部の「耐圧検査（代替試験）」及び「寸法検査（外管板厚）」、「据付検査」、「外観検査」の項目について実施し、溶接作業及び交換工事が問題なく行われ、交換した機器が健全であることを確認した。

(9) 復旧作業

復旧作業では、配管溶接、試験検査に引き続き、本設サポートの取付け、仮設サポートの撤去、主中間熱交換器ノズル部及び配管保温材の取付け、電線管及びケーブルの敷設、変位計の取付け等、改造工事に伴い一時撤去した計装品類の復旧と干渉物の復旧を行った。次に、作業用足場及び架台の撤去、仮設局所排気設備の撤去、工事用分電盤の撤去を行い、片付け清掃後、最終現場確認を行って現地工事を完了した。

3.2 工事工程

MK-Ⅲ冷却系改造工事のうち、1次冷却系機械設備の現地改造工事は2000年10月30日から2001年9月21日の計273日間（年末年始及び日曜日含まず）で本体工事を終了した。

表3.2-1に本改造工事の計画及び実績工程を示す。

本体工事の「準備作業及び干渉物の撤去作業」は、2001年1月から配管切断作業に着手出来るよう、一部の仮設サポート取付け、本設サポート撤去及び干渉物の撤去作業を除き、平成12年12月末迄に概ね作業を完了した。

「配管切断作業」は、2001年1月～3月上旬迄の約2ヶ月間で実施し、1次主冷却系配管外管、内管、1次アルゴンガス系配管、1次冷却材純化系配管、1次系入口ノズル配管（外管及び内管）、2次主冷却系配管の順に計44箇所の配管切断を完了した。

「旧主中間熱交換器の搬出、新主中間熱交換器の搬入作業」は、撤去配管及び旧主中間熱交換器ノズル部の閉止溶接を2月下旬から着手し、旧主中間熱交換器の搬出は3月27日にB号機、4月5日にA号機の順で完了した。新主中間熱交換器の搬入、吊込み、仮設定、ダミ一管合せ、本据付作業は、B号機（4月13日～5月2日）、A号機（4月23日～5月10日）の順に

行った。なお、この間既設系統側配管は、残留ナトリウムの除去・洗浄、閉止プラグ取付け、開先加工を実施した。

「配管溶接作業」は、5月上旬～8月上旬の約3ヶ月間で実施した。初めに1次主冷却系入口ノズル配管、接続用入口配管（内管）、接続用出口配管（内管）、1次アルゴンガス系配管の溶接を行い、1次冷却系系統バウンダリへの接続を完了した。次に1次主冷却系配管（外管）及びリークジャケットノズル部の溶接、2次主冷却系配管及び2次ナトリウム充填ドレン系配管の溶接を行い、計84箇所の配管継手部の溶接作業を完了した。

「試験検査、使用前検査」は配管溶接作業の進捗状況に合せて実施し、原安センターの溶接検査については、5月9日～8月8日の間に計41回、文部科学省の使用前検査については、6月7日～8月21日の間に計8回の検査を受検し、何れの検査項目についても特に問題なく溶接作業及び工事が行われていることを確認し合格を得た。

「干渉物の復旧、片付け作業」は、使用前検査に影響のない干渉物の復旧作業等を6月中旬頃から着手し、基本的に試験検査及び使用前検査完了後の8月下旬～9月下旬に配管保温材の復旧を行い、電線管及びケーブル敷設、干渉物の復旧、足場解体、仮設局所排気設備の撤去、仮設電源盤の撤去、片付け、清掃、最終現場確認迄の全作業を平成13年9月21日完了した。

3.3 計画工程と実績の主要相違点

3.3.1 工事工程へ影響を与えた相違点

(1) 1次アルゴンガス系配管及び1次ナトリウム純化系配管切断順序の変更

当初の計画工程では、1次主冷却系配管の入口配管既設側、出口配管既設側、出口ノズル部の外管切断後、当該部配管の内管切断を行い、次に、入口ノズル部の外管切断、内管切断後に1次アルゴンガス系配管及び1次ナトリウム純化系配管の切断作業を実施する予定であった。これに対し実績工程では、1次アルゴンガス系配管及び1次ナトリウム純化系配管の切断作業を実施し、その後、配管切断作業のうち最も困難な作業が予想される入口ノズル部の配管切断作業を1次主冷却系配管の切断作業の最後に実施した。この変更は、工事進捗に伴う以下の観点より変更したものである。

- ① 大口径、かつ、厚肉配管の切断作業である入口ノズル部の配管切断は、他の1次系配管切断作業に比べて作業時間を要すること、また、特に高放射線作業エリアであることから、1次主冷却系系統から主中間熱交換器を完全に隔離した後に切断する。
- ② 1次アルゴンガス系配管(6B)、1次ナトリウム純化系配管(2B)は配管口径が小さいこと及び配管構造が一重管であることから、1次主冷却系配管の切断方法とは異なり、

パイプカッターによる押切り切断である。そのため、切断準備作業（切断機の設定、芯出し等）にそれほど時間を要さないため、1次主冷却系外管及び内管切断の準備作業期間に切断を行える見通しを得た。

(2) 1次主冷却系入口ノズル部切断

切断準備作業において、入口ノズル部切断機を固定するための切断機固定プレート（入口ノズル部：1,700×2,000mm）の搬入ルートの確保が困難となり、当初2分割で搬入予定のプレートを4分割に切断し、搬入後に組立て設置を行う作業が追加となった。

また、入口ノズル部の外管切断部位は、当該テーパ管周方向溶接線に近接していることから、他の配管に比べて外管の変形が大きく、切断機の設定（芯だし等）に時間を要した。さらに変形量が大きいことから切断機のみで最後まで切断することが出来ず、ノズル上部と側面下部（周長約400mm程度）はジグソー又はタガネ等による手作業で切断を行った。内管切断及びB号機の熱遮蔽板切断においても、同様の手作業による切断作業が発生し、切断機による切断の際もバイト（刃物）の噛み込みによる破損、切削幅の拡張等により計画以上の作業時間を要した。

(3) 主中間熱交換器(B)ソールプレート基礎ボルトシールキャップの改造

主中間熱交換器(B)のソールプレート基礎ボルトのシールキャップが、主中間熱交換器を据え付ける際に一部干渉することが分かり、計32個のシールキャップを全て撤去し、新たに製作したステンレス製シールキャップを取付けた。本事象はB号機上部遮へい体撤去後に明らかとなつたものである。シールキャップの取外し及び新キャップの取付けは、旧主中間熱交換器の搬出以降～新主中間熱交換器の搬入・据え付け前までに行う必要があり、キャップの製作を除き約10日間で実施した。クリティカルな工程遅延とはならなかつたが、他作業への間接的な遅延要因となつた。

(4) 1次系、2次系残存配管のナトリウム除去作業

ナトリウム除去作業では、1次主冷却系出口配管(A)、2次主冷却系出口配管(A)及び2次ナトリウム充填ドレン系配管(A)、(B)等で予想以上の残留ナトリウムがあり、ナトリウム除去作業に計画時の2倍近い期間を要した。これは、残留ナトリウム量が多かつたため、当初準備していた治工具類の見直し、焼き出し方法の変更に加え、他作業との調整により、数回に分けてナトリウム除去を行つたことが要因である。

(5) 1次系配管（内管、外管）溶接作業

内管溶接作業は、開先合せを含めて初層溶接までをシールバッグ内で行う必要があり、作業性が悪いことも相まって初層溶接部のRT検査（メーカ自主検査）の結果、溶接不良

が多発した。このため、補修溶接と補修部の RT 検査が追加となったが、工程遅延への影響はほとんどなかった。

一方、外管溶接作業では、リークジャケット及び内外管の間にバックシールガス（アルゴンガス）を流す必要があり、この系統構成の見直しにより、溶接順序の変更を行った。

また、入口ノズル部溶接時に主中間熱交換器（B）のリークジャケット内へ治具（溶接スタート板）を落下させる事象も相まって、溶接作業全体で約 20 日間程度工程が遅延した。

(6) 2次系配管溶接作業

2次系配管の溶接作業は、当初 5 月末より開始したが、最初に溶接を行った入口配管（B）の補修溶接時に当該溶接部までナトリウムが移動していることが確認された。このため、他の 2 次系配管溶接においても同様な事象が懸念されるため、溶接施工法の見直しを行つた。これに伴い、当該配管の追加切断、ナトリウム除去作業、追加する短管の製作、工場使用前検査及び現地溶接検査の申請手続き等の追加作業が発生し、2 次系配管溶接作業は約 1 ヶ月程度中断したが、1 次主冷却系配管外管の復旧を先行して実施する等の調整で工事期間が大幅に遅れることはなかった。

(7) 干渉物の復旧作業

干渉物の復旧作業は、配管溶接及び使用前検査の進捗に合せて、本設サポートの復旧、仮設サポートの撤去、主中間熱交換器本体保温材の取付け、その他干渉物の復旧等、可能な範囲から隨時着手した。一方、改造対象部位（主中間熱交換器本体、各接続用配管）の保温材復旧、ケーブル敷設・接続、電線管敷設等の復旧作業については、当該部の最終的な使用前検査（据付検査）合格以降に作業を着手した。なお、工事進捗に応じて障害となる撤去干渉物が追加されたこと、現地にて主中間熱交換器本体廻りの一部保温材を取り外したため、復旧作業が追加したこと等から約 10 日間程度工程が遅延した。

3.3.2 その他の相違点

(1) 障害物、干渉物の撤去作業

主中間熱交換器及び接続配管の交換範囲にある、ヒータ、熱電対、ケーブル、電線管等の電気計装品の撤去作業は、同時期に実施する必要のある保温解体作業や作業用架台設置、サポートの取付け、取外し等の機械関連準備作業と調整を図り、作業区域が重複することのないよう、可能な作業区域から前倒しで作業を実施した。

また、工事の障害となる干渉物の撤去対象が、工事進捗に応じて追加となり、干渉物の撤去期間が長期間に渡ったが、関連作業との調整により工程へのインパクトはそれ程なかった。

(2) 1次系、2次系撤去配管及び主中間熱交換器閉止溶接

当初、1次主冷却系撤去配管及び主中間熱交換器の本閉止板は、外管切断後に取付けた内外管閉止治具（鋼製4割れ閉止治具又は閉止板）へ鍔（ツバ）を付けてこれに溶接する構造であった。一方、内管切断後に取付けた仮閉止キャップ（ポリエチレン製）は強力粘着テープ（布製）で配管に固定しているが、このテープが内外管閉止治具と近接しており、本閉止板取付け用の鍔を溶接する際に溶接時の入熱によりテープが剥がれ落ちることが懸念されるため、本閉止板の構造を変更した。この変更により、本閉止板の製作、再加工等の作業が追加となったが、他工程との調整及び一部本閉止溶接を配管吊上げ後に行う等の調整により工程へのインパクトはなかった。

(3) 使用前検査実施日の変更、追加

当初、使用前検査は6回の検査により、主中間熱交換器及び各接続用配管の検査を受検する計画であったが、2次主冷却系配管の溶接作業に伴う不具合により、当該配管の溶接施工法の見直し等と併せて全体工程の見直しを行った。これに伴い、使用前検査については、溶接作業の進捗に合せて現場作業の待ち時間を最小限に留めるため、計8回の検査に細分し受検できるよう文部科学省と調整を図ったことで、検査実施日は追加となったが工程を短縮することができた。

3.3.3 実績工程のまとめ

当初の工事計画工程では、平成12年10月30日から平成13年7月末工事完了を目標に着工した。着工当初は作業員の手配不備等工事の立ち上げに時間を要し、週間工程の変更が度々行われたが、年明けの配管切断作業開始にむけて、干渉物の撤去は12月末までに概ね完了した。

平成13年1月より配管切断作業に着手し、計44箇所（A、B号機合計）の配管切断を3月6日までに完了した。配管切断作業はモックアップ試験及びトレーニングの成果もあり、概ね計画通り実施することができたが、当初より作業性を含めて困難が予想された1次系入口ノズル部の切断作業では計画以上の作業期間を要した。

3月より1次主冷却系、2次主冷却系残存配管のナトリウム除去作業に着手した。当初の計画では新主中間熱交換器の搬入までに作業を完了する計画であったが、2次系の配管に予想以上にナトリウムが残留していたこと、治工具類の見直しと掻き出し方法の改善等を図ったことから、計画時の2倍近い作業期間を要した。旧主中間熱交換器の搬出及び新主中間熱交換器の搬入作業は、B号機-A号機の順番で3月下旬から5月の上旬の間に、概ね計画通り完了した。

5月より配管溶接作業に着手したが、6月1日に発生した2次主冷却系入口配管(B)補修溶接時のナトリウム滴下に伴い、2次主冷却系配管の溶接作業は約1ヶ月間中断した。この間、1次主冷却系配管(内管、外管)、1次アルゴンガス系配管の溶接作業は進められたが、2次主冷却系配管については溶接施工法の見直し、追加する短管の製作と使用前検査、当該部の配管再切断、ナトリウム除去作業等が追加となり、全体工事工程の見直しを行った。

見直し後の計画工程では、9月上旬主系統への予熱通気開始を目標に工事が完了するよう工程を変更した。また、使用前検査については当初6回の検査日を計画していたが、溶接作業進捗に応じて現場の待ち時間が極力少なくするように、8回に細分し受検できるよう調整を図った。

干渉物の復旧作業は使用前検査に支障のない範囲で、6月中旬より隨時着手したが、撤去干渉物が追加されたことによる復旧干渉物の増加、最終据付検査以降に復旧しなければならない干渉物の作業区域が交錯したこと等により、本体工事は変更工程から約15日程度遅れの2001年9月21日すべて完了した。

4. 配管切断・溶接モックアップ試験

4.1 試験目的

1次冷却系機械設備に係る主中間熱交換器の交換工事は、放射性ナトリウム及び放射性腐食生成物（CP）が多量に付着した1次系機器を取り扱う工事である。さらに作業環境は高放射線下、狭隘部であり、また1次系バウンダリを維持した状態で、既設配管の切断、新主中間熱交換器と新配管、及び新配管と既設配管の溶接を実施することになる。

このため工事方法を事前に確認し、安全かつ確実な交換工事を行うため、最適な配管切断及び溶接条件の選定、作業方法の確認と問題点の抽出・対策、作業時間の把握等を目的にモックアップによる確認試験を実施した。なお、モックアップを用いて作業員の訓練を行い、工事作業の習熟を図ることにより、現地作業における作業時間の短縮と被ばく線量の低減を図った。

4.2 試験内容

4.2.1 モックアップ試験の実施範囲

本改造工事では、1次主冷却系配管をはじめとする、5系統の配管計44箇所の配管を切断し、主中間熱交換器を交換後、計84箇所の配管縫手部を溶接する。これらの作業では、配管の切断、溶接という基本作業は共通するものの、作業エリアの障害物（作業性）、配管構造・治工具状態（水平、垂直、テーパ管）、シールバッグ内外作業等、作業条件が異なることから、各作業条件における代表作業を選定し、基本作業の作業方法の確認（要素試験）及び障害物等を模擬した一連作業の作業性と作業員の訓練（モックアップ試験）を実施した。表4.2-1に配管切断・溶接モックアップ試験の実施範囲を示す。

配管切断作業については、二重管構造である1次主冷却系配管の入口ノズル部（テーパ外管、テーパ内管、熱遮蔽板）、入口配管（垂直部）、出口ノズル部、出口配管（水平部）の4箇所について要素試験及び実機規模のモックアップ試験を行った。その他の1次アルゴンガス系配管、1次ナトリウム純化系配管、2次主冷却系配管、2次ナトリウム充填ドレン系配管は一重管構造であり、配管口径が1次主冷却系配管に比べて小さいこと、2次主冷却系配管の作業エリアは他に比べて作業スペースが十分あること等から、1次主冷却系配管の内管切断方法が採用できるものと判断した。

配管溶接作業については、同様な考え方に基づき、1次主冷却系配管の入口配管（垂直部）、出口配管（水平部）及び配管材質（STPA24）の異なる2次主冷却系配管の出口配管の3箇所について要素試験を行った。実機規模のモックアップ試験については、配管切断作業と同

様に二重管構造である 1 次主冷却系配管の 4 箇所を選定し実施した。その他の 1 次アルゴンガス系配管、1 次ナトリウム純化系配管、2 次主冷却系配管及び 2 次ナトリウム充填ドレン系配管の主中間熱交換器側配管は、同一の配管素材（SUS304）であること、2 次主冷却系配管及び 2 次ナトリウム充填ドレン系配管の既設系統側配管（STPA24）は、要素試験で溶接施工性を確認していることから、それぞれの溶接施工方法が使用できるものと判断し、モックアップ試験は実施しなかった。

4.2.2 試験体の製作

試験体はモックアップ試験の実施範囲選定に基づき、以下の要素試験体 5 体、実機規模のモックアップ試験体 2 体を製作した。

(1) 要素試験体

- ① 1 次主冷却系配管入口ノズル部（テーパ部）
- ② 1 次主冷却系配管入口配管（垂直部）
- ③ 1 次主冷却系配管出口ノズル部（垂直部）
- ④ 1 次主冷却系配管出口配管（水平部）
- ⑤ 2 次主冷却系配管出口配管

(2) モックアップ試験体

- ① 1 次主冷却系入口側配管（入口ノズル部、入口配管垂直部）
- ② 1 次主冷却系出口側配管（出口ノズル部、出口配管水平部）

試験体は架台構造とし、対象配管及び障害物（機器及び配管等）は取付け、取外しができる構造とした。対象配管の口径、板厚、材質等は実機と同一条件で製作し、配管内部の系統ガス圧力が模擬できるように、閉止板とノズルを設置し圧力調整が可能な構造とした。

モックアップ試験体は A ループ側を基本に製作し、障害となる機器・配管・支持構造物等については、パーツを変更することにより B ループを模擬できるようにした。なお、障害物については作業性（作業への影響）を確認できれば良いことから、形状のみ模擬した構造とした。

図 4.2-1 に要素試験体の構造図を示す。図 4.2-2 にフルモックアップ試験体の構造図を示す。また、図 4.2-3 にフルモックアップ試験体の製作状況を示す。

4.2.3 試験内容

モックアップ試験は前述のとおり、配管切断及び配管溶接作業の基本工法及び作業方法を確認する「要素試験」と、現場の作業エリア及び障害物を模擬して一連作業の作業性を確認し、作業条件の選定、作業手順と作業時間の把握等を行う「フルモックアップ試験」を実施

した。

要素試験の切断モックアップでは、各切断部位における外管周方向切断、外管長手方向切断、外管閉止治具の設置、内管周方向切断（入口ノズル部については内管長手方向切断、熱遮へい板切断含む）、内管閉止板の設置、ナトリウム除去作業（シールバッグの作業性とヘキサプラグの設置）、開先加工等の切断工法と作業方法を確認した。

要素試験の溶接モックアップでは、1次冷却系配管に使われているオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 の溶接施工性及び2次冷却系配管に使われているクロムモリブデン鋼 STPA24 の溶接施工性を確認すると共に、開先合せ（スペーサプロック取付け）方法、初層溶接時の圧力保持と設定値、溶接熱による配管表面温度、溶接結果の確認（P T検査、R T検査、外観検査）等を行った。

フルモックアップ試験では、現地の作業エリア及び干渉物等を模擬したモックアップ試験体を用いて、配管切断から溶接までの一連作業の作業性と作業条件の選定及び作業時間の確認を行った。また、作業員は現地作業を想定してタイベックスーツ及びエアラインマスク（又は全面マスク）を装着し、フル装備による作業性も確認した。さらに、作業員の現場派遣前訓練としてトレーニングを行い、作業の習熟を図った。

表 4.2-2 に配管切断、溶接のモックアップ試験内容を示す。

4.3 試験工程

配管切断・溶接モックアップ試験は、2000年5月から要素試験の切断モックアップを開始し、フルモックアップ試験（切断・溶接）及び作業員のトレーニングを含めて平成13年4月に試験を完了した。モックアップ試験の実績工程を表 4.3-1 に示す。

要素試験の切断モックアップは、1次主冷却系入口垂直配管の外管及び内管切断、出口ノズル部の外管及び内管切断、出口水平配管の外管及び内管切断、入口ノズル部の外管、内管及び熱遮へい板の切断試験を行い、2000年8月迄に切断作業の基本工法を確認した。同年9月より1次主冷却系配管 SUS304 材の溶接施工性確認、10月に2次主冷却系配管 STPA24 材の溶接施工性確認を行い、11月から12月に溶接条件の選定（パージガス圧力等）と溶接結果の確認を行った。

フルモックアップ試験は、2000年9月から切断試験を開始し、入口垂直配管、入口ノズル部、出口水平配管、出口ノズル部の外管及び内管切断を行い、ナトリウム除去用シールバッグ及び閉止プラグの取付け作業性確認等を行い、切断作業に係る作業員のトレーニングを12月迄に完了した。2001年1月より内管及び外管の溶接施工性の確認を行い、特に外管の開先合せから初

層溶接の作業性を重点的に確認した。3月は外管開先形状の見直しに伴い、開先形状と溶接条件を選定し、形状変更した外管の溶接施工性確認及び溶接作業のトレーニングを4月迄に完了した。

4.4 試験結果

4.4.1 要素試験結果

モックアップ（要素試験）の試験結果を表4.4-1に示す。また、モックアップ（要素試験）状況を図4.4-1に示す。

(1) 配管切断

- ① 切断機取付ベース及び切断機の取付け手順方法を確認し、拘束リングにより配管の歪変形を修正できること及び切断機の芯出し調整（微調整方法）が問題なく行えることを確認した。
- ② 外管周方向切断試験では、入口ノズル部（テーパ管）切断時に振動が発生したが、切削速度を調整（切削速度 6.3～9.4m/min（回転数約 2～8rpm））することにより切断できることを確認した。入口配管垂直部の試験では追込み切削量（配管板厚の約 2/3）の設定値どおりに、バイトによる追込み切削が行えること及びローラーカッターで完全に押切り切断が行えることを確認した。また、切断後に外管内部に切り屑等が侵入していないことを確認した。出口ノズル部及び出口配管水平部の試験では、バイト刃物台の交換により外管周方向 2箇所の切断を行うことから、高位刃物台及び低位刃物台により切断できることを確認した。
- ③ 外管長手切断試験では、ニプラ切断機を用いて長手方向 2箇所の切断が行えること、また切断時の養生方法で外管内部に切断片等が侵入しないことを確認した。入口ノズル部の切断試験には、最後までバイトで切削することができない可能性が合ったため、グラインダを使用した場合の作業性についても確認した。
- ④ 外管閉止治具の取付け試験では、4分割リング状閉止治具が挿入取付けできることを確認した。なお、外管閉止治具取付け前にバリの除去が必要であり、タガネ又はペンチ等で折り曲げ除去できることを確認した。
- ⑤ 内管追込み切削試験では、芯出しギャップ約 2mm 程度で追込み切削可能であり、また最大追込み量は約 8mm であることを確認した。入口ノズル部の切削時に振動が発生したが、切削速度を調整（切削速度 6.3～9.4m/min（回転数約 2～3rpm））することで問題なく切削できることを確認した。

- ⑥ シールバッグの取付け及びアルゴンガス置換の試験では、シールバッグ取付部からの漏えいが多いため取付け方法を改善した。配管取付け部には自己融着テープを数重に巻きつけ、ホースバンドで締付ける際にこれに密着させる方法へ変更した。また、ホースバンドを二重にして漏えいの低減を図った。入口ノズル部のシールバッグ取付け位置を水平配管部で固定するよう変更した。これに伴いシールバッグの寸法も変更した。
- ⑦ 内管切斷試験では、シールバッグ内においてバイト切斷又はローラーカッターによる押切り切斷が行えることを確認した。バイト切斷時には多量の切り屑が発生するため、切斷バイト部に溜まった切り屑は適宜ベンチ等で除去する必要がある。また、シールバッグ底部には切り屑によるシールバックの破損等を防止するための養生を行った。入口ノズル部の切斷時には外管切斷と同様に振動が発生したが、切削速度の調整により切斷できることを確認した。また、配管の歪等により部分的な切り残し箇所があったが、タガネ等を用いて切斷できることを確認した。なお、熱遮へい板の切斷においても同様であった。
- ⑧ 内管閉止板（閉止キャップ）の取付け試験では、切斷開口部のギャップを約 50mm 確保すれば取付け作業が問題なく行えることを確認した。また、閉止キャップのシール養生は、低塩素仕様で粘着性の高い GE テープ（POLYKEN TECHNOLOGIES 製）を採用した。
- ⑨ ナトリウム除去作業性試験（入口配管垂直部、出口配管水平部）では、洗浄用シールバッグ内に必要な治工具を搬入し、落下防止治具の取付け・取外し作業性、ヘキサブレグの取付け作業性に問題ないことを確認した。当初製作したシールバッグでは作業スペースが小さく作業性が悪いことからシールバッグのサイズを大きくし、改善を図った。
- ⑩ 開先加工試験（入口配管垂直部、出口配管水平部）では、開先加工機の芯出し調整と加工性に問題ないことを確認した。なお、外管開先加工は外管開口部に異物混入防止養生を施し、グラインダ及びペビーサンダによる加工方法について問題ないことを確認した。

(2) 配管溶接

- ① 溶接用シールバッグの取付け及びアルゴンガス置換を行い、切斷モックアップ同様にホースバンドの二重にして漏えい量を低減（5L/min）できることを確認した。
- ② STPA24 材の予熱試験では、開先部の温度を溶接施工法に基づく予熱温度（100°C × 1.5h）に昇温した際の配管表面温度を測定し、シールバッグのシール性に影響を及ぼす溶融及び残留ナトリウムの溶融等に問題がないことを確認した。

- ③ 開先合せ試験では、開先合せ治具を用いて開先合せ及びスペーサプロックの取付け方法を確認した。スペーサプロックの取外しは、開先部からの異物混入を防止するため、グラインダを使用せずにハンマ又はペンチ等で取外すため、取付け時の溶着量を最小限にする必要があることを確認した。
- ④ 初層溶接試験では、配管内圧とシールバッグ内圧力の均圧保持（約 100～200Pa）ができると及シールバッグ内の溶接作業性に問題ないことを確認した。また、保持圧力を変化させた時の溶接結果を確認し、配管内圧とシールバッグ内圧の差圧を 100Pa 以下に保持すれば、溶接不良が発生しないことを確認した。さらに溶接入熱による配管表面温度を測定し、シールバッグの溶融及び残留ナトリウムの溶融等に問題がないことを確認した。
- ⑤ 残層溶接試験では、シールバッグを取り外し溶接部の残層溶接を行い、溶接時の作業性と溶接結果（PT 検査、RT 検査、外観検査）に問題ないことを確認した。

4.4.2 フルモックアップ試験結果

フルモックアップ試験の試験結果を表 4.4-2 に示す。また、フルモックアップ試験状況を図 4.4-2 に示す。なお、配管切断作業では、撤去する旧主中間熱交換器の表面線量率が高く、作業場所が狭隘部で距離をとることができない。よって、作業時間を短縮して被ばく線量を低減するため、各作業ステップの時間を測定しその短縮を図った。

(1) 配管切断

- (a) 干渉物等の現地作業環境を模擬したフルモックアップ試験体において、要素試験で確認した配管切断工法（切断機取付け、外管周・長手切断、外管仮閉止治具取付け、内管切断、内管仮閉止治具取付け等）、ナトリウム除去及び閉止プラグの取付け作業、開先加工作業等の一連作業の作業性に支障がないことを確認した。

(b) 作業条件の選定

- ① 入口配管垂直部外管 2 管所の切断位置（間隔）寸法を 600mm から 300mm に変更し、作業床と切断機の干渉を回避した。
- ② 切断機ベースの設定は重量物の取扱作業であるため、現地天井部へ吊り支点用の梁を設置する必要があり、その設置位置を決定した。
- ③ 入口ノズル部切断用シールバッグの上部へ作業用手袋の追加を行った。
- ④ 入口ノズル部切断時に撤去配管の倒れ込みを防止するため、吊ピースを溶接して牽引固定した。（図 4.4-2(1/4)写-①）

⑤ 外管閉止治具の挿入部テーパ角度を大きくとり、挿入しやすい構造へ変更した。(図 4.4-2(4/4)写-④)

⑥ 出口配管水平部の切断機ベースへのシールバッグ固定方法を、長円形ツバ部へのホースバンド固定方法からリング状フランジボルト（ゴムパッキン）締付け方法へ変更し、リーク量の低減を図った。

(c) 作業ステップ毎の作業時間を計測し、被ばく線量を低減するための作業時間の短縮を図った。具体的には使用する治具の見直し、作業手順の見直し等により最適な作業方法を選定すると共に、現地で作業を行う作業員のトレーニングを行い、作業の習熟度向上させた。この結果、作業員の被ばくが懸念される1次主冷却系配管の切断作業時間は、モックアップ試験最終段階で全体の約6%にあたる約29時間(配管切断日数で約5日間)短縮することができた。表4.4-3に作業時間の比較を示す。

(2) 配管溶接

(a) 干渉物等の現地作業環境を模擬したフルモックアップ試験体において、要素試験で確認した配管開先合せ（シールバッグ取付け、アルゴンガス置換、ヘキサプラグ取外し等含む）、溶接施工法に基づく溶接作業等の作業性に支障がないことを確認した。

(b) 外管初層溶接の溶接部確認の結果、当初の外管開先形状では開先角度が小さく、ルートギャップが大きいため裏波がうまく形成されないことがわかった。これに伴い板厚3mm及び6mmの外管開先形状を以下のとおり変更した。なお、変更後の開先形状で溶接電流約65～75A、溶接速度約50～100mm/minの溶接条件で裏波状態が良好であることを確認した。表4.4-4に開先形状の変更前後を示す。

(c) 作業条件の選定

① 入口ノズル部の溶接用シールバッグの取付け方法を切断機ベースへの固定方法から主中間熱交換器リークジャケットノズル部への固定方法へ変更した。

② 配管内圧とシールバッグ内圧の均圧保持により、基本的に急激な圧力変化はないが、圧力上昇の対策としてシールバッグ排気ホースを大口径(1/4B)へ変更した。(図4.4-2(3/4))

③ 内管開先合せ時のスペーサブロック取付けピッチを約200mmとし、入口ノズル開先部で約12個、その他開先部（出口ノズル部、出口配管水平部、入口配管垂直部）で約8個取付け固定する。(図4.4-2(2/4)写-⑩)

④ 入口ノズル部初層溶接作業時にシールバッグに取付けられているヘキサプラグ収納ポケットが溶接作業と干渉するため、収納ポケットの切り離し手順を変更した。

(溶接作業後切り離し ⇒ 溶接作業前切り離しへ)

- ⑤ 半割れ外管の開先合せ方法を決定した。半割れ外管の周方向継手を仮合せにて固定し、長手方向継手部の合せから溶接（仮合せ取外し）を行い、周方向継手の本合せから溶接を行う。（図 4.4-2(1/4～2/4)写-⑥～⑨）
- ⑥ 入口ノズル部テーパ外管のねじれ修正は、周開先部にねじり治具を取付けレバーブロックにより修正できることを確認した。
- ⑦ 外管溶接時の溶接収縮を防止する方法を確認した。入口ノズル部外管長手方向溶接は、長手開先両端部より約 40mm 残してナメ付け溶接を行い、次に両端部より約 30mm 残してナメ付け及び初層溶接、次に両端部より約 20mm 残してナメ付け、初層溶接及び 1/2 層溶接することにより溶接収縮による変形を防止した。残りの長手溶接両端部は周方向溶接時に収縮量を確認しながら溶接を行った。その他の外管長手方向溶接も同様に、開先両端部約 10mm を残してナメ付け溶接を行い、両端部 50mm を残して初層及び 1/2 層溶接を行い、最後に両端部のナメ付け溶接、初層及び 1/2 層溶接を行い溶接収縮による変形を防止した。
- ⑧ 外管長手方向溶接時のアルゴンガスパックページ専用治具を改良（治具の厚さ：25mm→15mm）し、外管裏側への挿入性を良くした。（図 4.4-2(1/4)写-⑦）
- ⑨ 入口ノズル部外管周方向開先合せ時の拘束リング（テーパ部）は、水平部へ固定リングを取付け、4 本の支持脚で拘束リングを支持固定する構造へ変更した。（図 4.4-2(1/4)写-⑥）
- ⑩ 外管周方向継手部の溶接は、開先合せ時に取付けたアルミテープ及びスペーサープラッキを部分的に取外しながら行う。入口ノズル部以外の外管周溶接は、収縮変形を防止するため、両端部を交互に溶接する。

(3) 共通作業

- ① 切断・機械加工及び溶接関連作業のトレーニングを行い、作業の習熟に伴う作業時間の短縮を図った。なお、トレーニングを行う際の装備は、現地作業を想定したタイベックスーツ及びエアラインマスク（又は全面マスク）のフル装備で行った。
- ② シールバッグの耐圧試験を行い、内圧約 600Pa (60mmAq)（極低圧運転カバーガス圧の約 4 倍）においてシールバッグ本体、ハンドシーラーによる圧着部及び取付け部等が破損しないことを確認した。なお、シールバッグの内圧上昇に伴いリーク量が増加すること及びシールバッグ本体と作業用手袋が硬く膨らみ作業性が悪くなること等から作業時のシールバッグ内保持圧力を約 150Pa (15mmAq) に設定した。

- ③ シールバッグのアルゴンガス置換試験を行い、使用するシールバッグの置換作業に要する作業時間と酸素濃度の測定を行った。今回使用するシールバッグのうち最も大きな入口ノズル部切断用シールバッグ（容積約 1.3m³）では、酸素濃度約 1,000ppmまで置換するのに要する時間は約 7 時間である。その他のシールバッグは容積が約 0.3～1.0m³であり、出口配管水平部切断用シールバッグ（容積約 0.6m³）では酸素濃度約 1,000ppmまで置換するのに要する時間は約 2 時間であった。図 4.4-3 にアルゴンガス置換時間と酸素濃度の測定結果（一例）を示す。また、アルゴンガス置換作業は、掃除機等によりシールバッグ内のエア排気を促進することにより置換作業の効率を上げられることを確認した。
- ④ 仮閉止板（閉止キャップ、ヘキサプラグ）及び固定治具の耐圧試験を行い、カバーガス系統圧力が万一上昇した場合においても、十分な耐圧強度を有することを確認した。内管切断後に取付ける仮閉止板（閉止キャップ）は GE テープによるシール養生で約 1.5kPa の耐圧強度を有し、さらに固定治具（鋼製の補強治具）を取付けると約 10kPa の耐圧強度を有することを確認した。また、ナトリウム除去後に取付ける仮閉止板（ヘキサプラグ）は約 35kPa の耐圧強度を有することを確認した。図 4.4-4 に仮閉止板及び固定治具の耐圧試験状況を示す。

5. 準備作業

1次系機械設備の改造工事（主中間熱交換器の交換）の準備作業は、本体工事に係る準備作業のうち、プラント状態等の制約により本体工事開始前に実施したものを先行工事、本体工事の準備作業と独立して実施した準備工事及び主中間熱交換器の交換に係る干渉物の撤去、仮設設備の設置等本体工事内で実施した準備作業に区分して作業を実施した。

5.1 先行工事と準備工事

5.1.1 先行工事

本体工事の干渉物のうち、遮へいコンクリート冷却系配管（R-206）の一部が、配管切断に必要な機材を主中間熱交換器室（R-302）に搬入するための通路と干渉するため、予熱室素ガス系との分岐付近の配管を一時撤去した。撤去範囲は、バルブのフランジ部から干渉する配管を取り外し、既設系統側フランジ部へ閉止フランジを取付けた。取外した配管はR-206室炉容器壁側に仮置き保管した。本作業のうち、先行工事では遮へいコンクリート冷却系給気・還気弁の取外し及び既設系統側フランジ部への閉止板（閉止フランジ）の取付けを行った。なお、この作業は予熱室素ガス系を停止する必要があるため、第35サイクル運転終了後から本工事開始までのナトリウム充填中の2000年7月に実施した。図5.1-1に遮へいコンクリート冷却系系統図を示す。

また、新主中間熱交換器（B）の底部とその下部にある予熱室素ガス系配管の保温材が一部干渉するため、当該部の保温材を一部改造した。これは、新主中間熱交換器（B）据付後の当該配管とのギャップが最小約91mmとなることから、主中間熱交換器本体の保温外装板と予熱室素ガス系配管の保温外装板の干渉が懸念されるため予め行ったものである。

図5.1-2に先行工事の工事状況を示す。

5.1.2 準備工事

準備工事では、配管切断、ナトリウム除去、配管溶接等の系統バウンダリの開放を伴うシールバッグ内作業時に必要なエアラインマスクに空気を供給する空気呼吸器用ベビコンの設置及び改造工事で必要な工事電源用分電盤の設置を行った。空気呼吸器用ベビコンは、原子炉附属建家屋外のディーゼル発電機負荷試験装置小屋に隣接した場所に設置し、機器等の搬出入に支障のないよう配管を附属建家西側壁面シャッター上部に敷設した。原子炉格納容器内へは、機器搬入大扉の脇に設けた止弁から高圧ホースにより分岐し、原子炉格納容器内の供給ヘッダへ接続した。本設備は最大12名の作業員が同時にエアラインマスクを使用するこ

とを想定して、4台のコンプレッサを並列に設置し、常時3台を運転して圧縮空気を供給し、残り1台をバックアップ用の予備機として待機させるものである。

図5.1-3に準備工事の工事状況を示す。

5.2 本体工事の準備作業

本体工事の準備作業では、先ず作業区域のハッチを開放し、原子炉格納容器内から搬出すると共に、工事に必要な機材類の搬入、工事用電源を確保するためのケーブル及び仮設分電盤の設置、作業用足場の組立て、局所排気ダクトの引廻し等を行った。次に、改造範囲に取付けられている保温材を撤去するためグリーンハウスを設置し、保温材を解体撤去した後、ヒータ、熱電対、ケーブル、電線管、変位計等の電気・計装品の撤去を行った。また、これらの作業に合せて作業用架台の設置、仮設サポートの取付けと本設サポートの取外し、主中間熱交換器廻りの仮設遮へい体の取付け及びその他干渉物の撤去を行った。

図5.2-1に本体工事の準備作業状況を示す。

5.2.1 干渉物の撤去

主中間熱交換器の交換工事において、機器の搬出入、各作業エリアにおける作業員及び機械類の動線等と干渉する設備（干渉物）は、工事期間中のプラント状態を維持する上で支障のない範囲で撤去を行った。なお、撤去した干渉物は、基本的に復旧することを原則とするが、予め交換する計画の干渉物については撤去のみ行った。

表5.2-1に機械設備の干渉物一覧、表5.2-2に電気・計装設備の干渉物一覧を示す。

機械設備の干渉物のうち配管については、主に主中間熱交換器の吊上げ・吊込み時に干渉するため、5箇所10ラインの配管の一部を切断し撤去した。切断開口部には閉止板（閉止キャップ又は閉止溶接）を取り付け、復旧時は基本的に新規配管に交換した。

ダクトについては、各作業エリアの確保と主中間熱交換器の吊上げ・吊込み時に干渉するため、5箇所9ラインについてフランジブロック毎にボルトを取外して撤去した。なお、復旧時は既設ダクトを取り付け、撤去期間中は保管エリアへ一時保管を行った。

サポート及び架構については、他の干渉物と同様に各作業エリアの確保と主中間熱交換器の吊上げ・吊込み時に干渉するため、サポートは計98箇所について撤去すると共に、架構は各サポート用の架構、R-408室ライニング等を撤去した。サポート用の架構の撤去は、基本的に架構の途中から切断するような部分撤去は行わず、架構の埋金やパッド部から撤去し復旧した。R-408室ライニングの復旧は架構を含めて撤去部分を交換した（ハッチは再使用）。

保温材については、主に新主中間熱交換器据付後に保温材又は保温外装板が一部干渉する

部分の改造 3 箇所と作業エリア確保のために干渉する保溫材 1 箇所の撤去・復旧を行った。なお、このうち主中間熱交換器(B)底部の予熱室素ガス系配管の保溫材改造については、前述のとおり先行工事で実施した。

その他の干渉物では、主中間熱交換器(B)基礎ボルトキャップが新主中間熱交換器(B)取付け法兰ジ部と干渉するため、計 32 個の基礎ボルトキャップを撤去し、新しい基礎ボルトキャップへ交換した。

図 5.2-2 に機械設備の干渉物の撤去状況を示す。

電気・計装設備の干渉物のうち配管熱変位計については、改造範囲の配管近傍に取付けられている変位計 27 本を撤去した。このうち 8 本の変位計はワイヤ式の未使用品であるため撤去のみを行い、19 本の変位計を復旧した。

ナトリウム漏洩検出器については、23 本の漏洩検出器を撤去し、新規漏洩検出器へ交換又は既設漏洩検出器の復旧を行った。交換した漏洩検出器は、撤去機器及び撤去配管に取付けられているもので、他の干渉する漏洩検出器については撤去後、既設品を復旧した。

予熱ヒータについては、176 本のヒータを撤去し、162 本のヒータを新規交換又は既設品を復旧した。主中間熱交換器 2 次系ノズル部は、構造を変更（出口ノズル 2 本→1 本）しており、これに伴い 2 次主冷却系配管の引廻しも変わること、新規交換ヒータの取付け数が変わっているため、撤去と復旧の数が異なっている。予熱監視用温度計については、50 本の温度計を撤去し、復旧時には新主中間熱交換器の内部温度計測用に追設した 20 本を含め 70 本の温度計を設置した。

その他の干渉物としては、プロセス用温度計、煙検知器、電線管等の撤去又は移動を行い、ケーブルについては、上記干渉物計装品のケーブル以外に 64 箇所のケーブルを移動し復旧した。

図 5.2-3 に電気・計装設備の干渉物の撤去状況を示す。

5.2.2 仮設遮へい体の設置

1 次系機械設備の改造工事は前述のとおり、高放射線環境及び狭隘部における工事であることから、作業員の被ばく低減化対策の一環として、仮設遮へい体の設置を行った。本工事で使用した仮設遮へい体は鉛マット (3mm) 225 枚、鉛板 (3mm) 169 枚、鉛袋 80 袋であり、設置エリア及び設置部位に応じて使い分けを行った。

図 5.2-4 に仮設遮へい体の設置位置及び数量を示す。

設置位置は A 号機、B 号機ともに入口配管エルボ部、主中間熱交換器下方胴部（入口配管側）、主中間熱交換器底部、出口配管エルボ部、出口配管水平部の 5 箇所、B 号機については

さらに、入口ノズル部と当該エリアの主中間熱交換器胴部の計7箇所に設置した。

仮設遮へい体の設置による作業員の被ばく低減効果は、約20%を見込んでいた。1次系改造工事の予想積算被ばく線量は5,235Man·mSvであり、これに対して実績積算被ばく線量は2,235Man·mSvと実績の約43%であり、仮設遮へい体が被ばく線量低減に大きく寄与することができた。

図5.2-5に1次系改造工事の計画と実績の被ばく線量を示す。

6. 旧主中間熱交換器の撤去

6.1 配管切断

6.1.1 配管切断位置

図 6.1-1 に本改造工事で切断した旧主中間熱交換器に接続されている配管の切断位置を示す。表 6.1-1 に配管切断箇所の配管仕様一覧を示す。

A ループで 23 箇所、B ループで 21 箇所の合計 44 箇所の配管を切断した。

1 次主冷却系配管の外管は入口ノズル部、入口配管垂直部、出口ノズル部、出口配管水平部の各部で 2 箇所ずつ、計 8 箇所／ループ切断した。内管は同様に各部 1 箇所ずつ、計 4 箇所／ループ切断したが、B ループの入口ノズル部内管については、内管の中に設置されている熱遮へい板を切断するため、リング状に 2 箇所切断しており、計 5 箇所／B ループ切断した。1 次アルゴンガス系配管は主中間熱交換器側の水平部及び既設系統側の垂直部で 1 箇所ずつ、計 2 箇所／ループ切断した。1 次冷却材純化系配管は主中間熱交換器側の水平部及び既設系統側の垂直部で 1 箇所ずつ、計 2 箇所／A ループ切断した。

2 次主冷却系配管は、入口配管及び出口配管のそれぞれ主中間熱交換器側、既設系統側で 1 箇所ずつ計 4 箇所／ループ切断したが、A ループの出口配管は主中間熱交換器から 2 本のノズルで接続されているため、計 5 箇所／A ループ切断した。2 次 Na 充填ドレン系配管は主中間熱交換器側の垂直部及び既設系統側の水平部で 1 箇所ずつ、計 2 箇所／ループ切断した。

6.1.2 配管切断部の特徴と切断方法

本改造工事で切断した配管は、各配管の系統及び切断箇所により配管仕様（外径、板厚、材質、素材、形状等）、配管姿勢（水平、垂直）等が異なるため、使用する切断機及び切断方法も各切断箇所に適した方法で切断を行った。表 6.1-1 に切断した配管の仕様と使用した切断機等の一覧を示す。

1 次主冷却系配管は前述のとおり二重管構造であることから、入口ノズル部、入口配管垂直部、出口ノズル部、出口配管水平部の各部において、外管周方向 2 箇所及び長手方向を切断し、内管切断に必要なスペースを確保した後、内管を切断した。

6.1.3 配管切断順序

配管切断順序は、各配管切断部位の特徴、作業環境等に加えて、プラント系統からの隔離、残留ナトリウムの有無等、様々な制約条件を念頭に決定した。配管切断順序に係る基本方針と制約条件は以下のとおりである。

- ① バウンダリの開放を伴う切断作業は同時（並行作業）に行わない。（但し、他の切断部位の準備作業はこの限りではない。）
- ② プラント系統からの隔離を優先し、既設系統側切断部を先に切斷する。
- ③ 1次主冷却系配管入口ノズル部の切断は、大口径かつ厚肉配管の切断であり、作業環境が特に高線量エリアであることから、主中間熱交換器を1次系バウンダリから隔離した後に切断する。
- ④ 1次主冷却系配管外管の切断順序は、入口ノズル部を除いて特に制約条件はないが、内管切断前に当該部の外管切断が完了していなければならぬことから、内管切断順序に合せて外管を切断する。

図6.1-2に上記の基本方針に基づき切断した配管切断順序（実績）を示す。本図は、A号機、B号機毎に1次主冷却系配管外管の切断順序（□番号）、1次主冷却系配管（内管）、1次アルゴンガス系配管及び1次ナトリウム純化系配管の切断順序（○番号）、2次主冷却系配管及び2次ナトリウム充填ドレン系配管の切断順序（◎番号）を示す。

(1) 1次主冷却系配管外管の切断順序

外管切断順序は1次系バウンダリからの隔離を念頭に入れた内管切断順序に合せて、入口配管垂直部、出口配管水平部、出口ノズル部、入口ノズル部の順番で切断した。入口ノズル部の外管切断は、入口配管垂直部、出口配管水平部、出口ノズル部の各部内管切断完了後に行い、当該部の外管切断、内管切断作業を続けて行った。

(2) 1次主冷却系配管内管及びその他1次系配管の切断順序

1次主冷却系配管内管はプラント系統からの隔離を優先し、かつ残留ナトリウムが殆んど無いと想定される入口配管垂直部を初めに切断した。次に出口側配管の系統隔離となる出口配管水平部を切断し、1次アルゴンガス系配管（既設系統側、主 IHX 側）及び1次ナトリウム純化系配管(A)を切断して、1次系バウンダリから主中間熱交換器を完全に隔離した。次に出口ノズル部の内管を切断し、1次主冷却系配管切断の最後に、入口ノズル部の外管切断に続けて当該部の内管切断を行った。なお、B号機については内管切断に引続熱遮へい板を切断した。

(3) 2次主冷却系配管及び2次ナトリウム充填ドレン系配管の切断順序

2次主冷却系配管の切断順序は、基本的に1次系配管と同様にプラント系統からの隔離を優先し、入口配管、出口配管ともに既設系統側切断部から先に切断した。また、2次主冷却系配管の入口配管と出口配管は切断部位に於ける配管引き廻しが上下関係にあり、かつ非常に近接しているため、上側にある出口配管を切断、撤去した後に、入口配管の切断

を行った。従って切断順序は、出口配管（既設系統側）、出口配管（主 IHX 側）、入口配管（既設系統側）、入口配管（主 IHX 側）の順に切断した。また、2 次ナトリウム充填ドレン系配管の切断も同様に既設系統側を先に切断し、次に主 IHX 側を切断した。また、A 号機の出口配管（主 IHX 側）は主中間熱交換器から 2 本のノズルで接続されており、当該部の切断作業に 2 次ナトリウム充填ドレン系配管が交錯することから、A 号機については 2 次ナトリウム充填ドレン系配管の切断を先行して実施した。

6.1.4 配管切断手順

表 6.1-2 に各配管切断部位における配管切断フローの比較一覧を示す。

1 次主冷却系配管は前述のとおり二重管構造であることから、入口ノズル部、入口配管垂直部、出口ノズル部、出口配管水平部の各切断部において、外管周方向 2 箇所及び長手方向の切断、撤去を行い、内管切断に必要なスペースを確保した後、内管の切断を行った。一方、2 次主冷却系配管及びその他の配管（1 次アルゴンガス系配管、1 次ナトリウム純化系配管、2 次ナトリウム充填ドレン系配管）は一重管構造であり、内管切断を含めて系統バウンダリの開放を伴う切断作業はシールバッグ内で行った。

以下に、各切断部における配管切断手順の詳細を示す。

6.1.4.1 1 次主冷却系配管（入口配管垂直部、出口ノズル部）の切断手順

入口配管垂直部、出口ノズル部の外管及び内管の切断は、入口ノズル部の次に大口径の配管切断であることから、大口径切断機（18B～22B 用）を用いて切断した。

図 6.1-3 に 1 次主冷却系配管（入口配管垂直部、出口ノズル部）の切断手順概念図を示す。また、以下に当該切断部の切断手順を示す。

- ① 拘束リング及び大口径切断機を取付け、切断機の芯出し調整を行う。
- ② （入口配管垂直部のみ）外管切断部の板厚を測定し、バイト刃物台を取付け、外管周方向の先行切削（板厚 1 mm 残し）を行う。
- ③-1 （入口配管垂直部のみ）刃物台をローラーカッターに交換し、周方向の押切り切断を行う。同様に①～③-1 の手順で 2 箇所目の外管を切断する。
- ③-2 （出口ノズル部のみ）バイト刃物台を取付け、外管周方向のバイト切断を行う。同様にバイト刃物台を交換し、切断機の芯出し再調整後、2 箇所目の外管周方向を切断する。
- ④ リング状に周方向 2 箇所切断した外管の開口部へ異物混入防止用の養生シートを取付ける。次に長手方向をニプラ切断機により切断し撤去する。
- ⑤ 外管開口部（周方向両側）へ分割リング状閉止板を取付け、既設系統側の閉止板は

テープによるシール養生を行い、撤去配管又は旧 IHX 側はシール溶接により開口部を閉止する。

- ⑥ 拘束リングの移動、大口径切断機の移動及び芯出し再調整を行い、内管切断部の板厚を測定する。
- ⑦-1 内管切断用のバイト刃物台を取付け、周方向の先行切削を行う。
- ⑦-2 (入口配管垂直部のみ) 板厚約 1mm 残しまでの追込み切削を行う。
- ⑧-1 (入口配管垂直部のみ) 刃物台をローラーカッターへ交換する。
- ⑧-2 配管切断及び開口部の閉止作業等に必要な治工具を予めシールバッグ内に搬入し、シールバッグを開口部のシール養生を行う。
- ⑧-3 シールバッグ内ガス管理に必要な圧力計、酸素濃度計、ガス給排気用ホース、流量計及び排気弁等を取付け、シールバッグ貫通部のシール養生を行う。
- ⑧-4 空気による漏洩チェック後、アルゴンガスを注入し、酸素濃度計を用いてシール養生部の漏洩チェックを行う。
- ⑧-5 シールバッグ内をアルゴンガスで置換する。(酸素濃度: 1,000ppm 以下、圧力: 約 150Pa 目標)
- ⑧-6 (入口配管垂直部のみ) 統系圧を極低圧運転(約 150Pa)に保持し、シールバッグ内圧力を統系圧と均圧に保持する。
- ⑨-1 入口配管垂直部のみ) ローラーカッターにより周方向を押切り切断する。
- ⑨-2 (出口ノズル部のみ) バイトにより周方向を切断する。
- ⑩-1 配管を牽引し、配管切断部のギャップを拡張する。
- ⑩-2 切断した内管開口部(両側)に仮閉止板(閉止キャップ)を取り付ける、GE テープでシール養生する。
- ⑪-1 シールバッグ内を空気で置換する(酸素濃度 20%以上)。
- ⑪-2 シールバッグ及び計器類を取り外し、バッグ内の治工具類を搬出する。また、切断機及び拘束リングを取り外し、仮閉止板のシール養生の見直しを行う。
- ⑪-3 (入口配管垂直部のみ) 閉止キャップ固定治具を両端に取付ける。
- ⑪-4 配管切断部のギャップを復旧する。

6.1.4.2 1次主冷却系配管(出口配管水平部)の切断手順

出口配管水平部の外管及び内管切断は、出口ノズル部の配管切断と同様に入口ノズル部の次に大口径の配管切断であることから、大口径切断機(18B～22B)を用いて切断した。

図 6.1-4 に1次主冷却系配管(出口配管水平部)の切断手順概念図を示す。また、以下

に当該切断部の切断手順を示す。

- ① 切断機ベース及び大口径切断機を取付ける。
- ② 拘束リングを取り付け、切断機の芯出し調整を行う。
- ③-1 外管1箇所目切断用の刃物台を取り付け、周方向をバイトにより切断する。切断開口部はテープで固定する。
- ③-2 外管2箇所目切断用の刃物台（低位刃物台）へ交換し、芯出し調整を行い、周方向をバイトにより切断する。
- ④ リング状に周方向2箇所切断した外管開口部へ養生シートを取り付け、長手方向をニアラ切断機で切断し、外管を撤去する。
- ⑤ 外管開口部（周方向両側）へ分割リング状閉止板を取り付け、既設系統側の閉止板はテープによるシール養生を行い、撤去配管側はシール溶接により開口部を閉止する。
- ⑥ 内管切断部の板厚測定、切断機の芯出し再調整を行う。
- ⑦ 内管切断用の刃物台を取り付け、内管周方向の先行切削を行う。
- ⑧-1 配管切断及び開口部の閉止作業等に必要な治工具をシールバッグ内に搬入し、シールバッグを取付ける。
- ⑧-2 シールバッグ内ガス管理に必要な圧力計、酸素濃度計、ガス給排気用ホース、流量計及び排気弁等を取り付け、シールバッグ貫通部のシール養生を行う。
- ⑧-3 エアによる漏洩チェック後、アルゴンガスを注入し、酸素濃度計を用いてシール養生部の漏洩チェックを再度行う。
- ⑧-4 シールバッグ内をアルゴンガスで置換する。（酸素濃度：1,000ppm以下、圧力：約150Pa目標）
- ⑧-5 系統圧を極低圧運転（約150Pa）に保持し、シールバッグ内圧力を系統圧と均圧に保持する。
- ⑨ バイトにより周方向を切断する。
- ⑩-1 配管を牽引し、配管切断部のギャップを拡張する。
- ⑩-2 切断開口部両端に跨り残留したナトリウムをヘラで切断する。
- ⑩-3 切断した内管開口部（両側）に仮閉止板（閉止キャップ）を取り付け、GEテープでシール養生する。
- ⑪-1 シールバッグ内をエア置換する（酸素濃度20%以上）。
- ⑪-2 シールバッグ及び計器類を取り外し、バッグ内の治工具類を搬出する。また、切断機、拘束リング、切断機ベースを取り外し、仮閉止板のシール養生の見直しを行う。

⑪-3 既設系統側切断部へ閉止キャップ固定治具を取付ける。

⑪-4 配管切断部のギャップを復旧する。

6.1.4.3 1次主冷却系配管（入口ノズル部）の切断手順

入口ノズル部の外管及び内管切断は、前述のとおり大口径で他に比べて比較的厚肉であることから、入口ノズル専用の切断機を用いて切断した。当該切断部の切断作業は、主中間熱交換器を1次系バウンダリから完全に隔離した状態で行った。

図 6.1-5 に1次主冷却系配管（入口ノズル部）の切断手順概念図を示す。また、以下に当該切断部の切断手順を示す。

①-1 切断機ベースを取り付け、旧主中間熱交換器へ固定（溶接）する。

② 入口ノズル専用の切断機を取り付け、切断機の芯出し調整を行う。

③-1 外管1箇所目切断用の刃物台（高位刃物台）を取り付け、周方向をバイトにより切断する。切断開口部はGEテープを用いて養生固定する。

③-2 刃物台を外管2箇所目切断用の刃物台（低位刃物台）に交換し、芯出し調整後、周方向をバイトにより切断する。

④ リング状に周方向2箇所目切断した外管の長手方向をグラインダにより切断し撤去する。

⑤ 外管開口部（周方向両側）へ分割扇型閉止板を取り付け、シール溶接し外管開口部を閉止する。

⑥ 内管切断部の板厚測定、切断機の芯出し再調整を行う。

⑦ 内管切断用の刃物台を取り付け、周方向の先行切削を行う。なお、B号機については内管内部に設置されている熱遮へい板を切断するため、当該部の外管切断同様、内管周方向2箇所を切断する必要があり、統けて2箇所目の先行切削を行う。

⑧-1 配管切断及び開口部の閉止作業等に必要な治工具を予めシールバッグ内に搬入し、シールバッグを取付ける。

⑧-2 シールバッグ内ガス管理に必要な、圧力計、酸素濃度計、ガス給排気用ホース、流量計及び排気弁等を取付け、シールバッグ貫通部のシール養生を行う。

⑧-3 エアによる漏洩チェック後、アルゴンガスを注入し、酸素濃度計を用いてシール養生部の漏洩チェックを再度行う。

⑧-4 シールバッグ内をアルゴンガスで置換する。（酸素濃度：1,000ppm以下、圧力：約150Pa目標）

⑨ バイトにより周方向を切断する。切り残しが発生した場合は、必要に応じてタガネ、

グラインダ等を使用して切断する。B号機については⑧と同様に2箇所目の周方向をバイトにより切断する。

- ⑩ (B号機のみ) リング状に周方向2箇所切断した内管の長手方向をグラインダにより切断し取外す。取外した半割れ状の内管を保管用チューブホースへ挿入し、キャップを取付け、GEテープによるシール養生を行う。
- ⑪ (B号機のみ) 熱遮へい板切断用のバイト刃物台を取付け、切断機の芯出し再調整を行う。バイトにより熱遮へい板を切断する。
- ⑫-1 配管を牽引し、配管切断部のギャップを拡張する。
- ⑫-2 切断した内管開口部(主 IHX 側、撤去配管側)両端に仮閉止板(金属製)を取付け、GEテープでシール養生する。
- ⑫-3 シールバッグ内をエア置換する(酸素濃度20%以上)。
- ⑫-4 シールバッグ及び計器類を取り外し、バッグ内の治工具類を搬出する。また、仮閉止板のテープシール養生を見直し、必要に応じて重ねシールを行う。
- ⑫-5 切断機及び切断機ベースを取り外す。

6.1.4.4 2次主冷却系配管(入口配管、出口配管)の切断手順

2次主冷却系配管は、一重管構造であり、配管口径は10B~12Bであることから、2次系配管切断用の中口径切断機を用いてバイトにより切断を行った。また、既設系統側切断部における入口配管と出口配管の配管引廻しが上下関係にあり、さらに近接していることから、上側にある出口配管を切断撤去した後、下側の入口配管を切断した。A号機の出口配管は、主中間熱交換器から2つのノズルで接続されているため、片方(CA-06切断部)の切断はリング状に2箇所切断して、閉止板の取付けを行った。

以下に当該切断部の切断手順を示す。

- ①-1 切断機取付け治具及び中口径切断機を取付け、設定する。
- ①-2 配管切断部の板厚測定、切断機の芯出し調整を行う。
- ②-1 バイト刃物台を取付け、周方向の先行切削を行う。
- ②-2 (A号機 CA-06のみ) バイト刃物台を交換し、リング状に切断する2箇所目の周方向切断部の先行切削を行う。
- ③-1 配管切断及び開口部の閉止作業に必要な治工具をシールバッグ内に搬入し、シールバッグを取付ける。
- ③-2 シールバッグ内ガス管理に必要な圧力計、酸素濃度計、ガス給排気用ホース、流量計及び排気弁等を取付け、シールバッグ貫通部のシール養生を行う。

- ③-3 シールバッグ内をアルゴンガスで置換する。(酸素濃度: 1,000ppm 以下, 圧力: 約 150Pa 目標)
- ③-4 系統圧を極低圧運転(約 150Pa)に保持し, シールバッグ内圧力を均圧に保持する。
- ④-1 バイトにより周方向を切断する。
- ④-2 (A 号機 CA-06 のみ) バイト刃物台を交換し, リング状に切断する 2 箇所目の周方向を切断する。
- ⑤-1 (A 号機 CA-06 以外) 配管を牽引し, 配管切断部のギャップを拡張する。
- ⑤-2 (既設系統側のみ) 切断開口部両端に跨り残留したナトリウムをヘラで切断する。
- ⑤-3 切断した配管開口部(両側)に仮閉止板(閉止キャップ)を取り付け, GE テープでシール養生する。
- ⑤-4 (既設系統側のみ) 残留ナトリウムの切断に使用したヘラ等のアルコール洗浄を行う。
- ⑥-1 シールバッグ内をエア置換する(酸素濃度 20%以上)。
- ⑥-2 シールバッグ及び計器類を取り外し, バッグ内の治工具類を搬出する。また, 切断機, 取付け治具を取り外し, 仮閉止板のシール養生の見直しを行う。
- ⑥-3 配管切断部(両側)へ閉止キャップ固定治具を取付ける。
- ⑥-4 (A 号機 CA-06 以外) 配管切断部のギャップを復旧する。

6.1.4.5 その他配管の切断手順

1 次アルゴンガス系配管, 1 次ナトリウム純化系配管(A 号機)及び 2 次ナトリウム充填ドレン系配管の切断は, 1 次及び 2 次主冷却系配管に比べて配管口径が小さいことから, 何れの配管切断もパイプカッターを用いて切断した。また, 1 次ナトリウム純化系配管及び 2 次ナトリウム充填ドレン系配管は, 1 箇所目切断後の配管牽引によるギャップ拡張が困難なため, 1 箇所目の切断部をリング状に 2 箇所切断し, ギャップ拡張を行わずに仮閉止板の取付けを行った。B 号機の 1 次アルゴンガス系配管主 IHX 側切断部にはベローズが取付けられているため, 配管切断前にグラインダを用いて切断撤去した。

以下に当該切断部の切断手順を示す。

- ①-1 切断部位へパイプカッターを取付ける。
- ①-2 配管切断及び開口部の閉止作業に必要な治工具をシールバッグ内に搬入し, シールバッグを取付ける。
- ①-3 シールバッグ内ガス管理に必要な圧力計, 酸素濃度計, ガス給排気用ホース, 流

量計及び排気弁等を取付け、シールバッグ貫通部のシール養生を行う。

①-4 シールバッグ内をアルゴンガスで置換する。(酸素濃度: 約 1,000ppm 以下, 圧力: 約 150Pa 目標)

⑧-5 系統圧を極低圧運転(約 150Pa)に保持し、シールバッグ内圧力を系統圧と均圧に保持する。

②-1 パイプカッターにより周方向を切断する。

②-2 (1次 Na 純化系配管主 IHX 側及び 2 次 Na 充填ドレン系配管既設系統側のみ)
パイプカッターを移動し、約 50mm 幅でリング状に周方向を切断する。

③-1 (1 次アルゴンガス系配管のみ) 配管を牽引し、配管切断部のギャップを拡張する。

③-2 切断した配管開口部(両側)に仮閉止板(閉止キャップ)を取り付ける、GE テープでシール養生する。

③-3 (1 次 Na 純化系配管主 IHX 側及び 2 次 Na 充填ドレン系配管既設系統側のみ)
切断撤去した短管の開口部を同様に閉止し、テープによりシール養生を行う。

③-4 パイプカッター等の使用工具をアルコール洗浄する。

④-1 シールバッグ内をエア置換する(酸素濃度 20%以上)。

④-2 シールバッグ及び計器類を取り外し、バッグ内の治工具類を搬出する。また、仮閉止板のシール養生を見直し、必要に応じて補修を行う。

④-3 配管切断部(両側)へ閉止キャップ固定治具を取り付ける。

④-4 (1 次アルゴンガス系配管のみ) 配管切断部のギャップを復旧する。

④-5 (1 次 Na 純化系配管主 IHX 側及び 2 次 Na 充填ドレン系配管既設系統側のみ)
リング状に切断し、開口部を閉止した短管をペール缶に入れ、アルゴンガスを注入する。

6.1.5 配管切断時のガス圧管理、酸素濃度管理

系統バウンダリの開放を伴う配管切断作業(外管切断以外)は、バウンダリの維持と雰囲気隔離(系統内への酸素混入防止)を行うためシールバッグを取り付け、アルゴンガスで置換を行い、酸素濃度を下げる状態で行った。また、配管切断中はプラント側の状態変化を把握するため、「常陽」データ処理装置(JOYDAS)においてカバーガス圧力(1 次及び 2 次アルゴンガス系)及びカバーガス純度監視装置指示を監視しながら切断作業を行った。

6.1.5.1 カバーガス（1次及び2次アルゴンガス系）圧力管理

配管切断時のカバーガス圧力は、1次アルゴンガス系の「極低圧」運転（手動操作）により約150Pa（50～200Pa）で圧力制御を行った。1次アルゴンガス系は通常約300～700Paで圧力制御（通常運転モード）しているが、改造工事期間中（配管切断等のパウンダリ開放を行わない時）は「低圧」運転モード（自動制御）により約150～300Paで運転状態を保持した。

2次アルゴンガス系は通常約20～30kPaで圧力制御しており、低圧運転の圧力制御が困難なため、MK-III 2次系改造工事の準備工事において新たに極低圧運転可能な圧力制御系を追設した。これにより、2次主冷却系配管切断時のカバーガス圧力は、「極低圧」運転（自動制御）により約60～220Paで圧力制御を行った。なお、改造工事期間中（配管切断等のパウンダリ開放を行わない時）は約220Paで運転状態を保持した。

一方、シールバッグ内の圧力は、シールバッグへ接続されたアルゴンガス供給バルブと排気バルブにより約150Paで圧力制御を行った。切断作業はカバーガス圧力とシールバッグ圧力をほぼ均圧約150Paに保持した状態で行った。なお、圧力制御管理値（約150Pa）はシールバッグの耐久性と作業性を考慮し、モックアップ試験の結果を反映して決定した。また、カバーガスの約150Pa制御は、切断作業及び切断開口部の閉止作業が完了し、シールバッグ取外し後、カバーガス圧力の変動が無いことを確認し、低圧運転モードへの切り替えが完了するまで行った。

図6.1-6に配管切断時のカバーガス圧力管理状況（JOYDASデータ）の一例を示す。系統のカバーガス圧力は、「極低圧」運転へ切替えた後、約150Pa（15mmAq）を保持しており、切断作業中のカバーガス圧力管理が問題なく行われていることがわかる。また、図6.1-7にシールバッグの系統構成と設置状況を示す。

6.1.5.2 酸素濃度管理

系統内カバーガス中の酸素濃度管理は、酸素濃度800ppm以下を目標（濃度管理値）とした。しかし、酸素はナトリウムと反応することから、カバーガス中の真値が見えない可能性があるため、空気の混入を想定して窒素濃度も同時に監視し、窒素濃度の管理値を1,200ppm以下とした。カバーガス中の酸素濃度、窒素濃度の監視は、JOYDASに入力されている1次系及び2次系カバーガス純度監視装置のデータにより監視した。また、JOYDASにはMK-III改造工事画面を追設し、管理値に到達した場合には警報を発すると共に、自動的にMK-III改造工事画面に切り替わるようにして監視の強化を図った。

一方、シールバッグ内の酸素濃度管理は、酸素濃度1,000ppm以下を目標に管理を行っ

た。これは、使用するシールバッグの容積が約 1m³であり、ナトリウムドレン中の系統内アルゴンガス容積（1次系：約 72m³、2次系：75m³）に比べて極めて小さく、さらにシールバッグの両端を配管にバンド等で固定していることから、置換ガスの漏えいをゼロにすることができないため、置換時間と作業員の被ばく線量との関係から 1,000ppm 以下とした。しかし、実際の作業ではシールバッグ内の酸素濃度は、ほとんどの作業において 500ppm 前後にすることができた。

図 6.1-8 に配管切断時の酸素濃度及び窒素濃度管理状況（JOYDAS データ）の一例を示す。同図は 2 次主冷却系出口側配管の A 号機、B 号機の切断作業時の酸素及び窒素の濃度変化を示している。いずれも切斷完了後、若干の時間遅れをもって酸素濃度及び窒素濃度の上昇が確認されたが、その値は酸素濃度約 60ppm、窒素濃度約 350ppm であり濃度管理値を十分下回るものである。

6.1.6 シールバッグの特徴と取付け方法

6.1.6.1 シールバッグの構造

シールバッグは、配管の切断作業、ナトリウム除去作業、溶接作業等の系統バウンダリの開放を伴う作業において、作業中の系統バウンダリを一時的に維持するために使用するものである。シールバッグの基本構造は、塩化ビニールシートを円筒状に巻いて長手端部をファスナーで固定し、ファスナー部をさらに塩化ビニールシートで覆う構造である。この基本形状に必要数の作業用手袋及びノズル（ケーブル貫通部）を取付け加工して製作している。この基本形状は各シールバッグに共通であるが、形状の詳細、作業用手袋の数、ケーブル貫通用のノズル数、シールバッグの大きさ等は作業内容と作業場所に応じて異なることから、基本的に一品一様のシールバッグを製作し使用した。シールバッグの主な仕様は以下のとおりである。

材 質： 透明軟質塩化ビニール

厚 さ： 0.5mm

設計温度： 65°C

設計圧力： 690Pa

図 6.1-9 にシールバッグ構造図（例）を示す。

6.1.6.2 シールバッグの特徴

1 次系機械設備の改造工事（主中間熱交換器の交換）で使用したシールバッグは、配管切断用、ナトリウム除去用、配管溶接用の 3 種類である。シールバッグの特徴は、材質が塩化ビニール製であることから、取付け及び作業時の自由度が高く、狭い作業エリアでの

作業に適している。また、作業エリア、作業内容に応じて予め作業用手袋の数と位置、収納ポケット等の取付けが可能である。一方、短所としては取付け開口部はハンドシーラにより圧着閉止することから、基本的に再使用できない。また、材質が塩化ビニールであることから熱に弱く、突起物又は作業時の負荷により破損しやすい。

これに対して2次系機械設備の改造工事（主冷却機の交換）では、一部の配管合せ、溶接作業を除いて、全てキャスクを使用し配管切断、ナトリウム除去、溶接作業を行った。2次系改造工事でキャスクを採用した主な理由は、1次系改造工事に比べて作業エリアを十分に確保でき、さらに配管をリング状に切断することで、配管切断、ナトリウム除去、ヘキサプラグ取付けまでの一連作業が連続実施可能であり、作業時間の短縮を図ることができるためである。

表 6.1-3 に各シールバッグの特徴を示す。

6.1.6.3 シールバッグの取付け方法と漏洩対策

シールバッグの取付けは、基本的に当該配管の開口部を挟み込む状態に取付け、長手方向のファスナーを閉じて、当該ファスナー部をシールバッグで覆い圧着固定する。次にシールバッグの両端を配管周方向に設定し、予め取付け位置に巻いた自己融着テープの上にホースバンドで締付け固定する。ホースバンドの締付け金具部は凹凸があることから、当該部にはパテを取付け、締付けを行った。なお、締付け部のホースバンドはモックアップ試験結果を反映して二重に固定し、漏洩対策を強化した。ファスナー部の閉止は、ファスナーポケット閉止用の塩化ビニールをハンドシーラー（アイロン）で圧着し閉止した。また、シールバッグはガス注入時膨らんだ状態であるが、ガス排気時等内圧が下がると垂れ下がり、突起物等で破損することが考えられるため、上部から吊下げられるようフックを取付けている。

シールバッグ内で使用する切断機、溶接トーチ、グラインダ等のケーブル及びシールバッグのガス管理に使用する給排気用ホース、圧力計用ホース、酸素濃度計用ホース等の貫通部は、予め設置されたシールバッグのノズル部に半割れ状の専用栓を取付け、シールテープで閉止固定した。なお、必要に応じてパテ等により漏洩対策を施した。

図 6.1-10 にシールバッグの取付け状況（モックアップ試験）の詳細を示す。

6.1.6.4 シールバッグの漏洩チェック

シールバッグ取付け後の漏洩チェックは、シールバッグ取付け後エアによる漏洩チェックとアルゴンガス置換作業中の酸素濃度計による漏洩チェックを行った。空気による漏洩チェックは空気注入後、一定圧力保持により漏洩の有無を確認しているが、微小漏洩箇所

の同定が困難である。一方、アルゴンガス注入後に酸素濃度計を用いて行う漏洩チェックでは、微小漏洩箇所においても顕著に酸素濃度の低下が現れ、微小漏洩箇所を探すのに有效であった。このため、比較的大きな漏洩箇所はエアによる漏洩チェックで検知し、漏洩箇所を補修した後、アルゴンガスを注入して、酸素濃度計による漏洩チェックで微小漏洩箇所を検知し補修を行った。但し、この方法はシールバッグ周辺の換気を行い（局所排気装置等）、さらに作業エリアの酸素濃度を常時監視した状態で行う必要がある。

6.1.7 配管切断後の閉止方法

6.1.7.1 外管開口部の閉止方法

二重管構造である1次主冷却系配管の外管は、周方向2箇所の切断及び長手方向の切断後外管の撤去を行うため、周方向2箇所の開口部の閉止を行う必要がある。また、開口部の閉止方法は切断箇所に応じて異なり、閉止治具取付け後、既設系統側配管の開口部についてはテープによる閉止養生を行い、撤去側配管の開口部についてはシール溶接による閉止を行った。

外管開口部の閉止治具は2種類あり、入口ノズル部用の閉止治具は大口径分割リング状閉止板、その他の切断部の閉止治具は4分割リング状挿入型閉止治具を取付けた。入口ノズル部以外の切断箇所は、入口配管垂直部を除き切断機を外管に設置した状態で内管切断を行うことから、内管を拘束させる役割を閉止治具に持たせるため、外管開口部へ挿入するタイプの閉止治具を取付けた。

表6.1-4に1次主冷却系配管（外管）開口部の閉止方法を示す。図6.1-11に切断開口部の閉止治具（外管）と取付け状況を示す。

6.1.7.2 内管及びその他配管開口部の閉止方法

1次主冷却系配管（内管）、2次主冷却系配管、1次アルゴンガス系配管、1次ナトリウム純化系配管及び2次ナトリウム充填ドレン系配管の切断作業は、系統バウンダリの開放を伴うことからシールバッグ内で行うため、配管開口部の閉止もシールバッグ内で行う必要がある。シールバッグは前述のとおり、作業に制約があり、かつ、大きさが限られていることからシールバッグ内へ持ち込む治工具類も限られたものとなる。このため、基本的にシールバッグ内では閉止キャップ（ポリエチレン製）の取付けとテープによるシール養生の仮閉止まで行い、シールバッグ取外し後に、シール養生の手直しと閉止キャップ固定治具の取付けを行った。なお、入口ノズル部については切断部位が大口径かつテーパ管であることから、仮閉止の口径調整が可能な金属製の閉止板を取付けた。また、入口ノズル部、出口ノズル部の両側及び出口配管水平部の撤去配管側については、系統バウンダリを

完全に隔離した後の切断作業であるため、系統内圧を考慮した固定治具の取付けは行っていない。

表 6.1-5 に 1 次主冷却系配管（内管）及びその他配管開口部の閉止方法一覧を示す。また、図 6.1-11 に切断開口部への閉止キャップ及び閉止キャップ固定治具の取付け状況を示す。

6.1.7.3 既設系統側配管の圧力と閉止キャップの耐圧強度

1 次主冷却系配管切断部位のうち、既設系統側配管との取合い部である入口配管垂直部及び出口配管水平部では、配管開口部の閉止を行った後、当該閉止断面には 1 次アルゴンガス系統圧力（カバーガス圧力）がかかることになる。そこで、当該切断部位の配管断面に掛かる圧力を算出し、閉止キャップの耐圧強度以下であることを確認した。なお、当該閉止断面にかかる圧力は次式より算出した。

$$P = P_c + P_L$$

P : 閉止断面の圧力 P_c : カバーガス圧力

P_L : 配管切断位置と圧力計レベルによる圧力差

入口配管垂直部（GL-9,700mm）と出口配管水平部（GL-14,619mm）では、レベル差による P_L が入口配管垂直部より出口配管水平部の方が大きいことから、出口配管水平部の閉止断面圧力を算出した。

カバーガス圧力は、配管開口部閉止後、低圧運転モード（自動制御）約 150Pa～300Pa（約 15～30mmAq）へ切替えることから、低圧運転モードの最高圧力とした。

$$P_c = 294 \text{ (Pa)} [30 \text{ (mmAq)}]$$

出口配管水平部の切断レベルは、同 18B 配管の中心レベル（GL-14,390mm）より算出した。

$$\text{出口配管水平部の切断レベル} = -14,390 - (457.2/2) \approx GL-14,619$$

圧力計レベルは、安全側に 1 次アルゴンガス系呼吸ガス圧力調整ヘッダの圧力計が設置されている R-303 室の天井レベル（GL-5,700mm）以下とした。

$$\begin{aligned} P_L &= \text{Ar 密度 (1.783kg/m}^3 \times ((14,619 - 5,700) / 1,000) \times 0.01^2 \\ &= 0.00159 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \\ &= 0.00159 \times 9.80665 \times 10^4 = 155.93 \text{ (Pa)} \end{aligned}$$

従って、出口配管水平部の閉止断面圧力は約 450 (Pa) となり、モックアップ試験で確認した閉止キャップの耐圧強度 500 (Pa)（最高 1.5 (kPa) まで加圧）以下であることを確認した。

$$P = 294 + 155.93 \approx 450 \text{ (Pa)} \leq 500 \text{ (Pa)}$$

一方、当該切断部位は切断開口部の閉止以降、ナトリウム除去、ヘキサプラグ取付けまで約2~3ヶ月間保持する必要がある。さらに、モックアップ試験において閉止キャップの耐圧強度（500~1,500 (Pa)）を確認した際、閉止キャップの中央部が内圧の影響により凸状に多少膨らむ状態であったことから、補強治具（固定治具）を取付けるものとし、閉止キャップ固定治具を閉止キャップの上に取付けてシール性と耐圧の強化を図った。これにより閉止キャップ+固定治具の耐圧強度は約 10kPa に向上し、十分な耐圧強度を有することを確認した。

6.1.7.4 撤去配管及び旧主中間熱交換器ノズル部の閉止方法

旧主中間熱交換器は撤去した後、メンテナンス建室内固体廃棄物貯蔵設備へ搬入し、長期保管する計画である。従って、保管時には本体内部をアルゴンガス雰囲気で保持する必要があるため、各ノズル部には保管用の閉止板（鋼製）を取り付け、シール溶接を行った。なお、保管用の閉止板には、アルゴンガスの補給及び監視用の圧力計を取り付けるためのカプラを取り付けている。撤去配管（1次主冷却系配管、2次主冷却系配管）も同様に、保管用の閉止板をシール溶接により取付け、アルゴンガス補給用のカプラを取付けた。なお、撤去配管はサーベイランス材取出し作業に伴い、メンテナンス建家において細断を行い、ナトリウム洗浄後、全ての残材（細断した撤去配管）を廃棄物として処理した。

表 6.1-5 に各切断部位に於ける撤去（保管）用の閉止治具と閉止方法を示す。また、図 6.1-12~14 に旧主中間熱交換器ノズル部及び撤去配管保管用閉止板の構造を示す。同図において A 号機と B 号機で閉止板の構造に相違があるのは、B 号機は A 号機に比べて胴径が大きく、主中間熱交換器吊上げの際、入口ノズル部と 1 次アルゴンガス系ノズル部が建家床貫通スリーブに接触する可能性があるため、閉止板の構造を変えている。また、出口ノズル部の閉止板に設けたプラグは、旧主中間熱交換器内部をアルゴンガスで置換するために、閉止板の内部に取付けられている仮閉止板（閉止キャップ）に穴をあけるためのもので、閉止キャップを貫通させた後プラグにより閉止した。

図 6.1-15 に撤去配管及び旧主中間熱交換器ノズル部の閉止板取付け状況を示す。

6.1.8 配管切断作業の特記事項

(1) 配管切断部のナトリウム付着状況

1 次主冷却系配管（内管）切断部では、出口配管水平部に比較的多量のナトリウムが残留していた。ナトリウムは切断部の配管底部に残留しており、幅約 150~200mm、厚さ約 15~20mm (A 号機)、幅 100~150mm、厚さ約 3~5mm (B 号機) 程度であった。当該

切断部は、1次主冷却系配管の最低位部であり、切断部の近傍にドレン配管が設置されている。また、主中間熱交換器と反対側の配管は、コールドレグ配管内のナトリウムをドレンし易くするため、ドレン配管に向けて勾配が付けられている。これらの影響をうけて、主中間熱交換器出口配管のエルボとドレン配管の間にナトリウムが残留し、当該部切断の際に比較的多量のナトリウムが確認されたものと推定される。

図 6.1-16 に当該切断部の配管構造を示す。

その他の切断部（入口ノズル部、入口配管垂直部、出口ノズル部）は、切断部が垂直配管又はテーパ管であることから、ナトリウムは綺麗にドレンされていた。

2次主冷却系配管切断部では、入口配管、出口配管ともに既設系統側切断部においてナトリウムが残留していた。この内、A号機の出口配管（12B）は、主中間熱交換器2次側出口の2本の10B配管を同心T型継手（ティー）及び同心レジューサにより合流している。このため、2次主冷却系ナトリウムを主中間熱交換器内部へドレンする妨げとなり、主中間熱交換器上部の当該2次系配管切断部に予想以上のナトリウムが残留していた。なお、当該部の2次主冷却系配管には、1次主冷却系に設けられているようなドレン用の勾配は付けられていない。

図 6.1-16 に当該部の配管構造を示す。

1次アルゴンガス系配管及び1次ナトリウム純化系配管の切断部には、残留ナトリウムは殆んど無く、微少ナトリウムの付着及び結晶状にミストが付着していた。

2次ナトリウム充填ドレン系配管の切断部では、ほとんどすべての切断部で配管が閉塞する状態で多量のナトリウムが残留していた。当該配管は、主中間熱交換器（A）、（B）上部に取付けられている止弁（V35.2-9A, V35.2-9B）から格納容器外のドレン弁（V35.2-7）までの間でA号機、B号機の配管をT型継手により合流させ、ダンプタンクまでの配管は1本のドレン配管で接続している。2次系のナトリウムドレン方法は、ダンプタンク内を真空引きして、各ループ毎に止弁を開けてドレンするため、先にドレンを行ったB号機の止弁からT型継手の間には、A号機のドレンによる真空引きの影響でナトリウムがまわり込み残留したものと考えられる。また、ドレン作業時は主系統のカバーガス（2次アルゴンガス系）による加圧を行っているため、この影響で先にドレンを行ったB号機の主中間熱交換器から当該ドレン配管の止弁の間にも閉塞状態にナトリウムが残留したものと考えられる。なお、2次ナトリウム充填ドレン配管は、2次主冷却系配管と同様にドレン用の勾配は付けられていない。

表 6.1-6 に各切断部のナトリウム付着状況一覧を示す。また、図 6.1-17 に配管切断時

のナトリウム付着状況を示す。

(2) 出口ノズル部配管切断後の仮閉止板（閉止キャップ）の垂れこみ

1次冷却系配管の切断は、系統バウンダリとの隔離を優先することから、入口配管垂直部、出口配管水平部、1次アルゴンガス系配管の切断を行い、旧主中間熱交換器を系統から完全に隔離した状態で、出口ノズル部及び入口ノズル部の配管切断を行った。最後に切斷した入口ノズル部(A)の内管切斷直後、シールバッグ内の酸素濃度が約 16%まで上昇した（切斷作業時は約 1,000ppm）。

本事象はシールバッグの破損又は旧主中間熱交換器内への酸素の混入が推測されるため調査を行ったところ、既に切斷済みの出口ノズル部(A)閉止キャップ（塩化ビニール製）の一部がアルゴンガス質量により垂れこみ、シールテープの養生に一部不備があつてはがれていたことも重なって、当該部から旧主中間熱交換器内部へ酸素が混入したものと想定される。

出口ノズル部は内管切斷後、切斷部のバリが広範囲に残ったため、全てを除去することが出来ず、一部のバリを残したまま仮閉止板（閉止キャップ）を取付けており、そのため閉止キャップが多少斜めになった状態で取付けられていた。また、旧主中間熱交換器は系統バウンダリから隔離されていること、出口ノズルのテーパ部が近接していること等から既設系統側配管切斷部へ取付けた固定治具は取付けないことにしていた。

本事象はB号機の入口ノズル部切斷時にも懸念されるため、入口ノズル部切斷前に、出口ノズル部及び1次アルゴンガス系ノズル部へ保管用本閉止板（カプラ付き）を溶接で取付け、旧主中間熱交換器(B)内部をアルゴンガス雰囲気で正圧状態とし、内部へ酸素が混入しない状態で切斷を行った。

6.2 旧主中間熱交換器の撤去

旧主中間熱交換器の吊上げ～搬出～移動～固体廃棄物貯蔵設備への搬入作業は、A号機とB号機で構造が異なり寸法が違うこと、収納保管する固体廃棄物貯蔵設備内の配置制約から、B号機（3月26日～27日）、A号機（4月4日～5日）の順番で原子炉格納容器から搬出し、メンテナンス建家へ搬入した。先ず初めに大型機器搬入口からメンテナンス台車を用いて旧主中間熱交換器の保管架台、立起し用反転台、立起し用レール等を搬入し、保管架台を反転台を用いて立起し、機器ピットハッチ脇の所定位置へ設置した。次に、旋回クレーンを用いて旧主中間熱交換器を吊上げ、保管架台へ固定し、反転台を用いて保管架台と共に横倒し状態とした。次に旧主中間熱交換器を原子炉格納容器から搬出し、メンテナンス建家へ移動・搬入するために

仮設遮へい板を取付け、移送時の一時管理区域設定を行い、メンテナンス台車を用いて同建家の固体廃棄物貯蔵設備へ収納した。

6.2.1 撤去手順

旧主中間熱交換器の撤去は以下の手順に従って実施した。なお、旧主中間熱交換器吊上げ時には、オペフロ（R-501）の線量率の上昇が予想されたため、当該エリアの立入り制限を行い吊上げ作業を行った。通常、原子炉格納容器内床上エリアモニタは $2.0 \times 10^{-2} \text{mSv/h}$ で警報が発報するよう設定されており、A号機、B号機ともに警報が作動するレベル ($3.3 \times 10^{-2} \sim 9.66 \times 10^{-2} \text{mSv/h}$) 以上に上昇した。

図 6.2-1 に旧主中間熱交換器の撤去作業状況を示す。

(1) 準備作業

原子炉格納容器内では、旧主中間熱交換器上部に取付けられている上部遮へい体を撤去し、旧主中間熱交換器用保管架台の立起し、横倒し用仮設レールの組立て及び反転架台の設置を行った。また、屋外では保管架台をメンテナンス台車へ積み替え、原子炉格納容器内への搬入準備を行った。

(2) 保管架台の搬入、設定

保管架台をメンテナンス台車で原子炉格納容器内へ搬入し、立起し用仮設レール上の反転架台を用いて立起し、保管架台設置位置（機器ピットハッチ脇）へ移動し設定した。さらに保管架台廻りに作業用足場を組立て、保管架台前面梁材、上部吊金具等を取外した。

(3) 旧主中間熱交換器の吊上げ、設定

旧主中間熱交換器本体吊具に玉掛けを行い、旋回クレーンで吊上げを行った。次に吊上げた旧主中間熱交換器を保管架台まで移動し、保管架台へ固定した後、保管架台前面開口部の受けフランジ及び前面梁材を取付け、下部胴体固定用のライナー材を取付けた。

(4) 旧主中間熱交換器搬出準備

旧主中間熱交換器を吊上げたハッチ開口部の仮蓋を復旧し、立起し・横倒し用仮設レールの組立て及び反転架台の再設定を行い、旧主中間熱交換器及び保管架台を反転架台へ設定期して横倒し状態にした。次に保管架台の周囲（旧主中間熱交換器底部及び側面の一部）に仮設遮へい板（鉛板）を取付けた。

(5) 運搬に伴う一時管理区域の設定

原子炉建家とメンテナンス建家間の台車移動エリア及びメンテナンス建家内の仮置きエリアについて一時管理区域の設定を行い、繩張りと表示板を取付け立入り制限を行った。

(6) 旧主中間熱交換器の搬出

横倒し状態の旧主中間熱交換器及び保管架台を吊上げ、メンテナンス台車へ積載し固定した。次に原子炉格納容器機器搬入口からメンテナンス台車に積載した旧主中間熱交換器を搬出し、メンテナンス建家へ移送した。

(7) メンテナンス建家搬入

メンテナンス台車に積載した旧主中間熱交換器をメンテナンス建家へ搬入した。

(8) 旧主中間熱交換器吊り込み、設定

横倒し状態の旧主中間熱交換器をメンテナンス台車から吊降ろし、仮設遮へい板（鉛板）を取り外した。次に反転架台を用いて立起し、吊り具の交換等固体廃棄物貯蔵設備への搬入準備を行った。旧主中間熱交換器を再度吊上げ、固体廃棄物貯蔵設備（ピット）内へ吊り込みを行った。B号機はスライド用ジャッキを用いてピット内奥の所定位置まで旧主中間熱交換器及び保管架台をスライドさせて設置した。

6.2.2 旧主中間熱交換器運搬時の一時管理区域の設定

旧主中間熱交換器の原子炉格納容器内からメンテナンス建家への移動、及び同建家内での固体廃棄物貯蔵設備収納までの仮置きに際しては、移動エリア及びメンテナンス建家の周辺が管理区域の設定基準（外部放射線に係わる線量）を超える恐れがあるため、当該エリアを一時管理区域に設定した。

一時管理区域の設定にあたっては、まず原子炉等規制法関係法令「試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則等の規定に基づき、線量限度等を定める告示」をもとに管理区域境界の線量率を定めた。旧主中間熱交換器B号機が3月、A号機が4月に運搬及び仮置きを行ったため、この間に管理区域に係る設定基準が改定（外部放射線に係わる線量： $300 \mu\text{Sv}/\text{週}$ （平成13年3月まで）→ $1.3\text{mSv}/3\text{カ月}$ （平成13年4月から））されたが、一時管理区域の設定期間（作業期間）が各2日間と短いことから3月までの運用上の管理区域境界の線量率管理値 $6.25 \mu\text{Sv}/\text{h}$ （ $300 \mu\text{Sv}/\text{週} \div 48\text{h}$ ）を基にして、管理区域境界の線量率が $6.25 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 以下になるよう設定することとした。

また、事前に旧主中間熱交換器の主要線源となる放射性腐食生成物（ ^{60}Co , ^{54}Mn ）の運搬時の付着量（線源強度）を予測し、その線源強度を基に点減衰核積分法コードQAD-CGを用いて遮へい計算を行い、上記線量率以下となる設定エリアを概算した。この計算結果及び運搬時の旧主中間熱交換器の線量率実測値をもとに、一時管理区域を設定した。

図6.2-2に旧主中間熱交換器のうち表面線量率が高いB号機の運搬時に設定した一時管理区域及びその境界の線量率（代表ポイント）を示す。図6.2-3にB号機のメンテナンス建家内の仮置き時に設定した一時管理区域及びその境界の線量率（代表ポイント）を示す。なお、

旧主中間熱交換器を固体廃棄物貯蔵設備への収納した後、線量率は一時管理区域全域において管理区域の設定基準を大きく下回ったことから、設定した一時管理区域を全て解除した。

6.2.3 旧主中間熱交換器のナトリウム付着量の推定

メンテナンス建家は危険物第3類であるナトリウムを取り扱える危険物取扱所として申請し許可を取得しており、ナトリウムの付着した旧主中間熱交換器を保管するに際して、その付着量を把握しておく必要がある。しかしながら、ドレンできずに内表面に付着したナトリウム、カバーガス層にペーパー状に付着したナトリウム量を実測することは困難なため、これまでのR&D試験施設の機器解体・ナトリウム洗浄作業におけるナトリウム付着量⁽¹⁾に基づきナトリウムの付着量を推定した。

表6.2-1に旧主中間熱交換器のナトリウム付着量算出結果を示す。

ナトリウム付着量の算出にあたっては、カバーガス層でペーパー状に付着していると予想される領域については 13.7mg/cm^2 、ナトリウムに浸漬されていた垂直壁面領域では 0.23mg/cm^2 、ナトリウムに浸漬されていた水平壁面領域では 5mg/cm^2 とした。この結果、旧主中間熱交換器(A)には約24kg、旧主中間熱交換器(B)には約21kgのナトリウムが付着していると推定される。

なお、固体廃棄物貯蔵設備への保管にあたっては、旧主中間熱交換器内部へ不活性ガス(アルゴンガス)を封入すると共に、ガス圧力を常に監視できるよう、1次側及び2次側それぞれに圧力計を設置し、さらに監視カメラで監視できるよう長期保管に必要な措置を施して収納保管している。不活性ガスの圧力は、温度変化に伴い負圧にならないように約10kPaで加圧している。

6.2.4 旧主中間熱交換器の表面線量率

撤去した旧主中間熱交換器及び1次主冷却系配管(入口及び出口)の表面線量率を図6.2-4に示す。

同図に記載した表面線量率は、各機器を撤去した後に測定し、主中間熱交換器本体についてはテレテクタ(GM)、撤去配管については電離サーベイメータを用いて測定した。

A号機において表面線量率が高い部位は、主中間熱交換器胴部で 3.7mSv/h 、出口側撤去配管のエルボ底部で 2.5mSv/h である。一方、B号機では主中間熱交換器入口ノズル上部で 25mSv/h を最高に、胴部は $1\sim10\text{mSv/h}$ 、入口側撤去配管のノズル上部で 7mSv/h であり、A号機の表面線量率に比べて高い値を示している。B号機は、入口ノズル部に熱遮へい板が取付けられており、この部分にナトリウムが滞留するためである。

なお、旧主中間熱交換器の撤去により、原子炉格納容器内床下の雰囲気線量率は、A号機

において撤去前の約 1/2, B 号機においては撤去前の約 1/4 に低下した。

6.2.5 旧主中間熱交換器の保管方法

通常ナトリウムが付着した放射性廃棄物を廃棄処分する場合、ナトリウムの除去を行った後に、金属容器に封入して貯蔵する。しかしながら、旧主中間熱交換器は、⁶⁰Co, ⁵⁴Mn 等の放射性腐食生成物が多量に付着しており、放射能濃度が高く、機器表面の放射線量率も高いことから、作業員の被ばく低減及び放射性廃棄物の発生量の低減を図る観点から、十分な減衰を待ってナトリウム洗浄・解体を行う必要がある。このため、ナトリウムが付着した状態で長期間貯蔵できるように、メンテナンス建室内ポンプ洗浄室を固体廃棄物貯蔵設備として改造し、同設備内へ旧主中間熱交換器 2 基を搬入、保管した。同設備の改造は設工認申請に基づき改造を行い、平成 13 年 5 月 31 日の遮へい体及び遮へい扉の使用前検査をもって完了しており、同日より旧主中間熱交換器の長期保管状態に入っている。(同設備の改造については参考文献⁽³⁾を参照。)

図 6.2-5 に固体廃棄物貯蔵設備の構造図（旧主中間熱交換器収納状態）を示す。

固体廃棄物貯蔵設備内の配置は、ポンプ洗浄槽との干渉を避けるため、旧主中間熱交換器（B）を同設備の奥側に配置し、旧主中間熱交換器（A）を搬入開口部の手前側へ配置した。旧主中間熱交換器の 1 次側及び 2 次側は、配管切断時にアルゴンガスを封入している。

6.3 ナトリウム除去・洗浄

6.3.1 対象配管と作業概要

ナトリウム除去作業は、配管切断箇所のうち既設系統側配管との取合い部である、1 次主冷却系配管入口配管垂直部、出口配管水平部、2 次主冷却系配管入口配管水平部、出口配管水平部、1 次アルゴンガス系配管垂直部、2 次ナトリウム充填ドレン系配管水平部の計 6 箇所／ループ及び 1 次ナトリウム純化系配管（A）垂直部 1 箇所の合計 13 箇所の配管切断開口部について行った。

本作業は、既設系統バウンダリの開放を伴う作業であることから、ナトリウム洗浄後の閉止板（ヘキサプラグ）取付けまでの作業は専用のシールバッグを取り付け、内部をアルゴンガスで置換して行った。閉止板を配管切断後の閉止キャップからヘキサプラグに交換するのは、ナトリウム洗浄後に行う開先加工時に閉止板が干渉しないようにするためである。シールバッグ内には予めナトリウム除去用の治具、ナトリウム及びウエスの回収容器、受け皿（ステンレス製）等を搬入しておき、このステンレス製の受け皿の上で作業を行った。

残留ナトリウムが堆積している箇所についていは、ヘラ、搔き出し棒、ドリル等を用いて

ナトリウムを搔き出し、ナトリウム回収容器に収納した。なお、ナトリウム除去を行う範囲は、溶接時の入熱影響を考慮して配管端部から約300mmの範囲について行った。次にナトリウム拭き取り用のウエス(ガーゼ状)にアルコール水(アルコール50~70%+水50~30%)を染み込ませ、配管内面に付着したナトリウムの拭き取りを行った。本作業はナトリウムを反応させながら除去を行うため、ウエスに染み込ませるアルコール量及び拭き取り方(速度)等に十分配慮して作業を行った。なお、拭き取り作業に使用したウエスはウエス専用の回収容器に収納した。最後に系統バウンダリを閉止するための閉止板(ヘキサプラグ)及び脱落防止治具を取付け、シールバッグ内を空気で置換して取外し、一連の作業を終了した。

なお、これらの一連作業(ナトリウム除去～ヘキサプラグ取付け)は主にナトリウム残留量等により作業時間が異なるが、ほとんどの対象配管において1日の作業時間内で完了しなかった。このような場合は、シールバッグのみでバウンダリを保持することのないように、1日の作業完了後に仮閉止板(閉止キャップ)を取り付け、シールバッグの空気置換、取外し及び固定治具の取付けまでを必ず行った。

6.3.2 ナトリウム除去・洗浄手順と方法

各対象配管におけるナトリウム除去作業手順と方法は基本的に同一であることから、以下に残留ナトリウムが比較的多かった2次主冷却系配管(入口・出口配管水平部)の作業手順と方法を示す。

- ① 閉止キャップ固定治具を取り外す。
- ② ナトリウム除去用の治工具を準備し、シールバッグ内へ搬入する。
- ③ シールバッグを取付ける。シールバッグにはアルゴンガスの給気、排気用ホース、圧力計、酸素濃度計等を取付ける。
- ④ シールバッグの漏洩チェックを行う。
- ⑤ シールバッグ内をアルゴンガスで置換し、酸素濃度1,000ppm以下(実際には500ppm以下)、圧力約150Pa(系統圧と均圧)に保持する。アルゴンガス置換の際、シールバッグ内に入れたアルコール水容器のノズル部は閉止養生を行い、ナトリウム及びウエス回収容器の蓋は開放しておく。
- ⑥ ステンレス製受け皿を配管端部の下へ設置し、閉止キャップを取り外す。
- ⑦ ヘラ等の専用治具を用いて残留ナトリウムを搔き出し、ナトリウム回収容器へ収納する(配管端部より約300mmの範囲)。
- ⑧ アルコール水をウエス(ガーゼ)に染み込ませ、配管内面に付着したナトリウムを拭き取る。付着ナトリウムを除去した後、乾燥したウエスでアルコール分を拭き取る。な

お、ナトリウムの拭き取りに使用したウエスは、ウエス用の回収容器へ収納する。

- ⑨ 配管開口部の閉止治具（ヘキサプラグ）及び脱落防止治具を取付ける。
- ⑩ ナトリウム除去に使用した治工具類をアルコール洗浄する。
- ⑪ ナトリウム回収容器及びウエス回収容器の蓋を閉止する。
- ⑫ シールバッグ内を空気で置換し（酸素濃度 20%以上）、シールバッグを取り外す。またシールバッグ内の治工具を搬出する。

図 6.3-1 にナトリウム除去作業状況（2次主冷却系配管）を示す。図 6.3-2 にその他の対象配管部における作業状況を示す。

6.3.3 ナトリウム除去・洗浄時のガス圧管理、酸素濃度管理

系統バウンダリの開放を伴う既設系統側配管のナトリウム除去作業は、配管切断及び配管溶接作業と同様に、シールバッグを取り付け、アルゴンガスで置換して酸素濃度を下げた状態で作業を行った。また、ナトリウム除去作業中はプラント側の状態変化を把握するため、JOYDASにおいてカバーガス圧力（1次および2次アルゴンガス系）及びカバーガス純度監視装置指示を常に監視しながら作業を行った。

以下にカバーガス圧力管理及び酸素濃度管理方法について示す。

6.3.3.1 カバーガス（1次及び2次アルゴンガス系）圧力管理

ナトリウム除去作業時のカバーガス圧力は、配管切断作業と同様に1次アルゴンガス系の「極低圧」運転（手動操作）により約 50～200Pa で制御を行った。2次アルゴンガス系についても配管切断作業と同様に、新たに設置した圧力制御系を用いて、「極低圧」運転（自動制御）により約 60～200Pa で圧力制御を行った。

一方、シールバッグ内の圧力は、シールバッグに接続されたアルゴンガス供給バルブと排気バルブにより約 150Pa に保持し、カバーガス圧力とほぼ均圧の状態で作業を行った。なお、カバーガスの圧力制御値約 150Pa はシールバッグの耐久性と作業性を考慮して、モックアップ試験の結果を反映し決定した。

図 6.3-3 にナトリウム除去作業時のカバーガス圧力管理状況（JOYDAS データ）の一例を示す。同図は1次主冷却系（B）出口水平配管のナトリウム洗浄作業時のカバーガス圧力変化を示しており、「低圧」から「極低圧」運転へ切替えた後、約 150Pa（15mmAq）を保持しており、作業中のカバーガス圧力管理が問題なく行われていることがわかる。

6.3.3.2 酸素濃度管理

系統内カバーガス中の酸素濃度管理は、配管切断作業と同様に酸素濃度 300ppm 以下、窒素濃度 1,200ppm 以下を目指（濃度管理値）とした。

また、シールバッグ内の酸素濃度管理についても、配管切斷作業と同様に酸素濃度1,000ppm 以下を目標とした。なお、実際の作業では他のシールバッグ内作業と同様に、酸素濃度を約 500ppm 前後までさげることができた。

図 6.3-4 にナトリウム除去作業時の酸素濃度及び窒素濃度管理状況 (JOYDAS データ) の一例を示す。濃度変化の①のピークは1次アルゴンガス系配管(B)のナトリウム洗浄作業、②のピークは1次主冷却系出口水平配管(A)のナトリウム除去作業時に発生したものである。何れの作業においても一時的な酸素濃度の上昇が確認されたが、その値は酸素濃度約 12ppm、4ppm であり濃度管理値を十分下回るものである。なお、①のピーク時に水素濃度の上昇（水素濃度約 60ppm）が確認されたが、これは当該部の配管内面に粒状のナトリウムが付着していたため、他のナトリウム洗浄作業に比べて多量のアルコール水を使用したことによるものである。

6.3.4 系統内から除去したナトリウム量

配管切斷後のナトリウム除去作業において、1次冷却系及び2次冷却系統内から除去したナトリウム量を算定した。

表 6.3-1 に1次冷却系及び主 IHX 2次冷却系撤去配管に残留したナトリウム量及び各既設系統側配管から除去したナトリウム量の推定値を示す。

1次冷却系統内から除去したナトリウム量は、約 1.4kg であり、このうち約 1kg (出口側撤去配管: 約 0.54kg, 出口配管既設系統側: 約 0.49kg) が出口側水平配管切斷部に堆積していたナトリウムである。

2次冷却系統内から除去したナトリウム量は、約 7.8kg であり、主 IHX 出口側撤去配管に堆積していたナトリウムが約 4.8kg、同配管切斷部の既設系統側より除去したナトリウムが約 1.8kg であり大半を占めている。

なお、各配管切斷部におけるナトリウムの堆積状況及び付着状況については、6.1.8 「配管切斷作業の特記事項」(1)配管切斷部のナトリウム付着状況に示すとおりである。

6.3.5 ナトリウム除去・洗浄作業に使用した治工具

表 6.3-2 にナトリウム除去作業時にシールバッグ内に持ち込んだ治工具の一覧を示す。また、同表のうちナトリウム除去及び洗浄用に実際に使用した治工具の一部を図 6.3-5 に示す。

比較的多くのナトリウムが残留している箇所においては、長いヘラでナトリウムに切り込みを入れ、この繰り返しでナトリウムを細断し、小型のヘラ又は搔き出し棒を用いて回収容器へ収納した。大部分の残留ナトリウムを除去した後は、先端部に R の付いた搔き出し棒で配管内面の凹凸が無くなる程度までナトリウムを除去した。2次ナトリウム充填ドレン系配

管は小口径（1B）で閉塞状態にナトリウムが残留していることから、小径の搔き出し棒を用いて作業を行っていたが、木工用ドリルを用いて大部分の閉塞ナトリウムを除去し、仕上げ作業に搔き出し棒を使用する方法が有効であった。

ナトリウムの拭き取り作業では、落下防止用の手がけひも付きウエス（ガーゼ状）を用いて配管内面に付着したナトリウムの拭き取りを行った。小口径配管の拭き取り作業には、拭き取り棒の先端に同様のウエス（ガーゼ状）を巻きつけ、これを当該配管に挿入して拭き取りを行った。なお、先端部に巻きつけたウエスは脱落防止用のひもを取り付け、拭き取り棒へ固定した。

なお、1次主冷却系配管（入口垂直部）の作業では、大口径（20B）かつ垂直配管の作業となることから、治工具類の落下防止対策として、専用の落下防止治具を作業前に取付けた。

ナトリウム除去作業後に取付けた閉止板（ヘキサプラグ）の構造図を図6.3-6に示す。ヘキサプラグは配管口径に合せたSUS304製の2枚の押さえ板の間にゴムリングを挟み込み、押さえ板のナットを締付けることにより、ゴムリングを配管内面に圧着させて開口部を閉止する構造である。

6.4 開先加工

6.4.1 対象配管と作業概要

開先加工は、1次主冷却系配管入口配管垂直部（内管及び外管）、出口配管水平部（内管及び外管）、2次主冷却系配管入口配管水平部、出口配管水平部、1次アルゴンガス系配管垂直部、2次ナトリウム充填ドレン系配管水平部の計8箇所／ループ及び1次ナトリウム純化系配管（A）垂直部1箇所の合計17箇所の配管継手部について行った。

各対象配管は、外径、板厚等の配管仕様が異なるため、配管切断作業と同様に開先加工についても各切断箇所に適した方法で開先加工を行った。

表6.4-1に各開先加工対象配管の配管仕様及び使用した開先加工機等の一覧を示す。

本作業は、対象配管のナトリウム除去作業完了後、接続用配管のダミー管合せまでの間に実施した。1次主冷却系配管（内管）の開先加工は、当該部の配管切断に使用した切断機の刃物台に開先加工用ユニットを取付けて加工を行い、外管についてはグラインダ及びペビーサンダー等を用いて加工を行った。なお、外管を除く各対象配管は、開先面の食い違いをなくすため、開先部内面のシンニング加工（内面約2mm程度）を行った。

図6.4-1に1次冷却系配管及び2次冷却系配管の開先形状の一例を示す。

6.4.2 開先加工手順と方法

各対象配管における開先加工手順は基本的に同一であり、使用する加工機が異なるのみである。以下に共通の作業手順を示す。

- ① 閉止板（ヘキサプラグ）の脱落防止治具を取り外す。
- ② 配管内部への異物混入防止養生を取り付ける。（配管内部に取付けたヘキサプラグの上部）
- ③ 開先加工機を取り付け、加工機の芯出し調整を行う。
- ④ 配管端部外表面の開先加工、内表面のシーニング加工を行う。
- ⑤ 開先加工機を取り外し、切り屑及び切粉の清掃を行う。
- ⑥ 異物混入防止養生を撤去する。
- ⑦ ヘキサプラグ脱落防止治具を取り付ける。

以下は、2次主冷却系配管のみ実施した。

- ⑧ ヘキサプラグ脱落防止治具を取り外す。
- ⑨ シールバッグを取り付ける。シールバッグにはアルゴンガス給気、排気用ホース、圧力計、酸素濃度計等を取り付ける。
- ⑩ シールバッグの漏洩チェックを行う。
- ⑪ シールバッグ内をアルゴンガスで置換し、酸素濃度が1,000ppm以下であることを確認する。また、シールバッグ内圧力は系統圧と均圧に約150Paに保持する。
- ⑫ ヘキサプラグの締付けボルトを緩め、ヘキサプラグを配管端部へ移動し、締付けボルトで固定する。
- ⑬ シールバッグ内を空気で置換し、酸素濃度が20%以上であることを確認する。
- ⑭ シールバッグを取り外し、ヘキサプラグ脱落防止治具を取り付ける。

手順⑧以降は、開先加工後の作業であり、2次主冷却系配管についてのみ実施した。これは、2次主冷却系配管の開先加工に使用した開先加工機（400型ポータブルフェーザー）は配管内面に突っ張り棒を張り出して加工機を固定するタイプであり、ヘキサプラグを他の配管に比べて奥の位置（配管端部から約300mm）に取付けたためである。（開先加工機は図6.4-2の作業状況を参照。）

なお、1次主冷却系配管（外管）の開先加工においては、外管切断後に取付けた外管の仮閉止板（4分割リング状閉止板）を取り外し、外管内部への異物混入防止養生を行い開先加工を行った。

図6.4-2に開先加工の作業状況を示す。

7. 新主中間熱交換器の搬入・据付, 配管溶接

7.1 新主中間熱交換器の搬入・据付

新主中間熱交換器の搬入・据付作業は、B号機（4月13日～5月2日）、A号機（4月23日～5月10日）の順番で新主中間熱交換器を大型機器保管倉庫からメンテナンス建家へ輸送し、原子炉格納容器内へ搬入後据付を行った。なお、大型機器保管倉庫では、メンテナンス建家に搬入するにあたって新主中間熱交換器ノズル部の閉止板を配管フィットアップ（以下、FU）用の閉止板（ヘキサプラグ）へ交換した。

7.1.1 据付手順

新主中間熱交換器の搬入・据付は以下の手順に従って実施した。図7.1-1に新主中間熱交換器の搬入・据付作業状況を示す。

(1) 準備作業

大型機器保管倉庫において、新主中間熱交換器ノズル部の閉止板をヘキサプラグへ交換した。なお、新主中間熱交換器内部はアルゴンガスが注入されていることから、酸素混入を防止するため閉止板の交換はシールバッグ内で行った。また、A号機については保管架台からスキッド（引起し架台）への積み替えを行った。

(2) 大型機器保管倉庫からの搬出準備

新主中間熱交換器吊上げ用天秤、ワイヤ、シャックル等の吊具を準備し、天井クレーンを用いてスキッド（引起し架台）と共に新主中間熱交換器を吊上げた。次に輸送車両（大型トレーラー）へ積載し、新主中間熱交換器の固定及びシート養生を行った。

(3) 大型機器保管倉庫からメンテナンス建家への運搬

大型機器保管倉庫から「常陽」メンテナンス建家へ運搬を行い、メンテナンス建家天井クレーン及び吊上げ用天秤を用いて、輸送車両から積み降ろしを行った。

(4) 原子炉格納容器内への搬入

メンテナンス建家天井クレーンを用いて、新主中間熱交換器をメンテナンス台車へ積載し固定した。次にメンテナンス台車を移動し、機器搬出入口から原子炉格納容器内へ搬入した。原子炉格納容器内では、新主中間熱交換器立起し用仮設レールの組立て及び設定を行った。次に旋回クレーンを用いて新主中間熱交換器吊上げ用天秤及び吊具を玉掛けし、メンテナンス台車から積み降ろしを行った。

(5) 新主中間熱交換器の立起こし、スキッド上部固定

立起こし用仮設レール上にスキッド及び新主中間熱交換器を設定し、吊上げ用天秤及び

吊具の取外しを行った。次に新主中間熱交換器立起こし、吊込み用吊治具を取付け、旋回クレーンを用いて新主中間熱交換器の立起しを行い、新主中間熱交換器を 180 度回転させ、機器搬入口上部へスキッドを固定した。

(6) 新主中間熱交換器の吊り込み、仮設定

スキッドの取付けボルトを取り外し、スキッドから新主中間熱交換器を切り離した後、新主中間熱交換器を吊上げ、ハッチ開口部より吊り込み仮設定を行った。なお、ソールプレートへのボルトの取付けは、本設定と同様に締付けを行った。

(7) ダミー配管合せ

新主中間熱交換器吊込み前に搬入した、1 次主冷却系入口、出口ダミー配管の合せ及び寸法取り、2 次主冷却系入口、出口ダミー配管の合せ及び寸法取りを行った。

(8) ダミー配管の吊上げ、搬出（新主中間熱交換器の仮吊上げ、吊込み）

2 次主冷却系入口、出口ダミー配管を吊上げ搬出した。次に仮設定した新主中間熱交換器の取付けボルトを取り外し、吊治具の玉掛け後、旋回クレーンを用いて新主中間熱交換器を吊上げ、オペフロで一時待機させた。その後パワーリーチクレーンを用いて、1 次主冷却系入口、出口ダミー配管を吊上げ搬出し、一時吊上げた新主中間熱交換器を再び吊込み、再度仮設定を行った。

(9) 新接続配管の吊込み、新主中間熱交換器の本据付

ダミー配管に合せて加工した1 次主冷却系入口、出口接続配管を機器搬出入口から原子炉格納容器へ搬入した。次に旋回クレーンを用いて仮設定した新主中間熱交換器を吊上げ、オペフロで一時待機させた。その後パワーリーチクレーンを用いて、1 次主冷却系入口、出口接続配管を吊込み、一時的に吊上げ待機させた新主中間熱交換器を再び吊込み、最終据付設定を行った。

(10) 上部遮へい体取付け

新主中間熱交換器上部の仮踏み板及び養生を撤去し、上部遮へい体の吊込み設定を行った。

7.1.2 新主中間熱交換器ノズル部の閉止板交換

大型機器保管倉庫に仮置き保管した新主中間熱交換器の各ノズル部には、保管用の閉止板が取付けられている。この閉止板は製作完了後、内部にアルゴンガスを注入し、運搬及び倉庫内での仮置き保管用に取付けた閉止板であり、強度と耐圧を確保するため取付け構造（治具類）が比較的大きなものとなっている。

一方、新主中間熱交換器を据付け、接続用配管と各ノズル部のダミー配管合せを行う作業

では、各ノズルの開先加工部を露出する必要がある。さらに、接続用配管との開先合せ作業は、シールバッグ内で行う必要があることから、シールバッグ内での取扱い性を考慮して、閉止板をヘキサプラグへ交換した。

図 7.1-2 に新主中間熱交換器ノズル部の閉止板交換作業状況を示す。

7.1.3 大型機器保管倉庫からの運搬

図 7.1-3 に新主中間熱交換器の運搬ルートを示す。

大型トレーラーへ積載した新主中間熱交換器は、メカトロニクス応用研究棟、Fセルボ、情報センター前を通り、大洗工学センター構内から一時構外へ出た後、南門を左折して再度構内へ入る。そのまま直進して本館前を通過し、重水臨界実験室近くの交差点を右折して「常陽」警備所まで直進する。「常陽」門を通過した後、運転管理棟わきを直進し、第4倉庫手前を左折し、さらに廃棄物処理施設を左折してメンテナンス建家前へ向かうルートで運搬を行った。

運搬ルート上の排水溝、マンホール等へは、積載荷重に耐える鉄板養生を行った。また、運搬作業は構内通行車両の少ない、13:15～14:30 の間に行なった。運搬車両は、先導車両に統いて走行し、監視人が並行しながら運搬ルートの安全を確保して運搬した。

7.1.4 ダミー配管合せ

新主中間熱交換器ノズル部と既設系統側配管を接続する接続用 1 次主冷却系配管（入口配管及び出口配管）及び接続用 2 次主冷却系配管（入口配管及び出口配管）は、現地合せ作業を軽減するため、接続用配管の寸法加工及び開先加工を工場で行った。これに伴い、新主中間熱交換器の仮据付け前に 1 次主冷却系（入口配管及び出口配管）ダミー配管を搬入し、新主中間熱交換器仮据付け完了後、ダミー配管による配管合せ及び寸法取りを行った。

ダミー配管の合せ作業は、テンプレートパイプを仮吊りして、両端に取付けられたテンプレートを新主中間熱交換器側ノズル部と既設系統側配管開先部へ接面、固定させた。テンプレートとテンプレートパイプの取付け部はボルト固定する共に、溶接により最終固定した。

合せ作業が完了したダミー配管は、仮据付けを行った新主中間熱交換器を再度吊上げて搬出し、工場へ持ち帰り接続用配管の加工に使用した。

図 7.1-4 にダミー配管の構造図及び外観を示す。

7.2 配管の溶接

7.2.1 配管溶接位置

図 7.2-1 に新主中間熱交換器接続配管の溶接位置を示す。

1次主冷却系配管の内管は入口ノズル接続体と新主中間熱交換器の入口ノズル部で1箇所、入口側接続配管のノズル側、既設系統側の2箇所、出口側接続配管の主中間熱交換器側、既設側の2箇所で、計5箇所／ループの配管を溶接した。外管は、入口ノズル部の半割れテーパ管及び半割れ水平管の8箇所、入口側接続配管のノズル側1箇所、既設系統側4箇所、出口側接続配管の出口ノズル側4箇所、既設系統側4箇所の計21箇所／ループを溶接した。また、新主中間熱交換器のリークジャケットノズル（ペローズ）部については、1次アルゴンガス系ノズルペローズ部で3箇所、液面計ノズルペローズ部で4箇所の計7箇所／ループを溶接した。

1次アルゴンガス系配管は、接続配管の主中間熱交換器側及び既設系統側の計2箇所／ループの配管を溶接した。1次冷却材純化系配管は、既設系統側へ閉止キャップを取り付け1箇所／Aループ溶接した。

2次主冷却系配管は、入口側接続配管の主中間熱交換器側及び既設系統側の2箇所、出口側接続配管の主中間熱交換器側及び既設系統側の2箇所で、計4箇所／ループの配管を溶接したが、Bループの入口側接続配管既設系統側については、溶接時の不具合に伴い溶接線が1本追加されたため、計5箇所／Bループの配管を溶接した。2次Na充填ドレン系配管は、接続配管の主中間熱交換器側及び既設系統側の計2箇所／ループの配管を溶接した。溶接個所は、Aループで42箇所、Bループで42箇所の合計84箇所である。

7.2.2 配管溶接順序の基本方針

配管溶接の基本的な流れは、まず初めに1次主冷却系配管（内管）及び1次アルゴンガス系配管の溶接を行い、新主中間熱交換器の1次主冷却系バウンダリへの接続を行った。新主中間熱交換器の入口ノズル部と入口ノズル接続体を溶接し、次に入口側接続配管のノズル側及び既設系統側の開先合せ、溶接、出口側接続配管の主IHX側、既設系統側の開先合せ、溶接を行い、最後に1次アルゴンガス系接続配管の主IHX側、既設系統側の開先合せ、溶接を行った。なお、内管は二重配管の構造上、外管を取付けた後に内管溶接部の溶接検査、使用前検査等を行うことが出来ないため、外管取付け開始までに内管に係る全ての検査を完了した。

次に1次主冷却系配管外管及び1次アルゴンガス系リークジャケットノズル部、液面計リークジャケットノズル部の溶接を行った。外管は二重配管の構造上、半割れ状態の外管を合せて、長手方向2箇所及び周方向2箇所の順に溶接を行った。まず初めに入口ノズルテーパ管の長手溶接、大口径側テーパ管の周溶接を行い、次に入口配管垂直管の長手溶接、周溶接、出口配管水平管の長手溶接、周溶接、出口ノズル垂直管の長手溶接、周溶接、入口ノズル水

平管の長手溶接、1次アルゴンガス系リークジャケットノズル部の周溶接、液面計リークジャケットノズル部の周溶接を行い、最後に入口配管ノズル側の周溶接、入口ノズルテーパ管小口径側の周溶接を行った。

2次主冷却系配管及び2次Na充填ドレン系配管の溶接は、出入口配管の引廻しが上下関係にあることから、初めに下側にある入口側接続配管の主IHX側、既設系統側の周溶接を行い、次に上側の出口側接続配管の主IHX側、既設系統側の周溶接を行い、最後に2次Na充填ドレン系配管の主IHX側、既設系統側の周溶接を行った。

図7.2-2に上記の基本方針に基づき実施した配管溶接順序の実績を示す。本図は、A号機及びB号機毎に1次主冷却系配管外管の溶接順序(□番号)、1次主冷却系配管内管、1次アルゴンガス系配管の溶接順序(○番号)、2次主冷却系配管及び2次Na充填ドレン系配管の溶接順序(◎番号)を示す。また、表7.2-1に各溶接箇所の溶接位置、配管仕様等をまとめた配管溶接箇所一覧を示す。

7.2.3 配管溶接手順と溶接方法

表7.2-2に1次系改造工事(MK-I)における配管溶接フローの比較一覧を示す。

7.2.3.1 1次主冷却系配管内管の溶接手順と方法

1次主冷却系配管内管の溶接作業は、既設系統バウンダリへ接続を行う作業であることから、開先合せ、開先合せ検査、初層溶接までの作業は全てシールバッグ内で行った。シールバッグ内は予めアルゴンガスで置換を行い、酸素濃度を極力下げ(1,000ppm以下)、系統圧(極低圧運転:約100Pa)と均圧になるようシールバッグ内圧力を約100Paに保持して作業を行った。溶接部の開先合せ後、開先合せ検査までの間は、開先合せ部をアルミテープによりシール養生し、系統内への酸素等の不純物混入を防止した。溶接作業時は同様に系統及びシールバッグ内の酸素濃度管理、圧力管理を行い、シール養生したアルミテープを剥しながら、なめ付け溶接、初層溶接を行った。なお、溶接作業時のバックシールガスは、入口ノズル接続体の溶接部以外は全て1次冷却系統内アルゴンガス(カバーガス)を使用して溶接を行った。

初層溶接完了後シールバッグを取り外し、初層溶接部の放射線透過試験(RT検査)を行った。これは初期溶接部の健全性を確認し、万一欠陥があった場合に、早期に溶接欠陥の除去と補修溶接を行うためのものである。その後1/2層溶接、1/2層液体浸透探傷試験(PT検査(耐圧代替))、最終層溶接、最終層RT検査、最終層PT検査を行った。

1次主冷却系配管内管の溶接順序は、「入口ノズル接続体(テーパ内管)のFU、開先合せ、溶接」、「入口側接続配管のFU、開先合せ、溶接」、「出口側接続配管のFU、開先合せ、

溶接」の順に実施した。

図 7.2-3 に入口ノズル接続体の溶接手順概念図、図 7.2-4 に入口側接続配管内管の溶接手順概念図、図 7.2-5 に出口側接続配管内管の溶接手順概念図を示す。

以下に、1 次主冷却系配管内管の溶接作業概略手順を示す。

(1) 入口ノズル接続体の溶接手順

- ① 新 IHX 入口ノズル部リーケジャケット開口部へゴムリングを取り付け、アルミテープ等でシール養生する。
- ② 入口ノズル接続体に専用の吊り治具及び大口径側に FU 治具を取り付ける。
- ③ 入口ノズル接続体の小口径側にシールバッグを取り付ける。シールバッグには排気用の止め弁付きホースを取り付ける。
- ④ 入口ノズル接続体の大口径側に溶接用のシールバッグを取り付ける。シールバッグにはアルゴンガスの給気、排気用ホース、圧力計、酸素濃度計を取り付ける。
- ⑤ シールバッグの漏洩チェック後、シールバッグ内をアルゴンガスで置換する。
- ⑥ 新 IHX 入口ノズルのヘキサプラグを取り外し、シールバッグポケットに収納する。
- ⑦ 新 IHX 本体内部をアルゴンガスで置換する。アルゴンガスは出口ノズル部のヘキサプラグカプラから給気し、入口ノズル接続体小口径側に取付けたシールバッグの排気用ホースから排気する。
- ⑧ FU 治具を用いて入口ノズル接続体と新 IHX 入口ノズルの開先合せを行う。
- ⑨ スペーサプロックを点付溶接し、開先合せ部を固定する。
- ⑩ 開先合せ部をアルミテープを用いてシール養生する。
- ⑪ シール養生を取り外し、開先合せ検査を受検する。
- ⑫ 開先合せ部に再度アルミテープを用いてシール養生する。
- ⑬ シールバッグ内を空気で置換し、シールバッグを取り外す。シールバッグのガス供給ラインより空気を供給し、排気ラインからアルゴンガスを排気する。
- ⑭ 新 IHX 本体内部を再びアルゴンガスで置換する（⑦要領）。酸素濃度は 1,000ppm 以下であることを確認し、新 IHX 本体内部とシールバッグ内圧力を均圧（約 100Pa）にする。
- ⑮ シール養生したアルミテープ及びスペーサプロックを取り外しながら、なめ付け溶接を行う。
- ⑯ FU 治具を取り外し、初層溶接を行う。初層溶接完了後、RT 検査（メーカ自主検査）を行い、欠陥の無いことを確認する。

- ⑰ 1/2 層溶接を行う。
 - ⑱ 1/2 層溶接部の PT 検査（耐圧代替）を行い、欠陥の無いことを確認する。
 - ⑲ 最終層溶接を行う。
 - ⑳ 最終層溶接部の RT 検査を行い、欠陥の無いことを確認する。
- (2) 入口側及び出口側接続配管内管の溶接手順
- ① ノズル部リークジャケット開口部及び既設系統側配管の外管開口部をシール養生する。
 - ② 接続配管内管の主 IHX 側及び既設系統側内管に FU 治具を取付ける。接続配管の外管開口部に取付けられているテープ養生を取り外し、接続配管を吊上げ固定する。
 - ③ 接続配管の主 IHX 側及び既設系統側に各々シールバッグを取り付ける。シールバッグにはそれぞれアルゴンガスの給気、排気用ホース、圧力計、酸素濃度計等を取り付ける。シールバッグの漏洩チェックを行う。
 - ④ 接続配管内管の主 IHX 側及び既設系統側に取付けられている閉止キャップを取り外し、各シールバッグの収納ポケットに収納する。
 - ⑤ シールバッグ A, B 及び接続配管内をアルゴンガスで置換する。アルゴンガスは両方のシールバッグ給気ラインから給気し、主 IHX 側のシールバッグ排気ラインから排気する。
 - ⑥ 既設系統側配管に取付けられたヘキサプラグ及びノズル側に取付けられたヘキサプラグ（入口側配管は閉止キャップ）を取り外し、シールバッグの収納ポケットに収納する。
 - ⑦ FU 治具を用いて接続配管内管の主 IHX 側及び既設系統側の開先合せを行う。
 - ⑧ スペーサプロックを点付け溶接し、開先合せ部を固定する。
 - ⑨ 開先合せ部をアルミテープでシール養生する。シールバッグ A, B 内を再度アルゴンガスで置換する。（⑦の要領で実施。）
 - ⑩ 開先部のシール養生を取り外し、開先合せ検査を受検する。
 - ⑪ 開先合せ部に再度アルミテープでシール養生する。両シールバッグ内を再度アルゴンガスで置換し、酸素濃度が 1,000ppm 以下であることを確認する。また、シールバッグ内圧力は、系統圧（極低圧運転：約 100Pa）と均圧に保持する。
 - ⑫ アルミテープ及びスペーサプロックを取り外しながら、主 IHX 側及び既設系統側溶接部のなめ付け溶接を行う。
 - ⑬ シールバッグ A, B 内を空気で置換する。シールバッグのガス供給ラインから空気を供給し、排気ラインからアルゴンガスを排気する。
 - ⑭ 配管閉止キャップ及びヘキサプラグを収納した、シールバッグ A, B の収納ポケット

を切断し切り離す。また、切断したシールバッグの開口部は、シーラントによる圧着閉止し、さらにテープによるシール養生を行う。

- ⑯ 両シールバッグ内を再度アルゴンガスで置換し、酸素濃度が 1,000ppm 以下であることを確認する。シールバッグ内圧力は約 100Pa に保持する（⑮と同様）。
- ⑰ 主 IHX 側及び既設系統側溶接部の初層（1 パス）溶接を行う。シールバッグ A, B 内を空気で置換（⑯と同様）し取外す。
- ⑯ 主 IHX 側及び既設系統側溶接部の初層（2～3 パス）溶接を行う。初層溶接完了後、RT 検査（メーカー自主検査）を行い、欠陥のないことを確認する。
- ⑯ 両溶接部の 1/2 層溶接を行う。1/2 層溶接部の PT 検査（耐圧代替）を行い、欠陥の無いことを確認する。
- ⑯ 両溶接部の最終層溶接を行う。最終層溶接部の RT 検査を行い、欠陥のないことを確認する。
- ⑯ 最終層溶接部の PT 検査を行い、欠陥のないことを確認する。

7.2.3.2 1 次主冷却系配管外管の溶接手順と方法

1 次主冷却系配管外管の溶接作業は、内管の溶接及び内管の溶接部に係る各種検査を行った後に実施する必要があり、配管の構造上、半割れ状態の外管を合せて、長手方向 2 箇所及び周方向 2 箇所の溶接を行った。溶接作業時のバックシールガスは、長手方向溶接時の一端に専用のバックページ治具を用い、その他の長手及び周方向溶接時は溶接当該部毎にガスページ範囲を構成し、外管内部へアルゴンガスを供給して溶接を行った。

1 次主冷却系配管外管の溶接順序は、「入口ノズル部テーパ管（長手、大口径側周）の FU, 開先合せ、溶接」を行い、次に「入口側及び出口側接続配管（長手）の FU, 開先合せ、溶接」、「入口側及び出口側接続配管（周）の FU, 開先合せ、溶接」の順に実施した。

図 7.2-6 に 1 次主冷却系配管外管溶接手順概念図を示す。

以下に 1 次主冷却系配管外管の長手及び周縫手の溶接作業概略手順を示す。

(1) 1 次主冷却系配管（外管長手縫手）の溶接手順

- ① 1 線目の長手開先部をスペーサブロックにより仮固定する。
- ② 周方向 FU 治具を取り付け、周方向の仮開先合せを行い、スペーサブロックを点付溶接して仮固定する。同時に長手開先合せを行い、スペーサブロックを点付溶接して開先合せ部を固定する。
- ③ 長手方向の開先合せ検査を行う。
- ④ 周方向及び長手方向開先合せ部をアルミテープでシール養生する。

- ⑤ 当該溶接部が含まれる外管内部をアルゴンガスで置換する（酸素濃度1%以下）。
 - ⑥ 長手方向開先合せ部のテープ養生を徐々に撤去しながら、なめ付け溶接を行う。（長手開先両先端10mm残し。）
 - ⑦ 1/2層溶接を行う。（長手開先両先端50mm残し。）
 - ⑧ 周方向の仮合せ時に取付けたスペーサブロックを取り外し、周方向の仮固定を解放する。
入口ノズルテーパ管は主 IHX 側ノズル部へ仮固定ブロックにより固定する。
 - ⑨ 長手方向開先両端部へ溶接スタート板及び仮固定ブロックを取付ける。
 - ⑩ 長手方向開先両端部へ変形防止治具を取付ける。
 - ⑪ 長手溶接パックページ用治具（多孔板）を長手溶接部裏側へセットする。
 - ⑫ 長手方向開先両端部（両先端10mm）のなめ付け溶接を行う。
 - ⑬ 1/2層溶接を行う（長手開先両先端50mm）。
 - ⑭ パックページ用治具、変形防止治具及び溶接スタート板を取外す。
 - ⑮ 1/2層溶接部の RT 検査（メーカ自主検査）を行い、欠陥のないことを確認する。欠陥が確認された場合は、欠陥部の削り込み、補修溶接を行い、補修溶接部の RT 検査（メーカ自主検査）を再度行い、欠陥を全て除去する。
 - ⑯ 1/2層溶接部の PT 検査（耐圧代替検査）を行う。
 - ⑰ 最終層溶接を行う（⑦～⑯と同様の要領で実施）。
 - ⑱ 最終層溶接部の RT 検査を行い、欠陥のないことを確認する。欠陥が確認された場合は、⑯の要領で欠陥の除去及び補修溶接を行う。
 - ⑲ 最終層溶接部の PT 検査を行う。なお、半割れ外管は母材全面について PT 検査を行う。
- (2) 1次主冷却系配管（外管周縫手）の溶接手順
- ① 周方向 FU 治具を取付ける。
 - ② 外管両側周方向の開先合せを行い、スペーサブロックを点付溶接して仮固定する。
 - ③ 周方向の開先合せ検査を行う。
 - ④ 周方向開先合せ部をアルミテープでシール養生する。
 - ⑤ 当該溶接部が含まれる外管内部をアルゴンガスで置換する（酸素濃度1%以下）。
 - ⑥ 周方向開先合せ部のテープ養生を徐々に撤去しながら、なめ付け溶接を行う。
 - ⑦ 周方向開先部へ取付けたスペーサブロックを取り外す。
 - ⑧ 1/2層溶接を行う。
 - ⑨ 1/2層溶接部の RT 検査（メーカ自主検査）を行い、欠陥のないことを確認する。欠陥が確認された場合は、欠陥部の削り込み、補修溶接を行い、補修溶接部の社内 RT を再

度行い、欠陥を全て除去する。

- ⑩ 1/2 層溶接部の PT 検査（耐圧代替検査）を行う。
- ⑪ 最終層溶接を行う。
- ⑫ 最終層溶接部の RT 検査を行い、欠陥のないことを確認する。欠陥が確認された場合は、⑨の要領で欠陥の除去及び補修溶接を行う。
- ⑬ 最終層溶接部の PT 検査を行う。なお、半割れ外管の母材全面について PT 検査を行う。

7.2.3.3 外管溶接時のバックシールガス（アルゴンガス）供給範囲

溶接作業時には、溶接金属に酸素、窒素、水素などのガスや不純物が混入すること、溶接金属の酸化防止のため、バックシールガス（アルゴンガス）を供給する必要があり、外管溶接の際は、外管内部（予熱窒素ガス系の流路）へ当該溶接部毎にガスページ範囲を構成してアルゴンガスを供給した。

アルゴンガスページ範囲の構成に際しては、ページ時間の短縮を図るため、ガスページ範囲を出来る限り限定し、当該溶接部以外の開口部をシール養生（閉止）すると共に酸欠に十分注意して作業を行った。アルゴンガスの給気、排気は、予熱窒素ガス系に設置された供用期間中検査（ISI）窓及び溶接当該部以外の外管開口部を使用した。ISI 窓にはクイックコネクタ付きのフランジを取り付けてアルゴンガスの供給を行い、外管開口部はアルミテープを用いてシール養生を行い、給気、排気用のゴムホースを取り付けて給排気を行った。なお、バックシール用のアルゴンガスは、原子炉格納容器内清浄アルゴンガスタンク（TK78-3）に設置してある V73-22 クイックコネクタ部から減圧弁を設けた仮設ラインを接続し、各作業場所へ供給した。（シールバッグ内のアルゴンガス置换用と共用。）

表 7.2-3 に各溶接部位ごとのバックシール用アルゴンガスの給排気部位の一覧を示す。

図 7.2-7 に予熱窒素ガス系 ISI 窓の設置位置を示す。また、図 7.2-8 に各ステップ毎のバックシールガス（アルゴンガス）のページ範囲を示す。

7.2.3.4 2 次主冷却系配管（2 次ナトリウム充填ドレン系配管含む）の溶接手順と方法

2 次主冷却系配管の溶接作業も 1 次主冷却系配管と同様に、開先合せ、開先合せ検査、初層溶接までの作業は、全てシールバッグ内で行った。入口側配管、出口側配管とともに、主中間熱交換器側は SUS304 材継手、既設系統側は STPA24 材継手であることから、溶接施工法が異なるため、溶接作業手順が多少異なる。主中間熱交換器側の SUS304 材継手部の溶接作業は、基本的に 1 次主冷却系配管内管の溶接作業手順と同じであることから、ここでは既設系統側の STPA24 材継手部の溶接手順について以下に示す。なお、SUS304 と STPA24 の異材継手部については、バターリング等を実施する必要があるため、現地での溶

接を行わないように工場で溶接を実施しており、設計、製作の段階で現地での異材溶接作業が発生しないように配慮した。

FU 治具、シールバッグ取付け後、アルゴンガスで置換を行い、酸素濃度を 1,000ppm 以下（実績：100～300ppm）、シールバッグ内圧力を約 100Pa（50～150Pa）（系統圧と均圧）に保持して作業を行った。溶接作業時のパックシールガスは、2 次冷却系統内アルゴンガス（カバーガス）を使用して溶接を行った。

アルゴンガスで置換後、ヘキサプラグを取り外し、開先合せを行った。なお、開先合せは既設系統側継手部と主 IHX 側継手部を同時に行った。次に開先内仮付け溶接を行い、開先合せ検査までの間は、内管溶接と同様にテープによるシール養生を行い、系統内への酸素等の不純物混入を防止した。その後、初層溶接（1 パス）まではシールバッグ内で行い、シールバッグを取り外して 1/2 層までの溶接を行い、当該溶接部の RT 検査を行って初期溶接部の健全性を確認した。次に 1/2 層 PT 検査（耐圧代替検査）、最終層溶接、最終層 RT 検査を行い、溶接後熱処理（SR）、最終層 PT 検査を行った。

2 次主冷却系配管の溶接順序は、「入口側接続配管の FU、開先合せ、溶接」、「出口側接続配管の FU、開先合せ、溶接」、「2 次 Na 充填ドレン系配管の FU、開先合せ、溶接」の順に実施した。

以下に 2 次主冷却系配管（STPA24 材継手）の溶接作業概略手順を示す。

- ① 接続配管側両端部に FU 治具を取付ける。
- ② 既設系統側溶接継手部及び主 IHX 側溶接継手部にシールバッグを取付ける。シールバッグにはアルゴンガスの給気、排気用ホース、圧力計、酸素濃度計を取付ける。
- ③ シールバッグの漏洩チェックを行う。
- ④ シールバッグ内をアルゴンガスで置換し、酸素濃度 1,000ppm 以下（100～300ppm）、シールバッグ内圧力約 100Pa（50～150Pa）（系統圧と均圧）に保持する。アルゴンガスはシールバッグ給気ラインから注入し、排気ラインから空気を排氣する。
- ⑤ 接続配管側に取付けられている閉止キャップ及び既設系統側配管に取付けられているヘキサプラグを取り外す。（主 IHX 側溶接継手部についても同様にヘキサプラグの取外しを行う。）
- ⑥ FU 治具を用いて開先合せを行う。（主 IHX 側も同時に開先合せを行う。）
- ⑦ 開先内仮付け溶接を行い、開先合せ部を固定する。
- ⑧ 開先合せ部をアルミテープでシール養生する。
- ⑨ シールバッグ内を再度アルゴンガスで置換する。（④の要領で実施。）

- ⑩ 開先部のシール養生を取り外し、開先合せ検査を受検する。
- ⑪ 開先合せ部に再度アルミテープを用いてシール養生する。
- ⑫ シールバッグ内を再度アルゴンガスで置換する。(④の要領で実施。)
- ⑬ 初層(1パス)溶接を行う。
- ⑭ シールバッグのガス供給ラインから空気を注入し、排気ラインからアルゴンガスを排気して、シールバッグ内を置換してシールバッグを取り外す。
- ⑮ 初層(2~3パス)溶接、1/2層溶接を行う。
- ⑯ 1/2層溶接部のRT検査(メーカ自主検査)を行い、欠陥のないことを確認する。欠陥が確認された場合は、シールバッグの取付け、アルゴンガスによる置換、欠陥部の削り込み、補修溶接を行い、補修溶接部のRT検査を再度行い欠陥を全て除去する。
- ⑰ 1/2層溶接部のPT検査(耐圧代替)を行う。
- ⑱ 最終層溶接を行う。
- ⑲ 最終層溶接部のRT検査を行い、欠陥の無いことを確認する。欠陥が確認された場合は、⑯と同様の要領で欠陥の除去及び補修溶接を行う。
- ⑳ 溶接継手部にヒータを巻き、溶接後熱処理(SR)を行う。最終層溶接部のPT検査を行い、欠陥のないことを確認する。

7.2.4 配管溶接時のガス圧管理、酸素濃度管理

系統バウンダリの開放を伴う配管溶接作業では、バウンダリの維持と系統内への酸素混入防止を行うため、シールバッグを取り付け、アルゴンガスで置換を行い、酸素濃度を下げた状態で溶接作業を行った。また、配管溶接中はプラント側の状態変化を把握するため、JOYDASでカバーガス圧力(1次及び2次アルゴンガス系)及びカバーガス純度を監視しながら溶接作業を行った。

以下にカバーガス圧力管理及び酸素濃度管理方法について示す。

7.2.4.1 カバーガス(1次及び2次アルゴンガス系)圧力管理

系統バウンダリの開放を伴う溶接作業では、系統内カバーガスをバックシールガスとして使用するため、バックシールガスとシールバッグ内の圧力差が溶接結果に影響を与える。溶接モックアップ試験では、この圧力差が100Pa以下であれば溶接部が健全であることを確認した。従って、カバーガス圧力とシールバッグ内圧力の差圧が100Pa以下であればカバーガス圧力は100Paより高くても溶接部への影響はないが、できるだけ圧力を低く管理して、系統内又はシールバッグ内の圧力低下に備えた。この結果、配管溶接時のカバーガス圧力は、1次アルゴンガス系の「極低圧」運転(手動操作)により約100Pa(50~150Pa)

で圧力制御を行った。2次アルゴンガス系の圧力管理については、同様に「極低圧」運転（自動操作）により圧力制御を行った。

一方、シールバッグ内の圧力は、シールバッグへ接続されたアルゴンガス供給バルブと排気バルブにより、基本的にカバーガス圧力と均圧になるよう約100Paで圧力制御を行った。なお、一部の配管溶接部においては、シールバッグの作業性等を考慮してシールバッグ内圧力及びカバーガス圧力を約150Paに制御して溶接を行った。

図7.2-9に配管溶接時のカバーガス圧力管理状況（JOYDASデータ）の一例を示す。同図は、1次主冷却系入口配管（主IHX側、既設系統側）のFUから初層溶接作業時のカバーガス圧力変化を示しており、「低圧」から「極低圧」運転へ切替えた後、約100Paを維持しており、作業中のカバーガス圧力管理が問題なく行われていることがわかる。

7.2.4.2 酸素濃度管理

系統内カバーガス中の酸素濃度管理は、配管切断及びナトリウム除去作業と同様に酸素濃度300ppm以下、窒素濃度1,200ppm以下とした。

また、シールバッグ内の酸素濃度管理は、配管切断及びナトリウム除去作業と同様に酸素濃度1,000ppm以下を目指とした。なお、実際の作業では他のシールバッグ内作業と同様に、酸素濃度は約500ppm前後まで下げることができた。

図7.2-10に配管溶接時の酸素濃度及び窒素濃度管理状況（JOYDASデータ）の一例を示す。同図の濃度変化は1次主冷却系入口配管(B), (A)及び同出口配管(B), (A)の配管FUから初層溶接作業時に発生したものである。何れの作業においても一時的な窒素濃度の上昇が確認されたが、その値は窒素濃度約650～1,000ppmであり濃度管理値を下回るものである。

出口配管(B)の溶接（初層）作業時に最も大きな窒素濃度変化が確認された。工事期間中のプラント状態は、原子炉の冷却材保持の観点から原子炉容器入口配管垂直部にはナトリウムが保持されており、旧主中間熱交換器の出入口配管切断以降は出口配管水平部へ取付けられたヘキサプラグと炉容器入口のナトリウムでこの間はほぼ密閉状態となる。このため、配管切断及びナトリウム除去時に混入したと思われる酸素等がこの間に滞留し、出口配管(B)の溶接（系統との接続）によって、主中間熱交換器を通してカバーガス系と接続され、滞留していた酸素等が一気に流れて検出されたものと推定される。なお、本傾向は出口配管(A)作業時も同様である。

入口配管(B)の溶接（初層）作業時の濃度変化は、新主中間熱交換器内に混入していたと思われる酸素等が入口配管(B)の溶接（系統との接続）によって、カバーガス系と接続

され検出されたものと推定される。このため A 号機については入口配管(A)の溶接(初層)作業前に、主中間熱交換器(A)内部のアルゴンガス置換を十分に行い、当該部の溶接作業を実施した。これにより、入口配管(A)の溶接作業時には B 号機に比べて顕著な濃度変化はなく、酸素等の混入を抑えることができた。

表 7.2-4 にシールバッグ作業による系統内酸素混入量の推定値を示す。

7.2.5 配管溶接の特記事項

(1) 接続用 2 次冷却系配管(B)入口配管の溶接時不具合

接続用 2 次冷却系配管の溶接作業のうち、最初に溶接作業を実施した B 号機の入口配管(既設系統側継手部)初層溶接部に溶接不良が確認されたため、当該溶接部の補修作業を実施した。溶接不良箇所を除去する作業において、グラインダで当該部を切削中に初層溶接部を貫通させてしまい、不良箇所が水平配管の下部に位置していたため、貫通部からナトリウムが滴下した。

当該溶接部(既設系統側 STPA24 材部)の溶接施工法では、脱水素処理のため、初層溶接時に 100°C に予熱しながら溶接を実施し、溶接終了後に後熱処理(420°C × 2h)を行い、その後の溶接を 250°C に予熱しながら行うことになっていた。このため、本事象は当該溶接部の初層溶接後に実施した後熱処理により、残留ナトリウムが溶融して溶接継手部まで移動し、補修作業時のバウンダリ貫通により滴下したものと考えられる。

なお、溶接部の補修作業時には、バウンダリの貫通とナトリウムの滴下の可能性を考慮して、溶接時と同様にシールバッグの設置、シールバッグ内へナトリウム受け皿(ステンレス製)の設置、シールバッグ内をアルゴンガスに置換する等の対策を行っており、事故等のトラブルには至らなかった。

本事象の対応策は、移動したナトリウムを再度除去するため、当該溶接継手部を含めて周方向 2 箇所切断(短管切断)し、ナトリウム除去、開先加工後、新たに製作した短管を溶接した。さらに、当該溶接部以外の接続用 2 次冷却系配管の溶接においても同様の不具合が懸念されるため、溶接時の予熱及び後熱処理を必要としない溶接施工法への変更を行った。

(2) 現地配管溶接部の溶接不良(メーカ自主 RT 検査結果)

本改造工事では、一部の小口径配管(2 次ナトリウム充填ドレン系配管)を除き、全ての現地配管溶接部について、溶接不良を早期に検知することを目的に、初層溶接(又は 1/2 層溶接)部の RT 検査を施工メーカの自主検査として実施した。この結果、RT 検査で撮影した総ショット数(854 ショット)に対して約 9%に相当する溶接不良(76 ショット)を

確認し、当該溶接部の補修溶接を行った。

図 7.2-11 に RT 検査結果（メーカ自主検査）の溶接不良発生率を示す。

溶接不良はほとんどが 1 次主冷却系配管の溶接で発生しており、この内シールバッグ内で溶接した初層溶接（又は 1/2 層溶接）部の不良数は残層溶接部の約 2 倍となっている。

2 次系配管の溶接では、STPA24 材の溶接施工法を変更する前に実施した溶接部で、1 箇所のみ溶接不良が確認され（図 7.2-11 のカッコ書き）、溶接施工法変更後の溶接部については、溶接不良は発生していない。なお、2 次系配管で確認された溶接不良部は、(1)の接続用 2 次冷却系配管(B)入口配管の溶接時不具合に伴い、短管切断時に併せて撤去した。また、確認された溶接不良のほとんどはプローホール及融合不良であり、1 次ナトリウム純化系配管の閉止キャップ溶接部においては裏波不良が発生した。

なお、法令に基づく現地配管溶接部の試験検査は、第 8 章に記載したとおり、総理府令第 74 号に基づく溶接部の必要な検査（RT 検査含む）を受検し、補修溶接部を含めて全て合格した。

8. 試験検査

8.1 主中間熱交換器の交換に係る許認可の経緯

「常陽」MK-III計画に伴う原子炉設置変更許可（高速実験炉設置変更その15）は平成6年1月27日付で申請を行い、1次審査及び2次審査の安全審査を経て、平成7年9月28日付で認可を受領した。これを受け、原子炉等規制法第27条及び第28条の規定に基づき、各改造設備、機器等の設計及び工事の方法の認可（設工認）及び使用前検査の申請を行った。

設工認の申請は、MK-III改造計画に係る改造をまとめて「140MW出力上昇に係わる変更」として申請を行った。なお、本改造工事は機器の設計・製作から据付工事まで長期に渡ると共に、製作及び工事時期も異なることから、改造対象設備に応じて分割申請を行った。

図 8.1-1 に設置変更許可申請書の変更点と設工認の分割申請項目の対応を示す。また、表 8.1-1 に設工認の分割申請一覧を示す。なお、本改造工事で実施した「主中間熱交換器の交換」は同図表の第2回申請分の設工認に該当するものであり、平成7年10月27日付で申請を行い、同年11月20日付で認可を受領した。

使用前検査申請については設工認の分割申請に対応し、各設工認分割申請の認可に合せて使用前検査の申請を行った。ただし、第2回分割申請以降の140MW出力上昇に係わる変更の使用前検査については、第2回分割申請の認可に合せて申請し、以降の各分割設工認の認可に合せて使用前検査の変更手続きを行い、当該検査内容の詳細化を図る申請方法で使用前検査の申請を行った。

図 8.1-2 に設工認申請と使用前検査申請の方法（対応図）を示す。表 8.1-2 に「主中間熱交換器の交換」に係る設工認、使用前検査申請、使用前検査計画書、使用前検査要領書の一覧を示す。

8.2 主中間熱交換器の交換に係る現地試験検査対象と検査項目

8.2.1 試験検査対象と検査項目

主中間熱交換器の交換に係る現地工事の試験検査対象は、工事で交換した主中間熱交換器（本体）、1次主冷却系配管（内管、外管）、2次主冷却系配管、1次アルゴンガス系配管、1次冷却材純化系配管（閉止キャップ）、2次ナトリウム充填ドレン系配管（止弁含む）の各機器及びそれらの現地溶接部である。検査項目は、総理府令第74号に基づく溶接部の必要な検査、設工認申請及び使用前検査申請に基づく据付完成に伴う完成品検査を実施した。

表 8.2-1 に各機器及び現地溶接部に係る検査項目と立会区分を記載した品質管理程度表

を示す。

溶接検査のうち、「材料確認」、「開先面検査」、「開先合せ検査」、「溶接記録確認」、「仕上り検査」については、全ての検査対象（溶接部）に共通して実施した。「熱処理確認」については、2次主冷却系配管及び2次ナトリウム充填ドレン系配管の既設系統側（クロムモリブデン鋼（STPA24）製）溶接部について検査を実施した。

「非破壊検査（規定）」については、主中間熱交換器本体（入口ノズル接続体）及び1次主冷却系配管内管の溶接部について浸透探傷試験（PT検査）及び放射線透過試験（RT検査）を実施した。主中間熱交換器リーグジャケット、1次主冷却系配管外管、1次アルゴンガス系配管及び2次主冷却系配管の溶接部についてRT検査を実施した。2次ナトリウム充填ドレン系配管の溶接部についてはPT検査、1次ナトリウム純化系配管については溶接検査対象外であるが自主検査でPT検査を実施した。なお、非破壊検査の内1/2層RT検査については溶接欠陥の早期検知と補修を目的に施工メーカーが自主的に実施したものである。

「耐圧検査」については、本来規定圧力（系統設計圧力の1.25倍（気圧））による耐圧試験を行い、これに耐え、かつ漏えいがないことを確認する必要があるが、当該検査対象部は規定圧力による試験が困難なため、代替試験による耐圧検査を実施した。なお、代替試験として行う非破壊検査は、規定の非破壊検査で実施する試験と重複しないように選定した。1次ナトリウム純化系配管及び2次ナトリウム充填ドレン系配管についてはRT検査を行い、その他の溶接検査対象部についてはプログレスPT検査を耐圧代替試験として実施した。

「機械試験」については、主中間熱交換器本体（入口ノズル接続体周溶接）、主中間熱交換器（リーグジャケット入口ノズル長手溶接）及び1次主冷却系配管（外管長手溶接）について引張試験、自由曲げ試験、型曲げ試験を実施した。

完成品検査については、設工認申請及び使用前検査申請に基づく検査項目の検査を実施した。「耐圧検査」については、溶接検査の耐圧検査と同様に、代替試験による耐圧検査を行った。1次ナトリウム純化系配管及び2次ナトリウム充填ドレン系配管についてはRT検査を行い、その他検査対象部についてはプログレスPT検査を耐圧代替試験として実施した。なお、RT検査を耐圧代替試験として実施した検査対象については、プログレスPT検査を自主検査として実施した。また、主中間熱交換器（リーグジャケット入口ノズル）及び1次主冷却系配管外管の半割れ外管については、工場製作時に母材としての耐圧検査が行えないため、現地据付後に当該溶接部と合せて母材の全面PT検査を実施した。

「寸法検査」については、使用前検査として主中間熱交換器（リーグジャケット入口ノズル）及び1次主冷却系配管外管の半割れ外管の板厚寸法について検査を実施した。

「外観据付検査」については、全ての検査対象について据付検査を行い、主中間熱交換器本体については遮へい体を含む外観検査と据付検査を実施した。

8.2.2 耐圧検査（耐圧代替試験）の方法

(1) 法規上の取扱い

使用前検査は、炉規法第28条の1の規定に基づき、工事が設工認の方法に従って行われていることを確認するものである。本工事に係る使用前検査の耐圧検査は、設工認工事フロー図に記載のとおり、機器・配管の組立溶接及び据付後に実施するものである。しかしながら現地における耐圧検査は、試験対象系統の系統構成、構造、運転上の制限等のために規定の圧力による試験の実施が著しく困難な場合があり、本工事はこれに該当した。一方、使用前検査の規定では、この場合に実施する耐圧代替試験の規定がなされていないため、総理府令第74号第14条の規定を準用し、事前検討を行い、耐圧代替試験の方法を決定した。

(2) 本工事の耐圧検査の問題点

本改造工事で対象となる1次冷却系及び2次冷却系統は、以下に示す耐圧試験実施上の問題点がある。

図8.2-1に規定圧力をかけて耐圧検査を実施する場合の耐圧試験系統図を示す。

- ① 主中間熱交換器本体（入口ノズル接続体）、1次主冷却系配管内管、1次アルゴンガス系配管及び1次ナトリウム純化系配管閉止キャップは、原子炉容器と一体で耐圧試験を行うこととなる。回転プラグはフリーズシールメタルでシールされているため、内管は原子炉容器内のカバーガス圧（通常運転時1,000Pa）しかかけられない。また、原子炉容器は常時予熱しており、温度変化等によりカバーガス圧が変動する。このため、試験圧力は微圧でかつ変動するため、圧力管理が困難である。
- ② 主中間熱交換器リークジャケット及び1次主冷却系配管外管は、耐圧試験時の圧力保持を既設の予熱室素ガス系仕切弁で行う必要があるが、既設の弁はシート面の漏えいを完全にゼロにはできないため、合否の判定が困難である。従って系統上の設備の制約（弁の気密性）により、圧力をかけることができない。また、予熱室素ガス系により原子炉容器の予熱を行っているため、温度変化等によりカバーガス圧が変動する。
- ③ 2次主冷却系配管及び2次ナトリウム充填ドレン系配管は、2次アルゴンガス系と一体で耐圧試験を行うこととなる。この場合、耐圧試験時の圧力保持は既設の仕切弁で行う必要があるが、既設の弁はシート面の漏えいを完全にゼロにはできないため、合否の判定が困難である。また、ヒータのON/OFFによりダンプタンクの予熱を行っているた

め、温度変化によりカバーガス圧が変動する。

(3) 耐圧代替試験の方法

総理府令第74号第14条では、規定圧力により試験が困難な場合のただし書きとして「ただし、容器又は管の構造上当該圧力で試験を行うことが著しく困難であって、可能な限り高い圧力で試験を行い、これに耐え、かつ、漏えいがなく、放射線透過試験、超音波探傷試験、磁粉探傷試験又は浸透探傷試験のうちいずれか適当な非破壊試験を行い、これに合格するときは、この限りではない。」と記載されている。

また、「電気工作物の溶接の技術基準の解説」⁽⁵⁾によれば、第14条解説2.(1)に「…この場合にあっても、可能な限り高い圧力で耐圧試験を行い、これに耐え、かつ、漏えいがないことを確認することが望ましい。」とあり、2.(2)では、規定の圧力による耐圧試験が困難な場合の例が記載されている。本工事の検査対象は耐圧試験が困難な場合の例に該当しており、耐圧代替試験が妥当であると判断した。

しかしながら、可能な限り高い圧力で試験を行うことは、前項の耐圧検査の問題点に記載した通り困難であるため、圧力を全くかけないで行う代替試験について調査した結果、圧力をかけない場合として実施しても問題のないことを確認した。

さらに耐圧代替試験で行う非破壊試験については、「電気工作物の溶接の技術基準の解説」⁽⁶⁾第14条解説の2.(3)に「…耐圧試験の代替として行う非破壊試験の種類は…規定による溶接部の非破壊試験の種類と重複しないことを原則とする。」と記載されており、この原則に従い各検査対象部の規定の非破壊試験と異なる非破壊試験を耐圧代替試験として選定した。

その結果、主中間熱交換器入口ノズル接続体、主中間熱交換器リーケジャケット、1次主冷却系配管内管及び外管、1次アルゴンガス系配管、2次主冷却系配管については、プログレスPT検査を実施し、1次ナトリウム純化系配管（閉止キャップ）及び2次ナトリウム充填ドレン系配管については、RT検査を実施した。

表8.2-2に耐圧代替試験方法と溶接検査の非破壊試験の対応を示す。なお、総理府令74号による原安センターが実施する耐圧検査についても、同様に非破壊試験を選定し耐圧代替試験を実施した。プログレスPT検査とは、対象溶接部を1/2層溶接毎に浸透探傷試験を行うことを示す。

8.3 試験検査工程

表8.3-1に主中間熱交換器の交換に係る現地工事の試験検査工程実績を示す。

本実績工程は、1次系配管及び2次系配管別に各溶接継手毎に FU から使用前検査までの溶接作業及び各種試験検査の実績を記載したものである。原安センターの溶接検査については、平成 13 年 5 月 9 日～8 月 8 日の間に計 41 回の溶接検査を受検し、文部科学省の使用前検査については、平成 13 年 6 月 7 日～8 月 21 日の間に計 8 回の使用前検査を受検した。検査結果は各溶接継手部及び交換機器について、何れの検査項目についても問題なく溶接作業及び工事が行われていることを確認し合格した。

溶接検査の基本的な流れは各溶接継手部の FU 後、配管の材料確認、開先面検査及び開先合せ検査を行い、次に 1/2 層溶接及び RT（自主検査）実施後、耐圧検査（代替試験）のプログレス PT 検査（1/2 層 PT）及び溶接記録確認を行った。その後残層溶接及び RT 撮影後、最終溶接部について非破壊検査（PT 又は RT 検査）、耐圧検査（代替試験）のプログレス PT 検査（最終層 PT）又は RT 検査、溶接記録確認及び仕上り検査を行い溶接に係る一連の検査を完了した。なお、機械試験については規定に基づく溶接継手部のうち代表継手について実施し、2次系配管の内 STPA24 材の溶接継手部については上記一連の溶接検査に加えて SR 検査（熱処理確認）を実施した。

使用前検査については、前述の通り 1 次主冷却系配管が二重管構造であるため、内管の耐圧検査（代替試験）及び据付検査を完了後、外管及び主中間熱交換器リークジャケットノズル部の溶接、溶接検査、使用前検査を実施した。

2 次系配管（2 次ナトリウム充填ドレン系配管含む）の溶接検査及び使用前検査の流れは基本的に 1 次系配管の試験検査の流れと同様であるが、平成 13 年 6 月 1 日に発生した接続用 2 次冷却系配管(B)入口配管の溶接不具合に伴い、2 次系配管の溶接及び試験検査工程は全面的な見直しを行った。当該溶接部は再度配管をリング状に切断し、ナトリウム除去、開先加工を行う必要があり、また追加する短管については使用前検査（工場）を受検後、現地へ搬入した。さらに 2 次系配管の溶接施工法を変更したため、これらの諸手続き及び準備作業を 6 月に実施しており、2 次系配管の溶接及び各種試験検査は実質的には 7 月より開始した。2 次系配管は前述のとおり、入口配管と出口配管が上下関係にあることから、下側の入口配管、上側の出口配管の順に溶接及び試験検査を実施し、7 月末に全溶接検査を完了し、7 月 31 日及び 8 月 21 日に使用前検査を完了した。

8.4 使用前検査実績

主中間熱交換器の交換に係る使用前検査は、8.1「主中間熱交換器の交換に係る許認可の経緯」のとおり「140MW 出力上昇に係る変更」の設工認のうち、第 2 回申請（主中間熱交換器の交

換)から第7回申請分を集約して、平成7年11月21日に「140MW出力上昇に係る変更」として使用前検査申請を行い、併せて使用前検査計画書「主中間熱交換器の交換(管理番号:2-1)」を策定した。一方、使用前検査要領書については、機器の製作工程及び現地工事工程に合せて検査を行えるよう、分冊化して要領書の策定を行った。このうち主中間熱交換器の交換に係る現地工事分の使用前検査は、要領書管理番号「JMKⅢ 2-1-16」～「JMKⅢ 2-1-22」に該当する。

表8.1-2に使用前検査申請、使用前検査計画書及び使用前検査要領書の一覧表を示す。

現地工事に係る使用前検査は、使用前検査計画書及び使用前検査要領書に従い、平成13年6月7日～8月21日の間に8回に分割して受検した。

表8.4-1に各使用前検査の検査項目及び検査対象を記載した現地使用前検査実績一覧を示す。

第1回～第3回使用前検査では1次主冷却系配管内管の耐圧検査及び据付検査を受検し、第4回使用前検査では1次アルゴンガス系配管及び主中間熱交換器液面計ノズル部の耐圧検査、第5回使用前検査では2次主冷却系配管及び2次ナトリウム充填ドレン系配管の耐圧検査を受検した。第6回使用前検査ではB号機の1次主冷却系配管外管の耐圧検査、寸法検査、外観検査及び据付検査、主中間熱交換器リークジャケットノズル部の耐圧検査、1次アルゴンガス系配管の据付検査を受検した。第7回使用前検査はA号機について受検した。第8回使用前検査では主中間熱交換器の外観検査、据付検査、2次主冷却系配管及び2次ナトリウム充填ドレン系配管の据付検査、2次ナトリウム充填ドレン系配管止弁の作動検査、据付検査を受検した。検査結果は何れの検査も合格であり、交換工事が設工認どおりに行われ、交換した機器が健全であることを確認した。

なお、主中間熱交換器の交換に係る使用前検査のうち、主中間熱交換器の遮へい性能検査については、140MW出力上昇後の平成15年11月27日に受検し合格した。

8.5 試験検査関連の特記事項

主中間熱交換器の交換に係る使用前検査のうち、接続用2次冷却系配管の製作に係る使用前検査(工場)を平成13年4月24日及び7月2日の計2回追加し実施した。これらは現地工事の進捗に伴い発生した以下の不具合の対応策として実施したものである。

(1) 接続用2次冷却系配管(A)の配管長不足

本事象は、既設系統側配管と新主中間熱交換器(A)を接続するために製作した、接続用2次冷却系配管(A)の入口配管及び出口配管の配管長が承認図と異なり短いことが判明し

たものである。対応策として、既に製作済みの入口配管及び出口配管の既設系統側配管取合い部の直管部を一部切断し、不足分の配管長及び現地調整代を有する短管を作製し溶接した。本対応に伴い、新たに短管を作製し溶接することから、認可済みの設工認に基づき、当該配管の使用前検査（材料検査、外観検査、寸法検査、耐圧検査）を追加し、平成 13 年 4 月 24 日製作メーカーにおいて検査を受検した。

(2) 接続用 2 次冷却系配管(B)入口配管の溶接時不具合

本事象は、既設系統側配管と新主中間熱交換器(B)を接続する、接続用 2 次冷却系配管(B)入口配管の既設系統側配管取合い部の補修溶接を実施していたところ、溶接開先部に残留ナトリウムが移動していることが判明したものである。対応策として、既に溶接済みの直管部を一部切断し、移動したナトリウムを除去した後、切断した配管長及び現地調整代を有する新たに製作した短管を溶接した。本対応に伴い、新たに短管を作製することから、認可済みの設工認に基づき、当該配管の使用前検査（材料検査、外観検査、寸法検査）を追加し、平成 13 年 7 月 2 日製作メーカーにおいて検査を受検した。なお、短管追加に伴う溶接部の耐圧検査は現地の使用前検査に追加して検査を実施した。

9. 復旧作業

9.1 本体工事の復旧作業

復旧作業は配管溶接作業に引き続き、本設サポートの復旧及び仮設サポートの撤去を行い、試験検査（溶接検査、使用前検査）対象以外の保温材の復旧作業を先行して行った。本格的な復旧作業は交換した主中間熱交換器の最終据付状態を確認する使用前検査（平成13年8月21日）以降に開始した。復旧作業は基本的に準備作業で撤去した干渉物（機械設備、電気・計装設備）を復旧すると共に、工事対象部の保温材を取付け、仮設設備として設置した、局所排気設備、仮設足場、仮設電源分電盤等を撤去した。次に主中間熱交換器上部ハッチを閉鎖し、作業エリアの片付け清掃を行い、平成13年9月21日に最終現場確認を含めて全ての作業を完了した。

図9.1-1に復旧作業状況を示す。なお、復旧した機械設備の干渉物及び電気・計装設備の干渉物については表5.2-1及び表5.2-2の干渉物一覧に示したとおりである。

9.2 先行工事の復旧作業

先行工事で実施した遮へいコンクリート冷却系配管（R-206）の復旧は、当該部に設置されている給気・換気弁の交換工事に合せて、ナトリウム再充填以降の平成14年4月11日～26日の間に実施した。当該部の干渉配管は改造工事期間中はR-206室炉容器側壁面に仮置きしており、本体工事の復旧作業において配管を所定の位置まで復旧した。最終的な復旧作業は、当該部の給気・換気弁の交換時に最終据付を行い、併せてサポートの復旧を行った。

9.3 干渉物復旧時の検査（自主検査）

工事前に干渉物として撤去した機器については、基本的に撤去前の状態に復旧することを原則として復旧作業を行った。各干渉物については復旧時の状態を確認するため、以下の自主検査を行い、復旧状態に異常がないことを確認した。

機械設備の干渉物のうち、1次アルゴンガス系主循環ポンプ軸封配管（A）、オンラインγ線モニタ設備配管、炉容器ベーパトラップ冷却窒素ガス配管については、撤去部の配管を新たに製作し交換することから、材料確認、開先合せ検査、PT検査（非破壊検査）、耐圧検査（耐圧代替：プログレスPT検査）、外観検査、据付検査を行い、復旧した配管の健全性を確認した。コンクリート遮へい体冷却系配管についてはフランジ取合い部の耐圧漏えい検査、外観検査、据付検査を行い、格内床下酸素濃度検出装置配管については、復旧後の外観検査、据付検査を行った。

サポートのうち、スプリングハンガ、メカニカルスナバ、油圧防振器、バネ防振器等の配管支持装置については、取付け復旧後のインジケータ位置が設計許容値内にあることを確認し、その他のコンスタントハンガ及びアンカ等については、取付け位置と干渉を含めた外観検査を行い、撤去前の状態に復旧されていることを確認した。

架構のうち、B号機の干渉ライニングについては、ハッチ及び一部のライニングを除いて基本的に交換することから、ライニング材の材料確認及び耐圧検査（耐圧代替：プログレスPT検査）、外観検査を行い、溶接部の健全性と復旧状態を確認した。

ダクト及びその他の架構（サポート用架構、操作架台用架構）については、基本的に撤去した干渉物を再使用することから、復旧後の外観検査及び据付検査を行った。

保温材については、保温材及び保温外装板復旧後の外観検査及び据付検査を行い、周辺機器との干渉等がないことを確認した。

電気・計装設備の干渉物のうち、変位計については別途調整試験を行う必要があることから、復旧後の外観検査のみ行った。

漏えい検出器については、模擬信号（検出器端子部のジャンパー等）により漏えい警報が発報することを確認する作動試験を行った。なお、2次系の漏えい検出器については、ナトリウム漏えい監視システムとの組合せ試験を行い、正常に動作することを確認した。

予熱ヒータについては、1次系は主中間熱交換器昇温特性試験時に対象ヒータの通電电流を測定し、新設及び復旧ヒータの接続回路に異常がないことを確認した。2次系は同様に予熱昇温時に対象ヒータのループ試験を行い、ヒータ接続回路に異常がないことを確認した。

温度計については、予熱ヒータと同様に1次系は主中間熱交換器昇温特性試験時に、2次系は予熱昇温時に各熱電対が異常なく温度指示を示すことを確認した。

9.4 復旧作業の特記事項

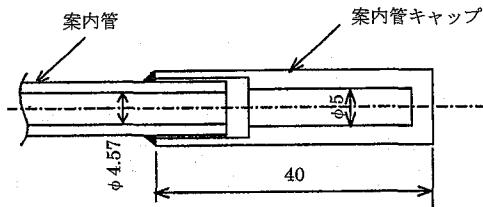
(1) 主中間熱交換器(A)リークジャケット取付け熱電対の仕様変更

リークジャケット内部温度測定用熱電対(TE71-104A)取付けの際、案内管へ熱電対を挿入したところ、約35~40mm残して挿入出来ない事象が発生した。

本事象は熱電対案内管の先端にある、案内管キャップ(長さ:40mm、内径:φ5.0mm)と案内管の溶接時の入熱により、案内管(内径:φ4.57mm)内面が変形し、熱電対(シース外径:φ3.2mm)が挿入できなくなったものと推定される。(熱電対案内管先端部の概略構造:下図参照)

このため、当該熱電対のシース外径をφ3.2mmからφ1.6mmに変更し、再製作した熱電

対を取付けた。なお、シース外径以外の仕様変更は行っていない。また、再製作した熱電対については、製作時の完成検査（材料確認、寸法検査、外観検査）を再度行い、製作機器の品質が保たれていることを確認した。



熱電対案内管先端部の概略構造

9.5 復旧作業後の不具合事象

(1) 1 次ナトリウム漏えい検出器の不具合

本改造工事では、主中間熱交換器及び 1 次主冷却系配管の更新に伴い、改造範囲に設置されている計 6 本 (A, B ループ各 3 本) のナトリウム漏えい検出器を更新した。このうち 2 本 (A ループの 6A, 8A 検出器) の漏えい検出器が平成 13 年 9 月 19~20 日、同 6A 検出器が再度 11 月 13 日及び 17 日に警報を発報した。なお、警報は何れも自動復旧しており、ナトリウムドレン中であることから誤警報である。

図 9.4-1 に当該漏えい検出器の取付け位置を示す。

その後の調査作業から、当該検出器の絶縁抵抗値が不安定となる事象が確認されたため、検出器本体 (端子部及びリード線)、ケーブル及び検出器ユニットについて詳細な調査を行い、誤警報発報時 (数秒間) 以外は健全であることを確認した。これらの結果及び警報の発報と復旧のしかたから、誤警報の原因は検出器先端電極部へ何らかの異物が付着した可能性が高いと推定し、当該検出器を取り外し交換することとした。以下に本不具合に伴い実施した対応策と誤警報の発生原因を示す。

【対応策】

- ① 漏えい検出器 (6A 及び 8A) については、絶縁抵抗値の変動要因があることから漏えい検出器本体を取り外し、内部確認を行うと共に検出器本体を交換する。また、更新した他 4 本の漏えい検出器についても同様な事象が懸念されるため、計 6 本の検出器本体を交換した。漏えい検出器の交換工事はナトリウムドレン中である平成 14 年 2 月 18 日~3 月 25

日の間に実施した。

図 9.4-2 に交換工事の作業状況を示す。

- ② 当該漏えい検出器溶接部は更新時に溶接検査を受検していることから、交換に際しては製作メーカにおいて新たに溶接検査申請を行うと共に、原安センターの溶接検査を受検した。

【原因】

上記の対応策に基づき実施した漏えい検出器の交換工事において、誤警報を発報した 6A 及び 8A 検出器を取り外した結果、内部より金属粉等の異物を回収した。

分析の結果、異物は SUS304 材の破片及びグラインダ切削粉であり、光沢面に導通があることを確認した。また、取り外した漏えい検出器については機能試験を行い、検出器本体に異常がないことを確認した。以上の結果より、6A 及び 8A 検出器の誤警報及び絶縁抵抗値の変動原因是、当該検出器先端部の心線とシース間に SUS304 材の破片又は切粉が介在して導通が生じたために発生したものと考えられる。

(2) 主中間熱交換器ナトリウム液面計の不具合

本改造工事で交換した主中間熱交換器には、MK-III の流量増加に伴う圧力損失の低減設計が妥当であることを正確に把握するため、主中間熱交換器の 1 次側にナトリウム液面計を設置している。当該液面計は据付後の機能試験及び総合機能試験(1)のナトリウム充填時には正常な指示値を示していたが、平成 13 年 10 月 26 日の 1 次系ナトリウムドレン以降、A 号機、B 号機共に液面指示値が変動する事象が確認された。

その後の調査作業から、A 号機変換器 (LX31.1-6A2) 内の発振回路波形に歪があること、変換器盤内の温度変化により A 号機発振回路の出力信号が変動し、これに伴い出力信号が変動していることを確認した。これらの結果から、液面計指示値の変動原因是、A 号機変換器内の発振回路基板に原因がある可能性が高いと推定し、A、B 号機の変換器 (LX31.1-6A2, LX31.1-6B2) を取り外し、メーカ工場において機能試験 (温度特性試験、模擬負荷試験等) を実施した。

図 9.4-3 に主中間熱交換器ナトリウム液面計の回路構成図を示す。図 9.4-4 に展開接続図を示す。

以下に本不具合に伴い実施した対応策と原因を示す。

【対応策】

- ① A 号機変換器内発振回路の波形歪は、当該変換器とケーブル長との組合せで発生したものであることから、発振回路の集中定数 (C (静電容量) と L (リアクタンス)) で構成した

模擬負荷) をコンデンサ (ケーブル長+40m 相当) で調整する。

- ② 変換器内温度補償回路の増幅に使用している可変抵抗器の設定値が温度の影響を受けて変化し、その結果出力値が変動していたことから、可変抵抗器の調整範囲が狭い ($10k\Omega \rightarrow 1k\Omega$) ものへ交換する。なお、抵抗器の設定値は A 号機: 633Ω , B 号機: 446Ω である。

【原 因】

主中間熱交換器ナトリウム液面計指示値の変動は、当該変換器内の発振回路の波形歪及び温度補償回路の増幅に使用している可変抵抗器の設定値が温度の影響を受けて変化することにより発生したものである。なお、上記対応策に基づき新たに製作した基板は、A 号機、B 号機両変換器へ組み込み後、模擬負荷及び温度変化による確認特性試験を行い、出力値の変動がないことを確認した。

10. 考察及びまとめ

MK-III冷却系改造工事のうち1次系機械設備の改造工事では、主中間熱交換器の交換及び同機器に接続される配管の交換を行った。本工事の特徴は、撤去する機器及び配管に放射性ナトリウム及び放射性腐食生成物(CP)が付着していること、工事期間中は1次系バウンダリを維持したことであること、作業エリアは高放射線環境かつ狭隘部であること等が上げられる。また、ナトリウムを冷却材として使用する高速炉の大型機器の交換は我が国初めての経験であり、工事方法と工事管理については事前に綿密な検討を行い現地工事に臨んだ。

その結果、平成12年10月30日に着手した現地工事はいくつかのトラブルはあったものの、平成13年9月21日にはほぼ計画通り完了することができた。これは本改造工事で実施した工事方法が妥当であり、その工事方法に基づき工事管理が適切に行われたものと言える。

本章では、本改造工事で実施した主要な工事方法と工事管理及びトラブルを含めた工事で得られた知見と経験等について考察すると共に、今後の反映事項等について以下に示す。

10.1 主要な工事方法

(1) シールバッグによる雰囲気隔離

系統バウンダリの開放を伴うナトリウム配管の切断、ナトリウム除去及び配管溶接作業では、作業時のバウンダリ維持と雰囲気隔離（系統内への酸素混入防止、汚染拡大防止等）を行うためシールバッグを取り付け、この中で作業を行った。

シールバッグの特徴は、6.1.6「シールバッグの特徴と取付け方法」に記載の通り、透明軟質塩化ビニール製で配管又は切断機ベースへ取付ける構造であり、作業時の自由度が高く、狭隘部におけるシールバッグの設置が容易で、かつ作業性が良い特長がある。一方、開口部はハンドシーラ（アイロン）により圧着閉止するため、基本的に再使用することはできず、作業時の動作負荷がシールバッグに掛かるため破損しやすい短所がある。これらの欠点をカバーする方策として、キャスク（2次系改造工事で使用）による雰囲気隔離を行う方法があるが、1次系機械設備の改造工事では、作業エリアがいずれも狭隘部であることからキャスクを設置するスペースが確保できないためシールバッグによる雰囲気隔離の方法を採用した。

本工事で使用したシールバッグは、配管切断用、ナトリウム除去用、配管溶接用の3種類で計67個を使用した。各用途別のシールバッグは、予めモックアップ試験において耐圧試験を行い、600Paまで加圧しても破損しないことを確認した。しかしながら300Pa以上に加圧するとシールバッグ及び作業用手袋は膨らみ過ぎて作業性が悪くなること、また圧力上昇に

伴いシールバッグのリーク量が増加することから、作業時のシールバッグ内圧力（系統カバーガス圧力も同様）は300Pa以下とした。実際の工事では約100～200Paでシールバッグ内の圧力を保持して作業を行った。また、シールバッグ内のアルゴンガス置換は、シールバッグの容積によって異なるが、最も大きな入口ノズル部切断用シールバッグ（容積約1.4m³）では、酸素濃度約1,000ppmまで置換するのに約7時間（実際の工事では約5時間）、その他のシールバッグ（容積約0.5～0.9m³）では約2時間程度要した。なお、実際の作業中におけるシールバッグ内酸素濃度は、概ね500ppm前後に管理することができた。これに伴い作業時の系統内カバーガス中の酸素濃度及び窒素濃度は、管理値を超えるようことはなく、酸素混入防止を適切に行うことができた。表10.1-1にMK-III改造工事期間中に系統内に混入した酸素量（シールバッグ作業によって混入した酸素量の推定値）、表10.1-2にMK-III改造工事期間中に系統内に混入した酸素量（MK-III新規据付機器の内面に付着していた酸素量推定値）を示す。なお、シールバッグ作業時の酸素混入防止及びカバーガス管理方法については、「常陽」MK-III冷却系改造工事－工事管理とプラント管理－（技術報告書）⁽⁴⁾に示すとおりである。

シールバッグの取扱いはある程度の習熟を要する作業であり、配管固定部や開口部の圧着、ケーブル類のノズル貫通部の閉止等、取付け方によって後のアルゴンガス置換及び漏えいチェック等の作業時間に大きな影響を与えることになる。従って、取付け方法を含めたシールバッグの取扱い方法については、モックアップ試験において事前に確認すると共にトレーニングにより習熟を図った。

これらの結果、系統バウンダリの開放を伴うナトリウム配管の切断、ナトリウム除去作業、配管溶接作業時に使用したシールバッグ内作業において、特に大きな問題もなく各作業を完了することができた。このことは、今回採用したシールバッグによる雰囲気隔離方法が適切な方法であり、また作業時のナトリウム純度管理、カバーガス管理を適切に行うことができたものと考えられる。

(2) 配管切断

本改造工事では、旧主中間熱交換器に接続されている、1次主冷却系配管内管及び外管（入口及び出口）、2次主冷却系配管（入口及び出口）、1次アルゴンガス系配管、1次ナトリウム純化系配管（A）、2次ナトリウム充填ドレン系配管で計44箇所（A：23箇所、B：21箇所）の配管を切断した。各配管は系統及び切断箇所により配管仕様（外径、板厚、材質）、配管姿勢（水平、垂直、テーパ部）等が異なるため、使用する切断機及び切断方法は各切断箇所に適した方法を選定して切断を行った。また、切断順序については、系統バウンダリから

の隔離を優先すると共に、バウンダリの開放時間を低減するため、既設系統側切断部を先に切断し、大口径で他に比べて厚肉配管であり特に高線量エリアの切断作業となる1次主冷却系配管入口ノズル部については、系統バウンダリから完全に隔離した後で切断した。なお、1次主冷却系配管は二重管構造であることから、外管切断は周方向2箇所をリング状に切断した後、長手方向(2箇所)を切断して外管を取り外し、内管切断に必要なスペースを確保して内管の切断を行った。また、1次主冷却系配管外管を除く全ての配管切断は、ナトリウム配管の系統バウンダリ開放を伴うことから、前述のシールバッグによる雰囲気隔離を行い、切断後仮閉止板を取付ける迄の作業はシールバッグ内で行った。

1次主冷却系配管入口配管垂直部の切断は、既設系統側配管との取合い部であることから、系統内への切粉混入を防止するため、外管及び内管切断とともに、配管板厚の約2/3までパイトによる先行切削を行い、その後ローラーカッターによる押し切り切断を行う工法を採用した。その他の既設系統側配管との取合い部である1次主冷却系出口配管水平部、2次主冷却系入口配管及び出口配管の切断箇所については、何れも水平部であることから、押し切りは行わずパイトによる切断工法を採用した。これは、切断に伴い混入した切粉等は後のナトリウム除去作業時に回収することができるためである。なお、1次アルゴンガス系配管、1次ナトリウム純化系配管及び2次ナトリウム充填ドレン系配管は1次系主配管に比べて小口径であることから、何れもパイプカッターによる切断工法を採用した。

その他の主中間熱交換器1次側出入口ノズル部、2次側出入口配管については、切断箇所の両側が撤去機器(旧主中間熱交換器又は撤去配管)であることから、切粉混入防止対策を施す必要がないため、パイトによる切断工法を採用した。

この結果、全ての配管切断作業は、各切断部位毎に選定した切断工法により、特に大きな問題もなく計画通り切断することができた。これはモックアップ試験において、切断基本工法を事前に確認すると共に、トレーニングによる作業内容と手順の習熟を図った成果といえる。

(3) 切断開口部の仮閉止方法

1次系の配管切断は、主配管が二重管構造であること、作業エリアが狭隘部で高線量であること等から、配管切断後、一旦仮閉止板(閉止キャップ+固定治具)を取付け、旧主中間熱交換器及び接続配管を撤去する間、切断開口部を保持する必要があった。このため、配管切断後の切断開口部には、外管を除きシールバッグ内で仮閉止板を取付けた。仮閉止板はシールバッグ内へ搬入でき、限られたスペースで取付けられる必要があることから、軽量かつ取扱いが容易であると共にある程度の耐圧強度を有するポリエチレン製の閉止キャップを探

用した。また、閉止キャップの固定は、低塩素で粘着性の高いGE テープを使用した。

閉止キャップの耐圧性能は予めモックアップ試験で確認し、約 1.5kPa まで保持できることを確認したが、加圧時に閉止キャップが内圧の影響を受けて凸状に膨らみ、長時間保持した場合にはシール性の低下が懸念されたため、補強治具（固定治具）を取付けてシール性と耐圧性の強化を図った。これにより閉止キャップ+固定治具の耐圧性能は約10kPaに向上し、万一系統圧が上昇した場合においても十分な耐圧性能（裕度）を有することを確認した。なお、固定治具は切断開口部へ閉止キャップを取り付け、シールバッグを取り外した後に、閉止キャップの上に取付け、配管固定バンドによりボルト締め固定した。

外管切断後の切断開口部には、4分割リング状の閉止板を取付けた。外管開口部の閉止は、異物の混入防止に加えて、内管切断に際し、切断した外管と当該部の内管を固定（拘束）する必要があることから、挿入型のリング状閉止板を採用した。なお、各切断部の既設系統側外管開口部については、内管切断時のシールバッグ内アルゴンガスバウンダリとなることから、GE テープによるシール養生を行い、撤去配管又は旧 IHX 側の外管開口部については、シール溶接を行った。

この結果、外管切断開口部の閉止板取付けにより、内管切断時の配管拘束と外管開口部のシール及び異物混入防止を図ることができた。また、内管切断開口部については、配管切断からナトリウム除去作業までの間（約 2 ヶ月間）、仮閉止板（閉止キャップ+固定治具）の取付けにより、特に大きな問題もなく系統バウンダリを保持することができた。これは本改造工事で採用した、各切断開口部の仮閉止板及び閉止方法が適切な方法であり、これらの取付けとシール養生（GE テープ又はシール溶接）等を適切に行うことができたものと考えられる。

(4) 旧主中間熱交換器及び撤去配管の保管方法（本閉止方法）

本改造工事で撤去した旧主中間熱交換器は、大型のナトリウム機器であり放射性廃棄物として処理する必要がある。通常ナトリウムが付着した放射性廃棄物を廃棄処分する場合、脱金属ナトリウム処置を行った後に、金属容器に封入する等汚染の拡大を防止する処置を行った後に貯蔵する。一方、撤去した旧主中間熱交換器は、主に⁶⁰C0, ⁵⁴Mn の CP が多量に付着しており、放射能濃度が高く、機器表面の放射線量率も高いことから、作業員の被ばく低減及び放射性廃棄物の発生量の低減を図る観点から、時間による十分な減衰を待ってナトリウム洗浄・解体を行う必要があった。

このため、ナトリウムが付着した状態で長期に貯蔵できるようにメンテナンス建室内ポンプ洗浄室を改造⁽³⁾し、固体廃棄物貯蔵設備として同設備内へ搬入し保管した。なお、保管に

あたっては、長期間にわたり安全に保管できるよう、機器内部へアルゴンガスを封入し、遠隔監視用監視カメラを設置する等の管理手法を取り入れた。

これに伴い旧主中間熱交換器の各ノズルには、保管用の鋼製本閉止板を取付けシール溶接を行った。本閉止板はメンテナンス建家へ移送する間の汚染拡大防止等の役割も兼ねることから、ノズル部の配管切断以降、原子炉格納容器からの搬出までの間に工事進捗に合せて速やかに取付けを行った。当初の計画では、本閉止版は外管閉止治具へ取付ける構造であったが、内管仮閉止板（閉止キャップ）のシール養生を強化するために補強したGEテープが外管閉止治具と接触しており、本閉止板溶接時の入熱によりGEテープが剥がれ落ちることが懸念されたため、本閉止板の取付け位置及び構造を変更し、全ての本閉止板について外管部へ取付ける方法へ変更した。変更後の本閉止板構造は図6.1-12～14に示す通りである。

本閉止板取付け後、機器内部へアルゴンガスを封入するため、切断後に取付けた仮閉止板（閉止キャップ）には貫通口を開ける必要がある。このため、本閉止板のプラグからドリルを用いて仮閉止板を貫通させ、給気用カプラからアルゴンガスを封入した。

撤去配管については、旧主中間熱交換器と同様に長期保管することを念頭に鋼製本閉止板を取付けた。当初の計画では、撤去配管についても固体廃棄物貯蔵設備である程度の期間保管する計画であったが、サーベイランス材取出し作業にあたって、長期保管中による環境変化により配管材に欠陥が発生した場合、保管中に生じたものか、系統に接続されていた時ものか判断できないこと、及び長期保管のため固体廃棄物貯蔵設備に搬入してしまうと、取出し時に旧主中間熱交換器を一旦搬出しなければならないこと等の観点から、同設備内への収納保管は行わず、細断及びサーベイランス材取出し後、ナトリウム洗浄を行い、全て廃棄物として処理を行った。

この結果、旧主中間熱交換器は配管切断以降、本閉止板を取付け、継続して内部をアルゴンガス雰囲気にしており、メンテナンス建家内固体廃棄物貯蔵設備へ搬入後、平成13年5月31日同設備の使用前検査合格をもって長期保管状態に入っている。また、遠隔監視と定期的な圧力管理を行うことにより、これまで特に問題なく安全に保管状態を維持することができたことは、保管用に設置した本閉止板の取付け方法及び保管管理方法が適切であったものと考えられる。

(5) ナトリウム除去方法（ヘキサプラグの取付け含む）

配管内面に付着したナトリウムは、新配管と旧配管を溶接する際の溶接欠陥の原因となることが考えられることから、配管溶接前にこれを除去する必要がある。本作業は、配管切断個所のうち既設系統側配管切断部である、計13箇所の配管切断部について実施した。

ナトリウム除去作業は、配管切断及び配管溶接作業と同様に系統バウンダリの開放を伴う作業であることから、シールバッグによる雰囲気隔離を行い、内部をアルゴンガスで置換して行った。シールバッグ内には、ナトリウム除去に必要なヘラ、搔き出し棒、スクレッパー、木工用ドリル、ナトリウム収納ペール缶、洗浄用ウエス、拭取り棒、アルコール水、ウエス収納用ペール缶、受け皿（ステンレス製トレイ）、その他必要な治工具に加えて、作業後に取付けるヘキサプラグを予め搬入しておいた。

シールバッグの取付け及びアルゴンガス置換方法は、配管切断及び溶接時と同様であるが、当該作業時には、収納ペール缶の蓋を開放しておき、ペール缶内部も同時に置換しておく必要がある。また、アルコール水容器のノズル先端部についてもキャップ又はテープ養生を行った。

ナトリウムが多量に残留している箇所では、ヘラ、ドリル等を用いて除去し、少量のナトリウムはアルコール水（アルコール50%～70%+水50%～30%）を用いて洗浄した。なお、多量のナトリウムは、ヘラ等でナトリウムに筋を入れ、細断しながら徐々に除去する方法が有効で、小口径配管（2次ナトリウム充填ドレン系配管等）で配管内が閉塞するほどナトリウムが残留している場合は、木工用ドリルを用いて除去する方法が有効であった。また、少量のナトリウムを除去する場合には、ウエス等にアルコール水を染み込ませて内面を拭取るが、ウエス等がほつれて糸屑等が系統内に残る可能性があることから、ほつれ部分が織り込み処理されたウエスを使用した。なお、これらのナトリウム除去及び洗浄作業は、予め配管開口部の下部に設置したステンレス製の受け皿の上で行った。

ナトリウム洗浄完了後、配管開口部には系統バウンダリを閉止するための仮閉止治具（ヘキサプラグ）及び脱落防止治具を取付けた。次にナトリウムの搔き出し及び拭取り等に使用した治工具類、受け皿等は、全てアルコール水を染み込ませたウエスで洗浄を行い、ナトリウムの付着がないことを確認した。また、搔き出し時に収納したナトリウム及び拭取りに使用したウエスは、それぞれの回収容器に収納し、シールバッグ内（アルゴンガス雰囲気）で蓋を閉め治工具類と共に搬出した。

本作業は危険物であるナトリウムを直接取り扱う作業であることから、作業時は当然のことながら、作業後の後片付けを含めて最善の注意を払って実施した。この結果、全てのナトリウム除去作業において、特に大きな問題もなく安全にナトリウム除去を行うことができたことは、今回実施したナトリウムの搔き出し及び拭き取り洗浄方法が適切な方法であったと考えられる。なお、当該作業ではシールバッグ内でアルコール水を使用することから、その使用量に応じて系統内の酸素濃度又は水素濃度が上昇する事象が確認されたが、何れの作業

においても管理値を超えるようなことはなかった。

(6) 配管溶接

本改造工事では、系統パウンダリへの接続を行う溶接 28 箇所 (A:14 箇所, B:14 箇所), 1 次主冷却系配管外管及び新主中間熱交換器リークジャケットノズル部の溶接 56 箇所 (A:28 箇所, B:28 箇所) の計 84 箇所の配管継手部の溶接を行った。

外管及びリークジャケット部の溶接を除く配管溶接作業は、系統パウンダリの開放を伴う作業であることから、シールバッグによる雰囲気隔離を行い、初層溶接完了までは内部をアルゴンガスに置換して行った。

溶接方法は、一部の 2 次主冷却系配管（自動溶接機）を除き全ての配管継手部において、手動によるティグ溶接方法を採用した。これは、1 次系配管の溶接では使用する治工具が汚染する可能性があり、万一自動溶接機を使用して汚染した場合、使いまわしができなくなると共に、管理区域からの持ち出しができなくなること、また、作業エリアが狭隘部であること等を考慮したものである。

配管の FU は、拘束リング及び専用の FU 治具を用いて継手部の開先合せを行い、スペーサブロックで開先部を固定する工法を採用した。これは、1 次系配管は配管口径が大きいため開先内仮付けを行うと、開先面が仮付け溶接による変形により、開先検査に支障をきたす可能性があったためである。一方、2 次系配管は1 次系配管に比べて配管口径が小さいこともあります、開先内仮付けを行った。

配管溶接時には、外管及びリークジャケット部を除き、系統内アルゴンカバーガスをバックシールガスとして使用するため、バックシールガスの圧力制御を行いながら溶接作業を行った。また、外管長手方向溶接時のバックシールガスは専用の治具を継手部裏側へ挿入してアルゴンガスを供給し、外管周方向及びリークジャケット部については、作業ステップに応じて供給範囲を制限し外管内部へアルゴンガスを供給して溶接を行った。

初層溶接部については、溶接完了後 RT 検査（メーカ自主検査）を行い、初期溶接部の健全性を確認すると共に、溶接欠陥等の早期検知を図り、万一欠陥があった場合には欠陥部の除去と補修溶接を行った。なお、外管及びリークジャケット部を除く補修溶接作業は、万一のパウンダリ貫通を想定して全てシールバッグ内で行った。

2 次系配管 (STPA24 材) の溶接施工法については、接続用 2 次冷却系配管 (B) 入口配管補修溶接時の不具合に伴い、溶接時の予熱処理及び溶接後の後熱処理を必要としない溶接施工法へ変更した。なお、当初の溶接施工法は、工事準備段階でシールバッグ内の配管を予熱することから、好ましくないのではないかという議論があった。しかし、溶接施工法につ

いては、溶接基準である府令 74 号で施工業者の責任範囲であり、今回の施工業者が予熱しながら行う溶接施工法しか取得していなかったため、バウンダリを閉止する初層溶接時の予熱条件で問題ないことを確認し、施工業者の提案を受け入れ採用したものである。

この結果、系統バウンダリの開放を伴うナトリウム配管の溶接、外管及びリークジャケット部の配管溶接作業は、上記不具合を除き特に大きな問題もなく完了することができた。なお、現地配管溶接部については、府令 74 号に基づく溶接部の必要な検査を受検し、全ての溶接部について健全であることを確認した。

10.2 工事管理

現地作業における工事管理については、作業員の被ばく低減及び汚染拡大防止等の放射線管理、系統内への酸素混入防止等のナトリウム純度管理、カバーガス圧力の低圧制御等のカバーガス管理、切粉混入防止及び治工具類の落下防止等の清浄度管理、配管の構造健全性と溶接施工管理等にポイントをおいて行った。この結果、大きなトラブルの発生もなく、工事を問題なく終了することができた。本改造工事における工事の管理ポイントとプラント管理については、「常陽」 MK-Ⅲ冷却系改造工事－工事管理とプラント管理－（技術報告書）⁽⁴⁾に示すとおりである。

10.3 不具合事象

(1) 接続用 2 次冷却系配管(A)の配管長不足

旧主中間熱交換器に接続されている 2 次主冷却系出入口配管(12B)の切断作業に先立ち、平成 13 年 2 月 6 日に切断位置及び溶接位置等の寸法再確認を実施したところ、既設系統側配管と新主中間熱交換器(A)を接続するために製作した接続用 2 次冷却系配管(A)の配管長がサイクル機構の承認図と異なっていることが判明した。入口側配管の配管長が約 470mm、出口側配管の配管長が約 200mm 短く製作されていた。

図 10.3-1 に接続用 2 次冷却系配管(A)の配管長を示す。

当該配管は、主中間熱交換器の交換に係わる設工認申請に基づき製作が行われ、平成 12 年 3 月 17 日に使用前検査として材料検査、外観検査、寸法検査、耐圧検査を受検し合格したものである。当時の寸法検査では、強度計算書に基づく設計仕様を満足したものであることを確認するため、出入口配管の外径及び板厚寸法のみ測定しており、配管長については測定項目にないため、寸法測定は行っていなかった。これは当該配管が現地据付時の調整代（約 80mm）を有しているため、最終的に据付られる配管長は製作時の配管長と異なるためであ

る。

以下に本不具合事象が発生した原因と対策、及び不具合による影響等について示す。

【原因】

当該配管は、当初、既設の温度計ウェル部を残して切断し、接続配管を復旧する計画であったが、もんじゅ漏えい事故を踏まえて、温度計ウェル部を新たに交換するよう切断位置を変更した。製作段階におけるこの設計変更是、施工メーカーの設計側とサイクル機構間で承認申請図の改定により行われたが、製作側への伝達とその確認方法に不備があり、その結果、変更前の承認申請図から製作図面が作成され、さらに製作後の配管についても変更前の承認図に基づきメーカーの検査が行われていた。

【対応策】

- ① 当該接続用 2 次冷却系配管(A)の直管部と同一の設計条件、設計仕様に基づき、不足分の配管長及び現地据付時の調整代を有する短管を製作し溶接した。
- ② 新たに製作する短管は、現地搬入前に製作済みの接続用 2 次冷却系配管(A)と溶接を行うため、使用前検査（材料検査、外観検査、寸法検査、耐圧検査）を追加し受検した。
- ③ 製作メーカーにおいては短管追加に伴い、新たに溶接検査申請を行うと共に、原安センターの溶接検査を受検した。
- ④ 調達先監査要領に基づき、製作メーカーの品質保証監査を再度実施した。
- ⑤ サイクル機構自主検査においては、配管の外径、板厚寸法に加えて調整代を含む配管長の寸法測定を行い、現地据付寸法以上であることを確認した。

【不具合による影響と反映事項】

当該配管の現地溶接は、当時の計画工程では平成 18 年 5 月上旬より開始する計画であったため、本不具合事象が判明した 2 月から約 3 ヶ月間という期間があり、現地工事への直接的な影響はなかった。一方、間接的な影響としては、短管製作に伴う工場立会い検査（サイクル機構自主検査：3 回、使用前検査：1 回）が追加された。

本不具合のような品質管理上のトラブルを防止するためには、製作メーカー内における設計側と製作側との設計変更時の情報伝達手段と確認方法を構築すると共に、加工代を有する製品についても、必要寸法以上の配管長を有することを確認しておく必要があると考えられる。

(2) 接続用 2 次冷却系配管(B)入口配管補修溶接時の不具合

接続用 2 次冷却系配管の溶接作業のうち、最初に溶接作業を実施した B 号機の入口配管(既設系統側継手部)初層溶接部に溶接不良が確認されたため、当該溶接部の補修作業を実施した。溶接不良個所を除去する作業において、グラインダで当該部を削除中に初層溶接部を貫

通させてしまい、溶接不良箇所が水平配管の下部に位置していたため、貫通部からナトリウムが滴下した。

以下に本不具合発生時の作業状況、発生原因と対策、及び不具合による影響等について示す。

【作業状況】

- ① 当該溶接部（既設系統側 STPA24 材部）の初層溶接は、溶接施工法に基づき、脱水素処理のため配管継手部を予熱（約 100°C）した状態で初層溶接を行い、溶接終了後、後熱処理（420°C×2h 以上）を行った。
- ② その後実施した RT 検査（メーカ自主検査）の結果、欠陥が確認されたため、当該溶接部を再度予熱（約 100°C）し、補修作業を行った。
- ③ 開先合せから初層溶接（補修溶接含む）完了までは、系統バウンダリの開放を伴うため、シールバッグによる雰囲気隔離を行い、内部をアルゴンガスで置換して行っていた。また、シールバッグ内には溶接及び補修作業に必要な治工具（溶接トーチ、グラインダ、養生シート等）に加え、ナトリウム受け皿（ステンレス製トレイ）を入れており、溶接及び補修作業はこの受け皿の上で行っていた。

図 10.3-2 に当該溶接部の溶接施工履歴を示す。また、図 10.3-3 及び図 10.3-4 に補修時のシールバッグ状況と作業状況を示す。

【原因】

本不具合事象は、当該溶接部の初層溶接後に実施した後熱処理により、残留ナトリウムが溶融して溶接継手部まで移動し、補修作業時のバウンダリ貫通により滴下したものと考えられる。

【対応策】

- ① 当該溶接部に付着したナトリウムを除去するため、当該継手部を含む配管直管部をリング状（短管）に切断し、移動したナトリウムを再度除去した（シールバッグ内作業）。
- ② 切断した接続用 2 次冷却系配管の直管部と同一の設計条件、設計仕様に基づき、切断した配管長及び現地据付調整代を有する配管を作成し溶接した。

図 10.3-5 に新たに製作した接続用 2 次冷却系配管（B）入口配管の構造図を示す。

- ③ 新たに製作した短管は、既設配管を製作した同一メーカーで機械加工したのち、使用前検査（材料検査、外観検査、寸法検査）を追加し受検した。なお、現地据付時の耐圧検査及び据付検査については、他の接続用配管と同様に検査対象部を追加して実施した。
- ④ 当初の施工メーカの溶接施工法では、2 層目以降の溶接時に予熱（約 250°C）を行うこ

と及び溶接後に後熱処理を行う必要がある。このため、当該溶接部を含めた接続用2次冷却系配管の溶接を現施工法で実施すると、同様の事象が懸念されるため、溶接施工法の変更を行った。変更した溶接施工法は、溶接時に予熱を必要とせず、また後熱処理も実施しないもので、MK-III冷却系改造工事のうち主冷却器の交換工事を実施した施工メーカが所有する溶接施工法である。

表 10.3-1 に変更前後の溶接施工条件の比較を示す。

- ⑤ 溶接施工法の変更に伴い、当初の施工メーカが申請した溶接検査申請の抹消を行うと共に、変更した施工メーカの溶接検査申請を行い、原安センターの溶接検査を受検した。

【不具合による影響と反映事項】

溶接部に付着したナトリウムを除去するため、配管の追加切断、ナトリウム除去、追加する配管（短管）の製作、工場使用前検査の追加及び溶接施工法変更に伴う溶接検査申請の変更と溶接検査等の追加作業が発生し、当該溶接部を含めた接続用2次冷却系配管の溶接作業は約1ヶ月中断した。これに伴い工事工程及び使用前検査のスケジュール変更を余儀なくされたが、1次主冷却系配管外管の復旧を先行して実施する等の調整により、工事期間が大幅に遅れることなく対処することができた。

当初の溶接施工法に基づき実施した脱水素処理（予熱、後熱処理）は、アーク溶接の場合に被覆材に水分が含まれていると溶接部に水素を巻込み水素脆化が生じることを防止するものであり、今回のようなティグ溶接の場合には必要ないものであった。しかし、施工メーカが取得した溶接施工法は、アーク溶接、ティグ溶接を含めたものであり、この処理を行わなければならぬものであった。今後ナトリウム配管の溶接（ティグ溶接）を行う場合は、脱水素処理を必要としない溶接施工法（予熱及び後熱処理なし）を採用することが必要である。

- (3) 新主中間熱交換器(A)1次アルゴンガス系ノズル閉止板固定用部材の落下

平成13年3月15日大型機器保管倉庫において、新主中間熱交換器(A)の運搬・保管用に取付けられていた1次アルゴンガス系ノズル部閉止板をヘキサプラグに交換する作業において、同ノズル部の閉止板固定用部材（約2kg）を主中間熱交換器内部へ落下させた。

図 10.3-6 に閉止板及び固定用部材の取付け構造を示す。

以下に本不具合発生時の作業状況、発生原因と対策、及び不具合による影響等について示す。

【作業状況】

- ① 閉止板取外しに際し、シールバッグの取付け、アルゴンガス置換を行い、閉止板用固定部材のM12ボルト上部穴にSUS製ワイヤで落下防止処置を行った。

- ② ナット取外し治具を用いて、落下防止用ワイヤを固定した状態でM12ナットの取外しを行い、引き続き閉止板の取外しを行っていたところ、落下防止用ワイヤが切れ、ワイヤ及び閉止板固定用部材が新主中間熱交換器(A)内部へ落下した。

【原因】

使用する落下防止用ワイヤのスペック及び指示が作業員に明確に伝えられていなかった。また、作業時に必要以上の負荷をワイヤにかける等、落下防止(異物混入)に対する認識不足(教育の徹底等含む)が原因と考えられる。

【対応策】

- ① CCDカメラを用いて落下物の確認を行い、以下の回収方法により回収した。
② 回収用モックアップを製作し、回収方法と回収治具の適用性を確認した。回収治具はWフック方式(Wフック爪が90度毎に4本付いた治具)を採用し、回収作業のトレーニングを実施することにより、二次災害の防止を図った。

図10.3-7に内部確認状況と回収治具及びモックアップ試験状況を示す。

【不具合による影響と反映事項】

新主中間熱交換器(A)の搬入・据付まで約1ヶ月間の期間があったため、工事工程への直接的な影響はなかった。また、落下に伴う新主中間熱交換器(A)の損傷等の有無については、落下物回収後、CCDカメラにより内部確認を行い、損傷等がないことを確認した。

新主中間熱交換器は横倒し状態で保管しており、落下物は主中間熱交換器胴部(円錐側面R部)に沿って落ちたものと考えられる。

本作業を含めて開口部で行う作業時には、使用する治工具類には落下防止用のひも又はワイヤ等を取付け、異物混入防止対策を図っていた。それにもかかわらず本不具合事象が発生したことは、作業者一人一人の落下防止に対する危機意識と危機管理が不足していたものと考えられる。

(4) 新主中間熱交換器(B)入口ノズルリリークジャケット内への治具落下

平成13年6月22日主中間熱交換器室(R-305)において、主中間熱交換器(B)入口ノズルテーパ外管の長手溶接作業準備中に、変形防止治具を取付けようとしていたところ、溶接スタート板(50×50mm、約0.12kg)をリークジャケット内へ落下させた。

以下に本不具合発生時の作業状況、発生原因と対策、及び不具合による影響等について示す。

【作業状況】

入口ノズルテーパ外管へ変形防止治具を取付ける際、内管一外管間のギャップが狭い個所

があり変形防止治具の取付けが困難であった。ギャップを拡張するため、溶接スタート板を使用していたところ、養生テープが剥がれ、主中間熱交換器(B)リークジャケット内に溶接スタート板が落下した。

図 10.3-8 に溶接スタート板の落下状況概略図を示す。

【原 因】

適切な落下防止措置を施していない治具（溶接スタート板）を使用した。

【対応策】

① CCD カメラを用いて落下物の確認を行い、以下の回収方法により回収した。

図 10.3-9 に落下物の回収作業状況を示す。

② 回収モックアップを製作し、回収方法と回収治具の適用性を確認した。回収方法は、吸引パッドを用いて真空引きを行い、落下物に吸着させて回収する方法を採用した。また、回収作業のトレーニングを行うことにより、二次災害の防止を図った。

【不具合による影響と反映事項】

当該入口ノズルテーパ外管の溶接作業は、落下物の回収に伴い約 7 日間中断したが、A 号機の溶接作業との調整により、大幅な工程遅延には至らなかった。また、落下に伴う新主中間熱交換器(B)の損傷等の有無については、落下物回収後、CCD カメラにより内部確認を行い、損傷等がないことを確認した。

本不具合発生当時は、接続用 2 次冷却系配管(B)入口配管補修溶接時の不具合対応として、追加の配管切断及びナトリウム除去作業等を実施しており、工程遅延を挽回するため、他作業との調整が再三行われ、現場作業は急ピッチで進められていた。これらの影響が現場作業員の治工具落下防止対策への意識の欠如につながり、本不具合が発生したものと考えられる。

10.4 今後の反映事項

本改造工事では、ナトリウムを冷却材として使用する高速炉の大型機器（主中間熱交換器）の交換及び同機器に接続されるナトリウム配管の交換を行った。現地工事においてはいくつかのトラブルは発生したもの、適切な対応策を施すことにより概ね計画通り工事を完了することができた。

以下に本改造工事で得られた知見と経験及びトラブル等に基づき、今後、同様な工事を行う場合の反映すべき事項について示す。

(1) モックアップ試験の実施

事前に基本工法を確認し、問題点の抽出とその対策を施し、最適な作業条件を選定すると

共に、現場作業環境と設備を模擬したトレーニング等を行うことは極めて有効な方法である。本改造工事では、配管切断から配管溶接までのシールバッグ内作業を中心に、要素試験（基本工法、作業方法確認）とフルモックアップ試験（障害物及びフル設備模擬、作業性確認、作業条件選定、作業手順の見直し等）を行い、主要な課題の摘出とその対策を事前に施すことができた。モックアップ試験等を実施しない場合は、不測の事態等を想定した対応策を事前に十分検討しておく必要がある。

(2) バウンダリ開放時のシールバッグによる雰囲気隔離

系統バウンダリの開放を伴うナトリウム配管の切断、ナトリウム除去及び配管溶接作業では、シールバッグ等による雰囲気隔離（系統内への酸素混入防止、汚染拡大防止、作業員の酸欠防止）を行い作業する方法が有効である。これに代わる方法としてキャスクを使用する方法があるが、作業エリアへの適応性等一長一短があるため、使い分けをすることが必要である。

(3) シールバッグの取扱い

シールバッグ取付け後の漏えいチェックでは、配管取付け部、切断機ベース取付け部、ケーブル貫通部等からの漏えいが最も多く、取付け後のアルゴンガス置換時に携帯型酸素濃度計を用いて漏えい個所を発見した。この方法は、予め空気による漏えいチェックを行い大きな漏えい個所をつぶして置く必要があるが、微小漏えい個所を発見するのに有効な方法である。

一方、シールバッグのゴム手袋部は、一般汎用品を使用しており、作業性も考慮して薄手のものであったため、手袋取付け部（根本）で何度も破損した。これに対し2次系改造工事で使用したシールバッグのゴム手袋は、グローブボックス等で使用する厚手のものであり、破損することはなかった。ゴム手袋部の破損は作業遅延を伴うと共に、最悪の場合は当該手袋が使用できなくなり、作業に支障を来たすことが考えられるため、十分な強度を有するものを使用するか、多重化する等の対策を施す必要がある。

(4) 系統圧（アルゴンガス系）の低圧制御

ナトリウム配管のカバーガス系（アルゴンガス系）には、低圧で安定した制御システムが必要である。弁の開閉による制御では、バルブの口径を適切に選択する必要がある。特に、溶接時においては、溶接不良を発生させない観点から、極低圧の制御が必要である。

(5) 仮サポートの設置

配管切断によって配管に生じている反力が開放され、切断と同時に配管系が移動する可能性があることから、切断前に配管拘束用の仮サポートを設置しておく必要がある。

(6) 配管切断（バイト切断、押切り切断）

バイトによる配管切断時には、切削溝にバイトが挟まれ、バイトが折損する事象が何度か発生した。このような場合、切削幅を広げる方向へバイトを移動し、再度配管周端部より切削して、切削幅を広げる方法が有効である。

既設系統側配管との取合い部であり、切粉混入等を防止する必要がある垂直配管等の切断作業では、バイトによる先行切削（配管板厚の約2/3）後、ローラーカッターによる押切り切断する工法が有効である。

(7) 配管閉止板（仮閉止板、ヘキサプラグ、固定治具）

配管切断開口部の閉止板（閉止治具）は、その用途に応じて適切な治具を選定し、予め耐圧強度及びシール性等を確認したものを使用することが必要である。本改造工事では、配管切断直後に取付ける仮閉止板は、軽量かつ取扱い性を考慮したポリエチレン製の閉止キャップを使用し、さらにシール性と保持する期間等を考慮して鋼製の固定治具による補強を行った。開先加工時には、加工機との干渉を避けるため、配管内部でゴムリングを圧着させて閉止するヘキサプラグを使用した。また、外管の閉止板は、当該部内管切断時の配管拘束を兼ねることから外管へ挿入する4分割リング状閉止板を使用した。

(8) ナトリウム除去方法

ナトリウム除去方法は、ナトリウムの残留量に応じて多少異なるが、比較的多くのナトリウムが残留した大口径配管においては、ヘラ等で筋状に線を入れ、ナトリウムを細断しながら少量ずつ搔き出す方法が有効である。少量のナトリウムが付着した配管においては、ナトリウム洗浄と同様に、ガーゼ状のウエスにアルコール水（アルコール50～70%+水50～30%）を染み込ませ、配管内面に付着したナトリウムを拭き取り除去した。

拭き取り及び洗浄作業は、ナトリウムを反応させながら除去を行うため、染み込ませるアルコール水の量及び拭き取り方（速度）等は、付着ナトリウムの洗浄状態を隨時確認しながら、十分注意して行う必要がある。

(9) 既設側配管の開先加工と偏平化対策

既設側配管の開先加工では、開先合せのためのシンニング加工等を行うが、配管の偏平（真円が出ていない状態）により周方向の肉厚が必要厚さを満足しなくなる可能性がある。偏平化の対策はメーカーにより異なるが、本工事では拘束リング（周方向リング状に矯正ボルトが付属した矯正治具）等を用いて開先加工及び開先合せを行った。なお、矯正方法及び治具等については工事メーカーと事前に対応策を十分協議しておく必要がある。

(10) 開先合せの固定方法

本改造工事では、開先合せ部の固定方法（開先合せ検査までの間）として、1次冷却系配管では、コマ（スペーサーブロック）による固定を行い、2次冷却系配管では、開先内仮付けによる固定を行った。開先合せ作業は、開先合せ検査の前日に行うことから、開先部をシール養生（GE テープ又はアルミテープ等）し、気密を確保しておく必要があった。この開先部のシール養生においては、開先部にコマのような突起物がない開先内仮付けが有効であった。コマ等を使用する場合は、突起物の高さを出来る限り低くし、シール養生をしやすい構造にする必要がある。

(11) 溶接時の温度監視

溶接による入熱によって配管温度が上昇し、既設側配管の残存ナトリウムが溶融して溶接部に悪影響を及ぼすため、残存ナトリウムが溶融しないように、配管表面温度を測定しながら溶接を行う必要がある。本改造工事では、モックアップ試験において溶接時の配管表面温度を事前に確認すると共に、現地溶接作業時においても配管表面温度を監視しながら溶接を行った。なお、小口径配管で溶接入熱による配管表面温度上昇が顕著な場合には、溶接作業を一時中断しながら温度の低下を待ち溶接を行う等の方法を採用した。

(12) シールバッグ内の溶接作業

シールバッグ内の溶接作業は、多くの制約条件が重なることから、準備段階において制約条件を明確にすると共に、作業環境等も含めて十分なトレーニングを行う必要がある。本改造工事では、事前検討とモックアップ試験によるトレーニングを行ったにもかかわらず、シールバッグ内で実施した溶接部で欠陥が予想以上に発生した。これは、作業員の装備及び作業環境（干渉物、作業エリア等）までは模擬したものの、グリーンハウス内の温度条件、狭隘部での溶接姿勢及びこれに伴う作業員の体力消耗まで模擬しきれなかったために発生したものと考えられる。

(13) 異物混入（落下防止）対策

本改造工事では、開口部への異物混入（落下防止）対策として、使用する治工具には全て落下防止用のひも又はワイヤ等を取付けると共に、作業性等も事前に確認した。それにも係わらず今回の工事では2件の治工具落下不具合が発生しており、何れも作業員の認識不足と不注意によるものである。使用する治工具類への落下防止対策に加えて、施工メーカーの危機意識の高揚を図ると共に、作業員への教育を徹底（事例紹介等）して行う必要がある。

11. おわりに

MK-Ⅲ冷却系改造のうち、1次系機械設備の改造では、放射性ナトリウムが付着した大型機器（主中間熱交換器）の交換及び同機器に接続される配管の交換という、我が国初めての経験となる改造を実施した。工事期間中は、1次系バウンダリを始めとする各系統バウンダリを保持した状態で工事を行う必要があること、原子炉格納容器内床下作業エリアは高放射線環境であり、かつ、作業場所が極めて狭いこと等多くの制約条件があった。このため、改造工事の準備段階で事前に綿密な検討を実施すると共に、基本工法の確認と作業時間の短縮等を目的としたモックアップ試験を行い、課題の摘出と対策を事前に施し現地工事に臨んだ。この結果、平成12年10月30日に着手した現地工事は、大きなトラブルもなく平成13年9月21日に無事工事を完了することができた。

本改造工事で得られた知見と経験等に基づく主な成果を以下に示す。

- (1) モックアップ試験を実施することにより、配管切断から配管溶接作業の基本工法を事前に確認し、最適な作業方法と作業条件を選定すること及びトレーニングによる作業の習熟を図ることにより、確実な現地工事と作業時間の短縮による被ばく線量の低減を図ることができた。
- (2) ナトリウムバウンダリを開放する作業（配管切断、ナトリウム除去、配管溶接）時には、シールバッグによる雰囲気隔離を行い、シールバッグ内の酸素濃度管理、系統内カバーガス中の窒素濃度管理、極低圧でのカバーガス圧力制御により、系統内への酸素混入量を抑制することができた。
- (3) バウンダリ開放時間を低減する適切な切断順序を策定すると共に、各切断部位に応じた適切な切断工法を選定し、切屑及び治工具類等の異物を混入させることなく、計44箇所の配管切断を確実に実施することができた。
- (4) 配管切断開口部には、専用の仮閉止治具（閉止キャップ、固定治具、ヘキサプラグ）を取付けることにより、工事期間中系統バウンダリを安全かつ確実に保持することができた。また、撤去した旧主中間熱交換器（撤去配管含む）についても同様な閉止治具により、機器内部へアルゴンガスを封入させた状態で安全に収納保管することができた。
- (5) 配管切断部の残留ナトリウムの搔き出し及び内面に付着したナトリウムの拭き取りにより、配管溶接時の溶接欠陥を防止すると共に、作業効率の良い搔き出し及び拭き取り方法を確認した。
- (6) 配管溶接時の差圧管理（バックシールガスとシールバッグ内圧力）と配管表面温度の監視

により、シールバッグ内溶接作業を安全かつ正確に実施することができた。

以上の結果から、ナトリウムを冷却材として使用する高速炉の大型機器の交換及びナトリウム配管の切断、溶接作業手法の有効性を確認することができた。これらの手法は、今後同様な工事を実施する場合に十分に反映できるものであると考えられる。

12. 謝　　辞

MK-Ⅲ冷却系改造工事は、ナトリウムを冷却材として使用する高速炉の大型機器を交換する我が国初めての経験であり、工事にあたっては工事期間中の放射線管理を担当して頂いた放射線管理課をはじめ、大洗工学センター内関係部署、敦賀本部もんじゅ建設所等のご協力を頂き、無事完了することができた。

特に以下の方々には、1次冷却系機械設備の改造工事における現地工事の推進と管理において多大なるご協力を頂き、ここに深く感謝の意を表します。

実験炉部原子炉第二課兼もんじゅ建設所プラント第二課

(現在 もんじゅ建設所プラント第二課)

友部 勝眞氏, 伊藤 健司氏

実験炉部原子炉第二課兼実験炉部原子炉第一課

(現在 実験炉部原子炉第一課)

軽部 浩二氏, 赤城 慎二氏

実験炉部原子炉第二課兼照射施設運転管理センター照射管理課

(現在 照射施設運転管理センター照射管理課)

山本 雅也氏

安全管理部放射線管理課

叶野 豊氏

東興機械工業株式会社

加倉井 克洋氏, 野上 浩氏

検査開発株式会社

植田 宗嗣氏

原子力システム株式会社

瀬谷 義一氏

また、1次冷却系改造工事を実施した株式会社日立製作所に感謝の意を表します。

13. 参考文献

- (1) 車司 稔, 他：“50MW 蒸気発生器試験施設 中間熱交換器(IHX)の解体・洗浄記録”, PNC TN9450 98-009, (1998)
- (2) 平松貴志, 他：“「常陽」MK-Ⅲ計画に係る設工認及び使用前検査申請のフレームワーク”, PNC TN9440 96-006, (1996)
- (3) 山口明, 他：“「常陽」MK-Ⅲ冷却系改造工事－旧主中間熱交換器保管用固体廃棄物貯蔵設備－”, JNC TN9450 2002-003, (2002)
- (4) 磯崎和則, 他：“「常陽」MK-Ⅲ冷却系改造工事－工事管理とプラント管理－”, JNC TN9410 2002-007, (2002)
- (5) (社)火力原子力発電技術協会：電気工作物の溶接の技術基準－省令および解釈－, 昭和63年版, (社)火力原子力発電技術協会, (1988)

表一覽

表 2.2-1 主中間熱交換器主要目

項 目	仕 様		
型 式	凝置有液面式平行向流型シェル&チューブ式		
基 数	2 基		
機器種別	第1種容器 / 第3種容器 / 第1種支持構造物		
耐震クラス	As (ただし、リークジャケットはA)		
最高使用圧力		1次側	2次側
	内 壓	0.098 MPa	0.490 MPa
	外 壓	0.098 MPa	0.147 MPa
最高使用温度	内 壓	550°C	550°C
	外 壓	250°C	550°C
	(上部ペローズ部: 420°C リークジャケット: 550°C)		
定格伝熱量	70 MWt/基		
定格流量	1次側		2次側
	1335 t/h/基		1186 t/h/基
定格温度		1次側	2次側
	入 口	500°C	300°C
	出 口	350°C	470°C
対数平均温度差	約 39°C		
カバーガス圧力	1000Pa (100mmAq)		
有効伝熱面積	363m ² /基		
主要寸法	(外径 約 1.9m × 高さ 約 7.9m)		
主要材料	オーステナイト系ステンレス鋼 (316FR、SUS304)		
伝 热 管	寸法	外径 19.0mm、 公称肉厚 1.0mm	
	本数	2088 本	
	配列ノ層数	同心円周配列／18層	
	配列ピッチ	半径方向 25.5mm／円周方向 26.7mm	
	ピッチ比	半径方向 1.34 / 円周方向 1.41 (伝熱管 中心距離／外径)	

表 2.2-2 1 次主冷却系配管仕様

項目		単位	ホットレグ配管 (原子炉容器から主 IHX)		コールドレグ配管 (主 IHX から主循環ポンプ)	
			内管	外管	内管	外管
型 式		—	二重配管 窒素ガス予熱式			
呼 径		B	20 (Sch20S)	22	18 (Sch20S)	20
材 質		—	オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304			
外径／板厚		mm／mm	508.0／9.5	558.8／3.0	457.2／8.0	508.0／3.0
				564.8／6.0		514.0／6.0
最高使用圧力	内圧	MPa	0.098	0.098	0.098	0.098
	外圧	MPa	0.098	0.000	0.098	0.000
最高使用温度	内圧	°C	550	550	450	450
	外圧	°C	250	—	250	—
定格出力運転温度		°C	500	500	350	350
内部流体		—	Na	N ₂	Na	N ₂
機器種別		—	第1種管	第3種管	第1種管	第3種管
耐震クラス		—	As	A	As	A

表 2.2-3 2 次主冷却系配管仕様

項目	単位	ホットレグ配管	コールドレグ配管
型式	—	一重配管 予熱ヒータ予熱式	
呼径	B	12 (Sch40)	12 (Sch40)
材質	—	オーステナイト系ステンレス鋼 316FR オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 クロムモリブデン鋼 (2 1/4Cr-1Mo 鋼) STPA24	
外径／板厚	mm/mm	318.5 / 10.3	318.5 / 10.3
最高使用圧力	内圧 MPa	0.441	0.490
	外圧 MPa	0.147	0.147
最高使用温度	内圧 °C	520	400
	外圧 °C	550	550
定格出力運転温度	°C	470	300
内部流体	—	Na	Na
機器種別	—	第3種管	第3種管
耐震クラス	—	As	As

表 2.2-4 1次アルゴンガス系配管仕様

項 目	単 位	1次アルゴンガス系配管
型 式	—	一重配管 予熱ヒータ予熱式
呼 径	B	6 (Sch20S)
材 質	—	オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304
外径／板厚	mm／mm	165.2／5.0
最高使用圧力	内圧	MPa 0.098
	外圧	MPa 0.098
最高使用温度	内圧	°C 550
	外圧	°C 250
内部流体	—	Ar
機器種別	—	第3種管
耐震クラス	—	A

(注1) 主中間熱交換器から 2m までは 500°C、2m 以降は 250°Cである。

表 2.2-5 1 次冷却材純化系配管仕様

項 目	単 位	1 次冷却材純化系戻り配管 (閉止キャップ～V34.1-12)	
型 式	—	一重配管 予熱ヒータ予熱式	
呼 径	B	2 (Sch20S)	
材 質	—	オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304	
外径／板厚	mm／mm	60.5／3.5	
最高使用圧力	内圧 MPa	0.10	
	外圧 MPa	0.10	
最高使用温度	内圧 °C	550	
	外圧 °C	250	
内部流体	—	Ar	
機器種別	—	第 1 種管	
耐震クラス	—	A	

表 2.2-6 2次ナトリウム充填ドレン系配管仕様

項目	単位	2次主冷却系コールド"V"配管 分岐部から止め弁まで		止め弁以降
型式	—	一重配管 予熱ヒータ予熱式		
呼径	B	1 (Sch20S)	1 (Sch40)	
材質	—	オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304		クロムモリブデン鋼 STPA24
外径／板厚	mm／mm	34.0／3.0	34.0／3.4	
最高使用圧力	内圧	MPa	0.490	
	外圧	MPa	0.147	
最高使用温度	内圧	°C	400	
	外圧	°C	550	
内部流体		—	Nar	
機器種別		—	第3種管	
耐震クラス		—	As	B

表3.2-1 MK-III冷却系改造工事（1次冷却系機械設備）の予定及び実績工程(1/2)

年月 項目	2000年				2001年												
	5月～9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月				
作業準備、干渉物撤去									旧 IHX 搬出/新 IHX 搬入								
予 定	資材搬入				配管切断				入口ノズル、入口配管内管溶接		干渉物復旧、片付け						
	仮設電源設置				1次系配管外管切断 入口配管既設側 出口配管既設側 出口ノズル部				入口ノズル、入口配管内管溶接 IHX上部遮蔽体、保温解体 シールキャップ・シーリング撤去		干渉物復旧、片付け						
	足場組立、作業通路設定				1次系配管内管切断 入口配管既設側 出口配管既設側				1次系、2次系残存配管 Na除去～閉止フランク～開先加工		干渉物復旧、片付け						
	保温材解体				仮設遮蔽材取付け				旧 IHX 取付けボルト解体		干渉物復旧、片付け						
	仮設遮蔽材取付け				仮設サット取付け、本設サット取外し 出口ノズル部				旧 IHX 吊上・搬出～M/B ット内設置		干渉物復旧、片付け						
	ヒータ、ケーブル、電線管等撤去				1次系入口ノズル部切断				新 IHX 搬入準備		干渉物復旧、片付け						
	グリーンハウス設置				撤去配管移動～閉止溶接～Na除去				新 IHX 搬入～吊込～仮設定		干渉物復旧、片付け						
	障害物、干渉物撤去				2次系配管切断 出口配管 入口配管				新 IHX 吊込、IHX 再吊込		干渉物復旧、片付け						
					1次 Arガス系配管切断 1次 Na純化系配管切断 2次 Na充填ボンベ系配管				1次系、2次系配管ダミ合せ		干渉物・サット・保温復旧						
									1次系、2次系配管 開先加工（工場）		干渉物・サット・保温復旧						
									新 IHX 吊上、新管吊込、 IHX 再吊込・最終設定		干渉物・サット・保温復旧						
										使用前検査							
作業準備、干渉物撤去									旧 IHX 搬出/新 IHX 搬入								
実 績	資材搬入				配管切断				入口ノズル、入口配管内管溶接		干渉物復旧、片付け						
	仮設電源設置				1次系配管外管切断 入口配管既設側 出口配管既設側 出口ノズル部				入口ノズル、入口配管内管溶接 IHX上部遮蔽体、保温解体 ボルトキャップ・シーリング撤去		干渉物復旧、片付け						
	足場組立、作業通路設定				1次系配管内管切断 入口配管既設側 出口配管既設側 出口ノズル部				1次系、2次系残存配管 Na除去～閉止フランク～開先加工		干渉物復旧、片付け						
	ヒータ、ケーブル、電線管等撤去				仮設遮蔽材取付け				旧 IHX 取付けボルト解体、吊上準備		干渉物復旧、片付け						
	保温材解体				仮設排気設備設置				旧 IHX 吊上・搬出～M/B ット内設置		干渉物復旧、片付け						
	仮設排気設備設置				作業用架台設定				新 IHX 搬入準備		干渉物復旧、片付け						
	ヒータ、ケーブル、電線管等撤去				1次 Arガス系配管 切断（2ヶ所）				新 IHX 搬入～吊込～仮設定		干渉物復旧、片付け						
					1次 Na純化系配管 切断（2ヶ所）				新 IHX 吊込、搬出、 IHX再吊込		干渉物復旧、片付け						
					仮設サット取付け、本設サット取外し				1次系配管ダミ合せ		干渉物復旧、片付け						
					カーリンハウス設置				1次系配管 開先加工（工場）		干渉物復旧、片付け						
					障害物、干渉物撤去				新 IHX 吊上、新管吊込、 IHX再吊込・最終設定		干渉物復旧、片付け						
										使用前検査							
備 考	要素モデルモックアップ試験（機械加工、溶接）				フルモックアップ試験 & トレーニング（機械加工関係）												

表3.2-1 MK-III冷却系改造工事（1次冷却系機械設備）の予定及び実績工程(2/2)

年月 項目	2000年				2001年									
	5月～9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	
作業準備、干渉物撤去									旧 IHX 搬出/新 IHX 搬入					
予 定	資材搬入				配管切断				配管溶接、使用前検査					
	足場組立				1次系配管外管切断 入口配管既設側 出口配管既設側 出口ノズル部			1次系、2次系撤去配管、 IHX/スル閉止溶接 IHX上部遮蔽体、保温解体 シールキャップ・シーリング撤去 1次系、2次系残存配管 Na除去～閉止ブレーキ～開先加工	入口ノズル、入口配管内管溶接 テバ管 開先合せ～1/2溶接 入口配管 開先合せ～1/2溶接 テバ管、入口配管 残留溶 1次Arガス系溶接 配管開先合せ～溶接	入口ノズル部外管溶接 テバ管 開先合せ～溶接 短管 開先加工～開先合せ～溶接 入口配管既設側外管溶接 開先合せ～溶接	干渉物復旧、片付け			
	保温材解体				仮設遮蔽材取付け				旧 IHX 取付けボルト解体 旧 IHX 吊上・搬出～M/B ベット内設置	出口配管内管溶接 開先合せ～溶接	出口配管外管溶接 開先合せ～溶接			
	仮設サート取付け				仮設サート取外し 本設サート取外し 出口ノズル部				新 IHX 搬入準備 新 IHX 搬入～ 吊込～仮設定 新 IHX 吊込、IHX再吊込 1次系、2次系配管ダミ合せ 1次系、2次系配管 開先加工（工場） 新 IHX 吊上、新管吊込、 IHX再吊込・最終設定	2次系配管溶接 入口配管開先合せ～溶接～熱処理 出口配管開先合せ～溶接～熱処理 2次Na充填ドレン系開先合せ～溶接～熱処理				
	ヒータ、ケーブル、電線管等撤去				グリーンハウス設置							片付け、清掃		
	障害物、干渉物撤去											干渉物・サート・保温復旧		
												使用前検査		
作業準備、干渉物撤去									旧 IHX 搬出/新 IHX 搬入					
実 繕	資材搬入				配管切断				配管溶接、使用前検査					
	仮設電源設置				1次系配管外管切断 入口配管既設側 出口配管既設側 出口ノズル部			1次系、2次系撤去配管、IHX/スル閉止溶接 IHX上部遮蔽体、シールブレート、保温解体 IHXソルブルート基礎ボルト・シールキャップ改造	入口ノズル、入口配管内管溶接 テバ管 開先合せ～1/2溶接 入口配管 開先合せ～1/2溶接 テバ管、入口配管 残留溶 入口配管既設側外管溶接 開先合せ～溶接	入口ノズル部外管溶接 テバ管 開先合せ～溶接 短管 開先加工～開先合せ～溶接 配管保温材取付	干渉物復旧、片付け			
	足場組立				1次系配管内管切断 入口配管既設側 出口配管既設側 出口ノズル部			1次系、2次系残存配管 Na除去～閉止ブレーキ～開先加工 旧 IHX 取付けボルト解体、吊上準備 旧 IHX 吊上・搬出 ～M/B ベット内設置	1次 Arガス系溶接 配管開先合せ～溶接 エロ開先合せ～溶接 エロ・平板開先合せ～溶接					
	ヒータ、ケーブル、電線管等撤去				1次 Arガス系配管 切断（2ヶ所）				2次系配管溶接 入口配管開先合せ～溶接～熱処理 出口配管開先合せ～溶接～熱処理 2次Na充填ドレン系開先合せ～溶接～熱処理					
	保温材解体				1次系入口ノズル部切断									
	仮設排気設備設置				切断準備 外管切断									
	作業用架台設定				内管・熱遮蔽板 切断									
	仮設遮蔽材取付け				2次系配管 切断（2ヶ所）									
	仮設サート取付け、本設サート取外し				入口配管（2ヶ所） 2次Na充填ドレン系配管（2ヶ所）									
	グリーンハウス設置				IHX保温止めプレート・保温解体									
	障害物、干渉物撤去													
備 考	要素モデルモックアップ試験（機械加工、溶接）				フルモックアップ試験 & トレーニング（機械加工関係）			フルモックアップ試験 & トレーニング（溶接関係）						

表4.2-1 配管切断・溶接モックアップ試験の実施範囲

	系統名	作業箇所	切 断	溶 接	備 考
A ル ー ブ	1 次主冷却系	入口ノズル部	◎ (テーパ配管の施工性確認)	◎ (テーパ配管の施工性確認)	
		入口配管(垂直部)	◆/○ (垂直配管の施工性確認)	◆/○ (垂直配管の施工性確認)	
		出口ノズル部	◆/○ (垂直配管の施工性確認)	◎ (垂直配管の施工性確認)	
		出口配管(水平部)	◆/○ (水平配管の施工性確認)	◆/○ (水平配管の施工性確認)	
1 次Arガス系	主IHX側	↑ (1次主冷却系流用可)	↑ (1次主冷却系流用可)		
	既設系統側	↑ (1次主冷却系流用可)	↑ (1次主冷却系流用可)		
1 次Na純化系	主IHX側	↑ (1次主冷却系流用可)		-	
	既設系統側	↑ (1次主冷却系流用可)	↑ (1次Arガス系流用可)		
2 次主冷却系	入口配管(主IHX側)	↑ (1次主冷却系流用可)	↑ (1次主冷却系流用可)		
	" (既設系統側)	↑ (1次主冷却系流用可)	◆ (STPA24材溶接施工性確認)		
	出口配管(主IHX側)	↑ (1次主冷却系流用可)	↑ (1次主冷却系流用可)		
	" (既設系統側)	↑ (1次主冷却系流用可)	↑ (2次主冷却系入口配管流用可)		
2 次Na充填ドレン系	主IHX側	↑ (1次主冷却系流用可)	↑ (1次Arガス系流用可)		
	既設系統側	↑ (1次主冷却系流用可)	↑ (2次主冷却系入口配管流用可)		
B ル ー ブ	1 次主冷却系	入口ノズル部	◆/○ (熱遮蔽板切断方法確認)	◎ (障害物の作業性確認)	
		入口配管(垂直部)	◎ (障害物の作業性確認)	◎ (障害物の作業性確認)	
		出口ノズル部	◎ (障害物の作業性確認)	◎ (障害物の作業性確認)	
		出口配管(水平部)	◎ (障害物の作業性確認)	◎ (障害物の作業性確認)	
	1 次Arガス系	主IHX側	↑ (Aループ流用可)	↑ (Aループ流用可)	
		既設系統側	↑ (Aループ流用可)	↑ (Aループ流用可)	
	1 次Na純化系	主IHX側	↑ (Aループ流用可)	↑ (Aループ流用可)	
		既設系統側	↑ (Aループ流用可)	↑ (Aループ流用可)	
	2 次主冷却系	入口配管(主IHX側)	↑ (Aループ流用可)	↑ (Aループ流用可)	
		" (既設系統側)	↑ (Aループ流用可)	↑ (Aループ流用可)	
		出口配管(主IHX側)	↑ (Aループ流用可)	↑ (Aループ流用可)	
		" (既設系統側)	↑ (Aループ流用可)	↑ (Aループ流用可)	
	2 次Na充填ドレン系	主IHX側	↑ (Aループ流用可)	↑ (Aループ流用可)	
		既設系統側	↑ (Aループ流用可)	↑ (Aループ流用可)	

◆ : 要素試験実施

◎ : フルモックアップ試験実施

表4.2-2 配管切断、溶接のモックアップ試験内容

	モックアップ試験体	試験内容（確認事項）		備考
		切 断	溶 接	
要素試験	① 1次主冷却系配管 入口ノズル部（テーパ部）	・切断機ベースの設置 ・外管、内管、熱遮蔽板の切断（バイト切断） ・外管閉止治具、内管閉止板の取付け		基本工法及び作業方法確認
	② 1次主冷却系配管 入口配管（垂直部）	・外管、内管の切断（バイト切削及び押切り） ・外管閉止治具、ヘキサプラグの取付け ・N a除去の作業性	・開先合せ、ハーサワットの取付け ・初層/残層溶接（圧力保持、配管表面温度） ・溶接結果確認（PT、RT、外観検査等）	
	③ 1次主冷却系配管 出口ノズル部（垂直部）	・外管、内管の切断（切断機を移動しないバイト切断） ・外管閉止治具、内管閉止板の取付け		
	④ 1次主冷却系配管 出口配管（水平部）	・切断機ベースの設置 ・外管、内管の切断（切断機を移動しないバイト切断） ・外管閉止治具、ヘキサプラグの取付け ・N a除去の作業性	・開先合せ、ハーサワットの取付け ・初層/残層溶接（圧力保持、配管表面温度） ・溶接結果確認（PT、RT、外観検査等）	
	⑤ 2次主冷却系配管 出口配管（既設系統側）		・開先合せ、ハーサワットの取付け ・STP A24材初層/残層溶接（予熱あり） （圧力保持、配管表面温度）	
	① 1次主冷却系配管 入口ノズル部（テーパ部）	下記一連作業の作業性確認（障害物模擬） ・切断機ベース、切断機の取付け作業性 ・外管切断、外管閉止治具取付け ・内管追い込み切削、シールバッグ取付け ・内管切断、仮閉止板の取付け	下記一連作業の作業性確認（障害物模擬） ・シールバッグ取付け ・開先合せ、ハーサワットの取付け ・内管／外管初層溶接、残層溶接の最適条件 ・バックシールガス用治具の作業性 ・溶接結果の確認	
フルモックアップ試験	② 1次主冷却系配管 入口配管（垂直部）	下記一連作業の作業性確認（障害物模擬） ・切断機の取付け作業性 ・外管切断（切削及び押切り）、外管閉止治具取付け ・内管切断、N a除去の作業性 ・ヘキサプラグ取付け、内管、外管の開先加工	同上	現地作業エリア及び 障害物を模擬して、 一連作業の作業性確 認及び作業条件の選 定と作業手順、作業 時間の把握
	③ 1次主冷却系配管 出口ノズル部（垂直部）	下記一連作業の作業性確認（障害物模擬） ・切断機の取付け作業性 ・外管切断（切断機を移動しないバイト切断） ・外管閉止治具取付け ・内管切断、内管閉止板取付け	同上	
	④ 1次主冷却系配管 出口配管（水平部）	下記一連作業の作業性確認（障害物模擬） ・切断機ベース、切断機の取付け作業性 ・外管切断、外管閉止治具取付け ・内管追い込み切削、シールバッグ取付け ・内管切断、N a除去の作業性 ・ヘキサプラグ取付け、内管、外管の開先加工 ・固定治具の取付け	同上	

表4.3-1 配管切断・溶接のモックアップ試験工程（実績）

項目	年月	2000年								2001年			
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
要素試験	① 1次主冷却系配管 入口ノズル部				配管切断（外管、内管、熱遮蔽板）								
	② 1次主冷却系配管 入口垂直配管		配管切断（外管、内管）		Na除去作業性、開先加工			溶接施工確認					
	③ 1次主冷却系配管 出口ノズル部			配管切断（外管、内管）									
	④ 1次主冷却系配管 出口水平配管			配管切断（外管、内管）	Na除去作業性、開先加工			溶接施工確認					
	⑤ 2次主冷却系配管 出口配管 (既設系統側)								微圧溶接性確認	予熱溶接確認			
フルモックアップ試験	① 1次主冷却系配管 入口ノズル部					切断機ベース、切断機取付 外管切断					溶接施工及び 作業性確認（内管）		溶接施工及び 作業性確認（外管）
	② 1次主冷却系配管 入口垂直配管				切断機、拘束リング取付 外管切断		Na除去作業性確認	開先加工			溶接施工及び 作業性確認（内管）		溶接施工及び 作業性確認（外管）
	③ 1次主冷却系配管 出口ノズル部						内管切断、シールバッグ取扱い				溶接施工及び 作業性確認（内管、外管）		
	④ 1次主冷却系配管 出口水平配管					切断機取付 外管／内管切断、シールバッグ取扱い					溶接施工及び 作業性確認（内管、外管）		
	トレーニング (機械加工関係、 溶接関係)					切断機ベース、切断機取付、外管切断 内管切断、シールバッグ取扱い Na除去作業性確認					トレーニング①（機械加工関係）		トレーニング②（溶接関係）
備 考													外管開先形状見直し

表 4.4-1 (1/3) 要素試験体によるモックアップ試験結果

	モックアップ試験体	試験項目	試験結果（成果及び課題）	改善／処置
① 配管切断	1次主冷却系配管 入口ノズル部（テーパ部）	(1)外管周方向切断	<ul style="list-style-type: none"> 必要工具のリストアップ 切断機取付ベースを IHX 本体側へ溶接固定し、取付け性に問題のないことを確認。 切断機の取付け手順方法を確認。 配管の拘束が基本的に出来ないことから、ベースと切断機の取合いのみで芯出し調整する作業方法を確認。 バイトによる切断時にビリ等が発生したが、切削速度を調整することで切断出来ることを確認。 	
		(2)外管長手切断	<ul style="list-style-type: none"> グラインダーにより外管長手方向 2箇所切断が可能であることを確認。 	
		(3)外管閉止治具	<ul style="list-style-type: none"> 外管閉止治具取付け前にバリの除去等が必要であるが、取付け及び溶接固定作業性は特に問題ないことを確認。 	<ul style="list-style-type: none"> バリはタガネ、ベンチ等で折り曲げ除去できる。必要工具を治工具リストへ追加。
		(4)内管追込み切削	<ul style="list-style-type: none"> 切断機ベースと切断機の取合いのみで芯出し調整できることを確認。 切断時にビリ等が発生したが、切削速度を調整することで切断出来ることを確認。 	<ul style="list-style-type: none"> 切削速度：9.4m/min（回転数約 3rpm）で切断。
		(5)シールバッグ取付け、Ar ガス置換	<ul style="list-style-type: none"> テーパ部でのシールバッグ固定は取付け作業性及びシール性が悪いため、取付け位置を変更すると共にシールバッグも改良する。 	<ul style="list-style-type: none"> 水平配管部で固定する方法に変更する。これに伴いシールバッグも配管長手方向に拡張した構造へ変更する。
		(6)内管切断	<ul style="list-style-type: none"> バイト切断時にビリ等の事象が発生したが、切削速度を調整することで切断出来ることを確認。 一部切り残し箇所があったが、タガネ等を用いて切断出来ることを確認。 グラインダーにより内管長手切断が出来ることを確認。また、スパッタシート等の養生によりシールバッグの破損等がないことを確認。 	<ul style="list-style-type: none"> 切削速度：6~9m/min（回転数約 2~3rpm）で切断。 配管切断によりバイトを噛む恐れがあることから、モックアップにおいて配管を牽引して倒れ込みによるバイト噛み込みを防止する。
		(7)熱遮蔽板切断	<ul style="list-style-type: none"> バイト切断時にビリ等の事象が発生したが、切削速度を調整することで切断出来ることを確認。 一部切り残し箇所があったが、タガネ等を用いて切断出来ることを確認。 	<ul style="list-style-type: none"> タガネ、ハンマ等切り残し部の手動切断に有効な治工具を選定し、必要工具へ追加。
		(8)内管仮閉止板	<ul style="list-style-type: none"> 内管仮閉止板の取付けには最低約 50mm のギャップが必要である。また、シールバッグ内で仮閉止板の取付けが問題なく行えることを確認。 	
		(9)エア置換、シールバッグ取外し	<ul style="list-style-type: none"> 掃除機等により排気側を吸引することにより、置換効率を上げられることを確認。 	
② 配管切断	1次主冷却系配管 入口配管（垂直部）	(1)外管周方向切断	<ul style="list-style-type: none"> 必要工具のリストアップ 2分割拘束リングの取付け性に問題ないことを確認。 拘束リングにより配管の歪変形を修正できることを確認。 また、切断機芯出しの微調整方法を確認。 配管肉厚を測定し、追込み切削量通りバイトによる切削が可能であることを確認。 ローラカッターで押切り切断できること及び切り屑等が外管内部に侵入しないことを確認。 	
		(2)外管長手切断	<ul style="list-style-type: none"> ニプラ切断機により外管長手方向切断が可能であることを確認。 	
		(3)外管閉止治具	<ul style="list-style-type: none"> 外管閉止治具の取付け性に問題ないことを確認。 	
		(4)内管追込み切削	<ul style="list-style-type: none"> 内管芯出しギャップを 2mm 以内にすれば追込み切削上問題ないことを確認。 内管最大追込み量は約 8mm であることを確認。 	
		(5)シールバッグ取付け、Ar ガス置換	<ul style="list-style-type: none"> 取付け部からの漏洩が多く、取付け方法の改善が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 配管取付け部には自己融着テープを採用し、締付けホースバンドを削除する方法へ変更。 締付けホースバンドを多重化して漏洩の低減を図る。
		(6)内管切断	<ul style="list-style-type: none"> ローラカッターで押切り切断できること及び切り屑等が内管内部に侵入しないことを確認。 	
		(7)内管閉止板（閉止キャップ）	<ul style="list-style-type: none"> 内管仮閉止板（閉止キャップ）の取付けには約 50mm のギャップが必要である。また、シールバッグ内で閉止キャップの取付けが問題なく行えることを確認。 	
		(8)ナトリウム除去・洗浄	<ul style="list-style-type: none"> 作業スペースが小さく作業性が悪い。（ヘキサブレグ、閉止キャップ、落下防止治具、Na 収納缶、回収/洗浄治具等） 落下防止治具の取付け、取外し作業性を確認。 ヘキサブレグ及び脱落防止治具の取付け作業性に問題ないことを確認。 	<ul style="list-style-type: none"> ナトリウム除去/洗浄用シールバッグのサイズを拡張し、作業性の改善を図る。
		(9)開先加工	<ul style="list-style-type: none"> 開先加工機（切断機）の芯出し調整に問題ないことを確認。 開先加工時にビリ等の発生はなく加工性に問題ないことを確認。 外管開先加工時の異物混入防止養生（シート養生）が問題なく行えることを確認。 	

表 4.4-1 (2/3) 要素試験体によるモックアップ試験結果

	モックアップ試験体	試験項目	試験結果（成果及び課題）	改善／処置
③ 1次主冷却系配管 出口ノズル部（垂直部）	(1)外管周方向切断	・必要工具のリストアップ。 ・2分割拘束リングの取付け性に問題ないことを確認。 ・拘束リングにより配管の歪変形を修正できることを確認。 また、切断機芯出しの微調整方法を確認。 ・切断機を移動することなく、バイト刃物台の交換で外管周方向 2箇所の切断が出来ることを確認。		
		・ニプラ切断機により外管長手方向切断が可能であることを確認。		
		・4分割閉止治具の取付け作業性に問題ないことを確認。 ・閉止治具取付け前にバリ等の除去が必要となる。		
		・内管芯出しギャップを 2mm 以内にすれば追込み切削上問題ないことを確認。		
		・取付け部からの漏洩が多く、取付け方法の改善が必要。		・配管取付け部には自己融着テープを採用し、締付けホースバンドを刷染させる方法へ変更。 ・締付けホースバンドを多重化して漏洩の低減を図る。
		・バイト切断時にビビリ等の事象がないことを確認。 ・切断時に多量の切り屑が発生するが、切断作業及びシールバッグの破損等への影響はないことを確認。		・シールバッグ内の切り屑養生を行う。 ・切断バイト部の切り屑はある程度の大きさで適宜ベンチ等で除去する。
		・内管仮閉止板（閉止キャップ）の取付けには約 50mm のギャップが必要である。また、シールバッグ内で閉止キャップの取付けが問題なく行えることを確認。		
		・掃除機等により排気側を吸引することにより、置換効率を上げられることを確認。		
	(8)エア置換、シールバッグ取外し			
④ 1次主冷却系配管 出口配管（水平部）	(1)外管周方向切断	・必要工具のリストアップ ・切断機ベースの取付けに問題のないことを確認。 ・切断機の芯出し調整が問題なく行えることを確認。 ・切断機を移動することなく、バイト刃物台の交換で外管周方向 2箇所の切断が出来ることを確認。		
		・ニプラ切断機により外管長手方向切断が可能であることを確認。		
		・4分割閉止治具の取付け作業性に問題ないことを確認。 ・閉止治具取付け前にバリ等の除去が必要となる。		
		・内管追込み切削の作業性に問題ないことを確認。		
		・取付け部からの漏洩が多く、取付け方法の改善が必要。		・配管取付け部には自己融着テープを採用し、締付けホースバンドを密着させる方法へ変更。 ・締付けホースバンドを多重化して漏洩の低減を図る。
		・バイト切断時にビビリ等の事象がないことを確認。 ・切断時に多量の切り屑が発生するが、切断作業及びシールバッグの破損等への影響はないことを確認。		・シールバッグ内の切り屑養生を行う。 ・切断バイト部の切り屑はある程度の大きさで適宜ベンチ等で除去する。
		・内管仮閉止板（閉止キャップ）の取付けには約 50mm のギャップが必要である。また、シールバッグ内で閉止キャップの取付けが問題なく行えることを確認。		
		・作業スペースが小さく作業性が悪い。 ・ヘキサブレグ及び脱落防止治具の取付け作業性に問題ないことを確認。		・ナトリウム除去/洗浄用シールバッグのサイズを拡張し、作業性の改善を図る。
	(8)ナトリウム除去/洗浄	・拘束リング、開先加工機（切断機）の芯出し調整に問題ないことを確認。		
		・開先加工時にビビリ等の不具合がないことを確認。 ・外管開先加工時の異物混入防止養生が問題なく行え、グラインダで開先加工が行えることを確認。		
	(9)開先加工			

表 4.4-1 (3/3) 要素試験体によるモックアップ試験結果

	モックアップ試験体	試験項目	試験結果（成果及び課題）	改善／処置
配管溶接	② 1次主冷却系配管（内管） 出口配管（水平部） 入口配管（垂直部） ④ 2次主冷却系配管 (STPA24材配管)	(1)溶接前準備	・必要工具のリストアップ ・溶接用シールバッグの取付け作業性に問題ないことを確認。	
		(2)開先合せ	・FU治具を用いて開先合せ及びスペーサーブロックの取付け作業が問題なく行えることを確認。	・スペーサーブロックの仮付け溶着量は必要最小限とし、ハンマ及びベンチ等で取外しできるようにする。
			・溶接作業時の微圧保持（約 100~200Pa）が出来ることを確認。 ・差圧を約 100Pa 以下に保持することで溶接欠陥がないことを確認。	
		(3)初層溶接	・初層溶接時の配管表面温度を測定し、シールバッグ取付け部及びナトリウムの溶融へ影響ないことを確認。 (開先中心から 200mm : 約 53.4°C、350mm : 約 36.2°C) ・シールバッグ内の溶接作業性に問題ないことを確認。 ・溶接棒を短くする必要があることから、溶接ビードの継手が増えるが、RT の結果特に問題ないことを確認。	
		(4)残層溶接	・溶接作業性及び溶接結果に問題ないことを確認。 (シールバッグ取外し後の作業であり、特に問題なし。)	
		(1)溶接前準備	・必要工具のリストアップ ・予熱用バンドヒータの取付け作業性に問題ないことを確認。	
		(2)予熱、シールバッグ取付け	・予熱温度開先部約 100°C の時、シールバッグ取付け部の配管温度は約 50°C であり、シールバッグの溶融、シール性等に問題ないことを確認。 ・予熱温度開先部約 100°C、1.5hr 保持時の配管表面温度を測定し問題ないことを確認。 (開先中心から 200mm : 約 63.5°C、350mm : 約 45.4°C)	
		(3)開先合せ	・FU治具を用いて開先合せ及びスペーサーブロックの取付け作業が問題なく行えることを確認。	・スペーサーブロックの仮付け溶着量は必要最小限とし、ハンマ及びベンチ等で取外しできるようにする。
			・溶接作業時の微圧保持（約 100~200Pa）が出来ることを確認。 (開先ギャップ 3.5±0.5mm であるがシールバッグの吸排気調整により微圧保持が問題なく出来ることを確認。)	・溶接時の圧力管理値を約 100Pa にする。
		(4)初層溶接	・初層溶接時の配管表面温度を測定し、シールバッグ取付け部及びナトリウムの溶融へ影響ないことを確認。 (開先中心から 200mm : 約 88.2°C、350mm : 約 68.3°C) ・溶接棒を短くする必要があることから、溶接ビードの継手が増えるが、RT 検査の結果特に問題ないことを確認。	
		(5)残層溶接	・溶接作業性及び溶接結果に問題ないことを確認。 (シールバッグ取外し後の作業であり、特に問題なし。)	

表4.4-2 (1/2) フルモックアップ試験体によるモックアップ試験結果

モックアップ 試験体	試験項目	試験内容(確認事項)	試験結果		改善/処置	備考
			(成果及び課題)	(作業時間)		
① 1次主冷却系配管 入口ノズル部 (テーパ部)	(1) 外管周方向切断	◇ 切断機ベースの設定 ◇ 切断機の設置 ◇ 外管切断(2箇所)	サイズが大きく重量物のため時間を要す。 トレーニングにより作業時間短縮。	8.0 11.5→10	・重量物の吊搬作業のため、現地天井部へ吊り支点用の梁を設置する。 ・切り残しを考慮して必要工具を追加する。	
	(2) 外管長手方向切断	◇ グラインダ切削(2箇所)	一部切り残しが出る為、タガネ等で切断。	5.0		
	(3) 外管閉止治具取付け	◇ 外管閉止治具取付け、溶接作業性確認	要素試験通り特に問題なし。	1.5		
	(4) 内管周方向切断	◇ 切断機の出し出し ◇ 内管(パイト)追込み切削 ◇ シールバッグ取付け、シール性確認 ◇ アルゴンガス置换	トレーニングにより作業時間短縮。 要素試験通り特に問題なし。 要素試験通り特に問題なし。 1000ppm以下まで約7h。	7.0→6.0 5.0 7.5 7.0	・シールバッグ上部に操作用手袋の追加。 ・シールバッグ固定方法の変更によりシール性改善。 ・配管切断時に倒れ込みを防止するため、吊ビースを溶接し牽引固定する。	
	(5) 内管仮閉止治具取付け	◇ ノズル部及び撤去配管側への仮閉止板取付け ◇ エア置換、シールバッグ取外し、工具撤去等	配管を牽引することで倒れ込みを防止できることを確認。 要素試験通り特に問題なし。	3.0 3.0→2.0	・開口部形状に柔軟に対応できるよう、ブリキ板等の加工性の良い閉止治具も準備する。	
	(6) 開先加工	◇ 捕束リング・切断機設定 ◇ 捕束リング・切断機移動設定 ◇ 捕束リング・切断機取外し	トレーニングにより作業時間短縮。 要素試験通り特に問題なし。	6.5→6.0 2.0	・作業床と切断機の干渉を回避するため、周方向切断箇所の間隔を600mmから300mmへ変更。	
	(7) 閉止治具取付け	◇ 外管長手方向切断 ◇ 外管閉止治具取付け ◇ 内管切断	トレーニングにより作業時間短縮。 要素試験通り特に問題なし。 要素試験通り特に問題なし。	3.5→3.0 2.0 4.0→3.5	・作業エリアが天井刈りに近接していることから、天井刈り上より吊り支点を確保するよう計画。	
	(8) 開先加工	◇ 捕束リング・切断機設定 ◇ バイト追込み切削(刃物台交換含む) ◇ シールバッグ取付け、シール性確認 ◇ アルゴンガス置换	トレーニングにより作業時間短縮。 要素試験通り特に問題なし。 要素試験通り特に問題なし。 要素試験通り特に問題なし。	6.0 2	・シールバッグ固定方法の変更によりシール性改善。 ・排気を促進することにより置換効率を上げる。	
	(9) 内管仮閉止治具取付け 及び固定治具取付け	◇ 内管(ローラカッタ押切り) ◇ シールバッグ内での閉止キャップ取付け ◇ エア置換、シールバッグ取外し、工具撤去等	要素試験通り特に問題なし。 要素試験通り特に問題なし。 トレーニングにより作業時間短縮。	1.0 0.5 3.0→2.5		
	(10) Na除去及び 閉止プラグ取付け	◇ Na除去用シールバッグ取付け ◇ アルゴンガス置换 ◇ 閉止キャップ取外し、落下防止治具取付け ◇ Na除去・洗浄作業性確認 ◇ 閉止プラグ(ヘキサプラグ)取付け	要素試験通り特に問題なし。 要素試験通り特に問題なし。 要素試験通り特に問題なし。 シールバッグの改良により作業性改善。 トレーニングにより作業時間短縮。	2.5 0.5 2.0 1.0→0.5		
② 1次主冷却系配管 入口配管(垂直部)	(1) 外管周方向切断	◇ 捕束リング・切断機設定 ◇ 捕束リング・切断機移動設定 ◇ 捕束リング(2) (バイト追込み切削、ローラカッタ押切り)	要素試験通り特に問題なし。	6.5→6.0	・作業床と切断機の干渉を回避するため、周方向切断箇所の間隔を600mmから300mmへ変更。	
	(2) 外管長手方向切断	◇ 捕束リング・切断機取外し	要素試験通り特に問題なし。	2.0	・作業エリアが天井刈りに近接していることから、天井刈り上より吊り支点を確保するよう計画。	
	(3) 外管閉止治具取付け	◇ 真物混入防止養生、ニプラ切断(2箇所)	要素試験通り特に問題なし。	1.25		
	(4) 内管切断	◇ 外管の仮閉止治具、本閉止治具取付け	要素試験通り特に問題なし。	2.0→1.5	・閉止治具の挿入テーパ角度を付け挿入しやすい構造へ変更。	
	(5) 内管仮閉止治具取付け	◇ 捕束リング・切断機設定 ◇ バイト追込み切削(刃物台交換含む) ◇ シールバッグ取付け、シール性確認 ◇ アルゴンガス置换	要素試験通り特に問題なし。 要素試験通り特に問題なし。 要素試験通り特に問題なし。	4→3.5 2.5 6.0 2	・シールバッグ固定方法の変更によりシール性改善。 ・排気を促進することにより置換効率を上げる。	
	(6) Na除去及び 閉止治具取付け	◇ 内管(ローラカッタ押切り) ◇ シールバッグ内での閉止キャップ取付け ◇ エア置換、シールバッグ取外し、工具撤去等	要素試験通り特に問題なし。 要素試験通り特に問題なし。 トレーニングにより作業時間短縮。	1.0 0.5 3.0→2.5		
	(7) Na除去及び 閉止治具取付け	◇ Na除去用シールバッグ取付け ◇ アルゴンガス置换 ◇ 閉止キャップ取外し、落下防止治具取付け ◇ Na除去・洗浄作業性確認 ◇ 閉止プラグ(ヘキサプラグ)取付け	要素試験通り特に問題なし。 要素試験通り特に問題なし。 シールバッグの改良により作業性改善。 トレーニングにより作業時間短縮。	2.5 0.5 2.0 1.0→0.5		
	(8) 開先加工	◇ 捕束リング・開先加工機(切断機)設定	要素試験通り特に問題なし。	2.0→1.5		
	(9) 内管開先加工	◇ 内管開先加工 ◇ 外管奥物混入防止養生	要素試験通り特に問題なし。	1.0		
	(10) 外管開先加工	◇ 外管開先加工	要素試験通り特に問題なし。	5.0		
③ 1次主冷却系配管 出口ノズル部 (垂直部)	(1) 外管周方向切断	◇ 捕束リング・切断機設定 ◇ 外管切削(1)(バイト切削)	トレーニングにより作業時間短縮。 要素試験通り特に問題なし。	6.5→6.0 1.5		
	(2) 外管長手方向切断	◇ バイト刃物交換、切断機芯出し再調整 ◇ 外管切削(2)(バイト切削)	要素試験通り特に問題なし。	2.0		
	(3) 外管閉止治具取付け	◇ 真物混入防止養生、ニプラ切断(2箇所)	要素試験通り特に問題なし。	1.5		
	(4) 内管切断	◇ 捕束リング・切断機設定 ◇ バイト追込み切削	要素試験通り特に問題なし。 要素試験通り特に問題なし。	1.5→1.0 2.5	・閉止治具の挿入テーパ角度を付け挿入しやすい構造へ変更。 ・テーパ部へゴムリングバットを接着固定してシールバッグ取付け。	
	(5) 内管仮閉止治具取付け	◇ シールバッグ取付け、シール性確認 ◇ アルゴンガス置换	要素試験通り特に問題なし。 要素試験通り特に問題なし。	7.5 2.0	・シールバッグ固定方法の変更によりシール性改善。 (0.2kPa時漏洩量約8L/min)	
	(6) 仮閉止治具取付け	◇ ノズル部及び撤去配管への閉止キャップ取付け ◇ エア置換、シールバッグ取外し、工具撤去等	要素試験通り特に問題なし。 要素試験通り特に問題なし。	1.0 4.0		
	(7) 開先加工	◇ 切断機ベースの設定 ◇ 切断機の設置	要素ベースがベース設定に時間を要す。	7.5	・切断機ベースへのシールバッグ固定方法を長円形ツバ部へのホースバンド固定からゴムパッキンによるリングフランジボルト締めへ変更。	
	(8) 外管周方向切断	◇ 外管切削(2箇所)	トレーニングにより作業時間短縮。	8.5→8.0		
	(9) 外管長手方向切断	◇ 真物混入防止養生、ニプラ切断(2箇所)	要素試験通り特に問題なし。	3.0		
	(10) 外管閉止治具取付け	◇ 外管の仮閉止治具、本閉止治具取付け	要素試験通り特に問題なし。	1.25		
④ 1次主冷却系配管 出口配管(水平部)	(1) 外管周方向切断	◇ 切断機ベースの設定 ◇ 切断機の設置	要素ベースがベース設定に時間を要す。	8.5→8.0	・切断機ベースへのシールバッグ固定方法を長円形ツバ部へのホースバンド固定からゴムパッキンによるリングフランジボルト締めへ変更。	
	(2) 外管長手方向切断	◇ 外管切削(2箇所)	要素試験通り特に問題なし。	3.0		
	(3) 外管閉止治具取付け	◇ 真物混入防止養生、ニプラ切断(2箇所)	要素試験通り特に問題なし。	1.25		
	(4) 配管切断	◇ 内管(バイト)追込み切削	要素試験通り特に問題なし。	2.5→2.0	・閉止治具の挿入テーパ角度を付け挿入しやすい構造へ変更。	
	(5) 仮閉止治具取付け	◇ シールバッグ内での閉止キャップ取付け ◇ エア置換、シールバッグ取外し、工具撤去等	要素試験通り特に問題なし。	0.5		
	(6) Na除去及び 閉止治具取付け	◇ シールバッグ手直し、固定治具取付け ◇ Na除去用シールバッグ取付け ◇ アルゴンガス置换	要素試験通り特に問題なし。 要素試験通り特に問題なし。 シールバッグの改良により作業性改善。	3.5→8.0 2.0 2.0	・シールバッグ固定方法の変更によりシール性改善。 (0.2kPa時漏洩量約13L/min→低減)	
	(7) 開先加工	◇ 捕束リング・開先加工機(切断機)設定 ◇ 内管開先加工 ◇ 外管奥物混入防止養生	要素試験通り特に問題なし。	1.0	・切断時の配管牽引方法決定。	
	(8) 外管開先加工	◇ 外管開先加工	要素試験通り特に問題なし。	5.0		
	(9) 内管開先加工	◇ 内管開先加工	要素試験通り特に問題なし。	1.0		
	(10) 外管開先加工	◇ 外管開先加工	要素試験通り特に問題なし。	5.0		

表4.4-2 (2/2) フルモックアップ試験体によるモックアップ試験結果

モックアップ試験体	試験項目	試験内容(確認事項)	試験結果(成果及び課題)	改善/処置	備考
① 次主冷却系配管 入口ノズル部 (テーパ部)	(1)内管FU (入口ノズル接続体)	◇溶接用シールバッグ取付け、シール性確認	切断作業と同様にベースプレートにシールバッグを固定する計画であったが、取付け作業に時間を要することからシールバッグの固定方法を変更する必要あり。 1000ppm以下まで約4h。	・IHX側リーコジャケットノズル部にシールバッグを固定する方法へ変更。また、変更した取付け方法でシール性に問題ないことを確認。	
		◇アルゴンガス置换			
		◇ヘキサプラグ取外し	大口径ヘキサプラグをシールバッグ内に取り外し、シールバッグポケットへ収納できることを確認。	・均圧保持により急激な圧力変化はないが、圧力上昇の対策として排気ホースの大口径化(1・1/4B)を図る。	
		◇配管FU(開先合せ、スペーサーブロック取付け)	開先合せ、スペーサーブロックの点付け溶接作業が特に問題ないことを確認。	・スペーサーブロックの取付けピッチを約200mmとする。(約12個) ・点付け溶接はスパナ等で容易に取外せる様溶着量を最小限にする。	
	(2)内管初層溶接	◇初層溶接	溶接作業時にヘキサプラグの収納ポケットが溶接作業と干渉するため、収納ポケットを切り離す手順を変更する。	・開先合せ検査後、開先内側付近接縫(ナメ付)へ開先部テープ巻き後、ヘキサプラグ収納ポケットの切断を行い、再度Arガス置换して溶接作業を行う手順へ変更。 ・溶接作業ベースを確保するため、FU治具が容易に退避できる構造へ変更(爪クランプ構造、ボルト締付構造等)。	
		◇エア置换、シールバッグ取外し、工具撤去等	作業性が特に問題ないことを確認。		
		◇PT検査	初層溶接が良好であることを確認。		
	(3)内管残層溶接	◇残層溶接	溶接作業性に問題ないことを確認。		
		◇PT検査、RT検査	溶接結果が良好であることを確認。		
		◇外管長手FU	上下外管を独立に吊り、開先合せ前の外管設定が問題なく行えることを確認。	・半割れテーパ管のねじれ修正は、周開先部にてじり治具を取り付け、レバーブロックにより修正する。	
	(4)外管長手FU	◇半割れ外管の設定	拘束リング締付け開端時にテーパによるすべりが生じ、配管の拘束ができないかった。	・ノズル部水平管部へ固定リングを取り付け、4本の支持脚でテーパ部の拘束リングを支持する構造へ変更した。	
		◇拘束リング取付け	開先合せ、スペーサーブロックの点付け溶接作業が特に問題ないことを確認。	・周方向維手を仮合わせし、長手方向溶接→周方向溶接の手順で溶接を行う。	
		◇外管長手方向FU(開先合せ、スペーサーブロック取付け)		・周方向維手は仮合わせ後、IHXノズル部から約30mmのギャップをあけて固定ブロックにより固定する。 ・長手維手部(大径部)端部に溶接収縮防止用拘束ブリッジを取り付ける。 ・長手方向開先端部より約40mmをナメ付溶接し、次に端部より約30mmを初層溶接、端部より約20mmを1/2層溶接する。 ・上記(4)同様。	
	(5)外管初層溶接	◇長手初層溶接	・溶接收縮による変形を防止する作業手順と方法を決定。 ・裏波の形成に一部不良が確認されたことから、開先形状を変更する。	・スペーサーブロックの取付けピッチを約200mmとする。(約12個) ・点付け溶接はスパナ等で容易に取外せるよう溶着量を最小限にする。	
		◇外管周方向FU	作業性が特に問題ないことを確認。	・周縦手部のアルミテープ及びスペーサーブロックを取り外しながら周方向のナメ付溶接を行う。	
		◇外管周方向FU(開先合せ、スペーサーブロック取付け)	開先合せ、スペーサーブロックの点付け溶接作業が特に問題ないことを確認。	・長手維手部の細径側約10mmを残してナメ付溶接を行う。	
	(7)外管周/長手溶接 (ナメ付溶接~1/2層溶接)	◇外管周方向ナメ付溶接	溶接作業性に問題ないことを確認。	・長手維手部の細径側約10mmのナメ付溶接後、長手方向の1/2層溶接を行う。	
		◇外管長手方向ナメ付溶接	溶接作業性に問題ないことを確認。		
		◇外管周方向1/2層溶接	溶接作業性に問題ないことを確認。		
		◇外管長手方向1/2層溶接	溶接作業性に問題ないことを確認。		
	(8)外管周/長手溶接 (残層溶接)	◇PT検査	初層、1/2層溶接が良好であることを確認。		
		◇外管周方向残層溶接、PT検査	残層溶接作業性及び溶接結果が良好であることを確認。		
		◇外管長手方向残層溶接、PT検査	残層溶接作業性及び溶接結果が良好であることを確認。	・長手維手部(細径側)へ変形防止治具を取付けて長手方向の残層溶接を行う。	
② 入口配管 (水平/垂直部) ③ 出口ノズル部 (垂直部) ④ 出口配管 (水平部)	(1)内管FU (入口ノズル接続体)	◇溶接用シールバッグ取付け、シール性確認	要素試験通り特に問題なし。	・シールバッグ固定方法の変更によりシール性改善。 (0.1~0.2kPa時漏洩量約12L/minへ減低)	
		◇アルゴンガス置换	1000ppm以下まで約2h。		
		◇ヘキサプラグ取外し	均圧保持により急激なシールバッグの膨張、収縮がないことを確認。	・急激な圧力上昇の対策として、排気ホースの大口径化(1・1/4B)を図る。	
		◇配管FU(開先合せ、スペーサーブロック取付け)	開先合せ、スペーサーブロックの点付け溶接作業が特に問題ないことを確認。	・スペーサーブロックの取付けピッチを約200mmとする。(約8個) ・点付け溶接はスパナ等で容易に取外せる様溶着量を最小限にする。	
	(2)内管初層溶接	◇初層溶接	要素試験通り特に問題なし。	・溶接棒は予め300mmの長さに切断。	
		◇エア置换、シールバッグ取外し、工具撤去等	作業性が特に問題ないことを確認。		
		◇PT検査	初層溶接が良好であることを確認。		
	(3)内管残層溶接	◇残層溶接	要素試験通り特に問題なし。		
		◇PT検査、RT検査	溶接結果が良好であることを確認。 (溶融金属の噴出し等の溶接不良なし。)		
		◇外管FU	・外管閉止治具の取外し ・拘束リング取付け	・半割れ外管は軽量であるが、ハンドリング用の仮吊り治具を取付ける。 ・周方向維手を仮合わせ固定し、長手方向溶接→周方向溶接の手順で行う。	
	(5)外管初層溶接	◇外管長手方向FU(開先合せ、スペーサーブロック取付け)	開先合せ、スペーサーブロックの点付け溶接作業が特に問題ないことを確認。		
		◇長手初層溶接	・裏波の形成に一部不良が確認されたことから、開先形状を変更する。 ・専用のArガスバックバージ治具作業性及び初層溶接作業性に問題ないことを確認。	・外管(3t)は開先角度大、ルートギャップ小の開先形状へ変更。 ・溶接收縮を防止するため、長手開先端部10mmを残してナメ付け溶接し、次に両先端部50mm残して1/2層溶接する。 ・両端部の溶接は耳板(溶接スタート板)及び変形防止治具を取付けて、専用のバンクバージ治具でArガスを供給し、両先端部10mmのナメ付け、両先端部50mmの1/2層溶接の順に実施する。 ・半割れ外管をすらして専用Arガスバックバージ治具を挿入する必要があることから、治具厚さを薄くするよう改良。(H25→H15mm)	
		◇PT検査	初層溶接が良好であることを確認。		
		◇長手残層溶接、PT検査	残層溶接作業性及び溶接結果が良好であることを確認。		
		◇拘束リング取付け	作業性に問題ないことを確認。		
		◇外管周方向FU(開先合せ、スペーサーブロック取付け)	開先合せ、スペーサーブロックの点付け溶接作業性が特に問題ないことを確認。	・スペーサーブロックの取付けピッチを約200mmとする。(約8個) ・周方向FU完了後、開先部をアルミテープで巻きし、Arガスバージを行う。	
		◇周方向初層溶接、PT検査	初層溶接作業性及び溶接結果が良好であることを確認。	・周方向開先部のナメ付け溶接を行い、次に1/2層溶接を2箇所交互(変形防止のため)に行う。	
		◇周方向残層溶接、PT検査	残層溶接作業性及び溶接結果が良好であることを確認。		

モックアップ試験後、内管及び外管溶接部の切出を行い、溶接裏波形状、融け不良の有無等の確認。RT検査を実施し、溶接部が健全であることを確認。

モックアップ試験後、内管及び外管溶接部の切出を行い、溶接裏波形状、融け不良の有無等の確認。RT検査を実施し、溶接部が健全であることを確認。

表 4.4-3 作業時間の比較

	初期 (h)	最終 (h)	低減率
入口ノズル部	137	126	0.92
入口配管（垂直部）	112.5	104.5	0.93
出口ノズル部	77	73	0.95
出口配管（水平部）	113.5	107.5	0.95
合 計	440	411	0.93

表 4.4-4 開先形状の変更前後

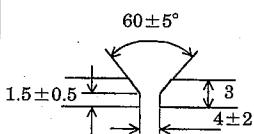
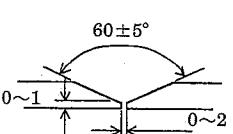
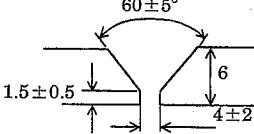
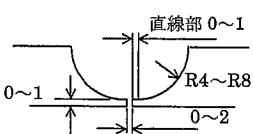
	変更前	変更後
外管 板厚 3mm (全箇所対象)	 <p>開先角度小, ルートキャップ大のため裏波がうまく形成されない</p>	 <p>裏波状態良好</p>
外管 板厚 6mm (全箇所対象)	 <p>開先角度小, ルートキャップ大のため裏波がうまく形成されない</p>	 <p>直線部 0~1 R4~R8 0~2 裏波状態良好</p>

表5.2-1 機械設備の干渉物一覧

分類		干渉物	数量	取扱い	備考
配管	1	1次Arガス系主循環ポンプ軸封配管(A)	1	撤去・復旧	設工認対象
	2	オランジ線モク設備配管	3	撤去・復旧	
	3	コンクリート遮蔽一体冷却系配管	4	撤去・復旧	一部先行工事で実施
	4	炉容器ベーハトツガ冷却窒素ガス配管	1	撤去・復旧	
	5	格内床下酸素濃度検出装置配管	1	撤去・復旧	
				10	
ダクト	1	主IHX(B)上部遮蔽体上のダクト	1	撤去・復旧	
	2	R-302室入口/7F上部ダクト他	2	撤去・復旧	
	3	R-206室(R-302室口周り)ダクト	3	撤去・復旧	
	4	R-204室主IHX(B)及び入口配管廻りダクト	2	撤去・復旧	
	5	R-305室～R-203室間ルーバー	1	撤去・復旧	
				9	
サポート	1	1次主冷却系入口配管	(A) 4 (B) 3	撤去・復旧 撤去・復旧	
	2	1次主冷却系出口配管	(A) 4 (B) 4	撤去・復旧 撤去・復旧	
	3	1次Arガス系配管	(A) 5 (B) 2	撤去・復旧 撤去・復旧	
	4	1次Na納化系配管(A)	3	撤去	配管端部をアカに変更
	5	1次Naオホーフ系配管(B)	1	撤去・復旧	
	6	1次Na充填ドレン系配管	(A) 1 (B) 3	撤去・復旧 撤去・復旧	
	7	2次主冷却系入口配管	(A) 5 (B) 5	撤去・復旧 撤去・復旧	
	8	2次主冷却系出口配管	(A) 6 (B) 6	撤去・復旧 撤去・復旧	一部のサボート移設
	9	2次Na充填ドレン系配管	(A) 5 (B) 5	撤去・復旧 撤去・復旧	
	10	コンクリート遮蔽体冷却系配管	8	撤去・復旧	一部先行工事で実施
	11	安全呼吸器系配管	1	撤去・復旧	
	12	1次Arガス系主循環ポンプ軸封配管(A)	3	撤去・復旧	
	13	オランジ線モク設備配管	22	撤去・復旧	
	14	容器ベーハトツガ冷却窒素ガス配管	1	撤去・復旧	
	15	格内床下酸素濃度検出装置配管	1	撤去・復旧	
	16		98		
	17	サポート用架橋			
	18	R-201, 204, 206, 302, 305, 402, 408	1式	撤去・復旧	
	19	操作台架用架橋(R-201, 204, 206)	1式	撤去・復旧	
	20	干渉ライング(B)	1式	撤去・復旧	
	21	主IHX上部遮蔽体(天井)据付用架構	(A) 1式 (B) 1式	追設 追設	ハッチは再使用
	22		5式		
保温材	1	入口/出口部(A)と1次Arガス系配管保温材	1式	改造	
	2	主IHX(A)に近接する安全容器呼吸器系配管の保温材	1式	改造	
	3	主IHX(B)低部の予熱窒素ガス系配管の保温材	1式	改造	先行工事で実施
	4	1次Na充填ドレン系配管(A)の保温材	1式	撤去・復旧	
				4式	
その他	1	主IHX(B)基礎ボルトキャップ	32	撤去・復旧	新キャップへ交換
	2	タラップハッチ	1式	改造	ハッチ切欠き部の改造
	3	主IHX(B)振れ止め(床刈り内)	1式	撤去	
	4	主IHX(B)保溫止め(床及び天井刈り内)	2式	撤去	
	5	主IHX(B)刈りのNa堰	1式	撤去	
	6	照明(蛍光灯) R-302, 305, 402, 404	4	撤去・復旧	

表5.2-2 電気・計装設備の干渉物一覧

	分類	干渉物	数量		取扱い	備考
			(I)	(II)		
1 2 3 4 5 6	変位計	1次主冷却系入口配管	(A) 2 (B) 2	2 2	撤去・復旧 撤去・復旧	
		1次主冷却系出口配管	(A) 3 (B) 3	3 3	撤去・復旧 撤去・復旧	
		2次主冷却系出入口配管	(A) 2 (B) 15	2 7	撤去・復旧 撤去・復旧	内8本はワイヤ式を撤去
				27	19	
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	漏洩検出器	主中間熱交換器	(A) 4 (B) 4	4 4	撤去・交換 撤去・交換	
		1次主冷却系出口配管	(A) 1 (B) 1	1 1	撤去・交換 撤去・交換	
		2次主冷却系入口配管	(A) 2 (B) 1	2 1	撤去・交換 撤去・交換	
		2次主冷却系出口配管	(A) 5 (B) 2	5 2	撤去・交換/取外・復旧 撤去・交換/取外・復旧	(4)/(1) (1)/(1)
		2次Na充填ドレン系配管(止弁用含む)	(A) 1 (B) 2	1 2	取外・復旧 取外・復旧	
				23	23	
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18	予熱ヒータ	主IHX 2次系入口配管部	(A) 8 (B) 8	4 6	撤去・交換 撤去・交換	新規4本取付け 新規5本取付け
		主IHX 2次系出口配管部	(A) 16	4	撤去・交換	新規4本取付け (他の配管が無くなる為撤去)
			(B) 8	6	撤去・交換	新規6本取付け
		主IHX上部鏡部	(A) 4 (B) 4	4 4	撤去・交換 撤去・交換	新規ヒータに交換 新規ヒータに交換
		1次Arガス系配管	(A) 16 (B) 4	20 4	撤去・交換/取外・復旧 撤去・交換	(4~8)/(12) 新規ヒータに交換
		1次Na純化系配管(A)	(A) 4	2	撤去・取外・復旧	(2)/(2)
		1次オガ70-系配管(B)	(B) 2	2	取外・復旧	
		1次Na充填ドレン系配管	(A) 10	10	取外・復旧	
			(B) 14	14	取外・復旧	
		2次主冷却系入口配管	(A) 12 (B) 12	12 12	撤去・交換/取外・復旧	(4)/(8)
			(B) 16	16	撤去・交換/取外・復旧	(4)/(8~12)
		2次主冷却系出口配管	(A) 20 (B) 12	16 16	撤去・交換/取外・復旧	(12~8)/(3)
		2次Na充填ドレン系配管	(A) 12 (B) 10	12 10	撤去・交換/取外・復旧 撤去・交換/取外・復旧	(6)/(6) (6)/(4)
				176	162	
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15	温度計	主中間熱交換器	(A) 8 (B) 6	17 17	撤去・交換/追加 撤去・交換/追加	(8)/(9) (6)/(11)
		1次アルゴンガス系配管(A)	(A) 2	2	取外・復旧	
		1次Na純化系配管(A)	(A) 1	1	撤去	配管撤去
		1次Na充填ドレン系配管	(A) 3 (B) 1	3 1	取外・復旧 取外・復旧	
		予熱室素ガス系配管	(A) 1 (B) 1	1 1	取外・復旧 取外・復旧	
		2次主冷却系入口配管	(A) 4 (B) 5	4 5	撤去・交換/取外・復旧 撤去・交換/取外・復旧	(3)/(1) (4)/(1)
		2次主冷却系出口配管	(A) 5 (B) 3	5 3	撤去・交換/取外・復旧 撤去・交換/取外・復旧	(4)/(1) (3)/(1)
		2次Na充填ドレン系配管	(A) 5 (B) 4	5 4	撤去・交換/取外・復旧 撤去・交換/取外・復旧	(3)/(2) (3)/(1)
		2次補助冷却系配管	(A) 1	1	取外・復旧	
				50	70	
		1' mts用熱電対	2次主冷却系出入口配管	(A) 1式 (B) 1式	1式 1式	撤去・復旧 撤去・復旧
		3煙検知器	R-408室の煙検知器(B)	1	1	撤去・復旧
		4ケーブル	配管温度計、予熱温度計、漏洩検出器、電動弁駆動力／制御用他 (R-204, 305, 408)	64	64	移動・復旧
		5電線管	R-201, 204, 206, 305, 405	5	5	移動・復旧

注記: 1) 数量(I)は撤去又是一時取外し数を示す。数量(II)は復旧又は交換数を示す。

2) 備考欄の()内数字は取扱いの内訳を示す。

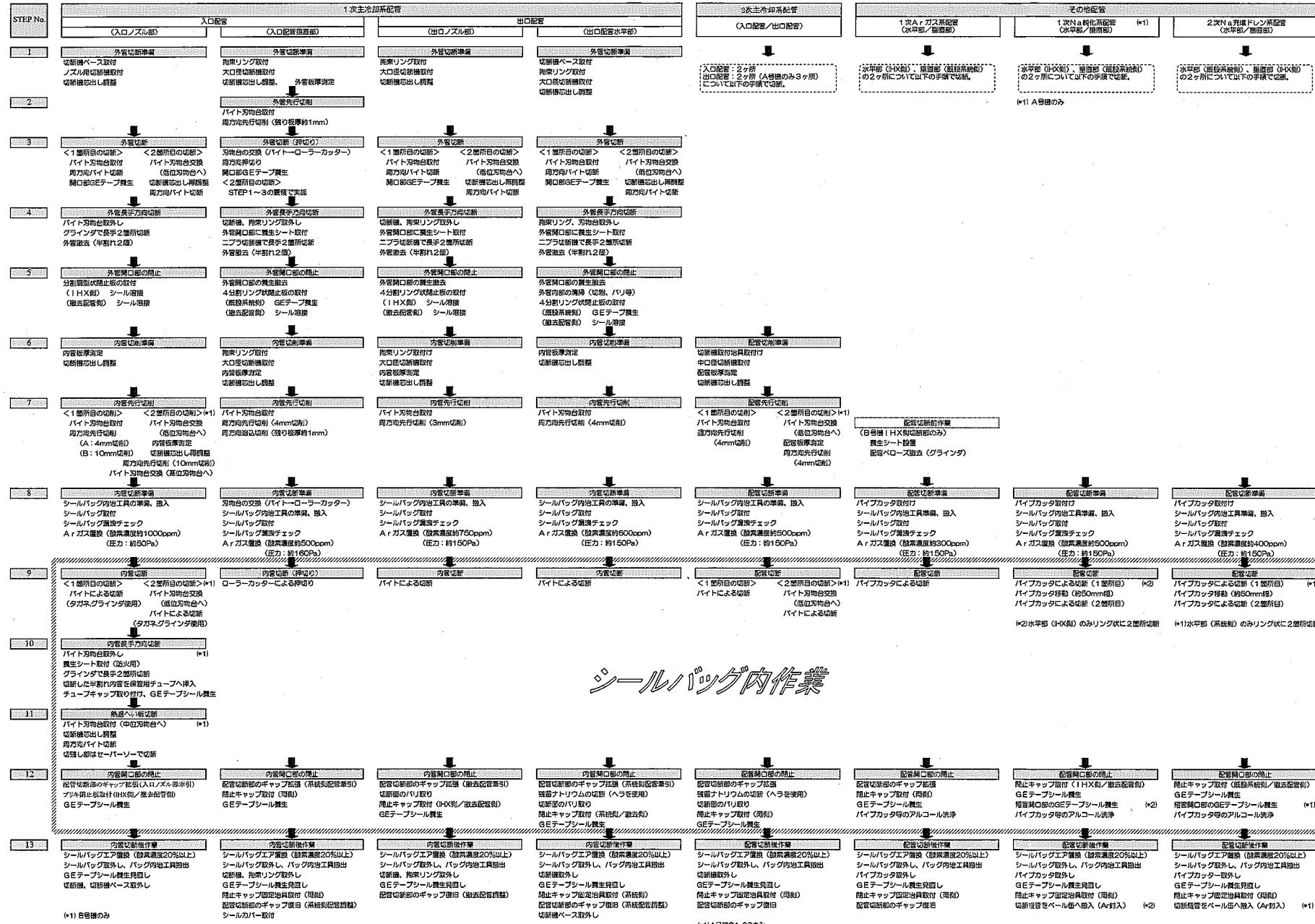
表6.1-1 配管切断箇所の配管仕様一覧

No.	系統名	切断位置			配管仕様			使用切断機	切断順序	備考
		番号	名称	区分	方向	口径	板厚	材質	素材	
[Aループ]										
1	1次主冷却系	CA-16	入口ノズル	外管	周	(約φ820)	—	6.0	—	SUS304
2		CA-17		内管	周	(約φ800)	—			
3		—			長手	[70]	—			
4		CA-01		内管	周	(約φ760)	—	9.5	—	
5		CA-18	入口配管	外管	周	φ558.8	22B	3.0	—	SUS304
6		CA-19		内管	周	φ558.8	22B			
7		—			長手	[300]	—			
8		CA-02		内管	周	φ508.0	20B	9.5	—	
9		CA-20	出口ノズル	外管	周	φ508.0	20B	3.0	—	SUS304
10		CA-21		内管	周	φ508.0	20B			
11		—			長手	[60]	—			
12		CA-03		内管	周	φ457.2	18B	7.9	sch20S	
13	1次Arガス系	CA-10	水平	—	周	φ165.2	6B	5.0	sch20S	SUS304
14		CA-11	垂直	—	周	φ165.2	6B			
15	1次Na純化系	CA-12	水平	—	周	φ60.5	2B	3.5	sch20S	SUS304
16		CA-13	垂直	—	周	φ60.5	2B			
17	2次主冷却系	CA-05	出口配管	—	周	φ267.4	10B	9.3	sch40	SUS304
18		CA-06		内管	周	φ267.4	10B			
19		CA-07			周	φ181.5	12B	10.3	sch40	STPA24
20		CA-08	入口配管	—	周	φ318.5	12B	10.8	sch40	SUS304
21		CA-09		内管	周	φ318.5	12B			STPA24
22	2次Na充填ドレン系	CA-14	垂直	—	周	φ34.0	1B	3.0	sch20S	SUS304
23		CA-15	水平	—	周	φ34.0	1B	3.4	sch40	STPA24
[Bループ]										
1	1次主冷却系	CB-16	入口ノズル	外管	周	(約φ930)	—	8.0	—	SUS304
2		CB-17		内管	周	(約φ880)	—			
3		—			長手	[90]	—			
4		CB-01		内管	周	(約φ760)	—	18.0	—	
5		CB-24			周	(約φ730)	—			
6		—			長手	[50]	—			
7		—		熱遮蔽板	(約φ680)	—	6.0	—		
8		CB-18	入口配管	外管	周	φ558.8	22B	3.0	—	SUS304
9		CB-19		内管	周	φ558.8	22B			
10		—			長手	[300]	—			
11		CB-02		内管	周	φ508.0	20B	9.5	—	
12		CB-20	出口ノズル	外管	周	φ508.0	20B	3.0	—	SUS304
13		CB-21		内管	周	φ508.0	20B			
14		—			長手	[60]	—			
15		CB-03		内管	周	φ457.2	18B	7.9	sch20S	
16		CB-22	出口配管	外管	周	φ508.0	20B	9.0	—	SUS304
17		CB-23		内管	周	φ508.0	20B			
18		—			長手	[90]	—			
19		CB-04		内管	周	φ457.2	18B	7.9	sch20S	
20	1次Arガス系	CB-10	水平	—	周	φ165.2	6B	5.0	sch20S	SUS304
21		CB-11	垂直	—	周	φ165.2	6B			
22	2次主冷却系	CB-06	出口配管	—	周	φ318.5	12B	10.3	sch40	SUS304
23		CB-07		内管	周	φ318.5	12B			STPA24
24		CB-08	入口配管	—	周	φ318.5	12B	10.3	sch40	SUS304
25		CB-09		内管	周	φ318.5	12B			STPA24
26	2次Na充填ドレン系	CB-14	垂直	—	周	φ34.0	1B	3.0	sch20S	SUS304
27		CB-15	水平	—	周	φ34.0	1B	3.4	sch40	STPA24

注記1) 口径の()はテーパ部の寸法を示す。[]は長手方向の寸法を示す。

2) 切断順序　□付番号：1次主冷却系（外管）、○付番号：1次主冷却系（内管）（1次Arガス系配管及び1次Na純化系配管含む）
◎付番号：2次主冷却系配管（2次Na充填ドレン系配管含む）

表6.1-2 配管切断フローの比較一覧



(*1)A号機CA-06のみ

表 6.1-3 シールバッグの特徴

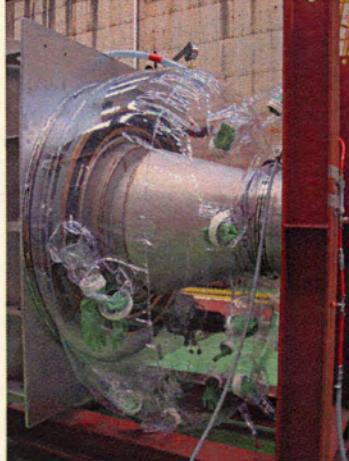
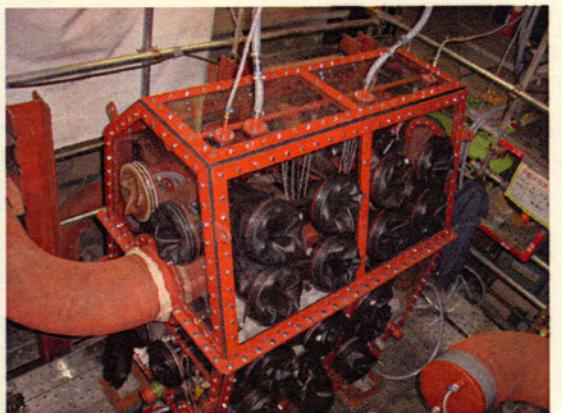
	1 次系改造工事			2 次系改造工事
	シールバッグ			キャスク (グローブ Box)
	配管切断用	N a 除去・洗浄用	配管溶接用	共 通
概 要 (特徴)	<ul style="list-style-type: none"> 透明軟質塩化ビニール製 配管又は切断機ベースへ取付ける構造 作業別に手袋の数と位置、閉止板等の収納ポケットを設置 			<ul style="list-style-type: none"> 骨組みは鋼材で側面は透明プラスチック製 配管切断～N a 除去・洗浄～ヘキサプラグ取付までの一連作業を連続実施可能。
長 所	<ul style="list-style-type: none"> 作業時の自由度が高く、作業性が良い。 狭隘部におけるシールバッグの設置及び作業が可能。 配管開口部へ正面からアクセス可能 (Na 除去・洗浄用) 			<ul style="list-style-type: none"> 複数箇所の再使用が可能。 骨組みに十分な強度があるため、配管をリング状に切断しキャスク内の吊具で受けることが可能。 キャスク内に十分なスペースがある。 構造が強固なため漏洩チェックが容易。
短 所	<ul style="list-style-type: none"> シールバッグの取付け開口部は圧着閉止するため、基本的に再使用できない。 作業用手袋の取付け部に作業時の負荷がかかるため、破損しやすい。 			<ul style="list-style-type: none"> キャスクを設置するための十分なスペースが必要。 構造が強固なため作業方向が限定される。
備 考		<ul style="list-style-type: none"> 配管端部へかぶせる構造 	<ul style="list-style-type: none"> 溶接用覗き窓を設置 	
取付状況 (写真)				

表 6.1-4 1 次主冷却系配管（外管）開口部の閉止方法

外管切断部位		閉止治具	閉止方法
1 次 主 冷 却 系 配 管	入口ノズル部	主 IHX 側 大口径分割リング状閉止板	シール溶接
		撤去配管側 大口径分割リング状閉止板	シール溶接
	入口配管垂直部	既設系統側 4 分割リング状挿入型閉止治具	GE テープ養生
		撤去配管側 4 分割リング状挿入型閉止治具	シール溶接
	出口ノズル部	主 IHX 側 4 分割リング状挿入型閉止治具	シール溶接
		撤去配管側 4 分割リング状挿入型閉止治具	シール溶接
	出口配管水平部	既設系統側 4 分割リング状挿入型閉止治具	GE テープ養生
		撤去配管側 4 分割リング状挿入型閉止治具	シール溶接

表 6.1-5 1次主冷却系配管（内管）及びその他配管開口部の閉止方法

配管切断部位		切断後の仮閉止方法		撤去（保管）用の本閉止方法	
		閉止治具	閉止方法	閉止治具	閉止方法
1次主冷却系内管	入口ノズル部	主 IHX 側	ブリキ閉止板	GE テープ養生	SUS304 製閉止板
		撤去配管側	ブリキ閉止板	GE テープ養生	SUS304 製閉止板
	入口配管垂直部	既設系統側	閉止キャップ+固定治具	GE テープ養生	—
		撤去配管側	閉止キャップ+固定治具	GE テープ養生	SUS304 製閉止板
	出口ノズル部	主 IHX 側	閉止キャップ	GE テープ養生	SUS304 製閉止板
		撤去配管側	閉止キャップ	GE テープ養生	SUS304 製閉止板
	出口配管水平部	既設系統側	閉止キャップ+固定治具	GE テープ養生	—
		撤去配管側	閉止キャップ	GE テープ養生	SUS304 製閉止板
2次主冷却系配管	入口配管	主 IHX 側	閉止キャップ+固定治具	GE テープ養生	SS400 製閉止板
		既設系統側	閉止キャップ+固定治具	GE テープ養生	—
	出口配管	主 IHX 側	閉止キャップ+固定治具	GE テープ養生	SS400 製閉止板
		既設系統側	閉止キャップ+固定治具	GE テープ養生	—
1次アルゴンガス系配管	主 IHX 側	閉止キャップ+固定治具	GE テープ養生	SUS304 製閉止板	シール溶接
	既設系統側	閉止キャップ+固定治具	GE テープ養生	—	—
1次 Na 純化系配管	主 IHX 側	閉止キャップ+固定治具	GE テープ養生	SUS304 製閉止板	シール溶接
	既設系統側	閉止キャップ+固定治具	GE テープ養生	—	—
2次 Na 充填ドレン系配管	主 IHX 側	閉止キャップ+固定治具	GE テープ養生	SUS304 製閉止板	シール溶接
	既設系統側	閉止キャップ+固定治具	GE テープ養生	—	—

表 6.1-6 1次主冷却系(内管)及びその他配管切断部のナトリウム付着状況

配管切断部位		ナトリウム付着状況		備考
1次主冷却系内管	入口ノズル部	×	A : 切断部がテーパ管であるため、残留ナトリウムは殆んどなし。 B : 切断部がテーパ管であるため、残留ナトリウムは殆んどなし。 熱遮へい板の切断部についても、残留ナトリウムは確認されなかった。	
	入口配管垂直部	×	A号機、B号機とともに切断部が垂直配管であるため、残留ナトリウムは殆んどなし。	
	出口ノズル部	×	A号機、B号機とともに切断部が垂直配管であるため、残留ナトリウムは殆んどなし。	
	出口配管水平部	○ △	A : 切断完了後、左右の配管に跨るようにナトリウムが残留。(幅約 150~200mm、厚さ約 15~20mm) B : 切断完了後、左右の配管に跨るようにナトリウムが残留。(幅約 100~150mm、厚さ約 3~5mm) A号機よりも少量。	残留ナトリウムはヘラ等を使用して切断し、撤去配管へ押し曲げ挿入した。
2次主冷却系配管	入口配管	主 IHX 側	×	A号機、B号機とともに切断部は水平配管であるが、主中間熱交換器へ繋がるエルボと近接していることから、残留ナトリウムは殆んどなし。
		既設系統側	△	A号機、B号機とともに切断完了後、左右の配管に跨るようにナトリウムが残留。(幅約 20~30mm、厚さ約 3~8mm)
	出口配管	主 IHX 側	×	A : 2箇所とも切断部が垂直配管であるため、残留ナトリウムは殆んどなし。 B : 切断部が垂直配管であるため、残留ナトリウムは殆んどなし。
		既設系統側	○ △	A : 切断完了後、左右の配管に跨るようにナトリウムが残留。(幅約 150~200mm、厚さ約 20~30mm) 残留ナトリウムが最も多かった。 B : 切断完了後、左右の配管に跨るようにナトリウムが残留。(幅約 20~30mm、厚さ約 5~10mm)
1次アルゴンガス系配管	主 IHX 側	×	A号機、B号機とともに切断部は水平配管であるが、残留ナトリウムは殆んどなし。	
	既設系統側	×	A号機、B号機とともに切断部は垂直配管であるため、残留ナトリウムは殆んどなし。B号機の配管内面に微少のナトリウムが水滴状付着。	
1次 Na 純化系配管 (A)	主 IHX 側	×	配管内面に結晶状にミストが付着。固体状の残留ナトリウムはなし。	切断開口部のギャップ拡張が困難なため、約 50mm 幅で 2箇所切断を行った。
	既設系統側	×		
2次 Na 充填ドレン系配管	主 IHX 側	×	A : 切断部が垂直配管であるため、ナトリウムの付着は殆んどなし。 ○ : 切断部は垂直配管であるが、下側配管は閉塞状態にナトリウムが残留していた。	A号機の撤去配管側に閉塞状態にナトリウムが残留。
		○		
	既設系統側	○ ◎	A : 切断完了後、配管内径の約 1/4~1/3 程度ナトリウムが残留しており、閉塞状態に近い状況。 B : 切断完了後、配管内を完全に閉塞する状態でナトリウムが残留。	切断開口部のギャップ拡張が困難なため、約 50mm 幅で 2箇所切断を行った。
		◎		

記号) ◎ : 多量の残留 Na あり ○ : 中量の残留 Na あり △ : 少量の残留 Na あり × : 残留 Na なし

表6.2-1 旧主中間熱交換器のナトリウム付着量（推定値）

機器名	外径 (mm)	内径 (mm)	内周長 (mm)	長さ (mm)	本数 (本)	内表面積		ナトリウム付着量			
						(cm ²)	合計 (m ²)	(mg/cm ²)	(g)	小計 (kg)	合計 (kg)
1次側 内面	1740.0	5466.4	4310.0	1	235600.6	0.23	54.2				
	1740.0	5466.4	250.0	1	13665.9	5.00	68.3				
	441.9	1388.3	600.0	1	8329.6	5.00	41.6				
	1470.0	4618.1	3100.0	1	143162.4	0.23	32.9				
	1470.0	4618.1	850.0	1	39254.2	5.00	196.3				
	1442.0	4530.2	3100.0	1	140435.5	0.23	32.3				
	1442.0	—	—	1	16331.3	513.0	5.00	81.7	1.63		
	15.9	50.0	3100.0	2835	438997.0	0.23	1009.7				
	493.0	1548.8	3100.0	1	48013.0	0.23	11.0				
	481.0	1511.1	3100.0	1	46844.3	0.23	10.8				
1次側 内面	318.5	—	1000.6	3100.0	1	31018.5	0.23	7.1			
	1442.0	—	—	12	16331.3	5.00	81.7				
	318.5	—	—	1	796.7	5.00	4.0				
	1740.0	5466.4	900.0	1	49197.3	13.70	674.0				
	1470.0	4618.1	900.0	1	41563.3	13.70	569.4				
	1442.0	4530.2	900.0	1	40771.6	13.70	558.6				
	15.9	50.0	900.0	2835	1274500.0	144.3	13.70	17460.8	19.76		
	493.0	1548.8	900.0	1	13939.2	13.70	191.0				
	481.0	1511.1	900.0	1	13600.0	13.70	186.3				
	318.5	1000.6	900.0	1	9005.4	13.70	123.4				
1次側 内面	305.5	959.8	6702.8	1	64330.6	0.23	14.8				
	1470.0	4618.1	750.0	1	34636.1	5.00	173.2				
	1442.0	—	—	1	16331.3	5.00	81.7				
	13.9	43.7	4200.0	2835	5199565.2	541.0	0.23	1195.9	1.94		
	1800.0	—	—	1	25446.9	5.00	127.2				
	1800.0	5654.9	460.0	1	26012.4	5.00	130.1				
	400.0	1256.6	460.0	1	5780.5	5.00	28.9				
	254.4	799.2	2400.0	2	38362.6	5.00	191.8				
	1740.0	5466.4	4310.0	1	235600.6	0.23	54.2				
	1740.0	5466.4	250.0	1	13665.9	5.00	68.3				
1次側 内面	441.9	1388.3	600.0	1	8329.6	5.00	41.6				
	1504.0	4725.0	3260.0	1	154033.5	0.23	35.4				
	1504.0	4725.0	850.0	1	40162.1	5.00	200.8				
	1484.0	4662.1	3260.0	1	151985.2	489.1	0.23	35.0	1.59		
	1484.0	—	—	1	17296.5	5.00	86.5				
	22.2	69.7	3260.0	1812	4119823.8	0.23	947.6				
	493.0	1548.8	3260.0	1	50491.0	0.23	11.6				
	481.0	1511.1	3260.0	1	49282.1	0.23	11.3				
	318.5	1000.6	3260.0	1	32619.5	0.23	7.5				
	1484.0	—	—	12	17296.5	5.00	86.5				
1次側 内面	318.5	—	—	1	796.7	5.00	4.0				
	1740.0	5466.4	870.0	1	47557.4	126.4	13.70	651.5	20.8		
	1504.0	4725.0	870.0	1	41107.1	13.70	563.2				
	1484.0	4662.1	870.0	1	40560.5	13.70	555.7				
	22.2	69.7	870.0	1812	1099462.2	509.3	0.23	1122.5	1.88		
	493.0	1548.8	870.0	1	13474.6	13.70	184.6				
	481.0	1511.1	870.0	1	13146.6	13.70	180.1				
	318.5	1000.6	870.0	1	8705.2	13.70	119.3				
	305.5	959.8	6702.8	1	64330.6	0.23	14.8				
	1504.0	4725.0	750.0	1	35437.2	5.00	177.2				
1次側 内面	1484.0	—	—	1	17296.5	5.00	86.5				
	19.8	62.2	4330.0	1812	4880464.4	509.3	0.23	1122.5	1.88		
	1800.0	—	—	1	25446.9	5.00	127.2				
	1800.0	5654.9	460.0	1	26012.4	5.00	130.1				
	400.0	1256.6	460.0	1	5780.5	5.00	28.9				
	254.4	799.2	2400.0	2	38362.6	5.00	191.8				

表6.3-1 1次及び2次冷却系から除去したナトリウム量（推定値）

系統名	対象配管	ナトリウム量(g)			備 考
		A	B	合計	
1次冷却系	入口側撤去配管	75	85	160	配管内表面付着分 B号機は熱遮へい板への付着相当分多い
	出口側撤去配管	534	61	595	出口水平配管(A)堆積分が多い
	出口側配管(既設系統側)	493	122	615	出口水平配管(A)堆積分が多い
合 計				1870	
2次冷却系	主IHX 2次側入口配管(撤去配管)	300	100	400	
	主IHX 2次側出口配管(撤去配管)	4800	200	5000	出口配管(A)堆積分が多い
	2次Na充填ドレン系配管(撤去配管)	100	500	600	ドレン弁付き B号機は全閉塞状態に堆積
	出入口配管(既設系統側)	1800		1800	出口配管(A)堆積分が多い
合 計				7800	

表6.3-2 シールバッグ内持込治工具一覧（ナトリウム除去・洗浄作業）

No.	分類	治工具	員数	仕様・用途
1	Na除去	Na収納ペール缶	1	4L SUSペール缶(蓋密閉型)
2		バール	1	
3		スクレッパー(革たち)	1	ナトリウム切断用
4		ピンセット(大、小)	各1	ナトリウム切断用
5		ドライバー(ー)	2	先端部加工品
6		ヘラ	1	大口径(主配管)用
7		ヘラ(大、中、小)	各1	洗浄前仕上げ用
8		ヘラ(コテ)	1	
9		Na掻き出し棒	1	大口径(主配管)用、木工ホゾ用加工品
10		"	2	SUSパイプ加工品
11		木工用ドリル	1	小口径(2次Na充填ドレン配管)用
12		ラチエットハンドル	1	木工ドリル用
13		Na作業受け皿	1	SUS製バット(市販品)
14	Na洗浄	アルコール(70vol%)	1	約500ccキャップ付容器入り、配管洗浄
15		アルコール(90vol%)	1	約500ccキャップ付容器入り、仕上げ・工具洗浄
16		洗浄ベンネット	1束	工事洗浄用綿不織布
17		ウエス	1式	配管内部洗浄用綿布加工品
18		ウエス用ペール缶	1	4L SUSペール缶(蓋密閉型)
19		拭取り棒	1	
20	閉止・養生	ヘキサプラグ	1	六菱ゴム製(各口径)
21		六角レンチ(6mm)	1	
22		T型ハンドル	1	小口径ヘキサプラグ締付け用
23		ヘキサ脱落防止治具	1式	ヘキサプラグ固定治具
24	シールバッグ	補修用テープ	1式	
25		ゴム(バテ)粘土	1式	コニシ製(ブチルゴム系充填材)
26		パッキンシート	1	
27	その他	GEテープ	1	POLYKEN TECHNOLOGIES製(低塩素、布)
28		防炎シート(養生)	1式	アルトロン防炎200、G&J防炎シートGBS-R
29		ナトレックス消火剤	1式	ナトレックスM-20W約1Kg、ポリ袋入り
30		はさみ、カッター	各1	
31		ベンチ	1	
32		モンキースパンナ	1	
33		ボックスレンチ	1	
34		閉止蓋(ドレン管用)	1	1次系出口水平配管作業のみ(SUS製加工品)

表6.4-1 開先加工対象配管の一覧（開先加工機等）

No.	系統名	位置		配管仕様				開先加工機	閉止板 (ヘキシラグ)	備 考
				外径		板厚				
1	1 次主冷却系	入口垂直	内管	508.0	20B	9.5	sch20S	配管切断兼用加工機	特I型500A	
2			外管	558.8	22B	3.0	—	グラインダー	—	
3		出口水平	内管	457.2	18B	8.0	sch20S	配管切断兼用加工機	特I型450A	
4			外管	508.0	20B	3.0	—	グラインダー	—	
5	2 次主冷却系	入口水平		318.5	12B	10.3	sch40	400型ボーリングウェーザー	特I型300A	
6		出口水平		318.5	12B	10.3	sch40	400型ボーリングウェーザー		
7	1 次Arガス系	垂直		165.2	6B	5.0	sch20S	150型ボーリングウェーザー	特I型150A	
8	1 次Na純化系	垂直		60.5	2B	3.5	sch20S	C65小口径開先加工機	特I型50A	
9	2 次Na充填ドレン系	水平		34.0	1B	3.4	sch40	C65小口径開先加工機	特I型25A	
10	1 次主冷却系	入口垂直	内管	508.0	20B	9.5	sch20S	配管切断兼用加工機	特I型500A	
11			外管	558.8	22B	3.0	—	グラインダー	—	
12		出口水平	内管	457.2	18B	8.0	sch20S	配管切断兼用加工機	特I型450A	
13			外管	508.0	20B	3.0	—	グラインダー	—	
14	2 次主冷却系	入口水平		318.5	12B	10.3	sch40	400型ボーリングウェーザー	特I型300A	
15		出口水平		318.5	12B	10.3	sch40	400型ボーリングウェーザー		
16	1 次Arガス系	垂直		165.2	6B	5.0	sch20S	150型ボーリングウェーザー	特I型150A	
17	2 次Na充填ドレン系	水平		34.0	1B	3.4	sch40	C65小口径開先加工機	特I型25A	

表7.2-1 配管溶接箇所一覧 (1/2)

No.	系統名	溶接位置				配管仕様				溶接手法	溶接順序	備考
		番号	名称	区分	部位	方向	口径	板厚	材質	素材		
[A]ループ												
1	1 次主冷却系	C054AY	入口ノズル (接続体)	外管	大口径側	周	Φ863.6	—	SUS304 鋼板製	ティグ溶接	②	シールドガス
2		C055AY			大口径側	周	Φ863.6	—				
3		C056AY			小口径側	周	Φ564.8	—				
4		C057AY			小口径側	周	Φ564.8	—				
5		L050AY			チーパ	長手	—	—				
6		L051AY			チーパ	長手	—	—				
7		L052AY			水平管	長手	—	—				
8		L058AY			水平管	長手	—	—				
9		C050AY			主HX側	周	Φ726.6	—	SUS304 鋳造材	ティグ溶接	①	シールドガス
10		C010AY			ノズル側	周	Φ564.8	—				
11		C020AY	入口配管	外管	垂直上側	周	Φ558.8	22B	SUS304 鋼板製	ティグ溶接	⑦	シールドガス
12		C022AY			垂直下側	周	Φ558.8	22B				
13		L023AY			垂直管	長手	—	—				
14		L024AY			垂直管	長手	—	—				
15		C001AY			ノズル側	周	Φ508.0	20B				
16		C004AY			既設側	周	Φ508.0	20B				
17		C043AY	出口ノズル	外管	主HX側	周	Φ608.0	20B	SUS304 鋳造材	ティグ溶接	⑥	シールドガス
18		C044AY			新配側	周	Φ608.0	20B				
19		L045AY			垂直管	長手	—	—				
20		L046AY			垂直管	長手	—	—				
21		C050AY			内管	主HX側	周	Φ457.2	18B			
22		C058AY	出口配管	外管	新管側	周	Φ508.0	20B				
23		C061AY			既設側	周	Φ508.0	20B				
24		L063AY			水平管	長手	—	—				
25		L064AY			水平管	長手	—	—				
26		C033AY			内管	既設側	周	Φ457.2	18B			
27	1 次Arガス系	C053AY	LJJ/X' K' N' -X	ペローズ、 平板	LJJと短管	周	Φ226.0	—	SUS304 鋼板製	ティグ溶接	3	シールドガス
28		S052AY			短管と平板	周	Φ226.0	—				
29		S058AY			平板と配管	周	Φ165.2	—				
30		C100AY	配管	—	主HX側	周	Φ165.2	6B	SUS304 鋳造材	シールドガス	④	シールドガス
31		C101AY			既設側	周	Φ165.2	6B				
32	1 次Na純化系	C400AY	配管	—	即座キャップ	周	Φ60.5	2B	SUS304 鋳造材	シールドガス	⑤	シールドガス
33	波面計	C051AY	LJJ/X' K' N' -X	ペローズ、 平板	LJJと短管	周	Φ226.0	—				
34		S051AY			短管と平板	周	Φ226.0	—				
35		S050AY			平板と接続管	周	Φ162.0	—				
36		C052AY			X' と接続管	周	Φ162.0	—				
37	2 次主冷却系	C202AY	出口配管	—	主HX側	周	Φ318.5	12B	SUS304 鋳造材	シールドガス	⑨	シールドガス
38		FW-104			既設側	周	Φ318.5	12B				
39		C200AY			主HX側	周	Φ318.5	12B				
40		FW-101	入口配管	—	既設側	周	Φ318.5	12B	SUS304 鋳造材	シールドガス	⑩	シールドガス
41	2 次Na充填リレーネ	C300AY			主HX側	周	Φ34.0	1B				
42		FW-101*			既設側	周	Φ34.0	1B	SUS304 鋳造材	シールドガス	⑪	シールドガス

注記1) 溶接順序 □付番号：1次主冷却系(外管)、○付番号：1次主冷却系(内管)（1次Arガス系配管及び1次Na純化系配管含む）
 ○付き番号：2次主冷却系配管(2次Na充填ドレン系配管含む)

表7.2-1 配管溶接箇所一覧 (2/2)

No.	系統名	溶接位置				配管仕様				溶接手法	溶接順序	備考
		番号	名称	区分	部位	方向	口径	板厚	材質	素材		
[Bループ]												
1	1 次主冷却系	C054BY	入口ノズル	外管	大口径側	周	Φ 863.6	—	SUS304	鋼板製	ティグ溶接	④
2		C055BY			大口径側	周	Φ 863.6	—			ティグ溶接	
3		C056BY			小口径側	周	Φ 564.8	—			ティグ溶接	
4		C057BY			小口径側	周	Φ 564.8	—			ティグ溶接	
5		L050BY			テーパ	長手	—	—			ティグ溶接	
6		L051BY			テーパ	長手	—	—			ティグ溶接	
7		L052BY			水平管	長手	—	—			ティグ溶接	
8		L053BY			水平管	長手	—	—			ティグ溶接	
9		C050BY	接続体	内管	主HX側	周	Φ 726.6	—	316FR SUS304	鍛造材	ティグ溶接	① シ・ル・ツ
10		C010BY			ノズル側	周	Φ 564.8	—			ティグ溶接	
11	C020BY	C020BY	入口配管	外管	垂直上側	周	Φ 558.8	22B	SUS304	鋼板製	ティグ溶接	⑦
12		C022BY			垂直下側	周	Φ 558.8	22B			ティグ溶接	
13		L023BY			垂直管	長手	—	—			ティグ溶接	
14		L024BY			垂直管	長手	—	—			ティグ溶接	
15		C001BY			ノズル側	周	Φ 508.0	20B			ティグ溶接	
16		C004BY			既設側	周	Φ 508.0	20B			ティグ溶接	
17		C043BY	出口ノズル	外管	主HX側	周	Φ 508.0	20B	SUS304	鋼板製	ティグ溶接	⑥
18		C044BY			新配側	周	Φ 508.0	20B			ティグ溶接	
19		L045BY			垂直管	長手	—	—			ティグ溶接	
20		L046BY			垂直管	長手	—	—			ティグ溶接	
21		C030BY			内管	主HX側	周	Φ 457.2	18B	8.0 SUS304	鍛造材	ティグ溶接
22	C05SBY	C05SBY	出口配管	外管	新管側	周	Φ 506.0	20B	ティグ溶接			
23		C061BY			既設側	周	Φ 508.0	20B	ティグ溶接			
24		L063BY			水平管	長手	—	—	ティグ溶接			
25		L064BY			水平管	長手	—	—	ティグ溶接			
26		C03SBY			内管	既設側	周	Φ 457.2	18B	8.0 SUS304	鍛造材	ティグ溶接
27	1 次Arガス系	C053BY	L/J/X' Y' Z' -X'	ペローズ、 平板	L/Jと短管	周	Φ 226.0	—	SUS304	鋼板製	ティグ溶接	③
28		S052BY			短管と平板	周	Φ 226.0	—			ティグ溶接	
29		S053BY			平板と配管	周	Φ 165.2	—			ティグ溶接	
30		C100BY			主HX側	周	Φ 165.2	6B	5.0 SUS304 SUS304	316FR シ・ル・ツ管 SUS304	ティグ溶接	④ シ・ル・ツ
31		C101BY			既設側	周	Φ 165.2	6B			ティグ溶接	
32	液面計	C051BY	L/J/X' Y' Z' -X'	ペローズ、 平板	L/Jと短管	周	Φ 226.0	—			ティグ溶接	2
33		S051BY			短管と平板	周	Φ 226.0	—			ティグ溶接	
34		S050BY			平板と接続管	周	Φ 162.0	—			ティグ溶接	
35		C052BY			/Z' と接続管	周	Φ 182.0	—		316FR SUS304	ティグ溶接	
36	2 次主冷却系	C202BY	出口配管	—	主HX側	周	Φ 318.5	12B	10.3 SUS304 SUS304 SUS304 SUS304	シ・ル・ツ管 316FR STPA24 316FR STPA24	ティグ溶接	③ シ・ル・ツ シ・ル・ツ シ・ル・ツ シ・ル・ツ
37		FW-105			既設側	周	Φ 318.5	12B			ティグ溶接	
38		C200BY			主HX側	周	Φ 318.5	12B			ティグ溶接	① シ・ル・ツ
39		FW-102			既設側(1)	周	Φ 318.5	12B			ティグ溶接	② シ・ル・ツ
40		FW-103			既設側(2)	周	Φ 318.5	12B			ティグ溶接	
41	2 次Na充填ドレン系	C300BY	配管	—	主HX側	周	Φ 34.0	1B	3.0 SUS304	シ・ル・ツ管 SUS304	ティグ溶接	③ シ・ル・ツ
42		FW-102*			既設側	周	Φ 34.0	1B			ティグ溶接	

注記1) 溶接順序 □付番号: 1次主冷却系(外管)、○付番号: 1次主冷却系(内管) (1次Arガス系配管及び1次Na純化系配管含む)

◎付番号: 2次主冷却系配管(2次Na充填ドレン系配管含む)

表7.2-2 1次系改造工事(MK-III)における配管溶接フローの比較一覧

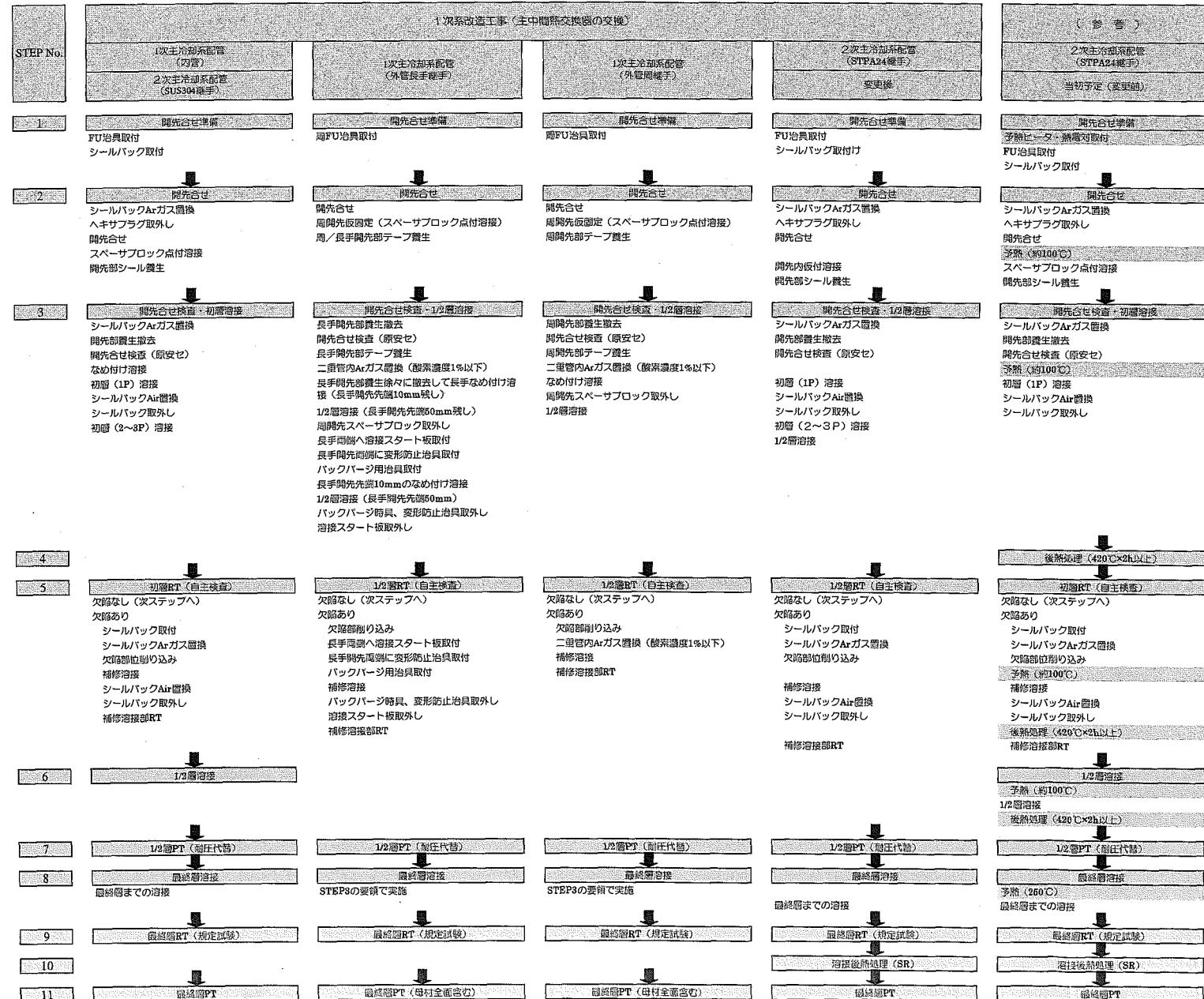


表 7.2-3 外管溶接時のバックシール用アルゴンガスの給排気部位

	溶接対象部位	Ar ガス給気部位	Ar ガス排気部位	備 考
STEP-1	入口ノズルテーパ管長手	テーパ管小口径側下部	テーパ管大口径側上部	当該溶接部のシール養生
STEP-2	入口配管垂直管長手	ISI 窓ノズル (A20,B20)	入口配管ノズル側 外管開口部（上部）	当該溶接部のシール養生
STEP-3	入口配管垂直管周			
STEP-4	入口ノズルテーパ管長手（残部） 入口ノズルテーパ管周（大口径側）	出口ノズル主 IHX 側 外管開口部	テーパ管小口径側上部 カバーガスノズル部リークジャケット開口部	液面計ノズル部リークジャケット開口部及び主 IHX 低部の Na 漏洩検出器ノズル部のシール養生
STEP-5	出口配管水平管長手	出口水平管下部 Na 漏洩検出器ノズル	出口配管ノズル側外管開口部 ISI 窓ノズル (A12,B12)	当該溶接部のシール養生
STEP-6	出口配管水平管周 出口ノズル垂直管長手 出口ノズル垂直管周 入口ノズル水平管長手 Ar ガスノズルハーネス取合部 液面計ノズルハーネス取合部	ISI 窓ノズル (A20,B20,A12,B12)	カバーガスノズル部リークジャケット開口部（上部）	液面計ノズル部リークジャケット開口部のシール養生 主 IHX 低部及び出口水平管の Na 漏洩検出器ノズル部のシール養生
STEP-7	入口ノズルテーパ管周（小口径側） 入口配管ノズル側周			

注) 備考欄は、各ガスバージ範囲の構成に際して、閉止シール養生を行った部位を示す。

ISI 窓番号である A20,B20,A12,B12 の設置位置は、図 7.2-7 の ISI 窓の設置位置を参照。

表7.2-4 (1/2) シールパッケ作業による系統内酸素混入量(推定値)

No.	系統名	位置		作業区分	シールパック容積(m ³)	作業開始時					
						酸素濃度(ppm)	Arガス圧力(Pa)	Arガス流量(m ³ /hr)	ハウザリ開放作業時間(hr)	系統内酸素混入量(g)	
CA-02	1次主冷却系	A	入口垂直	内管	切断	0.930	503	160	1.8	0.62	1.494
CA-04	1次主冷却系	A	出口水平	内管	切断	0.731	600	150	1.8	1.79	3.440
CA-10	1次アルゴンガス系	A	水平		切断	0.565	650	150	1.8	0.62	1.585
CA-11	1次アルゴンガス系	A	垂直		切断	0.593	300	150	1.8	0.50	0.650
CA-12	1次ナトリウム純化系	A	水平		切断	0.475	560	120	1.8	0.35	0.895
CA-13	1次ナトリウム純化系	A	垂直		切断	0.239	160	120	1.8	0.10	0.097
CB-02	1次主冷却系	B	入口垂直	内管	切断	0.930	334	150	1.8	0.79	1.139
CB-04	1次主冷却系	B	出口水平	内管	切断	0.731	175	150	1.8	1.39	0.821
CB-10	1次アルゴンガス系	B	水平		切断	0.565	520	130	1.8	0.25	0.764
CB-11	1次アルゴンガス系	B	垂直		切断	0.593	348	150	1.8	1.85	1.980
WA-02	1次主冷却系	A	入口垂直	内管	Na洗浄	0.491	93	150	1.8	0.52	0.192
					閉止	0.491	110	150	1.8	0.39	0.190
WA-04	1次主冷却系	A	出口水平	内管	Na掻き出し	0.365	400	130	1.8	3.00	3.338
					Na掻き出し	0.365	205	130	1.8	3.09	1.759
					Na洗浄・閉止	0.365	450	130	1.8	0.75	1.117
WA-11	1次アルゴンガス系	A	垂直		Na洗浄・閉止	0.159	110	150	1.8	1.19	0.367
WA-13	1次ナトリウム純化系	A	垂直		Na洗浄・閉止	0.159	160	150	1.8	0.74	0.346
WB-02	1次主冷却系	B	入口垂直	内管	Na洗浄	0.491	160	150	1.8	1.35	0.678
					閉止	0.491	160	150	1.8	0.27	0.227
					ヘキサプラグ移動	0.491	50	130	1.8	0.39	0.086
WB-04	1次主冷却系	B	出口水平	内管	Na洗浄	0.365	220	150	1.8	2.45	1.524
					閉止	0.365	280	120	1.8	1.19	1.015
					ヘキサプラグ移動	0.365	179	150	1.8	0.67	0.408
WB-11	1次アルゴンガス系	B	垂直		Na洗浄・閉止	0.159	400	150	1.8	1.00	1.137
WA-24	1次主冷却系	A	入口水平	内管	開先合せ	0.627	150	100	1.8	2.10	0.954
					開先合せ(セ)	0.627	400	100	1.8	0.27	0.642
					なめ付け溶接	0.627	990	100	1.8	0.84	3.056
WA-02	1次主冷却系	A	入口垂直	内管	開先合せ(新主IHX(A)容量10.3m ³ も含む)	10.734	100	100	1.8	2.10	2.095
					開先合せ(セ)	0.459	400	100	1.8	1.84	2.177
					なめ付け溶接	0.459	270	80	1.8	1.00	0.878
WA-03	1次主冷却系	A	出口ノズル側	内管	開先合せ	0.379	29	100	1.8	3.30	0.264
					開先合せ(セ)	0.379	150	110	1.8	1.00	0.472
					なめ付け溶接	0.379	400	100	1.8	1.00	1.258
WA-04	1次主冷却系	A	出口水平	内管	開先合せ	0.371	5	100	1.8	3.30	0.046
					開先合せ(セ)	0.371	52	110	1.8	1.00	0.163
					なめ付け溶接	0.371	400	100	1.8	1.00	1.253
WA-10	1次アルゴンガス系	A	水平		開先合せ	0.188	400	100	1.8	3.00	3.226
WA-11	1次アルゴンガス系	A	垂直		開先合せ	0.247	400	100	1.8	3.00	3.260
WA-13	1次ナトリウム純化系	A	垂直		開先合せ	0.280	400	100	1.8	3.00	3.279
					開先合せ(セ)・なめ付け溶接	0.280	400	100	1.8	3.00	3.279
					貫通補修溶接(1)	0.280	400	100	1.8	3.00	3.279
					貫通補修溶接(2)	0.280	400	100	1.8	3.00	3.279
					貫通補修溶接(3)	0.280	400	100	1.8	3.00	3.279
WB-24	1次主冷却系	B	入口水平	内管	開先合せ	0.627	1000	100	1.8	12.70	33.895
					開先合せ(セ)	0.627	400	100	1.8	2.00	2.440
					なめ付け溶接	0.627	400	90	1.8	3.24	3.725
WB-02	1次主冷却系	B	入口垂直	内管	開先合せ(新主IHX(B)容量10.3m ³ も含む)	10.734	1000	100	1.8	12.70	48.481
					開先合せ(セ)	0.459	400	100	1.8	2.00	2.343
					なめ付け溶接	0.459	400	90	1.8	3.24	3.628
WB-03	1次主冷却系	B	出口ノズル側	内管	開先合せ	0.379	147	100	1.8	3.90	1.570
					開先合せ(セ)	0.379	46	100	1.8	1.99	0.263
					なめ付け溶接	0.379	400	100	1.8	4.00	4.375
WB-04	1次主冷却系	B	出口水平	内管	開先合せ	0.371	153	100	1.8	3.90	1.632
					開先合せ(セ)	0.371	25	130	1.8	1.99	0.143
					なめ付け溶接	0.371	400	100	1.8	4.00	4.370
WB-10	1次アルゴンガス系	B	水平		開先合せ	0.188	270	100	1.8	3.70	2.668
					開先合せ(セ)・なめ付け溶接	0.188	400	100	1.8	3.00	3.226
WB-11	1次アルゴンガス系	B	垂直		開先合せ	0.247	270	100	1.8	3.70	2.691
					開先合せ(セ)・なめ付け溶接	0.247	400	100	1.8	3.00	3.260
合 計						46.180				138.87	181.036

(1次系配管切断、ナトリウム除去・洗浄、配管溶接)

表7.2-4 (2/2) シールバッグ作業による系統内酸素混入量(推定値)

No.	系統名	位置	作業区分	シールバック 容量 (m³)	作業開始時					
					作業開始時 酸素濃度 (ppm)	Arガス圧力 (Pa)	Arガス流量 (m³/h)	ハングドリブル放 作業時間 (hr)	系統内 酸素混入量 (g)	
CA-05	2次主冷却系	A	IHX出口垂直	切断	0.352	340	150	1.8	0.50	0.617
CA-06	2次主冷却系	A	IHX出口垂直	切断	0.352	400	180	1.8	1.27	1.535
CA-07	2次主冷却系	A	IHX出口水平	切断	0.396	400	150	1.8	1.00	1.274
CA-08	2次主冷却系	A	IHX入口水平	切断	0.352	250	100	1.8	0.34	0.348
CA-09	2次主冷却系	A	IHX入口水平	切断	0.396	360	140	1.8	0.39	0.573
CA-14	2次ナトリウム充填ドレン系	A	IHX水平	切断	0.226	252	150	1.8	0.24	0.241
CA-15	2次ナトリウム充填ドレン系	A	IHX水平	切断	0.226	410	150	1.8	0.44	0.605
CB-06	2次主冷却系	B	IHX出口垂直	切断	0.338	200	150	1.8	0.40	0.307
CB-07	2次主冷却系	B	IHX出口水平	切断	0.352	550	150	1.8	0.54	1.056
CB-08	2次主冷却系	B	IHX入口水平	切断	0.352	450	160	1.8	0.60	0.936
CB-08	2次主冷却系	B	IHX入口水平	切断	0.352	154	150	1.8	0.89	0.436
CB-09	2次主冷却系	B	IHX入口水平	切断	0.352	590	150	1.8	0.54	1.133
CB-14	2次ナトリウム充填ドレン系	B	IHX水平	切断	0.226	220	150	1.8	0.05	0.101
CB-15	2次ナトリウム充填ドレン系	B	IHX水平	切断	0.226	200	150	1.8	0.15	0.144
WA-07	2次主冷却系	A	IHX出口水平	Na掻き出し	0.203	125	150	1.8	0.87	0.321
				Na掻き出し	0.203	59	150	1.8	1.80	0.295
				Na洗浄・閉止	0.203	202	150	1.8	1.39	0.793
				ヘキサブラグ移動	0.203	157	150	1.8	0.50	0.251
				Na掻き出し	0.203	125	150	1.8	0.87	0.321
WA-09	2次主冷却系	A	IHX入口水平	Na掻き出し・洗浄	0.203	215	150	1.8	2.25	1.326
				Na洗浄・閉止	0.203	194	150	1.8	1.14	0.635
				ヘキサブラグ移動	0.203	147	140	1.8	0.50	0.235
WA-15	2次ナトリウム充填ドレン系	A	IHX水平	Na掻き出し	0.248	275	150	1.8	1.00	0.817
				Na掻き出し	0.248	204	150	1.8	1.14	0.681
				Na洗浄・閉止	0.248	228	150	1.8	1.00	0.677
WB-07	2次主冷却系	B	IHX出口水平	Na掻き出し	0.203	210	150	1.8	0.60	0.391
				Na洗浄・閉止	0.203	143	150	1.8	0.62	0.274
				ヘキサブラグ移動	0.203	100	100	1.8	0.29	0.105
WB-09	2次主冷却系	B	IHX入口水平	Na掻き出し・洗浄	0.203	163	160	1.8	1.15	0.538
				閉止	0.203	400	220	1.8	0.55	0.697
WB-09	2次主冷却系	B	IHX入口水平 (再切断後)	Na掻き出し・洗浄・閉止	0.203	160	170	1.8	2.00	0.884
				ヘキサブラグ移動	0.203	215	140	1.8	0.27	0.215
WB-15	2次ナトリウム充填ドレン系	B	IHX水平	Na掻き出し・洗浄・閉止	0.248	191	150	1.8	3.24	1.684
WA-06	2次主冷却系	A	IHX出口垂直 (SUS側)	開先合せ	0.463	38	150	1.8	2.40	0.264
				開先合せ(七)・初層溶接	0.463	143	150	1.8	2.94	1.194
WA-07	2次主冷却系	A	IHX出口水平 (STPA24側)	開先合せ	0.584	94	150	1.8	2.07	0.588
				開先合せ(七)	0.584	130	150	1.8	2.94	1.108
WA-08	2次主冷却系	A	IHX入口水平 (SUS304側)	初層溶接	0.584	207	150	1.8	1.04	0.737
				開先合せ(七)・なめ付け溶接	0.292	250	150	1.8	4.00	2.717
WA-09	2次主冷却系	A	IHX入口水平 (STPA24側)	開先合せ	0.584	250	150	1.8	2.00	1.517
				開先合せ(七)	0.584	250	150	1.8	2.00	1.517
				スペーサーブロック取外し・内部確認	0.584	250	100	1.8	2.00	1.510
				開先合せ・開先内板付け	0.584	250	150	1.8	2.00	1.517
				開先合せ(七)	0.584	130	150	1.8	1.00	0.450
WA-14	2次ナトリウム充填ドレン系	A	IHX水平 (SUS側)	初層溶接	0.584	227	152	1.8	1.54	1.105
				開先合せ	0.584	250	150	1.8	2.00	1.517
WA-15	2次ナトリウム充填ドレン系	A	IHX水平 (STPA24側)	開先合せ	0.281	90	130	1.8	0.34	0.116
				開先合せ(七)	0.281	39	150	1.8	1.70	0.184
WB-06	2次主冷却系	B	IHX出口垂直 (SUS側)	初層溶接	0.281	81	150	1.8	1.94	0.433
				開先合せ	0.463	74	60	1.8	1.67	0.369
WB-07	2次主冷却系	B	IHX出口水平 (STPA24側)	開先合せ(七)	0.463	21	60	1.8	1.22	0.080
				初層溶接	0.463	123	60	1.8	2.15	0.766
WB-08	2次主冷却系	B	IHX入口水平 (SUS304側)	開先合せ	0.946	168	60	1.8	1.67	0.954
				開先合せ(七)	0.946	170	60	1.8	1.22	0.768
WB-08	2次主冷却系	B	IHX入口水平 (STPA24側) 単管部	初層溶接	0.946	200	60	1.8	2.15	1.384
				開先合せ(新主IHX(B)容量5.33m³も含む)	5.621	150	60	1.8	2.00	1.988
				開先合せ(七)・なめ付け溶接	0.292	118	60	1.8	4.00	1.271
				開先合せ・開先内板付け	1.807	280	120	1.8	2.57	2.605
				開先合せ(七)	1.807	220	160	1.8	0.72	0.991
WB-09	2次主冷却系	B	IHX入口水平 (STPA24側)	初層溶接	1.807	141	160	1.8	1.17	0.801
				開先合せ	0.428	150	60	1.8	2.00	0.868
				開先合せ(七)・初層溶接	0.428	65	60	1.8	4.00	0.713
				補修溶接(補修中N溶下)	0.428	180	60	1.8	2.00	1.042
WB-14	2次ナトリウム充填ドレン系	B	IHX水平 (SUS側)	開先合せ	0.197	96	60	1.8	0.89	0.248
				開先合せ(七)	0.197	103	60	1.8	1.24	0.360
WB-15	2次ナトリウム充填ドレン系	B	IHX水平 (STPA24側)	初層溶接	0.197	52	60	1.8	1.02	0.152
				開先合せ	0.281	107	60	1.8	0.89	0.290
WB-15	2次ナトリウム充填ドレン系	B	IHX水平 (STPA24側)	開先合せ(七)	0.281	78	60	1.8	1.24	0.282
				初層溶接	0.281	87	60	1.8	1.02	0.265
合計									100.71	57.995

(2次系配管切断、ナトリウム除去・洗浄、配管溶接)

表8.1-1 MK-III計画に係る設工認の分割申請一覧

施設／設備区分	機器・設備	分割申請区分
イ. 原子炉本体		
1) 炉心 (1) 炉心 (2) 制御棒駆動機構	炉心 制御棒駆動機構	第6回申請分
2) 燃料体 (1) 炉心燃料集合体	炉心燃料集合体	第1回申請分
3) 減速材及び反射材 (1) 遮へい集合体	遮へい集合体	第5回申請分
4) 放射線遮へい体 (1) 炉心上部機構	ダミープラグ	第6回申請分
ロ. 原子炉冷却系統施設		
1) 1次冷却系設備 (1) 主中間熱交換器 (2) 配管	主中間熱交換器 主配管	第2回申請分
2) 2次冷却系設備 (1) 主循環ポンプ (2) 主冷却機 (3) 配管	駆動用電動機 主冷却機 主配管（主冷却機側） 主配管（主中間熱交換器側）	第4回申請分 第3回申請分 第2回申請分
3) その他の主要な事項 (1) 冷却材ナトリウム純化設備 (2) 不活性ガス設備 (3) ナトリウム充填ドレン系設備	1次冷却材純化系配管 1次アルゴンガス系配管 2次ナトリウム充填ドレン系配管	第2回申請分
ハ. 計測制御系統施設		
1) 安全保護系設備 (1) 原子炉停止回路	スクラム回路	第7回申請分
2) 制御系設備 (1) 冷却系冷却材の流量調節設備 (2) 原子炉冷却材温度制御設備	1次冷却系冷却材の流量調節設備 2次冷却系冷却材の流量調節設備 原子炉冷却材温度制御設備	第4回申請分

注) 本表は「PNC PN9440 96-006」より抜粋したものである。

■ 「主中間熱交換器の交換」に係る申請該当箇所

表8.1-2 設工認、使用前検査申請、計画書及び要領書一覧

設工認			使用前検査申請書		使用前検査計画書		使用前検査要領書			
施設区分	設工認名称	認可期日	申請番号・期日	申請名称又は変更理由	管理番号	計画書名称	策定期日	管理番号	検査対象：検査項目	策定期日
原子炉冷却系統 施設（その1）	主中間熱交換器の交換 (第2回申請)	H7.11.20	7動燃(安)695 平成7年11月21日	140MW出力上昇に係る変更	2-1	主中間熱交換器の交換 (改1)	H7.11.21 H8.3.27	JMKIII2-1-1 JMKIII2-1-2	316FR鍛造材：材料検査 316FR管材：材料検査	H7.11.27
			7動燃(安)768 平成8年3月26日	製作工程、検査事項、場所の変更 他		(改2)	H8.8.28	JMKIII2-1-3	316FR板材：材料検査	H8.1.12
			8動燃(安)641 平成8年6月13日	代表者の氏名変更		(改3)	H10.3.26	JMKIII2-1-4	伝熱管：材料、外観、寸法検査	H8.5.15
			8動燃(安)717 平成8年8月27日	工事計画及び製作工程の変更 他		(改4)	H10.8.7	JMKIII2-1-5	主中間熱交換器（耐圧状態I）：外観、寸法、耐圧検査 上部管板：外観、寸法検査	H8.6.28
			8動燃(安)734 平成8年10月16日	工事工程、検査期日等の変更 他		(改5)	H11.3.31	JMKIII2-1-6	上部ベローズ：材料、外観、耐圧検査	H8.8.28
			9動燃(安)624 平成9年7月18日	工事工程、検査事項等の変更 他		(改6)	H11.9.27	JMKIII2-1-7	サポート胴、リーフィング：材料検査	H10.1.22
			9動燃(安)660 平成9年8月29日	工事工程、検査期日の変更 他		(改7)	H12.9.8	JMKIII2-1-8	主中間熱交換器（耐圧状態II）：外観、寸法、耐圧検査 2次側胴板：外観、寸法検査	H10.3.5
			9動燃(安)729 平成10年3月25日	工事工程、検査事項等の変更 他		(改8)	H13.2.21	JMKIII2-1-9	接続用配管（工場(1)）：材料、外観、寸法、耐圧検査	H10.8.11 改1)H13.3.21 改2)H13.6.22
			10動燃(安)645 平成10年7月27日	工事工程、検査事項等の変更 他		(改9)	H13.3.21	JMKIII2-1-10	主中間熱交換器（耐圧状態III）：外観、寸法、耐圧検査 接続用配管（工場(2)）：外観、寸法、耐圧検査	H10.9.30
			10#イクリ機構(大洗)010 平成10年10月7日	名称及び住所の変更		(改10)	H13.6.11	JMKIII2-1-11	主中間熱交換器（耐圧状態III）：漏洩検査	H11.2.9
			10#イクリ機構(大洗)078 平成11年3月30日	工事工程、検査期日等の変更 他		(改11)	H13.6.22	JMKIII2-1-12	2次冷却系（温度計ウェル）：材料、外観、寸法検査	H11.4.28
			11#イクリ機構(大洗)049 平成11年9月14日	工事工程、検査事項等、場所の変更		(改12)	H14.3.19	JMKIII2-1-13	主中間熱交換器（耐圧状態IV）：外観、寸法、耐圧検査 1次入口ノズル接続対：外観、寸法、耐圧検査	H11.5.24
			11#イクリ機構(大洗)115 平成12年3月1日	燃料製造及び主冷却機製作工程、検査期日、場所の変更				JMKIII2-1-14	主中間熱交換器（遮へい体）：材料、外観、寸法検査	H11.9.27
			12#イクリ機構(大洗)085 平成12年8月22日	工事工程、検査事項の変更 他				JMKIII2-1-15	主中間熱交換器（耐圧状態V）：外観、寸法、耐圧検査	H11.11.9
			12#イクリ機構(大洗)245 平成13年3月1日	工事工程、検査工程の変更 他				JMKIII2-1-16	主中間熱交換器（現地）：外観、寸法、耐圧、据付検査	H13.5.14
			13#イクリ機構(大洗)026 平成13年5月21日	工事工程、検査事項等の変更 他				JMKIII2-1-17	接続用1次冷却系配管（現地）：外観、寸法、耐圧、据付検査	H13.5.14
			13#イクリ機構(大洗)063 平成13年6月18日	2次系配管製作分使用前検査追加の変更				JMKIII2-1-18	接続用2次冷却系配管（現地）：耐圧、据付検査	H13.5.14 改1)H13.6.22
			13#イクリ機構(大洗)174 平成13年9月28日	燃料集合体の製作工程、検査期日の変更				JMKIII2-1-19	接続用1次アルゴンガス系配管（現地）：耐圧、据付検査	H13.5.28
			13#イクリ機構(大洗)268 平成14年3月8日	2次主ポンプ駆動用電動機の工事工程、検査期日の変更 他				JMKIII2-1-20	1次冷却材純化系配管閉止キャップ（現地）：耐圧、据付検査	H13.5.28
								JMKIII2-1-21	接続用2次イクリム充填ドレン系配管及び止弁（現地）：耐圧、据付、作動検査	H13.5.28
								JMKIII2-1-22	主中間熱交換器（現地）：遮へい性能検査	H15.11.27

140MW出力上昇に係る変更

表8.2-1 品質管理程度表

機器名 [機器種別]	継手種別	検査実施者	溶接検査										完成品検査						備考		
			材料確認	開先面検査	開先合せ検査	溶接記録確認	熱処理確認	非破壊検査			機械試験	仕上がり検査		耐圧検査			耐圧検査		据付寸法検査	外観据付検査	
								PT	RT			(代替試験)		(代替試験)		RT	1/2	最終層	RT		
									1/2	最終層		1/2	最終層	1/2	最終層						
主中間熱交換器 (本体) [第1種容器]	第2種	MEXT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●*		
		原安センタ	●	●	●	●	●	-	●	-	●	●	●	●	●	-	-	-	-		
		サイクル機構	○	○	○	○	○	-	○	-	○	○	○	○	○	-	●	●*	●*		
		メカ	●	●	●	●	●	-	●	●	●	●	●	●	●	-	●	●	●*		
主中間熱交換器 (リゲッジ・ワット) [第3種容器]	第1／2種	MEXT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	●*1	-	●*2	●
		原安センタ	●	●	●	●	●	-	-	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-		
		サイクル機構	○	○	○	○	○	-	-	○	○	○	○	○	○	-	●	●*1	-	●	
		メカ	●	●	●	●	●	-	-	●	●	●	●	●	●	-	●	●*1	-	●	
1次主冷却系配管 (内管) [第1種配管]	第2種	MEXT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	●	-	-	●
		原安センタ	●	●	●	●	●	-	●	-	●	●	●	●	●	-	-	-	-	-	
		サイクル機構	○	○	○	○	○	-	○	-	○	○	○	○	○	-	●	●	-	●	●
		メカ	●	●	●	●	●	-	-	●	●	●	●	●	●	-	●	●	-	●	
1次主冷却系配管 (外管) [第3種配管]	第1／2種	MEXT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	●*1	-	●*2	●
		原安センタ	●	●	●	●	●	-	-	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-	-	
		サイクル機構	○	○	○	○	○	-	-	○	○	○	○	○	○	-	●	●*1	-	●	●
		メカ	●	●	●	●	●	-	-	●	●	●	●	●	●	-	●	●*1	-	●	●
1次Arガス系配管 [第3種配管]	第2種	MEXT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	●	-	-	●
		原安センタ	●	●	●	●	●	-	-	●	-	●	●	●	●	-	-	-	-	-	
		サイクル機構	○	○	○	○	○	-	-	○	-	○	○	○	○	-	●	●	-	●	●
		メカ	●	●	●	●	●	-	-	●	●	●	●	●	●	-	●	●	-	●	●
1次Na純化系配管 [第1種配管]	第2種	MEXT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		原安センタ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		サイクル機構	○	●	●	●	●	-	●	-	-	●	-	-	●	-	●	●	●	●	
		メカ	●	●	●	●	●	-	●	●	-	●	-	●	-	●	●	●	●	●	
2次主冷却系配管 [第3種配管]	第2種	MEXT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	●	-	-	●
		原安センタ	●	●	●	●	●	●	●*	-	●	-	●	●	●	-	-	-	-	-	
		サイクル機構	○	○	○	○	○	○*	-	-	○	-	○	○	○	-	●	●	-	●	●
		メカ	●	●	●	●	●	●*	-	●	●	-	●	●	●	-	●	●	-	●	●
2次Na充填ドレン系配管 [第3種配管]	第2種	MEXT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		原安センタ	●	●	●	●	●	●	●*	●	-	-	●	-	●	-	●	-	-	-	
		サイクル機構	○	○	○	○	○	○	○*	○	-	○	-	○	○	-	●	●	-	●	●
		メカ	●	●	●	●	●	●*	●	-	-	●	-	●	-	●	●	●	-	●	●

記号) ●:立会検査 ○:記録確認

入口ノズル接続体

*)遮へい体含む

リーグジャケット(L/J)入口ノズル
L/Jノズルロア、L/J液面計ノズル
*)L/J入口ノズル全面PT含む
*)L/J入口ノズル板厚*1)母材表面の全面PT含む
*2)半割れ外管板厚閉止キャップ
(溶接検査対象外)

*)STPA24材の溶接部

*)STPA24材の溶接部

表8.2-2 耐圧代替試験方法と溶接検査の非破壊試験

	機器種別	継手種別		非破壊試験	耐圧代替試験	備考
主 中 間 熱 交 換 器	入口ノズル接続体（内管）	第1種容器	周継手	第2種継手	RT+PT	プログレスPT
	入口ノズル（外管）	第3種容器	長手継手	第1種継手	RT	プログレスPT
			周継手	第2種継手	RT	プログレスPT
リ-カジ' カット部 ・ノズルベローズ ・液面計（接続管）	第3種容器	周継手	第2種継手	RT	プログレスPT	母材全面PT含む
リ-カジ' カット部 ・ノズルベローズ 平板	第3種容器	周継手	第3種継手	PT	プログレスPT	RT不可
接 続 用 配 管	1次主冷却系配管（内管）	第1種管	周継手	第2種継手	RT+PT	プログレスPT
	1次主冷却液配管（外管）	第3種管	長手継手	第1種継手	RT	プログレスPT
			周継手	第2種継手	RT	プログレスPT
	2次主冷却系配管	第3種管	周継手	第2種継手	RT	プログレスPT
	1次Arガス系配管	第3種管	周継手	第2種継手	RT	プログレスPT
1次Na純化系配管	第1種管	周継手	第2種継手	PT	RT	プログレスPT（自主）
	2次Na充填ドレン系配管	第3種管	周継手	第2種継手	PT	RT

注記) RT: 放射線透過試験 PT: 浸透探傷試験 プログレスPT: 1/2層溶接毎の浸透探傷試験

表8.3-1 (1/3) 現地試験検査工程実績 (1次系配管A系溶接)

This figure is a Gantt chart illustrating the construction schedule for IHX units from May to August. The chart is organized by project number (R501, R302, R201) and item type (e.g., IHX(A)管, IHX(A)垂直管). The horizontal axis represents time from May 1st to August 31st, with specific dates labeled at the top. The vertical axis lists tasks and their details.

- R501:** Main Work Items and Key Dates. Tasks include 'IHX(A)最終設定' (May 1-10), 'IHX(A)吊上' (May 11-15), and 'IHX(A)最終設定' (May 16-20).
- R302:** Various IHX components and their assembly. Examples include 'IHX(A)管' (WA-01 to WA-17), 'IHX(A)垂直管' (WA-18 to WA-21), and 'IHX(A)1次冷却却純化系' (WA-13).
- R201:** IHX vertical pipes and associated tasks. Includes 'IHX(A)垂直管' (WA-19 to WA-23) and 'IHX(A)出口水平管' (WA-22 to WA-26).

The chart uses a color-coded system for tasks and resources, with labels such as FU (Fabrication Unit), PT (Pressure Test), RT (Resistivity Test), and various inspection and assembly steps. Specific notes include 'IHX(A)吊上' (吊上), 'IHX(A)最終設定' (最終設定), and 'IHX(A)本体温度計取付' (本体温度計取付). The right side of the chart shows a legend for symbols and resource types.

表8.3-1 (2/3) 現地試験検査工程実績（1次系配管B系溶接）

表8.3-1 (3/3) 現地試験検査工程実績（2次系配管溶接）

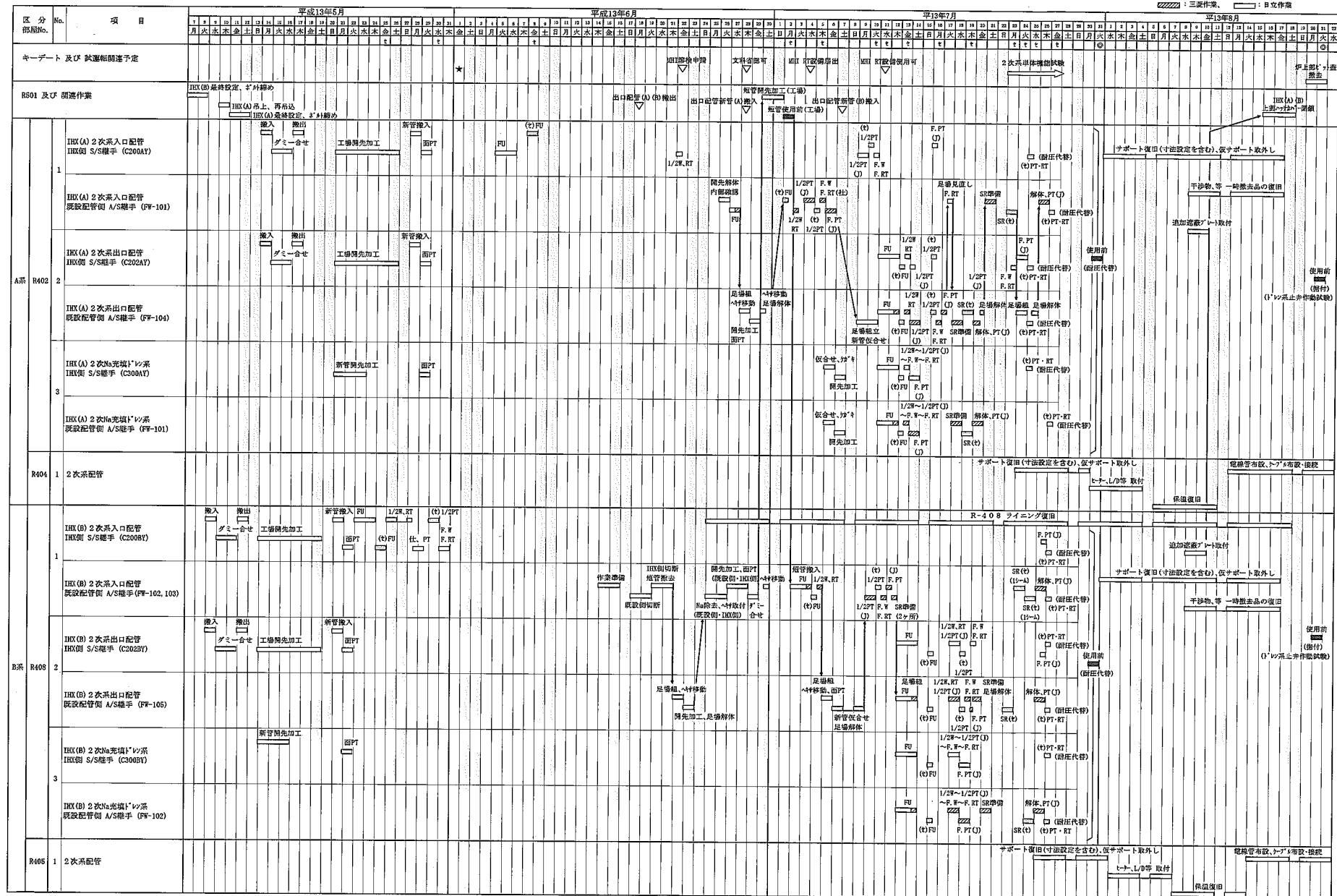


表8.4-1 主中間熱交換器の交換に係る現地使用前検査実績

番号	検査期日	検査場所	要領書(番号)	検査項目	検査対象	継手番号
1	平成13年6月7日	大洗工学センター	主中間熱交換器 (JMKⅢ2-1-16) 接続用1次冷却系配管(内管) (JMKⅢ2-1-17)	耐圧検査 耐圧検査 据付検査	①1次入口ノズル接続体一本体 ①入口側配管 水平部 ②入口側配管 垂直部 ③出口側配管 水平部 ④出口側配管 垂直部 入口側配管(内管)(B) 出口側配管(内管)(B)	C050BY C001BY C004BY C038BY C030BY
2	平成13年6月14日	大洗工学センター	主中間熱交換器 (JMKⅢ2-1-16) 接続用1次冷却系配管(内管) (JMKⅢ2-1-17)	耐圧検査 耐圧検査 据付検査	①1次入口ノズル接続体一本体 ①入口側配管 水平部 ②入口側配管 垂直部 ③出口側配管 水平部 ④出口側配管 垂直部 入口側配管(内管)(A) 出口側配管(内管)(A)	C050AY C001AY C004AY C038AY C030AY
3	平成13年6月21日	大洗工学センター	接続用1次冷却系配管(内管) (JMKⅢ2-1-17)	耐圧検査 据付検査	③出口側配管 水平部 ④出口側配管 垂直部 出口側配管(内管)(A)	C038AY C030AY
4	平成13年6月27日	大洗工学センター	主中間熱交換器 (JMKⅢ2-1-16) 接続用1次アルゴンガス系配管 (JMKⅢ2-1-19)	耐圧検査 耐圧検査	⑤液面計ノズル接続管一本体 ①水平部 ②垂直部 ③水平部 ④垂直部	C052AY C052BY C100AY C101AY C100BY C101BY
5	平成13年7月31日	大洗工学センター	接続用2次冷却系配管 (配管1, 2, 3) (JMKⅢ2-1-18)	耐圧検査	①入口側配管 配管1: 水平部 ②入口側配管 配管1-配管3 ③出口側配管 配管1: 水平部 ④出口側配管 配管1-配管2 ⑤入口側配管 配管1: 水平部 ⑥入口側配管 配管1-配管3 ⑦出口側配管 配管1: 水平部 ⑧出口側配管 配管1-配管2	FW-101 FW-104 FW-102,103 C200AY C200BY FW-105 C202BY
			1次冷却材純化系配管閉止キャップ (JMKⅢ2-1-20)	耐圧検査 据付検査	1次冷却材純化系配管閉止キャップ 1次冷却材純化系配管閉止キャップ	C400AY
			接続用2次ナトリウム充填及び トレーン系配管(配管1, 2) (JMKⅢ2-1-21)	耐圧検査	①配管1-配管2 ②配管1: 水平部 ③配管1-配管2 ④配管1: 水平部	C300AY FW-101 C300BY FW-102
6	平成13年8月7日	大洗工学センター	主中間熱交換器 (JMKⅢ2-1-16)	外観検査 寸法検査 耐圧検査	主中間熱交換器(本体)(B) リーガンキャップ1次側入口ノズル(板厚) ②リーガンキャップ1次側入口ノズル (テバ管長手、肩、水平管長手、周、全面)	— — L050BY, L051BY L052BY, L053BY C054BY, C055BY C056BY, C057BY S050BY S051BY C061BY C053BY S052BY S053BY
			接続用1次冷却系配管(外管1, 2) (JMKⅢ2-1-17)	外観検査 寸法検査 耐圧検査	接続用1次冷却系配管(外管2) 接続用1次冷却系配管(外管1, 外管2)	— —
					⑤入口側配管 外管1: 水平部 ⑥入口側配管 外管1-外管2 ⑦入口側配管 外管2: 垂直部 ⑧入口側配管 外管2: 長手縫手 ⑨出口側配管 外管2: 垂直部 ⑩出口側配管 外管2: 垂直部-外管1 ⑪出口側配管 外管2: 垂直部-長手縫手 ⑫出口側配管 外管2: 水平部 ⑬出口側配管 外管2: 水平部-外管1 ⑭出口側配管 外管2: 水平部-長手縫手	C010BY C020BY C022BY L023BY, L024BY C043BY C044BY L045BY, L046BY C061BY C058BY L063BY, L064BY
			接続用1次アルゴンガス系配管 (JMKⅢ2-1-19)	外観検査 寸法検査 耐圧検査	接続用1次冷却系配管(外管1, 2) 接続用1次冷却系配管(外管2)	— —
7	平成13年8月10日	大洗工学センター	主中間熱交換器 (JMKⅢ2-1-16)	外観検査 寸法検査 耐圧検査	主中間熱交換器(本体)(A) リーガンキャップ1次側入口ノズル(板厚) ②リーガンキャップ1次側入口ノズル (テバ管長手、肩、水平管長手、周、全面)	— — L050AY, L051AY L052AY, L053AY C054AY, C055AY C056AY, C057AY S050AY S051AY C051AY C053AY S052AY S053AY
			接続用1次冷却系配管(外管1, 2) (JMKⅢ2-1-17)	外観検査 寸法検査 耐圧検査	接続用1次冷却系配管(外管2) 接続用1次冷却系配管(外管1, 外管2)	— —
					⑤入口側配管 外管1: 水平部 ⑥入口側配管 外管1-外管2 ⑦入口側配管 外管2: 垂直部 ⑧入口側配管 外管2: 長手縫手 ⑨出口側配管 外管2: 垂直部 ⑩出口側配管 外管2: 垂直部-外管1 ⑪出口側配管 外管2: 垂直部-長手縫手 ⑫出口側配管 外管2: 水平部 ⑬出口側配管 外管2: 水平部-外管1 ⑭出口側配管 外管2: 水平部-長手縫手	C010AY C020AY C022AY L023AY, L024AY C043AY C044AY L045AY, L046AY C061AY C058AY L063AY, L064AY
			接続用1次アルゴンガス系配管 (JMKⅢ2-1-19)	外観検査 寸法検査 耐圧検査	接続用1次冷却系配管(外管1, 外管2) 接続用1次冷却系配管(外管1, 外管2)	— —
8	平成13年8月21日	大洗工学センター	主中間熱交換器 (JMKⅢ2-1-16) 接続用2次冷却系配管 (配管1, 2, 3) (JMKⅢ2-1-18)	外観検査 寸法検査 耐圧検査	主中間熱交換器(A)(B)(遮へい)据付後 主中間熱交換器(A)(B)(本体及び遮へい体) 接続用2次冷却系配管(A)(B)	— — —
			接続用2次ナトリウム充填及び トレーン系配管(配管1, 2) (JMKⅢ2-1-21)	据付検査	接続用2次ナトリウム充填及びトレーン系配管 (A)(B)	— —
			2次ナトリウム充填及びトレーン系配管 止弁 (JMKⅢ2-1-21)	据付検査 作動検査	2次ナトリウム充填及びトレーン系配管止弁(A)(B) 2次ナトリウム充填及びトレーン系配管止弁(A)(B)	— —

表 10.1-1 MK-III工事期間中に系統内に混入した酸素量
 (シールバッグ又はキャスク内作業によって混入した酸素量推定値)

系統名	作業区分	バウンダリ開放時間 (h)	酸素混入量 (g)	
1次冷却系	主 IHX	139	181	
2次冷却系	主 IHX	101	58	72
	主冷却器	—	14	

表 10.1-2 MK-III工事期間中に系統内に混入した酸素量
 (MK-III新規据付機器の内面に付着していた酸素量推定値)

系統名	機器名	材質	内表面積 (m ²)	表面付着率 (g/m ²)	表面付着量 (g)	
1次冷却系	主 IHX(1次側)	316FR	1,214	0.33	401	408
	主 IHX 接続配管	SUS304	20	0.33	7	
2次冷却系	主 IHX(2次側)	316FR	988	0.33	326	4,590
	主 IHX 接続配管	STPA24	10	4.18	42	
	DHX 及び接続配管	STBA24 STPA24	1,010	4.18	4,222	

表10.3-1 配管溶接施工条件の比較

項目		1次主冷却系配管 (主中間熱交換器の交換)					2次主冷却系配管 (第3種管)		
		1次主冷却系配管		2次主冷却系配管 (第3種管)			既設配管側 周縫手 (第2種縫手)	主冷却器側 周縫手 (第2種縫手)	既設配管側 周縫手 (第2種縫手)
		内管 (第1種管)	外管 (第3種管)	主HX側 周縫手 (第2種縫手)	既設配管側 周縫手 (第2種縫手)				
配管材質		SUS304TP	SUS304	←	SUS304TP	STPA24	→	→	→
SUS304TP		SUS304	→	SUS304TP	STPA24	→	→	→	→
溶接方法		TIG溶接	→	→	→	→	→	→	→
溶接時予熱	初層(1P)まで	なし	→	→	→	100°C	なし	→	→
	2層(2P)以降	なし	→	→	→	250°C	なし	→	→
ガス	シールド	Arガス	→	→	→	→	→	→	→
	バックシールド	Arガス	→	→	→	→	→	→	→
後照処理		なし	→	→	→	420°C×2h以上	なし	→	→
溶接後熱処理		なし	→	→	→	220°C/h 300°C 680°C±50°C 0.5h 275°C/h 300°C	700°C±20°C 200°C/h 0.5h 200°C/h 300°C	→	→
非破壊試験	規定試験	放射線透過試験(RT) 透過程探傷試験(PT) (最終層)	放射線透過試験(RT) (最終層)	→	→	→	→	→	→
	耐圧代替試験	浸透探傷試験(PT) (1/2層及び最終層)	浸透探傷試験(PT) (1/2層及び最終層) (母材全面)	→	浸透探傷試験(PT) (1/2層及び最終層)	→	→	→	→
	自主検査	放射線透過試験(RT) (初期又は1/2層)	→	→	→	→	→	→	→
機械試験	縫手引張試験	○	→	×	→	→	→	→	→
	自由曲げ試験	○	→	×	→	→	→	→	→
	型曲げ試験	○	→	×	→	→	→	→	→
	破壊軟性試験	×	→	→	→	→	→	→	→
施工業者		日立製作所	→	→	→	→	三笠重工業	→	→

図一覧

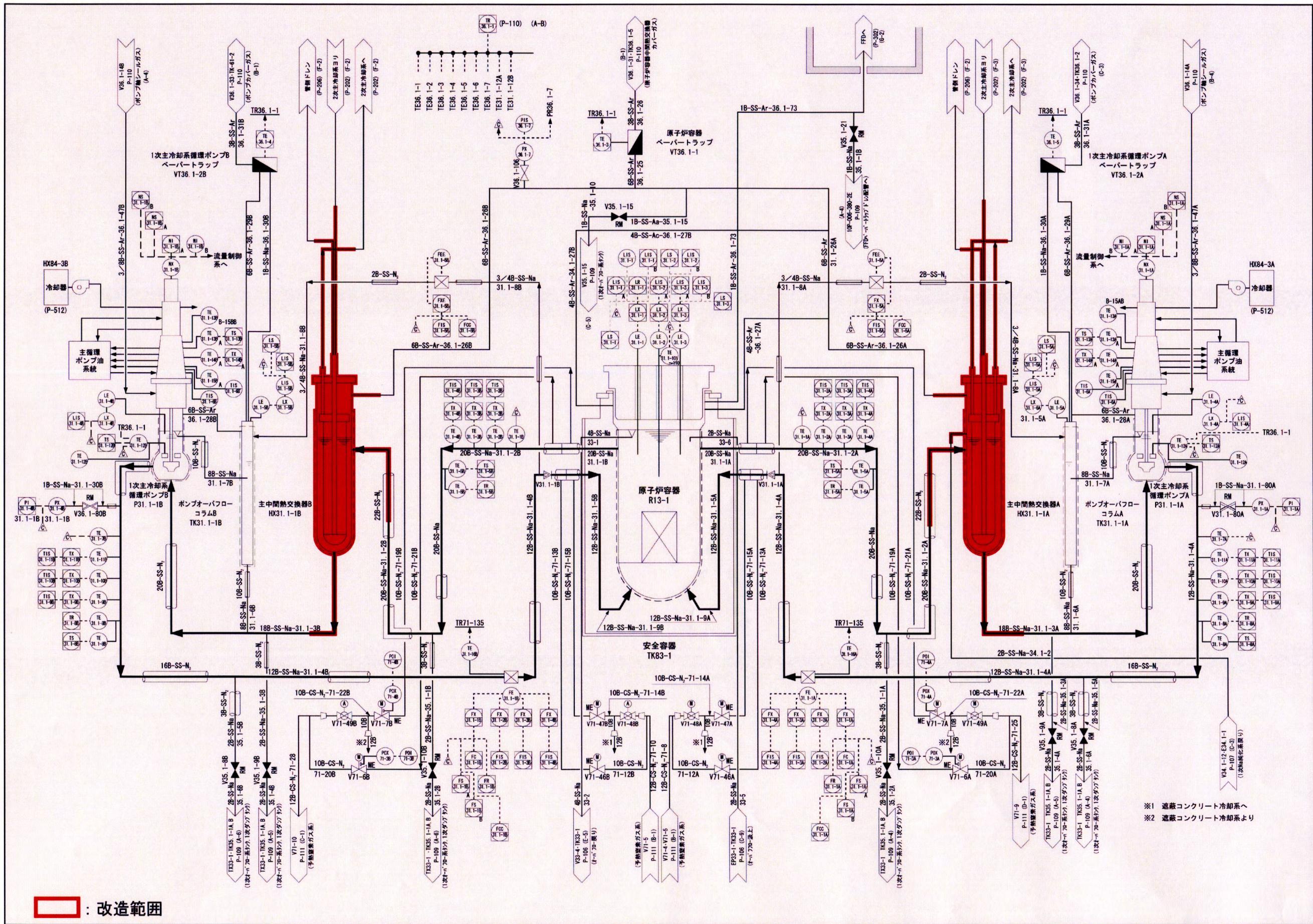


図 2.1-1 1次冷却系機械設備の改造工事範囲

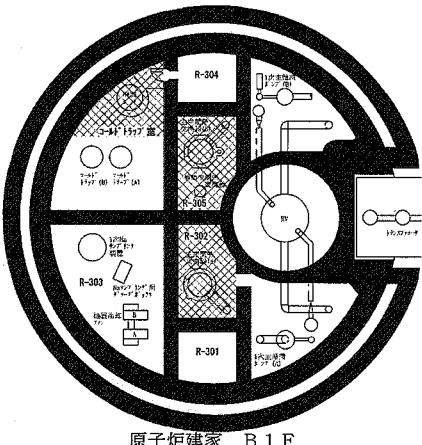
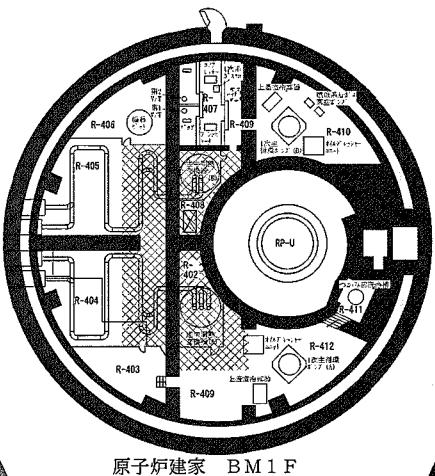
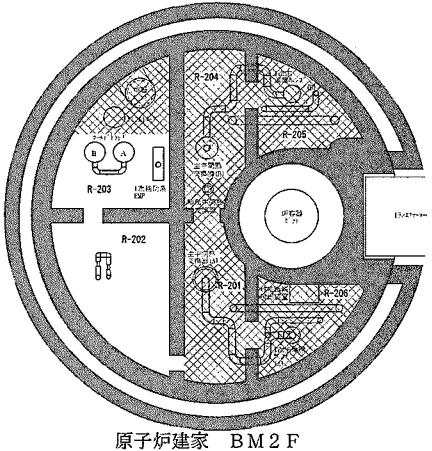


図 2.1-2 1次冷却系機械設備の改造工事エリア

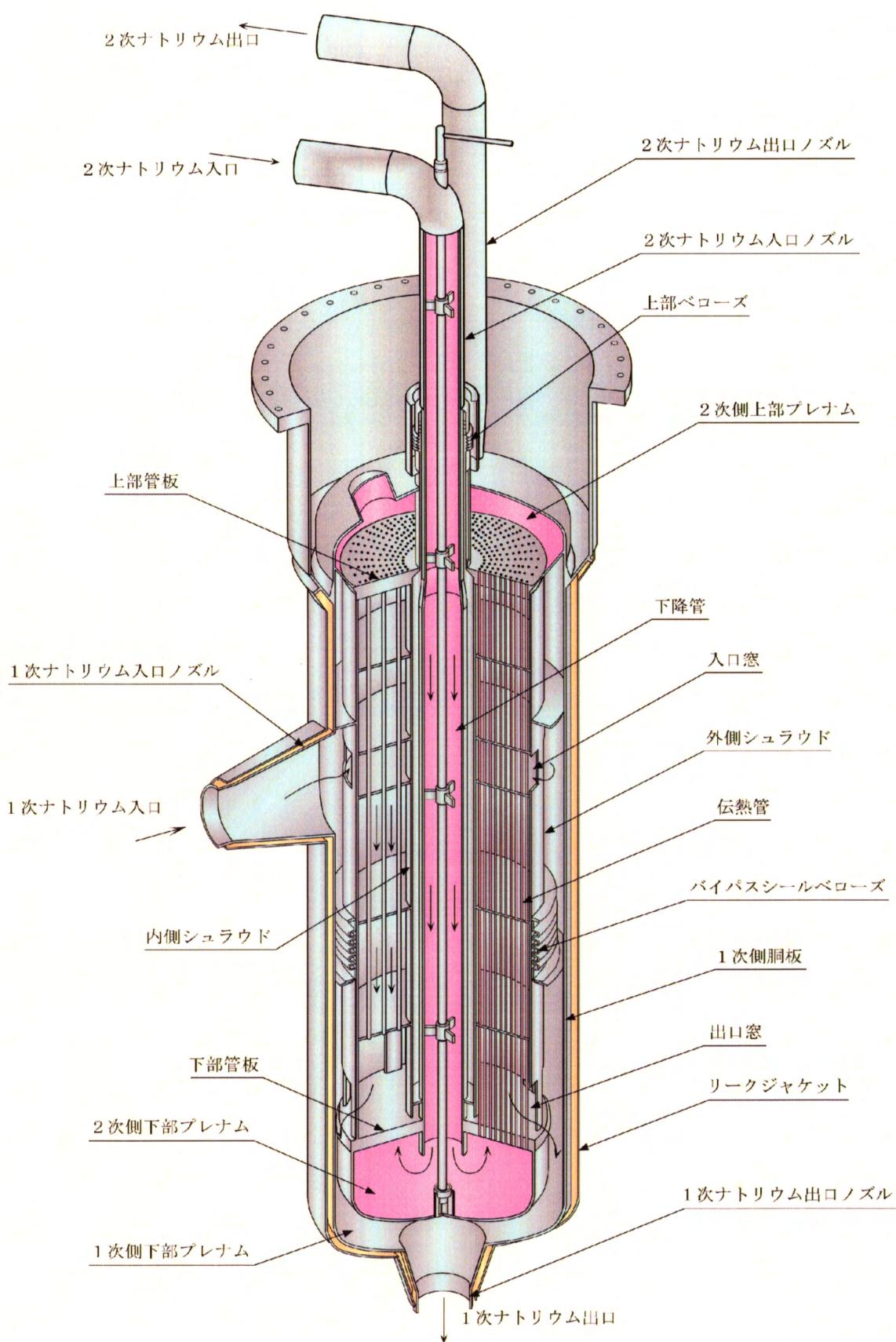


図 2.2-1 主中間熱交換器構造図

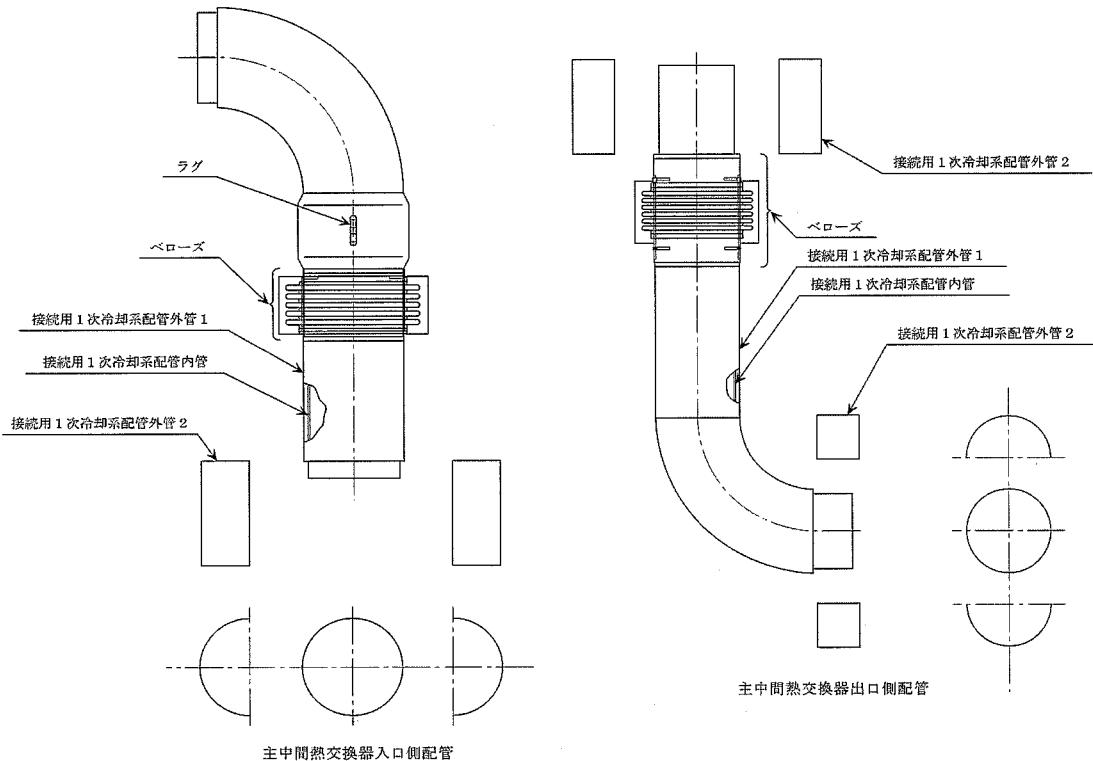


図 2.2-2 接続用1次冷却系配管構造図

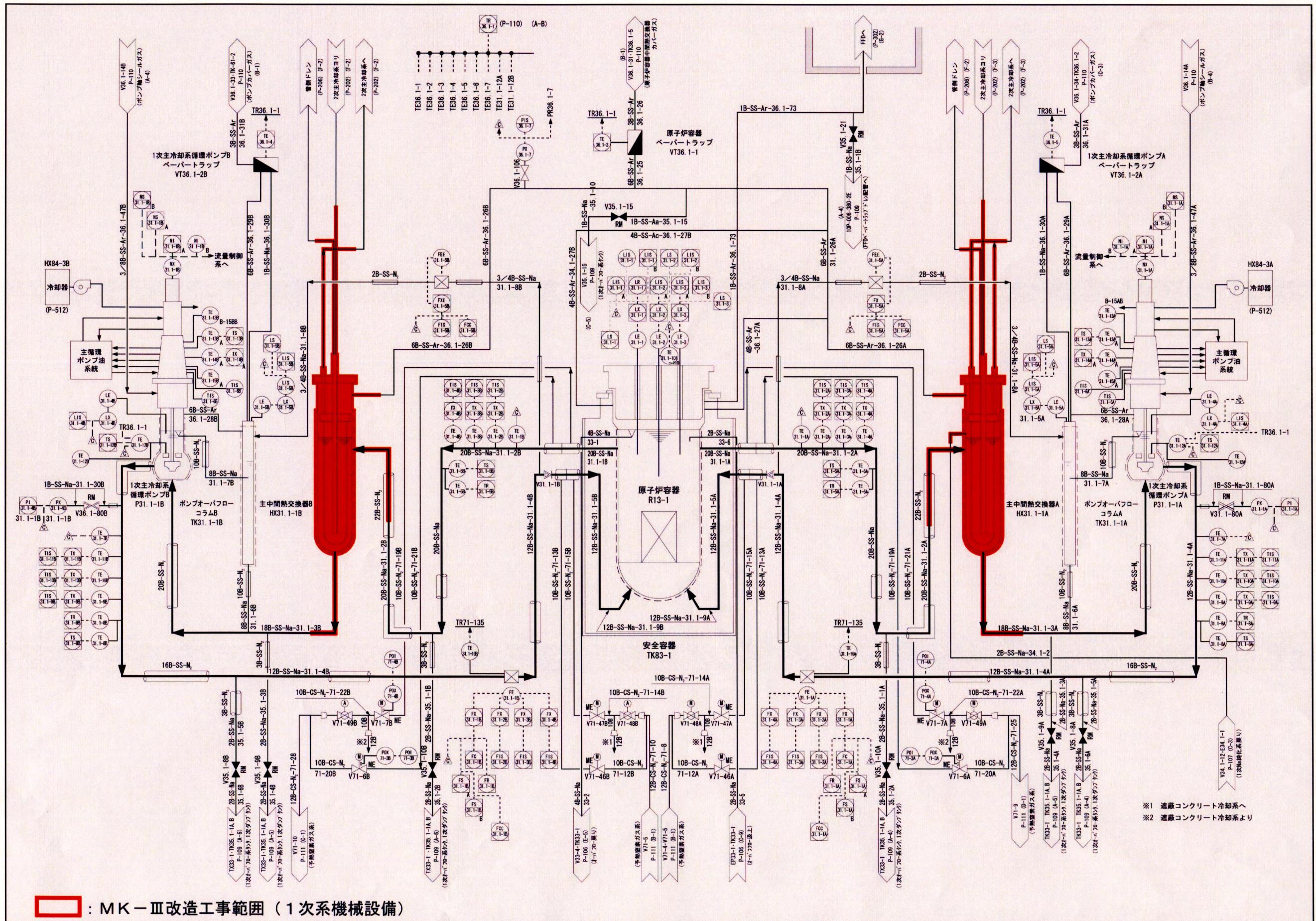


図 2.2-3 1 次主冷却系系統図

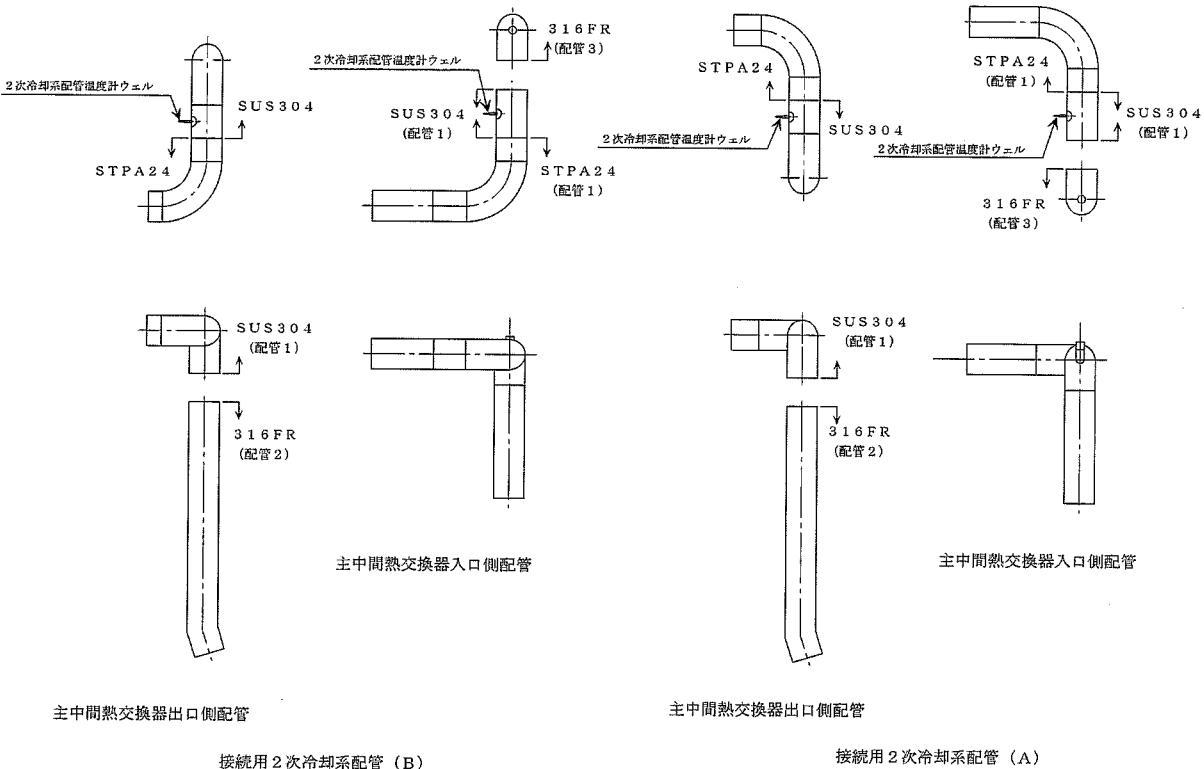
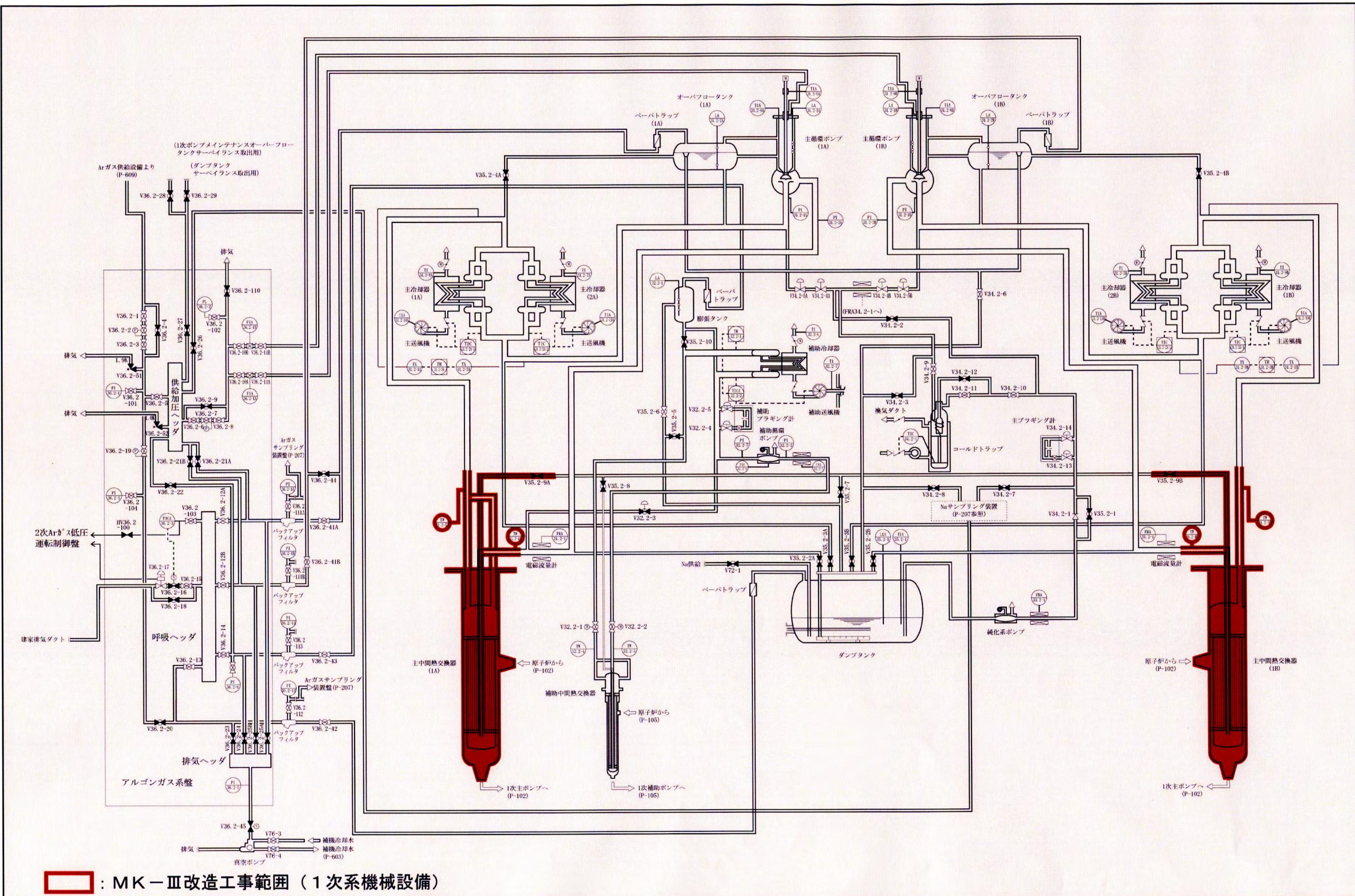
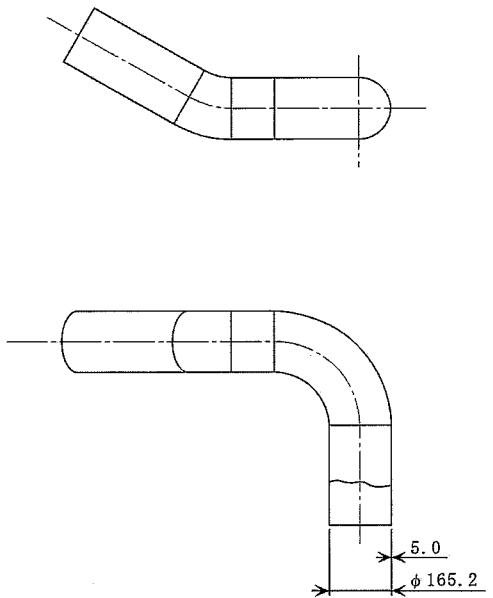
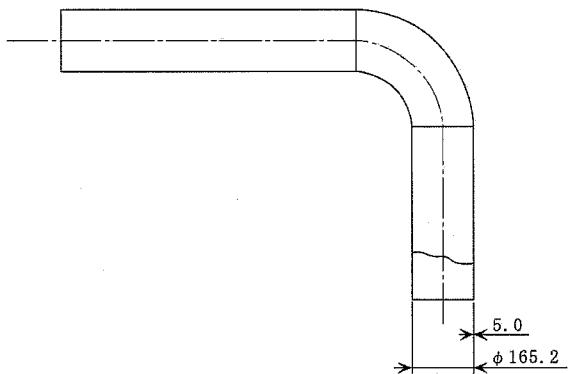


図 2.2-4 接続用 2 次冷却系配管構造図





1次アルゴンガス系配管（B）



1次アルゴンガス系配管（A）

図 2.2-6 接続用1次アルゴンガス系配管構造図

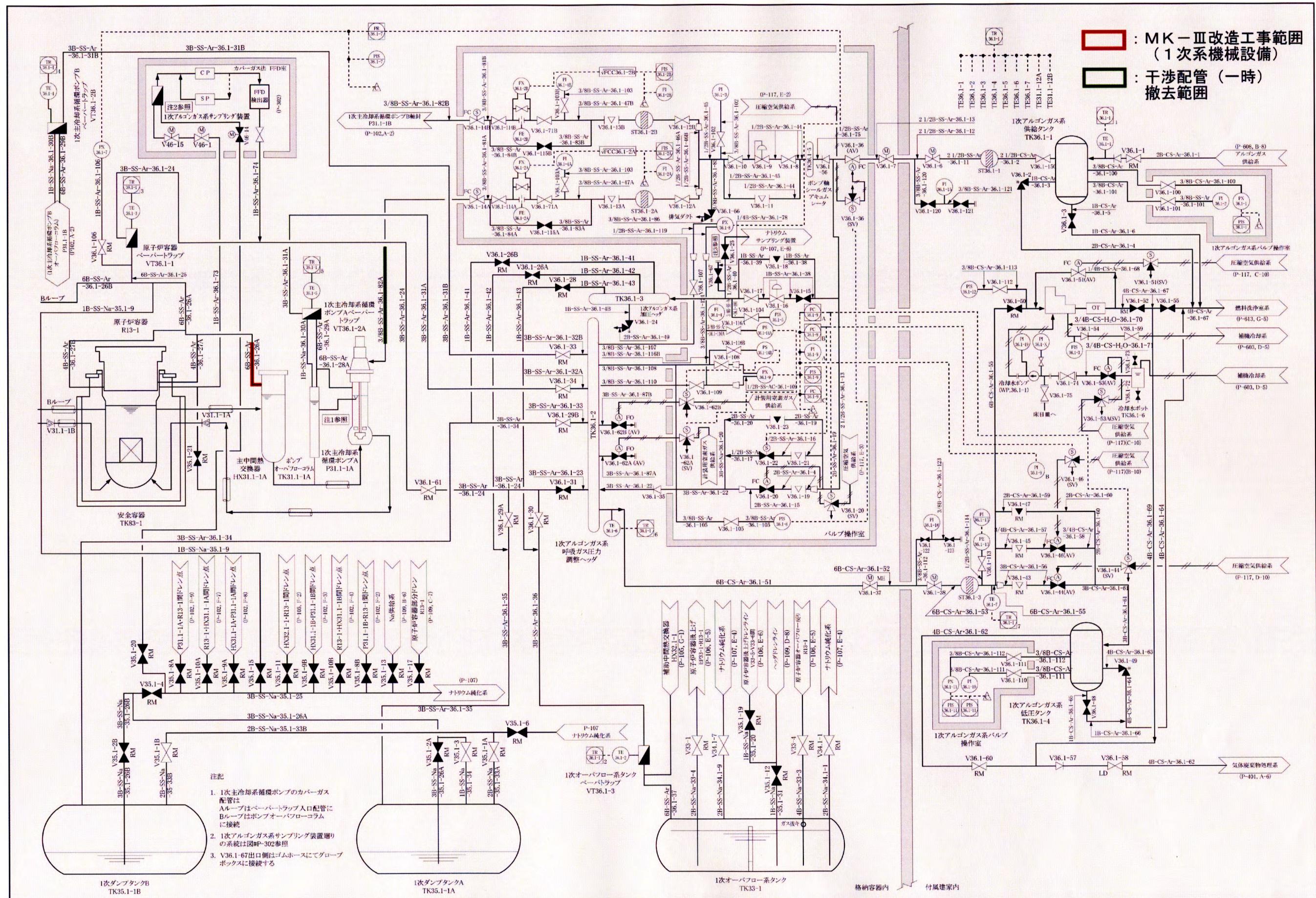


図 2.2-7 1 次アルゴンガス系系統

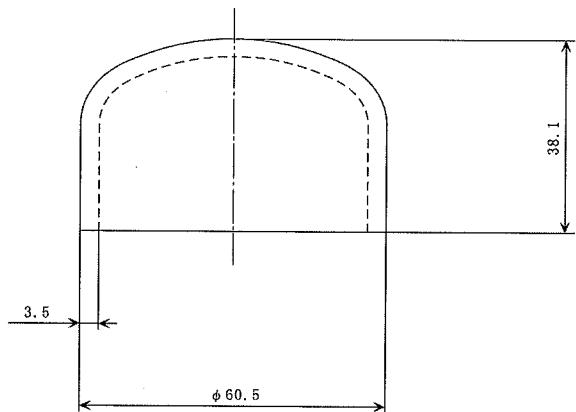


図 2.2-8 1 次冷却材純化系配管閉止キャップ構造図

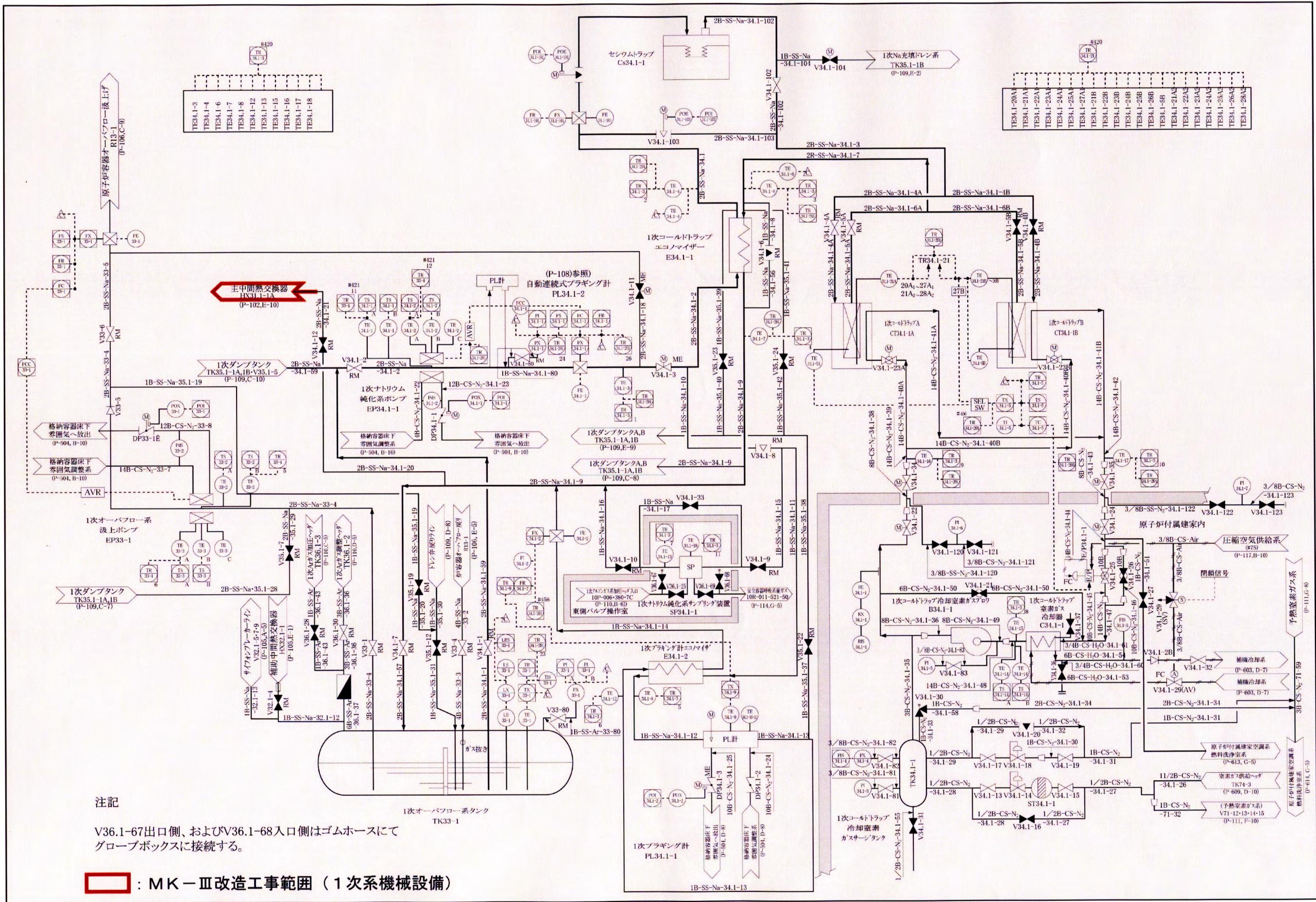
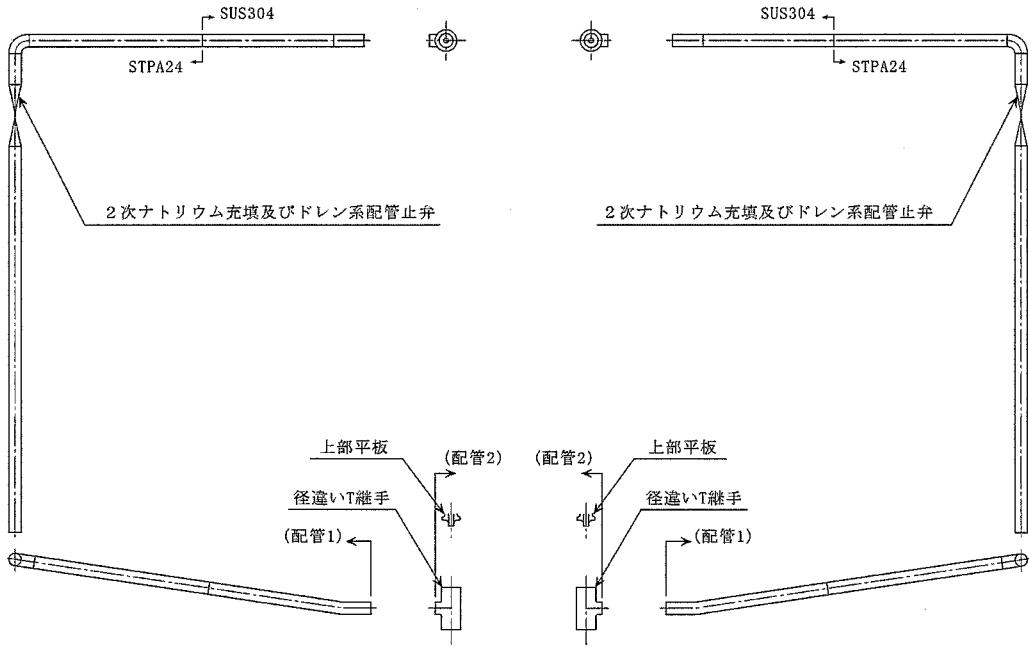


図 2.2-9 1次ナトリウム純化系系統図



接続用 2 次アルゴンガス充填及びドレン系配管 (B)

接続用 2 次アルゴンガス充填及びドレン系配管 (A)

図 2.2-10 接続用 2 次ナトリウム充填及びドレン系配管構造図

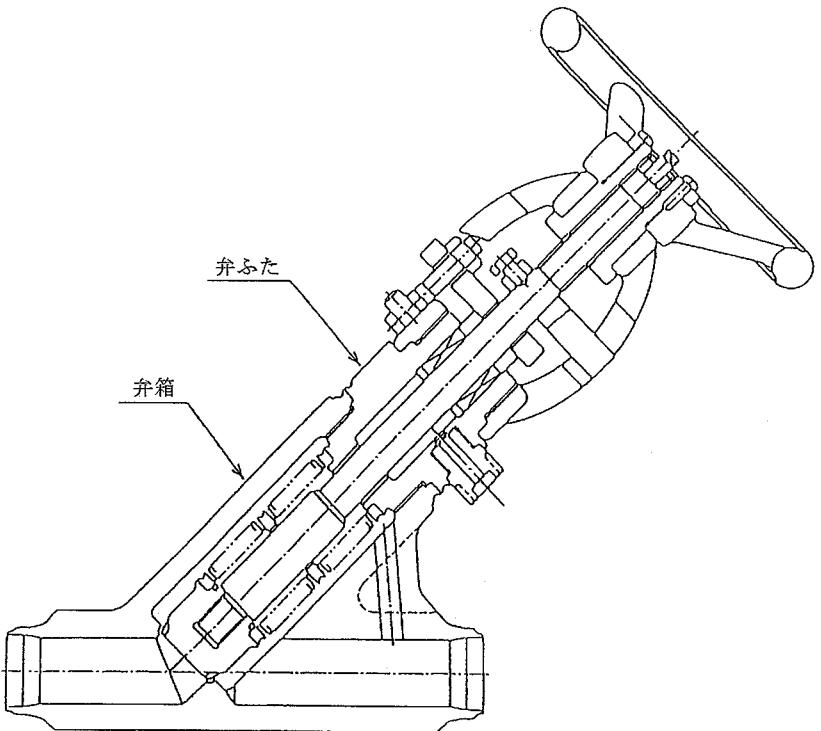


図 2.2-11 2次ナトリウム充填ドレン系配管止弁構造図

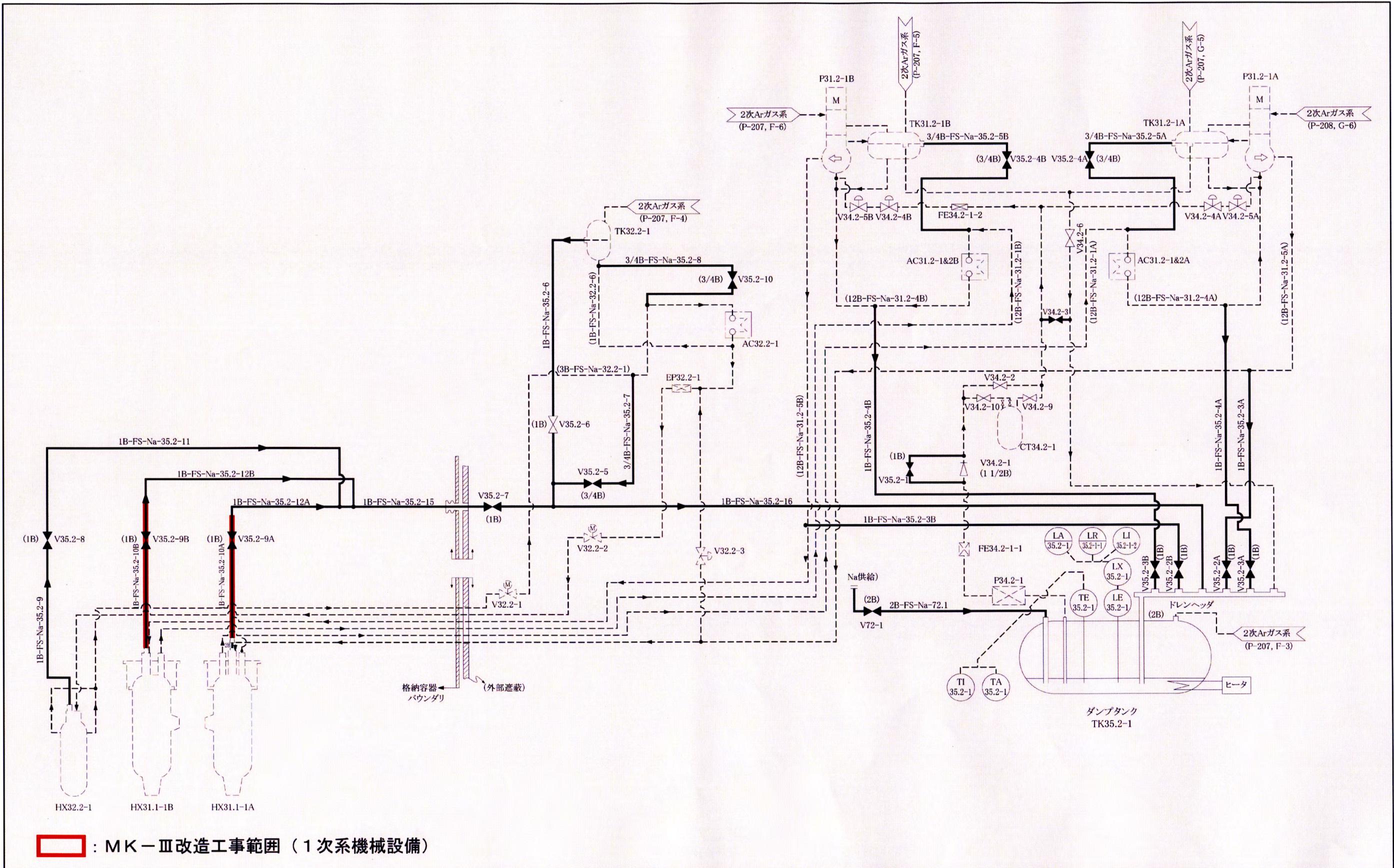


図 2.2-12 2次ナトリウム充填ドレン系系統図

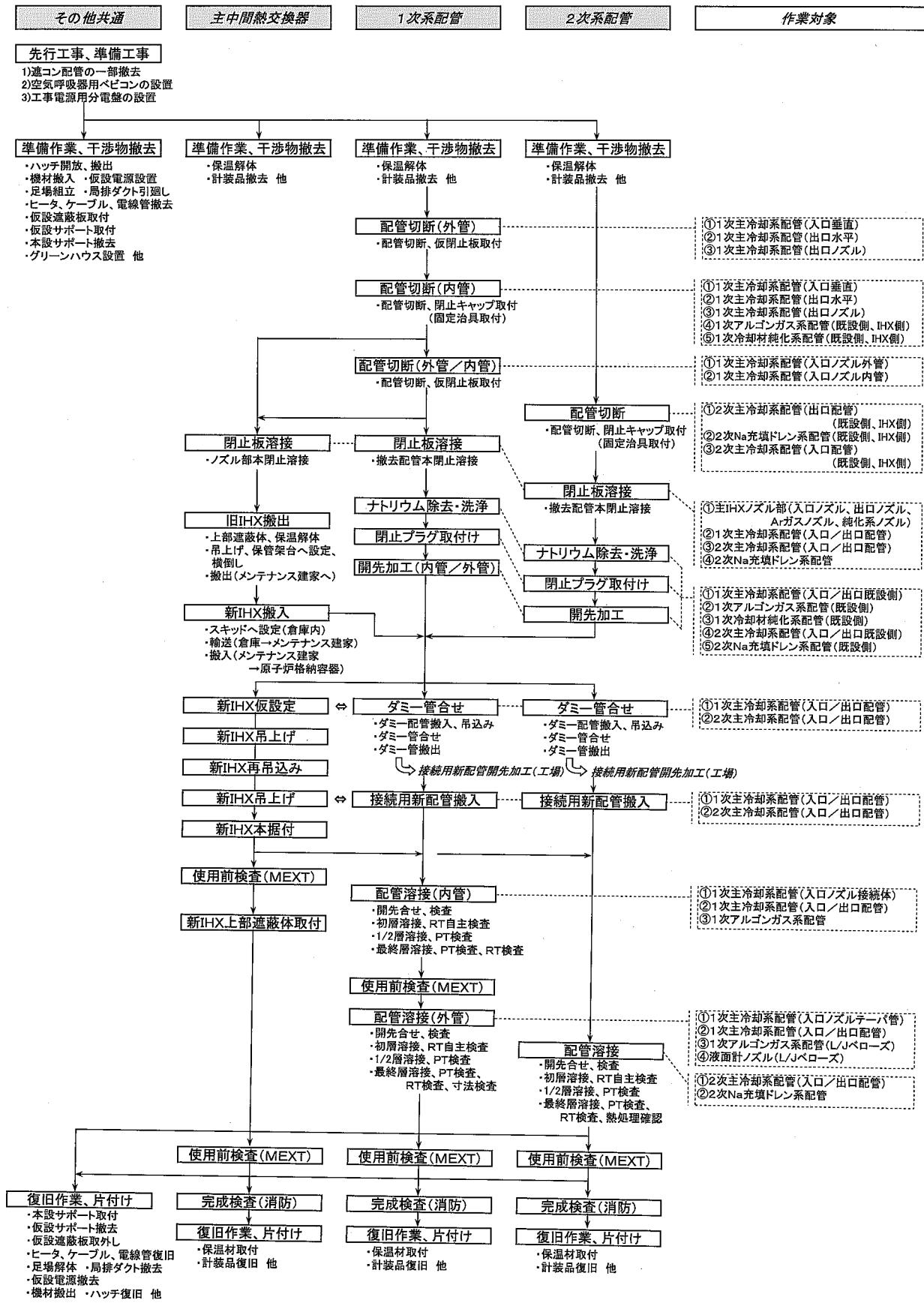


図3.1-1 1次冷却系機械設備の改造工事（主中間熱交換器の交換）フロー

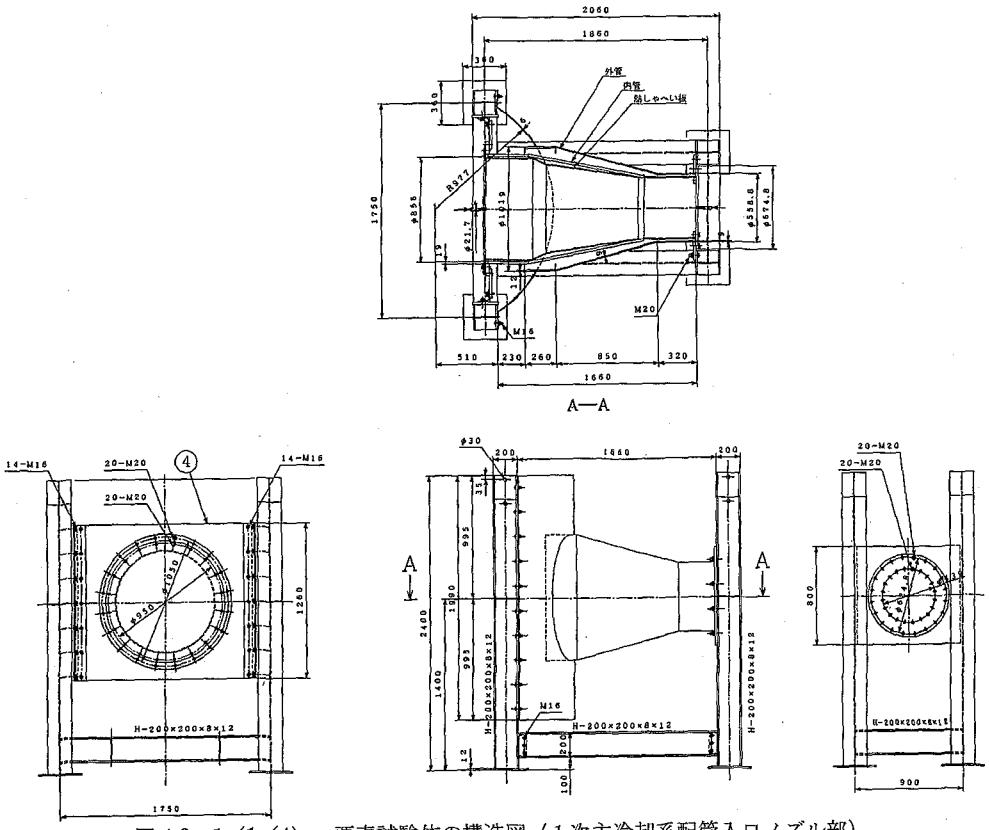


図 4.2-1 (1/4) 要素試験体の構造図（1次主冷却系配管入口ノズル部）

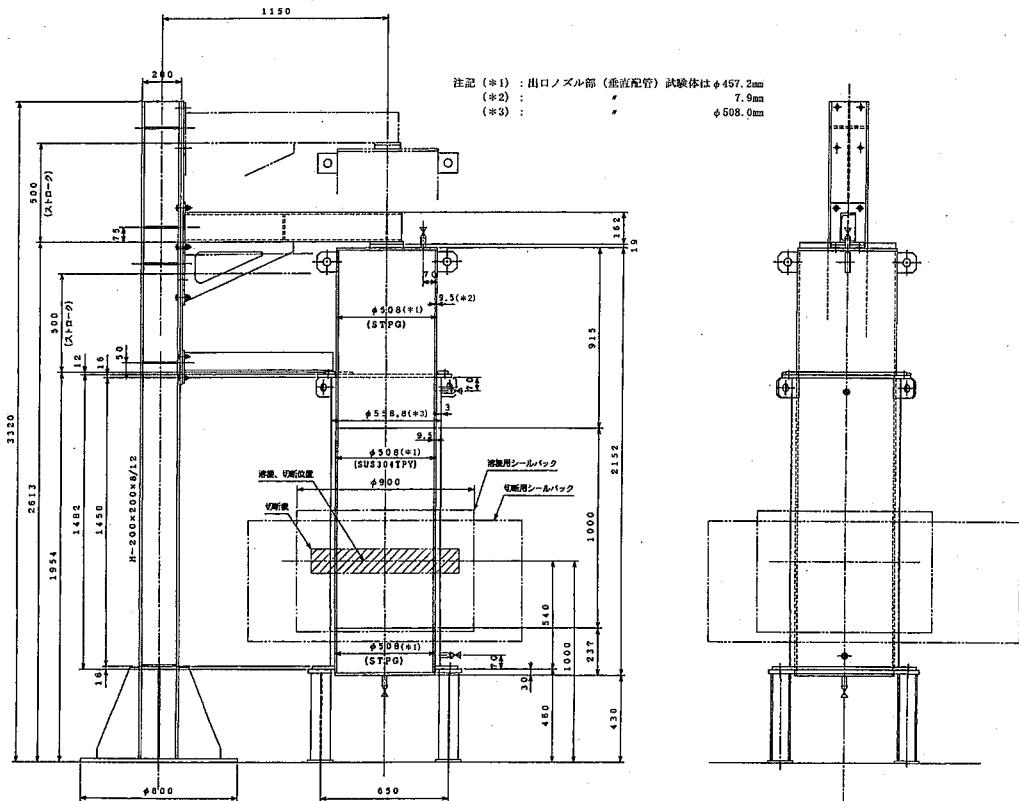


図 4.2-1 (2/4) 要素試験体の構造図 (1 次主冷却系入口配管垂直部及び出口ノズル部)

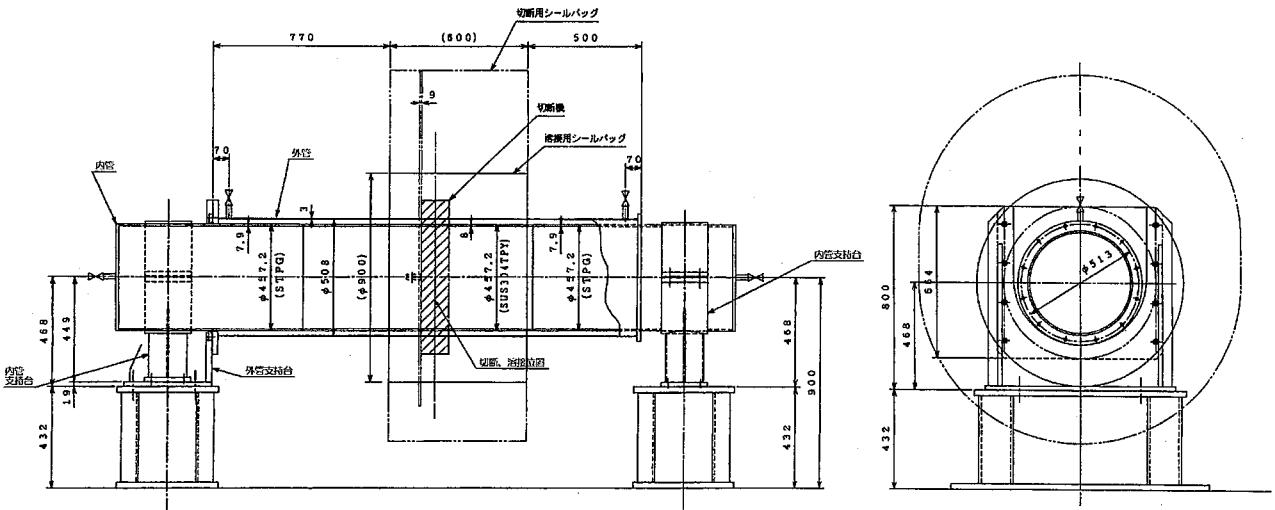


図 4.2-1 (3/4) 要素試験体の構造図 (1次主冷却系出口配管水平部)

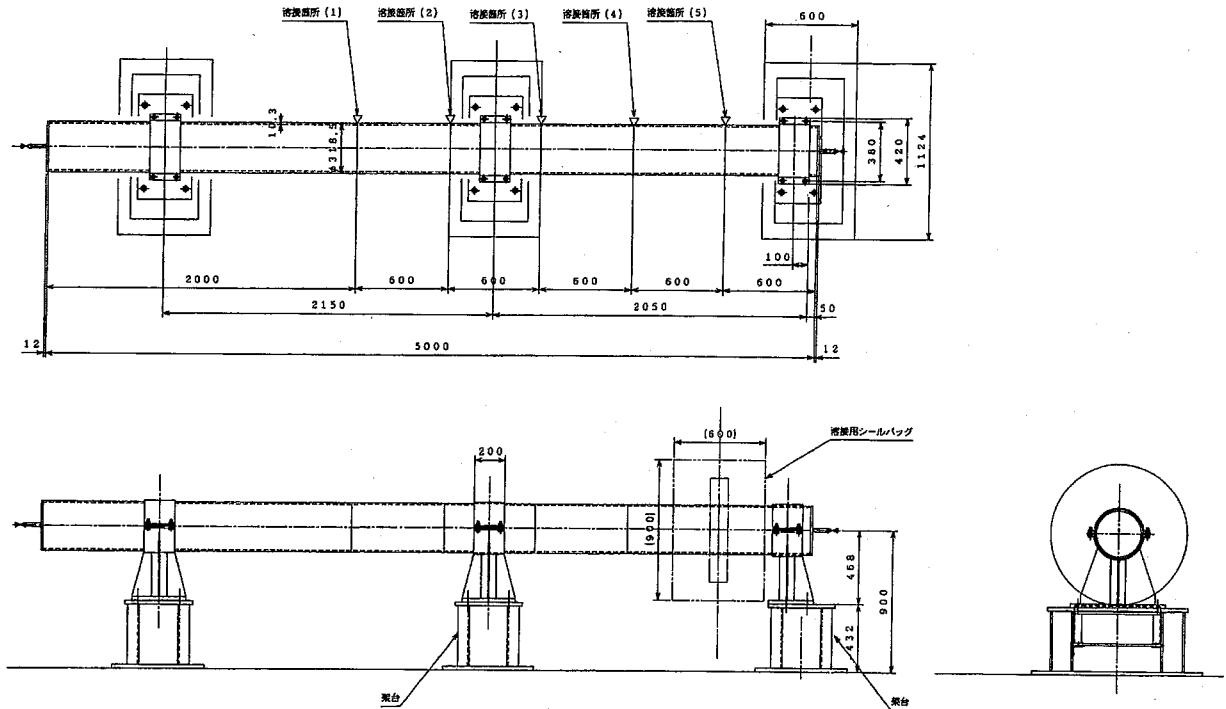


図 4.2-1 (4/4) 要素試験体の構造図 (2 次主冷却系配管 (STPA24))

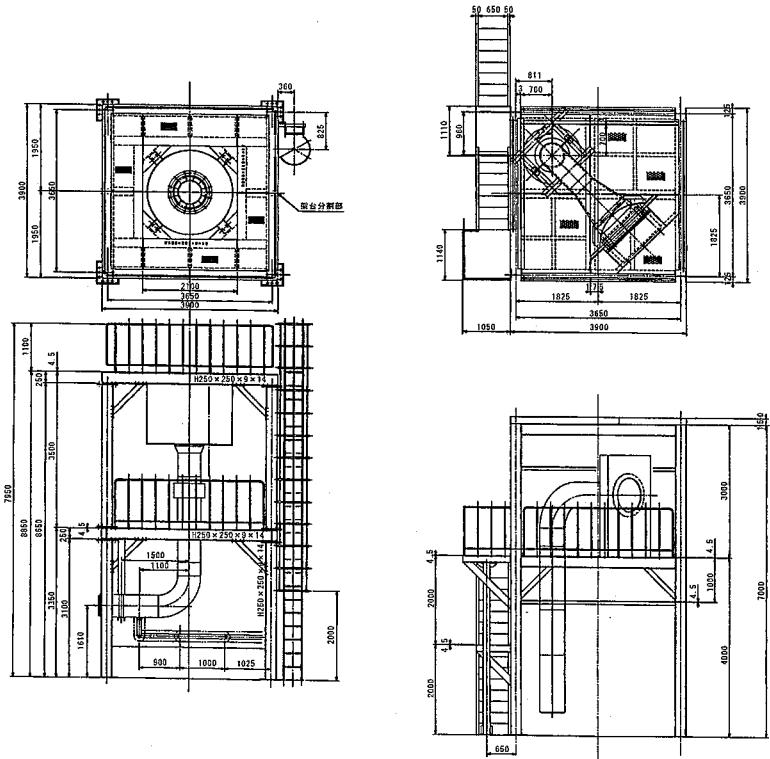


図4.2-2 フルモックアップ試験体の構造図（1次主冷却系入口側配管及び出口側配管）



出口ノズル部（垂直部）



出口側配管モックアップ試験体



出口配管（水平部）



入口側配管モックアップ試験体



入口ノズル部



入口配管（垂直部）

図4.2-3 フルモックアップ試験体の製作状況

【配管切断】1次主冷却系配管入口配管垂直部

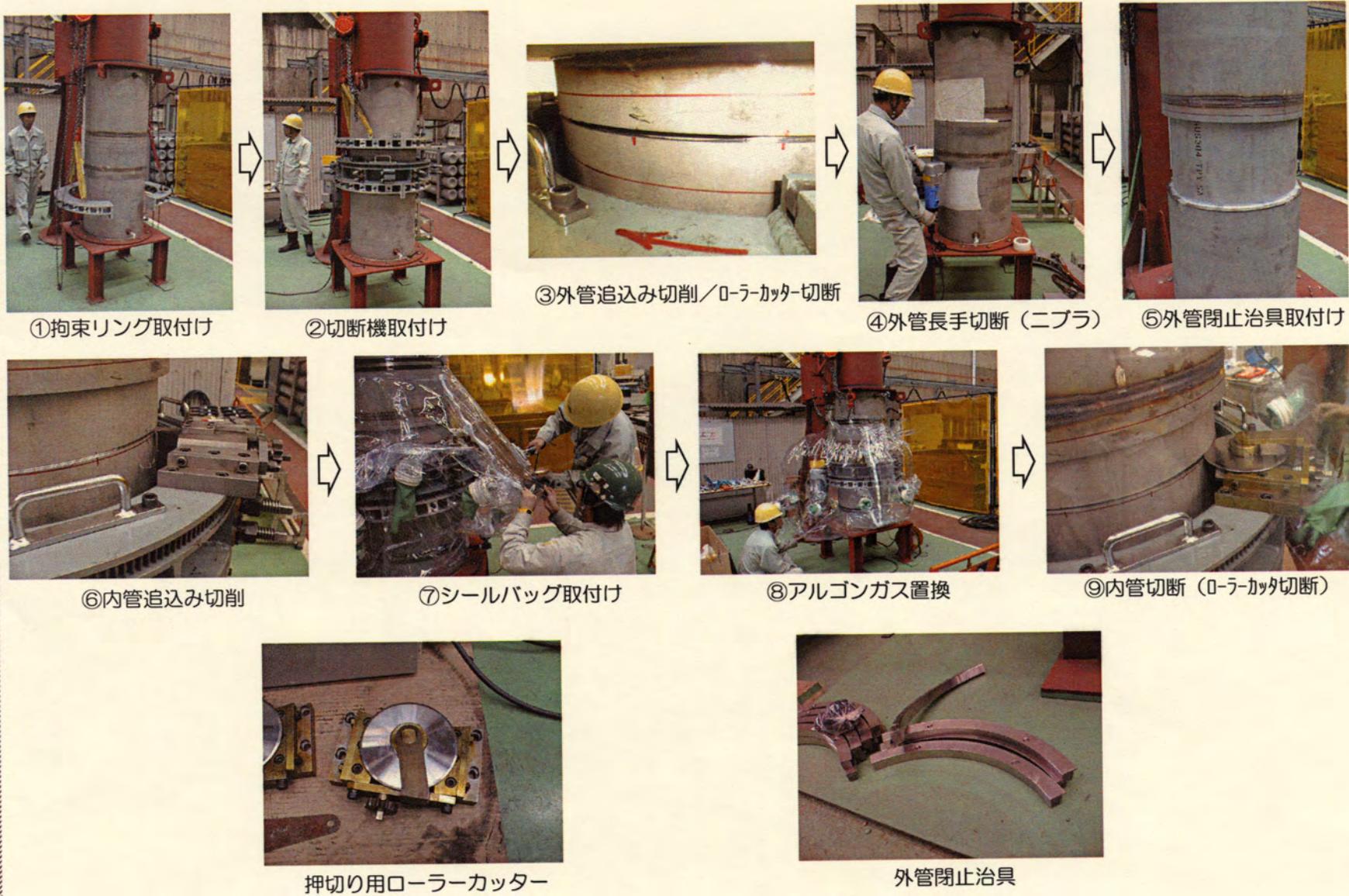
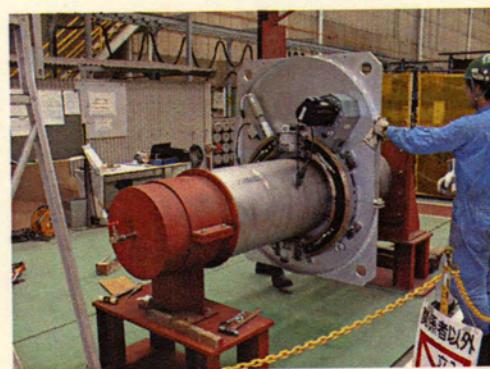


図4.4-1 (1/5) 要素試験体によるモックアップ試験状況

【配管切断】1次主冷却系配管 出口配管水平部



①切断機ベース取付け



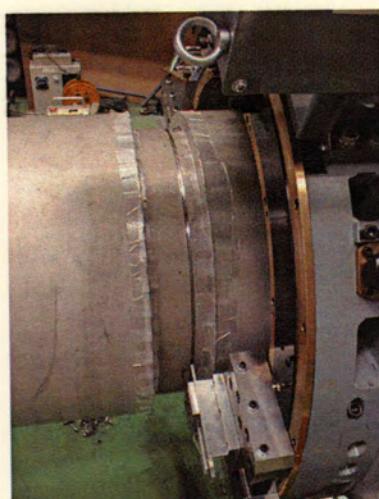
②切断機取付け



③外管切断（バイト切断）



④外管長手切断（二プラ切断機）



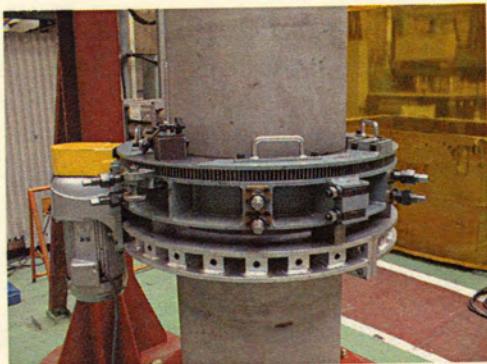
⑤内管追込み切削



⑥内管切断（バイト切断）

図4.4-1 (2/5) 要素試験体によるモックアップ試験状況

【配管切断】1次主冷却系配管 出口ノズル部



①拘束リング・切断機取付け



②外管切断（バイト切断）



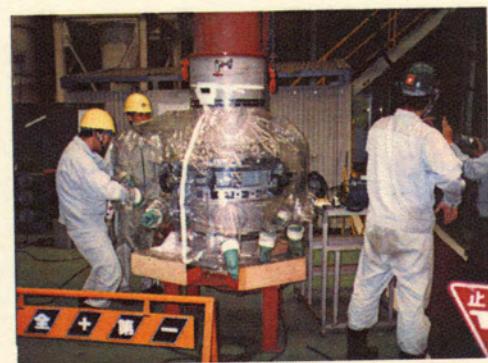
切断用刃物台
(左：高位、中央：中位、右：低位)



③内管追込み切削



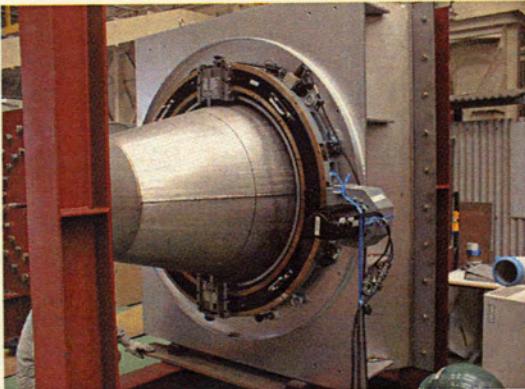
④シールバッグ取付け
(ハンドシーラー圧着状況)



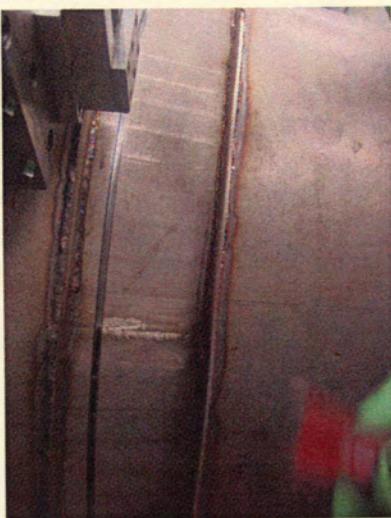
⑤内管切断（バイト切断）

図4.4-1 (3/5) 要素試験体によるモックアップ試験状況

【配管切断】1次主冷却系配管 入口ノズル部



①切断機ベース・切断機取付け



④内管追込み切削



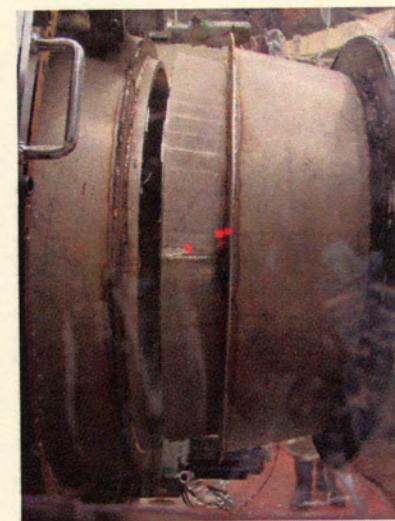
②外管切断（バイト切断）



③外管閉止治具溶接



⑤シールバッグ取付け



⑥内管切断
(切斷完了後、開口部のギャップ拡張状況)

図4.4-1 (4/5) 要素試験体によるモックアップ試験状況

【配管溶接】1次主冷却系配管／2次主冷却系配管



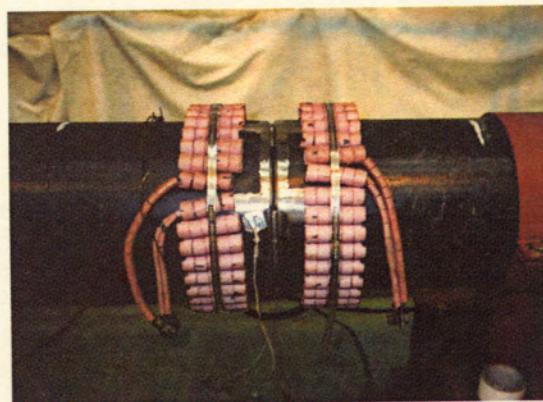
①アルゴンガス置換作業



②溶接作業



③溶接作業（圧力調整）



④予熱ヒータ取付け (STPA24配管溶接)



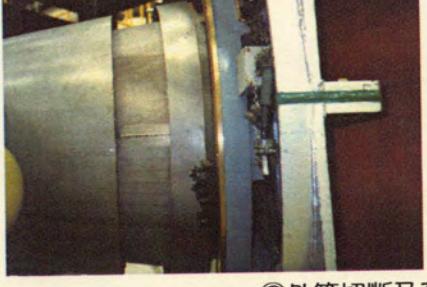
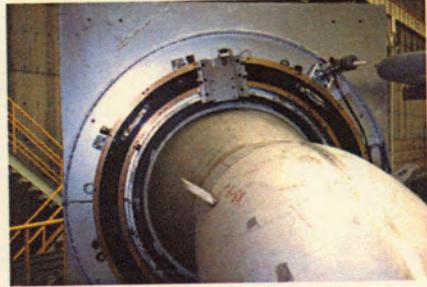
⑤配管温度測定 (STPA24配管溶接)

図4.4-1 (5/5) 要素試験体によるモックアップ試験状況

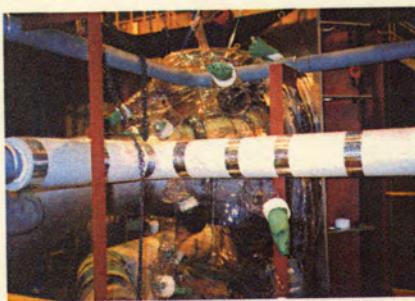
1次主冷却系配管 入口ノズル部



①切断機ベース及び切断機取付け状況



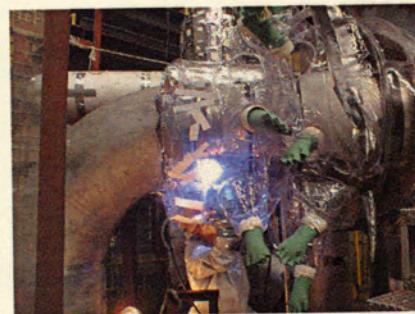
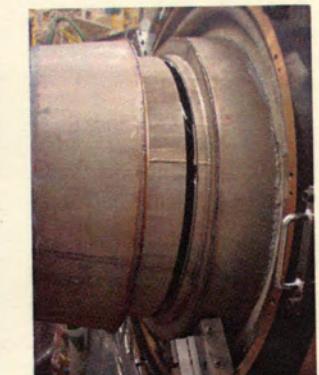
②外管切断及び外管閉止板溶接



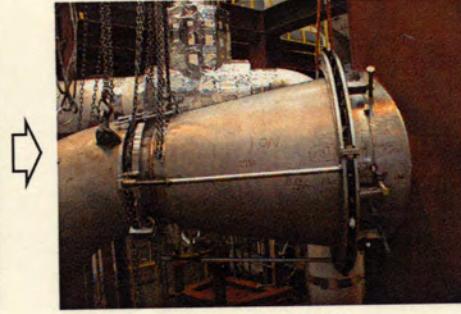
③シールバッグ取付け及びアルゴンガス置換状況



④内管切断（タガネによる切り残し部の切断状況）



⑤内管初層溶接



⑥外管FU状況

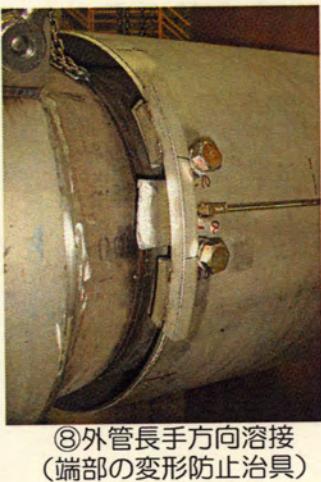


⑦外管長手方向溶接



図4.4-2 (1/4) フルモックアップ試験状況

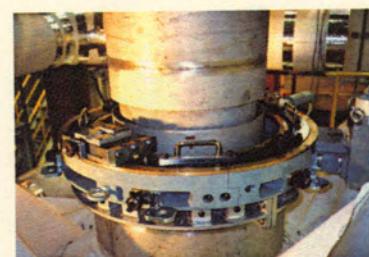
1次主冷却系配管 入口ノズル部

⑧外管長手方向溶接
(端部の変形防止治具)

⑨外管周方向溶接

⑩入口水平外管開先合せ
(スペーサブロック取付け状況)⑪入口水平外管
長手及び周方向溶接

1次主冷却系配管 出口ノズル部

①拘束リング、切断機
取付け状況

②外管切断(バイト切断)

③シールバッグ取付け、
～内管切断(バイト切断)

④溶接用シールバッグ取付け

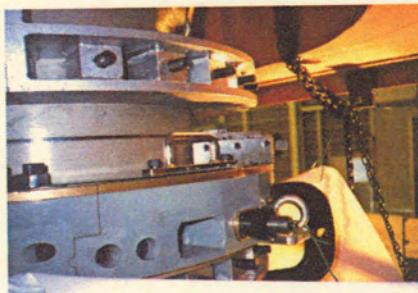


⑤内管初層溶接

図4.4-2 (2/4) フルモックアップ試験状況

1次主冷却系配管 入口配管垂直部

- 17 -



①外管追込み切削



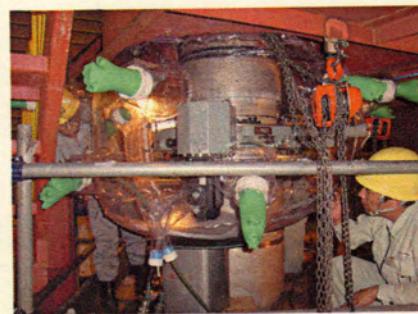
②外管押切り切断
(ローラーカッター)



③外管長手方向切断
(二プラ切断機)



④内管追込み切削



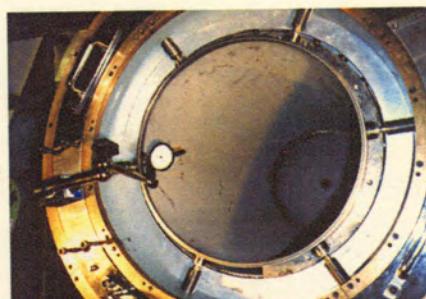
⑤シールバッグ取付け及び
アルゴンガス置換



⑥内管押切り切断
(ローラーカッター)



⑦仮閉止板 (閉止キャップ)
取付け状況



⑧内管開先加工



⑨内管初層溶接



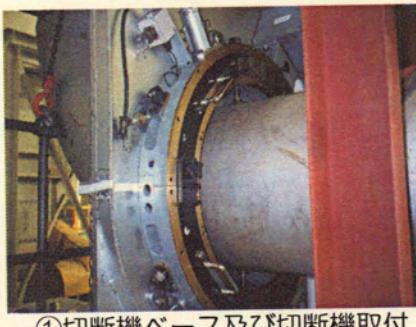
⑩内管溶接後のPT検査



シールバッグ排気用ホース及び止弁
(大口径: 1¹/₄B)

図4.4-2 (3/4) フルモックアップ試験状況

1 次主冷却系配管 出口配管水平部



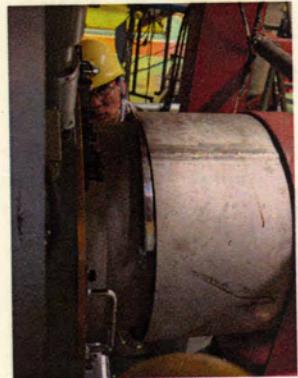
①切断機ベース及び切断機取付



②外管切断（バイト切断）



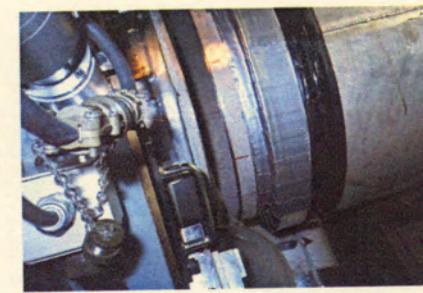
③外管長手切断（ニブラ切断機）



④外管仮閉止治具取付け



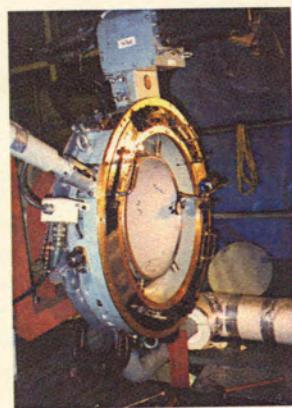
⑤内管追込み切削、シールバッグ取付け、アルゴンガス置換



⑥内管切断（バイト切断）



⑦固定治具取付け状況



⑧内管開先加工



⑨内管初層溶接

⑩外管開先合せ
(スペーサーブロック取付け)

⑪外管溶接（1/2層溶接）

図4.4-2(4/4) フルモックアップ試験状況

【配管切断用シールバッグ】

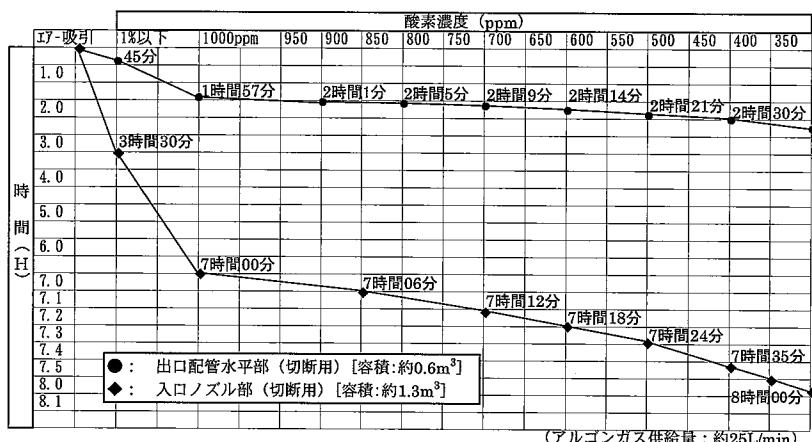
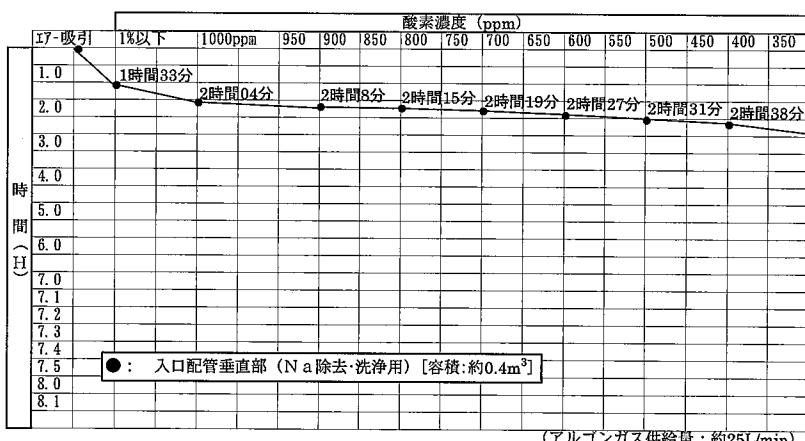
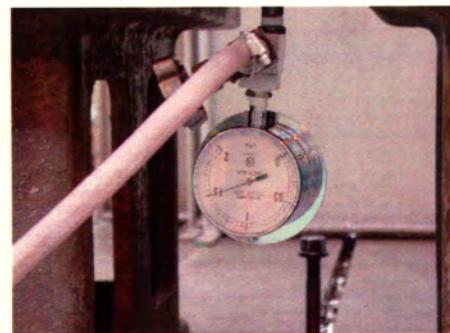
【N_a除去・洗浄用シールバッグ】

図4.4-3 アルゴンガス置換の作業時間と酸素濃度

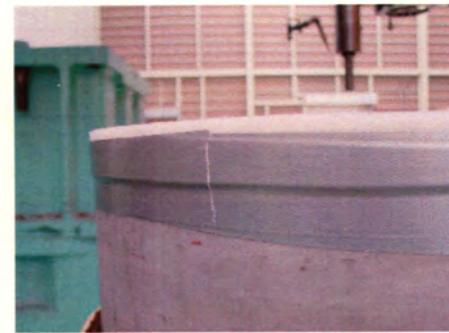
①閉止キャップ



閉止キャップ耐圧試験状況



内圧1.5kPa加圧状況



加圧保持時のシール状況（GEテープ）



加圧保持時の閉止キャップ

②ヘキサプラグ

②ヘキサプラグ



ヘキサプラグ取付け状況

ヘキサプラグ取付け後の加圧状況
(内圧約35kPa)

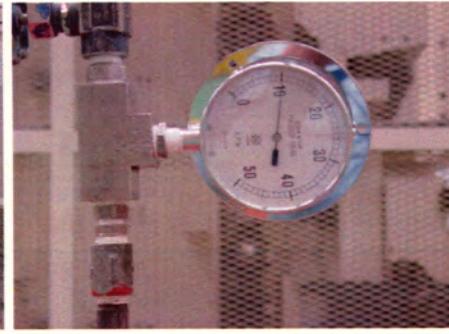
③閉止キャップ+固定治具



固定治具取付けバンドの設置



ヘキサプラグ+固定治具取付け状況



内圧10kPa加圧状況



加圧保持後の固定治具

図4.4-4 仮閉止板（閉止キャップ、ヘキサプラグ）及び固定治具の耐圧試験

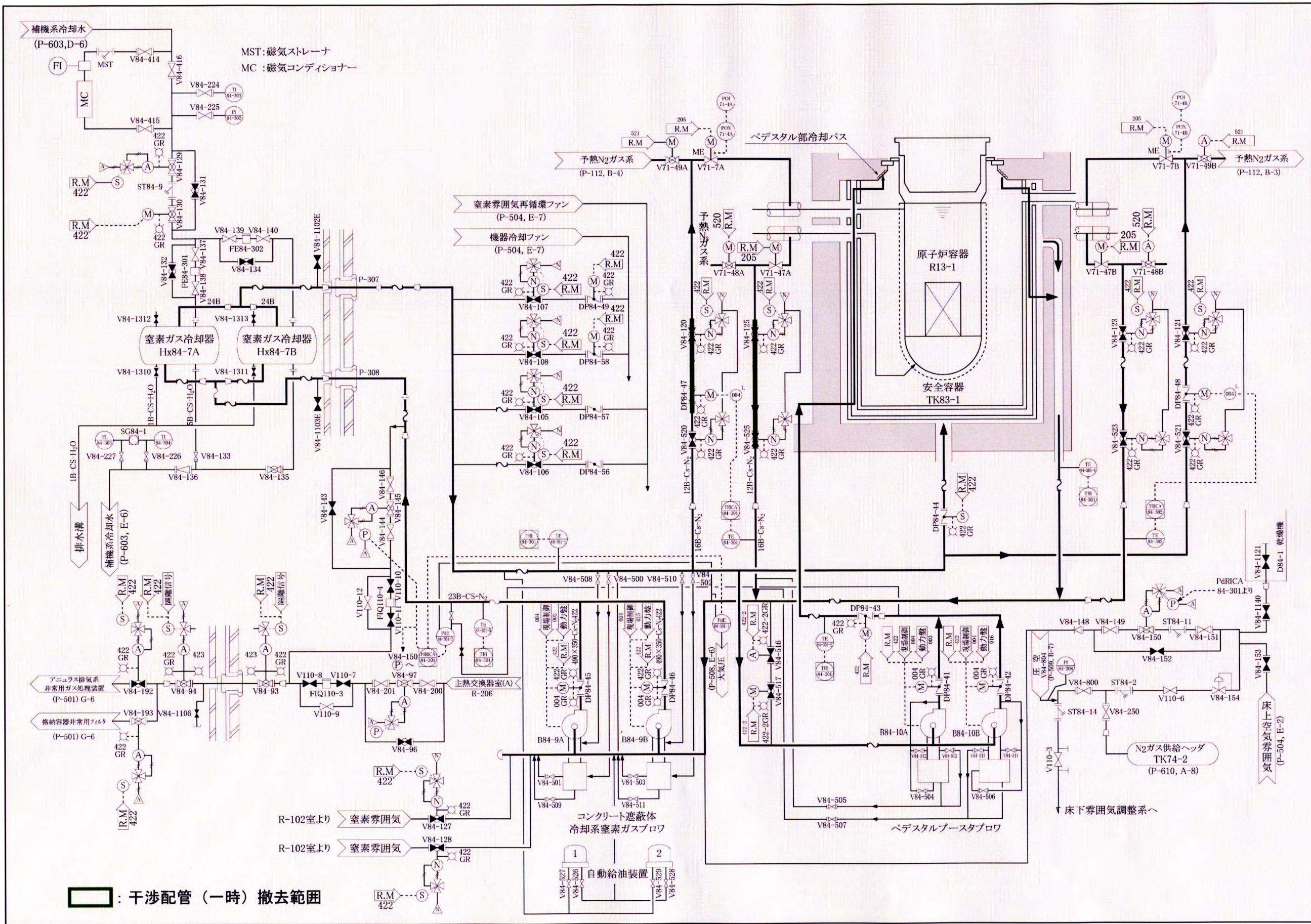
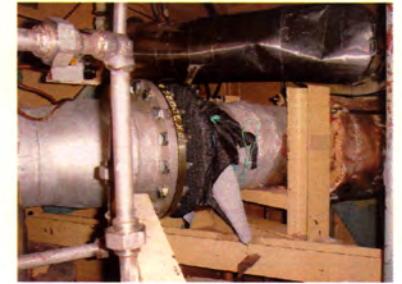


図 5.1-1 遮へいコンクリート冷却系系統図

①遮へいコンクリート冷却系配管の撤去

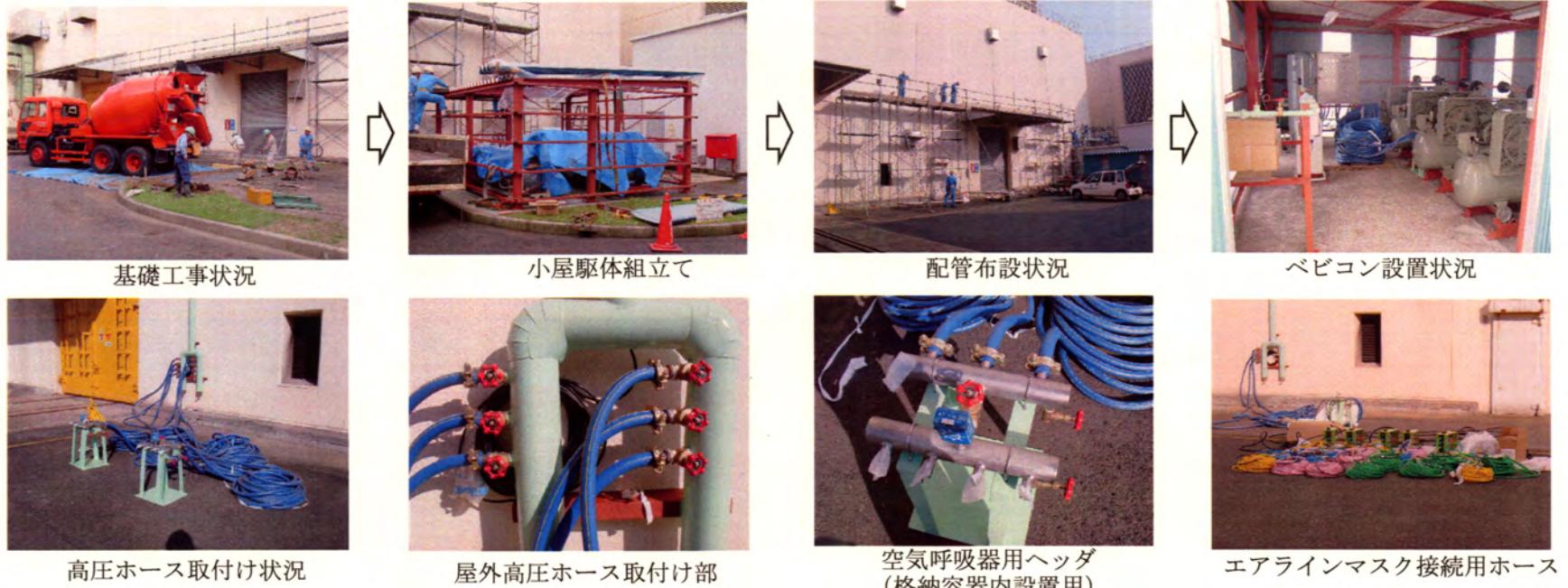


②予熱室素ガス系配管の保温改造



図5.1-2 先行工事の工事状況

① 空気呼吸起用ベビコンの設置



- 183 -

② 工事電源用作業用分電盤



図5.1-3 準備工事の工事状況

①仮設分電盤設置



仮設電源ケーブル引廻し
(R-501室)



仮設電源分電盤①設置状況
(R-501室)

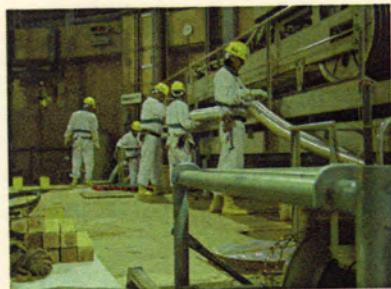


仮設電源分電盤②設置状況
(R-204室)



仮設電源分電盤③設置状況
(R-501室)

②仮設排気設備設置



局所排気ダクトの引廻し状況



局所排気装置

③足場組立て

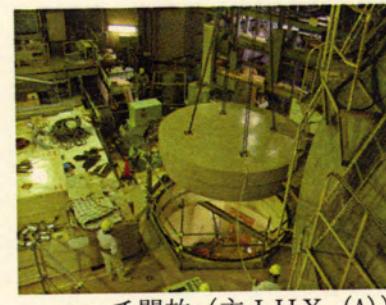


足場組立て

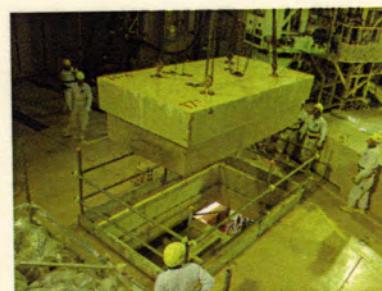
④ハッチ開放・搬出



ハッチ蓋開放（主IHX（A））



ハッチ開放（主IHX（A））



ハッチ開放（主IHX（B））



ハッチ仮置き状況（屋外）

図5.2-1 (1/4) 本体工事の準備作業状況

⑤保溫材解体



図5.2-1 (2/4) 本体工事の準備作業状況

⑥ 配管ヘローズ
固定ボルト取付



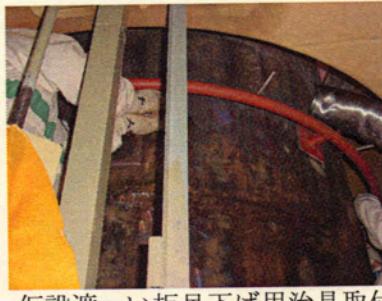
配管ヘローズシッピングボルト取付け
(1次主冷却系出口配管)



配管ヘローズシッピングボルト取付け
(1次主冷却系出口ノズル部)



配管ヘローズシッピングボルト取付け
(1次N a充填ドレン系配管)



仮設遮へい板吊下げ用治具取付け
(主中間熱交換器胴廻り)



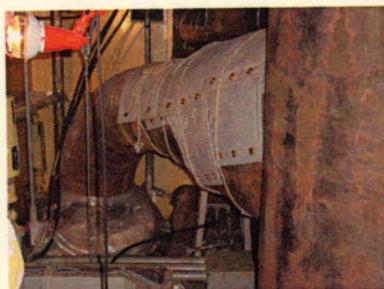
仮設遮へい板設置状況



仮設遮へい板設置状況
(主中間熱交換器胴廻り)



仮設遮へい板設置状況
(主中間熱交換器底部)



仮設遮へい板設置状況
(1次主冷却系入口ノズル部)



仮設遮へい板設置状況
(1次主冷却系入口配管)

図5.2-1 (3/4) 本体工事の準備作業状況

⑧ 仮設サポート取付け



仮設サポート取付け状況
(1次主冷却系入口配管壁貫通部)



仮設サポート取付け状況
(1次主冷却系入口配管垂直部)



仮設サポート取付け状況
(1次主冷却系出口ノズル部)



仮設サポート取付け状況
(1次主冷却系出口配水平部)



仮設サポート取付け状況
(2次主冷却系出入口配管)



仮設サポート取付け状況
(1次Arガス系配管)

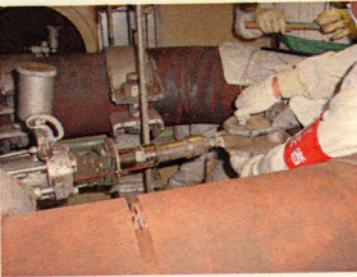
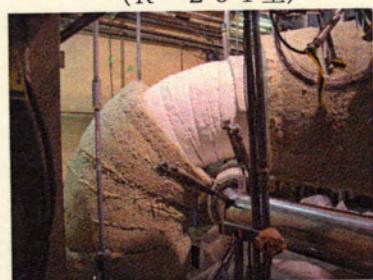


図5.2-1 (4/4) 本体工事の準備作業状況



図5.2-2 (1/2) 機械設備の干渉物の撤去状況

③サポート・架構

サポート撤去状況
(1次主冷却系入口ノズル部)サポート用架構の切断状況
(R-201室)サポート撤去状況
(1次Na純化系配管)サポート撤去状況
(2次主冷却系配管)ライニングの撤去状況
(R-408室)主IHX(A)入口ノズル部と
1次Arガス系配管保温材干渉部

保温止めプレート(主IHX(B))

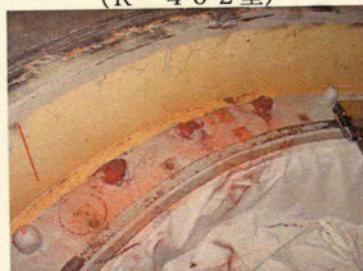
主IHX(B)基礎ボルトキャップ
撤去・改造状況

図5.2-2 (2/2) 機械設備の干渉物の撤去状況

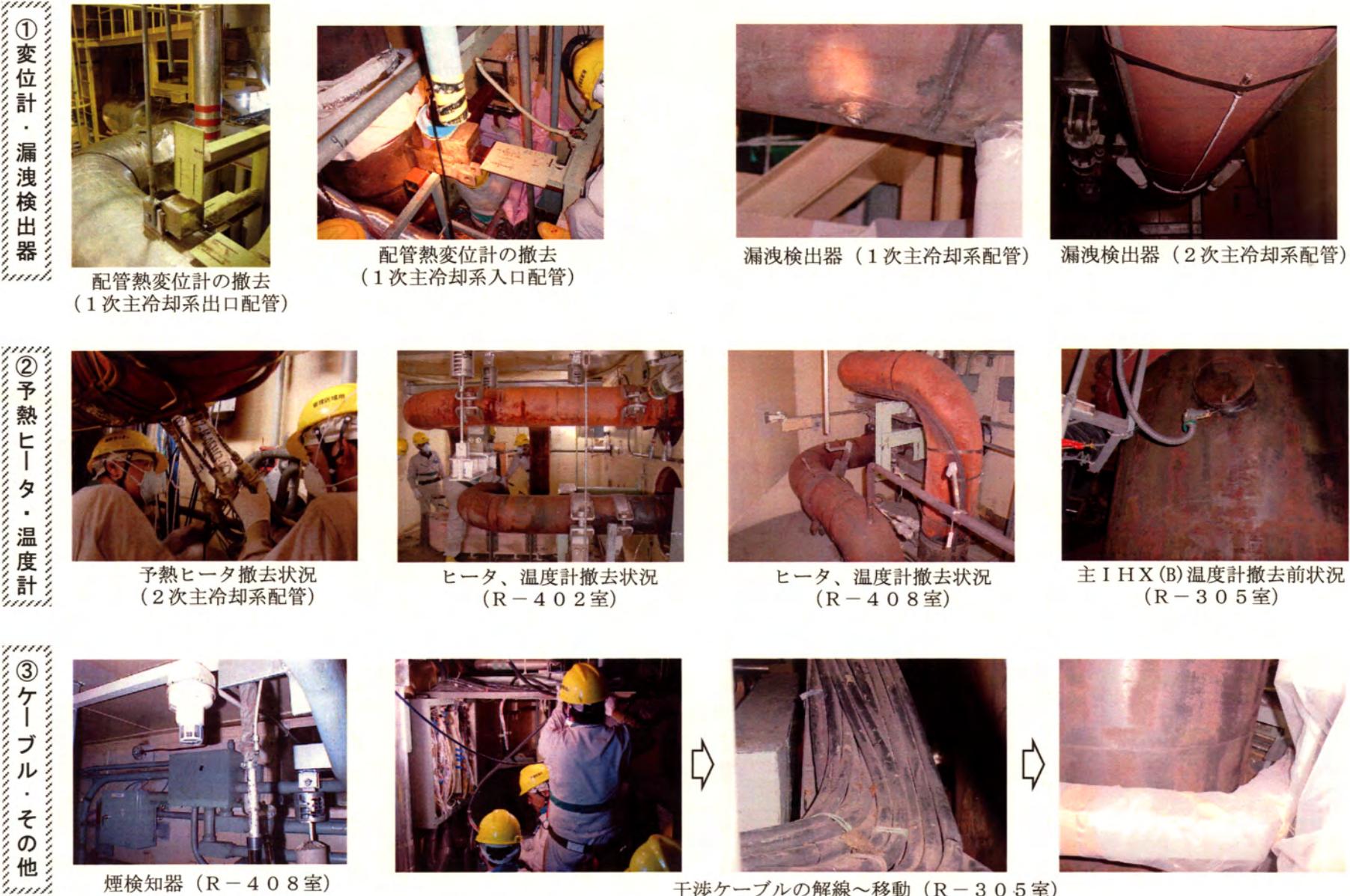
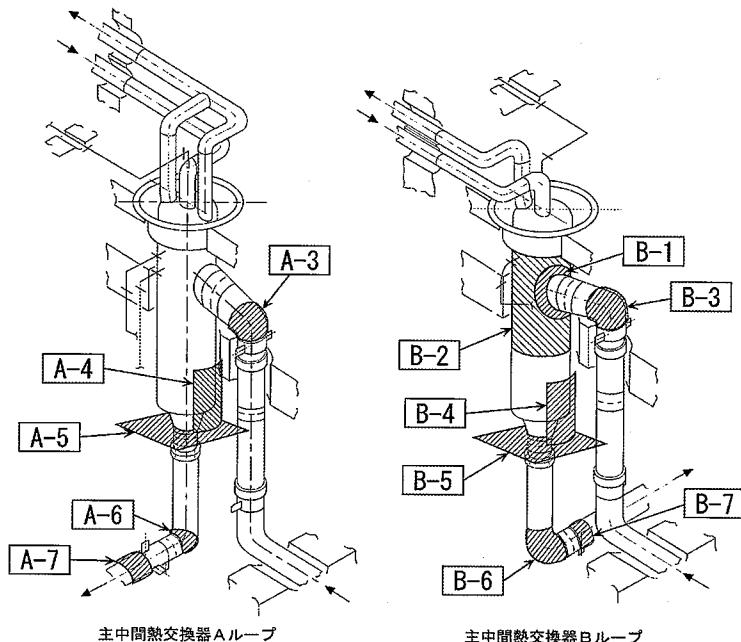


図5.2-3 電気・計装設備の干渉物の撤去状況



仮設遮へい体設置位置		鉛マット(Pb3mm) L960×W360×T23	鉛板(Pb3mm) L1000×W500×T3	鉛袋 L300×W200×T50
A	A-3 1次系入口配管エルボ部	9 (3枚×3列×1重)		
	A-4 主IHX下方胴部(入口配管側)	36 (2枚×9列×2重)		
	A-5 主IHX底部		22 (11枚×2重)	
	A-6 1次系出口配管エルボ部	6 (3枚×2列×1重)		
	A-7 1次系出口配管水平部	18 (3枚×6列×1重)		
	小計	69	22	0
	B-1 1次系入口ノズル部		70	80
B	B-2 主IHX胴部	39 (3枚×13列×1重)		
	B-3 1次系入口配管エルボ部	18 (3枚×3列×2重)		
	B-4 主IHX下方胴部(入口配管側)	18 (2枚×9列×1重)		
	B-5 主IHX底部		77 (11枚×7重)	
	B-6 1次系出口配管エルボ部	6 (3枚×2列×1重)		
	B-7 1次系出口配管水平部	18 (3枚×6列×1重)		
	小計	99	147	80
メンテナンス建室内撤去配管用		57		
小計		57	0	0
合計		225	169	80

図5.2-4 仮設遮へい体の設置位置及び数量

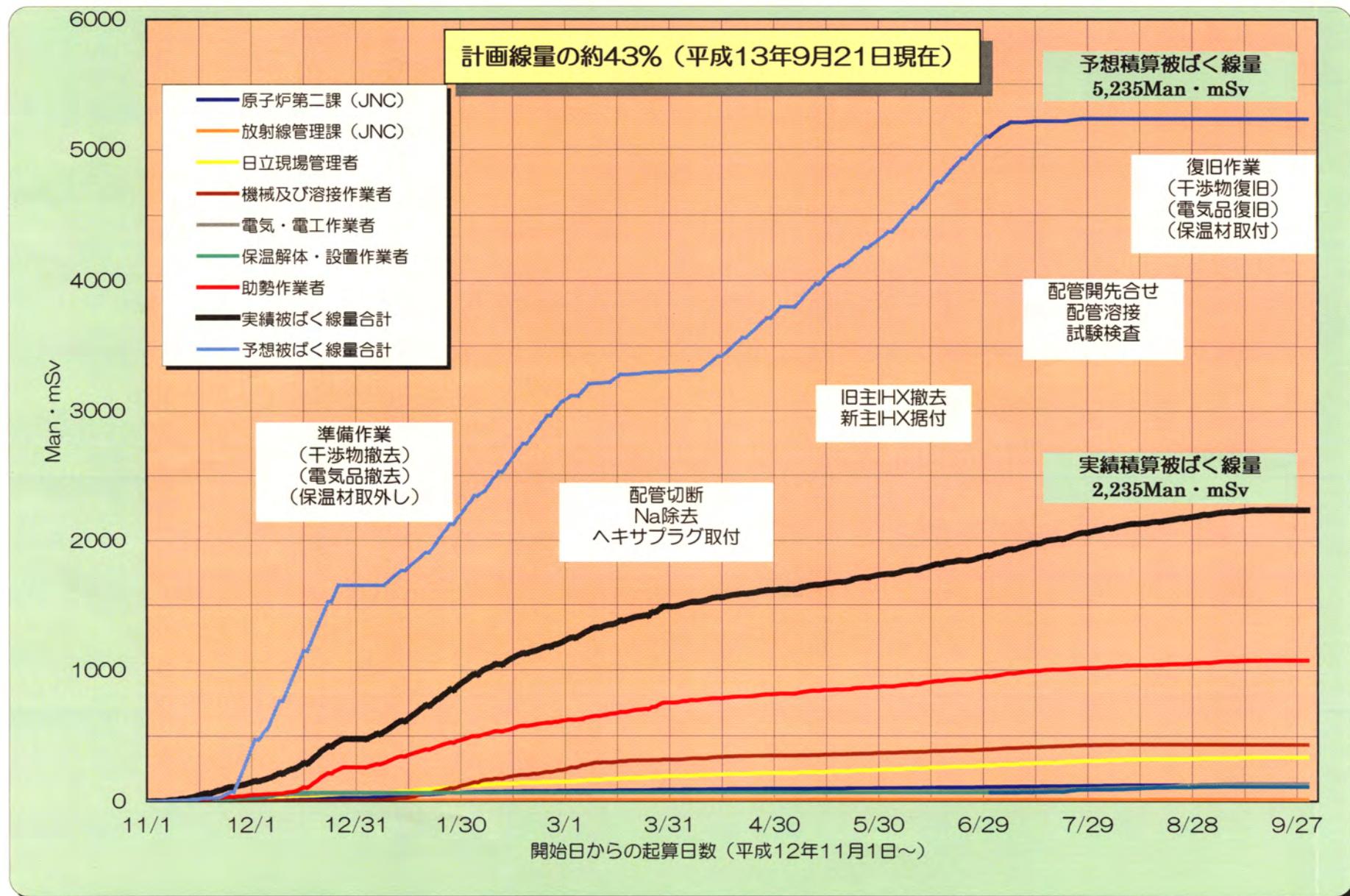


図 5.2-5 1次系改造工事の被ばく線量

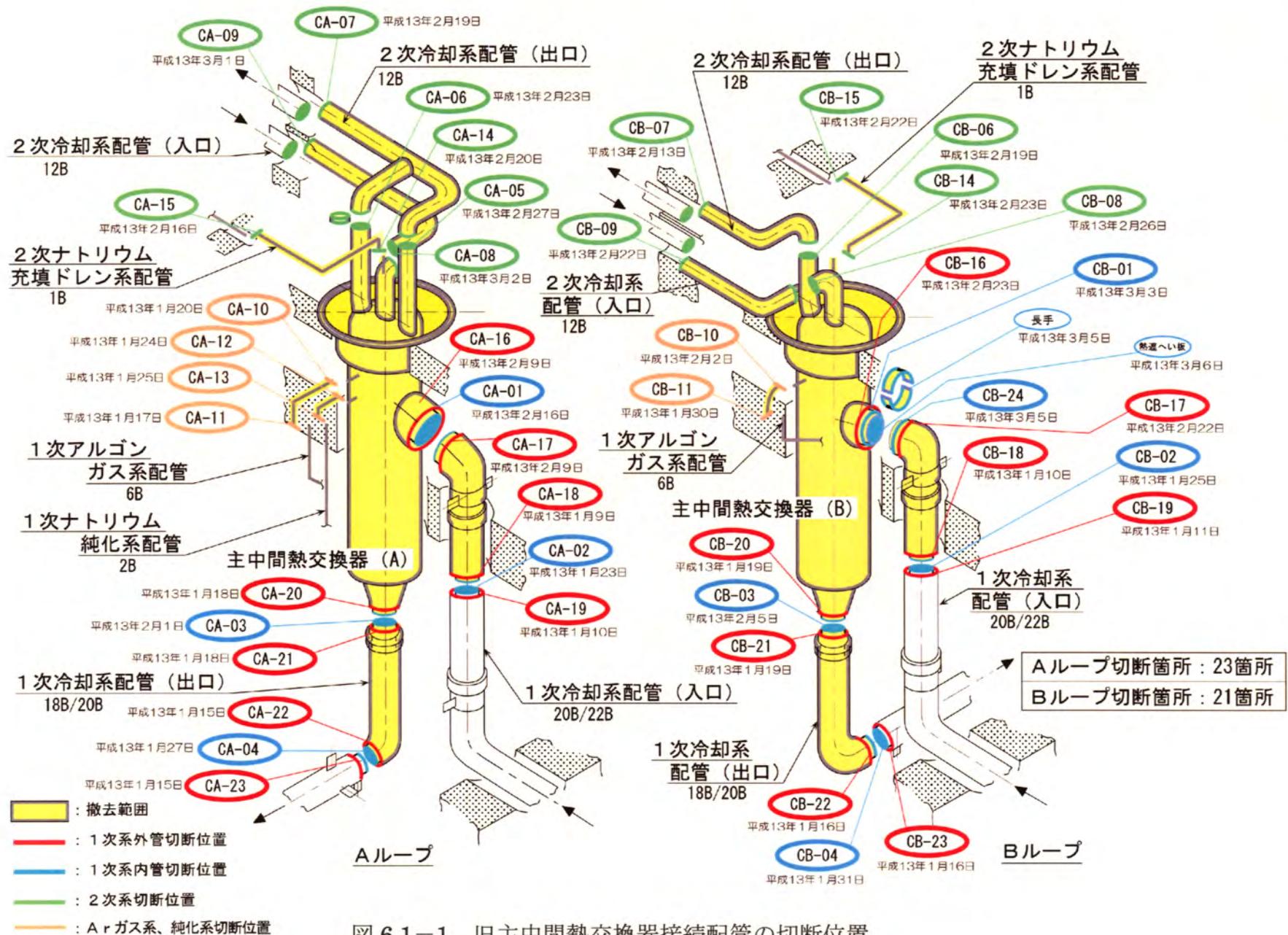


図 6.1-1 旧主中間熱交換器接続配管の切断位置

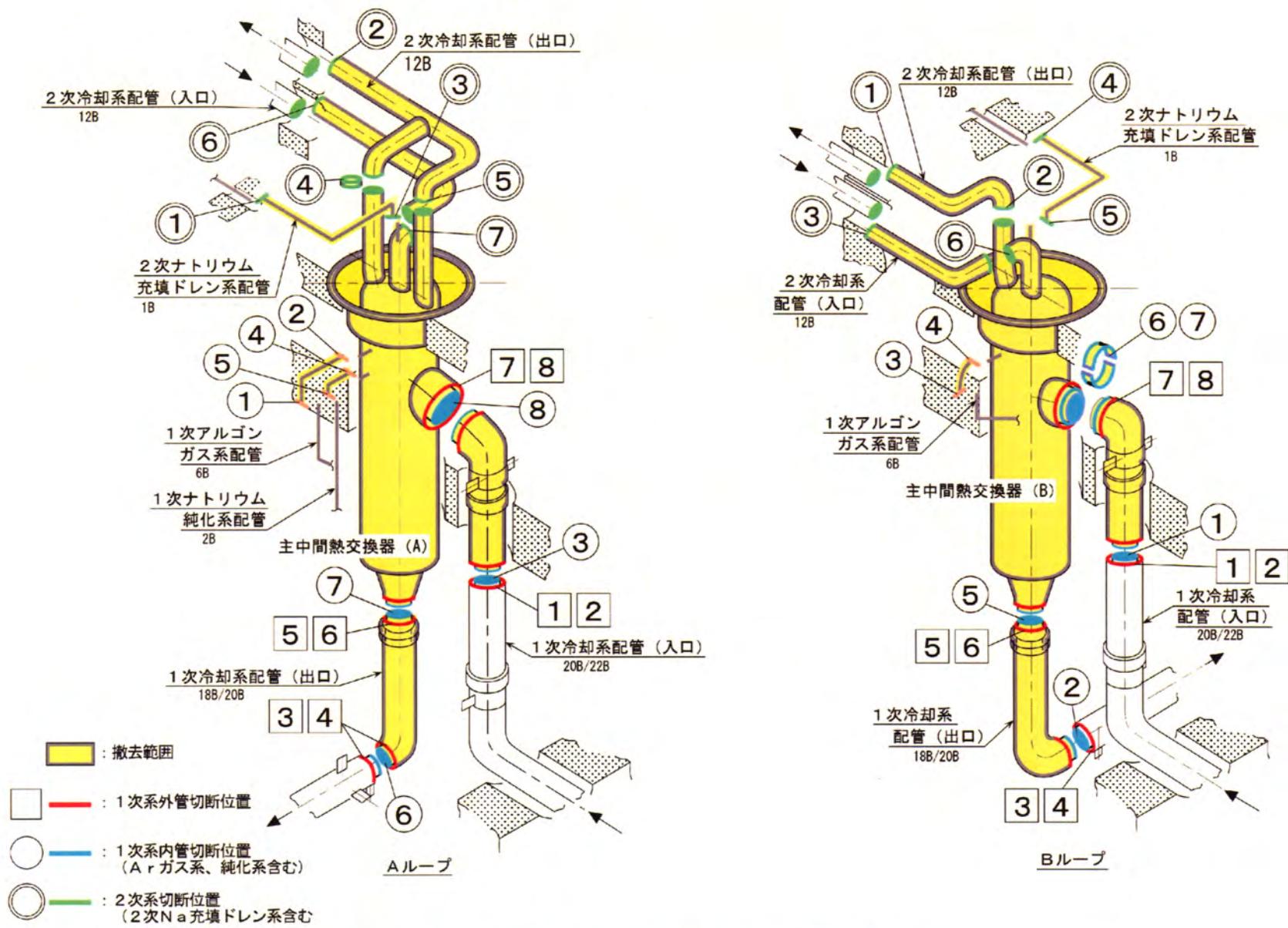


図 6.1-2 旧主中間熱交換器接続配管の切断順序（実績）

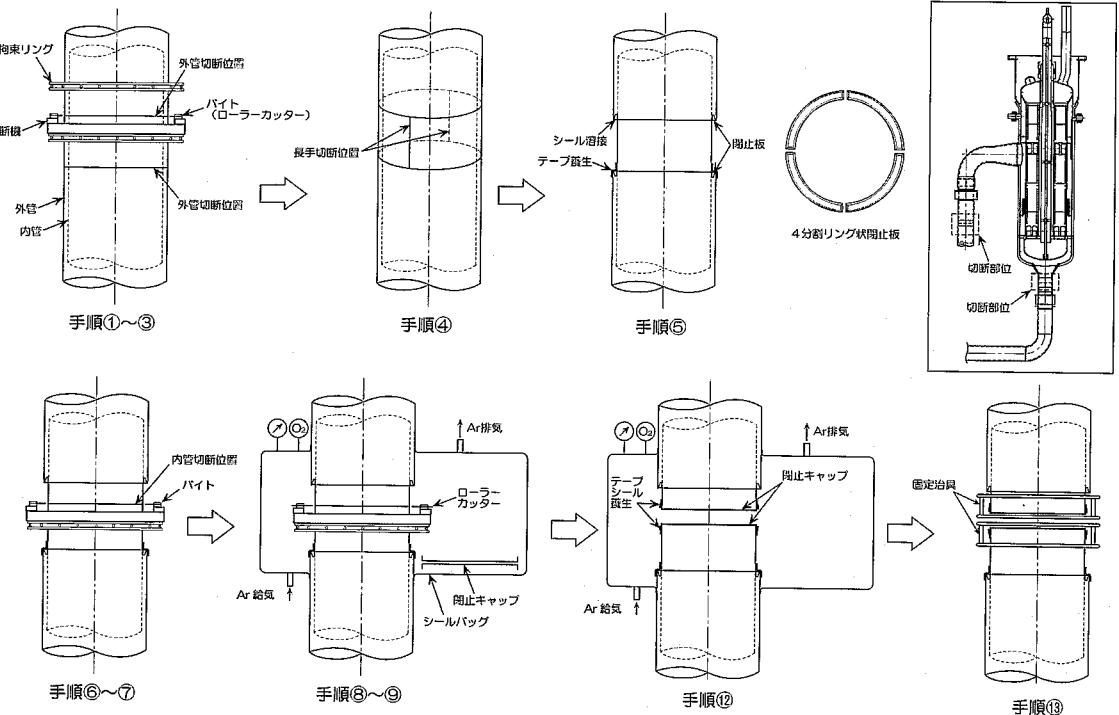


図 6.1-3 1次主冷却系配管（入口配管垂直部／出口ノズル部）の切断手順概念図

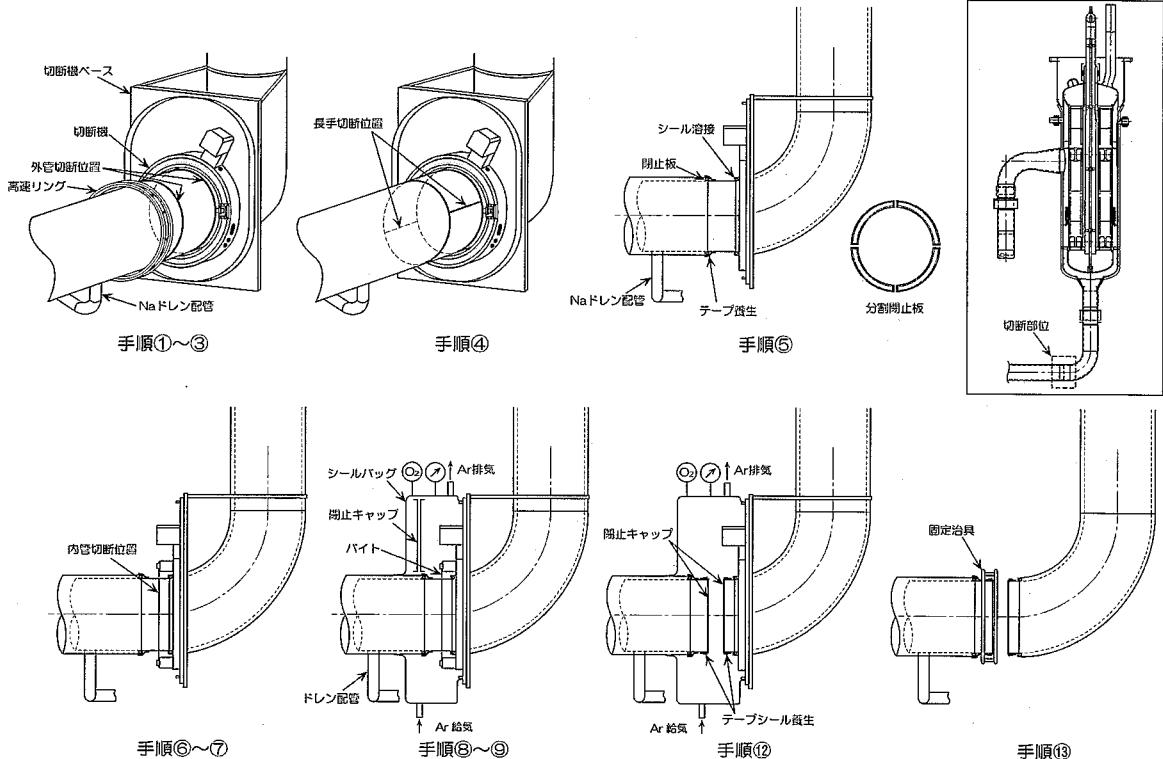


図 6.1-4 1 次主冷却系配管（出口配管水平部）の切断手順概念図

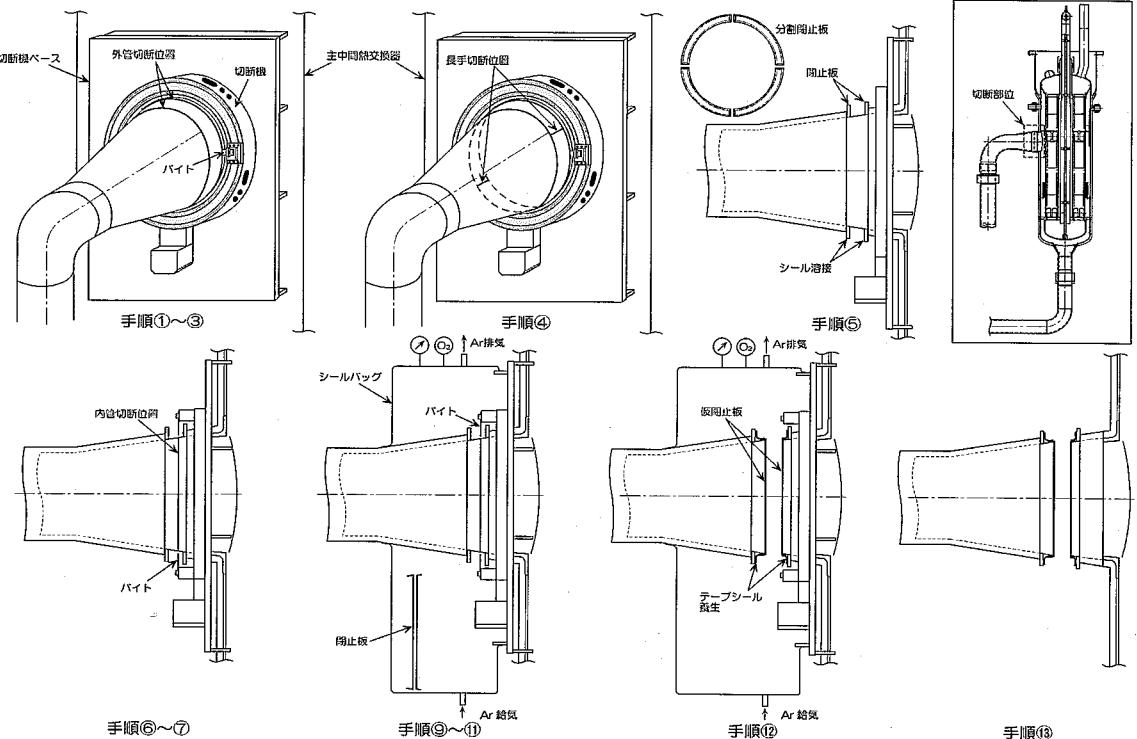


図 6.1-5 1次主冷却系配管（入口ノズル部）の切断手順概念図

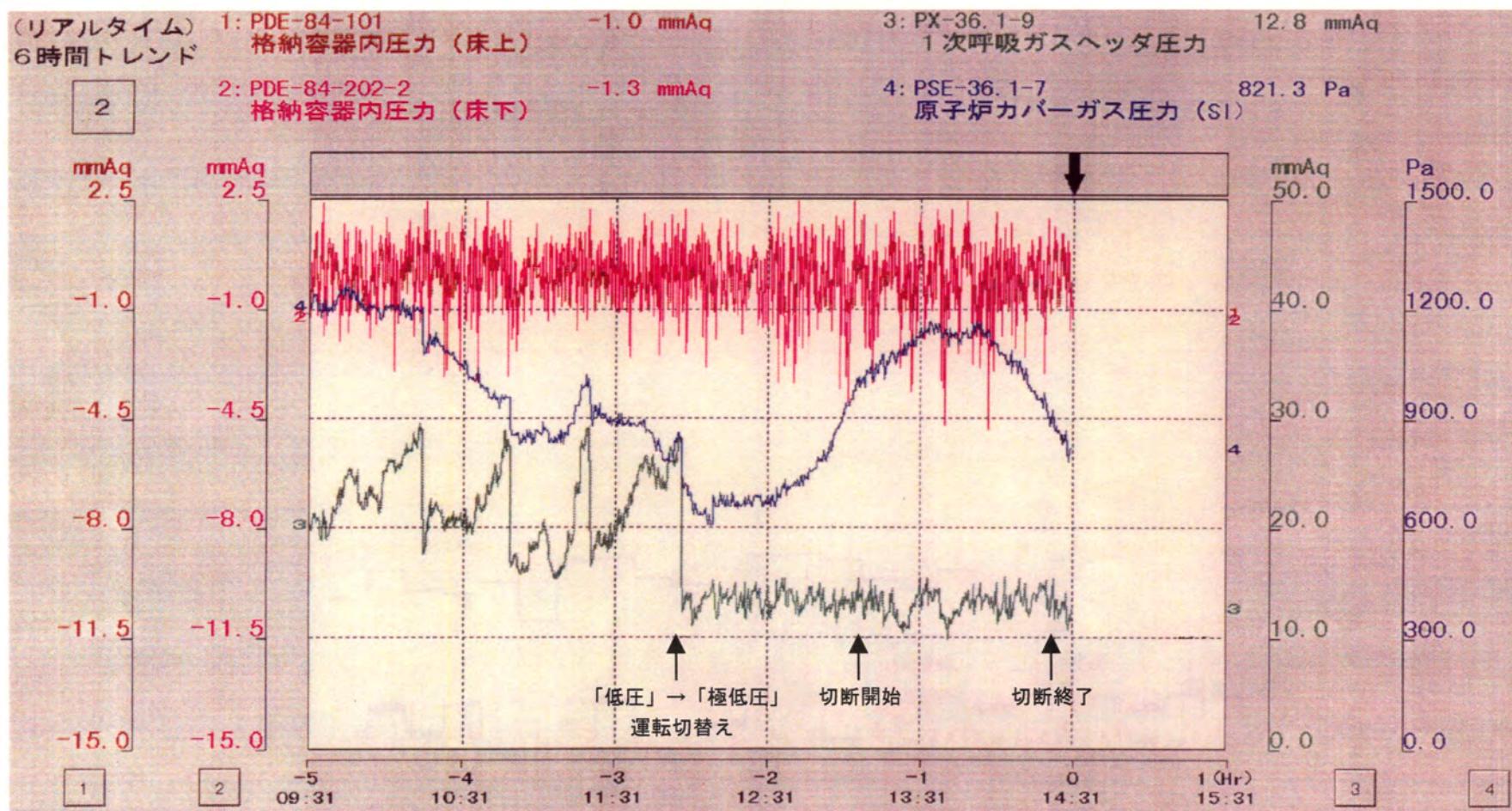


図 6.1-6 配管切断時のカバーガス圧力管理状況（1次主冷却系出口水平配管(A)）

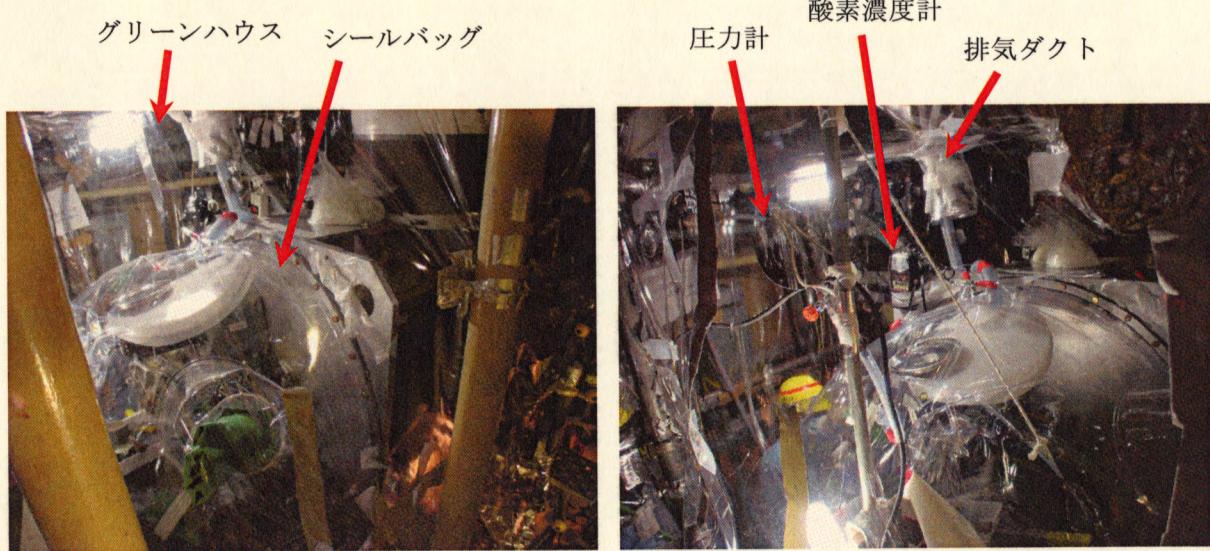
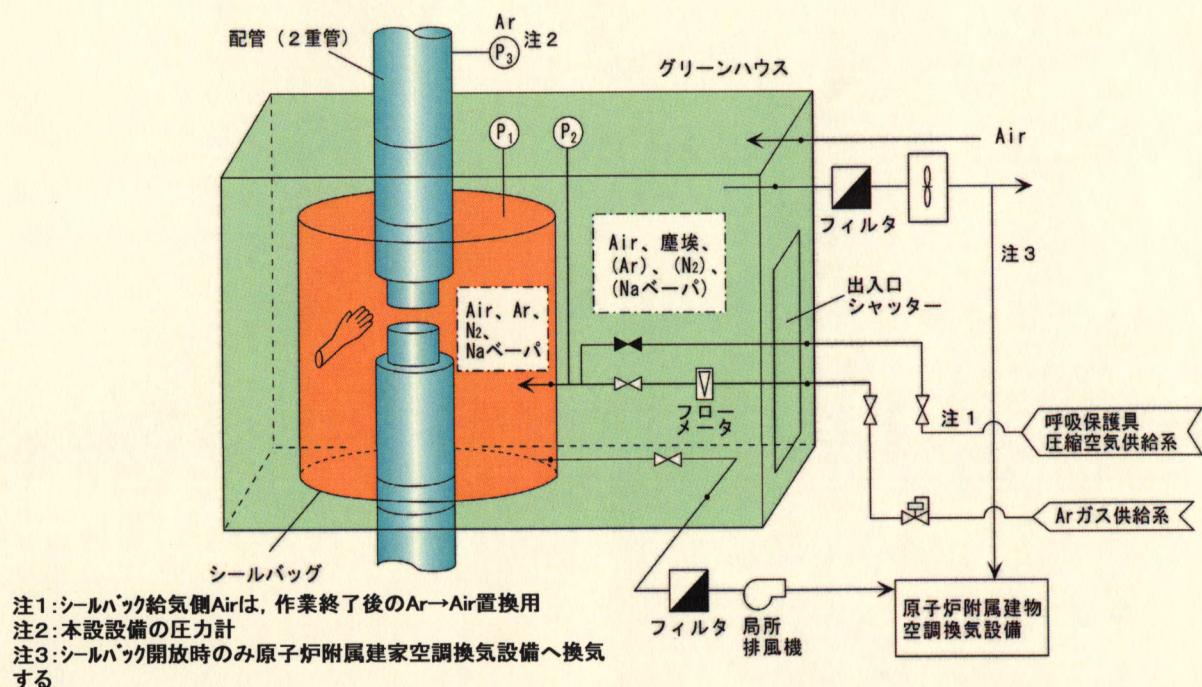


図6.1-7 シールバッグの系統構成と設置状況

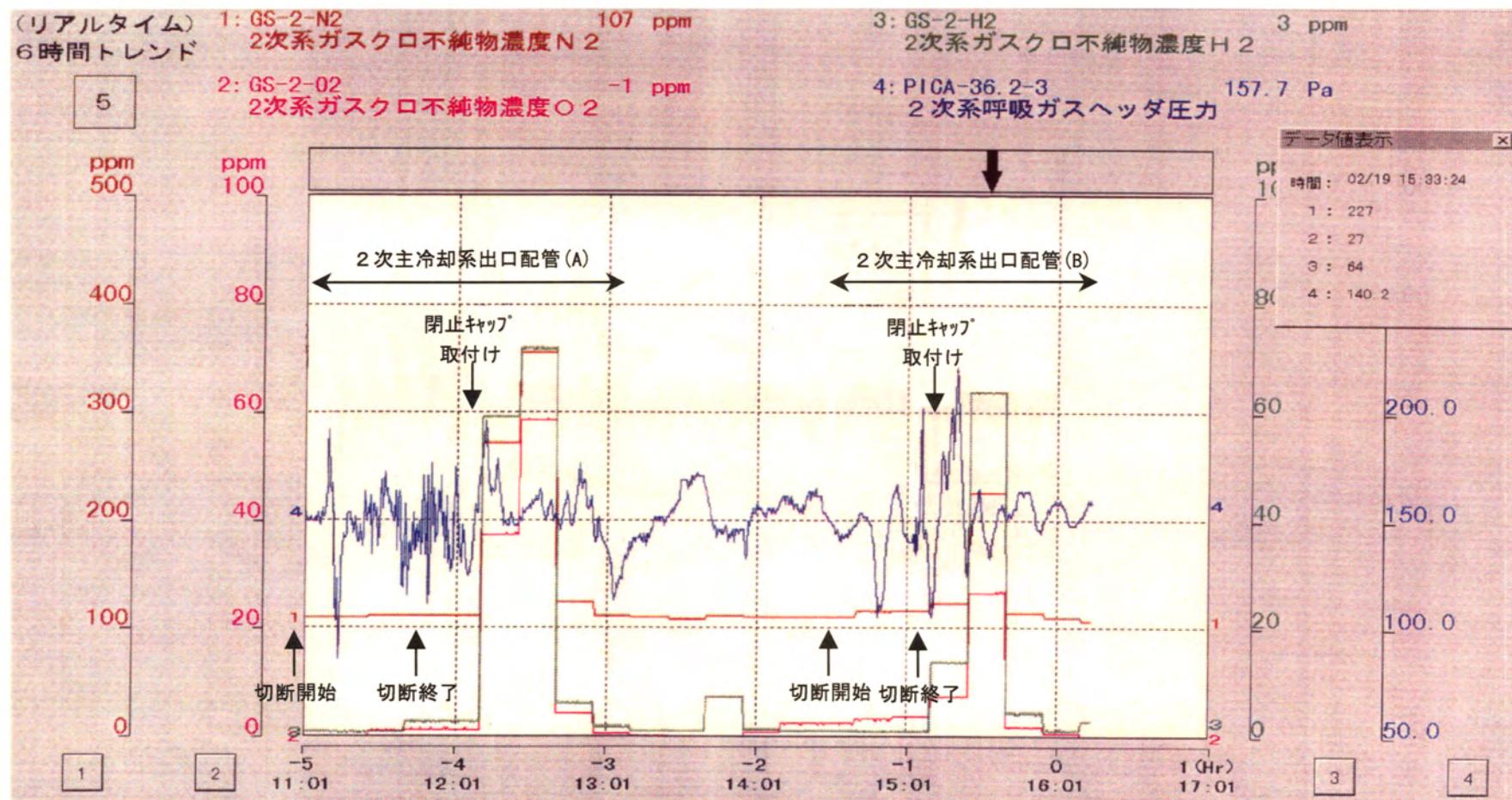


図 6.1-8 配管切断時の酸素濃度及び窒素濃度管理状況（2主冷却系出口配管(A)、(B)）

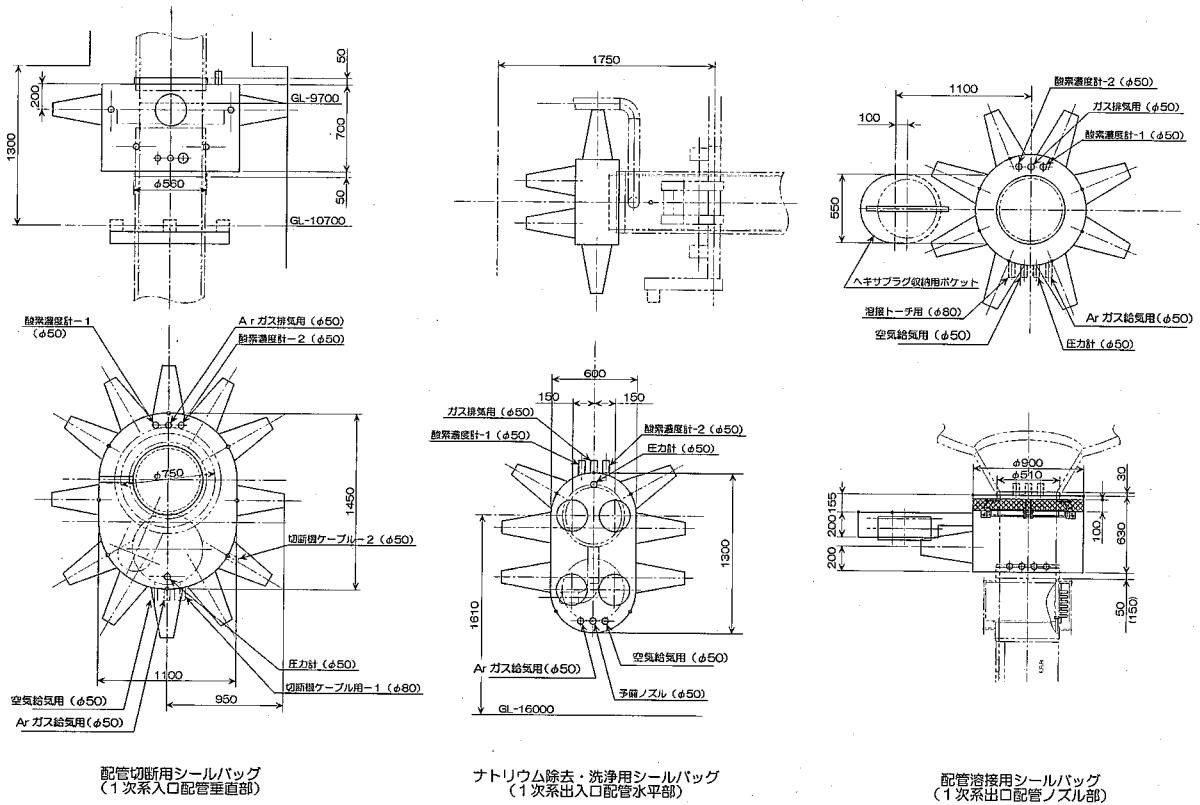


図 6.1-9 シールバッグ構造図



ハンドシーラーによる圧着作業



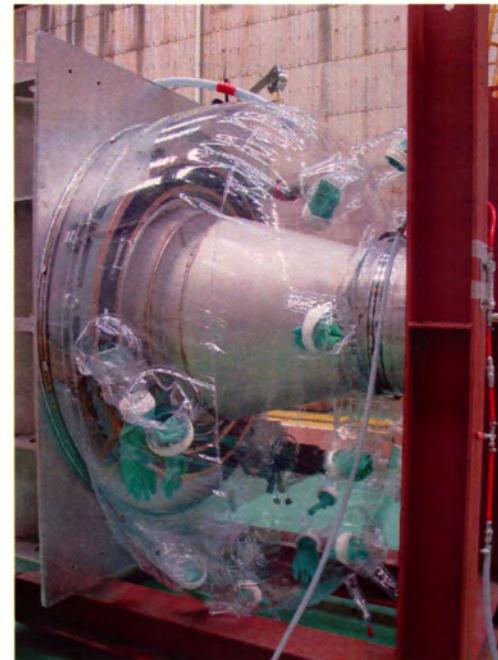
排気用ホース及び止弁



圧力計取付け部



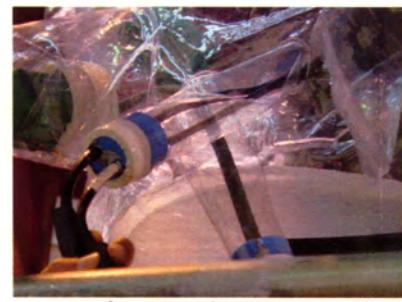
ファスナー部の圧着閉止



酸素濃度計取付け部



配管周方向取付け状況



ケーブル貫通部の閉止固定

図6.1-10 シールバッグの取付け状況（モックアップ試験時）

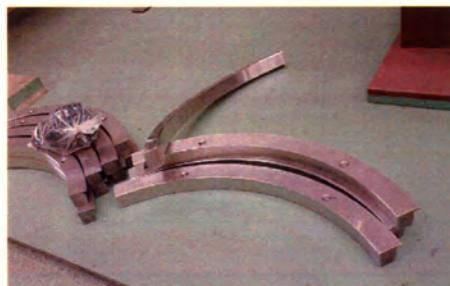
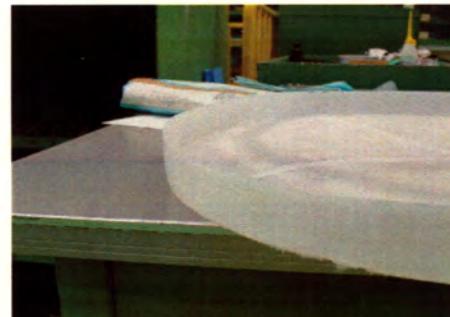
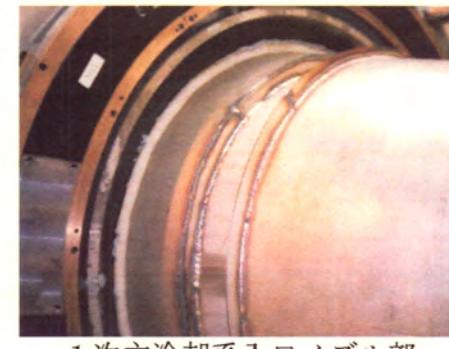
閉止治具及び固定治具		閉止治具及び固定治具の取付け状況
外管閉止板 (治具)	 <p>外管閉止治具（4分割リング状）</p>	 <p>1次主冷却系出口配管水平部</p>
内管閉止板 (治具)	 <p>内管閉止治具（閉止キャップ）</p>	 <p>1次主冷却系入口配管垂直部</p>
固定治具	 <p>閉止キャップ固定治具</p>	 <p>1次主冷却系入口配管垂直部</p>
		 <p>2次主冷却系入口配管部</p>
		 <p>2次主冷却系入口配管部</p>

図6.1-11 切断開口部の閉止治具と取付け状況

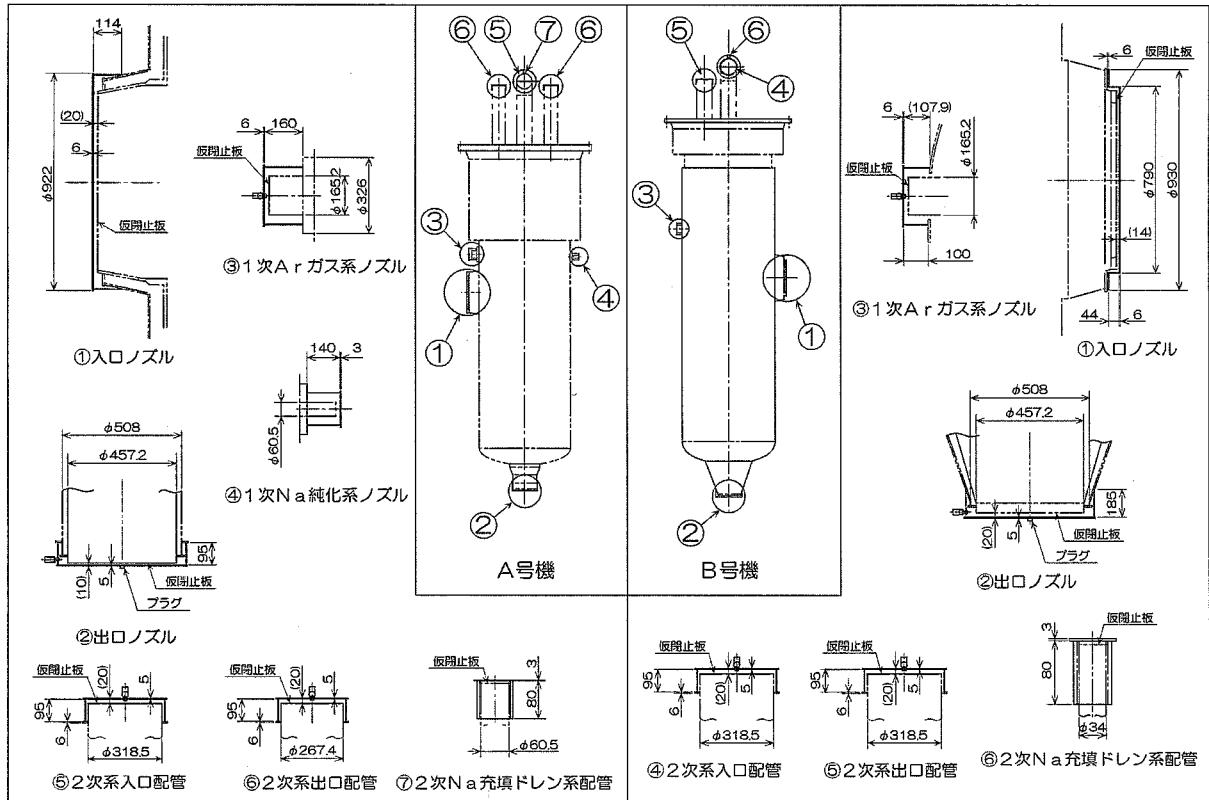


図 6.1-12 旧主中間熱交換器ノズル部保管用本閉止板構造図

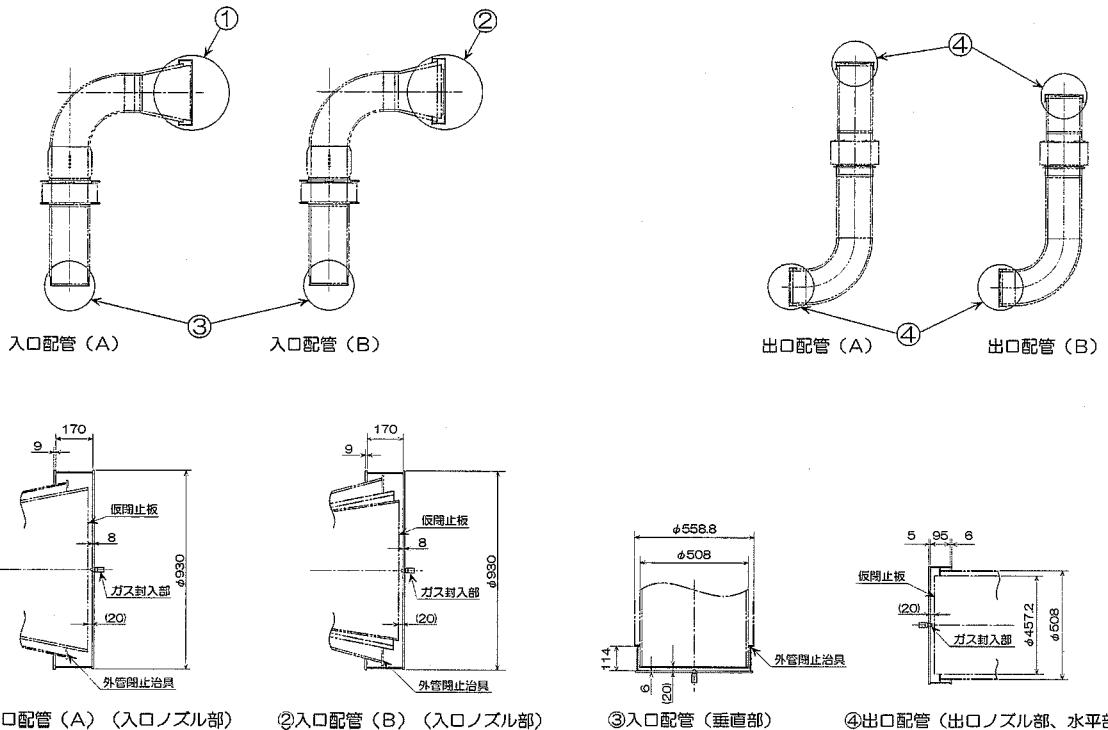


図 6.1-13 1 次主冷却系撤去配管保管用本閉止板構造図

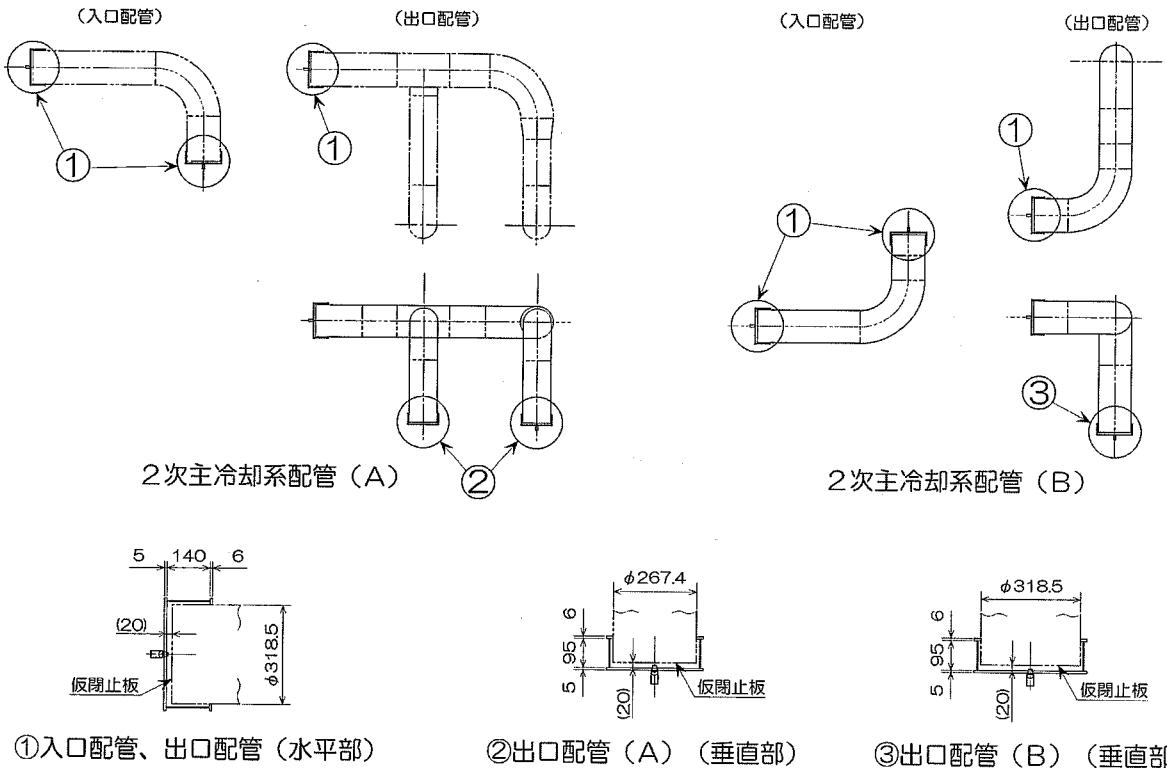


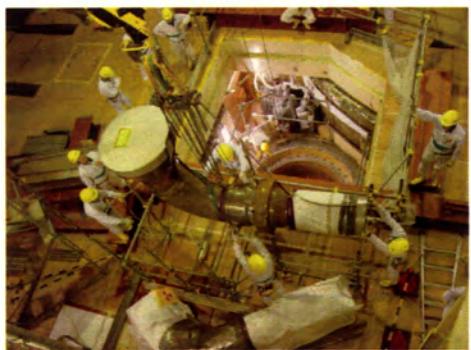
图 6.1-14 2 次主冷却系撤去配管保管用本閉止板構造図



2次Na充填トレス系撤去配管



2次主冷却系配管ノズル部

2次主冷却系撤去配管
(本閉止板取付前)

1次主冷却系撤去配管（入口）



旧 IHX ノズル部本閉止板



出口ノズル／出口撤去配管溶接状況



1次主冷却系撤去配管（出口）

1次主冷却系撤去配管仮置状況
(メンテナンス建室内)

図6.1-15 撤去配管及び旧主中間熱交換器ノズル部の閉止板取付け状況

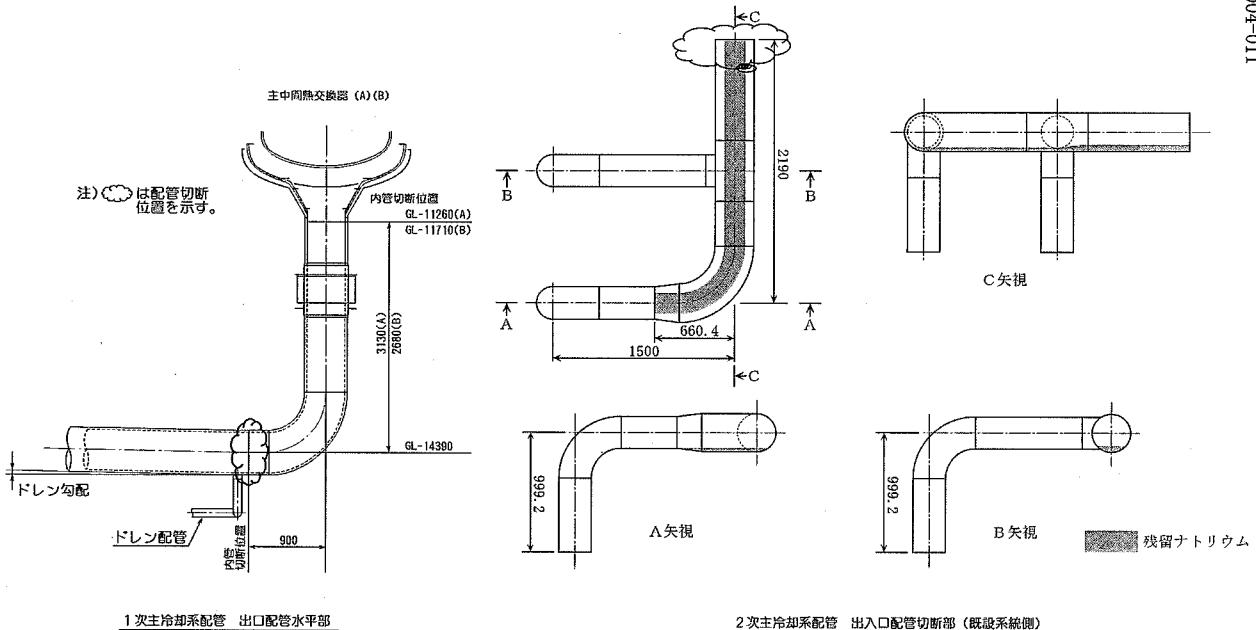
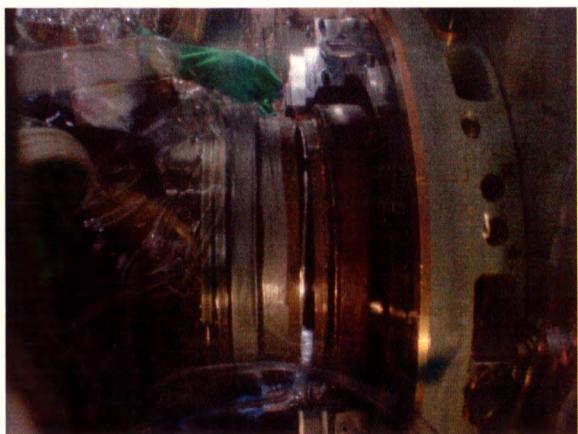
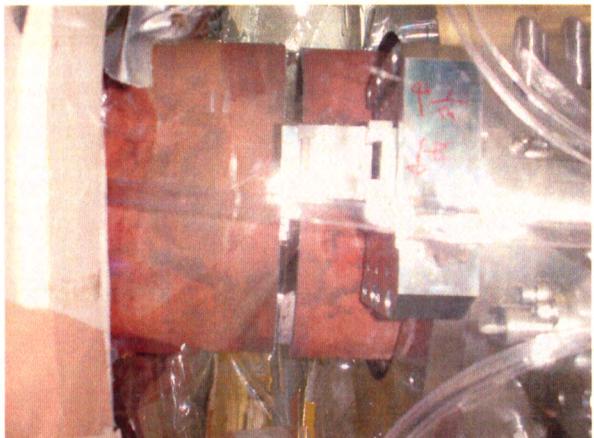


図 6.1-16 残留ナトリウムが確認された切断部位の配管構造

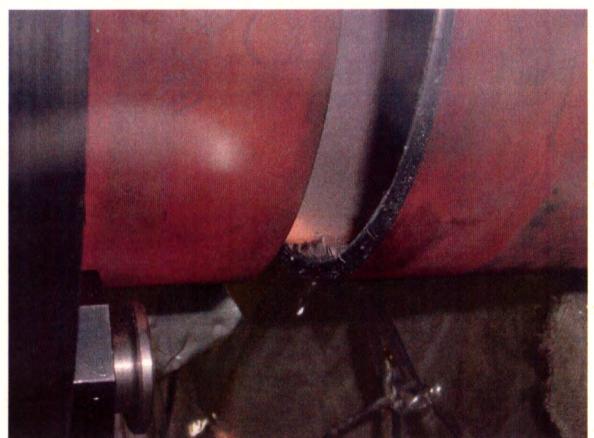


1次主冷却系内管(A)出口配管水平部



2次主冷却系(A)入口配管（既設系統側）

2次主冷却系(A)出口配管（既設系統側）



2次主冷却系(B)入口配管（既設系統側）

2次主冷却系(B)出口配管（既設系統側）

図 6.1-17 配管切断部のナトリウム付着状況(1/2)



2次Na充填ドレン系配管(A)（既設系統側）



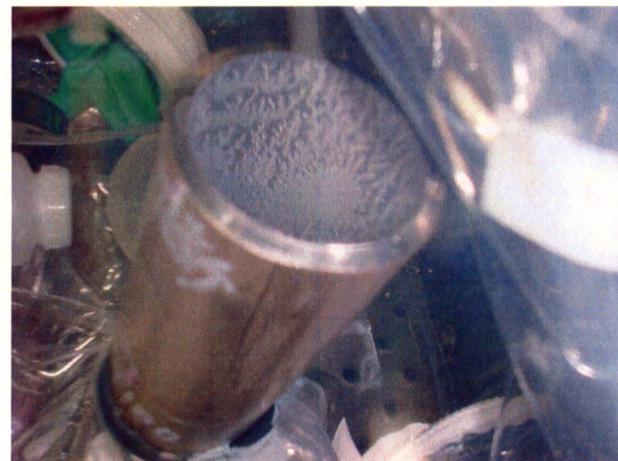
2次Na充填ドレン系配管(A)（主 IHX 側）



2次Na充填ドレン系配管(B)（既設系統側）



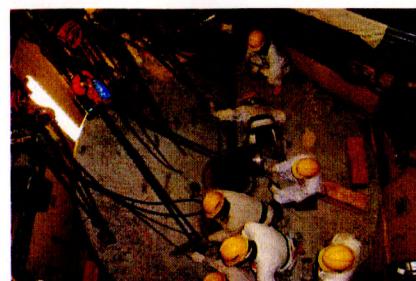
2次Na充填ドレン系配管(B)（主 IHX 側）



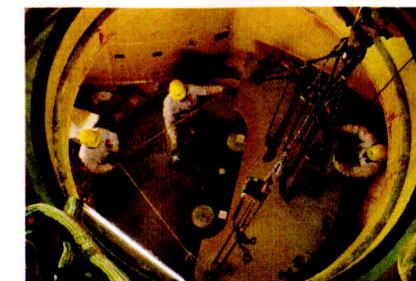
1次ナトリウム純化系配管

図 6.1-17 配管切断部のナトリウム付着状況(2/2)

(1)準備作業
 ①旧IHX上部遮へい体撤去
 ②旧IHX保管架台積込み
 反転架台搬入
 仮設レール設定



(1)-① 旧IHX上部遮へい体撤去



(1)-① 旧IHX上部遮へい体撤去



(1)-② 保管架台積込み



(1)-② 反転架台搬入



(1)-② 仮設レール設定

(2)保管架台搬入、設定
 ①旧IHX保管架台搬入
 ②保管架台の立起し
 ③保管架台の設定



(2)-① 旧IHX保管架台搬入



(2)-② 保管架台立起し



(2)-③ 保管架台設定



(3)旧IHX吊上げ、設定
 ①旧IHX吊上げ
 ②保管架台へ設定



(3)-① 旧IHX吊上げ



(3)-① 旧IHX床スリーブ引き抜き状況



(3)-① 旧IHX吊上げ

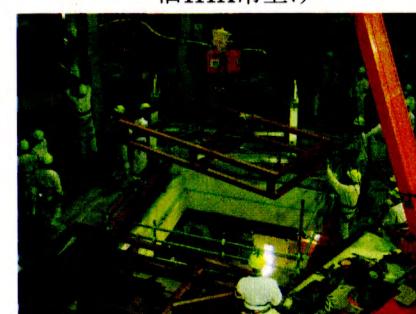


(3)-② 保管架台まで移動



(3)-② 保管架台へ設定

(4)旧IHX搬出準備
 ①IHXハッチ開口部の仮蓋復旧
 ②旧IHX・保管架台移動
 ③旧IHX・保管架台横寝かし
 ④運搬用仮設遮へい板取付け



(4)-① IHXハッチ開口部の仮蓋復旧



(4)-② 旧IHX・保管架台移動



(4)-③ 旧IHX・保管架台横寝かし



(4)-③ 旧IHX・保管架台横寝かし完了



(4)-③ 旧IHX・保管架台底部状況



(4)-④ 運搬用仮設遮へい板取付け



(4)-④ 仮設遮へい板取付け状況

図6.2-1 旧主中間熱交換器の撤去・搬出状況 (1/2)



図6.2-1 旧主中間熱交換器の撤去・搬出状況（2/2）

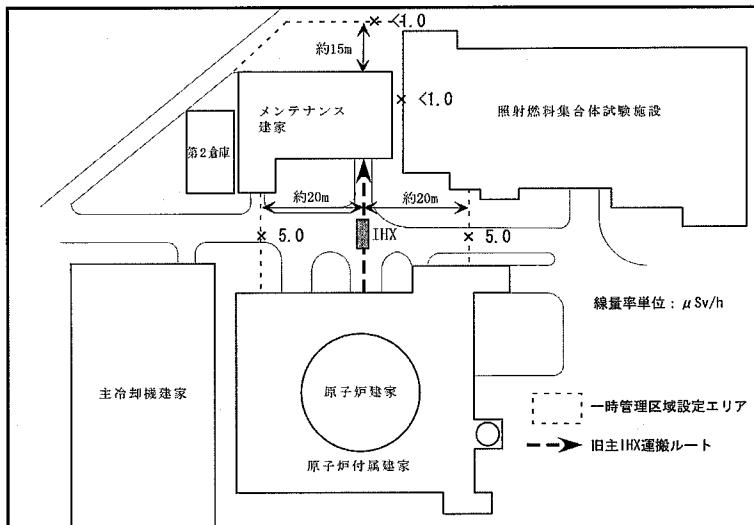


図 6.2-2 旧主中間熱交換器(B)運搬時の一時管理区域
(原子炉格納容器→メンテナンス建屋家搬入まで)

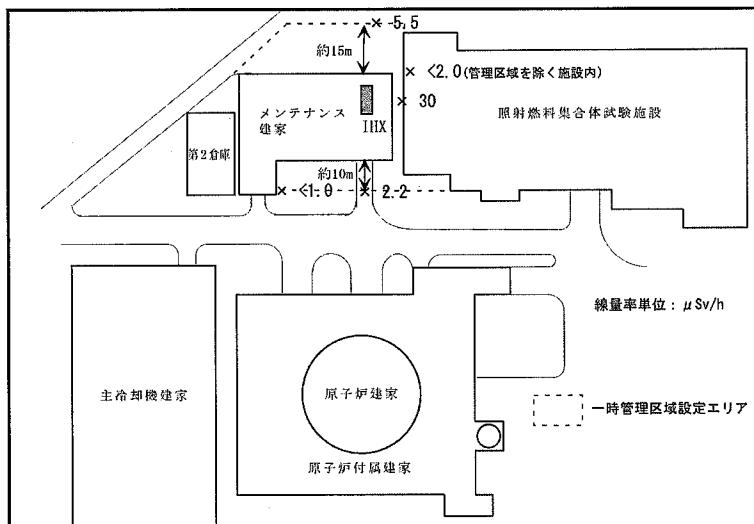


図 6.2-3 旧主中間熱交換器(B)仮置き時の一時管理区域
(メンテナンス建屋家内の仮置き時)

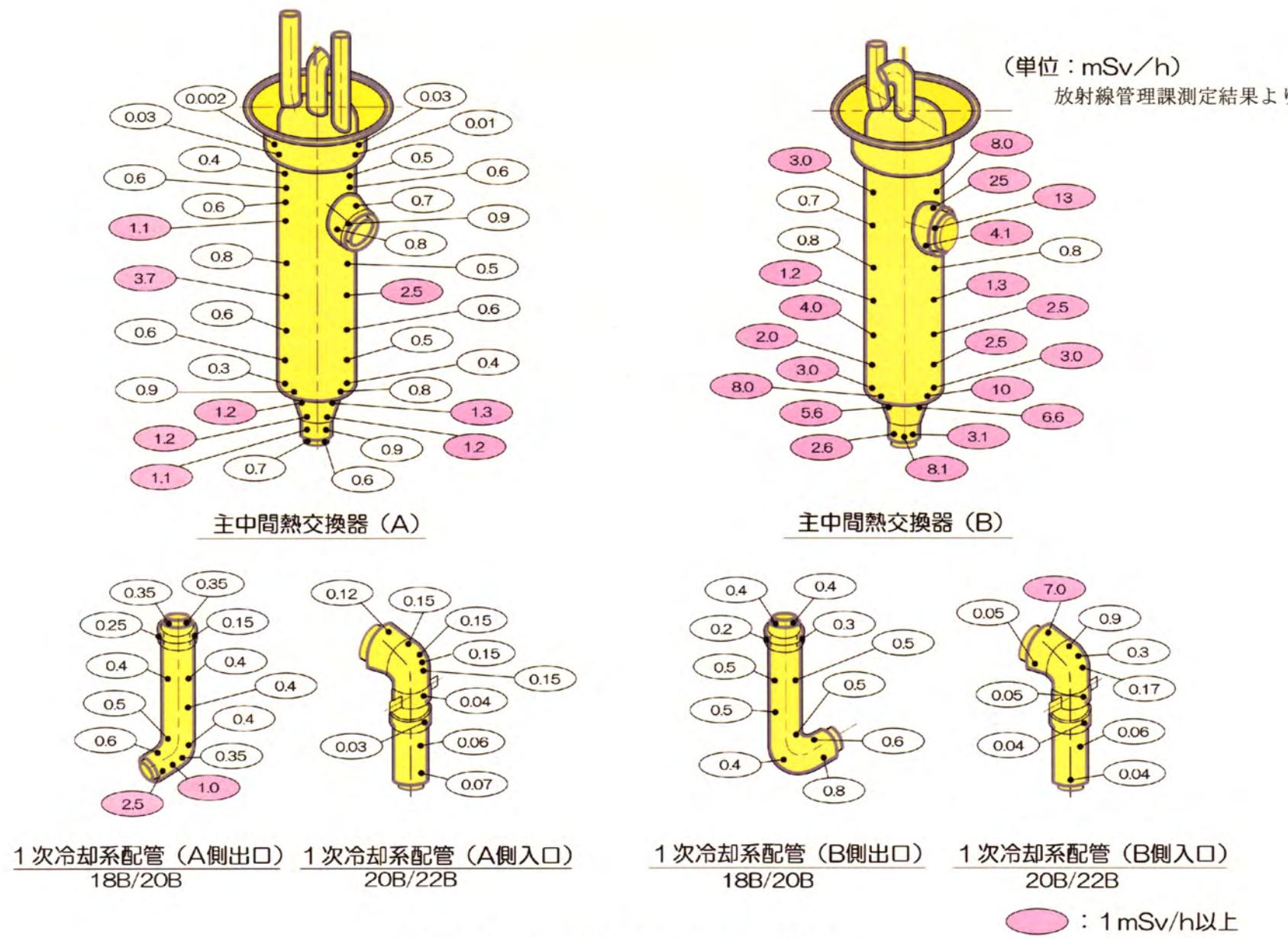


図 6.2-4 旧主中間熱交換器の表面線量率

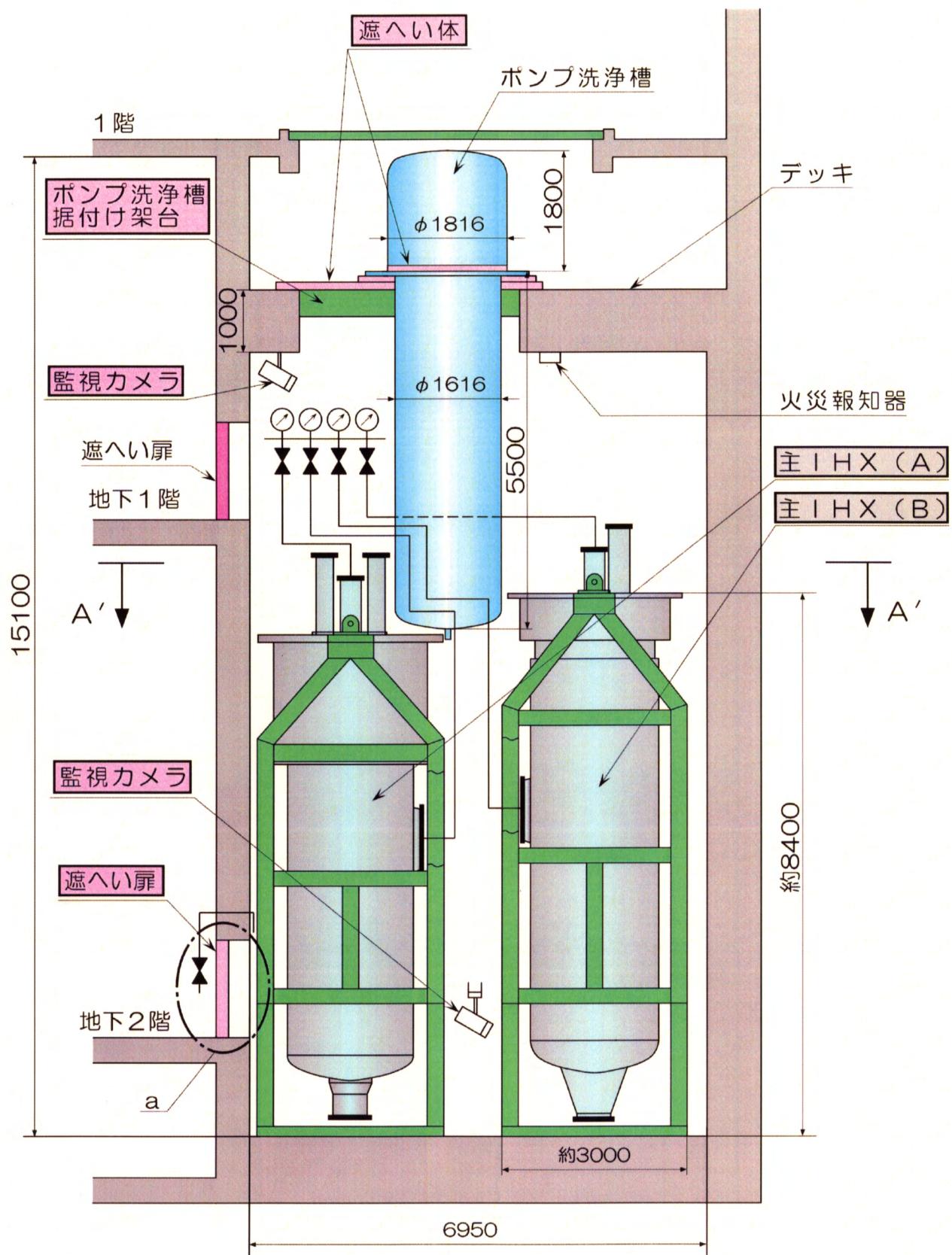


図 6.2-5 固体廃棄物貯蔵設備の構造図(1/2)

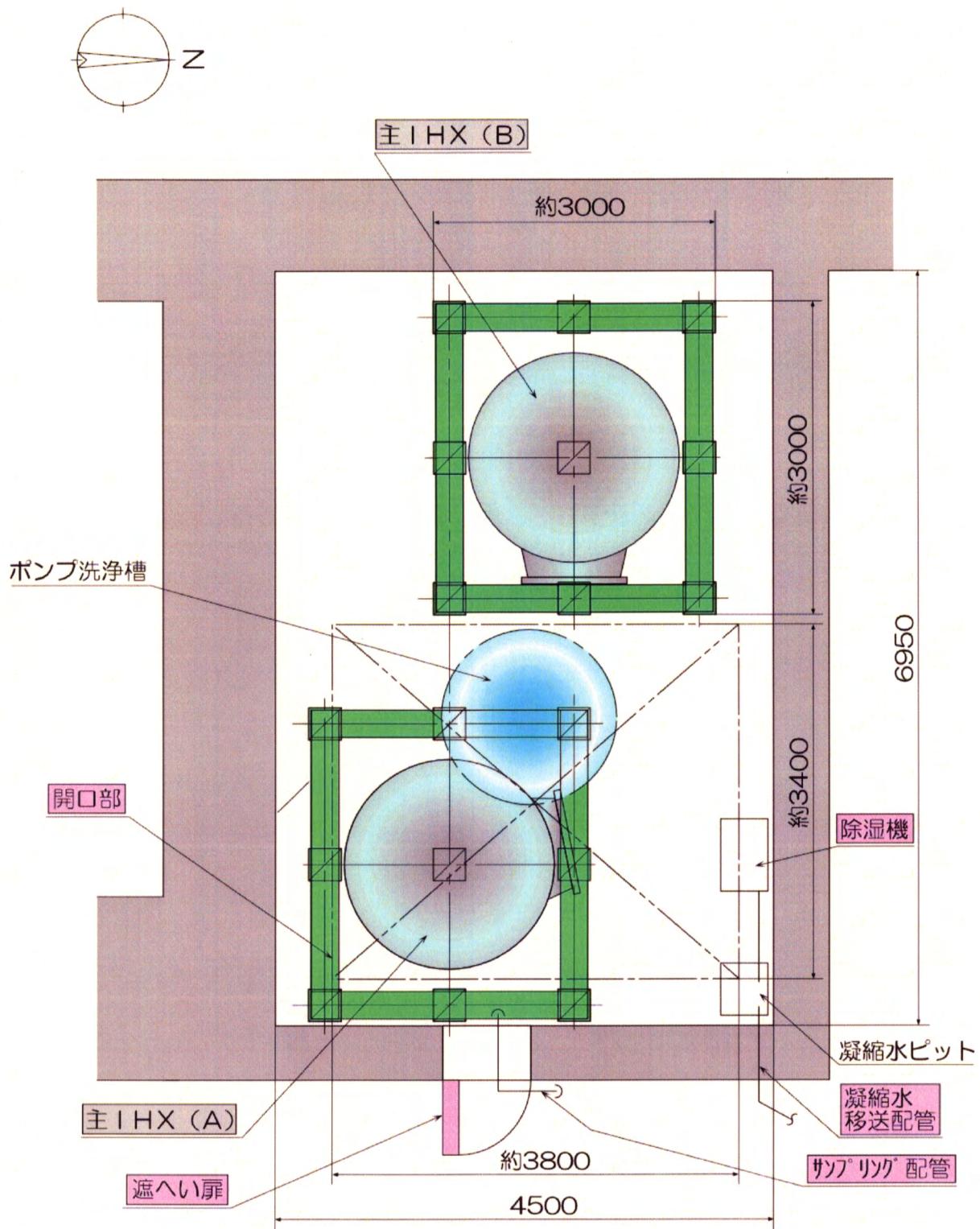


図 6.2-5 固体廃棄物貯蔵設備の構造図 (2/2)

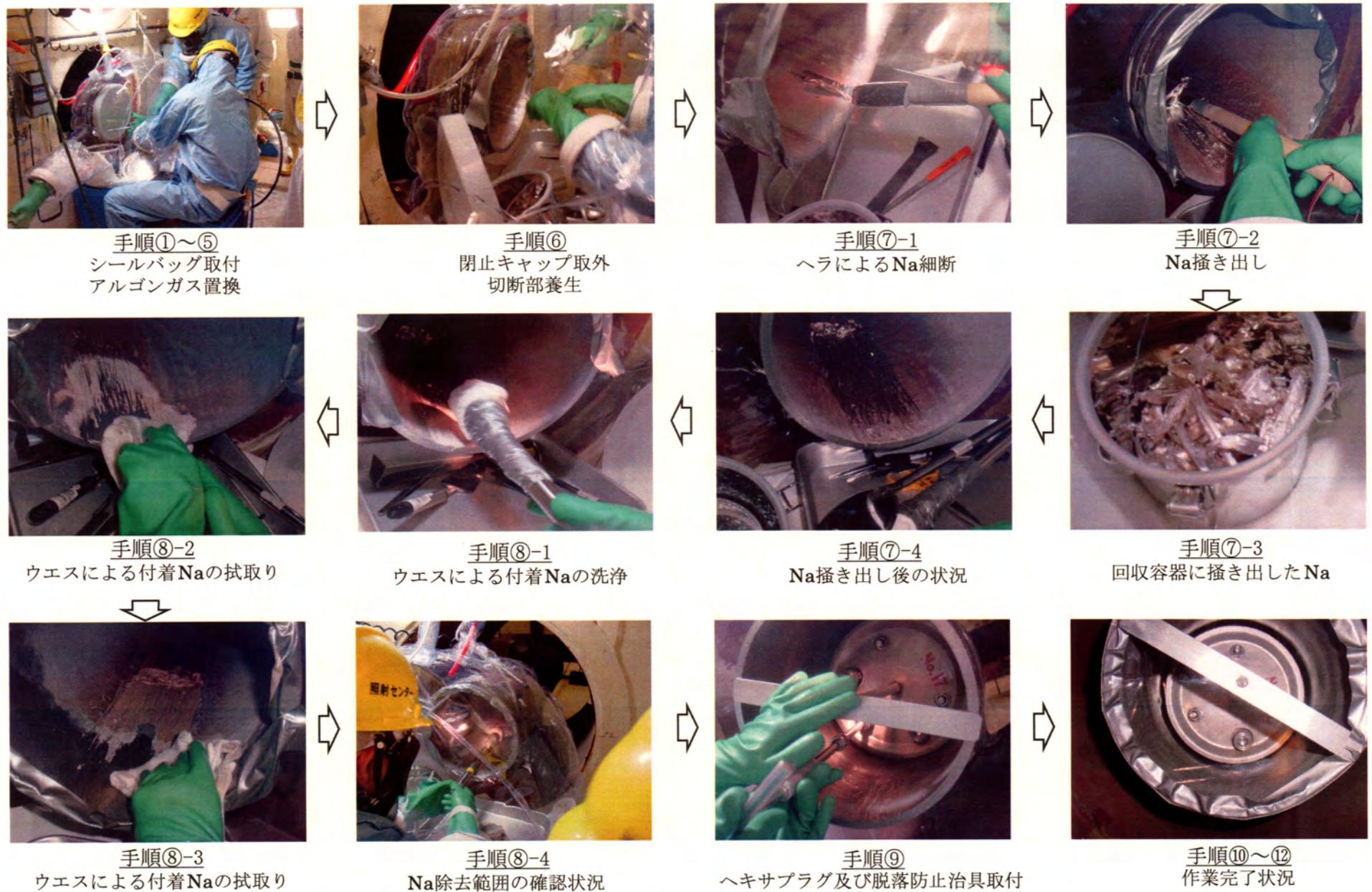


図6.3-1 ナトリウム除去・洗浄作業状況（2次主冷却系配管）

1次主冷却系配管
(出口配管水平部)



Na掻き出し状況



Na拭取り状況
(ドレン配管ノズル近傍部)



ヘキサプラグ及び脱落防止治具
取付状況

1次主冷却系配管
(入口配管垂直部)



Na拭取り状況



落下防止治具 (垂直配管)

1次アルゴンガス系配管



ヘキサプラグ取付状況

2次ナトリウム充填ドレン系配管



作業前状況
(Na閉塞状態)



Na掻き出し状況
(木工ドリル使用)



Na拭取り作業状況
(拭取り棒使用)



ヘキサプラグ取付状況

図6.3-2 ナトリウム除去・洗浄作業状況 (その他の対象配管)

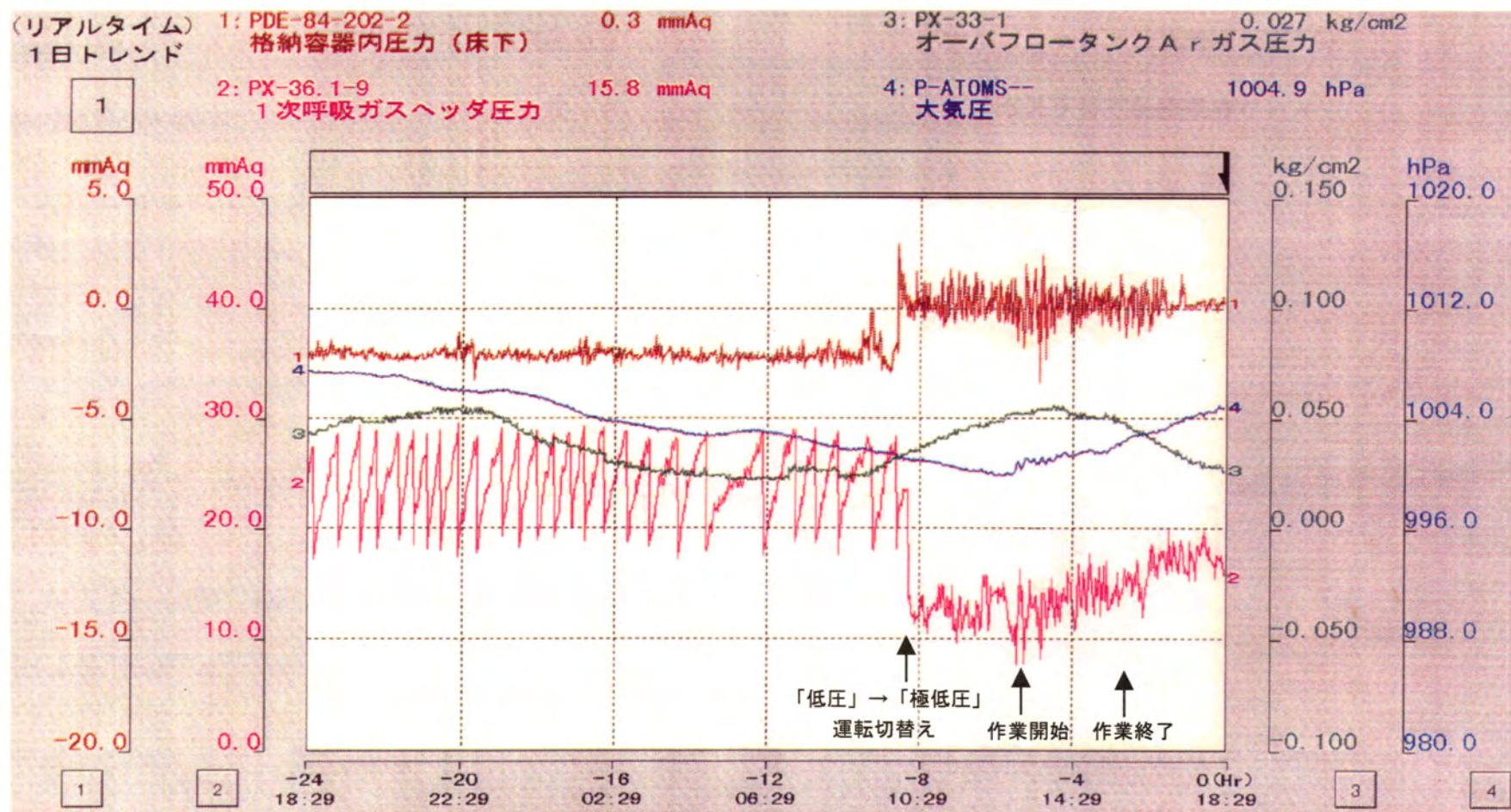


図 6.3-3 ナトリウム除去・洗浄時のカバーガス圧力管理状況（1 主冷却系出口水平配管（B））

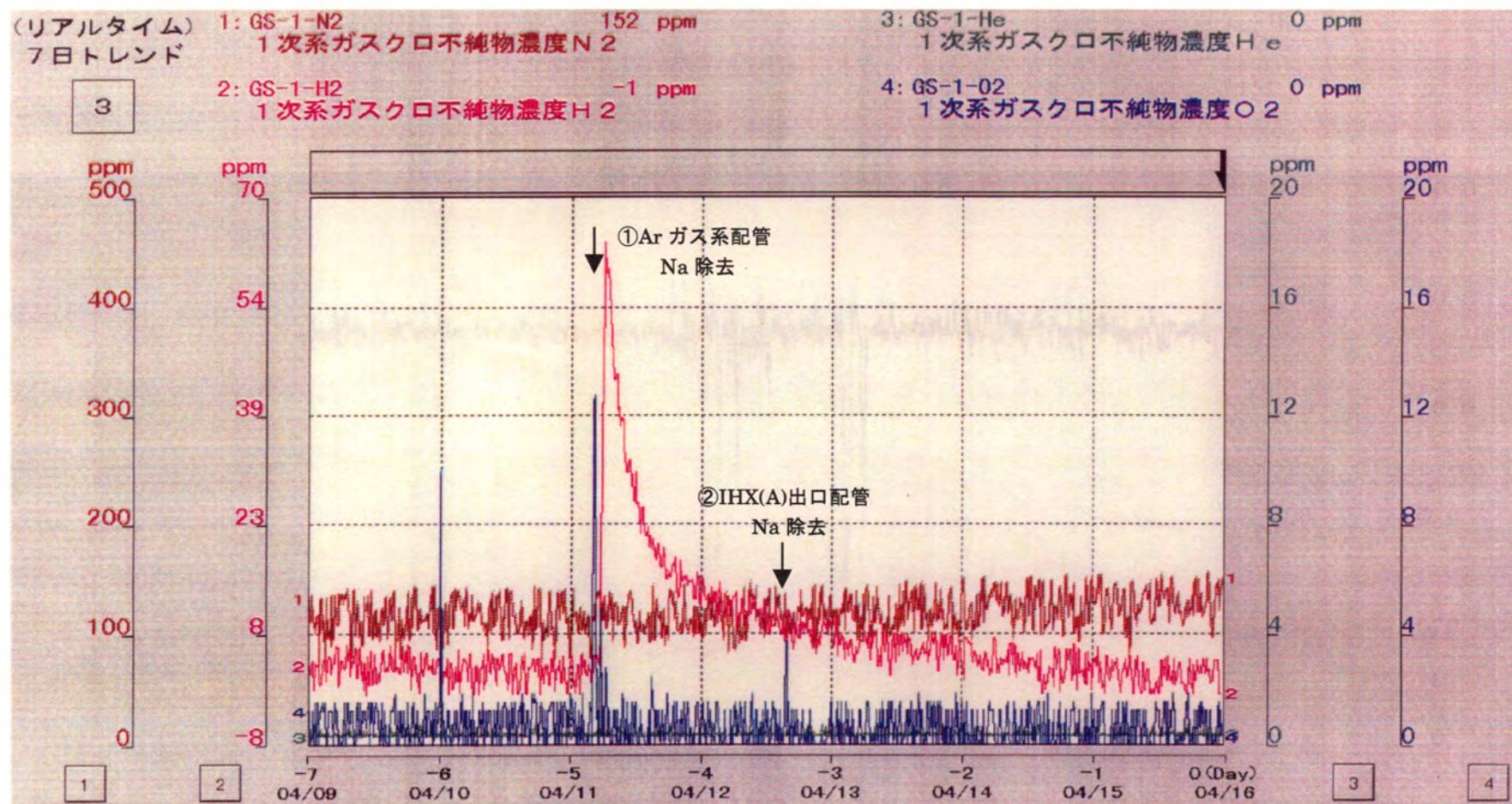
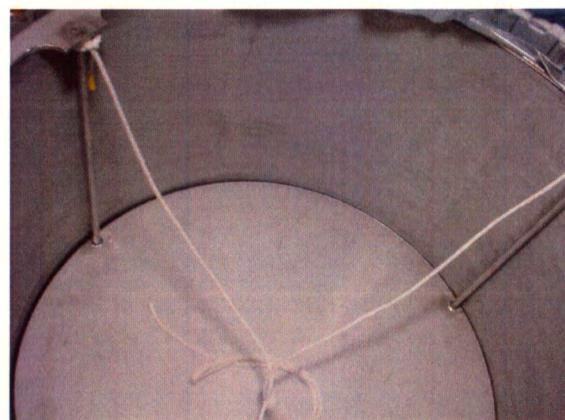


図 6.3-4 ナトリウム除去・洗浄作業時の酸素濃度及び窒素濃度管理状況
(1次アルゴンガス系配管(B)、1次主冷却系出口水平配管(A))

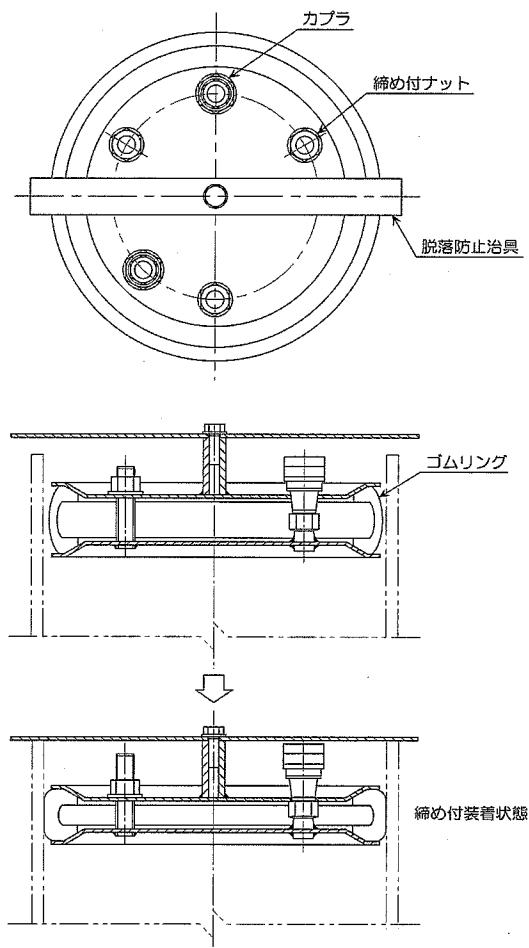


ナトリウム除去・洗浄用治工具（一部）



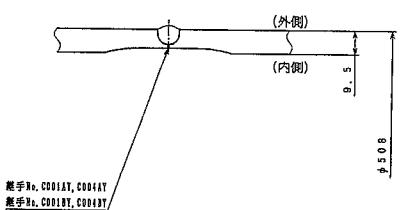
落下防止治具（1次主冷却系配管入口垂直部）

図6.3-5 ナトリウム除去・洗浄用治工具

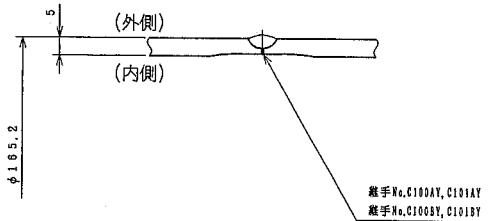


	対象	型番
1	1次主冷却系 入口配管	I型 500A
2	1次主冷却系 出口配管	I型 450A
3	2次主冷却系 入口/出口配管	I型 300A
4	1次アルゴンガス系 入口/出口配管	I型 150A
5	1次Na純化系配管	I型 50A
6	2次Na充填ドレン系配管	I型 25A

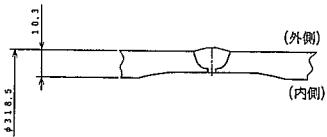
図 6.3-6 閉止板（ヘキサプラグ）の構造図



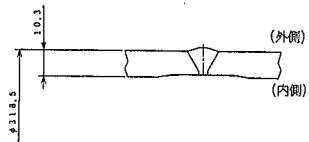
1次主冷却系入口配管（20B sch20S）手動溶接
(SUS304 材継手部)



1次アルゴンガス系配管（6B sch20S）手動溶接
(SUS304 材継手部)



2次主冷却系入口配管／出口配管（12B sch40）
自動溶接／手動溶接
(SUS304 材継手部及び STPA24 材継手部)



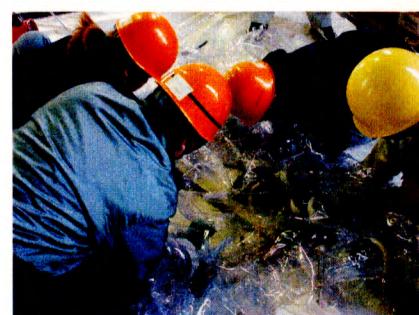
2次主冷却系入口配管（12B sch40）手動溶接
(STPA24 材継手部)

図 6.4-1 1次冷却系及び2次冷却系配管の開先形状（一例）



図6.4-2 開先加工の作業状況

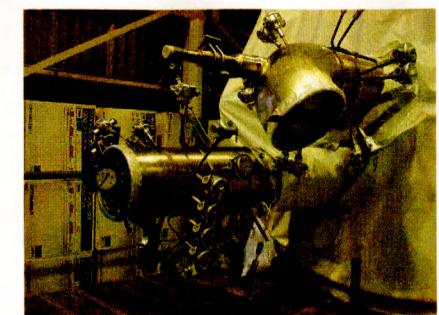
(1)準備作業
 ①閉止板交換（ヘキサプラグ）
 ②保管架台からスキッドへの積替え



(1)-①
閉止板交換作業状況（シールバッグ作業）



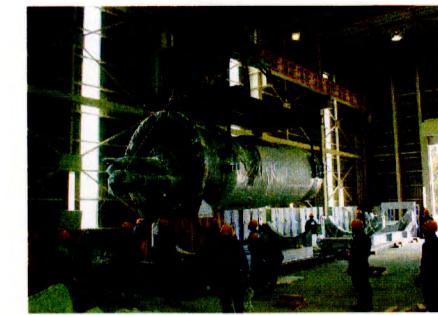
(1)-①
ヘキサプラグ取付け作業状況
(1次系入口ノズル部)



(1)-①
ヘキサプラグ取付け状況
(2次系出入口ノズル部)



(1)-①
ヘキサプラグ取付け状況
(1次系出口ノズル部)



(1)-②
スキッドへの積替え作業
(新主中間熱交換器A号機)

(2)大型機器保管倉庫からの搬出準備
 ①新IHX吊上げ
 ②輸送車両への積込み（大型トレーラー）



(2)-①
新IHX及び吊り天秤



(2)-①
新IHX吊上げ



(2)-②
輸送車両への積込み

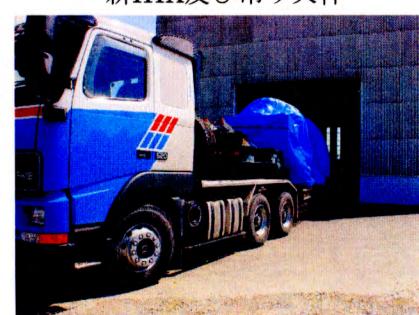


(2)-②
積込み完了

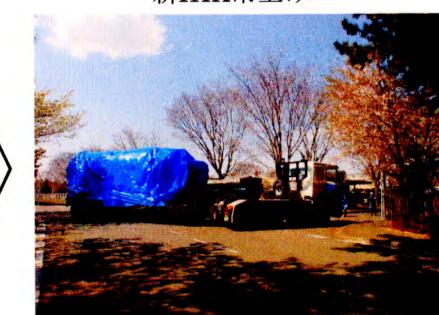


(2)-②
養生シート取付け

(3)運搬（大型機器保管倉庫→メンテナンス建家）
 ①運搬
 ②メンテナンス建家搬入
 ③新IHX積み降ろし



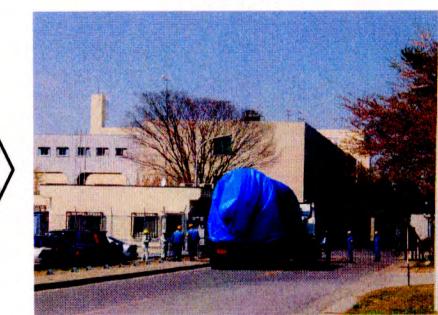
(3)-①
大型機器保管倉庫搬出



(3)-①
南門通過（左折）状況



(3)-①
構内運搬状況



(3)-①
「常陽」門通過状況

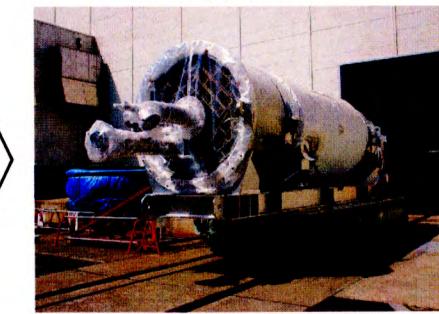


(3)-②
メンテナンス建家搬入

(4)原子炉格納容器内への搬入
 ①メンテナンス台車へ積載
 ②新IHX移送
 ③新IHX搬入（格納容器内）
 ④新IHX積み降ろし
 ⑤立起し用仮設レール設定



(4)-①
メンテナンス台車へ積載



(4)-②
新IHX移送状況



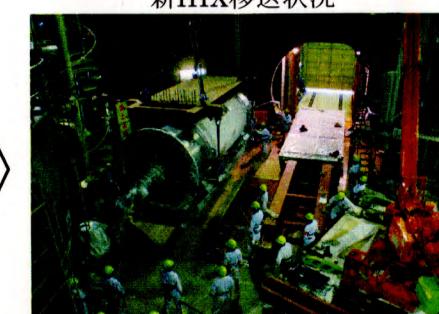
(4)-②
新IHX移送状況



(4)-③
新IHX搬入



(4)-③
新IHX搬入（格納容器内）



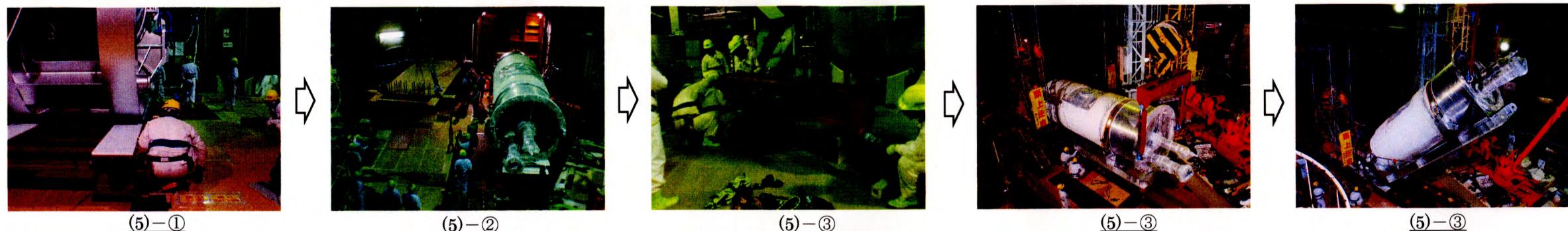
(4)-④
新IHX積み降ろし



(4)-⑤
立起し用仮設レール設定

図7.1-1 新主中間熱交換器の搬入・据付作業状況（1/3）

(5)新IHX立起し
 ①新IHX仮設レール上へ設定
 ②吊り天秤取り外し
 ③新IHX立起し
 ④スキッド固定



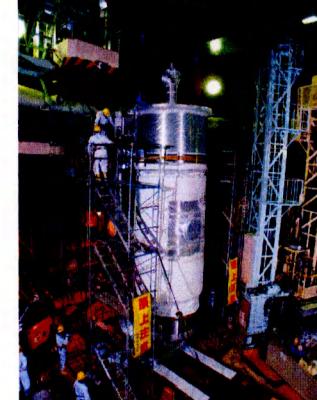
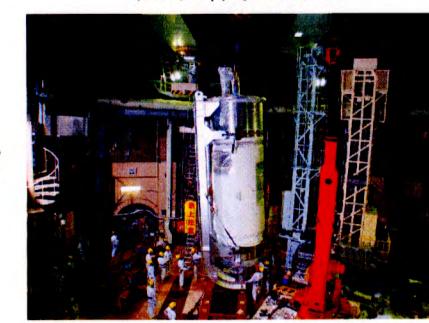
(5)-① 立起し仮設レールへスキッド設定

(5)-② 吊り天秤取り外し

(5)-③ 新IHX吊込み用治具

(5)-④ 新IHX立起し

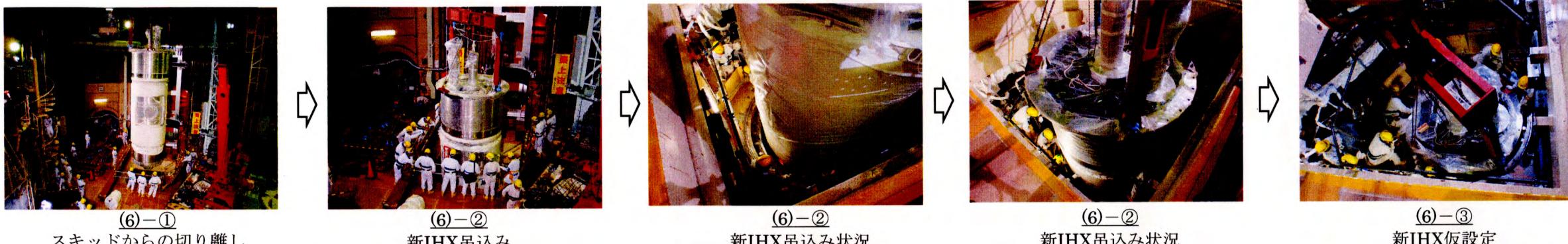
(5)-⑤ 新IHX立起し



(5)-③ スキッド底部の立起し状況

(5)-④ 新IHX方向転換及びスキッド固定

(6)新IHX吊込み、仮設定
 ①スキッドからの切り離し
 ②新IHX吊込み
 ③新IHX仮設定



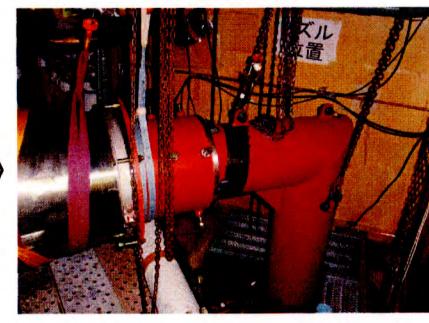
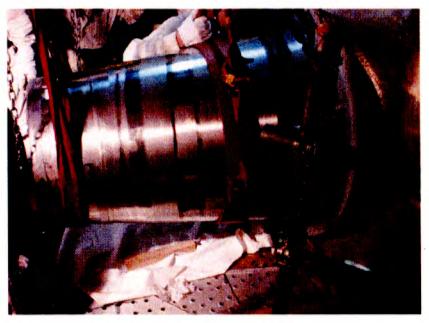
(6)-① スキッドからの切り離し

(6)-② 新IHX吊込み

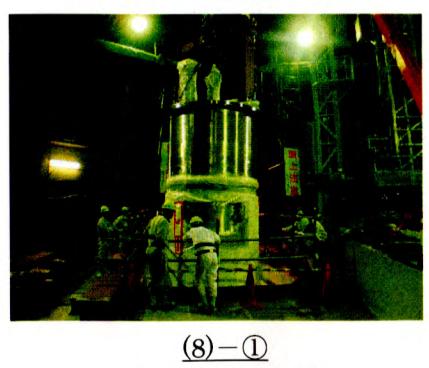
(6)-③ 新IHX吊込み状況

(6)-④ 新IHX吊込み状況

(6)-⑤ 新IHX仮設定



(7)ダミー配管合せ
 ①1次主冷却系配管
 (入口ノズル接続体、出入口配管)
 ②2次主冷却系配管
 (出入口配管)

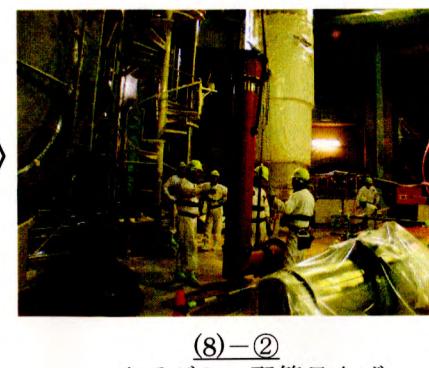


(7)-① 入口ノズル接続体仮合わせ

(7)-② 1次系入口ダミー配管合せ

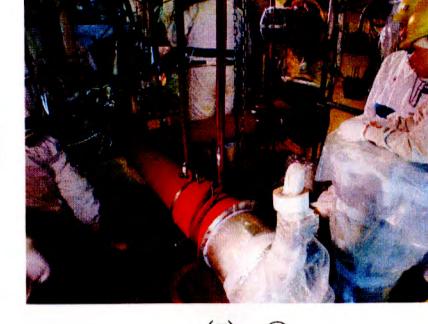
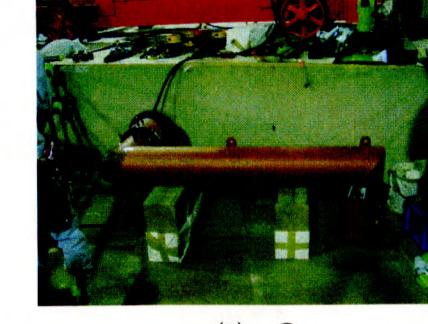
(7)-③ 1次系出口ダミー配管合せ

(8)ダミー配管吊上げ、搬出
 ①新IHX仮吊上げ
 ②1次系ダミー配管吊上げ
 ③新IHX仮設定



(8)-① 新IHX仮吊上げ

(8)-② 1次系ダミー配管吊上げ

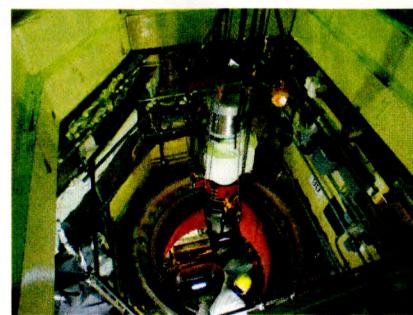


(7)-② 2次系出口ダミー配管

(7)-③ 2次系入口ダミー配管合せ

図7.1-1 新主中間熱交換器の搬入・据付作業状況 (2/3)

(9)新接続配管吊込み、
新IHX本据付
①新IHX仮吊上げ
②接続配管吊込み
③新IHX吊込み、本据付



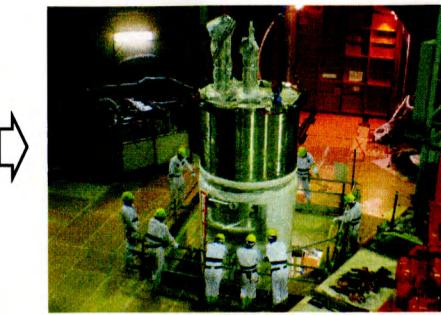
(9)-②
接続配管搬入（1次系出口配管）



(9)-②
接続配管搬入（1次系入口配管）



(9)-②
接続配管搬入（入口ノズル接続体）



(9)-③
新IHX吊込み



(9)-③
新IHX本据付

(10)上部遮へい体取付け
①上部遮へい体取付け



(10)-①
上部遮へい体取付け前状況



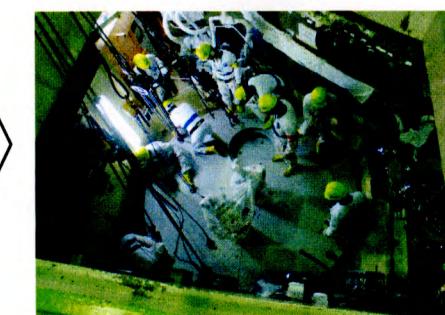
(10)-①
上部遮へい体吊込み状況



(10)-①
上部遮へい体取付け状況



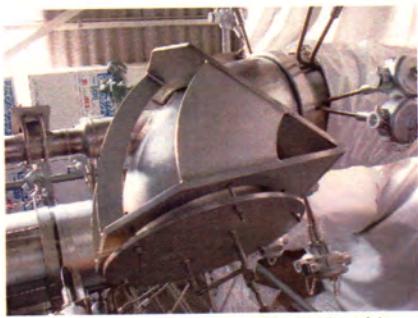
(10)-①
上部遮へい体取付け状況



(10)-①
上部遮へい体取付け状況



保管時の閉止板（取替え前）
(1次系入口ノズル部)



保管時の閉止板（取替え前）
(2次系入口ノズル部)



保管時の閉止板（取替え前）
(2次系出口ノズル部)



ヘキサプラグ取付け状況
(1次系入口ノズル部)



ヘキサプラグ取付け状況
(1次系入口ノズル部)



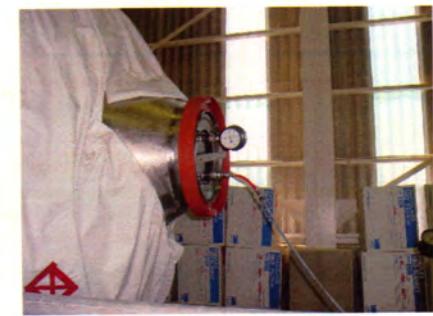
ヘキサプラグ取付け状況
(1次系入口ノズル部)



新主中間熱交換器
(大型機器保管倉庫内)



ヘキサプラグ取付け完了
(2次系出入口ノズル部)



ヘキサプラグ取付け完了
(1次系出口ノズル部)



ヘキサプラグ取付け完了
(1次Arガス系ノズル部)

図7.1-2 新主中間熱交換器ノズル部の閉止板交換作業状況

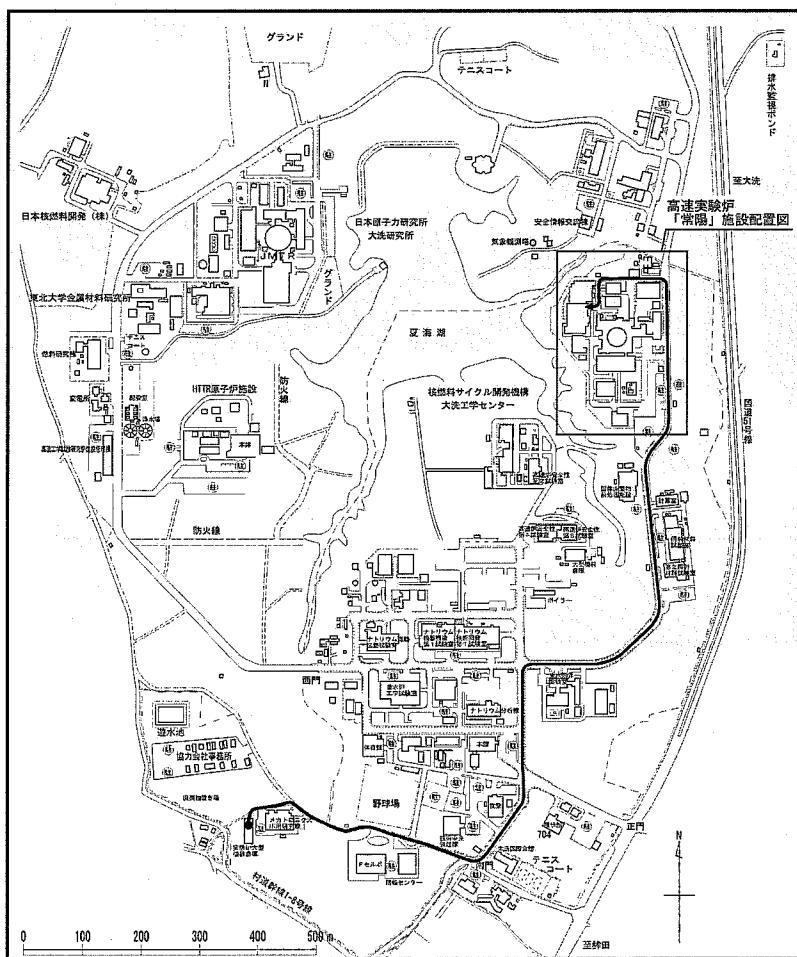
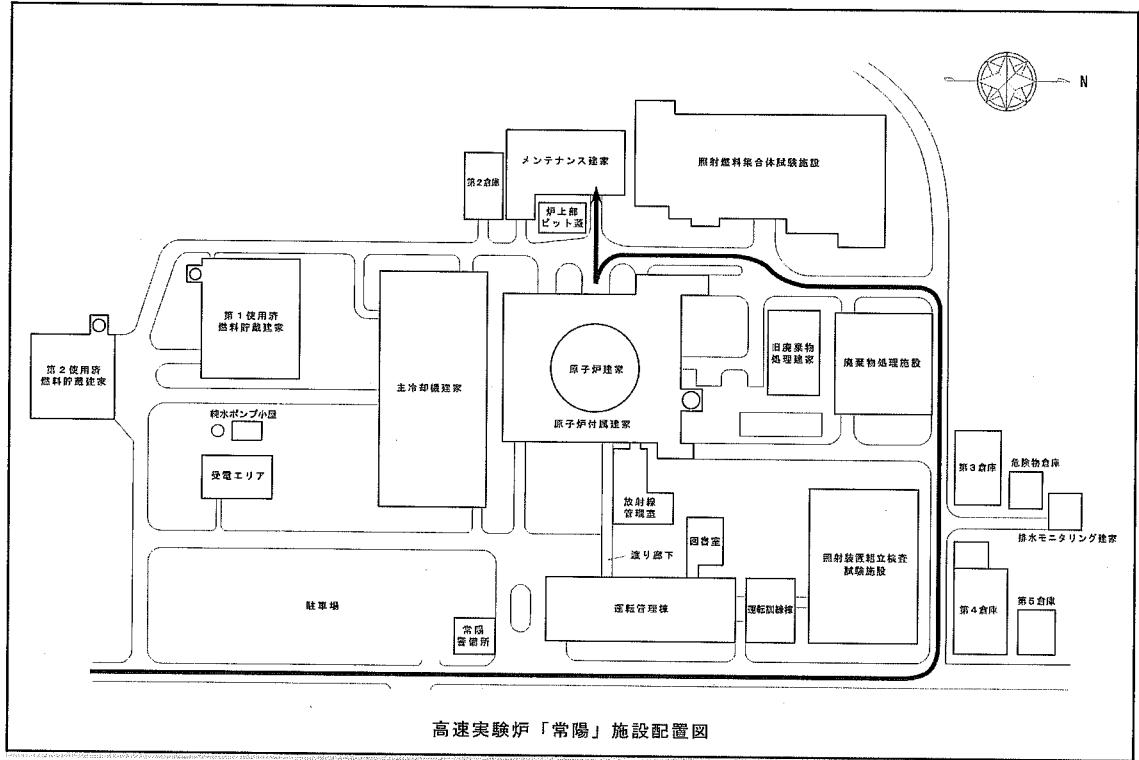
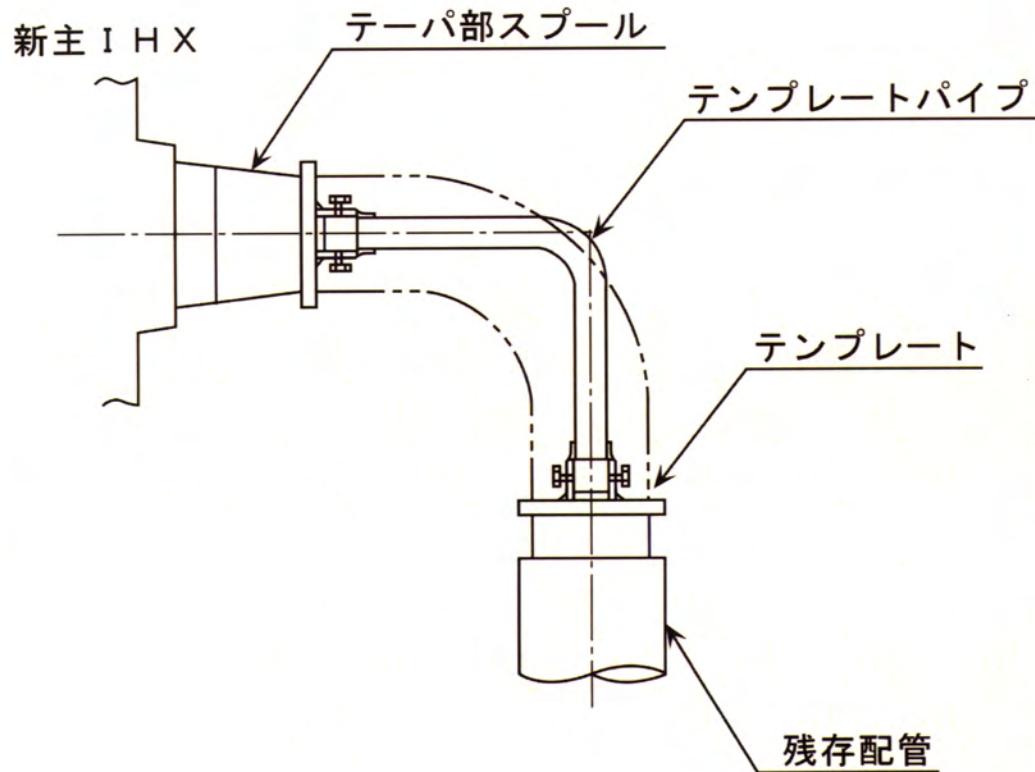


図 7.1-3 新主中間熱交換器の運搬ルート
(大型機器保管倉庫→メンテナンス建家) (1/2)



高速実験炉「常陽」施設配置図

図 7.1-3 新主中間熱交換器の運搬ルート（大型機器保管倉庫→メンテナンス建家）(2/2)



ダミー配管の構造図
(接続用 1次主冷却系入口配管)



ダミー配管合わせ状況
(1次系入口配管)



ダミー配管合わせ状況
(2次系入口配管)



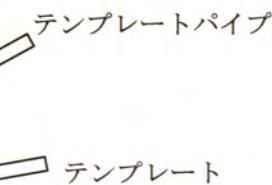
ダミー配管合わせ状況
(1次系出口配管)



テンプレート溶接固定状況
(1次系出口配管)



ダミー配管外観 (2次系出口配管)



ダミー配管の外観
(接続用 1次主冷却系入口配管)

図7.1-4 ダミー配管の構造及び外観

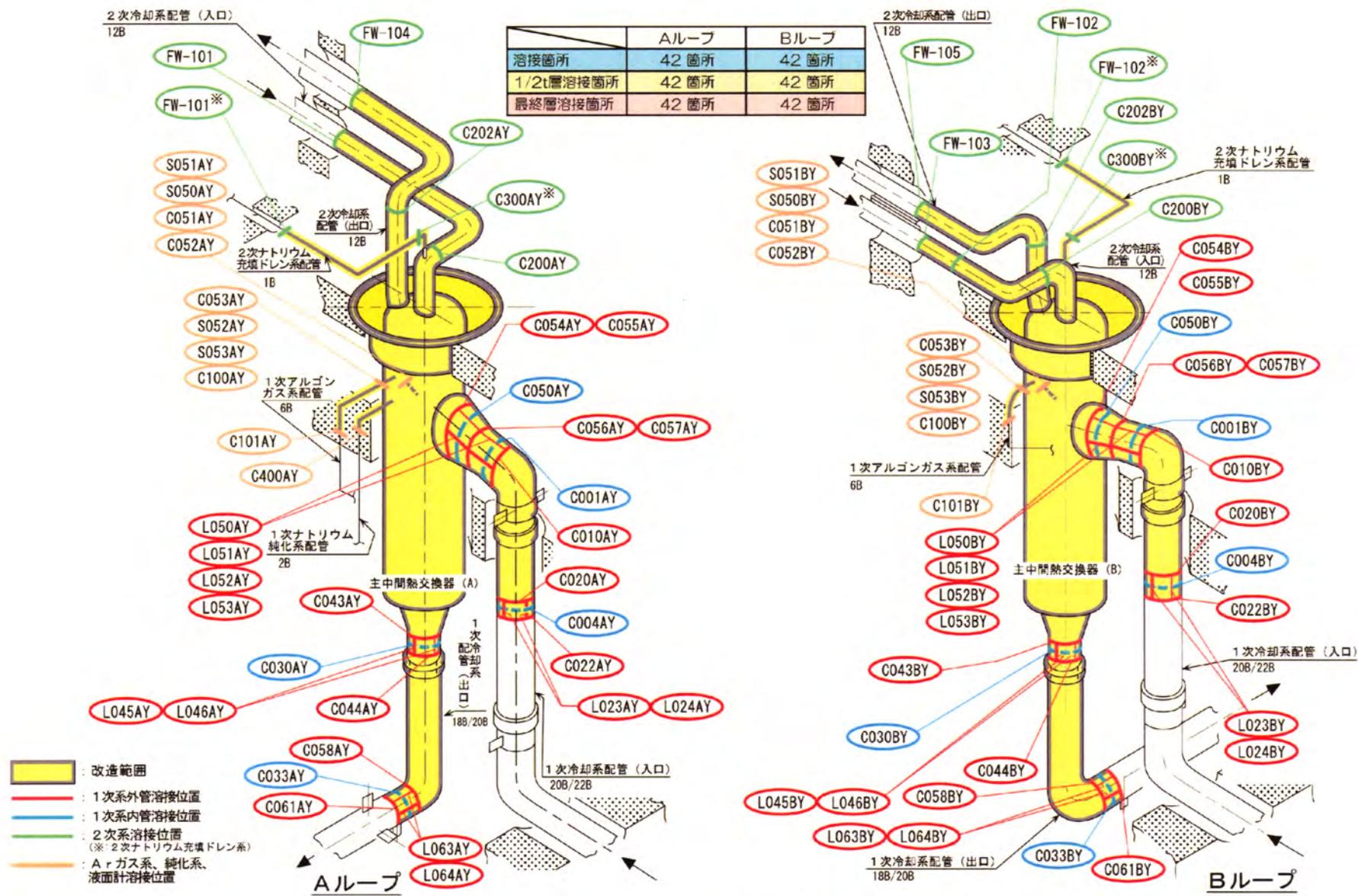


図 7.2-1 新主中間熱交換器接続配管の溶接位置

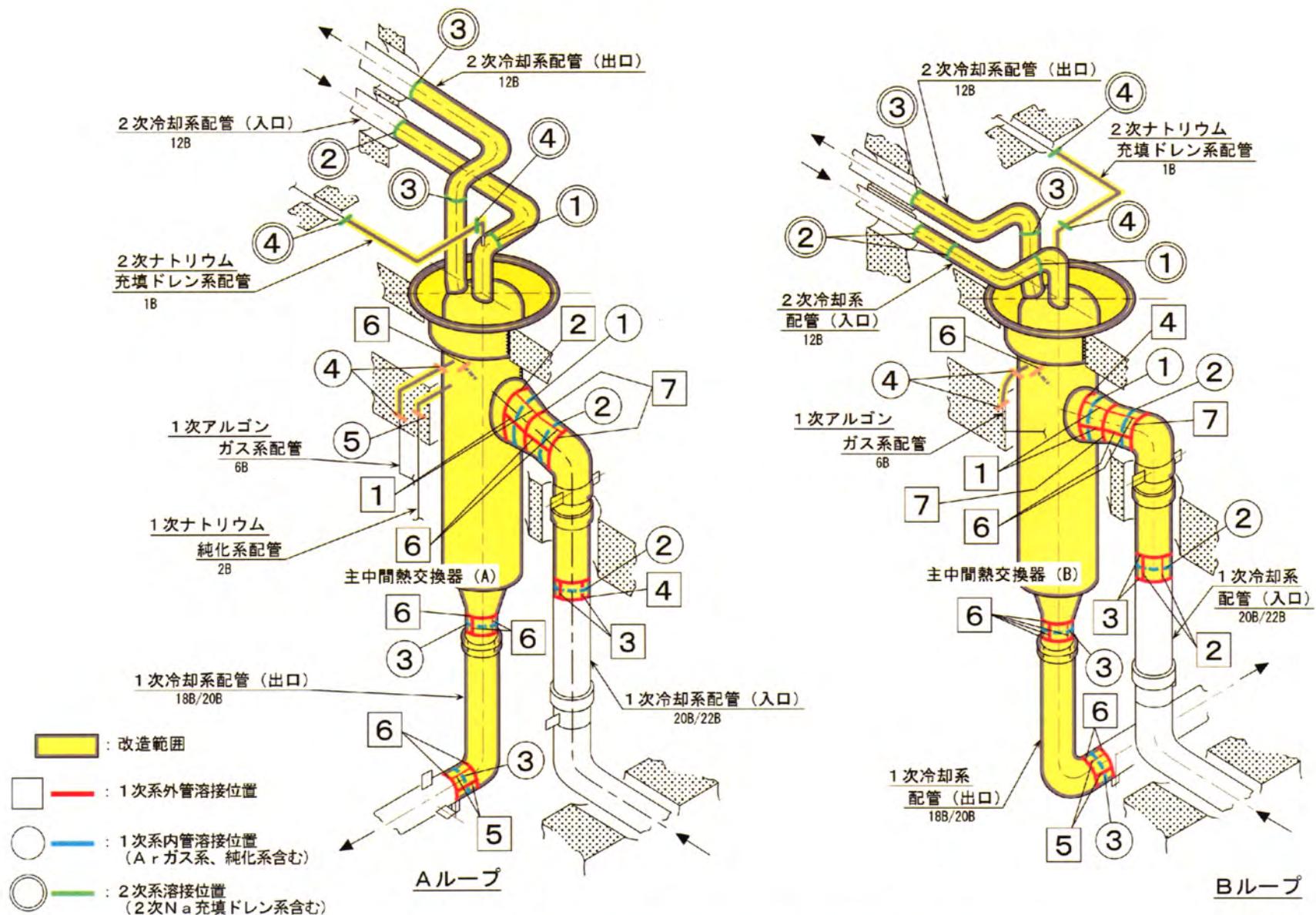


図 7.2-2 新主中間熱交換器接続配管の溶接順序（実績）

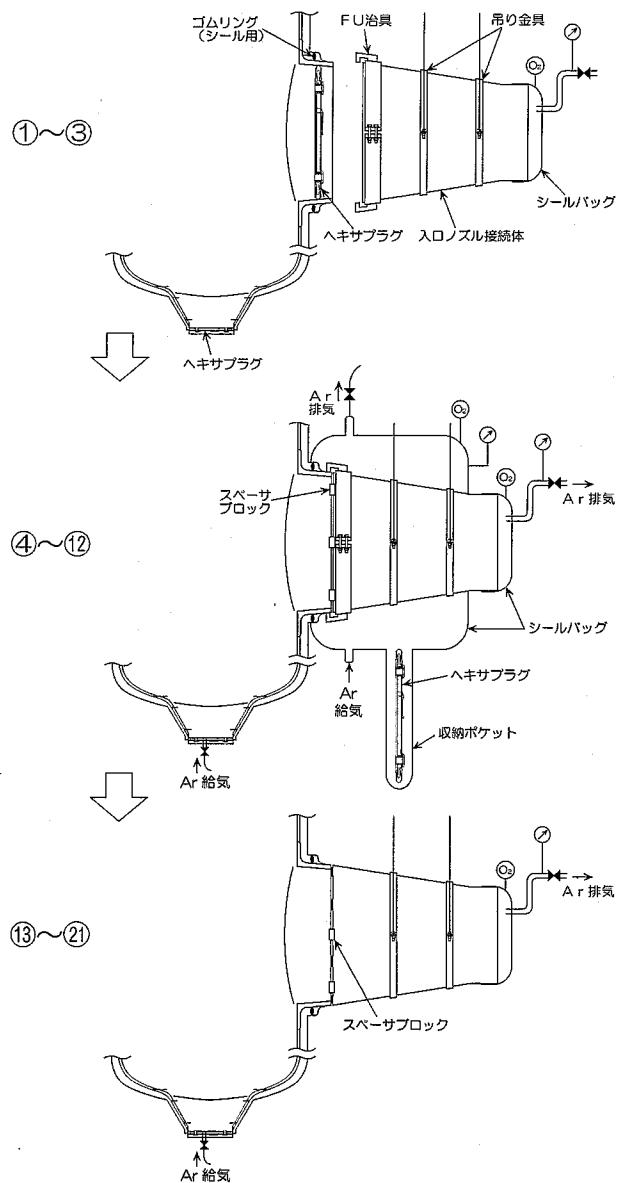


図 7.2-3 入口ノズル接続体の溶接手順概念図

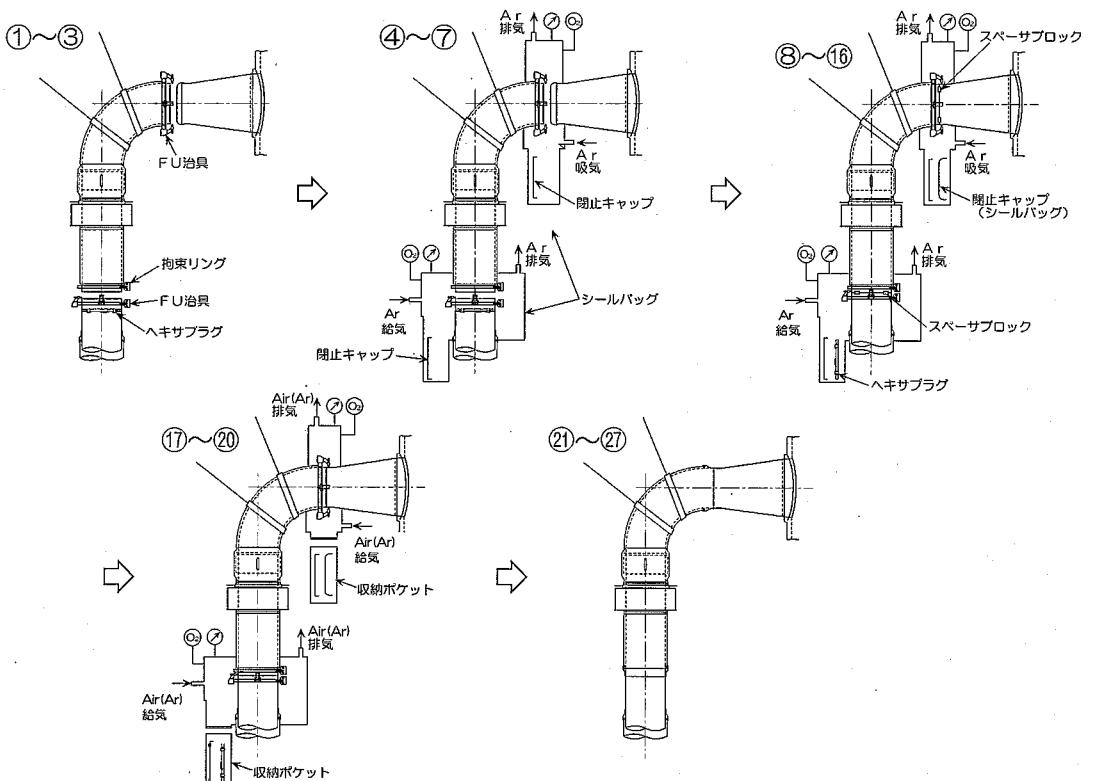


図 7.2-4 入口接続配管内管の溶接手順概念図

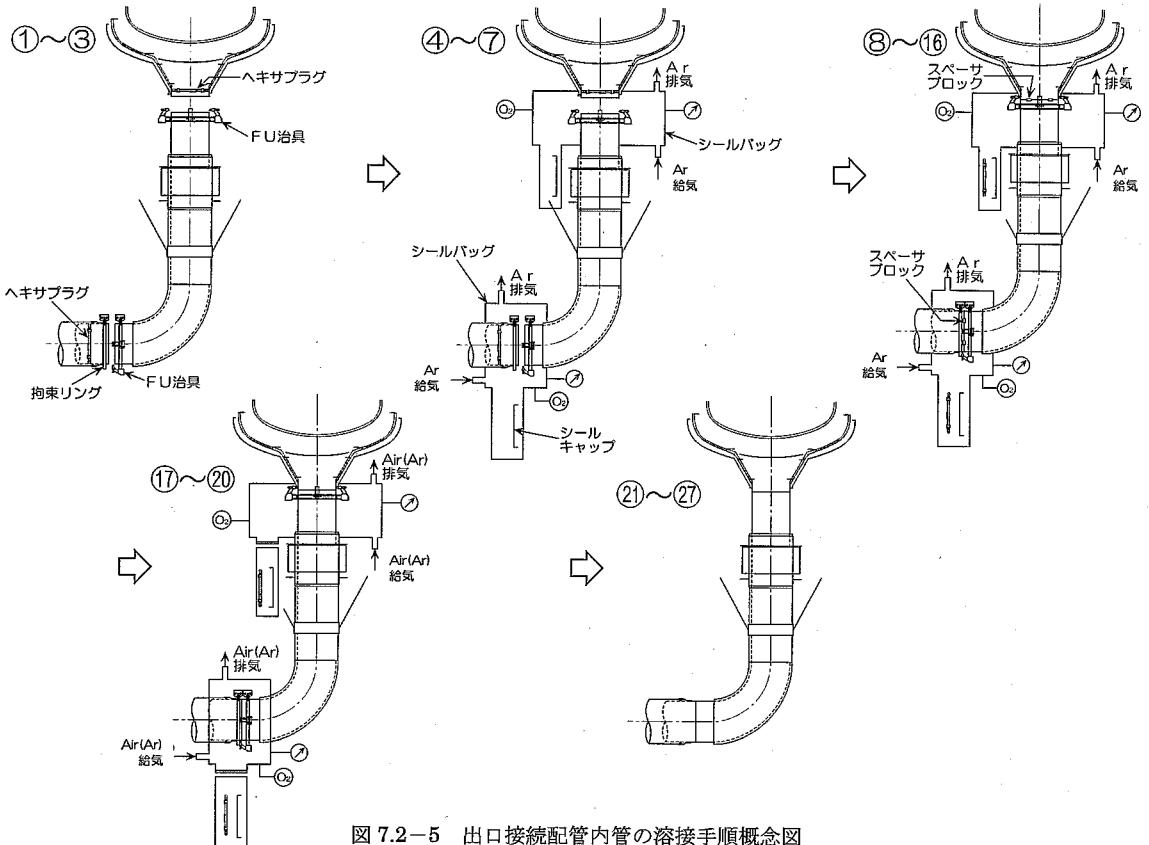


図 7.2-5 出口接続配管内管の溶接手順概念図

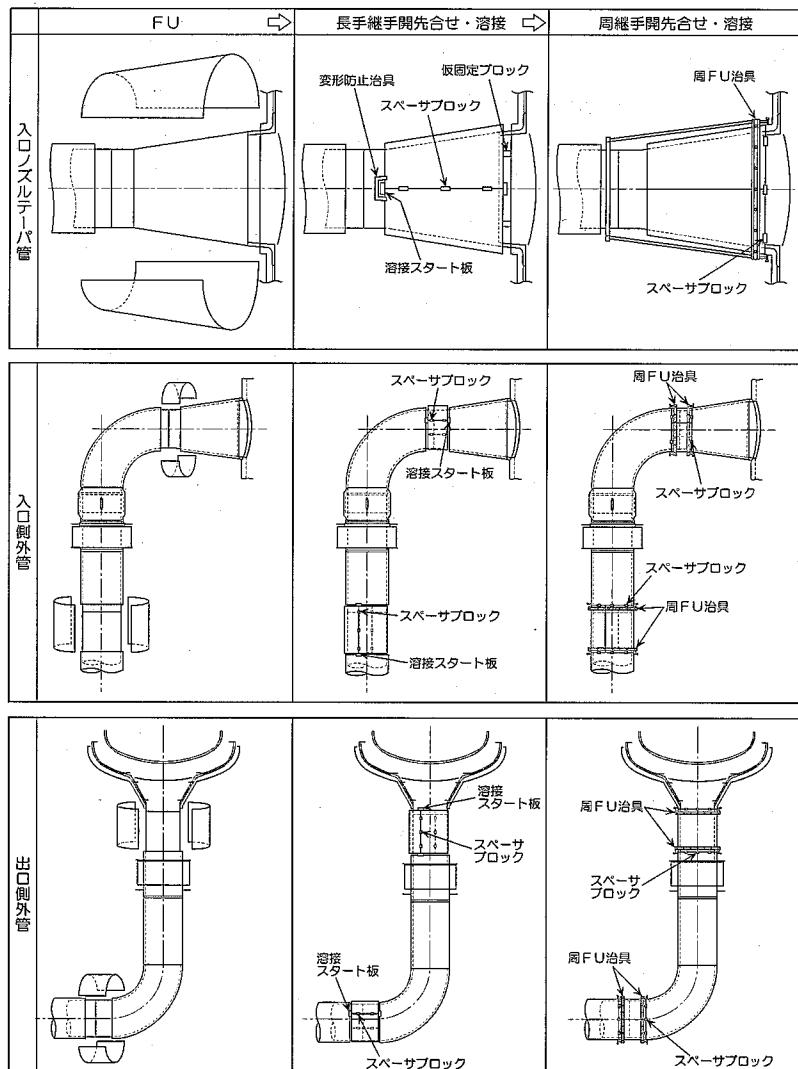


図 7.2-6 1 次主冷却系配管外管の溶接手順概念図

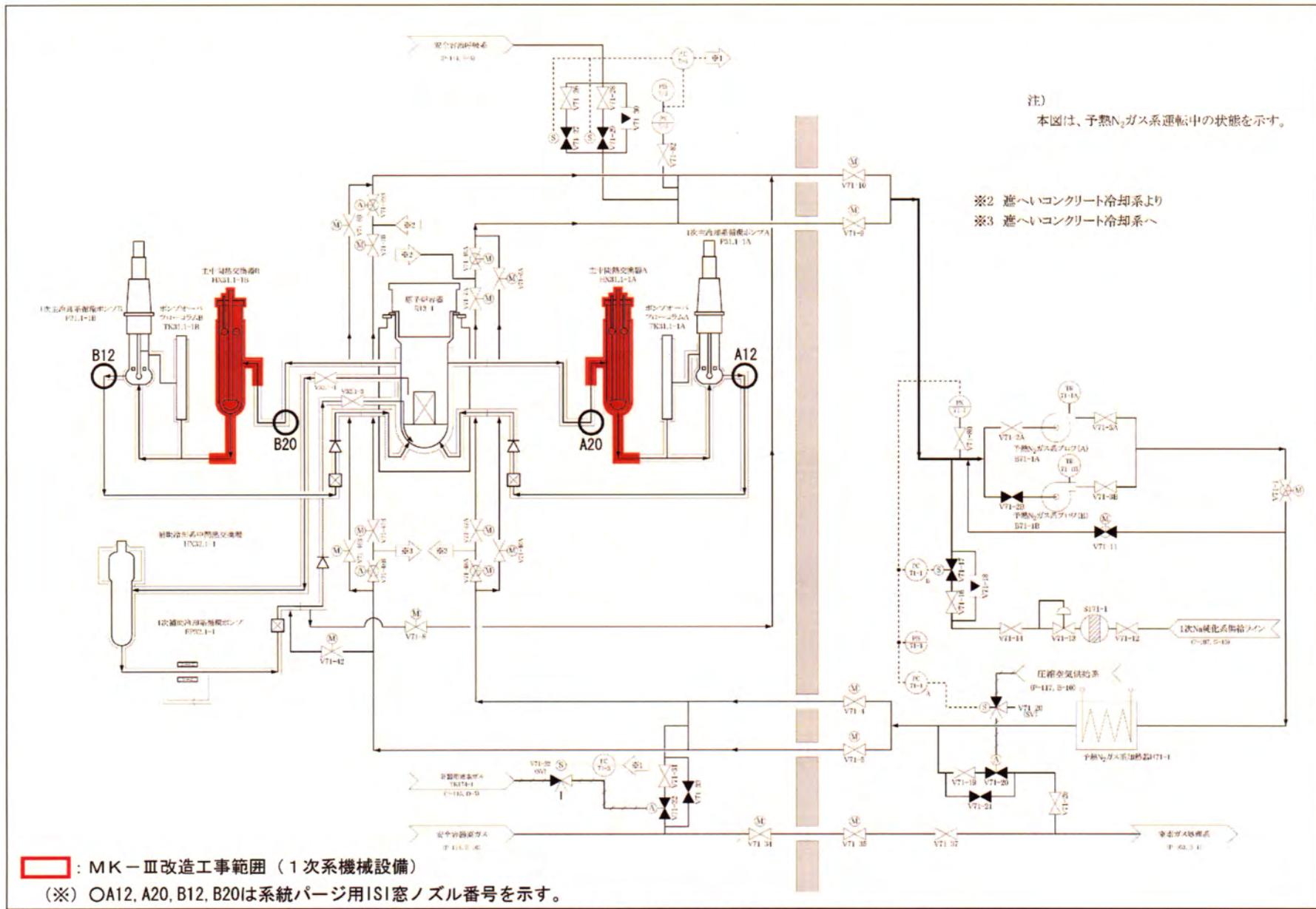


図 7.2-7 予熱窒素ガス系 ISI 窓の設置位置

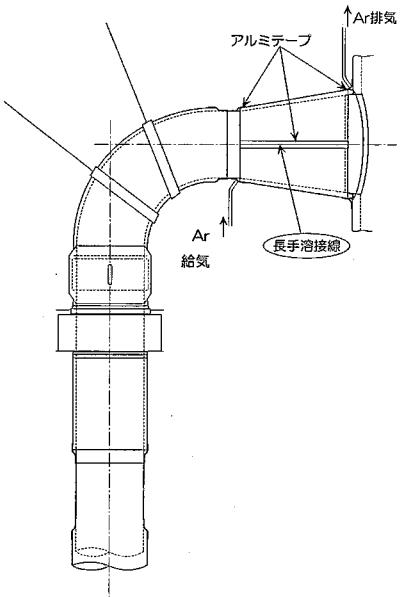
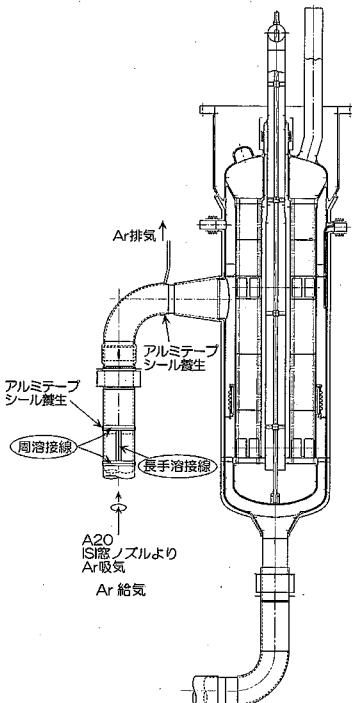
STEP-1STEP-2
STEP-3

図 7.2-8 (1/3) 1次主冷却系配管外管溶接時のバックシールガスページ要領

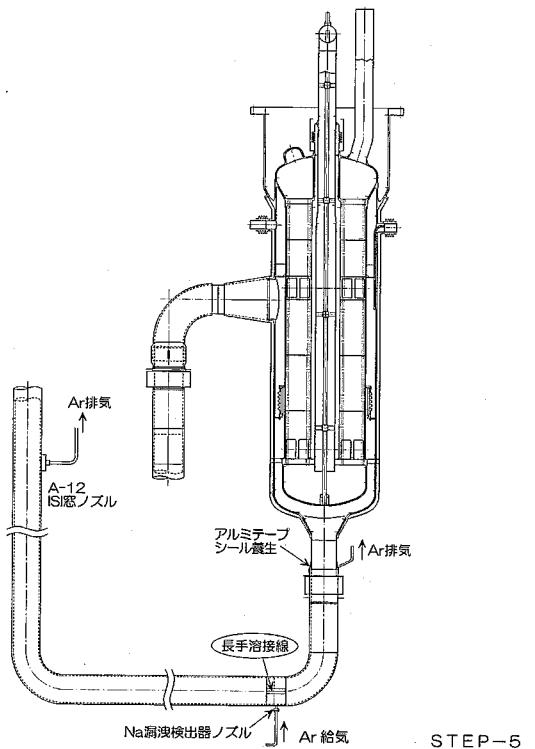
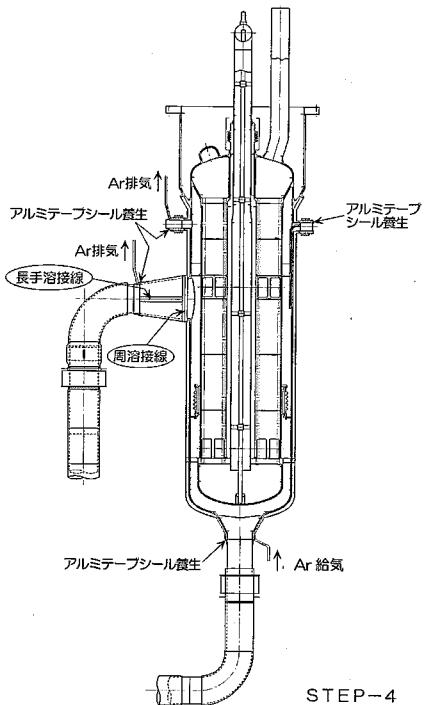


図 7.2-8 (2/3) 1次主冷却系配管外管溶接時のバックシールガスページ要領

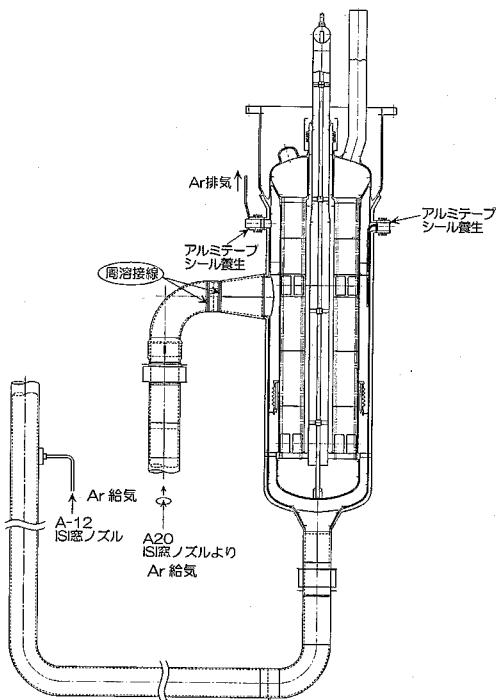
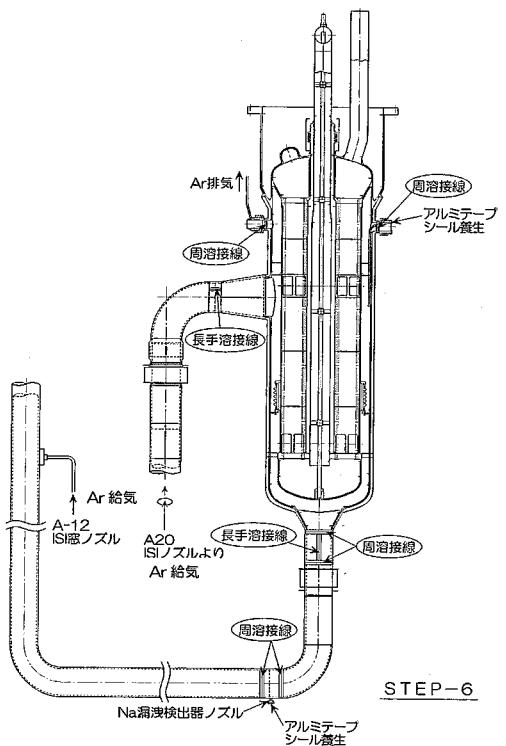


図 7.2-8 (3/3) 1次主冷却系配管外管溶接時のバックシールガスページ要領

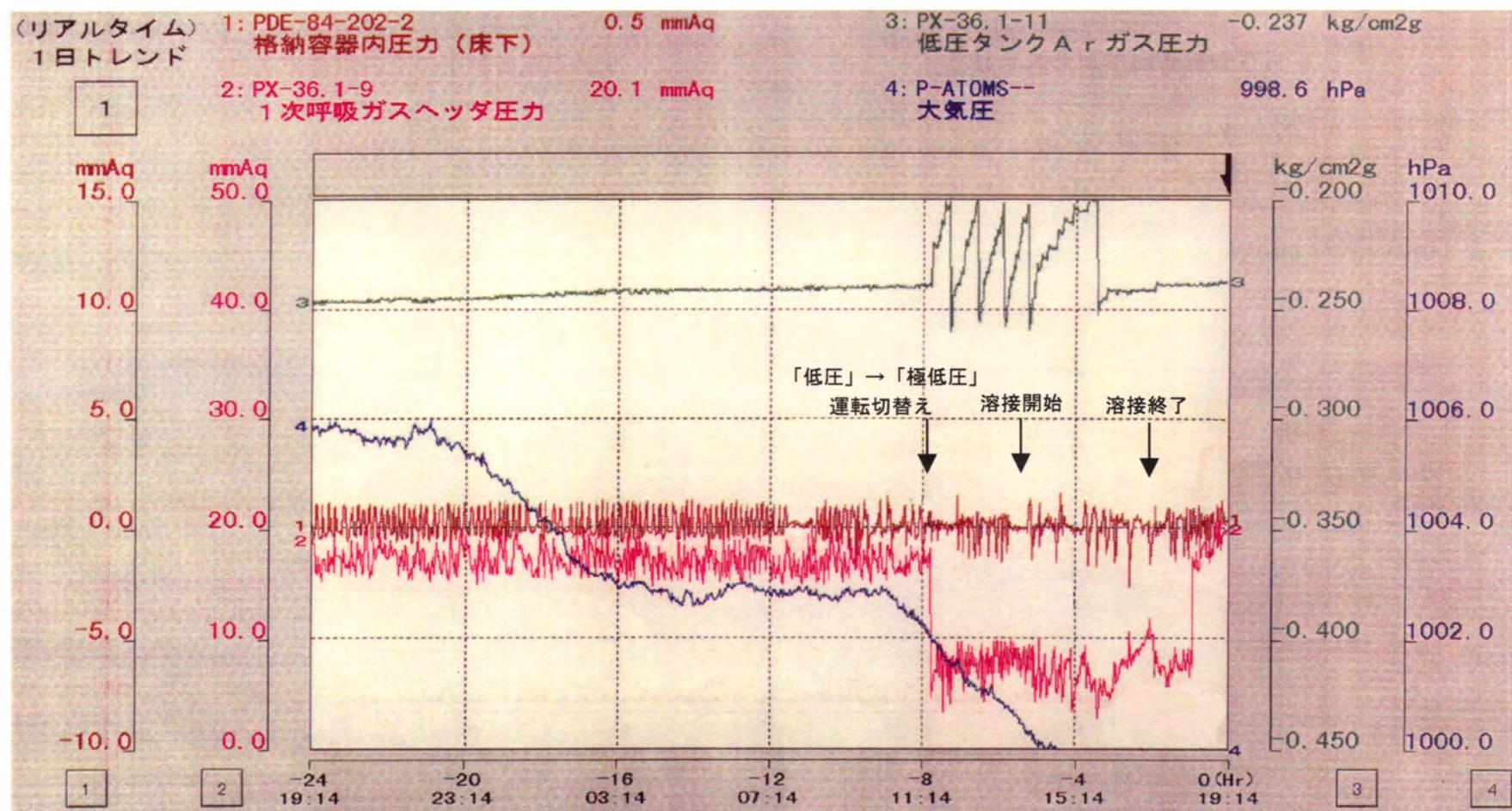


図 7.2-9 配管溶接時のカバーガス圧力管理状況（1 主冷却系入口配管(A)）

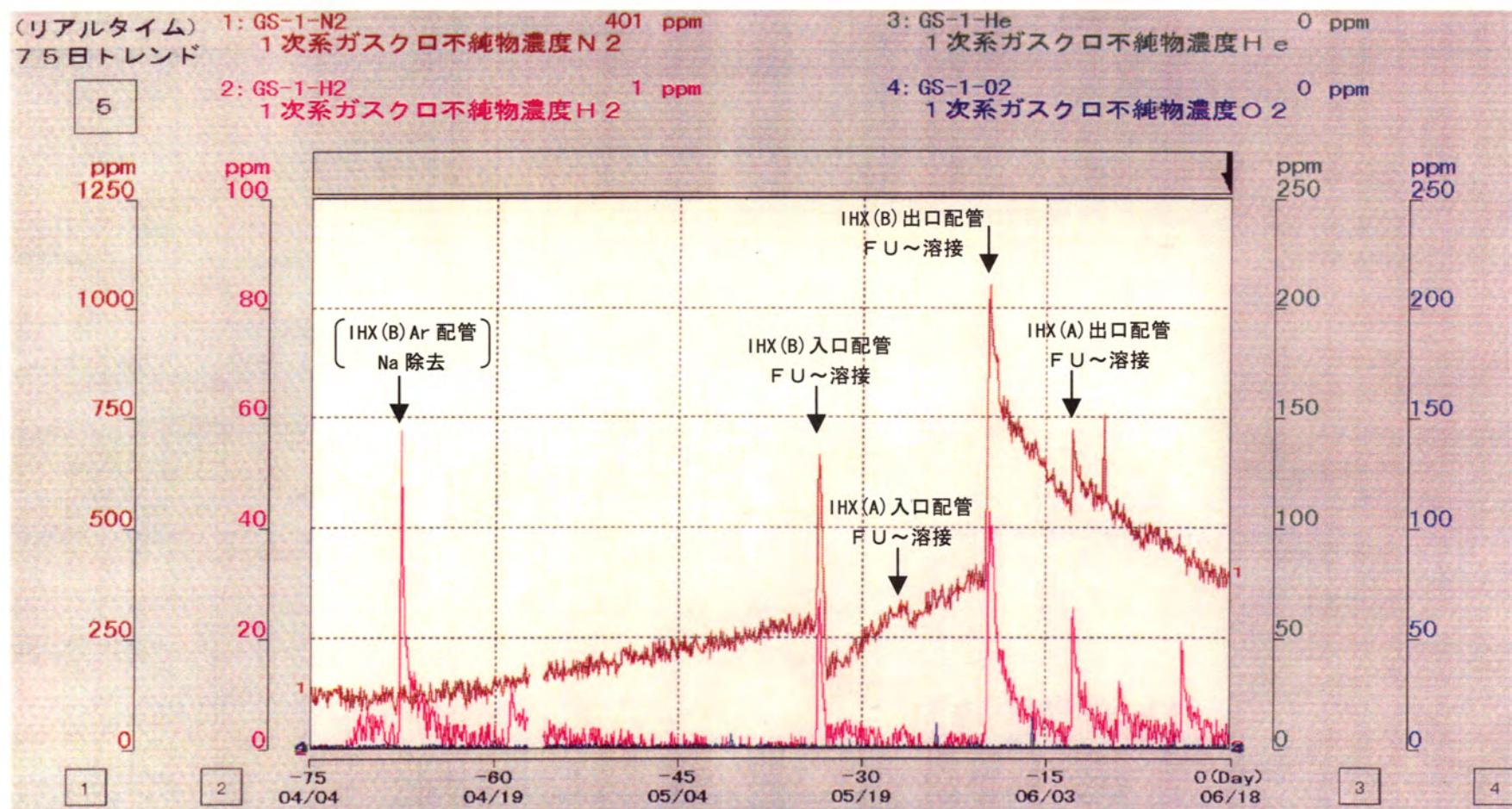


図 7.2-10 配管溶接時の酸素濃度及び窒素濃度管理状況
 (1 主冷却系入口配管(A)(B)、1 次主冷却系出口配管(A)(B))

溶接対象		総ショット数 ^{*2}			不良ショット数 ^{*2}			不良率(%)
(系統配管)	(溶接)	A	B	計	A	B	計	
1次系内管	初層溶接	36	36	72	17	7	24	33
	残層溶接	36	36	72	9	4	13	18
1次系外管	1/2層溶接	98	98	196	6	5	11	6
	残層溶接	98	98	196	3	4	7	4
1次Arガス系	1/2層溶接	24	24	48	10	7	17	35
	残層溶接	24	24	48	0	0	0	0
液面計ノズル	1/2層溶接	24	24	48	0	0	0	0
	残層溶接	24	24	48	0	0	0	0
1次Na純化系	1/2層溶接	3	0	3	1	0	1	33
	残層溶接	3	0	3	3	0	3	100
2次系配管	1/2層溶接 ^{*1}	24	30(6)	54(6)	0	0(1)	0(1)	0
	残層溶接	24	30	54	0	0	0	0
2次Na充填ドレン系配管	1/2層溶接	-	-	0	-	-	0	0
	残層溶接	6	6	12	0	0	0	0
合 計		424	430 (6)	854 (6)	49	27 (1)	76 (1)	9

*1)初層溶接又は1/2層溶接

*2)補修前に実施したRT検査の撮影総ショット数及び不良ショット数を示す。

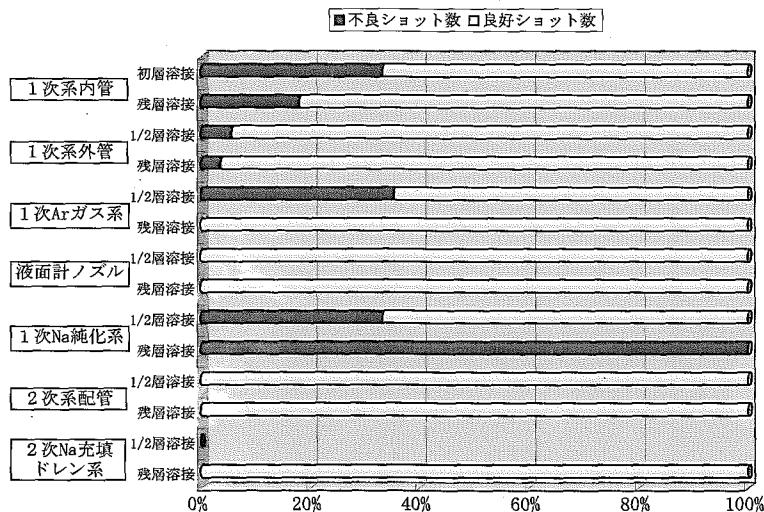


図7.2-11 RT検査結果（メーカ自主）の溶接不良発生率

設置変更許可申請書

添付書類 8 の変更点の番号及び見出し

3. 原子炉及び炉心

3.2 燃料

3.3 反射体及び遮へい集合体

3.4 制御棒及び制御棒駆動系

3.6 原子炉容器

1 1. 核熱設計及び動特性

11.2 炉心構成

11.3 核設計

11.4 熱設計

11.5 動特性

5. 原子炉冷却系

5.2 1次冷却系

5.3 2次冷却系

5.5 運転方法

1 2. 耐震設計

12.7 MK-III炉心への変更に係る原子炉本体
及び原子炉冷却系統施設並びに第二使用
済燃料貯蔵施設及び廃棄物処理施設の耐
震設計

6. 計測制御系

6.2 中央制御室

6.3 制御系

6.7 安全保護系

原子炉本体の一部変更

移行炉心及びMK-III炉心燃料集合体の製作 (第1回申請)	移行炉心及びMK-III炉心に用いる外側燃料集合体、並びにMK-III 炉心に用いる内側及び外側燃料集合体を製作する。
遮へい集合体の製作 (第5回申請)	炭化ほう素を装填した遮へい集合体を製作する。
炉心の変更 (第6回申請)	炉心を MK-III 炉心に変更し、原子炉の熱出力は 100MW から 140MW に増加する。
ダミープラグの製作 (第6回申請)	制御棒駆動機構取付孔にダミープラグを製作し、設置する。

原子炉冷却系統施設の一部変更

主中間熱交換器の交換 (第2回申請)	
第1編 1次冷却系設備の一部変更	容量を 50MW / 基から 70MW / 基へ増加させた主中間熱交換器を 製作し、付随する1次冷却系主配管と共に交換する。
第2編 2次冷却系設備の一部変更	主中間熱交換器の交換に伴い、付随する2次冷却系主配管を交換す る。
第3編 不活性ガス設備の一部変更	主中間熱交換器の交換に伴い、付随する1次アルゴンガス系配管を 交換する。
第4編 冷却材ナトリウム純化設備の一 部変更	主中間熱交換器の交換に伴い、付隨する1次冷却材純化系配管を一 部撤去する。
第5編 ナトリウム充填ドレン系設備の 一部変更	主中間熱交換器の交換に伴い、付隨する2次ナトリウム充填及びド レン系配管を交換する。

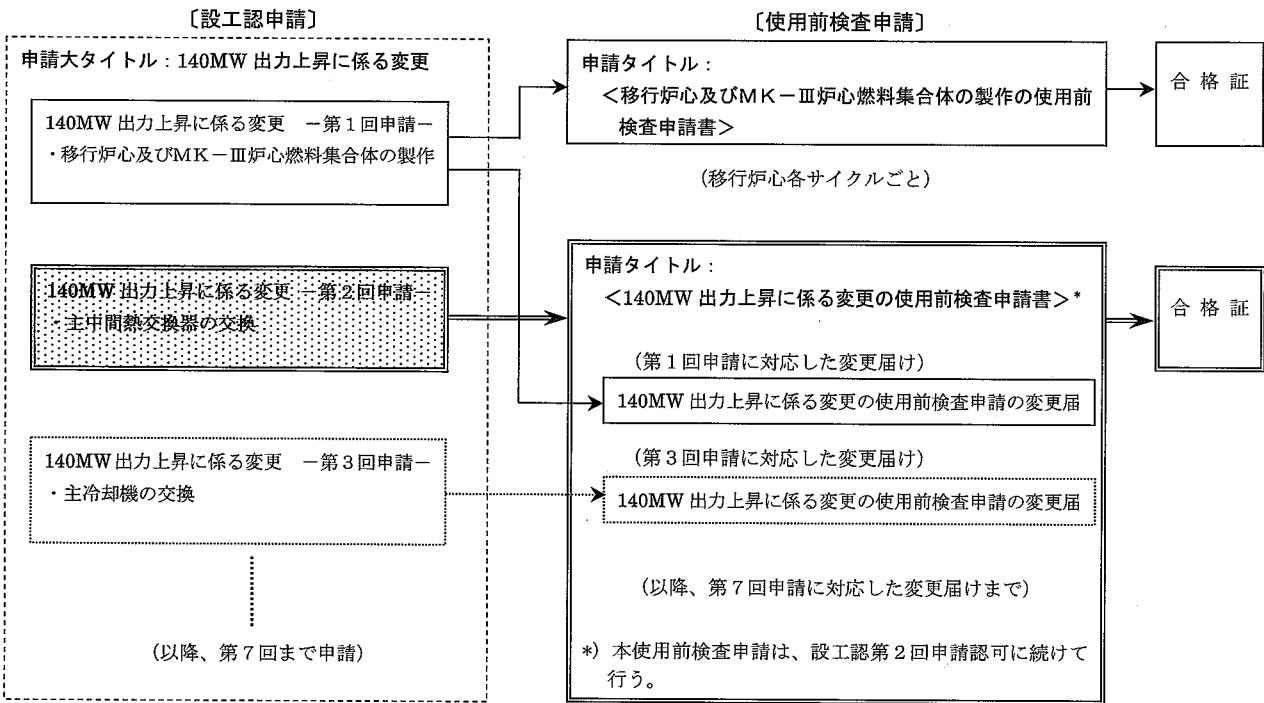
主冷却機の交換 (第3回申請)	容量を 25MW / 基から 35MW / 基へ増加させた主冷却機を製作し、 付隨する2次冷却系主配管と共に交換する。
2次冷却系主循環ポンプの一部変更 (第4回申請)	2次冷却系主循環ポンプの駆動用電動機を交換する。

計測制御系統施設の一部変更

冷却系冷却材の流量調節設備及び原子炉冷却材温度制御設備の一部変更 (第4回申請)	
第1編 1次冷却系冷却材の流量調節設 備の一部変更	原子炉スクラム時において、1次冷却系主循環ポンプの流量を自動 的に低流量に調節する制御設備 (ランバック制御) に交換する。
第2編 2次冷却系冷却材の流量調節設 備の一部変更	2次冷却系の流量増加に伴い、制御盤を交換する。
第3編 原子炉冷却材温度制御設備の一 部変更	原子炉容器入口冷却材温度の約 370°C から約 350°C への変更に伴 い、制御盤を改造する。
安全保護系設備の一部変更 (第7回申請)	原子炉停止回路の種類のうち、制御棒一齊挿入を削除してスクラムに 統一する。これに対応したスクラム項目の変更により、ロジック盤等を 改造する。

注) 本図は「PNC PN9440 96-006」より抜粋したものである。

図 8.1-1 MK-III 設置許可申請書の変更点と設工認の分割申請項目



注） 本図は「PNC PN9440 96-006」より抜粋したものである。

図 8.1-2 設工認申請と使用前検査申請の方法

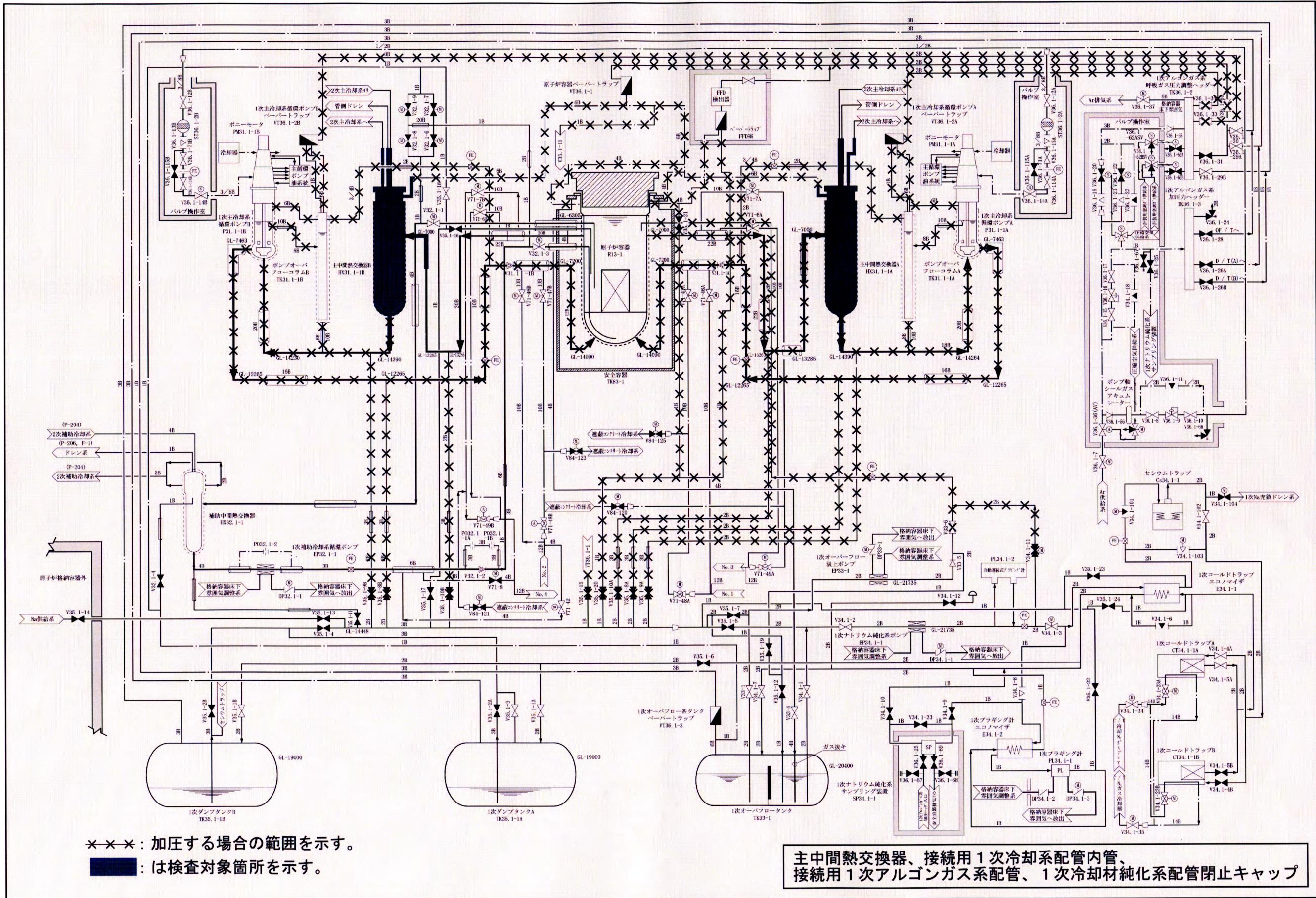


図 8.2-1 (1/3) 規定圧力で耐圧検査を実施する場合の耐圧試験系統図

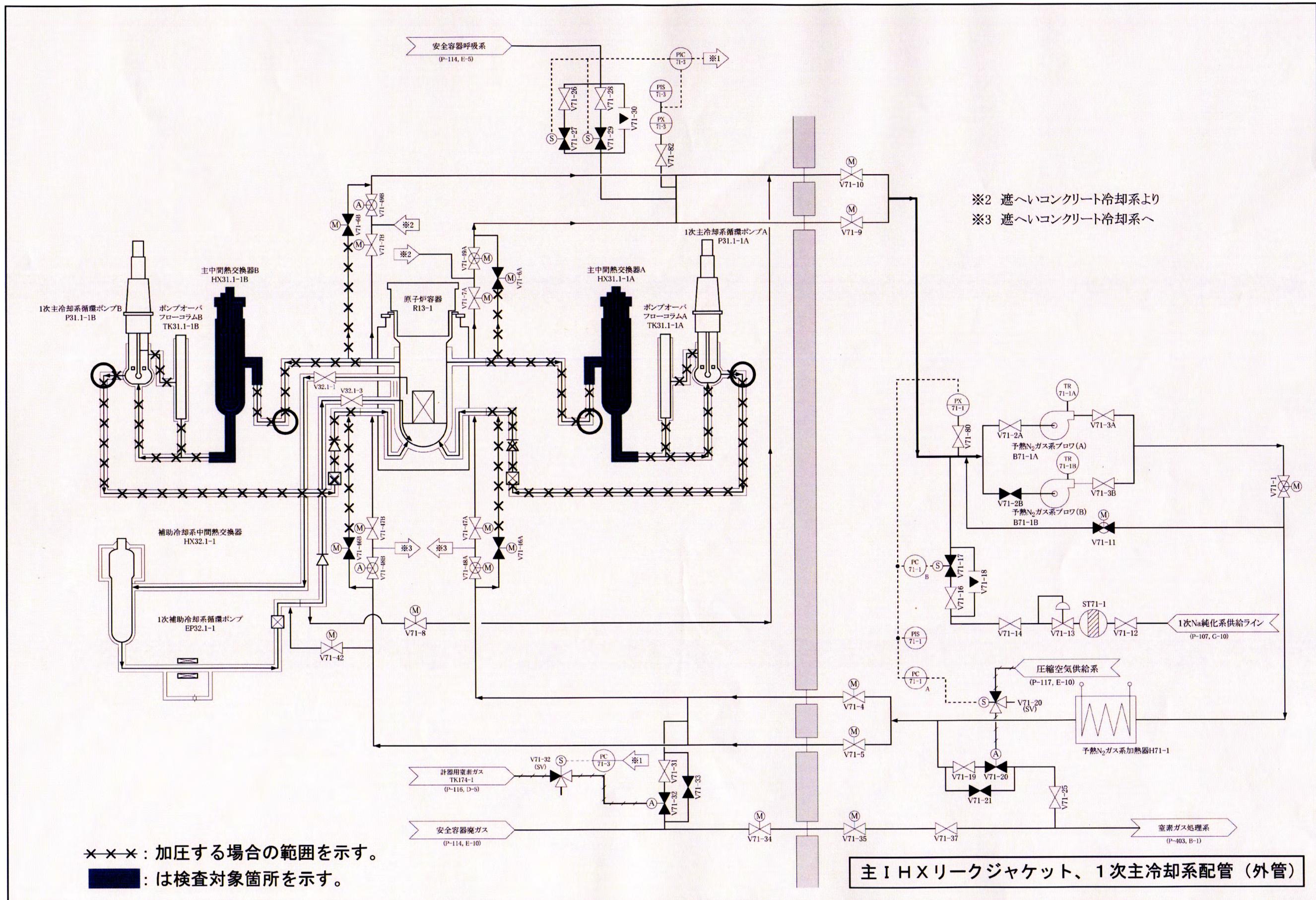


図 8.2-1 (2/3) 規定圧力で耐圧検査を実施する場合の耐圧試験系統図

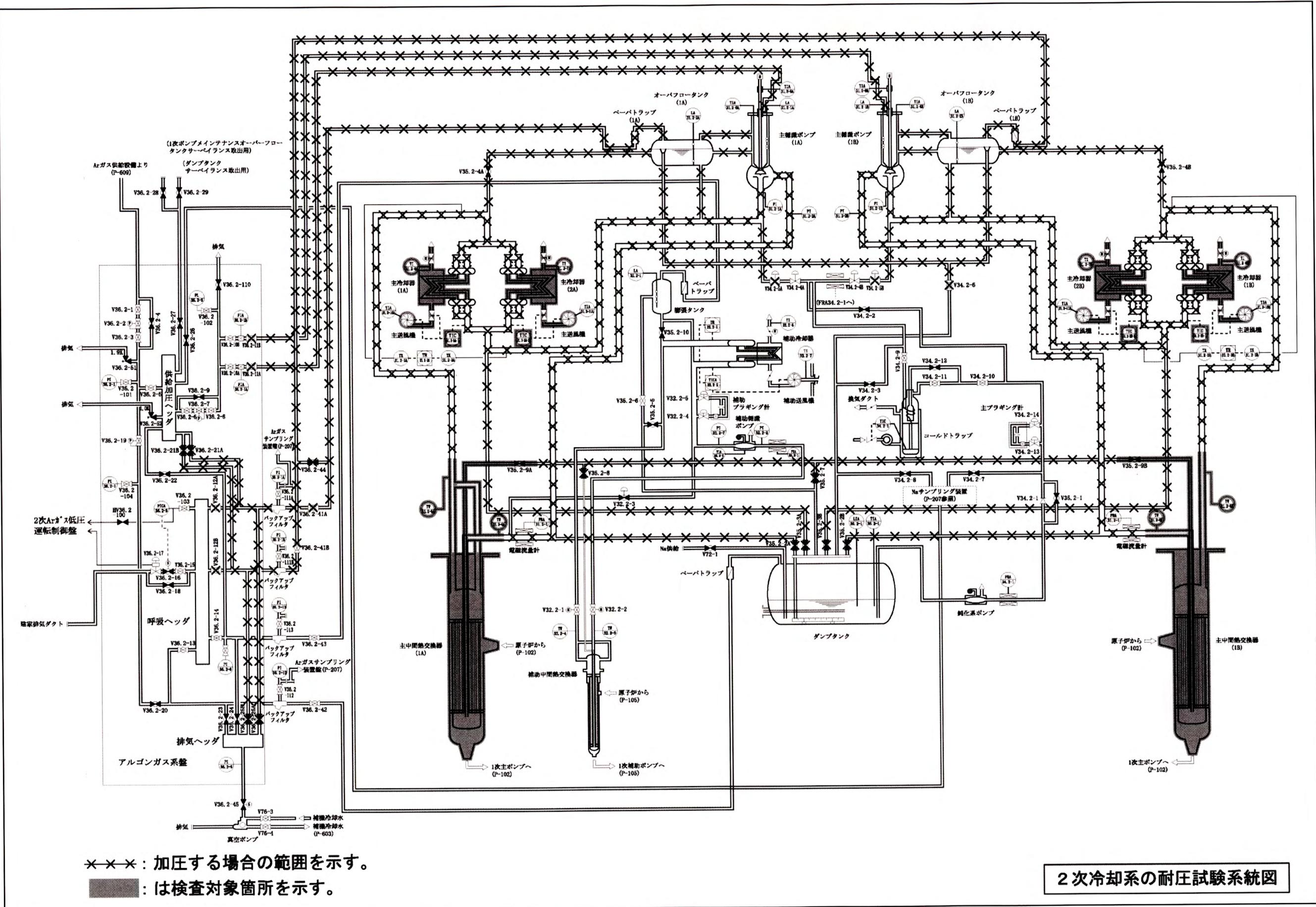
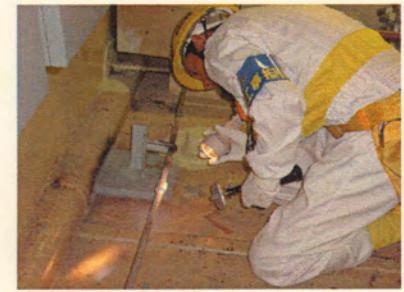
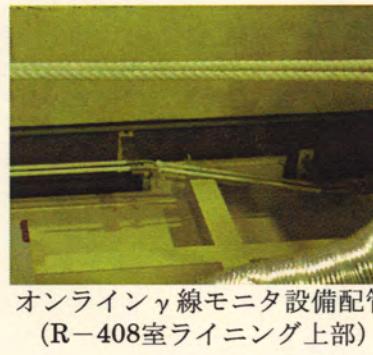
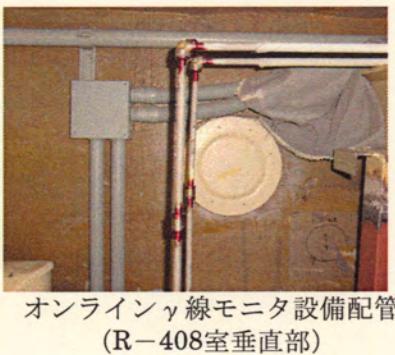
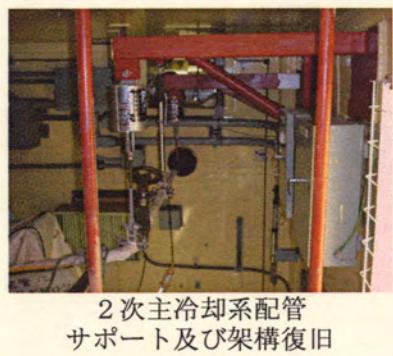


図 8.2-1 (3/3) 規定圧力で耐圧検査を実施する場合の耐圧試験系統図

①干渉配管復旧



②サポート・架構



③ダクト・変位計復旧

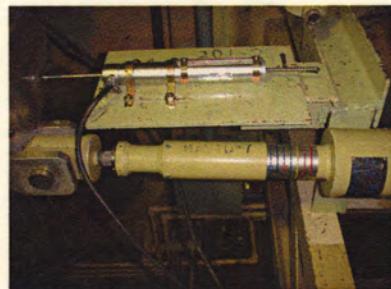
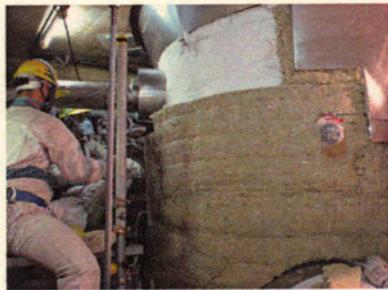


図9.1-1 (1/2) 復旧作業状況

④ 保溫材復旧



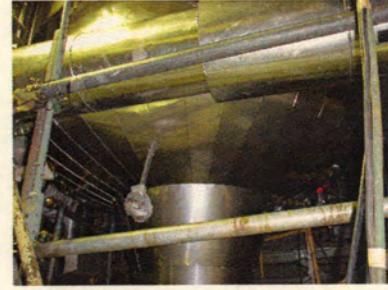
主 IHX 入口ノズル部
保溫材取付け



主 IHX 胸部保溫材取付け
(R-302室)



主 IHX 低部保溫材取付け
(R-201室)



保溫材、保溫外装板復旧完了
(R-204室)



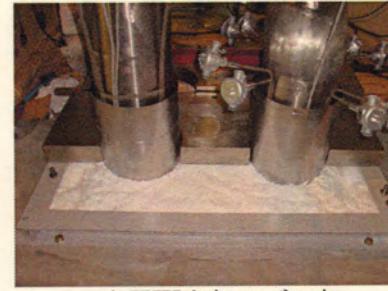
1 次主冷却系配管入口ノズル部
(R-302室)



保溫材、保溫外装板復旧完了
(R-302室)



保溫材、保溫外装板復旧完了
(1次主冷却系出口配管)



主 IHX 上部ノズル部
保溫材及び遮へい体取付け

⑤ ハッチ閉鎖



ハッチ積込み（屋外）



ハッチ閉鎖（主 IHX (B))



ハッチ閉鎖（主 IHX (A))

図9.1-1 (2/2) 復旧作業状況

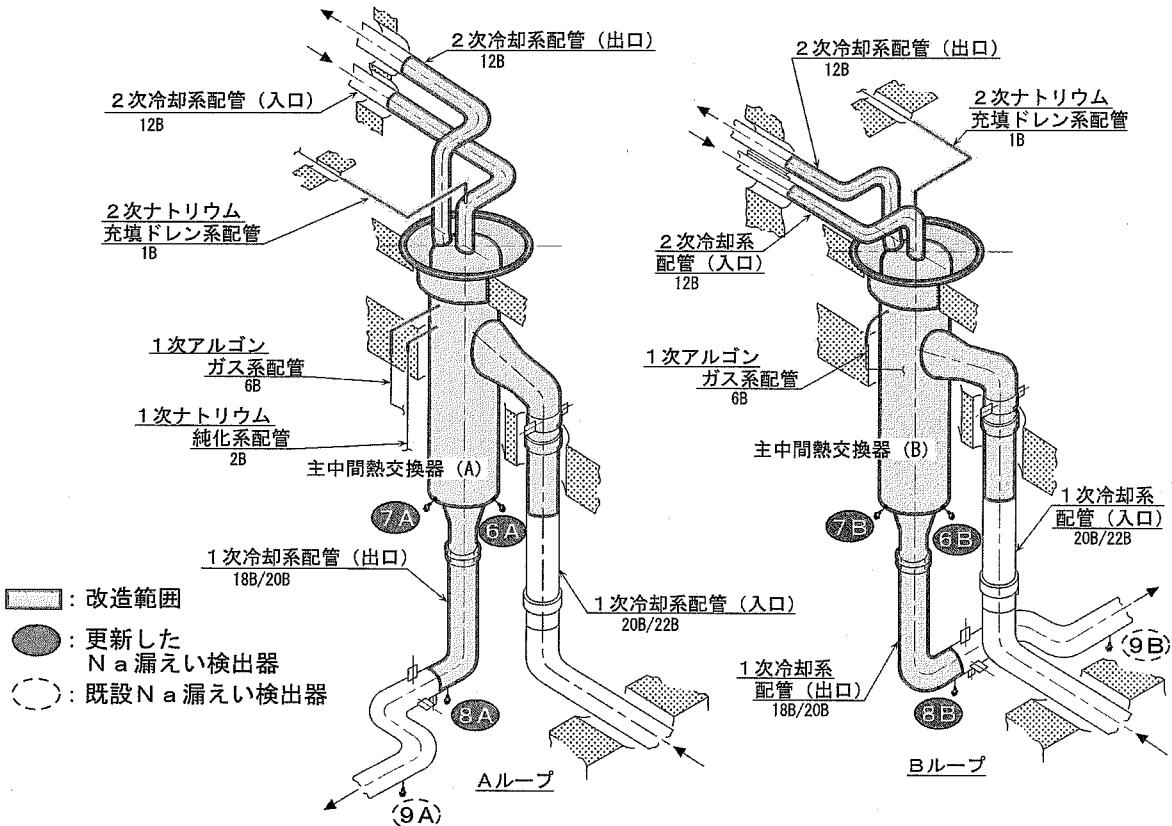
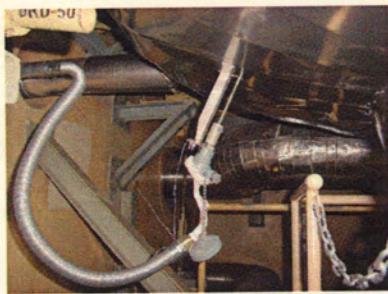


図 9.4-1 更新したナトリウム漏えい検出器の取付け位置

① 交換前設置状況



交換前の漏えい検出器
(7A検出器)



交換前の漏えい検出器
(6A検出器)



交換前の漏えい検出器
(8A検出器)

② 交換工事作業状況



ケーブル解線作業
(8A検出器)



保温外装板及び保温材取外し
(6A検出器)



保温材取外し完了



ISI窓開放、エア置換
(R-206室)



溶接部切削状況
(8A検出器)



漏えい検出器先端部状況
(6A検出器)



漏えい検出器取付け座部
(6A検出器)



取付け座部の面加工

図9.4-2 (1/2) 1次ナトリウム漏えい検出器の交換工事作業状況

② 交換工事作業状況



溶接作業
(6A検出器)



(8A検出器)



耐圧代替試験（プログレスPT）
(6A検出器)



ケーブル結線作業
(7A検出器)



原安センター立会検査
(耐圧代替試験)



保温材、保温外装板復旧
(6B検出器)



保温材、保温外装板復旧完了
(6A検出器)



③ 交換後設置状況



交換後の漏えい検出器
(6A検出器)



交換後の漏えい検出器
(7B検出器)



交換後の漏えい検出器
(8A検出器)



交換後の漏えい検出器
(8B検出器)

図9.4-2 (2/2) 1次ナトリウム漏えい検出器の交換工事作業状況

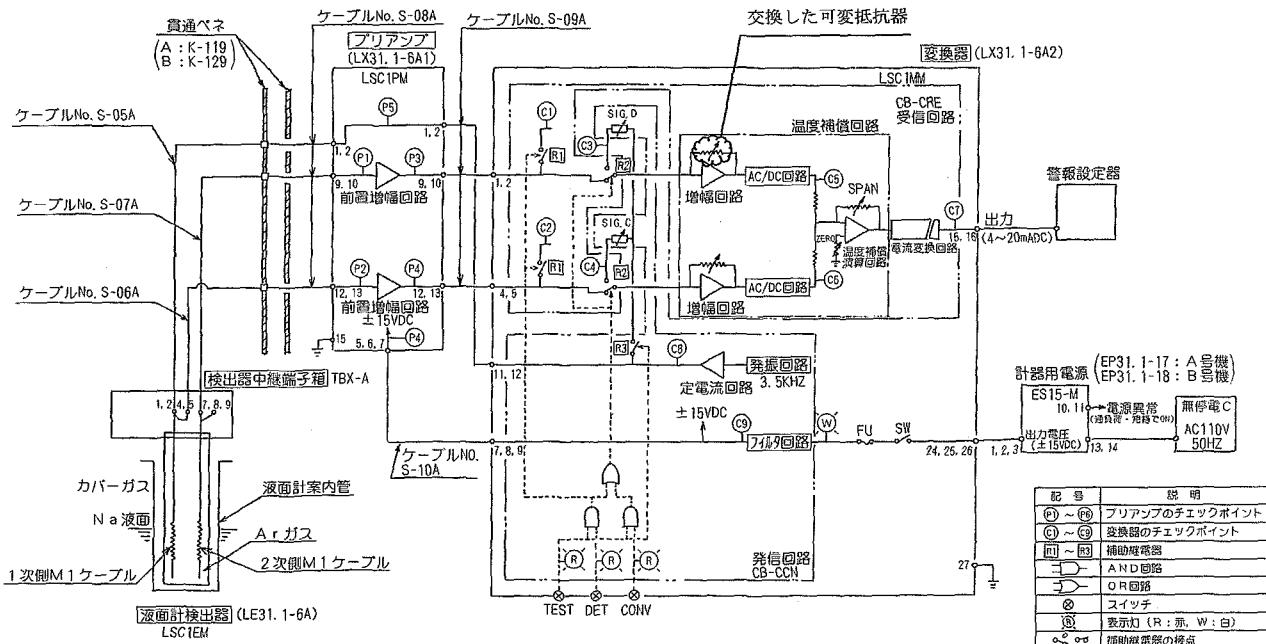


図 9.4-3 主中間熱交換器ナトリウム液面計の回路構成図

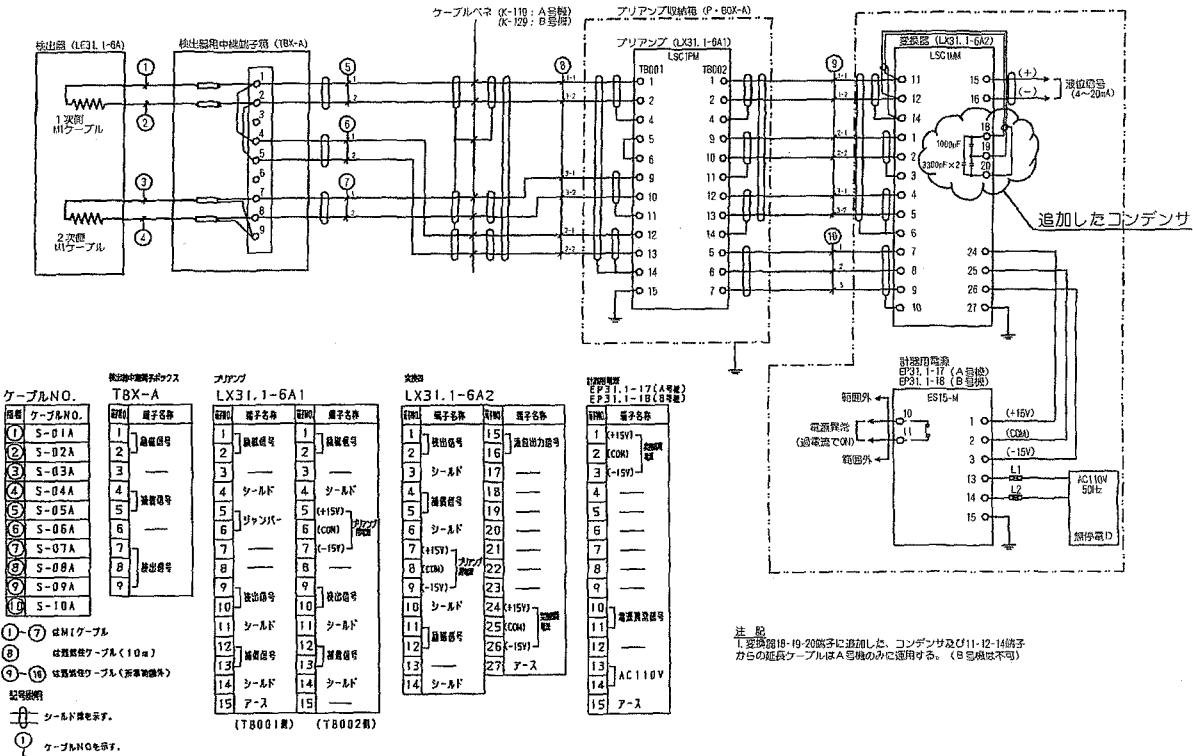


図 9.4-4 主中間熱交換器ナトリウム液面計の展開接続図

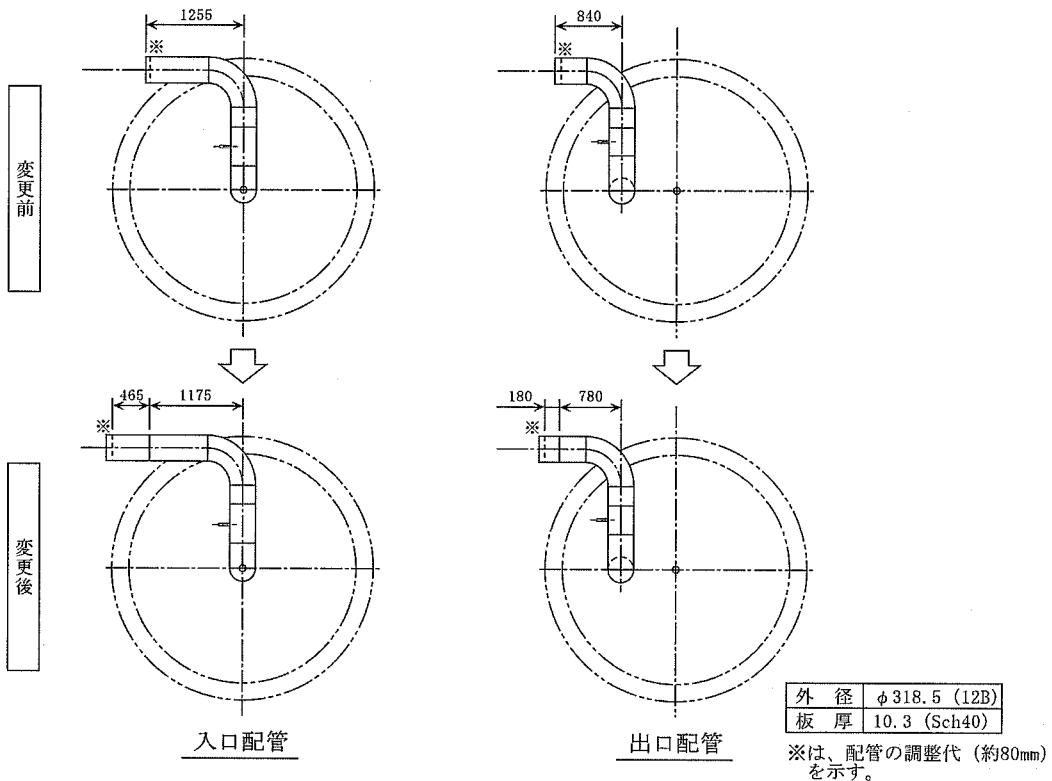


図 10.3-1 接続用 2 次冷却系配管 (A) の配管長

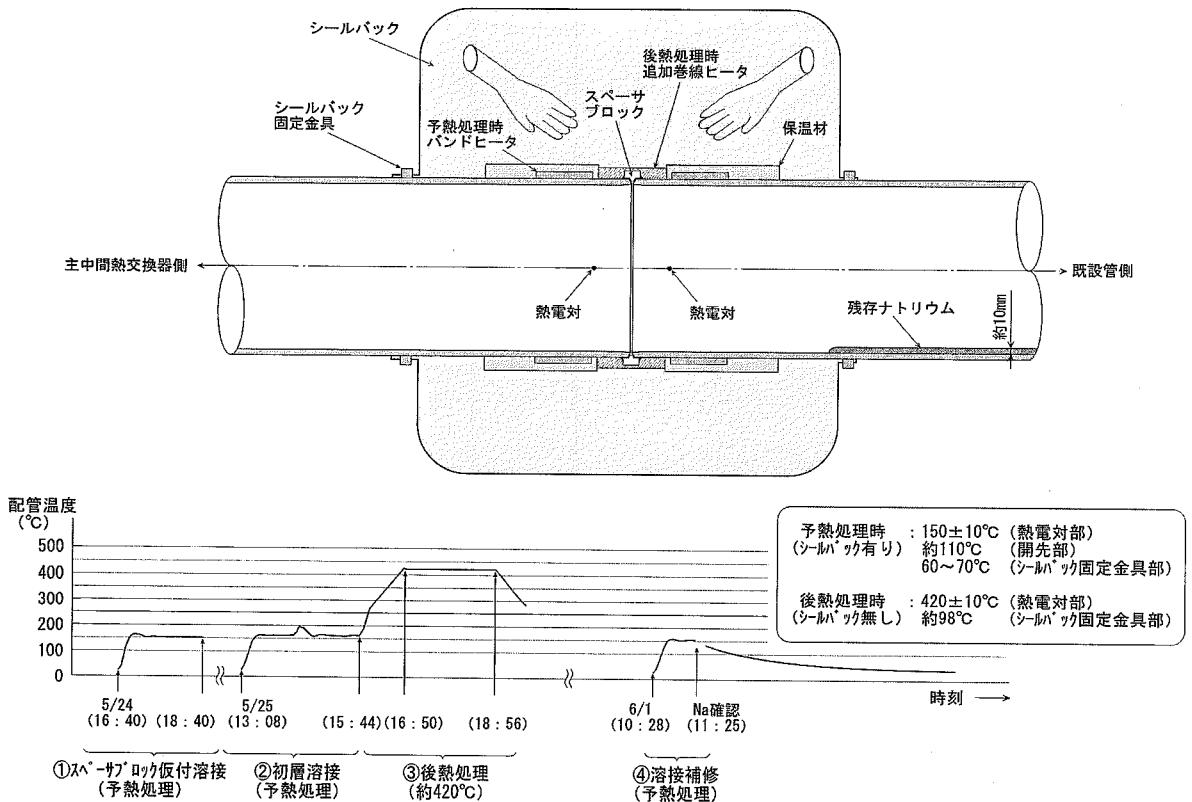


図 10.3-2 接続用 2 次冷却系配管 (B) 入口配管の溶接施工履歴

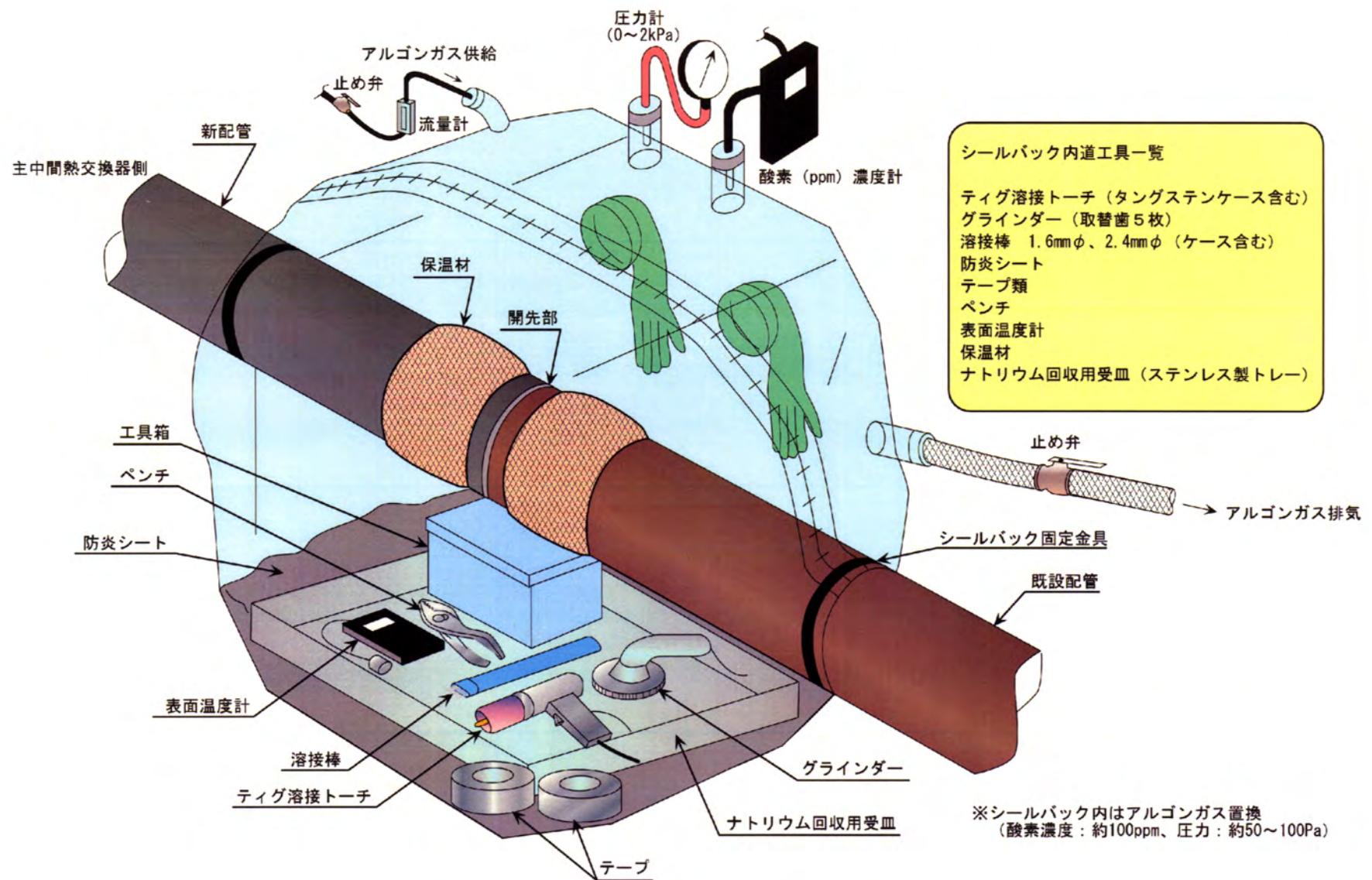


図 10.3-3 補修溶接時のシールバッグ状況

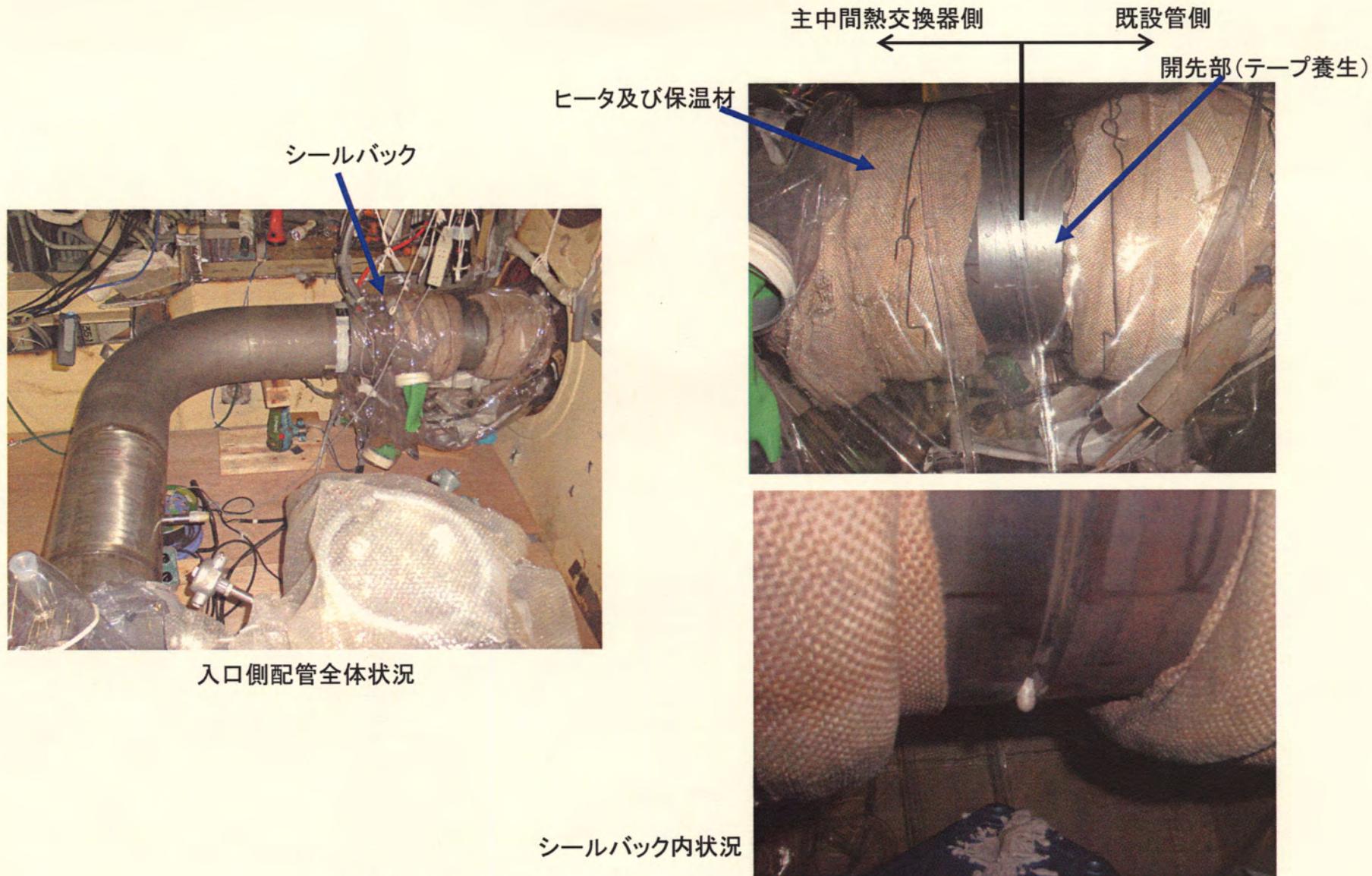


図10.3-4 補修溶接時の作業状況（接続用2次冷却系配管(B)）

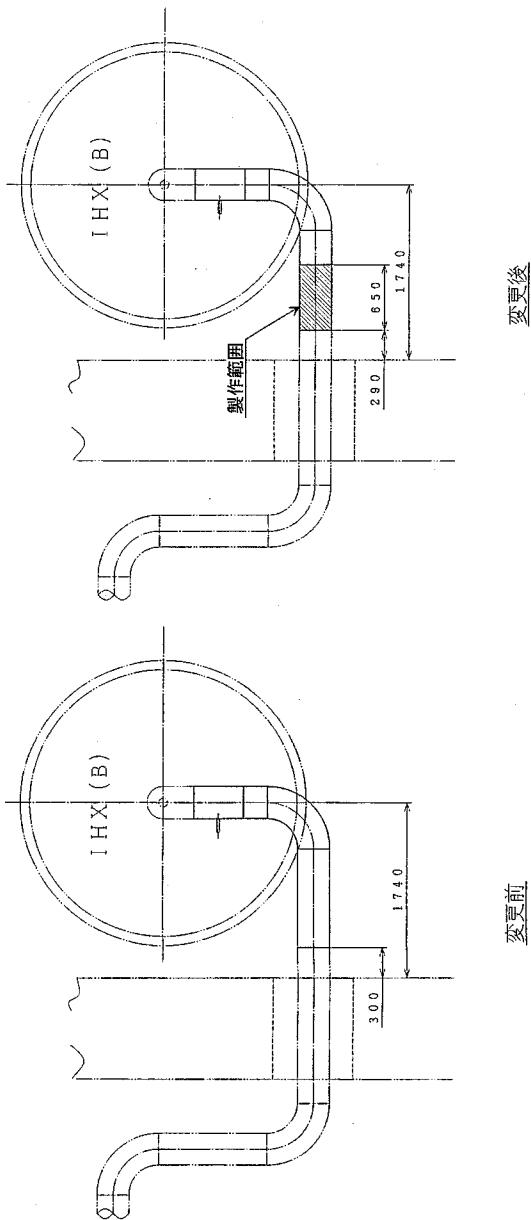
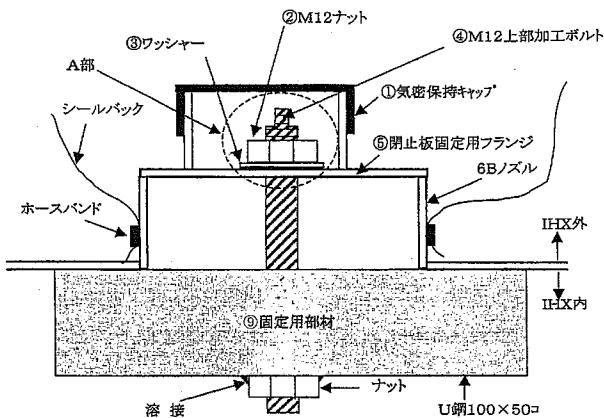


図 10.3-5 接続用 2 次冷却系配管(B)入口配管の構造図

外 径	$\phi 318.5\text{ (128)}$
板 厚	10.3 (Sch 40)



1次アルゴンガス系閉止板固定状況詳細図

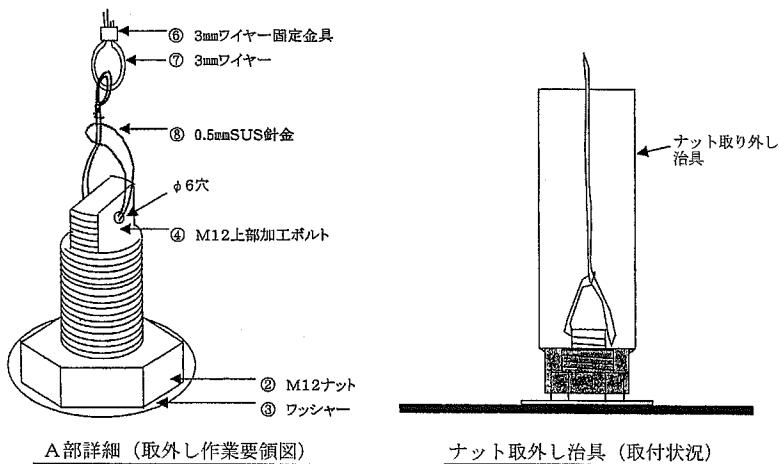
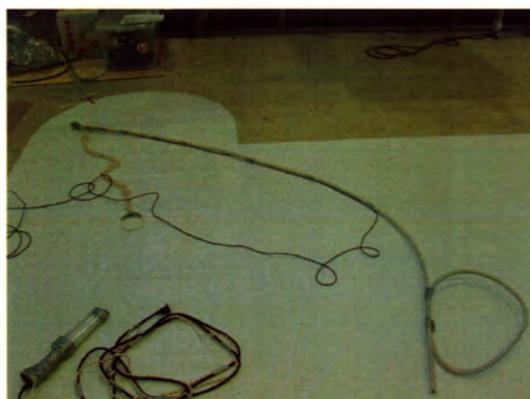


図 10.3-6 閉止板及び固定用部材の取付け構造

内部確認状況



内部確認作業状況
(1次Arガス系ノズル部)

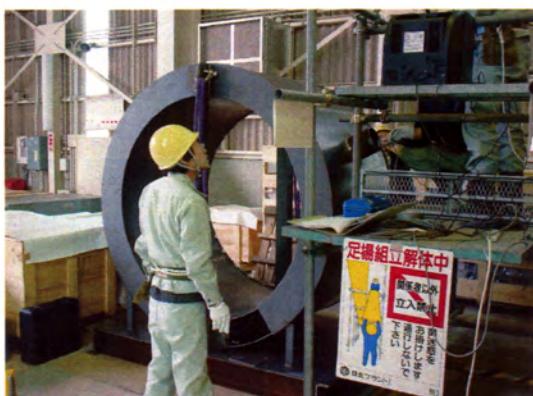


内部確認用治工具
(CCDカメラ、照明)



落下物の内部状況（カメラ映像）

モックアップ試験状況



モックアップ試験体
(大型機器保管倉庫)



回収治具
(Wフック方式：最前列治具)



落下物の回収状況

図10.3-7 落下物の内部確認状況と回収治具及びモックアップ試験状況（大型機器保管倉庫）

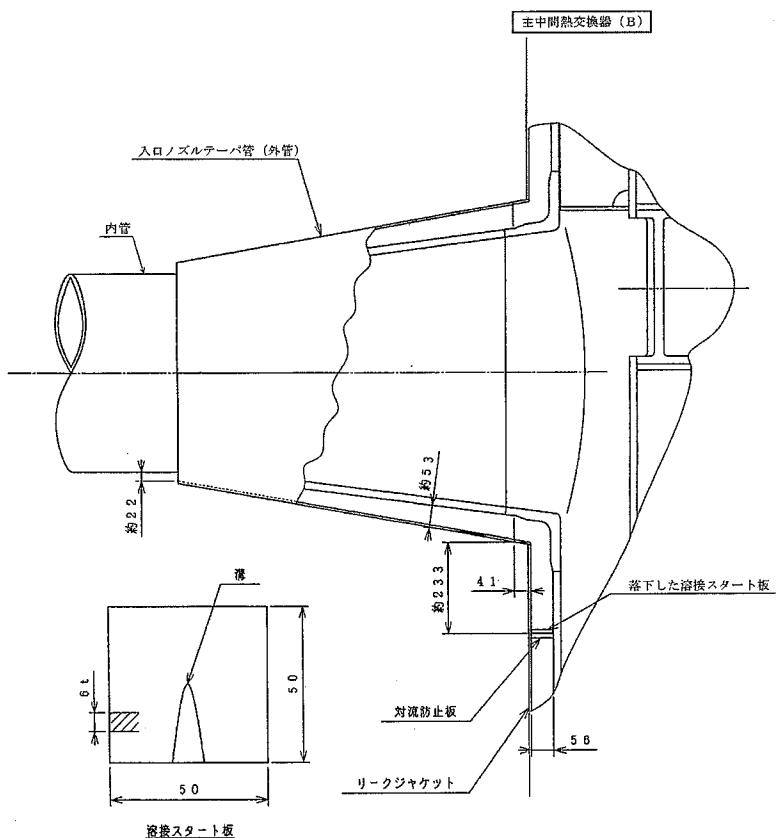
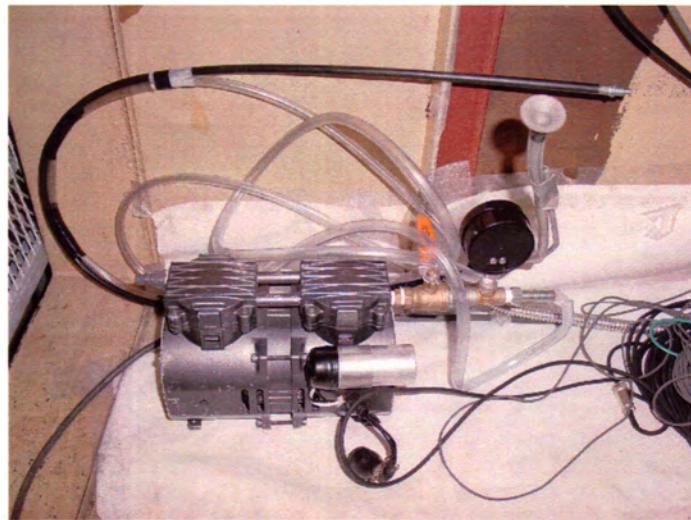


図 10.3-8 溶接スタート板の落下状況概略図



落下物の回収作業状況 (R-305室)



落下物の回収治工具 (真空ポンプ他)



落下物の回収治工具 (吸引パッド)



回収した落下物 (溶接スタート板)

図10.3-9 主中間熱交換器(B) 落下物回収作業状況 (R-305室)