

「常陽」MK - 冷却系改造工事
- 工事管理とプラント管理 -
(技術報告)

2002年7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

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)

2002

「常陽」MK - 冷却系改造工事
- 工事管理とプラント管理 -
(技術報告)

磯崎 和則*1、市毛 聡*1、大嶋 淳*1、川原 啓孝*1、芦田 貴志*1
斎藤 隆一*1、住野 公造*1、上田 多生豊*1、山口 明*2、村上 隆典*3
大川 敏克*3、坂場 秀男*1、富田 直樹*1、小澤 健二*4

要 旨

高速実験炉「常陽」では、照射能力の高度化に向けたプロジェクト(MK -)を進めている。MK - 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 - 炉心の100MWtから140MWtに増大する。冷却系除熱能力を高めるためのMK - 冷却系改造工事实施内容は、主中間熱交換器(IHX)の交換、主冷却器(DHX)の交換、IHX及びDHX接続配管の交換、1次及び2次主循環ポンプモータの交換である。既存プラントにおける限られたスペースでの大型ナトリウム機器の交換、原子炉に燃料を装荷並びにナトリウムを充填した状態での工事、1次冷却系では高放射線線量率環境での放射化されたナトリウム取扱作業等、世界でもほとんど経験のないものであった。このため、従来の「常陽」における運転・保守に関する知見、関連するナトリウム取扱技術に関する研究開発成果、先行して実施されたナトリウムを用いた研究開発施設における経験等を参考にしつつ、工事体制、実施方法、安全管理事項を定め工事に着手した。

MK - 冷却系改造工事にてその有効性を確認した手法を下記に示す。

- (1) 要素モデル及びフルモックアップによる最適作業要領の選定及び作業員に対する訓練による作業時間の短縮化と高線量率域での作業の低減、仮設遮へい体の使用による作業場所の雰囲気線量率の低減による被ばく線量の低減。また、シールバッグ使用による汚染拡大防止。
- (2) ナトリウムバウンダリを開放する作業におけるシールバッグの使用と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る系統への酸素混入量の抑制。
- (3) 系統内への切粉混入防止のためのバイトによる切削及びシールバッグ内でのローラーカッターによる押し切り、系統内への治工具落下防止策による異物混入の防止。
- (4) 機械的Na掻き出しとアルコール水によるNaの除去によるNa残留量の低減化。
- (5) 構造解析による配管切断時のコールドスプリングの解放評価、仮設サポートによる配管切断後の既設配管移動防止、材料試験による数十年使用した旧配管と新配管溶接部の構造健全性の確認による工事時の健全性確保。
- (6) 配管溶接時におけるバックシールガスに用いる系統内カバーガスの低圧化、配管残留Naの除去とNa残存部の温度監視による作業安全性の向上。

これらの手法により、冷却系改造工事は平成12年10月30日に開始し、工事期間中においては、いくつかのトラブルはあったものの、ほぼ計画通り平成13年9月21日に完了した。

*1：実験炉部原子炉第二課

*2：実験炉部原子炉第二課（現在 株式会社日立製作所）

*3：実験炉部原子炉第一課

*4：実験炉部

JOYO MK-III Modification Work on Heat Transport System
- Working plan and plant control -
(Technical Report)

K.Isozaki*1、 S.Ichige*1、 J.Ohshima*1、 H.Kawahara*1、 T.Ashida*1
T.Saitoh*1、 K.Sumino*1、 T.Ueda、 A.Yamaguchi*2、 T.Murakami*3、
T.Ohkawa*3、 H.Sakaba*1、 N.Tomita*1、 K.Ozawa*4

Abstract

The MK-III project to improve the irradiation capability of the experimental fast reactor JOYO have been in underway since 1987. The increase of fast neutron flux and the enlargement of that field increase the reactor thermal rate from 100MWt to 140MWt. To increase cooling capacity of heat transport system, intermediate heat exchangers (IHXs), dump heat exchangers (DHXs), piping connecting to IHXs and DHXs, main motors on primary and secondary main circulation pumps were replaced. The replacement of these large components was carried out under following hard conditions. 1) Limitation of work space, 2) Fuel subassembly and molten sodium in the reactor vessel, 3) high radiation circumstances for primary cooling system, 4) treatment of radioactive sodium (radioactive sodium and corrosion product such as ^{60}Co , ^{54}Mn). There are little experiences of this kind of work in the world. Therefore the organization, working plan and safety management points were carefully examined and established, based on the previous experience of JOYO operation and maintenance, research and development results of safety treatment of sodium, experience of previous work on sodium facilities.

Followings results were obtained and effectiveness was confirmed in the work.

- (1) Development of most suitable working plan derived from elements and full size mock up experiments, reduction of exposure time by workers training, reduction of radiation dose by installation of temporal radiation shielding were useful to reduce radiation dose. The usage of seal bag was useful to prevent the contamination spreading over.
- (2) The usage of seal bag, oxygen concentration monitoring in the seal bag, nitrogen concentration monitoring in the cooling system cover gas, low pressure control of cover gas were useful to reduce the inflow of oxygen to cooling system.
- (3) The bite cutting method for piping in air and press down cutting by roller cutter in the seal bag to prevent inflow of cutting piece, stopper insertion in the pipe to prevent dropping of tools were useful to prevent foreign material entering.
- (4) Mechanical sodium removal and sodium wiping by cloth wetted with alcohol containing water were useful to remove residual sodium.
- (5) Structural analysis for releasing force of cold spring at piping cut, installation of temporal piping support to stop exiting pipe movement, material integrity evaluation of weld joint of used and new pipe by material test were useful to secure the structural integrity during the work.
- (6) Reducing pressure of cooling system cover gas that was used as back seal gas during the welding, residual sodium removal and temperature monitoring near the weld joint were useful to increase the safety during the work.

MK-III modification work started on October 30th 2000 and completed successfully on September 21st 2001 without major troubles by using above mentioned procedures.

*1 : Maintenance Engineering Section, Experimental Reactor Division

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

*3 : Operation Engineering Section, Experimental Reactor Division

*4 : Experimental Reactor Division

目 次

| | |
|---------------------------------------|-----|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 交換機器及び工事方法の概要 | 2 |
| 2.1 1次冷却系機械設備 | 2 |
| 2.2 1次冷却系電気設備 | 10 |
| 2.3 2次冷却系機械設備 | 14 |
| 2.4 2次冷却系電気設備 | 18 |
| 3. 工事工程 | 22 |
| 3.1 1次冷却系 | 22 |
| 3.2 2次冷却系 | 23 |
| 4. 工事体制 | 24 |
| 4.1 工事実施体制の基本 | 24 |
| 4.2 1次冷却系改造工事の体制 | 25 |
| 4.3 2次冷却系改造工事の体制 | 25 |
| 4.4 異常時の処置 | 25 |
| 4.5 工事時における人員実績 | 25 |
| 5. ナトリウム配管の切断、ナトリウム除去及び溶接作業の管理 | 27 |
| 5.1 放射線管理 | 27 |
| 5.2 ナトリウム純度管理 | 29 |
| 5.3 カバーガス管理 | 30 |
| 5.4 清浄度管理 | 31 |
| 5.5 配管の構造健全性維持 | 32 |
| 5.6 溶接施工管理 | 34 |
| 6. プラントの運転管理 | 35 |
| 6.1 工事中におけるプラント状態の検討 | 35 |
| 6.2 プラント状態・操作の実績 | 36 |
| 7. 作業の安全管理 | 41 |
| 7.1 安全管理の基本事項 | 41 |
| 7.2 1次冷却系特有の安全管理事項 | 44 |
| 8. 考 察 | 46 |
| 8.1 工事期間中におけるトラブル、知見、経験、問題点等 | 46 |
| 8.2 今後の反映事項 | 48 |
| 9. おわりに | 51 |
| 10. 謝 辞 | 52 |
| 11. 参考文献 | 53 |
| 添付資料1 (MK - 冷却系改造工事中におけるプラント安全確保について) | 117 |

表リスト

| | | | |
|-----------|---------------------------------|-------|-----|
| 表 2.1 - 1 | ハッチの一覧表 | ----- | 54 |
| 表 3 - 1 | MK - 冷却系改造工事全体工程 | ----- | 55 |
| 表 3.1 - 1 | MK - 冷却系改造工事 | | |
| | (1次冷却系機械設備(Aループ))の予定及び実績工程 | ----- | 56 |
| 表 3.1 - 2 | MK - 冷却系改造工事 | | |
| | (1次冷却系機械設備(Bループ))の予定及び実績工程 | ----- | 57 |
| 表 3.1 - 3 | MK - 冷却系改造工事 | | |
| | (1次冷却系電気設備)の予定及び実績工程 | ----- | 58 |
| 表 3.2 - 1 | MK - 冷却系改造工事 | | |
| | (2次冷却系機械設備)の予定及び実績工程 | ----- | 59 |
| 表 3.2 - 2 | MK - 冷却系改造工事 | | |
| | (2次冷却系電気設備)の予定及び実績工程 | ----- | 60 |
| 表 5 - 1 | ナトリウム配管の切断、ナトリウム除去及び溶接作業の管理ポイント | ----- | 61 |
| 表 5.2 - 1 | MK - 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) | --- | 62 |
| 表 5.2 - 2 | MK - 工事期間中に系統内に混入した酸素量 | | |
| | (MK - 新規据付機器の内面に付着していた酸素量推定値) | --- | 62 |
| 表 6.2 - 1 | 1次系ナトリウムドレン操作実績 | ----- | 63 |
| 表 6.2 - 2 | 2次系ナトリウムドレン操作実績 | ----- | 64 |
| 表 6.2 - 3 | MK - 冷却系改造工事期間中におけるアルゴンガス消費量の実績 | ----- | 65 |
| 表 7.1 - 1 | ナトリウム取扱教育を受講した請負業者の作業員数及び教育内容 | ----- | 66 |
| 添付表 1 - 1 | MK - 冷却系改造工事中のプラント安全確保について | ----- | 118 |

図リスト

| | | |
|-----------|---------------------------------|---------|
| 図 2 - 1 | M K - 冷却系改造の概要と範囲 | 67 |
| 図 2.1 - 1 | M K - 用新主中間熱交換器の構造図 | 68 |
| 図 2.1 - 2 | M K - 1次冷却系改造工事範囲 | 69 |
| 図 2.1 - 3 | 主中間熱交換器の交換工事フロー | 70 |
| 図 2.1 - 4 | 旧主中間熱交換器接続配管の切断位置 | 71 |
| 図 2.1 - 5 | 旧主中間熱交換器の撤去・搬出概念図 | 72 ~ 74 |
| 図 2.1 - 6 | M K - 用新主中間熱交換器の搬入・据付概念図 | 75 ~ 76 |
| 図 2.1 - 7 | M K - 用新主中間熱交換器とダミー配管との合せ寸法取り | 77 |
| 図 2.1 - 8 | M K - 用新主中間熱交換器接続配管の溶接位置 | 78 |
| 図 2.2 - 1 | 1次冷却系電気設備の改造範囲 | 79 |
| 図 2.2 - 2 | 1次冷却系電気設備改造工事対象設備の配置 | 80 |
| 図 2.2 - 3 | 1次冷却系電気設備の工事フロー（1次系制御盤関係） | 81 |
| 図 2.2 - 4 | 1次冷却系電気設備の工事フロー（1次主循環ポンプ駆動用電動機） | 82 |
| 図 2.3 - 1 | M K - 用新主冷却機の構造図 | 83 |
| 図 2.3 - 2 | M K - 2次冷却系改造工事範囲 | 84 |
| 図 2.3 - 3 | 主冷却機及び出入口配管の交換工事フロー | 85 |
| 図 2.3 - 4 | 旧主冷却器接続配管の切断位置 | 86 |
| 図 2.3 - 5 | 旧主冷却器の撤去・搬出概念図 | 87 |
| 図 2.3 - 6 | 旧主送風機設備の撤去・搬出概念図 | 88 |
| 図 2.3 - 7 | M K - 用新主冷却器の搬入・据付概念図 | 89 ~ 92 |
| 図 2.3 - 8 | M K - 用新主冷却器接続配管の溶接位置 | 93 |
| 図 2.4 - 1 | 2次冷却系電気設備の改造範囲 | 94 |
| 図 2.4 - 2 | 2次冷却系電気設備改造工事の対象電気品（主冷却機建物） | 95 |
| 図 2.4 - 3 | 2次冷却系電気設備改造工事の対象電気品（原子炉附属建物） | 96 |
| 図 2.4 - 4 | 2次冷却系電気設備の工事フロー | 97 |
| 図 4.1 - 1 | M K - 改造工事におけるサイクル機構内工事実施基本体制 | 98 |
| 図 4.1 - 2 | M K - 改造工事における工事実施体制 | 99 |
| 図 4.2 - 1 | 1次冷却系改造工事の工事体制 | 100 |
| 図 4.3 - 1 | 2次冷却系改造工事の工事体制 | 101 |
| 図 4.5 - 1 | M K - 冷却系改造工事における作業員実績 | 102 |

| | | | |
|--------------|-------------------------------------------|-------|-----|
| 図 5.1 - 1 | 作業員の被ばく低減化対策 | ----- | 103 |
| 図 5.1 - 2 | 作業員及びエリアの汚染防止対策 | ----- | 104 |
| 図 5.1 - 3 | 旧主中間熱交換器及び接続 1 次系配管の表面線量率 | ----- | 105 |
| 図 5.1 - 4 | MK - 冷却系改造工事の被ばく線量 | ----- | 106 |
| 図 5.2 - 1 | 系統内酸素混入防止対策 | ----- | 107 |
| 図 5.3 - 1 | 系統内カバーガス低圧制御 | ----- | 108 |
| 図 5.3 - 2 | 配管切断部の仮閉止治具 | ----- | 109 |
| 図 5.4 - 1 | 配管切粉混入防止対策 | ----- | 110 |
| 図 5.4 - 2 | 配管内治工具落下防止対策及びナトリウム洗浄治具 | ----- | 111 |
| 図 5.5 - 1 | 新配管と旧配管溶接部の構造健全性に対する対応と機械試験結果 | ----- | 112 |
| 図 5.5 - 2 | 撤去配管等のサーベイランス試験計画 | ----- | 113 |
| 図 6.2 - 1 | MK - 1 次冷却系改造工事におけるプラント状態 | ----- | 114 |
| 図 6.2 - 2 | MK - 2 次冷却系改造工事におけるプラント状態 | ----- | 115 |
| 図 6.2 - 3 | JOYDAS「MK - 冷却系改造工事監視」画面 | ----- | 116 |
| | | | |
| 添付図 1.1 - 1 | 改造工事撤去範囲系統図（遮へいコンクリート冷却系） | ----- | 124 |
| 添付図 1.2 - 1 | 格納容器床下雰囲気調整系系統図 | ----- | 125 |
| 添付図 1.8 - 1 | 改造工事撤去範囲系統図（1 次ナトリウム純化系） | ----- | 126 |
| 添付図 1.12 - 1 | 改造工事撤去範囲系統図（1 次アルゴンガス系） | ----- | 127 |
| 添付図 1.13 - 1 | 改造工事撤去範囲系統図（2 次アルゴンガス系） | ----- | 128 |
| 添付図 1.14 - 1 | 改造工事撤去範囲系統図（予熱室素ガス系（1）） | ----- | 129 |
| 添付図 1.14 - 2 | 改造工事撤去範囲系統図（予熱室素ガス系（2）） | ----- | 130 |
| 添付図 1.16 - 1 | 改造工事撤去範囲系統図 （カバーガス・オンライン 線モニタ試験装置系（1）） | ----- | 131 |
| 添付図 1.16 - 2 | 改造工事撤去範囲系統図 （カバーガス・オンライン 線モニタ試験装置系（2）） | ----- | 132 |
| 添付図 1.17 - 1 | 改造工事撤去範囲系統図（格納容器内圧縮空気供給設備） | ----- | 133 |
| 添付図 1.19 - 1 | 1 次系改造工事時におけるシールバック廃ガス放出先 | ----- | 134 |
| 添付図 1.20 - 1 | 1 次系改造工事時の原子炉格納容器バウンダリ状態 | ----- | 135 |
| 添付図 1.21 - 1 | 床下酸素濃度測定装置系統図 | ----- | 136 |

1. はじめに

高速実験炉「常陽」では、照射能力の高度化に向けたプロジェクト(MK -)を進めている。MK - 計画は、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を目的としているが、炉心の中性子束を高めることで熱出力がMK - 炉心の100MWtから140MWtに増大する。冷却系除熱能力を高めるためのMK - 冷却系改造工事実施内容は、主中間熱交換器(主 IHX)の交換、主冷却機(DHX 及び主送風機設備)の交換、主 IHX 及び DHX 接続配管の交換、1次及び2次主循環ポンプの駆動電動機及び流量制御設備の交換である。既存プラントにおける限られたスペースでの大型ナトリウム機器の交換、原子炉に燃料を装荷並びにナトリウムを充填した状態での工事、1次冷却系では高放射線線量率環境での放射化されたナトリウム取扱作業等、世界でもほとんど経験のないものであった。

このため、従来の「常陽」における運転・保守に関する知見、関連するナトリウム取扱技術に関する研究開発成果、先行して実施されたナトリウムを用いた研究開発施設における経験等を参考にしつつ、工事体制、実施方法、安全管理事項を定め工事に着手した。

MK - 冷却系改造工事は、平成12年10月30日に開始し、工事期間中においてはいくつかのトラブルはあったものの、ほぼ計画通り平成13年9月21日に完了することができた。

本報告は、我が国はじめの大工事であるMK - 冷却系改造工事の工事管理及びプラント管理についてまとめたものである。

なお、各冷却系改造工事の詳細については、本報告書以降に発行を予定している報告書を参照されたい。

2. 交換機器及び工事方法の概要

図 2 - 1 に M K - 冷却系改造の概要と範囲を示す。

2.1 1次冷却系機械設備

2.1.1 1次冷却系機械設備の概要

M K - では、炉心の高中性子束を高めることで熱出力が M K - の 100MWt から 140MWt に増大することから、その除熱能力を高めるため原子炉冷却系機器のうち、2次主冷却系統設備と熱交換を行う主中間熱交換器を 50MWt / 基から 70MWt / 基の熱交換能力のものに交換した。旧主中間熱交換器を使用した場合、圧力損失（有液面式のため流量増加に伴い液面が低下）及び伝熱管の座屈制限から、1次系流量の増大（22%増）、原子炉出入口温度差の増大（約 15%増）に対応できないため、圧力損失及び伝熱管部バイパス流低減化対策を実施した M K - 用に交換した。

1次系ナトリウムは、原子炉で加熱された後、1次系出口配管を通り、主中間熱交換器胴側面に設けたノズルから流入し、2次系ナトリウムと熱交換した後、下部鏡板のノズルから1次主循環ポンプに流出する。2次系のナトリウムは、上部プレナム中央を貫通して流入し、下部プレナムから伝熱管束を通り上部プレナムから2次系出口配管に流出する。主中間熱交換器には1次及び2次主冷却配管の他、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・ドレン配管が接続され、計装品としてナトリウム液面計、ナトリウム漏洩検出器、予熱ヒータ等が設置されている。

本工事範囲は、以下のとおりである。

| | |
|------------------------|-------|
| 主中間熱交換器（一部計装品等を含む） | 交換：2基 |
| 1次主冷却系配管（入口・出口）（内管・外管） | 交換：2式 |
| 2次主冷却系配管（入口・出口） | 交換：2式 |
| 1次アルゴンガス系配管 | 交換：2式 |
| 1次ナトリウム純化系配管（A号機） | 撤去：1式 |
| 2次ナトリウム充填ドレン系配管（止め弁含む） | 交換：2式 |

図 2.1 - 1 に M K - 用新主中間熱交換器の構造図を示す。図 2.1 - 2 に M K - 1次冷却系改造工事範囲を示す。

2.1.2 1次冷却系改造工事（主中間熱交換器の交換）の方法

(1) 交換工事フローの概要

旧主中間熱交換器は、工事準備として作業区域のハッチの開放を行い、干渉機器及び配管の一時撤去作業を行った後、旧主中間熱交換器に接続されている配管にシールバッグを取付け切断して主中間熱交換器側端面に閉止板を溶接し、遮蔽体を撤去した後吊り上げ、メンテナンス建物に搬入し固体廃棄物貯蔵設備に貯蔵した。

新主中間熱交換器は、大型機器倉庫からトレーラに搭載してメンテナンス建物まで運搬を行い、メンテナンス建物内 60ton クレーンによりメンテナンス台車に搭載して、原子炉格納容器内に搬入した。原子炉格納容器内で新主中間熱交換器を起立した後、据付位置に吊り下ろし接続配管を溶接して、新上部遮蔽体を取付け、一時撤去した干渉機器、配管を復旧した。

図 2.1 - 3 に主中間熱交換器の交換工事フローを示す。本図は、交換工事の作業フローを A ループ、B ループ毎に、1 次系配管、2 次系配管、主中間熱交換器本体の工事フローを示したものである。

(2) 交換工事の準備作業

準備作業は、主中間熱交換器の交換工事を行うにあたり、機材の搬入、ハッチ開放(主中間熱交換器上蓋室ハッチ及び機器ハッチ)及び原子炉格納容器からのハッチ搬出等を行うものである。

対象となる主中間熱交換器上蓋室(A)ハッチ(1 枚)、主中間熱交換器上蓋室(B)ハッチ(3 枚)及び機器ピットハッチ(2 枚)を開放し、屋外の指定場所(メンテナンス建物前炉上部ピット蓋保管用コンクリート台上)に仮置きした。仮置き中は、ハッチが雨・雪等によって濡れないように養生し、バウンダリ形成部を防錆養生した。

表 2.1 - 1 にハッチの一覧表を示す。

工事用電源は、原子炉格納容器内のオペレーティングフロア(R-501)及び原子炉附属建物燃料取扱系現場制御室(A-509)の作業用分電盤から作業エリアまでケーブルを敷設して使用した。

工事用アルゴンガス(シールバッグ内パージ用及び万が一の窒息消火用)は、原子炉格納容器内清浄アルゴンガスタンク(TK73-3)(R-501)に設置してある V73-22 のクイックコネクタ部から減圧弁を設けた仮設ラインにより供給した。

(3) 干渉機器・配管の一時撤去作業

干渉機器・配管の一時撤去作業は、主中間熱交換器本体の交換作業において干渉する機器・配管類を撤去及び一時仮置き・養生を行うものである。本干渉機器・配管の一時撤去は、平成 12 年 11 月からの工事の進捗状況に応じて実施した。以下に撤去が必要な

干渉機器及び配管類を示す。

1 次アルゴンガス系主循環ポンプ軸封配管

1 次アルゴンガス系 1 次主循環ポンプ(A)軸封配管のうち、主中間熱交換器上蓋室(A) (R-402)を通過する配管で、主中間熱交換器(A)引き抜きの際に干渉する部分を一時撤去した。本件は、設工認の認可を受けて実施した。なお、撤去後の既設配管側には、異物等の侵入及び空気混入を防止するため、閉止板（溶接）等の養生を施した。撤去配管は、廃棄し復旧時に新配管を取付けた。

オンライン 線モニタ試験設備配管

オンライン 線モニタ試験設備の配管のうち、主中間熱交換器上蓋室(B) (R-408)のハッチ下部とライニング部との間を通過する配管で、主中間熱交換器(B)引き抜きの際に干渉する部分を一時撤去した。本件は、計装配管のため、設工認対象外であった。なお、撤去後の既設配管側には、異物の侵入及び空気混入を防止するため、閉止板（溶接）等の養生を施した。撤去配管は、廃棄し復旧時に新配管を取付けた。

遮へいコンクリート冷却系配管

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となる被ばく低減のための仮設遮へい体、シールバッグ、切断機等を主中間熱交換器(A)室(R-302)に搬入するため、干渉する遮へいコンクリート冷却系配管(主循環ポンプ(A)室 (R-206))のうち、予熱窒素ガス系との分岐付近の配管をフランジ部から一時撤去し、フランジ部に閉止フランジをボルトにより取付けた。撤去した配管は、R-206 炉容器壁側に復旧時まで仮置き保管した。

本準備作業のうち、遮へい体コンクリート冷却系給気・還気弁の撤去及び閉止板の取付けについては、プラント状態との関係（1次系ナトリウム充填中でなければできない作業）から平成12年7月に実施した。

原子炉容器ベーパーラップ冷却窒素ガス配管

原子炉容器ベーパーラップ冷却窒素ガス配管のうち、R-402 を通過する配管が主中間熱交換器(A)引き抜きの際に干渉するため、干渉する部分を一時撤去した。なお、撤去後の既設配管側には、異物等の侵入を防止するための養生を施した。撤去配管は、廃棄し復旧時に新配管を取付けた。

原子炉格納容器内床下空調ダクト

原子炉格納容器床下主中間熱交換器(A)室 (R-201) 主中間熱交換器(B)室 (R-204) 及び R-302 で配管切断及び主中間熱交換器の交換において干渉する床下空調用ダクト

を一時撤去した。この際に、干渉部位のダクトに付帯している設備(ダンパ等)も併せて撤去を行った。なお、撤去後の既設ダクト側には、異物の侵入を防止し、かつ、空調換気系の流れを阻害しないように、仮設のフレキシブルダクト等を接続し、通常ルートとほぼ同一の流れを形成させた。なお、撤去したダクトは、一時仮置きし、復旧時に再使用した。

架構

主中間熱交換器の交換時において作業の妨げとなる架構、機材搬入や通路を阻害する架構及び配管の移動等に伴い、撤去しなければならないR-402、R-408、R-302、主中間熱交換器(B)室(R-305)のサポート用架構を一時撤去した。なお、撤去した架構は、廃棄し復旧時に更新した。

R-305のコールドトラップ室(R-203)側ルーバ

R-305のR-203側に設置されているルーバを作業工具等の搬入のために一時撤去した。なお、撤去後は、R-305からR-203への落下防止対策を施した。

主中間熱交換器(A)1次側入口ノズル下部の1次アルゴンガス系配管保温材の一部撤去

引き抜きを行う主中間熱交換器(A)と保温材が接触している1次アルゴンガス系配管の一部保温材を撤去した。

主中間熱交換器(A)下部安全容器呼吸ガス系配管保温材の一部撤去

引き抜きを行う主中間熱交換器(A)と保温材が接触している安全容器呼吸ガス系配管の一部保温材を撤去した。

その他干渉物

主中間熱交換器の交換作業で干渉するその他物品(R-402の酸素濃度計検出端、1次アルゴンガス系呼吸ガスヘッダ安全弁手動ハンドル、配管熱変位測定装置、床下足場、手摺等)を一時撤去した。なお、撤去品は、養生を行い、指定場所に仮置きした。

(4) 配管切断作業

図2.1-4に旧主中間熱交換器接続配管の切断位置を示す。

保温材、カバーシート、ナトリウム漏洩検出器、予熱ヒータ、熱電対及びケーブルの撤去

主中間熱交換器本体に接続されている1次系及び2次系配管切断等において、干渉する部分の保温材、カバーシート、ナトリウム漏洩検出器、予熱ヒータ、熱電対及びケーブルを撤去した。撤去品で放射化しているものは、放射性廃棄物とし、放射化せ

ず、かつ、汚染していないものについては、「管理区域から持出す汚染の検出されない不使用道具・材料等の管理要領」に従い処理した。

配管支持装置の取外し、配管固定サポートの取付け

主中間熱交換器の交換工事で配管を切断するため、切断部以降の既設側（再使用する）配管を一時固定しておくサポートの取付け、配管切断・撤去のため干渉する配管支持装置を一時撤去した。

外管ベローズの固定、切断部のケガキ、養生及び外管の切断

二重管構造である 1 次主冷却系配管の外管切断のため、フリー状態となる外管ベローズに不要な変形が生じないように、 SHIPPING ボルトで固定し、配管を切断するための位置の決定後、切断位置にケガキを入れるとともに、切断のための現場養生を行った。

ナトリウム及びアルゴンガスバウンダリ配管切断部の先行切断、シールバッグ取付け及びアルゴンガス吸排気ラインの設置

主配管を切断するために系統バウンダリと外部雰囲気とを隔離するためにシールバッグを取付け、シールバッグへのアルゴンガスの供給ライン及び排気ラインを仮設で設置した。シールバッグは、先行切削として空気雰囲気中で配管板厚の約 2/3（1 次及び 2 次主冷却系配管）まで切削した後に取付けた。その他の配管については、切断前にシールバッグを取付けた。配管板厚約 2/3 の確認は、ゲージにより確認した。シールバッグを取付けた後に、その内部をアルゴンガスに置換した。アルゴンガスは、格納容器内清浄アルゴンガスタンク（TK73 - 3）に設置してある V73 - 22 の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供給した。

ナトリウム及びアルゴンガスバウンダリ配管の切断

本作業は、1 次主冷却系、1 次ナトリウム純化系、2 次主冷却系、2 次ナトリウム充填ドレン系のナトリウム配管及び 1 次アルゴンガス系のアルゴンガス配管を切断し、各系統と主中間熱交換器を分離するものである。

配管の切断作業は、上記 項のシールバッグの取付けを行ってから実施した。なお、配管の切断作業時には、シールバッグ内が負圧とならないように維持した。配管の切断要領は、モックアップ試験の要領を反映して実施した。

ナトリウム及びアルゴンガス配管切断部（既設）への閉止板の取付け

切断した 1 次主冷却系、1 次ナトリウム純化系、2 次主冷却系、2 次ナトリウム充填ドレン系のナトリウム配管及び 1 次アルゴンガス系のアルゴン配管に閉止板を取付

けた。

配管切断後、既設配管内部のナトリウムは、溶接作業時に問題とならない位置（約 200mm 以上）まで配管内ナトリウムを掻き出し、アルコール洗浄により除去し、切断部シールのための専用シールプラグ（ヘキサプラグ）及び養生用シールキャップ（閉止キャップ+閉止治具）を設置した。撤去する配管は、閉止板を溶接にて取付け、配管内部にナトリウムが付着していることを考慮し、アルゴンガス封入処置を行った。

(5) 旧主中間熱交換器の撤去作業

図 2.1 - 5 に旧主中間熱交換器の撤去・搬出概念図を示す。

旧主中間熱交換器配管接続部閉止板の取付け

旧主中間熱交換器に接続されている配管を切断した後、旧主中間熱交換器を引き抜くために旧主中間熱交換器の配管切断部に閉止板を溶接にて取付け、旧主中間熱交換器を隔離した。なお、閉止板には、内部をアルゴンガス置換できるノズル及び止弁等を設けて内部ガス圧力確認、パージ等が可能とした。

吊り具の取付け、主中間熱交換器の吊り上げ

旧主中間熱交換器（約 32ton）を吊り上げるために、旧主中間熱交換器据付ボルトを取外し、吊り上げるために必要な吊り具を取付け、原子炉格納容器内旋回クレーン（100ton）で吊り上げた。なお、作業中は立ち入り制限を行った。

旧主中間熱交換器の運搬架台組立、横置き

旧主中間熱交換器を引き抜いた後にメンテナンス建物に搬出するため、原子炉格納容器内で運搬架台の組み立て、旧主中間熱交換器の横置きを行い、メンテナンス建物への運搬用仮設遮蔽体を取付けた。なお、旧主中間熱交換器を R-501 に仮置きする際は、立ち入り制限を行った。

旧主中間熱交換器のメンテナンス建物ポンプ洗浄室内への据付・保管

引き抜き横置きされた旧主中間熱交換器は、メンテナンス台車を用いてメンテナンス建物内に搬入し、ポンプ洗浄室内（固体廃棄物貯蔵設備）に据付・保管⁽⁴⁾した。運搬の際には、メンテナンス台車走行周辺を一時管理区域に設定して運搬を行った。なお、固体廃棄物貯蔵設備へ据付を完了するまで一時管理区域を設定した。一時管理区域の設定及び運搬にあたっては、原子炉施設保安規定の放射線管理（第 2 編第 1 章）及び核燃料物質等の運搬・輸送（同第 2 章）に基づき実施した。

(6) 新主中間熱交換器の据付作業

図 2.1 - 6 にMK - 用新主中間熱交換器の搬入・据付概念図を示す。

据付基礎の手入れ

新主中間熱交換器を据付ける前に据付基礎面の付着物等を除去し、据付レベル出しに支障をきたさないように手入れを行った。

新主中間熱交換器の搬入、引き起こし

トレーラで輸送されてきた新主中間熱交換器(約 40ton(引き起こし用スキッドを含む)) をメンテナンス建物に搬入し、メンテナンス建物内クレーン(60ton)で吊り上げ、メンテナンス台車に吊り下ろした。メンテナンス台車を原子炉格納容器内に搬入し、新主中間熱交換器を据付けるため、旋回クレーン及び補助装置を用いて引き起こした。

新主中間熱交換器の仮設定

新主中間熱交換器を旋回クレーンで吊り下ろし、据付基礎面に仮設定(設定は本据付時と同様にレベル合せを実施する) し、新主中間熱交換器とダミー配管とのセンターリング調整等を行った。

ダミー配管との合せ寸法取り

仮設定された新主中間熱交換器(設定は本据付時と同様にレベル合せを実施する) とダミー配管との開先合せ及び溶接のための合せ寸法取りを行った。

ダミー配管 : 新主中間熱交換器に接続される配管は、工場にて製作しアセンブリーとなっていることから、開先加工を現地で実施することができないため、加工を工場にて行う必要がある。このため、新主中間熱交換器を仮据付設定した状態で接続配管の合せ寸法取りを行うためのものである。図 2.1 - 7 に MK - 用新主中間熱交換器とダミー配管との合せ寸法取りを示す。

新主中間熱交換器の吊り上げ

新主中間熱交換器とダミー配管との開先合せ及び溶接のための合せ寸法取りが終了した後、ダミー配管を工場へ搬出するために一時新主中間熱交換器を R-501 室へ吊り上げた。

新主中間熱交換器の据付、設定

ダミー配管搬出後、MK - 用新主中間熱交換器を据付基礎面にシムを用いてレベル合せを実施し、最終据付調整・据付ボルト取付け等を行った。

(7) 配管溶接作業

図 2.1 - 8 に MK - 用新主中間熱交換器接続配管の溶接位置を示す。

既設配管開先加工

既設配管側の切断部を新規に取付ける配管と溶接するために取合部の寸法計測・マ

ーキングを行い、開先部の加工を行った。既設配管側の開先加工は、ヘキサプラグを取付けた状態で行った。

新配管搬入、既設配管・新配管及び新主中間熱交換器との合せ寸法取り

現地で合せ寸法取りしたダミー配管をベースに、工場で開先加工が終了した新規配管を原子炉格納容器内に搬入するとともに、再度既設配管・新配管及び新主中間熱交換器との合せ寸法取りを行った。

ナトリウム及びアルゴンバウンダリ配管の溶接

開先加工及び開先面検査が終了したナトリウム及びアルゴンガスバウンダリ配管にシールバッグを取付け、アルゴンガスで置換し溶接を行った。開先合せ検査を実施した後、約 1/2 層まで溶接し、シールバッグ、アルゴンガス供給及び排気の仮設ラインの撤去を行った。

溶接時のバックシールガスは、系統アルゴンガスの制御圧力（極低圧運転 200Pa 以下）であり、制御圧力の監視は原子炉容器カバーガス圧力計及び呼吸ガスヘッダ圧力計で行った。

配管溶接部については、開先合せ検査、非破壊検査（浸透探傷試験、放射線透過試験）及び耐圧検査を実施した。なお、耐圧検査は、系統内が規定圧力まで加圧できないため、耐圧代替として非破壊検査（プログレス浸透探傷検査）を実施した。

(8) 干渉物復旧作業

主中間熱交換器の交換作業で干渉するため一時撤去していた機器・構造物を初期状態に復旧した。なお、再利用できない架構、配管、ダクト等は新規に製作して復旧した。

(9) 後片付け作業

仮設物の撤去

主中間熱交換器の交換作業において設置していた仮設足場、交換作業時の作業員の被ばくを低減するための仮設遮蔽体をその作業の過程において適宜撤去した。

ハッチの搬入・閉鎖

主中間熱交換器の交換工事終了に伴い、主中間熱交換器上蓋室(A)ハッチ、主中間熱交換器上蓋室(B)ハッチ及び機器ピットハッチを屋外仮置き場所から原子炉格納容器内に搬入し、閉鎖した。

2.2 1次冷却系電気設備

2.2.1 1次系冷却系電気設備の概要

高速実験炉「常陽」の出力上昇（100MWt から 140MWt）に伴う冷却系機器の改造工事の一部として1次系電気設備の交換を行った。交換対象機器は、1次系冷却材流量増加に対応した1次冷却系冷却材の流量調節に係る設備である。その他、1次主循環ポンプ駆動電動機、ポニーモータ抵抗器盤等を交換した。

図 2.2 - 1 に1次系冷却系電気設備の改造範囲を示す。また、図 2.2 - 2 に1次冷却系改造工事対象設備の配置を示す。

(1) 冷却材流量調節に係る設備

冷却材流量調節設備は、1次主循環ポンプ速度制御設備、1次主循環ポンプ回転数計測設備及び1次冷却材流量制御設備から構成されている。1次主循環ポンプ速度制御設備は、流量制御設備からの制御指令を受けて1次主循環ポンプの回転数を制御する設備である。制御方式は、既設同様、静止セルビウス制御方式を採用している。1次主循環ポンプ回転数計測設備は、1次主循環ポンプ回転数検出器（電磁ピックアップ式）から発生する回転数に対応した周波数信号を電圧変換し、各部に出力する。1次冷却材流量制御設備は、流量目標設定と実流量信号を比較演算し、制御指令をポンプ速度制御設備に出力し冷却材流量を制御する。

1次主循環ポンプ速度制御設備 交換：18面（A系、B系含む）

1次主循環ポンプ回転数計測設備

イ) 1次主循環ポンプ回転数計装盤 新設：1面

ロ) 1次主循環ポンプ回転数計測 新設：2面（A系、B系含む）

ブリアンプボックス

1次冷却材流量制御設備

イ) 各ループ流量コントローラ 交換：2台（A系、B系含む）

ロ) マスターコントローラ 新設：1台

(2) その他

1次主循環ポンプ駆動用電動機 交換：2基（A系、B系含む）

ポニーモータ抵抗器盤 交換：2面（A系、B系含む）

MK - プラントに合わせたポニーモータ回転数に調整するためにポニーモータ抵抗器盤を交換した。

IHX Na レベル計変換器盤 新設：1面

MK - においては、新主中間熱交換器に Na レベル計が追加されたため、その Na レベル信号の処理のため変換器盤を新設した。変換器盤の設置位置は、B 1 次主循環ポンプ速度制御装置盤を撤去した場所（原子炉附属建物 1 階 1 次冷却系現場制御室（A-504））とした。なお、設置にあたり、盤内温度調整のため盤内専用スポットエアコンを設けた。

中央制御室（A-712）盤改造 交換及び新設：1 式

1 次主循環ポンプ起動 SW の交換及び一括起動 SW の追加、ランバック制御等 MK - インターロック回路の追加を行った。改造する中央制御室内盤は、1 次制御盤（#424）、1 次補助継電器盤（#411-1,#411-2）である。

ケーブル敷設工事

上記設備の更新及び新設に伴い以下のケーブル敷設を行った。

- イ) A、B 系主電動機 2 次側ケーブル（主電動機 2 次側端子～1 次冷却系電気室（A-403）の 1 次主循環ポンプ速度制御設備まで）
- ロ) B 系ポニーモータケーブル（ポニーモータケーブル端子～1 次冷却系予熱接触器盤室（A-506）接触器盤まで）
- ハ) 格内リアンプボックス～1 次主循環ポンプ回転数計装盤（A-504）間
- ニ) 1 次主循環ポンプ回転数計装盤（A-504）～1 次主循環ポンプ速度制御設備列盤（セルピウス制御装置）（A-403 室）
- ホ) 1 次主循環ポンプ回転数計装盤（A-504）～1 次補助継電器盤（A-712）
- ヘ) 1 次主循環ポンプ回転数計装盤（A-504）～1 次制御盤（A-712）
- ト) A、B 系ポンプ回転数信号ケーブル（電磁ピックアップ出力端子～リアンプボックスまで）（R-501）

上記ハ)～ト)の回転数計装系の新規ケーブルの敷設にあたっては、ポニーモータ設備の重要性を考慮して、A 系と B 系で異なるルートでケーブルを敷設し、系統分離を図った。

2.2.2 1 次冷却系電気設備の工事方法

1 次冷却系電気設備の交換方法について、以下に示す。

(1) 交換工事フロー

図 2.2 - 3 に 1 次冷却系電気設備の工事フロー（1 次系制御盤関係）を示す。図 2.2 - 4 に 1 次冷却系電気設備の工事フロー（1 次主循環ポンプ駆動用電動機）を示す。

(2) 交換準備作業

1次主循環ポンプ速度制御設備の交換の際に干渉するオーバフロー系電磁ポンプ誘導加熱操作盤の一時撤去のため、オーバフロー系電磁ポンプのナトリウムドレン中の誘導加熱による予熱を停止できるように、オーバフロー系電磁ポンプダクトのちくわドレン（オーバフロー系のアルゴンガスブローにより、電磁ポンプダクト内のナトリウムに空洞を形成しながら冷却固化する）を行った。また、対象盤の撤去ができるように、盤各部の電源を停止した。

(3) 干渉機器等一時撤去作業

1次系電気制御設備の交換に伴い、構成盤周辺の電線管、ケーブルラック及び一部ケーブルを一時撤去した。その他、盤及び機器の搬出入時の干渉機器一時撤去作業で特記すべきものを以下に示す。

1次主循環ポンプ速度制御設備の交換

1次主循環ポンプ速度制御設備の交換では、以下のものが干渉するため、一時撤去した。

- イ) オーバフロー系電磁ポンプ誘導加熱操作盤（#141-4）
- ロ) 1次ナトリウム純化系電磁ポンプ IVR 盤（#131-1）
- ハ) ハッチ室（A-404）～A-403 室間の扉及び扉枠

一時撤去品は、コンパネ等を用いて床養生し、その上に仮設台を置いて一時保管した。また、一時撤去する盤は、壁等から支持をとり転倒防止策を施した。

1次ナトリウム純化系電磁ポンプ IVR 盤の一時撤去については、誘導加熱による予熱中であるため、設備切り離し時に仮設回路を構成し、誘導加熱盤による予熱を継続した。

オーバフロー系電磁ポンプ誘導加熱操作盤の一時撤去時については、オーバフロー系電磁ポンプダクトのちくわドレンを行い電源を停止したため、そのまま取り外した。

1次主循環ポンプ回転数計測設備の交換

1次主循環ポンプ回転数計装盤の搬出入において、補助冷却系（2次側）機器室（A-505）～A-504 間の扉及び扉枠を取り外した。

1次主循環ポンプ駆動用電動機

R-501 床上の電動機据え付け開口部の安全柵及びグレーチングを取り外した。

(4) 既設品撤去

交換対象設備の既設品を撤去した。なお、以下の設備については、盤基礎ベースも撤去した。その他の設備のベースについては、交換後も流用した。

既設 1 次主循環ポンプ速度制御設備の基礎ベース(A-403)

既設 B 1 次主循環ポンプ速度制御装置盤の基礎ベース(A-504)

既設ポニーモータ抵抗器盤(A-403、A-506)

ハツリ時の飛散ダストが他の盤に影響しないように、ベース周辺にクリーンハウス及び仮設換気設備を設置し、既設ベース周囲のコンクリート床のハツリ作業を行った。ハツリ後、ベース及び基礎ボルトを取外し、撤去品を建物外に搬出した。

(5) 新設備の搬入・据付作業

既設品撤去後、交換及び新設品を搬入し、所定の場所に据付けた。なお、基礎ベースを撤去したものについては、新規に基礎ベースを設置する必要があるため、各設備につき、以下のように設置した。

1 次主循環ポンプ速度制御設備

新設盤ベースの設置は、一部既設埋込プレートを流用するが、流用できないものについては、追加の埋込プレートを設置した。追加の埋込プレートはケミカルアンカにて固定した。新設用ベースは埋込プレートと溶接により設置した。

1 次主循環ポンプ回転数計装盤及びポニーモータ抵抗器盤

既設盤ベース撤去跡のレベルを調整した後、新設盤ベースを置き、ケミカルアンカにて固定した。

基礎ベース設置後、クリーンハウスを解体、取外し、ベース周辺のグラウト処理を行い、床面を復旧した。

交換及び新規品を所定位置まで運搬し、据付けた。据付後、盤、機器の配線を実施し、シーケンス通りの回路が構成されていることを確認した。

(6) 干渉機器等の復旧作業

(7) 撤去品の処分

撤去した既設品の処分方法を以下に示す。

1 次主循環ポンプ駆動電動機

電動機については放射能汚染がないことを確認し、内部の潤滑油を除去した上で、大洗工学センター内のスクラップ置場に運搬し、スクラップ処分とした。潤滑油は危険物倉庫、定検時の廃油とともに保管し、まとめて産業廃棄物処理業者に処理を依頼し処分した。

その他の盤

制御盤は、非管理区域に設置されており、電動機と同様にスクラップ処分とした。

2.3 2次冷却系機械設備

2.3.1 2次冷却系機械設備の概要

最終除熱を行う主冷却器（4基）を25MWt/基から35MWt/基の熱交換能力のものに交換した。また、主冷却器に熱交換用の空気を送り込むための、主送風機、入口ベーン、主冷却機出入口ダクト及び出入口ダンパも同時に交換した。

主冷却機は、ナトリウムバウンダリを形成する主冷却器と主送風機設備で構成する除熱機器であり、主冷却器はフィンチューブの構造を既設のU型から 型に変更し、伝熱面積を既設の約2倍とすることにより除熱能力を向上させた構造となっている。主送風機設備は、主冷却器への冷却用空気を送り込む設備であり、主送風機、入口ベーン、出入口ダンパ、ダクト類で構成している。

本工事では、上記主冷却機を交換するとともに、主冷却器の出入口ナトリウム配管を交換した。配管の交換範囲は、主冷却器と主冷却器入口側及び出口側ナトリウム配管を取り合うための接続配管と、主冷却器出入口温度計ウェル取付部配管である。対象範囲を以下に示す。

| | |
|--------------------------|-------|
| 主冷却機（主冷却器及び主送風機設備） | 交換：4基 |
| 主冷却器出入口接続配管（10B - 8B） | 交換：4式 |
| 主冷却器出入口配管（温度計ウェル取付部、12B） | 交換：4式 |

図 2.3 - 1 にMK - 用新主冷却機の構造図を示す。図 2.3 - 2 にMK - 2次冷却系改造工事範囲を示す。

2.3.2 2次冷却系改造工事（主冷却機の交換）の交換方法

(1) 交換工事フローの概要

交換工事は下記の手順により行った。

- 工事準備作業
- 干渉物の一時撤去作業
- 配管切断作業、既設主冷却機の撤去・搬出作業
- 新規主冷却機の搬入・据付作業、配管溶接作業
- 配管用受樋等の付属設備設置
- 干渉物の復旧作業
- 後片付け、清掃

図 2.3 - 3 に主冷却機及び出入口配管の交換工事フローを示す。

(2) 工事準備作業

作業エリア設定

機器・資機材搬出入経路の確認

資機材搬入

作業着手条件確認

干渉物確認、交換対象機器の確認、電源・圧縮空気ラインの隔離

(3) 干渉物の一時撤去作業

主冷却機周り

- イ) ケーブル、電線管及び JB (ヒータ、漏えい検出器用) を撤去する。ケーブルは、事前調査にて接続先を明らかにし、ケーブル芯線毎に Tag を取付けたのち撤去した。
- ロ) ベーン・ダンパ駆動用の圧縮空気配管を撤去した。圧縮空気配管は、アキュムレータタンクからドライブユニット側を撤去した (アキュムレータタンクは撤去しない)。
- ハ) 煙式漏えい検出器は、工事上の干渉物となるため撤去した。
- ニ) 監視カメラ (主冷却器伝熱管用、温度計ウエル用) は、移設して工事中の監視用として使用した。工事終了後は、MK - 主冷却機の監視窓の位置に合わせて設置した。
- ホ) 主送風機点検架台及び出口ダクト (煙式漏えい検出器周り) の点検架台を撤去した。
- ハ) 主冷却機室天井クレーンレールの主冷却機側端部を切断するとともに、ストッパを移設した (茨城県労働基準監督署説明し了解済)。

主冷却機建物外周 (機器搬入シャッター周り)

- イ) 主冷却機建物の A 側及び B 側シャッター部庇を撤去した。
- ロ) 主冷却機建物の B 側シャッター前フェンスを一部変更した。
- ハ) 主冷却機建物の B 側シャッター前外灯 (1 箇所) を移設した。

主冷却器出入口配管周り

主冷却器 (A)(B) 出口温度計ウエル取付部 12B 配管 (前室 (No.1)(S-409)、主冷却室(B)(S-419)) 上部にあるケーブルトレイの一部、延焼防止用ボード及びサポートの一部を撤去した。

(4) 配管切断作業

図 2.3 - 4 に旧主冷却器接続配管の切断位置を示す。

配管切断前は、切断作業に必要な機材、アルゴンガス供給ラインの設置等の準備を行うとともに、切断時の配管の移動を防止するための仮サポートを設置した。

配管は、空気雰囲気中で配管板厚の約 2/3 まで先行切削した。なお、配管板厚 2/3 の確認はゲージにより確認した。

先行切削実施後、系統内への空気混入を防止するためのグローブボックス式のキャスクを設置し、その中をアルゴンガスパーズした後、切断を実施した。

配管切断作業中は、第 6 回定期検査で実施した 2 次主配管サーベイランス材取出し作業時の実績（昭和 62 年 3 月下旬～6 月上旬）から、キャスク内の圧力を約 200Pa（約 20mmAq）に維持した。

配管切断後、溶接時に問題とされない位置（約 200mm 以上）まで、配管内ナトリウムを掻き出し、アルコール洗浄により除去し、切断部シールのためのヘキサプラグを配管内部に設置した。また、配管端部に養生用シールキャップを設置した。

撤去配管の切断は、系統側から分離した後、シールバッグ等を用いてアルゴンガス雰囲気で行った。撤去配管は、配管端部のナトリウムをアルコール洗浄により除去した後、閉止板を溶接し、搬出した。

(5) 旧主冷却器の撤去作業

図 2.3 - 5 に旧主冷却器の撤去・搬出概念図を示す。図 2.3 - 6 に旧主送風機設備の撤去・搬出概念図を示す。

既設機器は、主冷却器（約 18ton）及び主送風機設備（主送風機（約 19ton）、出入口ダンパ等：計約 24ton）の各構成品毎に解体し、撤去・搬出した。搬出は、主冷却機建物 A 側、B 側シャッター口から行った。

主冷却機建物内の移動は、仮設吊り金物、台車、仮設レール、シャッター出入口部仮設床を設け、これらの設備と建物内天井クレーン（A 側 20ton、B 側 30ton）を用いて行った。

(6) MK - 用新主冷却器の据付作業

図 2.3 - 7 に MK - 用新主冷却器の搬入・据付概念図を示す。

新規機器は、主冷却器及び主送風機設備（主送風機、出入口ダンパ等）の各構成機器毎に、主冷却機建物 A 側、B 側シャッター口から搬入し、組立・据付を行った。

新主冷却器以外の構成機器は、撤去時と同様に建物内クレーン及び仮設設備を用いて行った。

新主冷却器は、重量が約 35ton で既設よりも増加しているため、建物内クレーンで

吊りながら移動することができないことから、次に示す要領で搬入・据付を行った。
なお、本工法は、茨城県労働基準監督署に説明し、クレーンの改造に当たらないことを事前に確認した。

- イ) 図 2.3 - 7 (1/4) 参照 : 新主冷却器の搬入は、新主冷却器をトレーラからクレーン車で吊り上げ、シャッター口前に吊り下ろした。その後、新主冷却器を建物内へ横引きし、クレーンレールに取付けた仮設揚重設備で吊り上げた。
- ロ) 図 2.3 - 7 (2/4) 参照 : 新主冷却器を仮設揚重設備で吊り上げた状態で、移動式レール架台を建物内に横引きした。その後、吊り上げていた新主冷却器を移動式レール架台上の台車に吊り下ろした。
- ハ) 図 2.3 - 7 (3/4) 参照 : 新主冷却器を載せた台車を横引きし、据付位置まで移動した。
- ニ) 図 2.3 - 7 (4/4) 参照 : 据付位置に組み立てた主冷却器据付用吊り架台により、新主冷却器を吊り上げ、レールを撤去して、新主冷却器を据付けた。

主送風機～主冷却器間の据付寸法計測を行い、据付基礎のレベル合せを行うとともに、入口ダクトの余長部を切断して合わせた。

主冷却器～既設出口ダクト取合部間の取合寸法計測を行い、出口ダクトの余長部を切断して合わせた。

(7) 配管溶接作業

図 2.3 - 8 に M K - 用新主冷却器接続配管の溶接位置を示す。

配管溶接前に、取合部の寸法計測・マーキングを行い、開先加工を行った。既設配管側の開先加工は、ヘキサプラグを取付けた状態で行った。

12B 配管部の溶接については、溶接部にキャスクを設置し、アルゴンガスでパージした状態で行った。また、10B - 8B 配管部の溶接については、3 箇所 (8B 集合管ノズル 2 箇所 + 10B 配管 1 箇所) の取合寸法調整が必要となるため、各溶接部の位置調整を行いやすいように、シールバッグを用いて溶接作業を行った。

キャスク又はシールバッグを取付け後、アルゴンガスでパージし、酸素濃度及び圧力を確認した後、端部のヘキサプラグを取り外した。

溶接時の裏ガス圧力をパラメータとした試験結果に基づき、配管溶接作業中は、キャスク内の圧力を約 100Pa (約 10mmAq) に維持した。

キャスク又はシールバッグ内で、開先合せを行った。開先合せ検査を実施した後、約 1/2 層まで溶接し、キャスク又はシールバッグを取り外した。

配管溶接部については、開先合せ検査、非破壊検査（浸透探傷試験、放射線透過試験）、溶接後熱処理検査、耐圧検査を実施した。但し、耐圧検査は、溶接部のうち規定圧力まで加圧できないものは、耐圧代替として非破壊検査（プログレス浸透探傷試験）を実施した。

放射線透過試験を実施する際は、原子炉施設保安規定に基づき、一時管理区域を設定して実施した。

(8) 配管用受樋等の付属設備設置

配管にヒータ、熱電対、漏えい検出器及び保温材を設置した。また、配管用ナトリウム受樋を設置した。

(9) 干渉物の復旧作業

工事準備作業にて撤去した干渉物を復旧した。復旧作業後は、各設備が撤去前の状態及びMK - 主冷却機に対応した配置（監視カメラ等）で機能上問題ないことを確認した。

(10) 後片付け

仮設設備の取外し・撤去及び機器周りの清掃を行った。

(11) 既設品の処分

内部にナトリウムが付着している旧主冷却器及び配管は、アルゴンガス封入処置を行い、一時保管庫（50MW 蒸気発生器試験施設 LPG タンクローリーローディングエリア跡地に設置）まで運搬して保管した。その後、大洗工学センター内ナトリウム処理室にて順次、解体してナトリウム洗浄を行い、最終的にスクラップとして処分した。

その他の主送風機設備は、解体し、スクラップとして処分した。

2.4 2次冷却系電気設備

2.4.1 2次冷却系電気設備の概要

MK - 冷却系機器の改造工事の一部として、2次冷却系電気設備の交換を行った。既設の2次主循環ポンプを用いて、定格熱出力（70MWt/ループ）の除熱に必要な流量を確保し、ポンプの起動から定格流量に達する間の制御を安定して行えるよう制御設備を改造した。また、原子炉スクラムによる2次主循環ポンプのトリップや、主送風機トリップ信号による同ポンプトリップ等のインターロックを追加した。本工事の対象となる2次冷却系電気設備は、大きく分けて2次主循環ポンプの電動機及び電気制御設備、主送風機の電気制御設備、予熱温度制御設備等である。

図 2.4 - 1 に 2 次冷却系電気設備の改造範囲を示す。図 2.4 - 2 に 2 次冷却系電気設備改造工事の対象電気品（主冷却機建物）を示す。図 2.4 - 3 に 2 次冷却系電気設備改造工事の対象電気品（原子炉附属建物）を示す。

以下に M K - 2 次冷却系電気工事対象設備を示す。

(1) 2 次主循環ポンプ

| | |
|------------------------|--------------------|
| 2 次主循環ポンプ電動機 | 交換：2 基 |
| 2 次主循環ポンプ電動機速度制御盤 | 交換：速度制御盤、抵抗器盤各 2 面 |
| 2 次主ポンプ電動機用回転計変換器盤 | 新設：2 面 |
| 2 次主循環ポンプ電動機用遮断器盤 | 交換：2 基分 |
| 2 次主循環ポンプ電動機スペースヒータ制御盤 | 新設：1 面 |
| メンテナンス用架台 | 改造：2 基分 |
| 2 次主循環ポンプ室空調ダクト | 改造：2 式 |

(2) 主送風機

| | |
|--------------|---------|
| 主送風機電動機用遮断器盤 | 交換：4 基分 |
| 主送風機ブレーキ操作盤 | 交換：2 面 |
| 主送風機急速停止系制御盤 | 交換：2 面 |

(3) 2 次系プラグング計

| | |
|----------------|--------|
| 2 次主プラグング計操作盤 | 交換：1 面 |
| 2 次補助プラグング計操作盤 | 交換：1 面 |

(4) 2 次予熱ヒータ

| | |
|-----------------------|----------------|
| 予熱ヒータ用分電盤 | 交換：2 面 |
| 2 次予熱ヒータコントロールセンタユニット | ユニット交換：36 ユニット |

(5) 中央制御室盤改造

中央制御室における主送風機単独操作の採用による主送風機起動 SW の交換、2 次主ポンプ回転数高インターロック等の M K インターロック回路の追加を行った。また、原子炉冷却材温度制御設備の更新（既設 YEWPACK システムから μ XL システムに変更）を行った。改造した中央制御室内盤は 2 次制御盤#425、2 次補助継電器盤#432 である。

(6) 上記盤間及び盤と補機間の配線・配管工事（新設、既設の更新又は流用）

M/C 遮断器盤（S-201）～ 2 次主循環ポンプ及び主送風機遮断器盤（S-402）間のケーブル

主送風機電動機～遮断器盤間のケーブル
2次主循環ポンプ電動機～遮断器盤間のケーブル
2次主循環ポンプ電動機～抵抗器盤間のケーブル
2次主循環ポンプ抵抗器盤～速度制御盤間のケーブル
2次補助継電器盤～M/C遮断器盤（一般系電源盤室（S-201））間のケーブル
その他必要なもの

2.4.2 2次冷却系電気設備の工事方法

2次冷却系電気設備の交換は、2次冷却系機械工事と並行して作業を実施した。改造の方法を以下に示す。

(1) 工事フロー

改造工事は、下記手順により行った。

工事準備作業
干渉機器・配管一時撤去作業
既設2次系電気設備の撤去作業
新2次系電気設備の搬入及び据付作業
干渉機器・配管の復旧作業
後片付け作業

図2.4-4に2次冷却系電気設備の工事フローを示す。

(2) 交換準備作業

作業エリア設定
機器・資機材搬出入経路の確認
資機材搬入
作業着手条件確認
干渉物確認、更新対象機器の確認と電源等の停止

(3) 干渉物の一時撤去作業

干渉機器及びケーブルの検電、タグ取付
干渉機器は、本体工事に係る計装ケーブル、配管、盤のほか以下のものを一時撤去した。

- イ) 2次ダンプタンク入口小屋（移設）
- ロ) 2次系電気室（S-402）機器搬入経路の蛍光灯（一時撤去）
- ハ) 2次主循環ポンプ点検用歩廊（一時撤去）

干渉物撤去

(4) 既設 2 次冷却系電気設備の撤去作業

既設機器及びケーブルの確認、検電、タグ取付

既設ケーブル取外、電線管撤去、端末養生

搬出経路、機械品交換作業との干渉有無確認及び必要な調整

既設機器及び盤の撤去、搬出

(5) 新 2 次冷却系電気設備の搬入及び据付作業

新規ベース据付

新規機器及び盤の搬入、据付

新規電線管及びケーブルの敷設

ケーブル接続及び整線

試験検査

機器電源等の復旧

(6) 干渉物の復旧作業

干渉物の復旧

設備の動作確認

(7) 後片付け

作業残材の運搬

清掃

3. 工事工程

表 3 - 1 にMK - 冷却系改造工事全体工程を示す。

MK - 冷却系改造工事は、ナトリウム充填中でなければできない遮へいコンクリート冷却系に係る準備、復旧作業を除き、平成 12 年 10 月 30 日に準備作業を開始し、平成 13 年 9 月 21 日の復旧作業完了まで、約 11 ヶ月間という長期間の改造工事であった。

3.1 1次冷却系

3.1.1 1次冷却系機械設備

表 3.1 - 1 にMK - 冷却系改造工事（1次冷却系機械設備（A ループ））の予定及び実績工程を示す。表 3.1 - 2 にMK - 冷却系改造工事（1次冷却系機械設備（B ループ））の予定及び実績工程を示す。

1次冷却系機械設備の作業項目は、主に 作業準備及び干渉物撤去、配管切断、旧主中間熱交換器搬出及び新主中間熱交換器搬入、配管溶接及び使用前検査、干渉物復旧、片付けの 5 項目に分けることができる。このうち、作業準備及び干渉物撤去、配管切断は、概ね予定通りに進めることができたが、それ以降の作業項目においては、主中間熱交換器接続 2 次系配管の配管長不足、溶接施工時のナトリウム滴下等のトラブルにより、工程が遅れ、MK - 冷却系改造工事（1次冷却系機械設備）は、当初予定の平成 13 年 7 月下旬完了から約 2 ヶ月遅れとなる平成 13 年 9 月下旬完了となった。

1次冷却系機械設備の工事工程としては、当初計画より 2 ヶ月遅れとなったものの、MK - 冷却系改造工事の全体工程上では約 2 週間の遅れであった。

3.1.2 1次冷却系電気設備

表 3.1 - 3 にMK - 冷却系改造工事（1次冷却系電気設備）の予定及び実績工程を示す。

1次冷却系電気設備の作業項目は、主に 1次系電気制御設備盤更新、1次主循環ポンプ電動機交換、ポニーモータ抵抗器盤の更新の 3 項目に分けることができる。このうち、シーケンス試験及びケーブル敷設・接続を除く 1次系電気制御設備盤更新作業、ポニーモータ抵抗器盤の更新については、概ね予定通り進めることができた。ケーブル敷設・接続及び 1次主循環ポンプ電動機交換工事については、1次冷却系機械設備との作業エリア干渉の問題があったことから工程調整を行い、当初工程から大幅に工程を変更して実施し、1次冷却系機械設備の工事が完了するまでには、すべての作業を完了することができた。

3.2 2次冷却系

3.2.1 2次冷却系機械設備

表 3.2 - 1 に M K - 冷却系改造工事(2次冷却系機械設備)の予定及び実績工程を示す。

2次冷却系機械設備の作業項目は、主に 作業準備及び干渉物撤去、 配管切断、旧主送風機及び旧主冷却器 (DHX) 撤去、 新 DHX 及び主送風機据付、 配管開先合せ、溶接及び検査、 復旧作業の 5 項目に分けることができる。2次冷却系機械設備では、作業期間中に1次冷却系機械設備のようなトラブルの発生もなく順調に工事を進めることができたことから、工程内での各項目の工程変更はあったものの、当初の2次冷却系機械設備の工程から約1週間程度の遅れとなる平成13年9月上旬に工事を完了することができた。

3.2.2 2次冷却系電気設備

表 3.2 - 2 に M K - 冷却系改造工事 (2次冷却系電気設備) の予定及び実績工程を示す。

2次冷却系電気設備の作業項目は、主に 干渉物撤去、 電動機、制御盤、遮断器盤撤去、 電動機、制御盤、遮断器盤据付、 干渉物復旧の 4 項目に分けることができる。2次冷却系電気設備は、2次冷却系機械設備と同様に順調に工事を進めることができたことから、工程内での各項目の工程変更はあったものの、当初の2次冷却系電気設備の工程から約1週間程度の遅れとなる平成13年8月上旬に工事を完了することができた。

4. 工事体制

4.1 工事实施体制の基本

MK - 冷却系改造工事は、高速炉における原子炉冷却系の主要機器である主中間熱交換器を始めとする大型機器を交換するという我が国はじめての大工事である。

ナトリウム冷却型高速炉における改造工事の場合は、原子炉容器及びダンプタンク内ナトリウムの予熱保持、ナトリウムバウンダリ内への酸素混入防止、カバーガス圧力維持等の停止時におけるプラント状態を確保しながら進める必要があったとともに、工事期間の短縮化を図るため、1次冷却系、2次冷却系等の工事を並行して進めていく必要があった。このため、各部の綿密な調整と情報・認識の共有化を図り、安全、かつ、確実に工事を実施するため、これまでの定期検査や改造工事とは異なった工事实施体制を採用した。

図 4.1 - 1 にMK - 改造工事におけるサイクル機構内工事实施基本体制を示す。図 4.1 - 2 にMK - 改造工事における工事实施体制を示す。

MK - 改造工事では、図 4.1 - 1 に示すように改造範囲等に応じて、冷却系改造担当、電源設備改造担当、工事管理・調整担当の3分野で各工事担当の役割を明確にした。また、図 4.1 - 2 に示すように、実験炉部内にMK - 現地工事推進本部を設置し、その下部に現地工事实施本部を設置するとともに、現地工事推進本部に安全面におけるアドバイスを受けるための現地工事推進本部連絡会を設置した。実質工事は、保守担当課である原子炉第二課が中心となって行い、工程調整、情報・認識の共有化は、現地工事实施本部会議で行った。

以下に、工事实施体制下における基本的な実施例を示す。

- (1) MK - 現地工事推進本部を設置し、現地工事推進本部連絡会にて安全面等で必要なアドバイスを受けた。
- (2) MK - 現地工事实施本部を設置し、MK - 現地工事に係る工事工程調整と連絡、工事及びプラント安全の確保、情報及び認識のサイクル機構と請負業者間との共有化を図った。
- (3) 工事实施本部会議は、原則として毎日 17:30 より開催した。
- (4) 週間工程調整会議は、毎週木曜日の 17:30 より開催した（工事实施本部会議内で実施）。
- (5) 月間工程調整会議は、毎月最終木曜日の 17:30 より開催した（週間工程調整会議とあわせて工事实施本部会議内で実施）。
- (6) 作業開始前に現場責任者、請負作業責任者と、その日の作業内容、現場状態、注意事項などの確認を実施した。

4.2 1次冷却系改造工事の体制

図 4.2 - 1 に 1 次冷却系改造工事の工事体制を示す。

4.3 2次冷却系改造工事の体制

図 4.3 - 1 に 2 次冷却系改造工事の工事体制を示す。

4.4 異常時の処置

異常時の対応については、基本的に実験炉部のルールに基づいているが、これに、MK - 冷却系改造工事に係る特有のものであるナトリウムバウンダリを切断して、溶接を行うまでの仮閉止期間における系統内カバーガス圧力管理を新たに追加した。

- (1) 天災、火災、事故等の異常が発生した場合は、現場責任者は作業者に作業を中断させる等の指示を与え、人命尊重を第一とし、次に拡大防止を図る。火災にあつては、火災の種類に応じた消火器を用いて初期消火を行うとともに、現場監視にあたる。
- (2) 上記(1)項のほか、下記に該当する場合は、作業を一時中断し、現地工事実施本部会議等の場で対策を検討する。

計画作業が遂行できない場合、計画外作業の必要性が生じた場合

指示された事項の遵守が困難な場合

保安作業の継続が困難な場合

作業員の不安全行動に対して、サイクル機構が中断を指示した場合

- (3) カバーガス圧力上昇・下降時

作業中、現場の圧力計又は中央制御室において圧力高警報が発生した場合には、速やかに作業を中断し、圧力調整（降圧）操作を実施するとともに配管切断部の閉止部シール状態の確認を行う。圧力が異常低下した場合は排気側のバルブを閉とし、系統から供給されているバルブの開度を調整するとともに、バックアップとしてシールバッグのガス供給ラインとして設置しているガス置換ラインからの供給を行う。

夜間の場合も、 項と同様に圧力調整を実施する。

4.5 工事時における人員実績

図 4.5 - 1 に MK - 冷却系改造工事における作業人員実績を示す。

MK - 冷却系改造工事における作業人員実績は、以下のとおりである。

- (1) 今回の工事は、延べ人工数約 43,000 人日で、1 ヶ月平均約 3,900 人日、1 日平均約 170 人日であった。このうち、1 次系改造工事が約 26,000 人日、2 次系改造工事が約 17,000 人日であった。
- (2) 1 次系改造工事における第 1 ピークは、平成 13 年 1 月の約 3,200 人日で、ナトリウム配管切断作業準備と並行して配管切断作業が進められた時期であった。第 2 ピークは、平成 13 年 7 月の約 2,900 人日で、ナトリウム配管溶接作業が A ループと B ループで並行して進められた時期であった。
- (3) 1 次系改造工事の人工数は、撤去工事約 50%と据付工事約 50%とほぼ同じ割合であった。一般的には、撤去より据付に時間を要するが、1 次系の場合は、旧主中間熱交換器が主たる被ばく源であったことから、撤去工事に時間を要したため、撤去と据付で人工数が大きく変わらなかった。
- (4) 2 次系改造工事は、工事開始から約 7 ヶ月間はほぼ平均して 1 ヶ月約 1,500 人日であった。最もピークを迎えたのは、13 年 7 月の約 2,600 人日で、ナトリウム配管溶接作業と並行して干渉物復旧作業が進められた時期であった。
- (5) 2 次系改造工事の人工数は、撤去工事約 30%と据付工事約 70%の割合であった。2 次系工事で据付工事に多くの時間を必要とした理由は、以下のとおりである。

2 次系機器の場合は、1 次系機器と異なり、新主冷却器の大幅な重量増加によって既設クレーンで吊ることができなかったことから、仮設揚重設備を設置し主冷却器の搬入、搬出を実施した。仮設揚重設備の設置は、撤去工事側に含めているが、仮設揚重設備の取外しは、新主冷却器の据付が完了した後に実施するため、据付工事側に含めている。また、MK - 機器の重量増加及び機器寸法の変更に伴い、床積載荷重を各階に分散させるために出入口ダンパの据付位置を変更していること、主送風機電動機の大型化による据付位置調整等を行っていることから、据付調整に多くの時間を必要とした。

5. ナトリウム配管の切断、ナトリウム除去及び溶接作業の管理

MK - 冷却系改造工事では、その工事の中心であるナトリウム配管の切断、ナトリウム除去及び溶接作業が、プラント運転管理及び安全管理上の重要なポイントとなる。このため、ナトリウム配管の切断、ナトリウム除去、溶接の方法等を工事前の早い段階から検討した。この検討結果に基づき、プラントの運転管理、工事前に実施しておくべき準備工事、工事にあたっての安全管理の方法及び対策を定めた。

表 5 - 1 にナトリウム配管の切断、ナトリウム除去及び溶接作業の管理ポイントを示す。

表 5 - 1 に示すように、ナトリウム配管の切断、ナトリウム除去及び溶接作業において管理すべきポイントは、放射線管理、ナトリウム純度管理、カバーガス管理、清浄度管理、配管構造健全性維持、溶接施工管理の 6 項目に分類することができる。改造工事にあたっては、これら 6 項目について準備段階において検討を実施し、必要な対策を立て工事に備えた。

5.1 放射線管理

放射線管理上の重要なポイントは、作業員の被ばく低減化対策、作業員の体内及び体外汚染防止、作業エリアの汚染拡大防止である。

図 5.1 - 1 に作業員の被ばく低減化対策を示す。

主中間熱交換器の表面線量率は、定検毎の表面線量率測定結果から最大数十 mSv/h と高いことから、交換工事にあたっては ALARA の精神に基づき、できるだけ作業員の被ばく線量を低減する必要があった。しかし、作業場所は、狭隘部で、かつ、配管切断位置が表面線量率の高い場所であることから、距離をとることができない。このため、被ばく線量の低減は、作業時間の短縮と雰囲気線量率を下げる方策を採用した。作業時間の短縮の方策としては、要素モデル及びフルモックアップモデルを製作し、配管の切断、開先合せ、溶接作業等に関する作業工法の検討、最適作業要領の選定、作業員に対するトレーニング等による習熟度の向上を行った。また、雰囲気線量率を下げる方策としては、フレキシブルな仮設遮へい体を表面線量率の高い部位に設置して、作業場所の雰囲気線量率の低減を図った。

この結果、配管切断作業時間は、モックアップによる作業工法の検討、トレーニング等による習熟度の向上を行ったことにより、全体の約 6% である約 29 時間 (配管切断作業日数で約 4 日) 短縮することができた。また、仮設遮へい体として、鉛マット 230 枚、鉛板 220 枚、鉛袋 80 袋を使用したことにより、雰囲気線量率を約 20% 低減することができた。

図 5.1 - 2 に作業員及び作業エリアの汚染防止対策を示す。

作業員の体内及び体外汚染防止は、装備を充実させることで対応した。体内汚染防止は、エアラインマスクを着用することで対応し、体外汚染防止は、靴の履き替え、ゴム手袋、タイベックスーツを着用することで対応した。エアラインマスクは、通常用いている全面マスクと異なり、呼吸がしやすく作業員に対する負担が軽減されること、及び不活性ガスで覆われたナトリウム配管を切断する際の酸欠事故防止も兼ねことから使用した。エアライマスクの使用にあたっては、呼吸用空気を供給する設備が必要であり、工事準備段階でエアラインマスク用ベビコン設備を設置した。タイベックスーツは、通常、固体廃棄物の低減の観点から、可燃性のタイベックスーツを着用しているが、ナトリウムを取り扱うこと、及び溶接作業等で火気を使用することを考慮して、一重目は可燃性タイベックスーツ、二重目は難燃性タイベックスーツを使用した。

エリア汚染防止にあたっては、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、開先合せ、溶接等）において、系統内への酸素混入防止のために使用するシールバッグが、同時にエリア汚染防止のためのバウンダリを構成することになり、その役割を担った。また、作業エリアには、グリーンハウスを設置し、局所排風機を使用して負圧を維持した。なお、グリーンハウスの材料は、ナトリウム取扱及び火気使用を考慮して防災シートとし、内部が監視できるように透明のものを用いた。

この結果、作業員の体内及び体外汚染を発生させることなく、工事を終了することができた。

図 5.1 - 3 に旧主中間熱交換器及び接続 1 次系配管の表面線量率を示す。図 5.1 - 4 に MK - 冷却系改造工事の被ばく線量を示す。

図 5.1 - 3 の表面線量率を見ても判るように、1 次系改造工事における主たる線源は、放射性腐食生成物（CP）である ^{60}Co 、 ^{54}Mn が多量に付着した旧主中間熱交換器であり、旧主中間熱交換器撤去後の作業雰囲気線量率は、旧主中間熱交換器が設置されていた時に対して A 側で約 1/2、B 側で約 1/4 に低下した。なお、B 側の作業雰囲気線量率の低下割合は、A 側よりも大きい。撤去前の作業雰囲気線量率が A 側に比べてかなり高く、補助中間熱交換器も隣接していることから、旧主中間熱交換器を撤去した後も A 側より作業雰囲気線量率は高かった。

この結果、旧主中間熱交換器を撤去した後に行う作業であるナトリウム除去、新主中間熱交換器の据付、配管の開先合せ、溶接などにおいては、時間的制約を受ける割合が少なくなり、作業における余裕が十分確保され、本来の作業に集中することができるようになった。

5.2 ナトリウム純度管理

ナトリウム純度管理のポイントは、系統内への酸素混入防止である。

図 5.2 - 1 に系統内酸素混入防止対策を示す。

系統内への酸素混入防止にあたっては、ナトリウムバウンダリを開放する作業（配管の切断、ナトリウム除去、開先合せ、溶接等）において、切断・溶接する箇所をシールバッグ等で覆い、シールバッグ等内部の酸素濃度を下げた後に実施することで対応した。なお、酸素濃度管理値は、1,000ppm 以下とした。これは、シールバッグ等の容積が約 1m³ とドレン中の系統内アルゴンガス容積（1 次系：72m³、2 次系：75m³）に比べて極めて小さく、かつ、シールバッグ等の両端が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と想定されたため、シールバッグ等の置換時間と作業員の被ばく線量低減との関係から数時間で置換できる酸素濃度で、これまでに経験のある 2 次系サーベイルンス取り出し作業における置換目標濃度であった 1,000ppm 以下とした。

系統内カバーガス中の酸素濃度管理値は、300ppm 以下としたが、酸素はナトリウムに溶け込むことから、カバーガス中の真値が見えない可能性がある。よって、空気の混入を考慮して、窒素濃度も管理値に加え、その管理値は空気中の酸素と窒素の割合を考慮して 1,200ppm とした。カバーガス中の酸素、窒素濃度の監視は、「常陽」データ処理装置（JOYDAS）に入力されている 1 次系及び 2 次系ガスクロのデータにより実施した。また、JOYDAS に M K - 改造工事画面を新たに設け、管理値に到達した場合に警報を発するとともに、自動的に M K - 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。なお、ナトリウムバウンダリ開放作業は、プラントの安全を考慮して作業開始から仮閉止治具の取付まで連続して作業を実施することとし、シールバッグのみで夜間放置することのないように管理した。

この結果、シールバッグ又はキャスク内の酸素濃度は、作業中において概ね 1 次系が 500ppm 前後、2 次系が 10ppm 以下（キャスク、シールバッグとも）にすることができた。また、系統内カバーガス中は、酸素濃度、窒素濃度とも管理値を超えるようなことはなかった。

特に、2 次系のシールバッグ内酸素濃度が低かったのは、以下の理由によると考えられる。

- 1 次系の配管口径は主中間熱交換器入口 20B / 22B、出口 18B / 20B であるのに対して、2 次系の配管口径は 12B と小さいため、シールバッグと配管との密着性が良好であった。
- 1 次系の配管は二重管構造で、かつ、切断位置が狭隘部であることから、ナトリウム

配管である内管の切断等を行う場合、シールバッグの両端を外管でシールし、シールバッグ内となる外管と内管との隙間（予熱時に予熱室素ガスが流れるライン）を外管閉止治具によりシールして密閉性を維持しているが、既設配管側の外管と内管との隙間からの漏えいは、系統に接続されているため検出することができない。これに対して、2次系の配管は一重管であるため、このような漏えいを検出できないシール部分がなかったことが影響していたと考えられる。

- 1次系の作業エリアはいずれも狭隘部であったのに対して、2次系の作業エリアは1次系に比べて広がったため、シールバッグからのわずかな漏えいでも発見することができ、漏えい箇所のシール性を改善することができたためと考えられる。
- 1次系の作業エリアはいずれも雰囲気放射線量率が高かったことから、作業員の被ばく線量を制限する必要があったのに対して、2次系の作業エリアは作業員の被ばくを気にする必要がなかったため、シールバッグの漏えいチェックに時間を費やすことができたと考えられる。

表 5.2 - 1 にMK - 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)を示す。表 5.2 - 2 にMK - 工事期間中に系統内に混入した酸素量(MK - 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。

5.3 カバーガス管理

カバーガス管理のポイントは、系統内カバーガス圧力の低圧制御、切断部の仮閉止部の耐圧性である。

ナトリウムバウンダリを開放する作業（配管の切断、ナトリウム除去、開先合せ、溶接等）においては、シールバッグ又はキャスクを使用するため、カバーガス圧力を低圧で制御しなければならないこと、ナトリウムバウンダリ切断後において切断部を仮閉止してバウンダリを保持する必要があったことから、系統内カバーガス圧力を低圧に制御する必要があった。カバーガス系の低圧制御は、配管切断時のシールバッグの破損防止、シールバッグの操作性を図る観点から行い、その圧力は300Pa以下とした。なお、シールバッグは、600Paまで加圧しても破損しないことを事前に確認した。

1次系のカバーガス系は、通常モード：300Pa～700Pa、低圧モード：150Pa～300Paという2つのモードがあり、また、これらモードより更に低圧で制御する場合は、中央制御室から圧力を監視しながら給排気弁（小口径側）を手動で開閉することで対応した。2次系のカバーガス系は、2次主循環ポンプのNPSH確保のため、通常20kPa～30kPa（MK - で

は 35kPa ~ 45kPa) の範囲で電磁弁が開閉 (排気弁のみによる制御、供給は主循環ポンプの軸封ガスのみ) する制御であり、基本的に手動での開閉はできないとともに、中央制御室での操作及び圧力監視ができないシステムである。低圧制御を行うためには、現状の電磁弁の開閉では低圧でほぼ一定制御させることが困難なため、工事準備段階で新たに低圧制御系を設置した。また、中央制御室で圧力監視できるように、「常陽」データ処理装置 (JOYDAS) にカバーガス圧力データを入力するとともに、警報が発報するようにした。

図 5.3 - 1 に系統内カバーガス低圧制御を示す。

この結果、工事期間中、2 次系のカバーガス系を常に 300Pa 以下に連続制御するとともに、実際のナトリウムバウンダリ開放作業では、その作業内容に応じて 50 ~ 200Pa の間で制御することができた。

配管切断部は、溶接までの長期間仮閉止治具により保持することから、工事前に仮閉止治具の選定とその耐圧性能を確認した。1 次系改造工事で用いた閉止キャップ + 閉止治具方式は 10kPa、1 次系及び 2 次系改造工事で用いたヘキサプラグは 35kPa まで十分保持できる耐圧性能を有することを確認した。

図 5.3 - 2 に配管切断部の仮閉止治具を示す。

この結果、1 次系及び 2 次系改造工事期間中、仮閉止治具からの漏えい、仮閉止治具の不具合等の発生はなく、系統内を 300Pa 以下に制御することができた。

5.4 清浄度管理

清浄度管理のポイントは、系統内への切粉混入防止、系統内への治工具落下防止、ナトリウム掻き出し、洗浄治具の選定である。

工事における配管切断位置には、垂直配管部があることから、切断工法の切替による切粉混入防止、配管内への治工具落下防止を行った。

図 5.4 - 1 に配管切粉混入防止対策を示す。図 5.4 - 2 に配管内治工具落下防止対策及びナトリウム洗浄治具を示す。

系統内への切粉混入防止対策は、切断作業の作業性を考慮して、配管板厚約 2/3 まではシールバッグを装着せずにバイトによる切削を行い、その後シールバッグを装着してローラカッターによる押し切りを行う切断工法を採用した。また、垂直配管部のナトリウム除去作業では、治具の落下防止対策として、配管内面を覆う落下防止治具を取り付けてナトリウム除去作業を行った。なお、水平部についても切断作業の作業性の観点から、配管板厚約 2/3 まではシールバッグを装着せずにバイトによる切削を行い、その後シールバッグを装着してバ

イトによる切削を行った。

配管内表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、配管溶接前に配管内面に残留しているナトリウムを除去した。なお、ナトリウム洗浄方法による溶接施工への影響については、文献⁽¹⁾にその結果が記述されているが、ふき取り後どの程度ナトリウムが付着していたかは記述されていない。ナトリウムを除去するための掻き出し、洗浄治具は、配管内部にナトリウムが多量に残留している場合、綺麗にドレンされ内表面に微量付着している場合を想定して選定した。

ナトリウムが多量に残留している場合は、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、徐々に除去する方法が有効で、小口径配管（ナトリウム充填ドレン系など）で配管内が閉塞するほどに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作業効率的に良かった。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き取るが、ウエス等がほつれて糸屑等が系統内に残る可能性があったことから、ほつれ部分が織り込み処理されたウエスを使用した。

配管内面のナトリウム洗浄程度を把握するため、最終洗浄ウエスに付着したナトリウム分析を行った。その結果、付着ナトリウムとして $1 \times 10^{-2} \text{mg/cm}^2$ 以下まで配管内表面のナトリウム洗浄することができた。なお、溶接部は、内面をシンニング加工しているため、ナトリウムの付着はない。

1 次系配管の場合は、二重管であること、雰囲気放射線量率が高いこと及び作業場所が狭隘部であることから、切断後、一旦仮閉止（閉止キャップ+閉止治具）を行い、旧主中間熱交換器及び接続配管を撤去した後に既設配管内面のナトリウム除去を行った。

2 次系配管の場合は、切断作業エリアが 1 次系に比べて広く、カスクを用いて切断することができるため、配管を長さ約 500mm のリング状（グローブボックスの仮吊りする）に 2 箇所切断し、配管をグローブボックス下部に収納した後、既設配管のナトリウム除去を行った。この場合は、ナトリウム除去まで連続作業で実施しており、効率的に作業を行えるとともに、バウンダリ開放作業を削減でき、酸素混入量を低く抑えることができた。

5.5 配管の構造健全性維持

配管の構造健全性のポイントは、配管切断によるコールドスプリングの解放、配管切断後の既設配管移動、新配管と旧配管溶接部の構造健全性である。

(1) 配管切断によるコールドスプリングの解放

配管の設計手法として既設 2 次主冷却系配管には、コールドスプリングが設定されており、かつ、配管切断後の配管は仮閉止治具の設置等において配管を数十 mm 強制移動させる必要があることから、この際の構造健全性について事前に解析・評価を実施し、問題ないことを確認した。

コールドスプリング : 配管施工時に配管系の一部を短くして初期ひずみを与え、運転開始の昇温とともに、配管系の熱膨張が始まり、初期ひずみの作用分だけ熱ひずみが減少して、算定応力が小さくなるように配慮する施工方法である。この施工方法は、初期運転に伴う熱応力を低減させる目的ではなく、運転時における拘束点に作用する反力及びモーメントを減少させることを目的としている。

(2) 配管切断後の既設配管移動

1 次主冷却系配管については、切断位置が狭隘部でキャスクを使用できないため、2 次主冷却系配管のようにリング状に配管を切断してキャスク上部で切断したリング状(2 箇所切断)の配管を吊ることができないことから、1 箇所切断して既設配管側を約 50mm 強制変位させることで開口部を設け、ヘキサプラグを行う前に一時的な仮閉止をする必要があった。このため、工事準備段階で切断後の配管強制移動に対する構造健全性に問題ないことを解析・評価し、その移動量を工事時において制限した。

配管切断時には、1 次系及び 2 次系配管とも切断によって配管が移動することを考慮して、切断前に仮サポートを設置して、切断によって配管が想定外の移動を生じないように仮設の架構を設置して配管を拘束した。

(3) 新配管と旧配管溶接部の構造健全性

新配管と旧配管溶接部の構造健全性について以下に示す。

1 次冷却系配管材であるオーステナイト系ステンレス鋼 (SUS304) については、ナトリウム浸漬による延性の低下及び強度増加は顕著ではないことが、従来の R&D 成果^{(2),(3)}から明らかになっていることから、新 - 旧配管溶接部の構造健全性に問題ないと判断した。したがって、特に機械的強度特性を把握する試験を実施しなかった。

2 次冷却系配管材である 2¹/₄Cr - 1Mo 鋼 (STPA24) については、温度 400 以上のナトリウム環境で熱時効、脱炭による材料の機械的強度特性が変化することから^{(2),(3)}、工事前に加速試験を実施するとともに、撤去した高温側 (470 で約 60,000 時間) の旧配管を用いて新配管と旧配管の溶接を行い、その機械試験等 (外観観察、磁粉探傷試験、断面マクロ・ミクロ観察、硬さ試験、引張試験 (室温、高温)、衝撃試験、曲げ試験) を実施した。この

結果、旧配管と新配管とで顕著な違いは認められなかった。

なお、MK - 冷却系改造工事で撤去した配管等については、解体時に一部サーベイランス材の取り出しを行っており、これらを用いて今後機械試験等を行う計画である。

図 5.5 - 1 に新配管と旧配管溶接部の構造健全性に対する対応と機械試験結果を示す。図 5.5 - 2 に撤去配管等のサーベイランス試験計画を示す。

5.6 溶接施工管理

溶接施工管理のポイントは、溶接時のバックシールガスの圧力制御、溶接時の既設配管ナトリウム残存部の温度監視である。

配管のティグ溶接時には、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、溶接欠陥を出さないためには、バックシールガス圧力が問題となる。このため、工事準備段階でバックシールガス圧力とシールバッグ内圧力との差圧をパラメータとした試験を実施し、差圧管理値を定めて溶接作業を実施した。

試験の結果、バックシールガス圧力は、差圧 100Pa 以下であれば、溶接に悪影響を及ぼさないことが確認できたため、差圧管理値を 100Pa 以下として溶接を実施した。この圧力は、仮にシールバッグ内圧力が 300Pa であれば、カバーガス圧力は 200Pa ~ 400Pa までの範囲を許容できるということである。しかし、改造工事中における溶接作業においては、カバーガス系統内圧力、シールバッグ内圧力の変動を考慮して、差圧 100Pa 以下と同時にカバーガス系統内及びシールバッグ内の圧力自体を 100Pa 以下として管理した。

溶接時の既設配管側は、溶接時に残存しているナトリウムが溶融して溶接部に影響を与えないように約 200mm 以上（実質 300mm）の範囲でナトリウム除去・洗浄を行った。また、溶接時に残存しているナトリウムが溶融しないようにナトリウム残存部の温度監視を行い、ナトリウム残存部付近で 70℃ 以下に管理した。

6. プラントの運転管理

MK - 冷却系改造工事では、原子炉容器内に燃料集合体を装荷したまま冷却材であるナトリウムを予熱窒素ガス系により熔融状態で保持し、1次系及び2次系ダンプタンクはナトリウムを予熱ヒータにより熔融状態で保持した通常の定期検査における原子炉停止状態を維持しながら改造工事を進める必要があった。よって、工事開始約1年前から工事中における最適プラント状態の検討を綿密に行い、工事を実施した。

以下に工事中におけるプラント状態の検討結果とこれに基づくプラント運転管理実績を示す。

6.1 工事中におけるプラント状態の検討

MK - 冷却系改造工事では、本工事前に一部干渉する機器の撤去作業を実施する必要があり、この作業の一環として遮へいコンクリート冷却系と予熱窒素ガス系（炉容器Aループ供給側）との切換弁間（V84-120～V84-520、V84-125～V84-525間）の配管を取外し、閉止フランジを設置する必要があった。また、新主中間熱交換器(A)と予熱窒素ガス系の戻り配管に接触する部分があり、本工事前に予熱窒素ガス系配管の保温材を一部改造する必要があった。これらの作業は、予熱窒素ガス系が運転状態では実施することができないため、1次主冷却系にナトリウムが充填され、予熱窒素ガス系が停止状態となる期間で実施する必要があった。

予定されていたMK - 冷却系改造工事が行われる第13回定期検査工程では、MK - 第35サイクル終了から100日後（崩壊熱60kW以下）にナトリウムをドレンする工程になっていた。したがって、これ以降、基本的にナトリウムはドレン状態となるとともに、機器搬出入口が開となる平成12年9月以降は、ナトリウム充填できないプラント状態（ナトリウム充填中は、基本的に機器搬出入口は閉とする）となる。ドレン状態が必須である制御棒移設（制御棒下部案内管（LGT）移設）6週間、炉上部照射プラグリグ（UPR）脱荷4週間、制御棒上部案内管（UGT）設置6週間は、MK - 冷却系改造工事と一部並行させた工程とし、その前にナトリウム充填できる状態を工程上設けて、上記に示した一部干渉機器の撤去作業を行う必要があった。

これらのことから、プラント状態及び工程上の必要条件も含めてMK - 冷却系改造工事期間中におけるプラント状態の検討を実施した。

添付資料1にMK - 冷却系改造工事におけるプラント状態の検討結果を示す。

6.2 プラント状態・操作の実績

MK - 冷却系改造工事では、1次及び2次冷却系の圧力バウンダリを開放するため、この間のプラントは、1次及び2次冷却系ともに長期間にわたるナトリウムドレン状態とした。図 6.2 - 1 にMK - 1次冷却系改造工事におけるプラント状態、図 6.2 - 2 にMK - 2次冷却系改造工事におけるプラント状態を示す。また、表 6.2 - 1 に1次系ナトリウムドレン操作実績、表 6.2 - 2 に2次系ナトリウムドレン操作実績を示す。

主要なプラント状態・操作については、以下のとおりである。

(1) 1次冷却系

炉容器内ナトリウムレベルは、崩壊熱除去の観点から高い方が望ましいが、主中間熱交換器の交換工事に伴う1次主冷却系配管切断時における炉容器カバーガス圧力と原子炉入口配管側カバーガス圧力との差圧による配管側へのナトリウム流出を防止する観点からGL-8600mmとした。なお、工事期間中の崩壊熱除去は、予熱窒素ガス系による炉容器のみへの通気により原子炉容器外壁面からの間接冷却により行った。

<プラント操作実績>

H12. 8.16 予熱窒素ガスフロア起動（炉容器及び主冷却ループ通気）

H12. 8.31 1次主冷却系ナトリウムドレン（GL-6100mm GL-8600mm）

H12.10.19 予熱窒素ガス系主冷却ループ通気停止

1次主冷却系は、ナトリウムドレン状態で予熱窒素ガス系による通気を停止し、常温状態とした。

1次補助冷却系は、1次系改造工事で干渉するサイフォンブレイク弁駆動モータ用電源ケーブルの撤去により、ナトリウム漏洩想定時のサイフォンブレイク効果が期待できないため、主系統同様にナトリウムドレン状態とし、予熱ヒータを「切」とした。1次補助冷却系をナトリウムドレンすることにより、崩壊熱除去は、予熱窒素ガス系のみで行うことになるため、一般系電源喪失による予熱窒素ガスフロア停止を考慮して、ナトリウム配管切断作業の開始を崩壊熱 30kW 以下（MK - 第 35 サイクル運転終了から 195 日）となる平成 12 年 12 月 11 日以降とした。なお、実際のナトリウム配管切断は、平成 12 年 12 月 18 日の 2 次系改造工事における主冷却器出口ナトリウム配管から開始した。

<プラント操作実績>

H12.10.28 1次系予熱ヒータ予熱パターン変更（補助系ドレンラインメルト）

H12.11. 6 1次補助系ナトリウムドレン（ドレン時の崩壊熱 40kW 以下）

オーバフロー系は、1次主循環ポンプ速度制御設備交換時に干渉するオーバフロー電磁ポンプ誘導加熱盤の一時撤去に伴い、ナトリウムドレン中の電磁ポンプの誘導加熱による予熱を停止する必要があったため、通常ドレン後にオーバフロー汲み上げラインのアルゴンガスブローによる導通状態を維持しながら順次予熱ヒータを「切」とし、電磁ポンプ廻り配管内にガス流路空間を残して凍結させる「ちくわドレン(通称)」を実施した。

<プラント操作実績>

H12. 9.30 オーバフロー系電磁ポンプ配管内ナトリウムフリーズ(ちくわドレン)

1次ナトリウム純化系は、ナトリウムドレン状態としコールドトラップを除いて予熱ヒータを「切」とした。また、1次主循環ポンプ速度制御設備交換時に干渉する1次純化系電磁ポンプIVR盤の一時撤去に伴い、誘導加熱盤からの電源供給による電磁ポンプ予熱に切替えた。

1次ナトリウム充填ドレン系は、ナトリウムドレン状態でナトリウムドレン先であるダンプタンクを除いて予熱ヒータを「切」とした。ただし、ダンプタンク(A)については、オーバフロー系ちくわドレンの準備操作として予熱ヒータを「切」とし、その後も1次系配管切断作業期間中の1次アルゴンガス系呼吸ライン(系統のバッファタンク)として使用するため、常温状態(予熱ヒータ「切」)を保持した。ダンプタンク(B)及びオーバフロータンクについては、ナトリウム中への不純物混入抑制のため、1次アルゴンガス系低圧モード運転への切替えに併せて1次アルゴンガス系呼吸ラインから隔離した。

1次アルゴンガス系は、主中間熱交換器交換工事期間中は呼吸ガス圧力調整ヘッド制御SW切替えによる低圧モード運転(150Pa~300Pa(15mmAq~30mmAq))とした。

1次系配管切断及び溶接時の圧力バウンダリの開放時には、手動操作による極低圧運転(50Pa~100Pa(5mmAq~10mmAq))を行った。急激な圧力変動対策として、大口径側アルゴンガス供給弁2B(V36.1-20)、大口径側アルゴンガス排気弁3B(V36.1-44)の前弁(手動弁(V36.1-19,43))の絞り込み調整を行った。なお、前弁(手動弁(V36.1-19,43))は、ニードル弁であるため流量調節できることから、それぞれ小口径側アルゴンガス供給弁、小口径アルゴンガス排気弁の流量をほぼ一定になる開度に調整した。

<プラント操作実績>

H13. 1. 4 1次アルゴンガス系「低圧」モード運転

大口径側アルゴンガス供給弁前弁 V36.1-19 3%開に調整

大口径側アルゴンガス排気弁前弁 V36.1-43 3%開に調整

予熱窒素ガス系は、 のとおり炉容器のみ通気による運転を継続した。なお、先行工事（干渉物撤去）による遮蔽コンクリート冷却系との連通配管の一部撤去に伴い、予熱窒素ガス系プロアのバックアップとしての遮蔽コンクリート冷却系運転が実施不可能であるため、一般系電源の長期停電対策として非常系電源からの逆送電マニュアルを整備した。

(2) 2次冷却系

2次主冷却系は、2次系改造工事（主冷却機及びプラグング計交換など）期間中ナトリウムドレン状態とし、予熱ヒータを「切」とした。

<プラント操作実績>

H12.9.5 2次冷却系ナトリウムドレン（主冷却系及び純化系）

H12.9.5 2次系予熱ヒータ停止

2次補助冷却系は、主冷却系と同様にナトリウムドレン状態とし、予熱ヒータを「切」（2次補助電磁ポンプ予熱停止含む）とした。

<プラント操作実績>

H12.11.6 2次補助冷却系ナトリウムドレン

H12.11.15 2次補助系予熱ヒータ停止

2次ナトリウム純化系は、1次オーバフロー系同様、通常ドレン後ちくわドレンを実施した。

<プラント操作実績>

H12.9.6 2次純化系電磁ポンプ廻り配管内ナトリウムフリーズ（ちくわドレン）

2次ナトリウム充填ドレン系は、ナトリウムドレン状態でナトリウムドレン先であるダンプタンクを除いて予熱ヒータを「切」とした。

2次アルゴンガス系は、2次系改造工事期間中はアルゴンガス呼吸ヘッダの排気ラインに新設された低圧運転制御装置による低圧モード運転（150Pa（約15mmAq））を基本とし、2次系配管切断及び溶接時の圧力バウンダリの開放時には極低圧運転（60Pa～90Pa（約6mmAq～9mmAq））を行った。

(3) 格納容器雰囲気調整系

M K - 冷却系改造工事期間中の格納容器バウンダリについては、工事用仮設電源ケーブルの敷設、シールバッグ内廃ガス放出先確保のための排気ダクトの設置等を行うこ

とから、機器搬出入口ハッチ・内側大扉、常用エアロック、アニュラス入口遮蔽扉(アニュラス～A-406 間)は開放状態とした。また、主中間熱交換器(A)、(B)ハッチ、機器ピットハッチ(R-501 及び R-406)、タラップハッチ(R-410 及び R-412)、機器搬出入エリア閉止板(R-203)等のハッチについても開放とした。なお、常用エアロックについては、圧力バウンダリの開放を伴う 1 次系配管の切断及び溶接作業時には閉鎖状態とした。これは、1 次アルゴンガス系の圧力が格納容器内圧力 (R-303 室) と系統内との差圧により検出しており、基準となる R-303 室圧力は、常用エアロックを開放していると原子炉附属建物側扉の開閉によって原子炉附属空調換気設備の負圧制御に支配されて変動するためである。

格納容器床下雰囲気調整系及び遮蔽コンクリート冷却系は、空気雰囲気を保持した。また、格納容器床上雰囲気調整系は、R-303 (東側バルブ操作室) の排気口を通じて A ループ側シールバッグ内廃ガスを放出するため、通常運転状態を維持した。なお、床上雰囲気圧力及び床下雰囲気圧力は大気圧とした。

遮蔽コンクリート冷却系は、先行工事での配管一部撤去時に閉止板を取付けて系統の独立性を確保し、運転を継続した。

< プラント操作実績 >

H12. 9. 2 格納容器床下雰囲気及び遮蔽コンクリート冷却系内空気置換

格納容器内圧縮空気供給設備は、R-501 を占有する主中間熱交換器交換工事の障害となるため、同設備は停止状態として一時撤去した。なお、アイソレーション対策としての格納容器内計装用圧空供給源確保のため、格納容器圧空供給系隔離弁(V84-190, 191)をスペーサを用いて機械的に「開ロック」とした。

(4) アルゴンガス供給系

M K - 冷却系改造工事では、シールバッグ又はグローブボックス内のガス置換にアルゴンガスを用いた。このアルゴンガスの供給は、それぞれ 1 次系ではアルゴンガス供給系の格納容器内清浄アルゴンガスタンク (TK73-3) の予備ノズル、2 次系では 2 次アルゴンガス系のサーベイランス取り出し作業用ノズルから行った。また、通常の定期検査におけるアルゴンガス供給系の消費量に比べて、工事期間中は多くなることが予想され、工事準備段階でアルゴンガス消費量の算出を行い、アルゴンガス供給系へのアルゴン受入計画を立案した。

表 6.2 - 3 に M K - 冷却系改造工事期間中におけるアルゴンガス消費量の実績を示す。

(5) その他の系統

オンライン 線モニタ設備は、主中間熱交換器(B)撤去時に干渉する配管の一部を撤去する必要があるため停止した。

FFD-CG 法設備は、1次系カバーガス純度連続監視装置(ガスクロ)への炉容器サンプルガスの供給を確保するため、オンライン 線モニタ設備を切離して運転した。

原子炉附属建家空調換気設備のうち水冷却池室は、A-510(キャスクカー移動エリア)又はA-407(NW送風機室)の排気口を通じてBループ側シールバッグ内廃ガスを放出するため、通常運転状態を維持した。

(6) その他

炉容器内ナトリウム温度監視

主中間熱交換器交換工事の長期間にわたる系統ナトリウムドレン中の予熱窒素ガス系による崩壊熱除去の状況は、炉容器壁面温度及び燃料集合体出口ナトリウム温度で監視した。

カバーガス圧力及び純度監視

MK - 冷却系改造工事期間中は、1次系、2次系ともにカバーガス圧力を低圧あるいは極低圧にして工事を実施しているものの圧力バウンダリ開放時における空気の混入が懸念された。このため、カバーガス圧力及び純度の監視強化方法として、JOYDASに「MK - 冷却系改造工事監視」画面を追加し、炉容器カバーガス圧力、1次系及び2次系の呼吸ガスヘッド圧力とガスクロ不純物濃度(酸素、窒素)を連続監視した。

図6.2-3にJOYDASの「MK - 冷却系改造工事監視」画面を示す。

ナトリウム純度管理

ナトリウム純度については、長期ナトリウムドレン中における系統内ナトリウム中への不純物混入量が過去の実績から少量であると予想されたこと、また、MK - 冷却系改造工事期間中の原子炉容器及び2次系ダンプタンク内ナトリウムの適当な純化手段とサンプリング方法がないことから、特に積極的な純度管理は実施しなかった。

7. 作業の安全管理

M K - 冷却系改造工事における一般安全管理については、以下に示す基本事項に基づき実施した。

7.1 安全管理の基本事項

7.1.1 作業安全管理と教育

(1) 情報の共有

4. 「工事体制」で記述した工事实施本部会議を開催し、作業内容、重点項目の認識をサイクル機構と受注者間で共有する。

毎日の作業開始前及び作業内容が変更になった場合には、現場で TBM-KY を実施する。なお、TBM-KY は、専用の様式を用いて行うものとし、作業グループ単位毎に作業内容、注意・禁止事項等を現場責任者を含む作業員全員、及びサイクル機構工事担当者により確認する。これら様式は現場に掲示し、作業指示内容及び作業の注意事項が常に確認できるようにする。また、毎日の作業開始時及び作業内容変更時の他に作業員が追加される場合は、その作業員に対し改めて TBM-KY を実施し、作業指示内容及び作業の注意事項の説明を行う。

(2) 作業中の装備

作業中は、ヘルメット、安全靴、長袖作業服を着用して行う。高所作業となる場合は安全帯を着用して落下を防止する。

重量物や吊具の取り扱い時は、擦傷・刺傷防止のため、長袖作業服の着用、腕まくりの禁止及び袖口ボタン留め、革手袋の着用を義務づける。

万一、活線作業が必要となった場合は、電気用ゴム手袋、電気用長靴を着用するとともに、絶縁シート、活線作業用器具を使用する。

(3) 道工具、保護具

作業に必要な道工具、保護具、資材を事前に準備するとともに、使用前点検を確実にしておく。また、据付機器上部及び内部への落下・混入、置き忘れを防止するため、工具は落下防止等の対策を施したものを使用するとともに、毎日の作業終了後には道工具等の紛失がないことを確認する。道工具等は足場や機器の上部等、高所に放置しない。

溶接機等の電気器具についてはサイクル機構が実施する絶縁抵抗検査に合格したものの以外は使用させない。

(4) 作業着手時の遵守事項

作業表示、仮置表示等の現場表示を行う。また、危険作業箇所毎に「立入禁止」「頭上注意」等の表示、区画設定、監視人の配置等を行う。

機器の操作により警報が発生する作業を行う場合は、作業開始前にその内容を中央制御室に連絡しておく。

機器の停止は、停止依頼書に基づき盤電源等の停止を運転担当課に依頼する。このとき、停止機器には操作禁止タグを取付けて誤操作を防止する。アイソレーションの確認はサイクル機構工事担当者が行い、その結果に基づき請負業者に作業の指示を行う。

作業中の試運転は、停止依頼書に基づき機器の操作をサイクル機構工事担当者が運転担当課に依頼する。このとき、操作機器には試運転タグを取付けて誤操作を防止する。

電気作業にあっては、作業前の検電、及び保安接地を確実に実施する。

原則として活線作業は行わない。

(5) 作業環境

作業を狭隘かつ暗所で行う場合は、仮設照明等を用いて手元の照度を確保して行う。周囲に可燃物を置かない。

開口部や吊荷の下、高所作業など、機器・工具・人の落下の恐れのある作業にはロープによる区画設定、監視人の配置等により、その直下への立入禁止を周知・徹底する。また、工具類は落下防止対策を施したものを使用する。

(6) ナトリウム取扱教育

入構者教育の一環としてナトリウムの性質等を理解するため、MK - 冷却系改造工事関係従業員及び請負業者（下請けを含む）を対象とした実際のナトリウムを用いたナトリウム取扱教育をサイクル機構主催で実施する。なお、請負業者の教育受講者は、ナトリウム配管切断、溶接等に係る作業員に限定するものとする。

表 7.1 - 1 にナトリウム取扱教育を受講した請負業者の作業員数及び教育内容を示す。

(7) 作業者の資格

クレーンを用いて機器等の吊り作業を実施する際には、予め有資格者リスト及び免許証の写しをサイクル機構に提示させ、これらの有資格者が、クレーンの操作及び玉掛けを実施する。なお、請負作業責任者は、クレーン及び玉掛けを実施するものが有資格者であるか否かについて、作業着手前に確認する。

足場を設置する際には、足場等の組立て等作業主任者の指示のもとに実施する。

配管切断、残存ナトリウムの除去、閉止プラグ取付作業を実施する場合には、サイクル機構及び請負業者の危険物第3類有資格者の指示・監督のもとに実施する。

配管の溶接作業は、61安局(原規)第57号、府令第74号等に基づき実施された溶接施行法の確認及び溶接士の技能の確認により認められた溶接方法及び溶接士により実施する。

非破壊検査は、各非破壊検査の技能者が実施する。

保温に使用されているアスベストを取り扱う作業の際には、特定化学物質取扱作業主任者を選任し、防塵マスク及び排風機の設置等の適切な措置を行って作業を実施する。

7.1.2 酸欠防止対策

- (1) 本作業では、ナトリウム配管の切断、開先・溶接部周辺ナトリウム除去、閉止板(シールプラグ等)設置及び配管溶接作業時に酸欠の可能性があるため、酸欠作業計画書を立案し、工事前までに承認を得る。
- (2) 配管の切断及び溶接等シールバッグ(又はキャスク)及び系統内からの不活性ガスの漏えいの可能性がある場合は、携帯用の酸素濃度計を配備し、酸素濃度を監視する。また、酸欠作業主任者技能講習修了者の中から酸欠作業主任者を選任し、その指導のもとに作業を行う。
- (3) 配管切断、溶接部に設けたシールバッグ又はキャスクを開放する際は、酸素濃度が20%以上であることを確認した後、開放するよう作業手順書に明記する。

7.1.3 火災防止対策

- (1) ナトリウム配管の切断、開先・溶接部周辺ナトリウム除去、閉止板(シールプラグ)設置及び配管溶接を実施する際には、シールバッグ又はキャスクを設け、これらの内部を不活性ガス(アルゴンガス)に置換して行う。
- (2) シールバッグ又はキャスクには、内部の不活性ガスによる置換状態を監視できるように、酸素濃度計を設置する。
- (3) ナトリウム配管の切断は、火花が発生しない切断治具(バイトによる切削、ローラカッタによる押し切りを行う配管切断機、バンドソー、パイプカッター)を用いて行う。
- (4) ナトリウム配管の溶接は、シールバッグ内に防災シートを設置する等の方法でシートへの延焼の防止及び不活性ガスバウンダリの確保をした上で実施する。
- (5) 不燃性シートは、作業状況が外部から監視できるように透明シートを使用する。

- (6) 開放された盤及び端子部等の養生は、不燃性シートを用いる。

7.1.4 消火設備・防護具の配備

- (1) 配管切断及び溶接箇所周辺には、ナトレックス消火器、ナトレックス粉末(缶入り)を配備する。
- (2) 配管切断及び溶接箇所周辺には、耐熱防護具を配備する。
- (3) 作業エリア毎に ABC 消火器を必要数配備する。

7.1.5 発煙・発火時の処置

配管切断、溶接作業中において、残留ナトリウムから発煙・発火が発生した場合は、以下の手順に従って処置を実施する。

- (1) 窒素ガス又はアルゴンガスを吹き付け、窒息消火を実施する。窒素ガス又はアルゴンガスは、ボンベ、窒素ガス供給系及びアルゴンガス供給系からノズルで取り合った部分で供給できるように準備する。
- (2) ナトレックス消火器及びナトレックス粉末(缶入り)を用いて、窒息消火を実施する。
(ナトリウム火災時においては ABC 消火器の使用を禁止するとともに、配備箇所に明確な標示を行う。本事項についてはナトリウム取扱教育の中で周知徹底する。)

7.1.6 夜間の管理

- (1) 配管切断後は、夜間にバウンダリをシールバッグで保持することがないように、シールプラグの取付け完了まで作業を実施する。
- (2) 夜間に現場周辺を監視できる仮設監視カメラを設置し、中央制御室から監視できるようにする。
- (3) 系統内アルゴンガス圧力は、工事期間中極低圧(50Pa ~ 200Pa)で管理するため、JOYDAS に工事管理用専用画面を追加し、夜間中央制御室での状態監視に加え既設中央制御室盤又は JOYDAS 設定により警報監視が行えるようにする。

7.2 1次冷却系特有の安全管理事項

1次冷却系の改造工事は、管理区域内の原子炉運転中窒素雰囲気である原子炉格納容器床下での作業で、かつ、放射性ナトリウムを取り扱うことからグリーンハウスを設置しての作業となるため、7.1「安全管理の基本事項」で示した内容に加えて、以下の対策を行っている。

7.2.1 酸欠防止対策

- (1) 本作業は、原子炉格納容器床下での作業となることから、床下空気置換後、酸欠サー

ベイを行い、酸素濃度 20%以上であることが確認し、立入制限を解除した後に実施する。

- (2) 原子炉格納容器床下には、常時酸素濃度を測定する床下酸素濃度測定装置が設置されており、床下空気雰囲気時は、酸素濃度 19%以下で警報を発報する。したがって、本警報が発報した場合は、中央制御室から一斉放送により床下からの退避命令を行う(併せて、サイクル機構工事担当者に直接連絡する)。
- (3) 原子炉格納容器床下(R-402,408を除く)では、配管切断、閉止板取付け、溶接において、内部被ばく防止の観点(酸欠防止も兼ねる)からエアラインマスクを装備して作業を実施する。
- (4) 汚染拡大防止用に設置するグリーンハウス付近に避難用空気呼吸器を配備する。

7.2.2 火災防止対策

- (1) 汚染拡大防止のために設置するグリーンハウスは、鋼製の足場材及び不燃性シートを使用して設営する。なお、不燃性シートは、作業状況が外部から監視できるように透明シートを使用する。
- (2) ナトリウム配管切断(バウンダリ開放)、開先・溶接部周辺ナトリウム除去、シールプラグ設置及び配管溶接を実施する際には、難燃性のタイベックスーツを着用する。
- (3) 開放された盤及び端子部等の養生は不燃性シートを用いる。グリーンハウス内には仮設の火災報知器を設置し、JOYDAS に工事用画面を追加することにより、これを監視できるようにする。

8. 考 察

MK - 冷却系改造工事では、高放射線環境で、かつ、放射性ナトリウムが付着した大型機器等の交換という我が国で初めての経験となることから、工事前に綿密な検討を実施し、平成 12 年 10 月 30 日から工事に着手し、平成 13 年 9 月 21 日をもって無事工事を完了することができた。しかし、綿密な検討を実施したにも係らず、工事期間中においては、いくつかのトラブルが発生しており、これらのトラブルも含めて、工事で得られた知見、経験、問題点及び今後行う同様な工事への反映事項等について考察する。なお、いくつかのトラブルが発生しているが、不測の事態も考慮した対策を行っていたため、いずれのトラブルにおいても工事安全管理及びプラント管理に影響を与えるようなことはなかった。

1. 工事期間中におけるトラブル、知見、経験、問題点等

(1) シールバッグの破損

1 次系改造工事に使用したシールバッグは、塩化ビニール製で、ゴム手袋部は一般汎用のものを使用しており、配管切断、ナトリウム除去、配管溶接を通じて何度か破損した。一方、2 次冷却系改造工事に使用したシールバッグのゴム手袋は、放射性物質を取り扱うグローブボックスなどで使用するグローブであり、1 次系改造工事で使用したものより丈夫なものであったため、破損は一度もなかった。

1 次系改造工事で使用したシールバッグは、放射性物質を取扱うため汚染拡大防止の観点から、シールバッグの再使用を行わない方針で合計 67 個のシールバッグを使用したとともに、シールバッグ設置場所が狭隘部で柔軟性のあるものとした。2 次系改造工事では、再使用が可能であるため、いずれも配管、現場状況に合わせて製作した特注品のキャスク 3 個、シールバッグ 4 個のみであった。この結果、1 次系改造工事では、シールバッグの柔軟性はあったものの、柔軟性があつたことが災いして、グローブでの破損が何度か生じたものと考えられる。今後同様な作業を実施する場合は、安全面を重視して使い捨て方式でも 2 次系改造工事で使用したようなグローブを使用するのが最適であると考えられる。

なお、グローブは、汗によって手が抜けなくなることがあったため、汗吸収用パウダー等を用意して使用するのが最適であると考えられる。

(2) 主中間熱交換器接続 2 次系配管の配管長不足

1 次系改造工事では、工事開始後、主中間熱交換器接続 2 次系配管の新管を工場で開先加工するために切断位置を確認したところ、製作した配管が短いことが判明した。これは、当

初、既設の温度計ウェル部を残して主中間熱交換器側で切断しようとして設計していたが、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ことに変更したが、製作の段階でこの設計変更が設計側から製作側へ伝わっていなかった。工事開始までこの配管長不足が発見できなかったのは、製作配管は加工代を有していたため、長さに関する寸法測定は検査項目になく、製作側でのみ長さ寸法の確認を行っていたためである。

このような品質管理上のトラブルを防止するためには、製作者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を構築するとともに、製品に加工代を有していても検査項目に寸法測定を必ず入れておくべきであると考えられる。

この事象においては、新たに短管を製作し追加する必要性が生じたが、使用前検査の追加によって対応することができた。

(3) 溶接施工時のナトリウム滴下

主中間熱交換器接続 2 次系配管 (STPA24) の溶接施行法では、脱水素処理のため、初層溶接時に 100 に予熱しながら溶接を実施し、溶接終了後に後熱処理 (420 × 2h) を行い、その後の溶接を 250 に予熱しながら行うことになっていた。後熱処理後、初層溶接の放射線透過試験を実施した結果、一部欠陥があることが判明した。補修を行うために 100 に予熱した状態でグラインダによる欠陥切削を行ったが、バウンダリを貫通させてしまった。この時、欠陥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。しかし、補修作業時においてもバウンダリの貫通及びナトリウムの滴下の可能性を考慮して、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、トラブルには至らなかった。

この方法は、工事準備段階でシールバッグ内の配管を予熱するということから、好ましくないのではないかという議論があった。しかし、溶接施行法については、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行法しか持っていなかったため、施工業者の提案を受け入れ実施した。

脱水素処理は、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き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は、必要ないものであった。しかし、施工業者が取得した溶接施行法は、アーク溶接、ティグ溶接を含めたものであり、工事準備段階でシールバッグ内での溶接を考慮した適切な溶接施行法を選定すべきであった。その後は、脱水素処理を必要としない溶接施行法に変更して、ナトリウムの滴下を生じた部分については再度切断し、新たに短管を製作し直し施工した。なお、本事象については、使用前検査の追加によって対応することができ、工事期間が大幅に遅れるこ

となく対応できた。

今後ナトリウム配管の溶接を行う場合は、脱水素処理を必要としない（予熱なし）溶接施行法を採用することが必要である。

(4) 開先合せ時の合せ面の気密性不足

1次系配管の溶接では、開先合せは開先内仮付けではなく、開先合せ用のコマを使用して行った。これは、配管口径が大きいと、開先内仮付けを行うと、開先面が仮付け溶接による変形で開先検査に合格しない可能性があったためである。開先検査は、開先合せの翌日であったため、その間、開先面をアルミテープでシールし、翌日までその状態を保持しようとしたが、開先合せ用のコマがあるため、完全にシールができずシールバッグ側に系統内アルゴンガスが少量流入し、系統内カバーガスの呼吸回数が多くなった。また、シールバッグからのアルゴンガス流出による酸欠防止のため、翌日までグリーンハウス内の局所排風機を連続運転した。一方、2次系配管の溶接では、1次系配管に比べて小口径配管であったこともあり、開先内仮付けを行ったので、凹凸がなく開先合せ部をテープ等で完全にシールできたため、1次系配管のような問題は発生せず、系統内カバーガスの呼吸回数が増加することはなかった。

開先合せにあたっては、気密性向上の観点から開先内仮付けが優れており、開先合せ用のコマを使用する場合は、開先合せ部のコマの高さを低くしてコマ全体をテープでシールできるようにする等の対策が必要であると考えられる。なお、今回の工事のモックアップ試験では、開先合せ部の気密性まで確認しなかった。

2. 今後の反映事項

配管の切断、ナトリウム除去、溶接時においては、不測の事態の発生を考慮して十分な安全対策を準備しておく必要がある。今回の工事では、1.「工事期間中におけるトラブル、知見、経験、問題点等」に示したように、いくつかのトラブルが発生しているが、不測の事態も考慮した対策を行っており、想定外のトラブルの発生はなかったと考えている。ナトリウムバウンダリを開放する作業では、万が一のことを考慮して工事前に十分な検討を行っておくことが重要である。

以下に同様な工事を行う場合の反映すべき事項を示す。

(1) ナトリウム配管切断、ナトリウム除去、溶接時におけるシールバッグ等の使用

系統内への酸素混入防止、作業員への酸欠防止対策上から、シールバッグ等の使用は有効な手段であると考えられる。開先合せ検査時は、開先面の養生を撤去するため、シールバ

グを装着しない場合は、開先面からカバーガスが常に噴出した状態で検査することになり、何らかの安全対策が必要となる。

シールバッグを使用しない場合は、配管切断によって配管が大きく移動し開口部が拡大した時、系統内カバーガス圧力制御、系統への酸素混入量の制御が困難になることが考えられる。

(2) アルゴンガス系への低圧制御系の設置

アルゴンガス系には、低圧で安定した制御ができるようなシステムを設置する必要がある。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、溶接時には、溶接時における欠陥を出さない観点から、極低圧の制御が必要である。

(3) 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解放され、切断と同時に配管系が移動する可能性があることから、配管切断前に拘束用の仮サポートを設置しておく必要がある。

(4) 開先合せ時における開先内仮付けの採用

開先検査までの間、開先部を十分シールできる開先合せ手法を採用し、気密を確保しておく必要がある。

(5) 配管切断後の仮閉止治具の使用

配管の1箇所のみ切断やリング状切断等の手法により、仮閉止治具も異なる。配管口径が大きい場合は、ポリキャップのみでは、面圧が大きすぎて耐えられないので、ポリキャップ(閉止キャップ)+閉止治具(金属製)が必要である。

(6) 配管溶接時の既設配管ナトリウム残存部の温度監視

溶接による入熱によって配管温度が上昇し、既設配管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温度測定しながら、溶接を実施する必要がある。溶接後の欠陥による補修時も同様である。

(7) 既設配管の偏平化対応

既設配管の場合は、偏平化して真円が出ていない可能性がある。既設配管の場合、新管と異なり規格上外径差の許容値が設けられておらず、真円が出ていない状態で開先合せのためのシンニング加工等を行うと、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。肉厚が許容値を満足することが第一の条件となるが周方向で極端に肉厚が薄くならないようにする必要がある。偏平化の技術的対応は、メーカーにより異なり、2次冷却系改造工事の場合は、新管の許容値 $\pm 0.8\%$ ($\pm 2.14\text{mm}$)に対して既設配管3.0mmであり、矯正治具(リング状で周方向に矯正ボルトが付属したもの)を用いて新管との開先合せを行っている。

既設配管の偏平化対応については、工事前にメーカーとの間で対応策を十分協議しておく必要がある。

(8) 品質管理

主中間熱交換器接続 2 次系配管の配管長不足の問題では、その設計変更が製作側まで反映されることが確認されなかった。製作の段階における品質管理体制として、製作図面管理が、発注者側の最終的な承認図面に基づく設計側の指示になっていることをチェックできる体制であることを確認する必要がある。発注者側は、余長があるからといって寸法検査をしないということではなく、余長分を含めて改造部寸法に対して製作寸法が十分確保されていることを確認する必要がある。

総合機能試験（その 1）において、2 次主循環ポンプ電動機の回転子温度が許容値以上に上昇し、巻線接続部ハンダが溶融・溶出し、溶出したハンダを介して 2 次巻線相間の不完全短絡状態が継続したことに起因して 2 次主循環ポンプがトリップした。この原因は、最低抵抗タップにおける運転中のすべりが大きいと、鉄心部で渦電流による損失が顕著となり、渦電流損失と冷却能力のバランスがとれていなかったことに起因するものであった。誘導電動機を低速で連続運転することを設計上考慮していなかったことから、低速運転での工場試験を行っていなかったことが、冷却能力と発熱のアンバランスの発見を遅らせる結果となった。

(9) その他

1 次系改造工事、2 次系改造工事とも配管切断では、バイトによる切削の際に、バイトが挟まれ、折損する事象が何度か発生している。折損したバイトを取るためのペンチ等の工具、予備バイトの十分な準備が必要である。また、折損対策として、初期を幅広のバイトで切削し、徐々に幅細のバイトにして切削していく方法が考えられる。

改造工事では、原因は不明であるが携帯型酸素濃度計の故障が何度か発生しており、予備を十分準備しておく必要がある。

シールバッグ、グローブボックスの取付の際には、配管とのシール部からの漏えいが最も多く、取付後の携帯型酸素濃度計による漏えいチェックで発見した。携帯型酸素濃度計は、複数台準備しておく必要がある。

小口径配管内を閉塞するほどナトリウムが付着している場合は、木工用のドリル刃がナトリウム除去に有効であった。なお、ドリル刃をねじ込んだ際に抜けなくなることがあるため、前もってプライヤ、ペンチ等を準備しておく必要がある。また、一度に掻き出そうとせず、少量ずつ掻き出す方法が有効である。

9. おわりに

MK - 冷却系改造工事では、高放射線環境下で、かつ、放射性ナトリウムが付着した大型機器等の交換という我が国で初めての経験となることから、工事前に綿密な検討を実施し、平成 12 年 10 月 30 日から工事に着手した。改造工事は、約 11 ヶ月という長期間にわたったが、大きなトラブルもなく平成 13 年 9 月 21 日をもって無事工事を完了することができた。

MK - 冷却系改造工事では、ナトリウム配管の切断、ナトリウム除去、溶接において、以下のような手法の有効性を確認できた。

- (1) 要素モデル及びフルモックアップによる最適作業要領の選定及び作業員に対する訓練による作業時間の短縮化と高線量率域での作業の低減、仮設遮へい体の使用による作業場所の雰囲気線量率の低減により、被ばく線量を計画値から大幅に低減することができた。また、シールバッグ使用により汚染拡大を防止することができた。
- (2) ナトリウムバウンダリを開放する作業におけるシールバッグの使用と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、系統への酸素混入量を抑制することができた。
- (3) 系統内への切粉混入防止のためのバイトによる切削及びシールバッグ内でのローラカットによる押切り、系統内への治工具落下防止策により、異物混入を防止することができた。また、機械的ナトリウム掻き出しとアルコール水によるナトリウムの除去により、ナトリウム残留量を低減することができた。
- (4) 構造解析による配管切断時のコールドスプリングの解放評価、仮設サポートによる配管切断後の既設配管移動防止、材料試験による数十年使用した旧配管と新配管溶接部の構造健全性の確認により、配管の構造健全性を確保することができた。
- (5) 配管溶接時におけるバックシールガスの圧力制御としての系統内カバーガスの低圧化、配管残留ナトリウムの除去とナトリウム残存部の温度監視により、作業を安全に実施することができた。

これらの結果は、ナトリウム配管を切断する上で、貴重な経験であり、今後同様なナトリウム配管を切断する工事等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。

10. 謝 辞

M K - 冷却系改造工事は、我が国で初めての経験となることから、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：叶野豊氏をはじめ、大洗工学センター内各関係部署、敦賀本部もんじゅ建設所のご協力を頂き、無事工事を完遂することができた。

特に、以下の方々には、工事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 勝真氏、伊藤 健司氏

実験炉部原子炉第二課課兼もんじゅ建設所プラント第一課

(現在 東海事業所再処理センター環境保全部処理第一課)

石井 貴之氏

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)

寺門 嗣夫氏、軽部 浩二氏、皆川 暁氏、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

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

原子カシステム株式会社

瀬谷 義一

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、2次冷却系改造工事を実施した三菱重工業株式会社に感謝の意を表します。

11. 参考文献

- (1) 社団法人日本溶接協会原子力研究委員会 PFW 小委員会 B グループ：昭和 52 年度動力炉・核燃料開発事業団委託研究 Na 配管補修溶接法試験（ ）成果報告書、SJ 225-78-005（1978 年）
- (2) 科学技術庁原子力安全局：高速原型炉第 1 種機器の高温構造設計指針（1984 年）
- (3) 科学技術庁原子力安全局：高速原型炉高温構造設計指針 材料強度基準等（1984 年）
- (4) 山口 明、他著：「常陽」MK - 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 年 7 月

表 2.1 - 1 ハッチの一覧表

| No. | ハッチ名 | 寸法 (mm) | 重量 (ton) | 備考 |
|--------|---------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------|----|
| H - 1 | 機器ピットハッチ(1) | 2,800 × 1,000 ^t | 18.5 | |
| H - 4 | 主中間熱交換器(B)上蓋室ハッチ(1) | 6,150 ^L × 3,400 ^W × 1,000 ^t | 45.0 | |
| | 主中間熱交換器(B)上蓋室ハッチ(2) | | | |
| | 主中間熱交換器(B)上蓋室ハッチ(3) | | | |
| H - 12 | 主中間熱交換器(A)上蓋室ハッチ | 3,500 × 1,000 ^t | 30.0 | |
| H - 15 | 機器ピットハッチ(2) | 2,500 × 1,000 ^t | 14.5 | |
| | R-203 室機器ピット側面鉄板(1) | 1,690 ^W × 3,690 ^H × 6 ^t | 0.3 | |
| | R-203 室機器ピット側面鉄板(2) | 1,690 ^W × 3,690 ^H × 6 ^t | 0.3 | |
| | | | | |

表3 - 1 MK - 冷却系改造工事全体工程

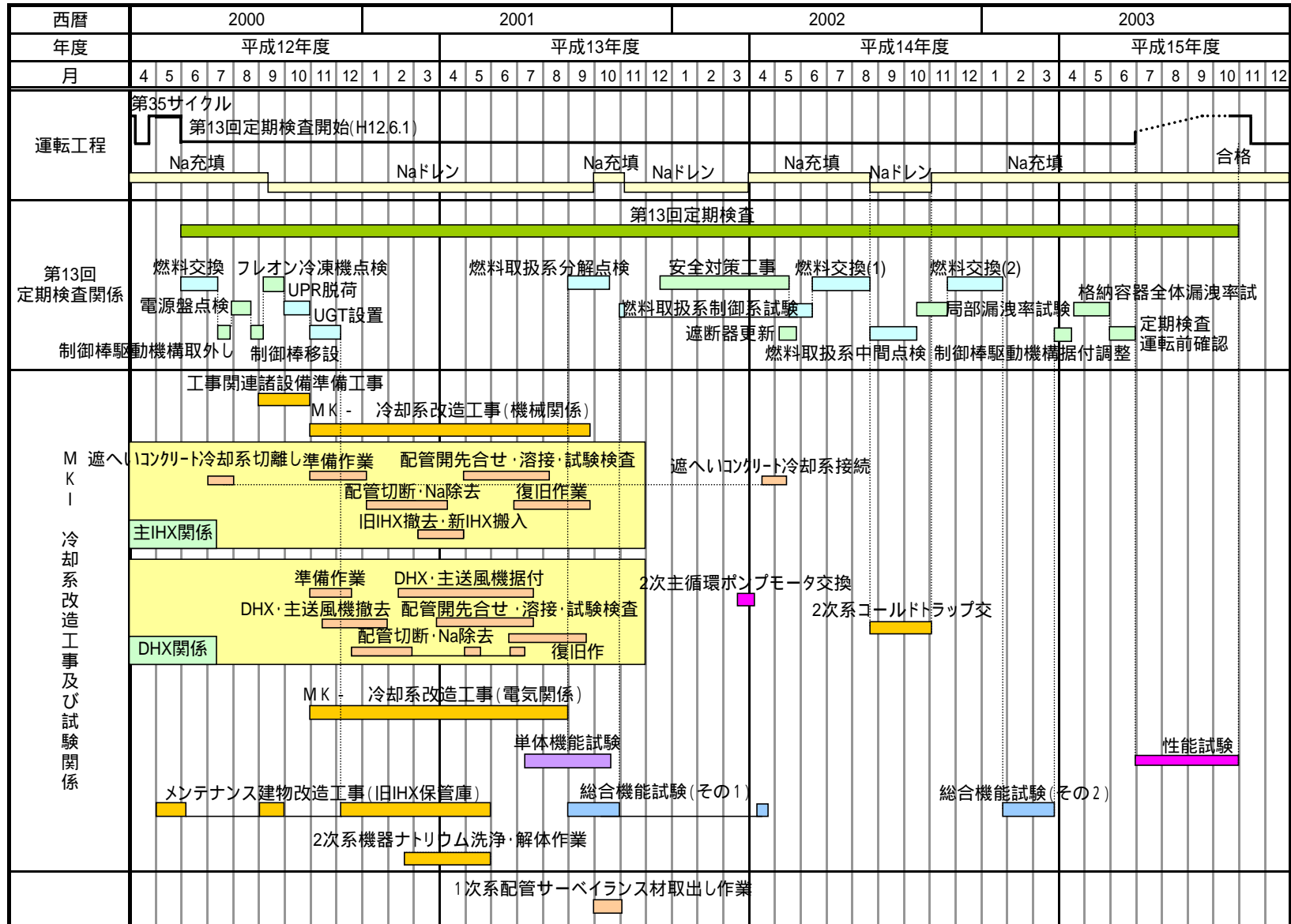


表3.1 - 1 MK - 冷却系改造工事（1次冷却系機械設備（Aループ））の予定及び実績工程

| 年月 | 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 |
| 項目 | <p style="text-align: center;"> 作業準備、干渉物撤去 旧IHX搬出/新IHX搬入 配管溶接、使用前検査 </p> | | | | | | | | | | | | |
| | <p style="text-align: center;"> 資材搬入 仮設電源設置 足場組立、作業通路設定 保温材解体 仮設遮蔽材取付け 仮設ホト取付け、本設ホト取外し ヒータ、ケーブル、電線管等 撤去 グリーンハウス設置 障害物、干渉物 撤去 </p> | | | | | | | | | | | | |
| 予定 | <p style="text-align: center;"> 配管切断 旧IHX搬出/新IHX搬入 配管溶接、使用前検査 干渉物復旧、片付け </p> | | | | | | | | | | | | |
| | <p style="text-align: center;"> 資材搬入 仮設電源設置 足場組立、作業通路設定 ヒータ、ケーブル、電線管等 撤去 保温材解体 仮設遮蔽材取付け 仮設ホト取付け、本設ホト取外し グリーンハウス設置 障害物、干渉物 撤去 </p> | | | | | | | | | | | | |
| 実績 | <p style="text-align: center;"> 作業準備、干渉物撤去 旧IHX搬出/新IHX搬入 配管溶接、使用前検査 干渉物復旧、片付け </p> | | | | | | | | | | | | |
| | <p style="text-align: center;"> 資材搬入 仮設電源設置 足場組立、作業通路設定 ヒータ、ケーブル、電線管等 撤去 保温材解体 仮設排気設備設置 作業用架台設定 仮設遮蔽材取付け 仮設ホト取付け、本設ホト取外し グリーンハウス設置 障害物、干渉物 撤去 </p> | | | | | | | | | | | | |
| 備考 | <p style="text-align: center;"> 要素モデルモックアップ試験（機械加工、溶接） </p> | | | | | | | | | | | | |
| | <p style="text-align: center;"> 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） </p> | | | | | | | | | | | | |

表3.1 - 2 MK - 冷却系改造工事（1次冷却系機械設備（Bループ））の予定及び実績工程

| 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 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 予 定 | 作業準備、干渉物撤去 | | | | 旧IHX搬出/新IHX搬入 | | | | 配管溶接、使用前検査 | | | | 干渉物復旧、片付け | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 資材搬入 | 足場組立 | 保温材解体 | 仮設遮蔽材取付け | 仮設バルブ取付け、本設バルブ取外し | ヒータ、ケーブル、電線管等 撤去 | グリーンハウス設置 | 障害物、干渉物 撤去 | 1次系配管外管切断 | 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・シールリング 撤去 | 1次系、2次系残存配管 Na除去～閉止プラグ～開先加工 | 旧IHX取付けバルブ解体 | 旧IHX吊上・搬出～M/Bバルブ内設置 | 新IHX 搬入準備 | 新IHX 搬入～吊上～仮設定 | 新IHX吊上、IHX再吊上 | 1次系、2次系配管ガミ合せ | 1次系、2次系配管開先加工（工場） | 新IHX吊上、新管吊上、IHX再吊上・最終設定 | 入口バルブ、入口配管内管溶接 | 入口バルブ外部管溶接 | 入口配管既設側外管溶接 | 出口配管内管溶接 | 出口配管外管溶接 | 2次系配管溶接 | 片付け、清掃 | 干渉物・バルブ・保温復旧 | 使用前検査 | | | | | | | | | | | | |
| 実 績 | 作業準備、干渉物撤去 | | | | 旧IHX搬出/新IHX搬入 | | | | 配管溶接、使用前検査 | | | | 干渉物復旧、片付け | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 資材搬入 | 仮設電源設置 | 足場組立 | ヒータ、ケーブル、電線管等 撤去 | 保温材解体 | 仮設排気設備設置 | 作業用架台設定 | 仮設遮蔽材取付け | 仮設バルブ取付け、本設バルブ取外し | グリーンハウス設置 | 障害物、干渉物 撤去 | 1次系配管外管切断 | 1次系、2次系撤去配管、IHX/スル閉止溶接 | IHX上部遮蔽体、シールプレート、保温解体 | IHX/シールプレート基礎バルブシールキャップ 改造 | 1次系、2次系残存配管 Na除去～閉止プラグ～開先加工 | 旧IHX取付けバルブ解体、吊上準備 | 旧IHX 吊上・搬出～M/Bバルブ内設置 | 新IHX 搬入準備 | 新IHX 搬入～吊上～仮設定 | 新IHX吊上、ガミ搬出、IHX再吊上 | 1次系配管ガミ合せ | 1次系配管開先加工（工場） | 新IHX吊上、新管吊上、IHX再吊上・最終設定 | 入口バルブ、入口配管内管溶接 | 入口バルブ外部管溶接 | 入口配管既設側外管溶接 | 出口配管内管溶接 | 出口配管既設側外管溶接 | 出口配管/スル外部管開先加工 | 2次系配管溶接 | 片付け、清掃 | 干渉物復旧、片付け | 仮設電源撤去 | 片付け、清掃 | 配管保温材取付 | 電線管敷設、ケーブル敷設・接続 | ヒータ・ケーブル試験 | 足場解体、仮設遮蔽材、仮設排気設備撤去 | 配管保温材取付 | 電線管敷設、ケーブル敷設・接続 | ヒータ、L/D等取付 |
| 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3.1 - 3 MK - 冷却系改造工事（1次冷却系電気設備）の予定及び実績工程

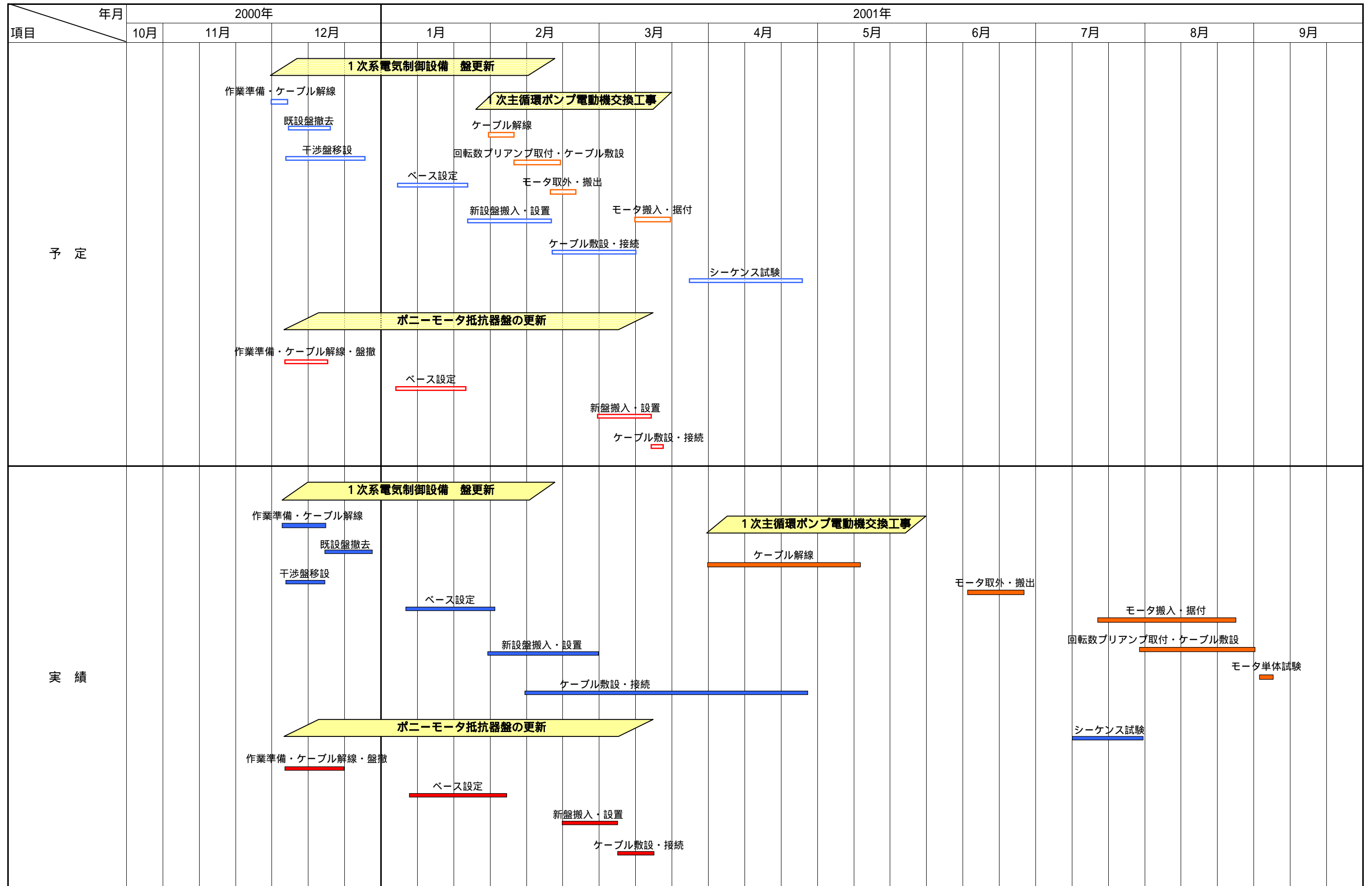


表3.2 - 1 MK - 冷却系改造工事（2次冷却系機械設備）の予定及び実績工程

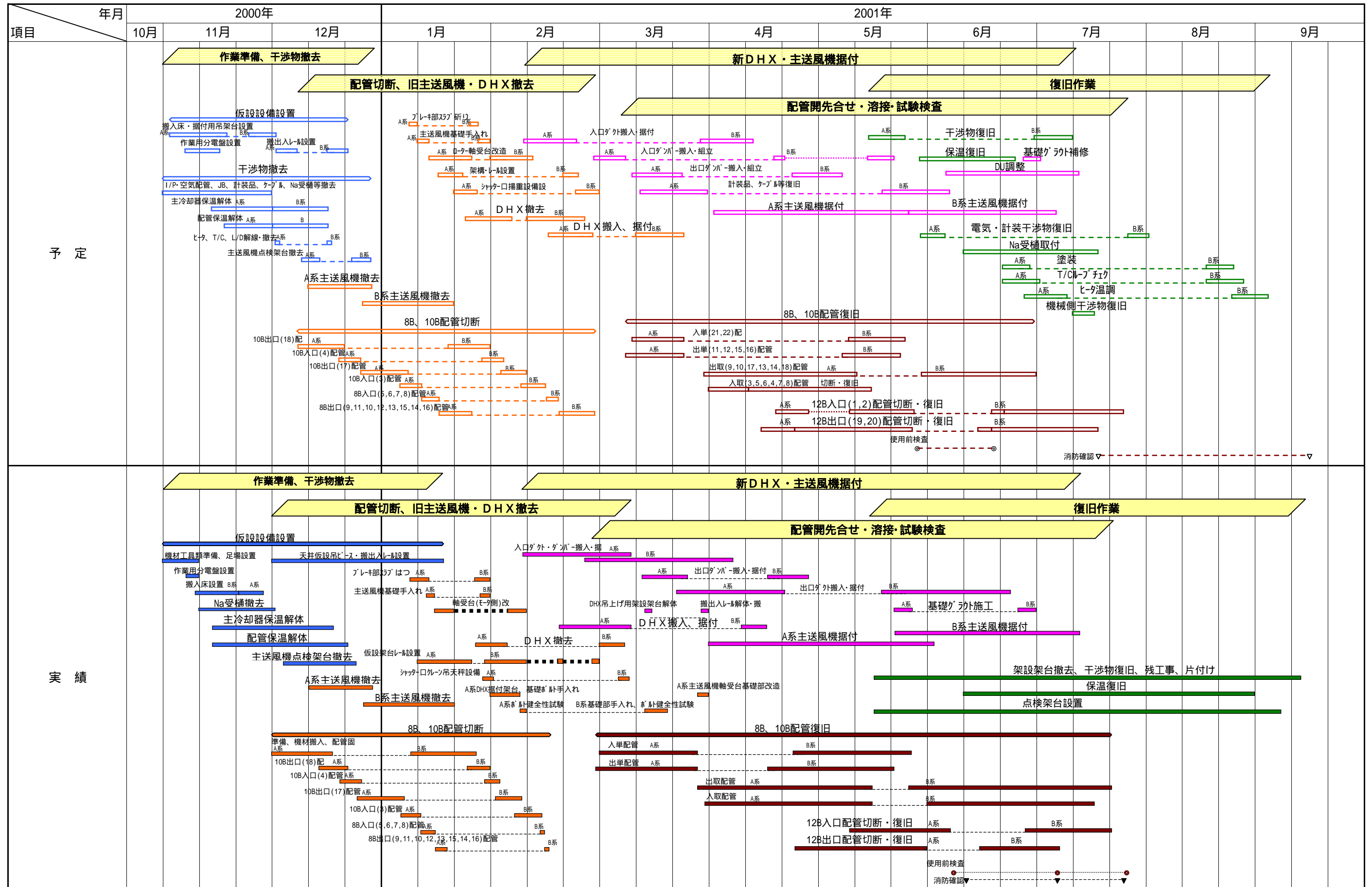


表3.2 - 2 MK - 冷却系改造工事（2次冷却系電気設備）の予定及び実績工程

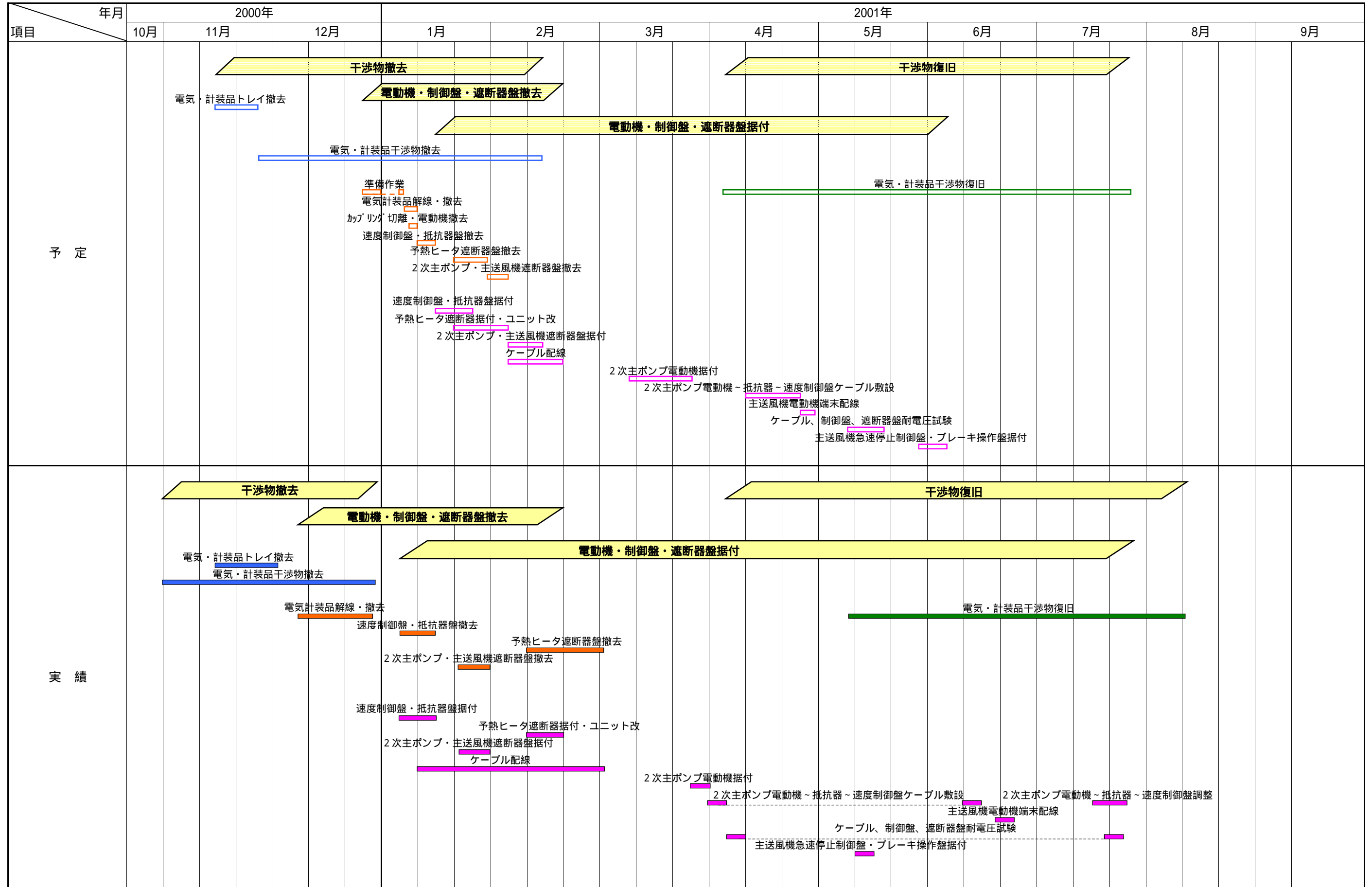


表 5 - 1 ナトリウム配管の切断、ナトリウム除去及び溶接作業の管理ポイント

| No. | 分類 | 管理ポイント | 対象 | | |
|-----|---------|---------------------|----|-------|----|
| | | | 切断 | Na 除去 | 溶接 |
| 1 | 放射線管理 | 作業員の被ばく低減化 | | | |
| 2 | | 作業員の体内及び体外汚染防止 | | | |
| 3 | | 作業エリアの汚染拡大防止 | | | |
| 4 | Na 純度管理 | 系統内への酸素混入防止 | | | |
| 5 | カバーガス管理 | 系統内カバーガス圧力の低圧制御 | | | |
| 6 | | 切断部の仮閉止 | | | |
| 7 | 清浄度管理 | 系統内への切粉混入防止 | | | |
| 8 | | 系統内への治工具落下防止 | | | |
| 9 | | Na 掻き出し及び洗浄用治具 | | | |
| 10 | 配管構造健全性 | 配管切断によるコールドスプリングの解放 | | | |
| 11 | | 配管切断後の既設配管移動 | | | |
| 12 | | 旧 - 新配管溶接部の構造健全性 | | | |
| 13 | 溶接施工管理 | 溶接時のバックシールガスの圧力制御 | | | |
| 14 | | 溶接時の既設配管付着 Na の溶融 | | | |

表 5.2 - 1 MK - 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 5.2 - 2 MK - 工事期間中に系統内に混入した酸素量
(MK - 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 6.2 - 1 1次系ナトリウムドレン操作実績

1. 1次主冷却系ナトリウムドレン (GL-6100 mm GL-8600 mm) 実績 (H12. 8.31)

<ナトリウムドレン量 (JOYDAS 値) とドレン時間>

| ドレン項目 | ドレン先 タンク | 液位 (cm) 容量 (m ³) | ドレン量 (m ³) | 所要時間 |
|----------------------------------------|-------------|-------------------------------------------|---------------------------|-----------|
| 主系統ドレン | D/T(B) | $\frac{90}{12.1} \quad \frac{278}{62.4}$ | 50.3 | 2 時間 14 分 |
| 炉容器部分ドレン (GL-7500 mm GL-8600 mm) | D/T(B) | $\frac{278}{62.4} \quad \frac{319}{73.9}$ | 11.5 | 5 時間 52 分 |
| オーバフロー系ドレン | OF/T | $\frac{134}{12.3} \quad \frac{136}{12.5}$ | 0.2 | 11 分 |
| 1次純化系ドレン | OF/T | $\frac{136}{12.5} \quad \frac{138}{12.8}$ | 0.3 | 17 分 |

総ドレン量：62.3 m³

2. 1次補助冷却系ナトリウムドレン実績 (H12.11. 6)

<ナトリウムドレン量 (JOYDAS 値) とドレン時間>

| ドレン項目 | ドレン先 タンク | 液位 (cm) 容量 (m ³) | ドレン量 (m ³) | 所要時間 |
|----------|-------------|-------------------------------------------|---------------------------|-----------|
| 1次補助系ドレン | OF/T | $\frac{135}{12.4} \quad \frac{141}{13.1}$ | 0.7 | 1 時間 56 分 |

3. オーバフロー系電磁ポンプちくわドレン実績 (H12. 9.30 ~ 10.1)

- ・ダンプタンク(A)降温 (H35.1-116 ~ 130「切」: 9/22 実施): 168 66 (8日間)
- ・アルゴンガスブロー開始 ~ 停止 (H33-7,8,28,29; 80 以下) 所要時間: 14 時間 30 分
- ・アルゴンガス使用量: 約 400m³/day

表 6.2 - 2 2次系ナトリウムドレン操作実績

1 . 2次主冷却系ナトリウムドレン実績 (H12. 9. 5)

<ナトリウムドレン量 (JOYDAS 値) とドレン時間>

| ドレン項目 | ドレン先 タンク | 液位 (cm) | ドレン量 (m ³) | 所要時間 |
|---------------|-------------|-------------|---------------------------|-----------|
| 主系統自重ドレン | D/T | 73.5 244.6 | 47.5 | 4 時間 40 分 |
| 主 IHX 真空加圧ドレン | D/T | 244.6 320.4 | 18.7 | 4 時間 52 分 |

総ドレン量 : 66.2 m³

2 . 2次補助冷却系ナトリウムドレン実績 (H12.11. 6)

<ナトリウムドレン量 (JOYDAS 値) とドレン時間>

| ドレン項目 | ドレン先 タンク | 容量 (m ³) | ドレン量 (m ³) | 所要時間 |
|----------------|-------------|----------------------|---------------------------|------|
| 膨張タンク自重ドレン | D/T | 76.7 77.1 | 0.4 | 16 分 |
| 補助 IHX 真空加圧ドレン | D/T | 77.1 77.8 | 0.7 | 20 分 |

総ドレン量 : 1.1 m³

3 . 2次純化系電磁ポンプちくわドレン実績 (H12. 9. 6)

- ・アルゴンガスブロー開始 ~ 停止 (SC -102,103,104,116,119,121 及び SC -104,136 ; 80 以下) 所要時間 : 7 時間 38 分
- ・アルゴンガス使用量 : 約 310m³/day

表 6.2 - 3 MK - 冷却系改造工事期間中におけるアルゴンガス消費量の実績

| 年 | 月 | MK - 工事 配管切断・Na 除去・溶接 作業日 | 通常日 | 倍率 |
|---------|----|---------------------------------|-----|------|
| | | (m ³ /day) | | |
| 平成 12 年 | 10 | - | 68 | - |
| | 11 | - | 68 | - |
| | 12 | | 63 | - |
| 平成 13 年 | 1 | 90 | 60 | 1.50 |
| | 2 | 80 | 56 | 1.43 |
| | 3 | 93 | 80 | 1.16 |
| | 4 | 91 | 72 | 1.26 |
| | 5 | 123 | 71 | 1.73 |
| | 6 | 115 | 70 | 1.64 |
| | 7 | 134 | 72 | 1.86 |
| | 8 | 90 | 72 | 1.25 |
| | 9 | - | 86 | - |
| 平均 | | 102 | 70 | 1.46 |

表 7.1 - 1 ナトリウム取扱教育を受講した請負業者の作業員数及び教育内容

| 教育回数 | 年月日 | | 受講者数 | | | 教育内容 |
|------|-----------|----|-------------|-------------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | 1次系 改造工事 | 2次系 改造工事 | 小計 | |
| 1 | H12.11.08 | 午前 | 4 | 8 | 12 | <ul style="list-style-type: none"> • ナトリウムの諸性質 (30分間) • ナトリウムによる負傷時の応急処置 (30分間) • ナトリウムの燃焼処理 • ナトリウムの消火訓練 (1時間) (合計2時間 ~2時間30分) |
| 2 | | 午後 | 8 | 0 | 8 | |
| 3 | H12.11.09 | 午前 | 3 | 7 | 10 | |
| 4 | H12.11.10 | 午前 | 4 | 4 | 8 | |
| 5 | | 午後 | 10 | 4 | 14 | |
| 6 | H12.12.05 | 午前 | 6 | 7 | 13 | |
| 7 | | 午後 | 5 | 4 | 9 | |
| 8 | H12.12.06 | 午前 | 8 | 0 | 8 | |
| 9 | | 午後 | 5 | 0 | 5 | |
| 10 | H12.12.07 | 午前 | 16 | 0 | 16 | |
| 11 | H12.12.15 | 午前 | 11 | 0 | 11 | |
| 12 | H13.02.08 | 午前 | 8 | 0 | 8 | |
| 13 | | 午後 | 9 | 0 | 9 | |
| 14 | H13.03.13 | 午前 | 13 | 0 | 13 | |
| 15 | H13.06.19 | 午後 | 10 | 3 | 13 | |
| 16 | H13.09.19 | 午後 | 13 | 0 | 13 | |
| 合 計 | | | 133 | 37 | 170 | |

MK-IIIの目的

- 炉心の高中性子束化**
 - ・中性子束の3倍（照射時間の短縮）
 - ・照射量の低減
 - 1、2次冷却系除熱能力の向上
- 照射運転時間の増大**
 - ・定期検査期間の短縮
 - ・燃料要素照射能力の向上
 - ・燃料交換時間の短縮
- 照射技術の高度化**
 - ・材料照射精度の向上
 - ・放射線照射能力の向上
 - ・針線線付照射の向上
 - ・中間検査、再装荷技術の向上

MK-II炉心とMK-III炉心の基本仕様

| 項目 | MK-II | MK-III | |
|------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| 原子炉定格熱出力 | MW t | 100 | 140 |
| 最大高速中性子束 | $n/cm^2 \cdot s$ | 3.2×10^{15} | 4.0×10^{15} |
| 1次系冷却材流量(1ルーフ当り) | t/h | 1100 | 約1350 |
| 2次系冷却材流量(1ルーフ当り) | t/h | 1100 | 約1200 |
| 原子炉出入口冷却材温度 | °C | 370/500 | 350/500 |

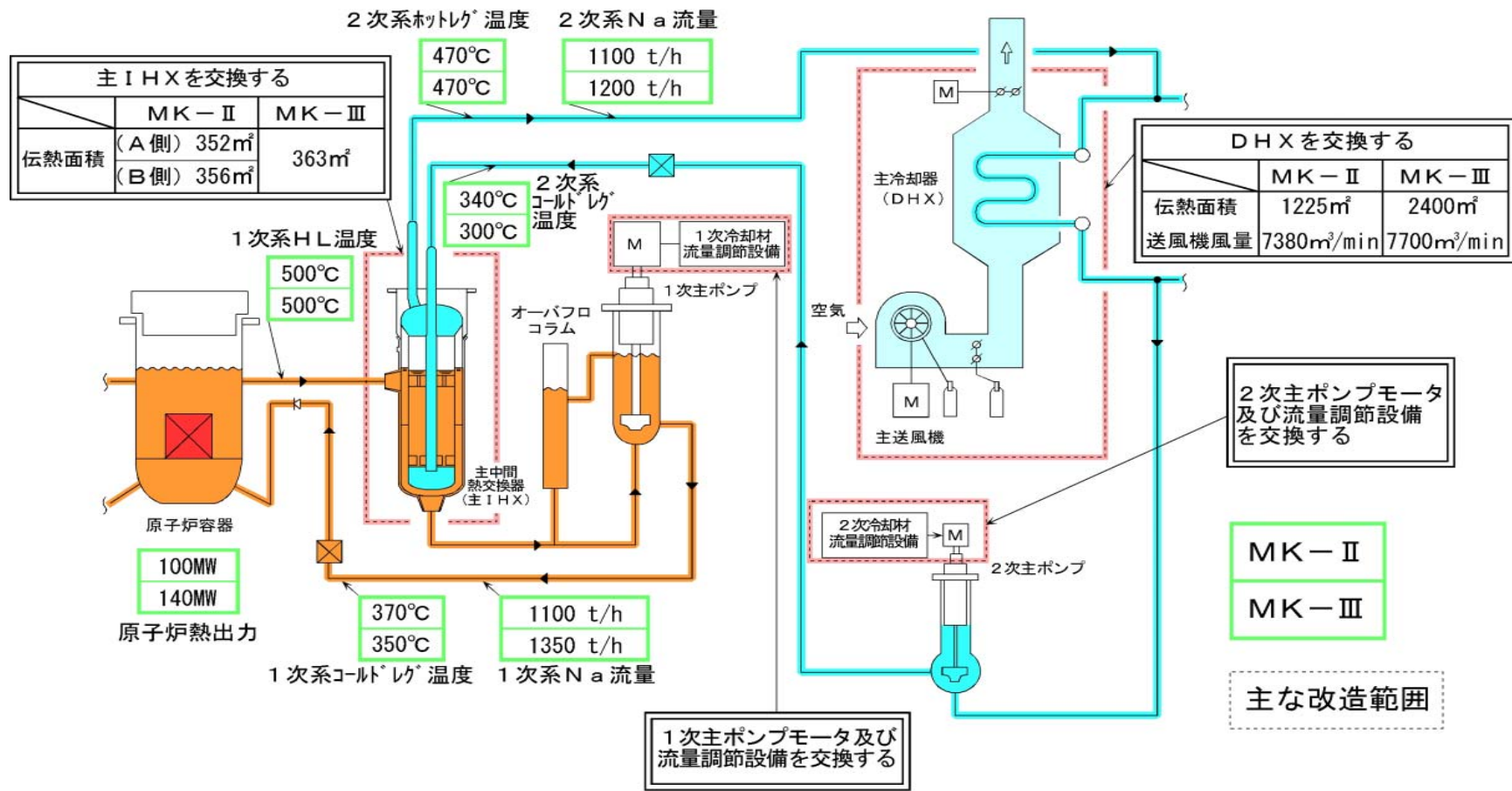
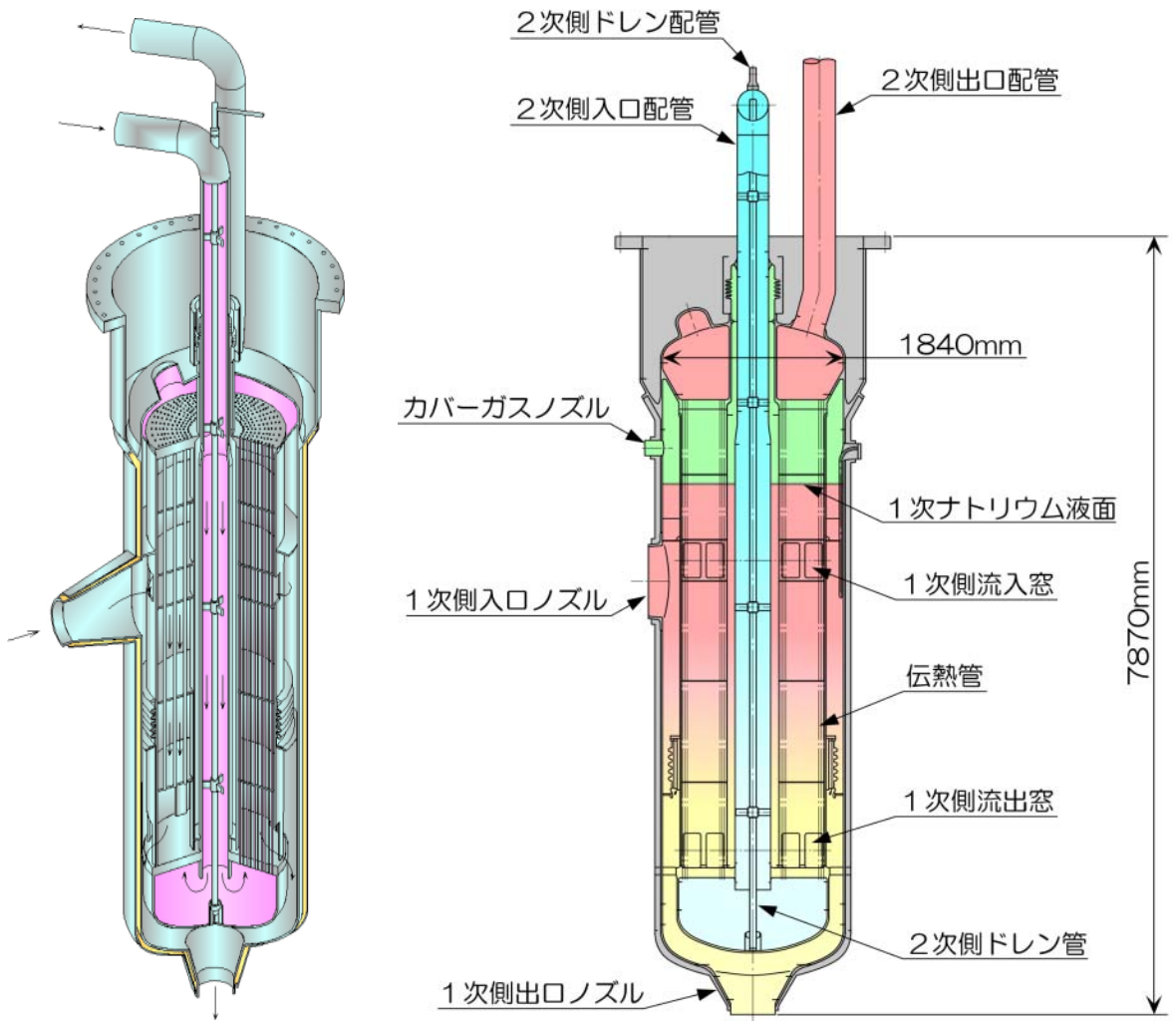


図 2 - 1 MK - 冷却系改造の概要と範囲

特徴 : 圧力損失の低減化、伝熱管部径方向温度差の低減化、既設開口部の維持、内部計装の充実、ガス巻き込み防止対策、主要材料に316FRを使用（クリープ疲労及びクリープ破断強度に優れた材料）



| 主要目 | | |
|----------|------------------------------------------|------------------------------------------|
| 型式 | たて置き有液面式 シェルアンドチューブ型 | |
| 材料 | 本体 | オーステナイト系ステンレス鋼 (316FR/316FR-F/SUS316) |
| | 伝熱管 | オーステナイト系ステンレス鋼 (316FR-TB) |
| | リークジャケット | オーステナイト系ステンレス鋼 (SUS304/SUS304TP) |
| 最高使用圧力 | 1次側 | 0.098MPa |
| | 2次側 | 0.49MPa |
| 最高使用温度 | 550℃ | |
| 流量 | 約1350 t/h | |
| 交換熱容量 | 70MW | |
| 伝熱管本数 | 2088 | |
| 伝熱管外径/板厚 | 19mm/1.0mm | |
| 伝熱面積 | 363m ² | |
| 1次側出入口配管 | 入口20B/出口18B オーステナイト系ステンレス鋼 (SUS304TP) | |
| 2次側出入口配管 | 12B 2 1/4 Cr-1Mo鋼 (STPA24) | |

図 2.1 - 1 MK - 用新主中間熱交換器の構造図

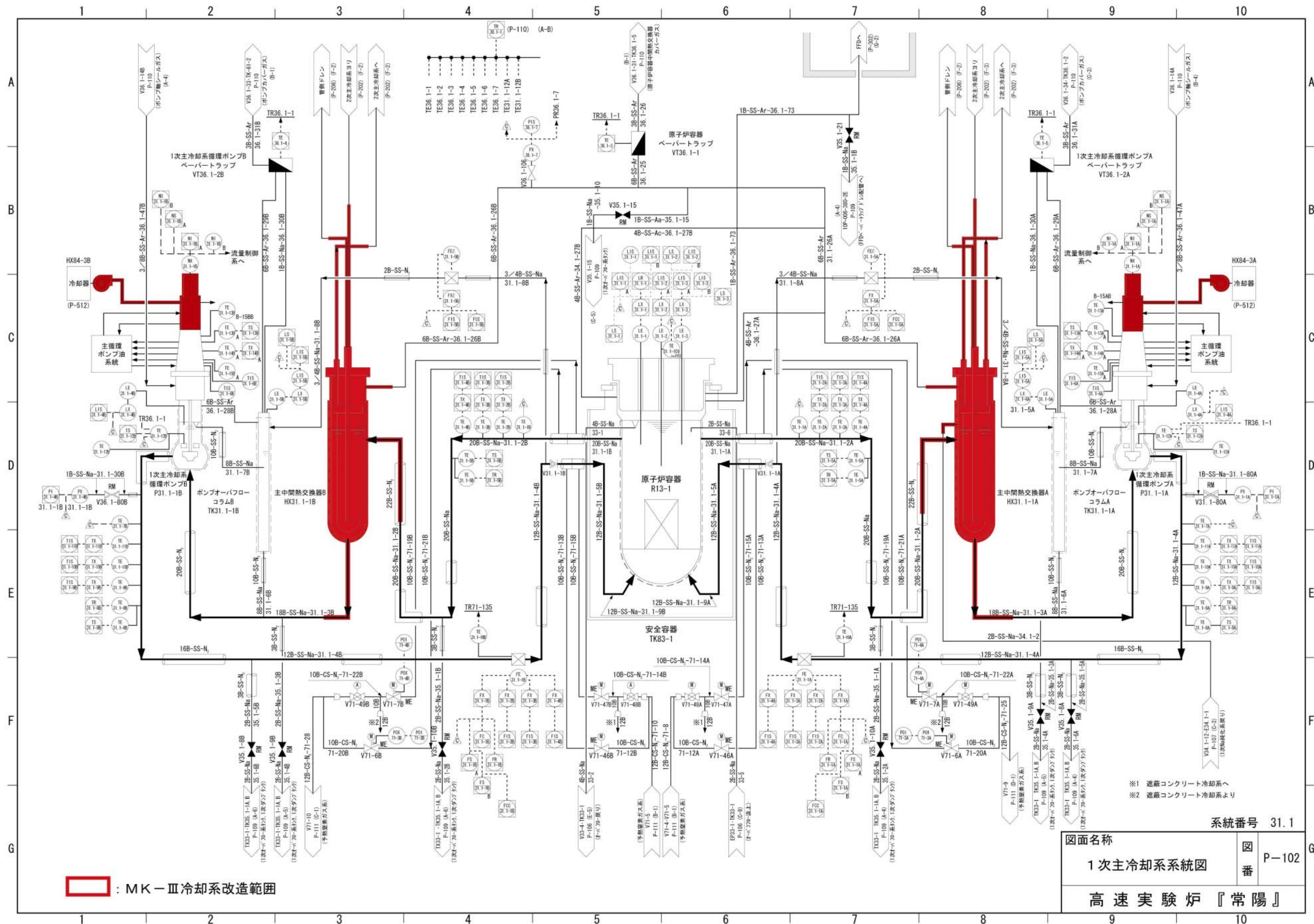


図 2.1 - 2 MK - 1次冷却系改造工事範囲

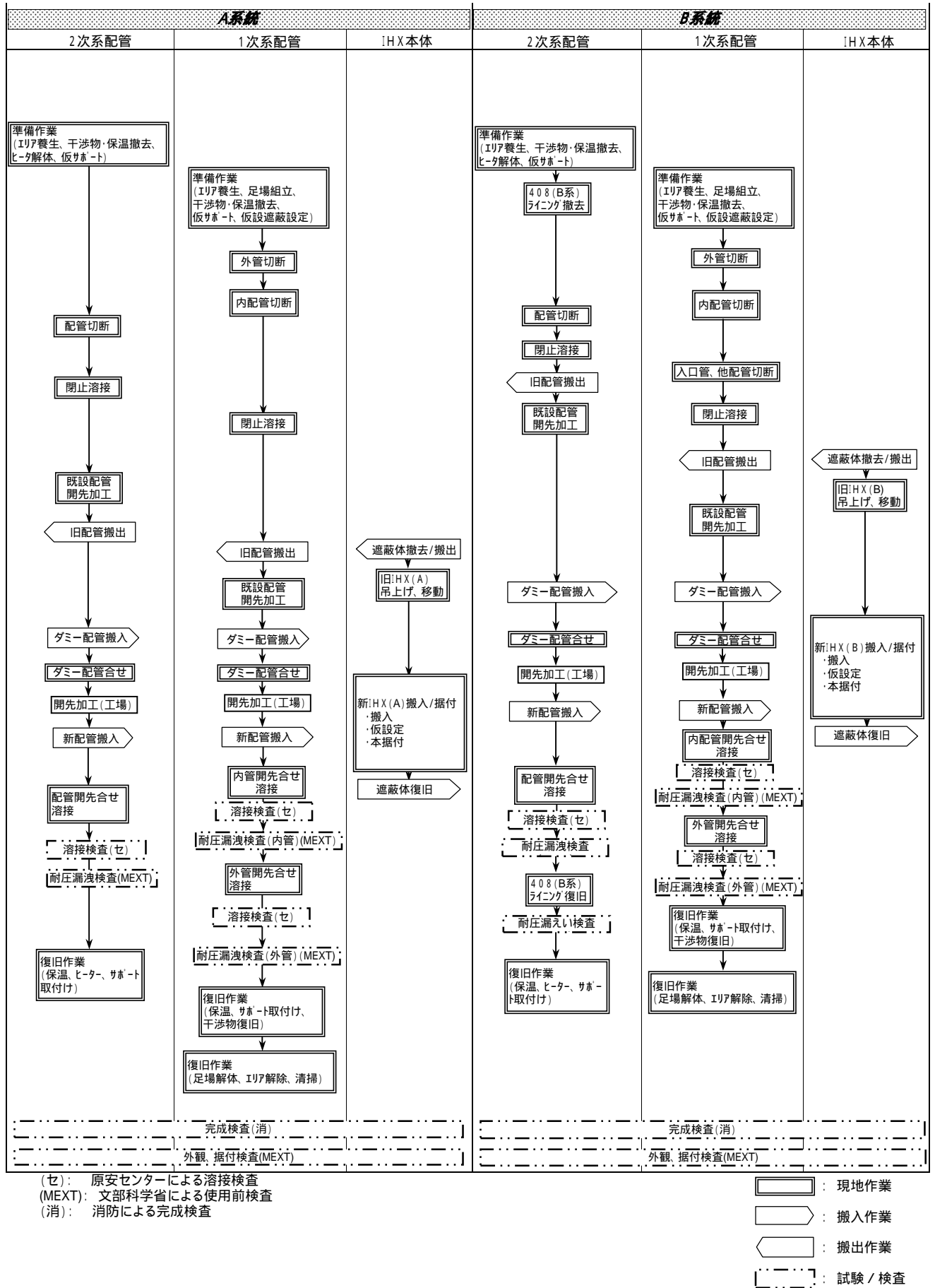


図2.1 - 3 主中間熱交換器の交換工事フロー

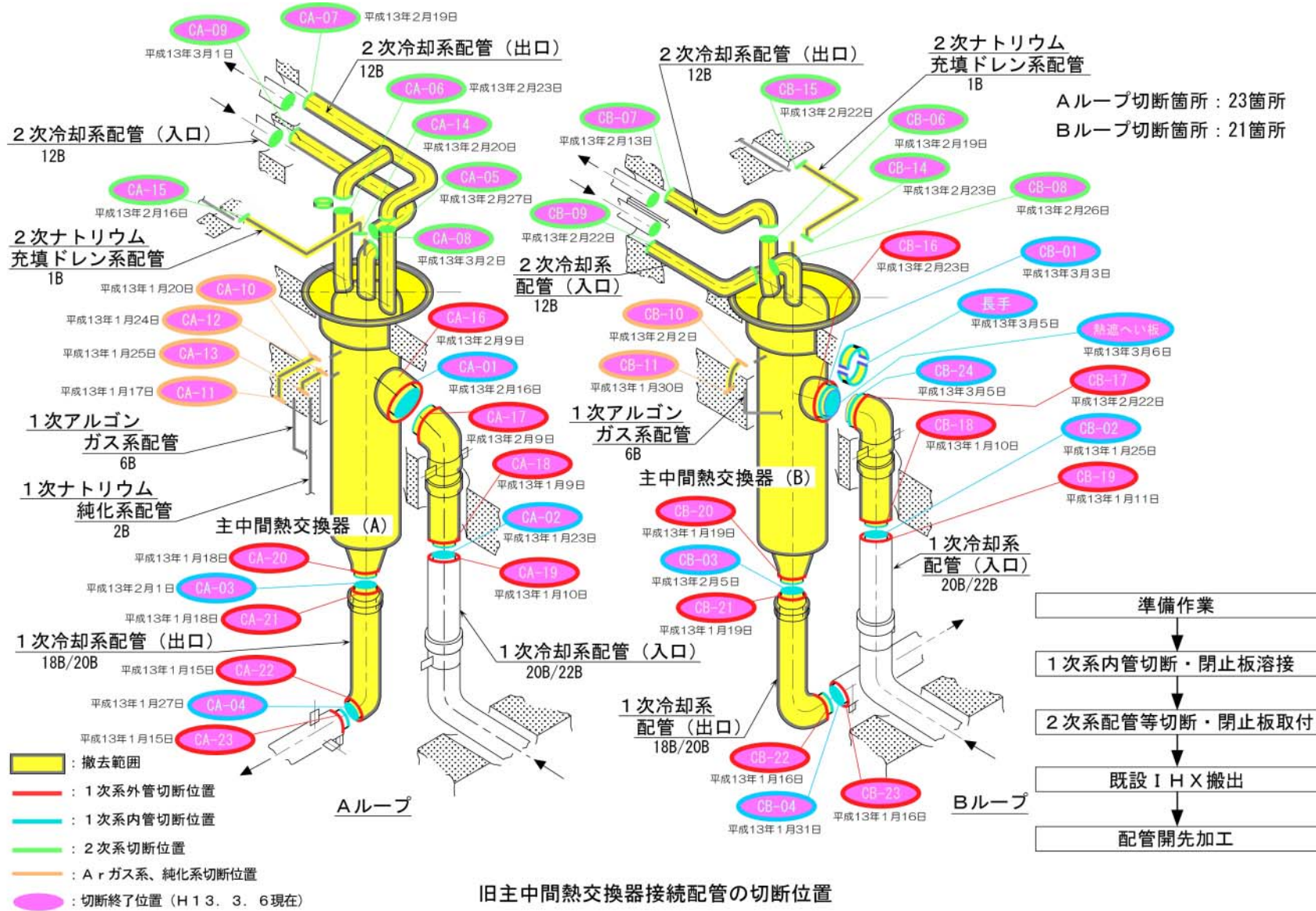
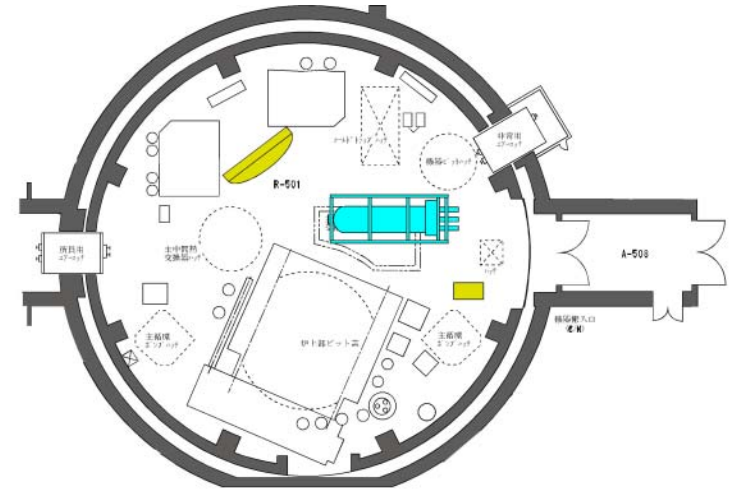
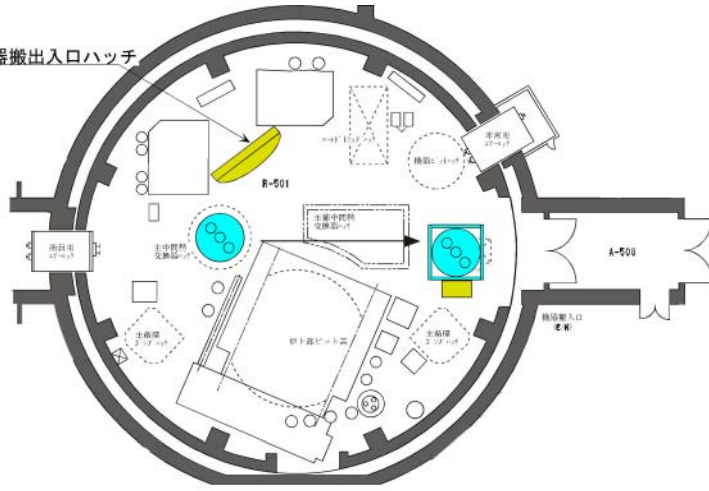
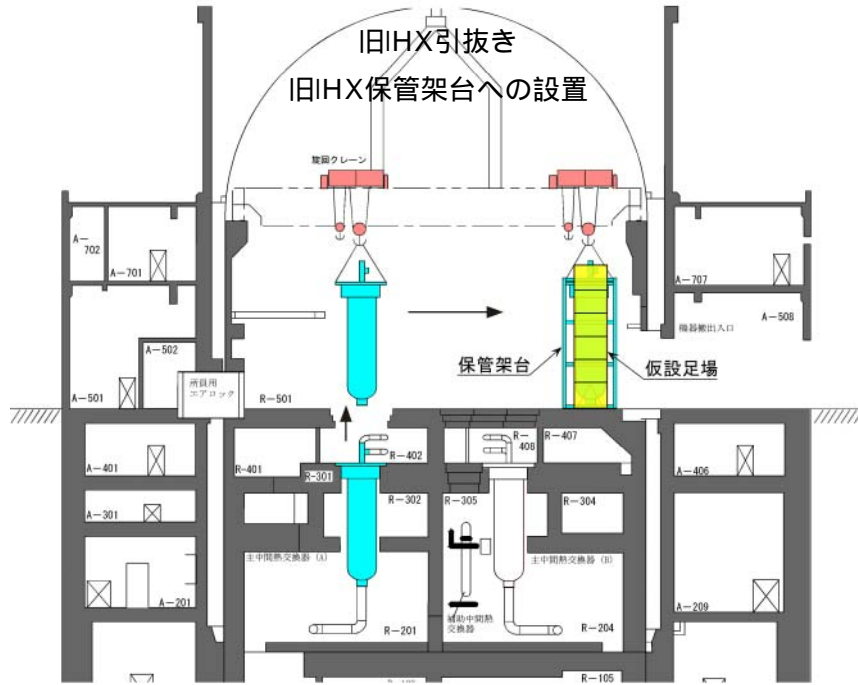


図 2.1 - 4 旧主中間熱交換器接続配管の切断位置

機器搬出入口ハッチ



旧IHX引抜き
旧IHX保管架台への設置



旧IHX横倒し

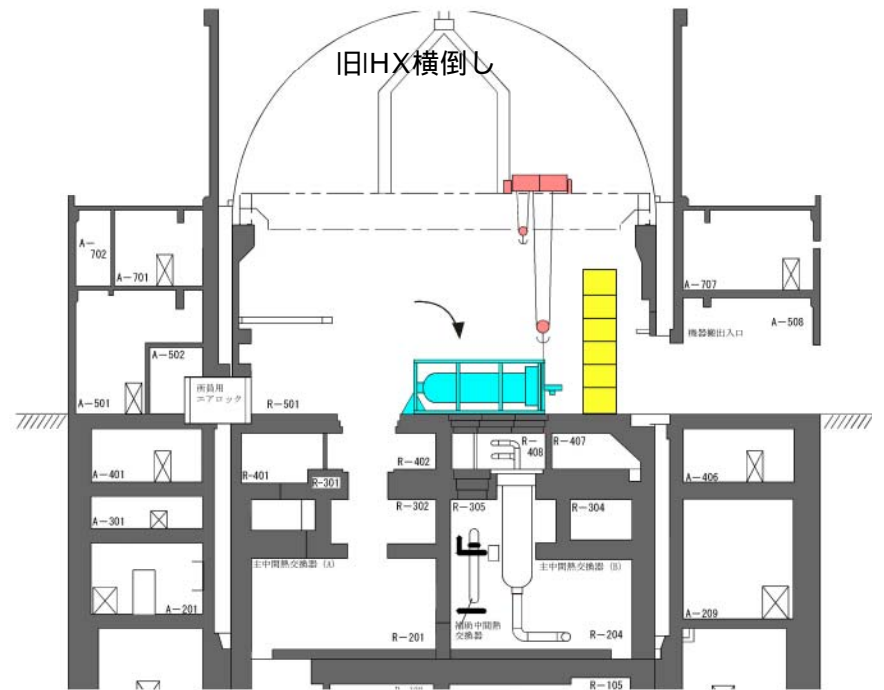


図 2.1 - 5 (1/3) 旧主中間熱交換器の撤去・搬出概念図

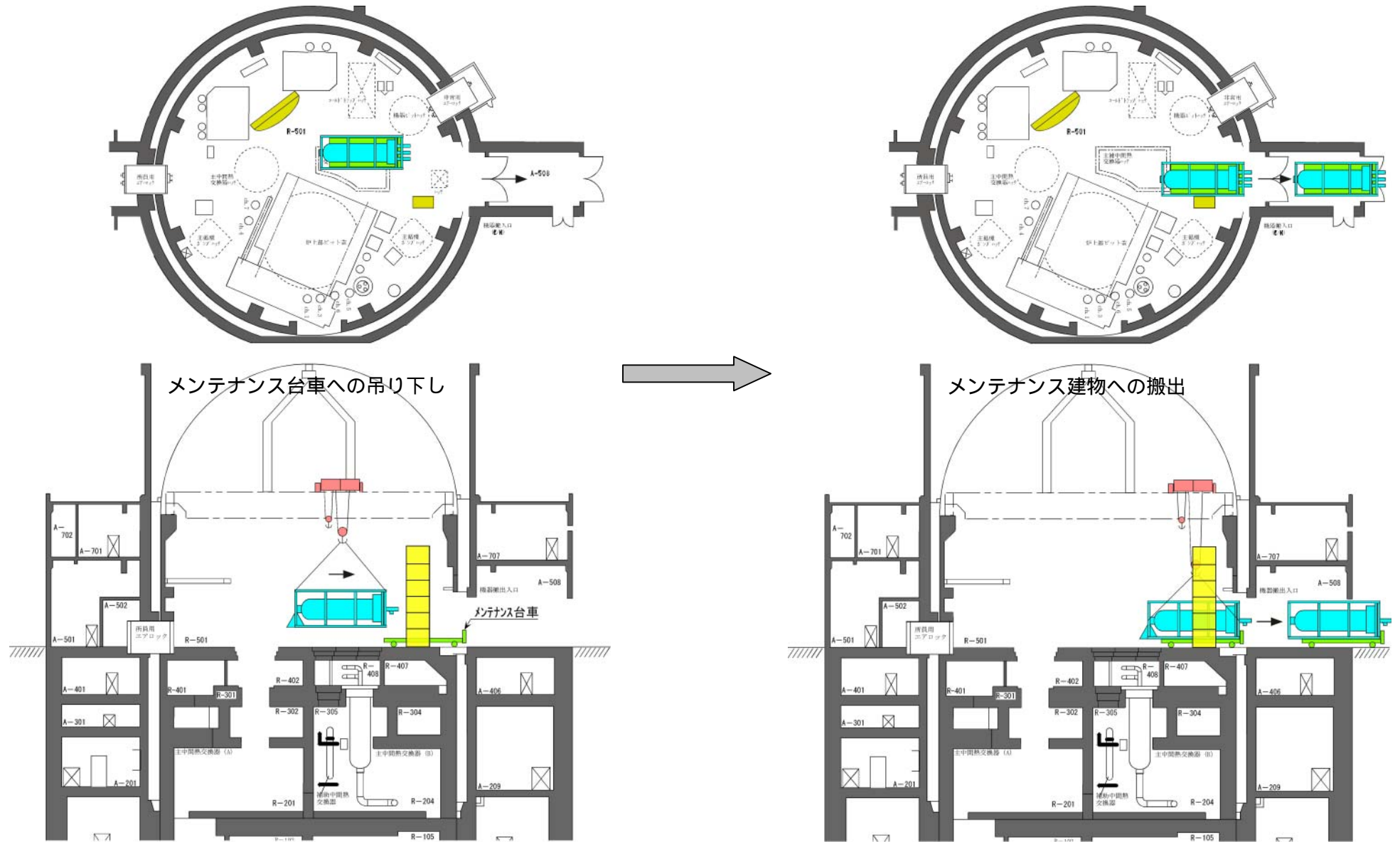
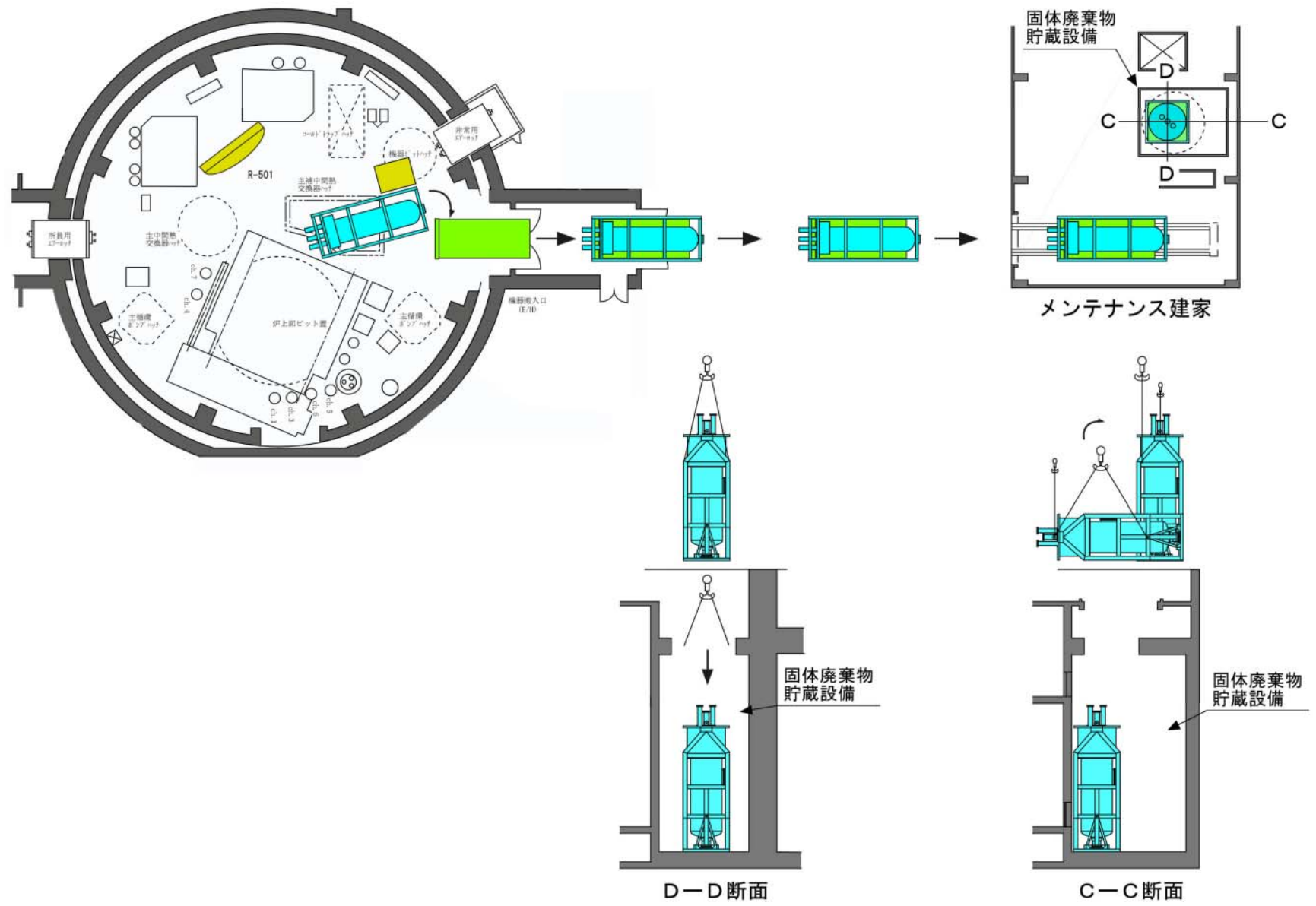


図 2.1 - 5 (2/3) 旧主中間熱交換器の撤去・搬出概念図



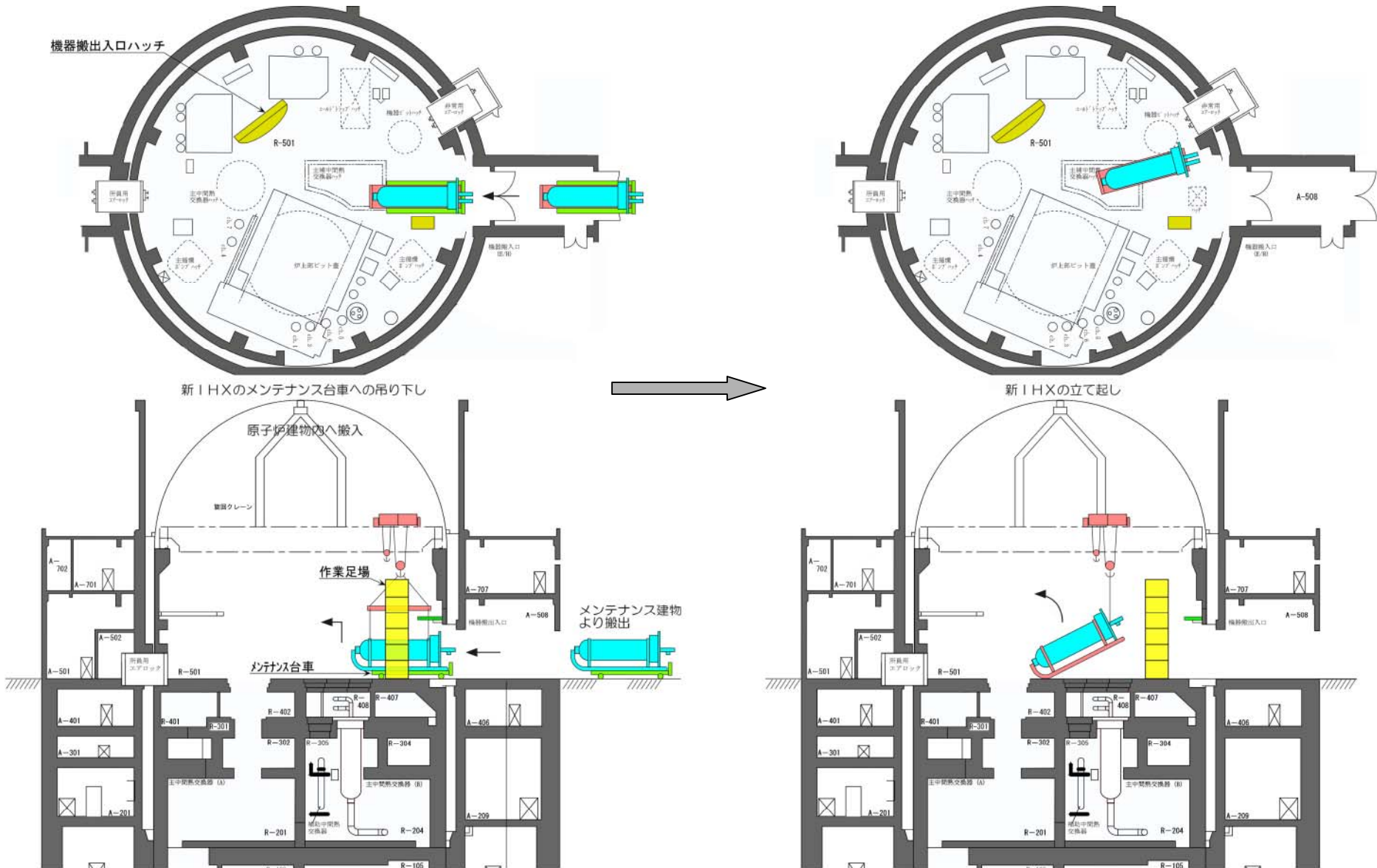


図 2.1 - 6 (1/2) MK - 用新主中間熱交換器の搬入・据付概念図

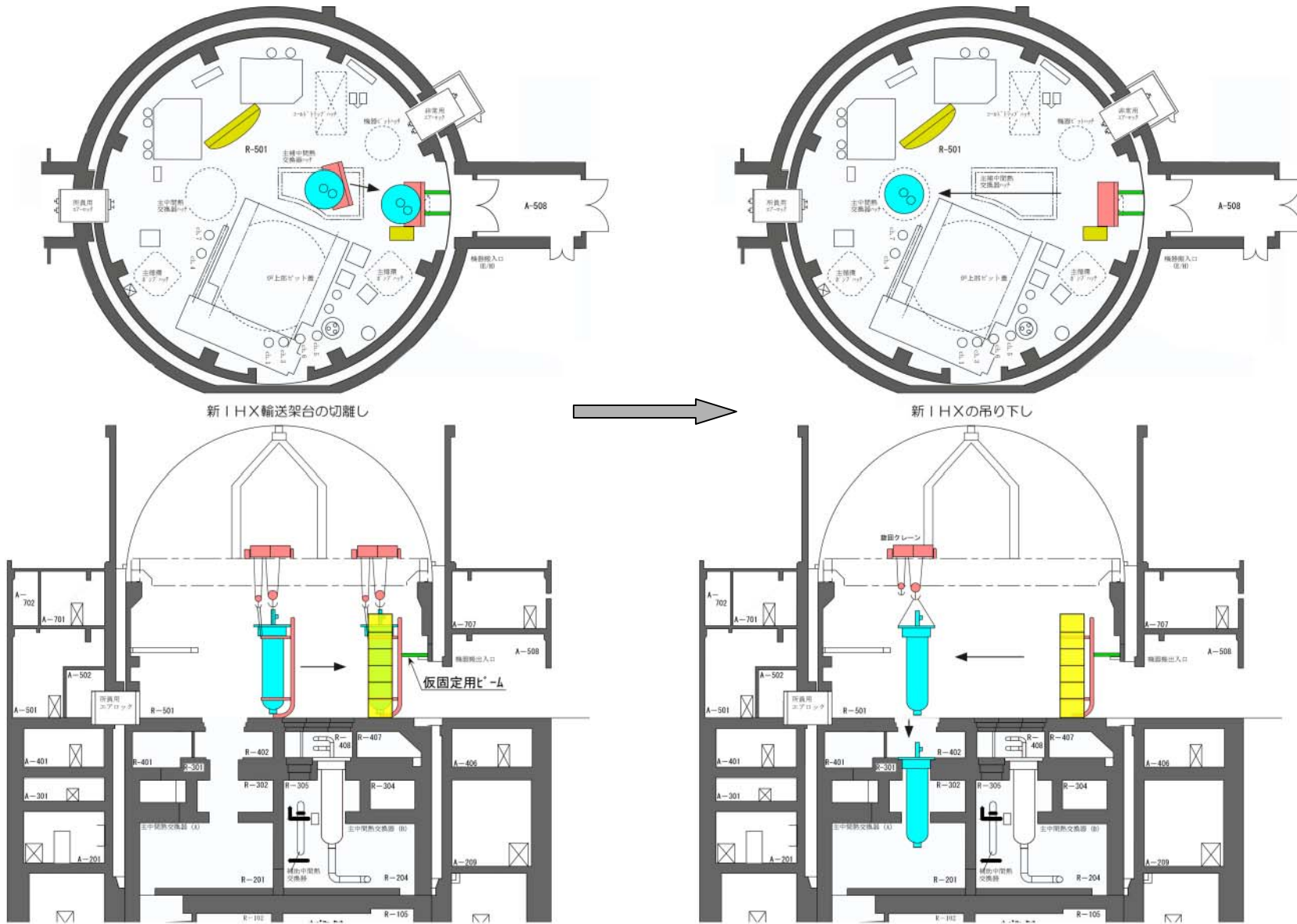
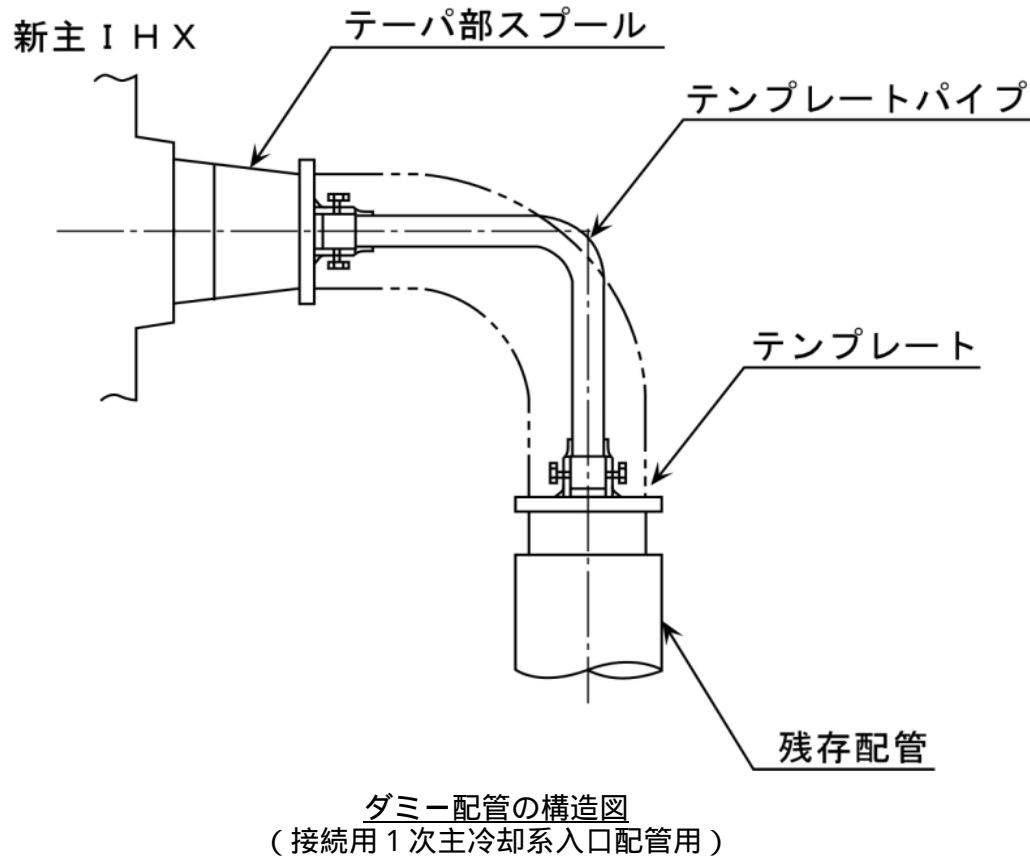


図 2.1 - 6 (2 / 2) M K - 用新主中間熱交換器の搬入・据付概念図



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)

テンプレートパイプ

テンプレート

図2.1 - 7 MK - 用新主中間熱交換器とダミー配管との合せ寸法取り

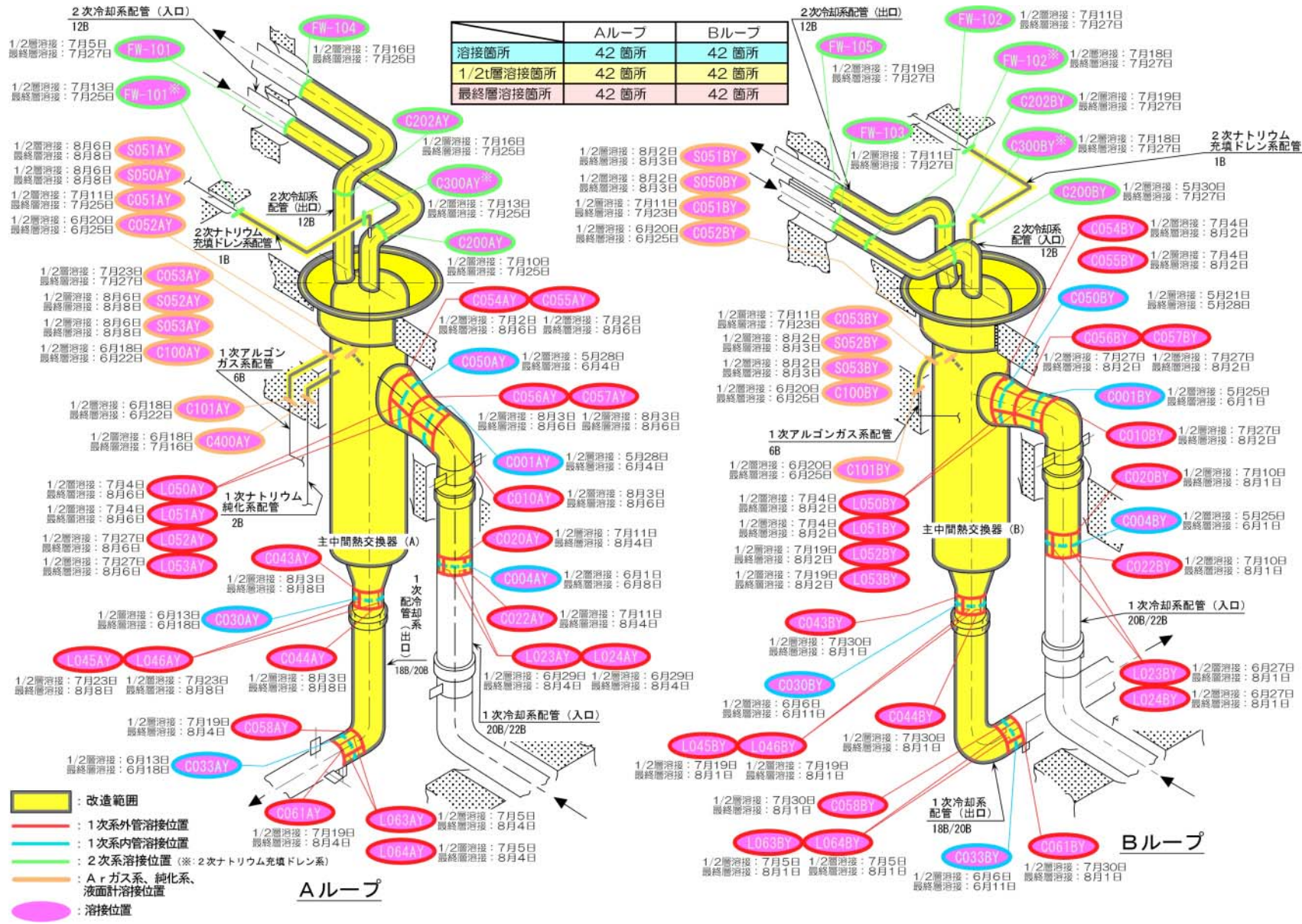


図 2.1 - 8 MK - 用新主中間熱交換器接続配管の溶接位置

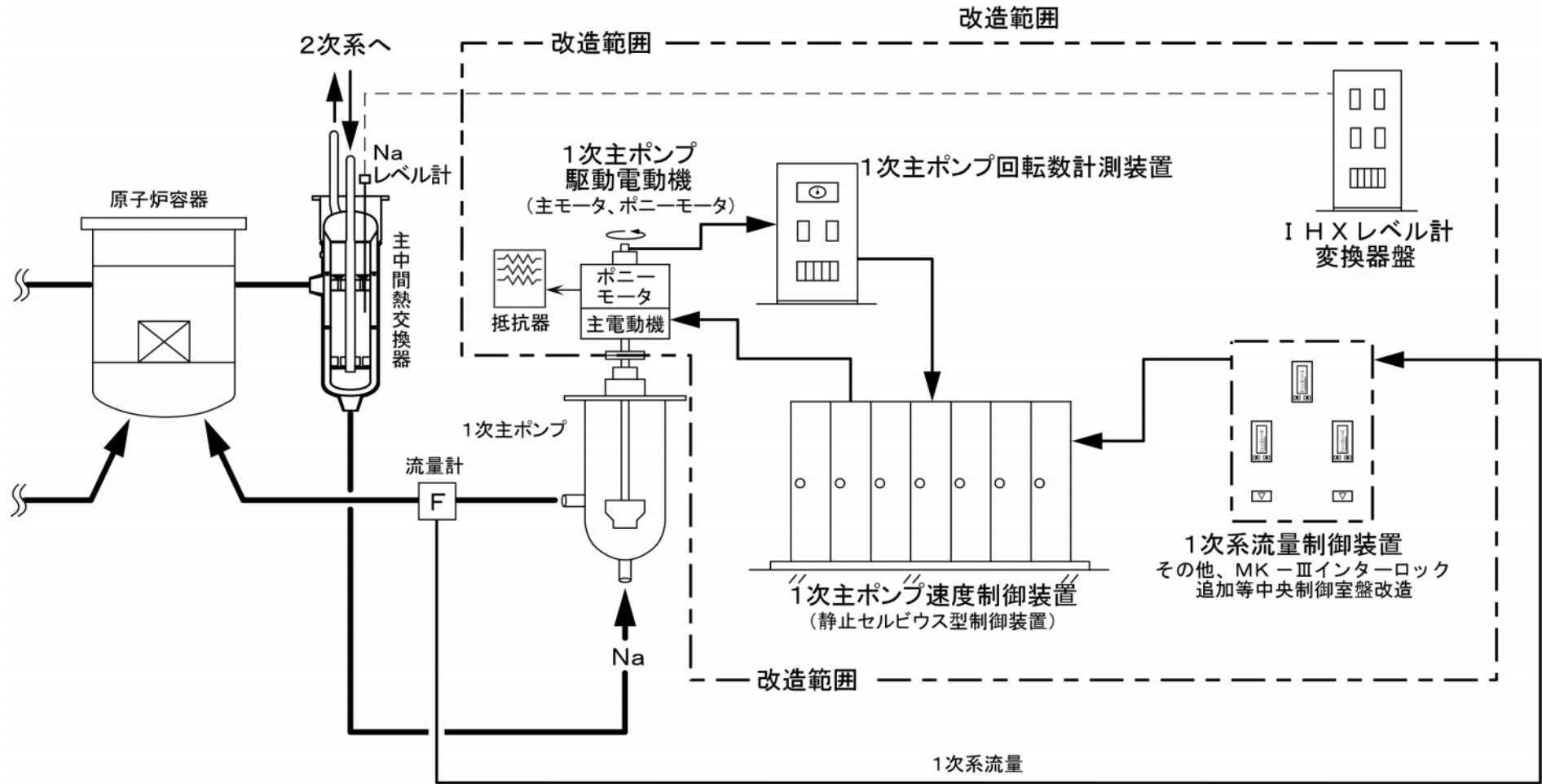


図 2.2 - 1 1次冷却系電気設備の改造範囲

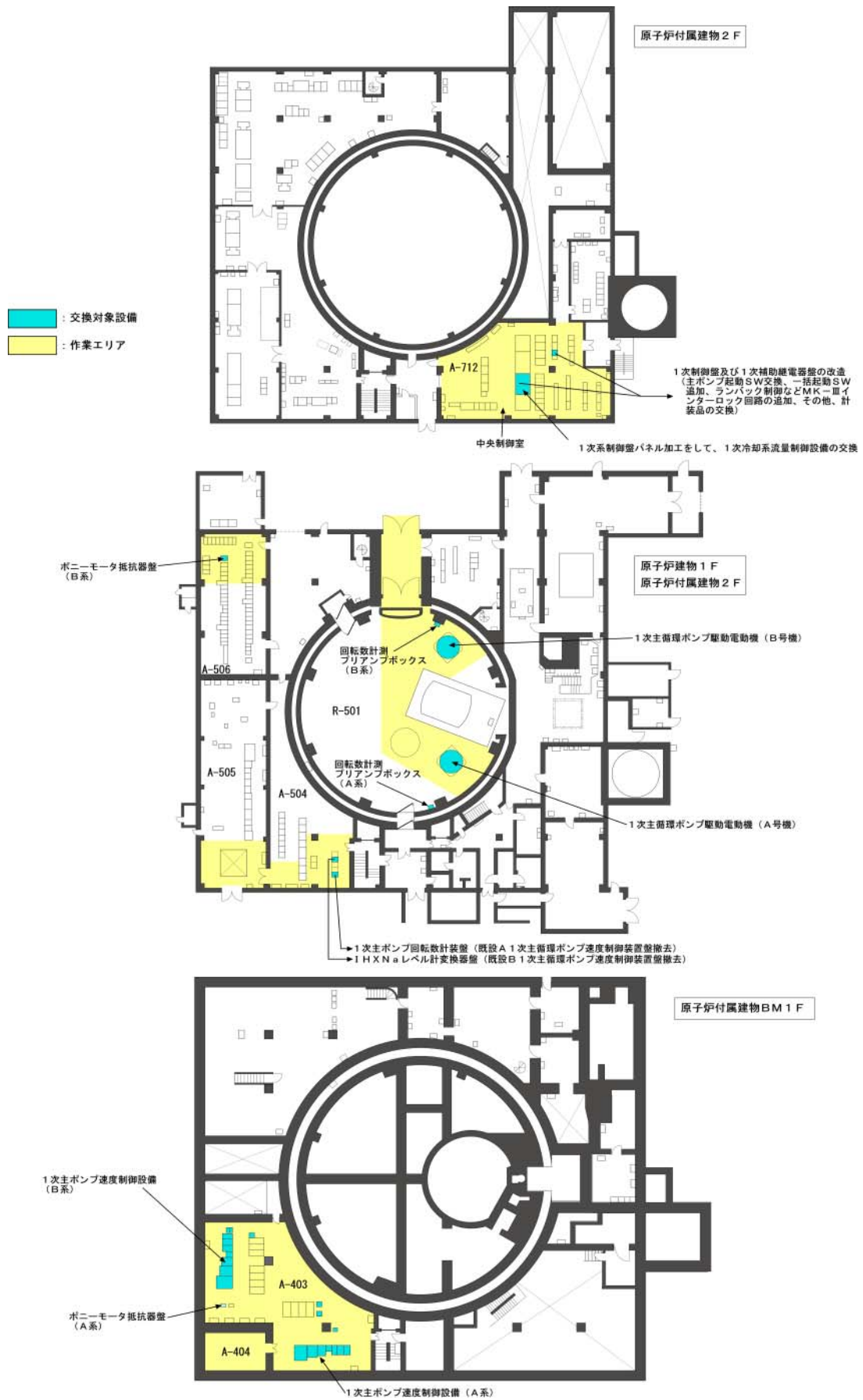


図 2.2 - 2 1次冷却系電気設備改造工事対象設備の配置

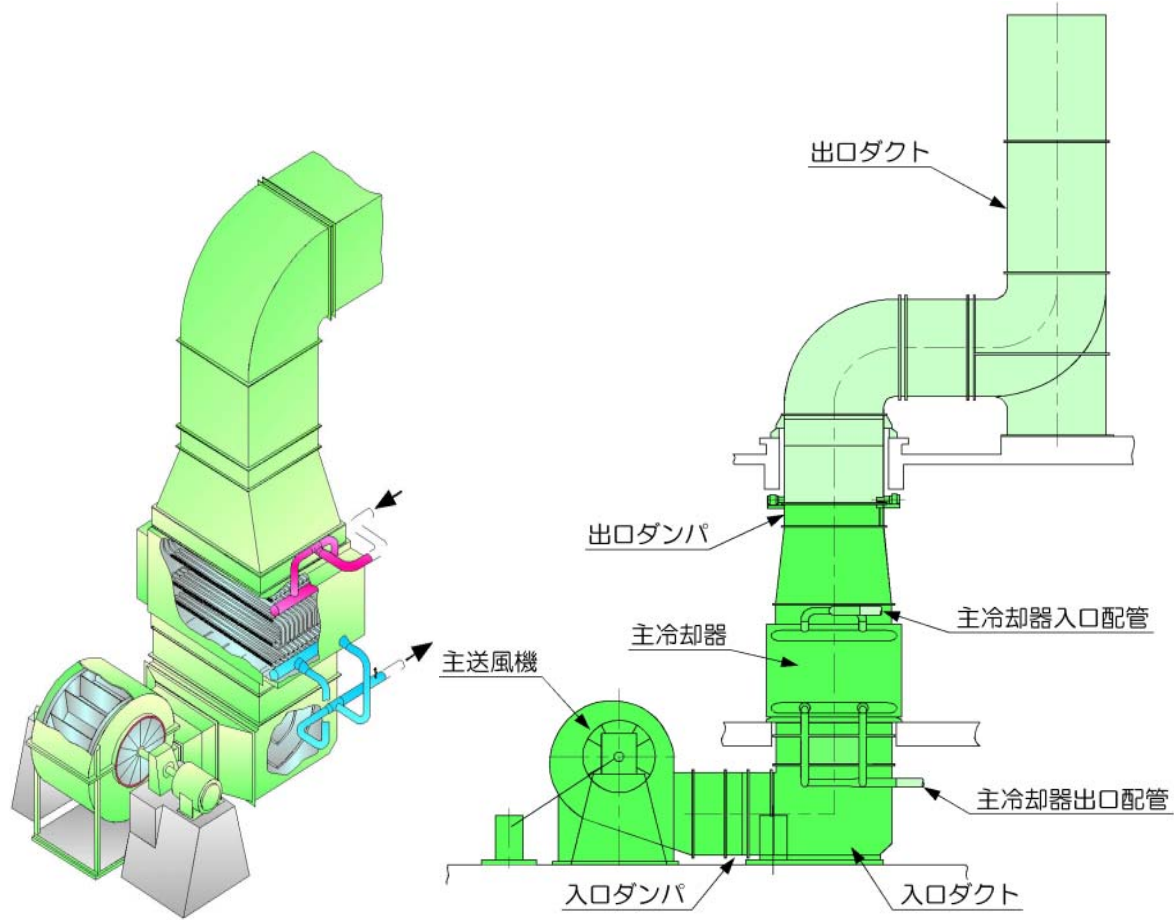
| | |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 工事準備作業 | <p>工事前プラント状態の確認（1次系 Na ドレン、オバ-70-系ちくわドレン） 作業エリアの設定 機器運搬ルート上の床等の養生</p> |
| 2. 干渉機器等の一時撤去作業 | <p>対象既設盤周辺の電線管、ケーブルラック及び一部ケーブルを一時撤去する。 オバ-70-系電磁ポンプ誘導加熱操作盤（141-4 盤）の一時撤去 1次純化系電磁ポンプ IVR 盤（131-1 盤）の一時撤去（撤去前に、ポンプ誘導加熱ラインを I V R 盤から誘導加熱盤に変更） 盤運搬ルートにあたり、干渉する扉及び扉枠を一時撤去</p> |
| 3. 既設設備の撤去及び搬出 | <p>盤内の外線について確認し、tag 札等を付ける。 ケーブルを解線、盤外に引き出し、養生する。 既設盤をベースから切り離し、撤去搬出する。 交換対象盤基礎ベースの撤去</p> |
| 4. 新設備の搬入及び据付 | <p>基礎ベース撤去跡に新ベースを据え付け、床面を復旧する。 新規盤を搬入し、所定の位置に据え付ける。 新規電線管及びケーブル敷設 ケーブル接続、配線確認、整線 試験・検査</p> |
| 5. 干渉機器等の復旧作業 | <p>一時撤去した干渉機器等の復旧を行う。 復旧した1次純化系電磁ポンプ IVR 盤、オバ-70-系電磁ポンプ誘導加熱盤の配線確認及び試験・検査を実施。 1次純化系電磁ポンプの誘導加熱ラインを誘導加熱盤から IVR 盤に戻す。</p> |
| 6. 後片付け | <p>養生品の撤去、復旧 現場の清掃</p> |

図 2.2 - 3 1次冷却系電気設備の工事フロー（1次系制御盤関係）

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1. 工事準備作業</p> |
| <p>工事前プラント状態の確認（1次主ポンプ停止、1次系 Na ドレン） 作業エリアの設定 機器運搬ルート上の床等の養生</p> |
| <p>2. 干渉機器等の一時撤去作業</p> |
| <p>R501 床上の電動機据え付け開口部の安全柵及びグレーチングを取り外す。</p> |
| <p>3. 既設電動機の撤去及び搬出</p> |
| <p>1次主ポンプ 駆動電動機及び付属機器の電源を停止し、電動機冷却ファンダクト、潤滑油配管、ポンプカップリング締結部を取外し、電動機を独立させる。また接続ケーブルを解線する。電動機をモータマウント上から取り外す前に既設のセンタリング確認を行う。 電動機を取り外し、撤去、メンテナンス建家へ搬出する。格内からメンテナンス建家への運搬は巡回クレーンとメンテナンス台車により行う。 既設電動機の格外への搬出時には既設電動機はもちろん、メンテナンス台車についてもサーベイし、汚染のないことを確認の上、搬出する。 既設電動機からカップリングを抜き取り、新電動機に接続する。</p> |
| <p>4. 新電動機の搬入及び据付</p> |
| <p>新電動機をメンテナンス建家にて台車に載せ、格内に搬入する。 格内搬入後、巡回クレーンにて、新電動機を所定のモータマウントに移動させ、据え付ける。 電動機冷却ファンダクト、潤滑油配管を電動機に接続し、油を補給する。 電動機のセンタリング作業を実施する。 OPUを運転し、オイルフラッシングを行う。 新規ケーブルの敷設及び電動機にケーブルを接続する。 1次系電気制御設備の盤関係の据え付けが全て完了していること確認し、電動機電源を復旧し、寸動による回転方向の確認及び主電動機単体試験を実施する。また、ポニーモータについても主電動機から引き継ぎ、単体試験を実施する。 電動機単体試験完了後、ポンプ側とのカップリング 締結を実施する。 ポンプカップリング 下部に新ジャッキアップ 装置を据え付け、ポンプ手回しトルク測定準備まで行う。なお、手回しトルク測定は1次系に Na が充填され、主ポンプ 起動前に実施する。</p> |
| <p>5. 干渉機器等の復旧作業及び後片付け</p> |
| <p>R501 床上の電動機据え付け開口部の安全柵及びグレーチングを復旧する。 養生品の撤去、復旧 現場の清掃</p> |

図 2.2 - 4 1次冷却系電気設備の工事フロー（1次主循環ポンプ駆動用電動機）

特徴 : 除熱能力の向上、既設開口部の維持、メンテナンス性の向上、荷重増大に伴う荷重の分散化 (出入口ダンパ位置変更)



| 主冷却器の主要目 | |
|--------------|-------------------------------------------------------|
| 型 式 | フィン付空冷多管式 (Σ型) |
| 本 体 | 2 ¹ / ₄ Cr-1Mo鋼 |
| 伝 熱 管 | 2 ¹ / ₄ Cr-1Mo鋼 (STPA24) |
| 最高使用圧力 | 0.294MPa |
| 最高使用温度 | 520℃ |
| 流 量 | 約600t/h/基×2基/ループ |
| 交換熱容量 | 35MW |
| 伝熱管本数 | 80本 |
| 伝熱管外径/板厚 | 42.7mm/2.0mm |
| フィン付外径/フィン厚さ | 80.7mm/1.6mm |
| 伝熱面積 | 2400m ² |
| 出入口配管 | 12B 2 ¹ / ₄ Cr-1Mo鋼 (STPA24) |

| 主送風機の主要目 | |
|----------|-------------------------|
| 型 式 | 両吸込ターボ型 |
| 空気容量 | 7700m ³ /min |

図 2.3 - 1 MK - 用新主冷却機の構造図

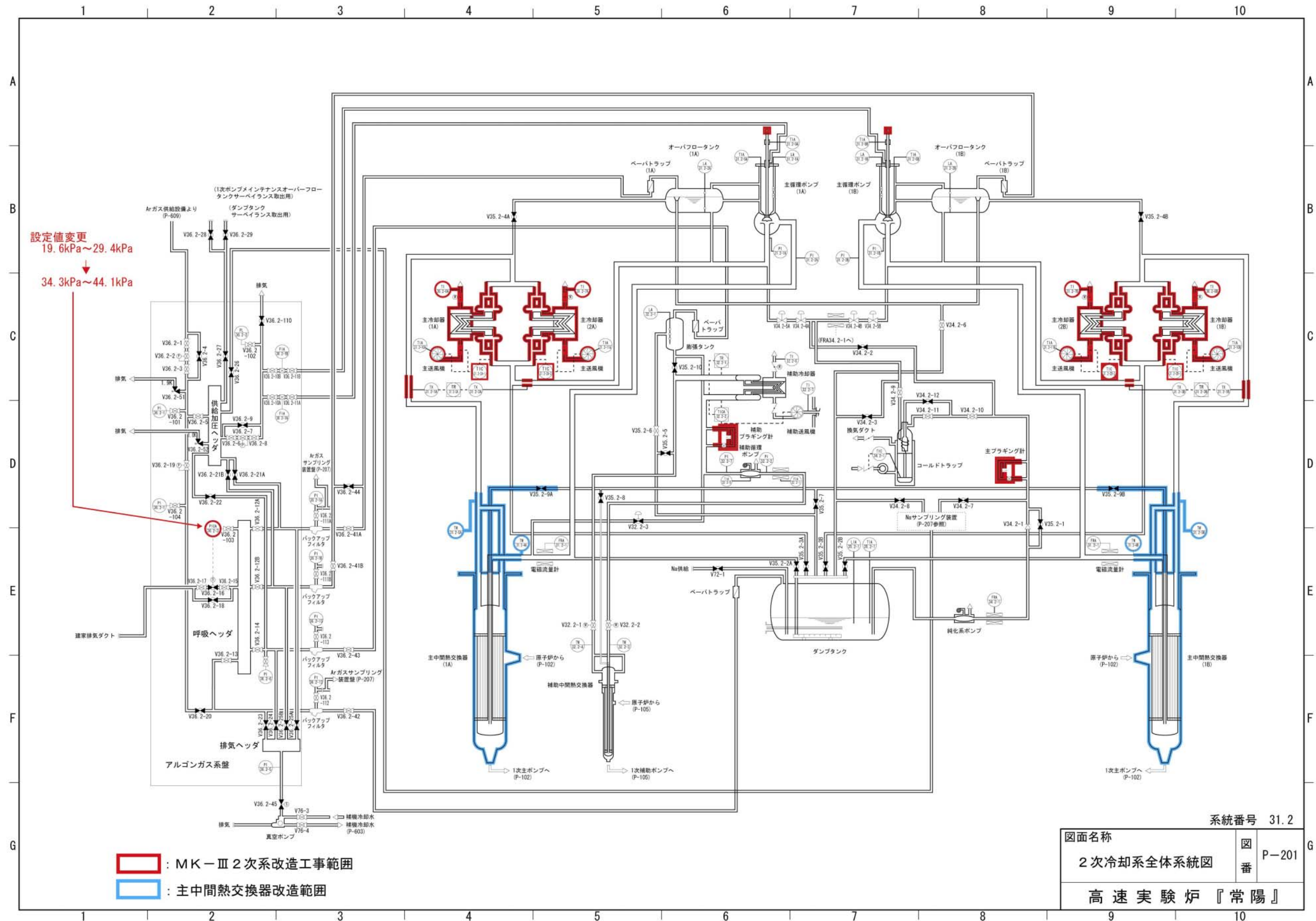


図 2.3 - 2 MK - 2次冷却系改造工事範囲

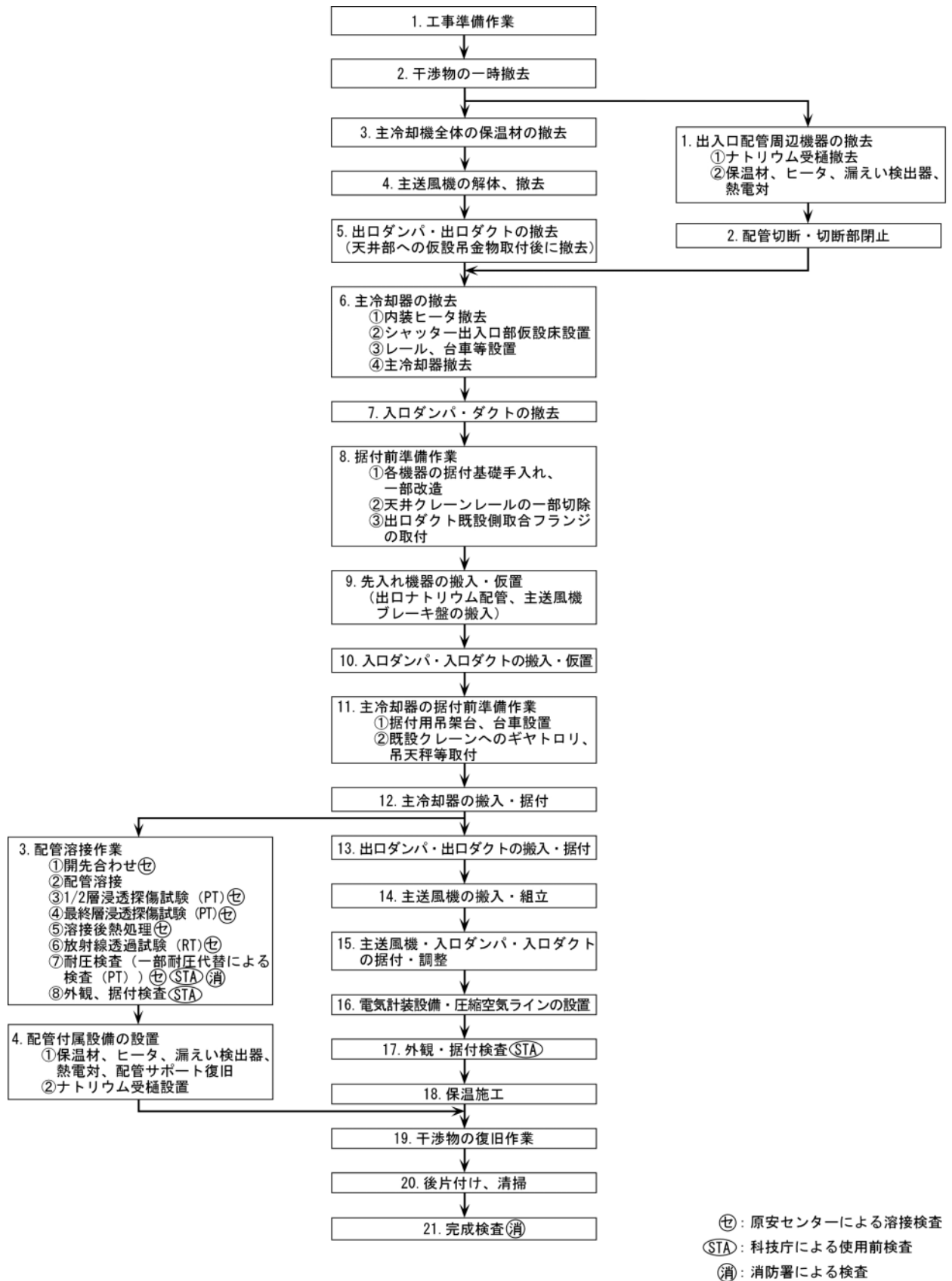


図 2.3 - 3 主冷却機及び出入口配管の交換工事フロー

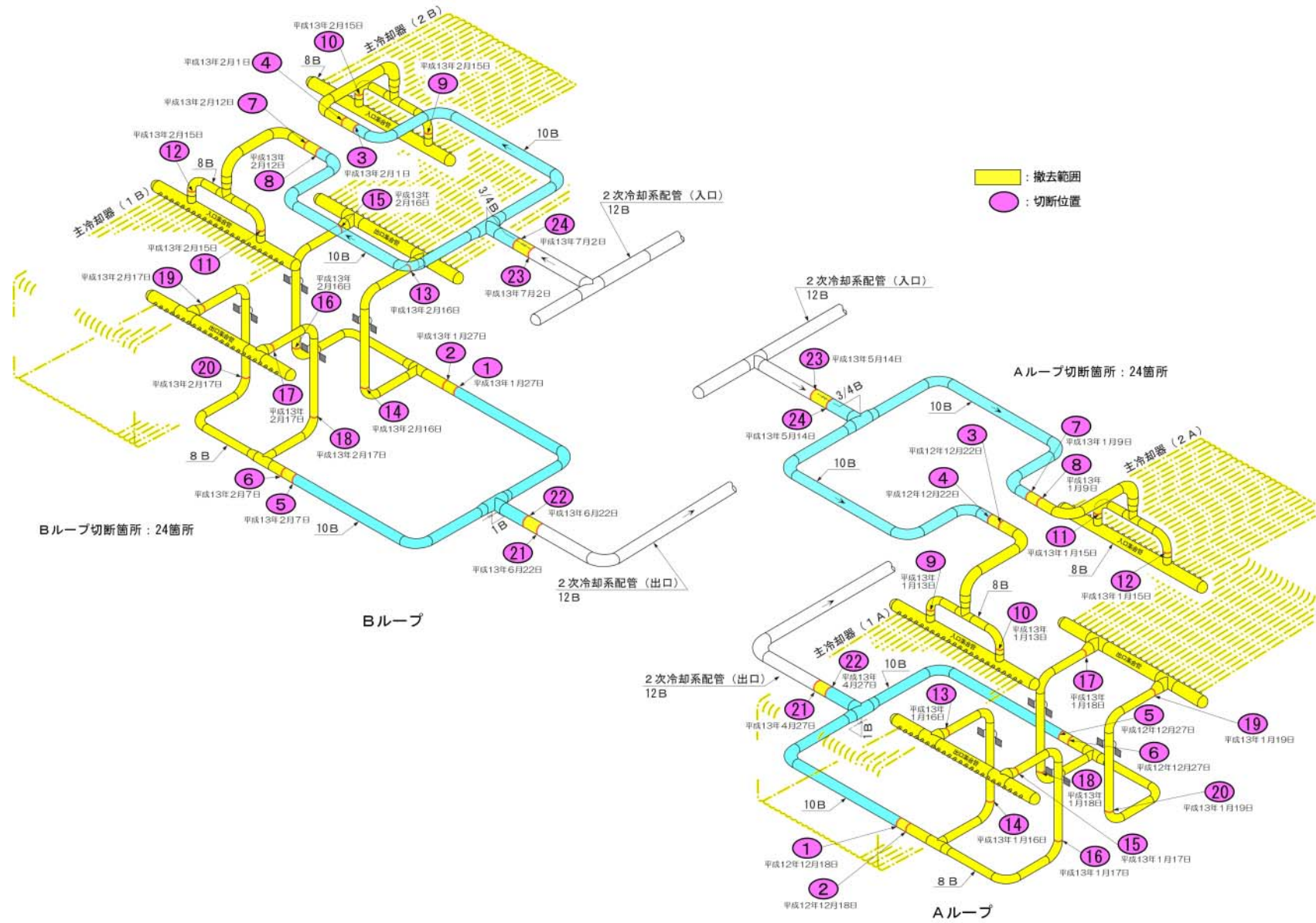


図 2.3 - 4 旧主冷却器接続配管の切断位置

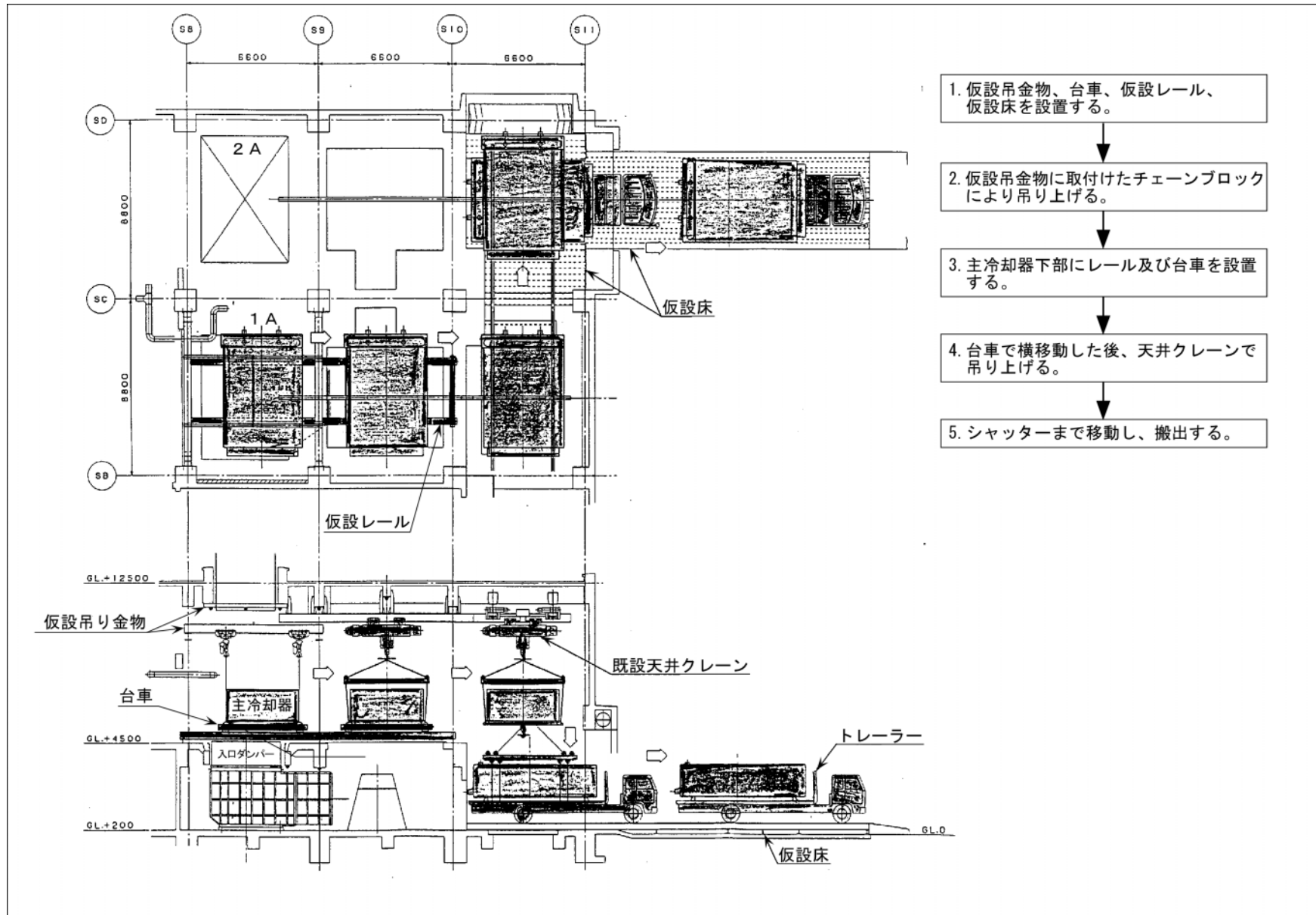


図 2.3 - 5 旧主冷却器の撤去・搬出概念図

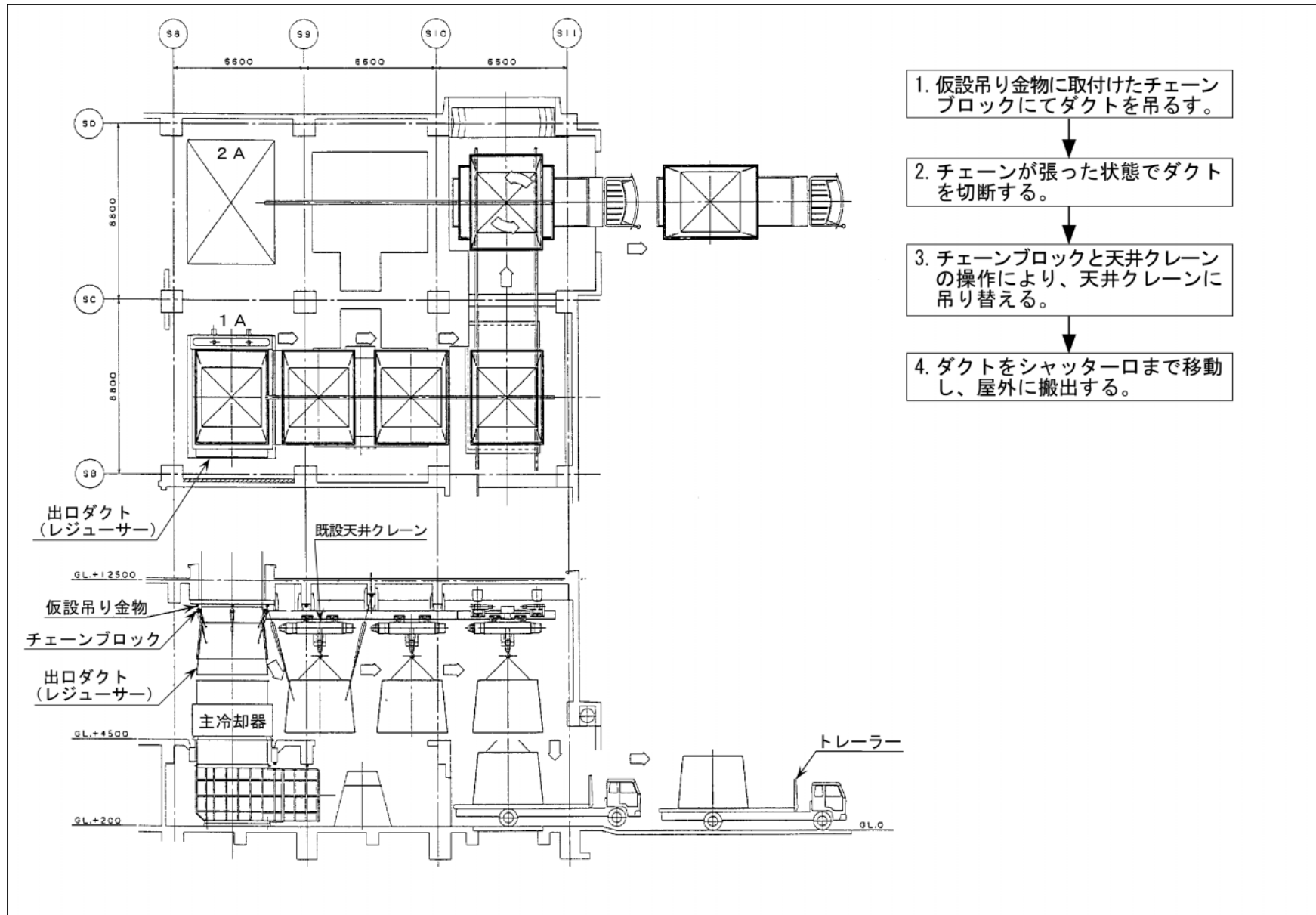


図 2.3 - 6 旧主送風機設備の撤去・搬出概念図

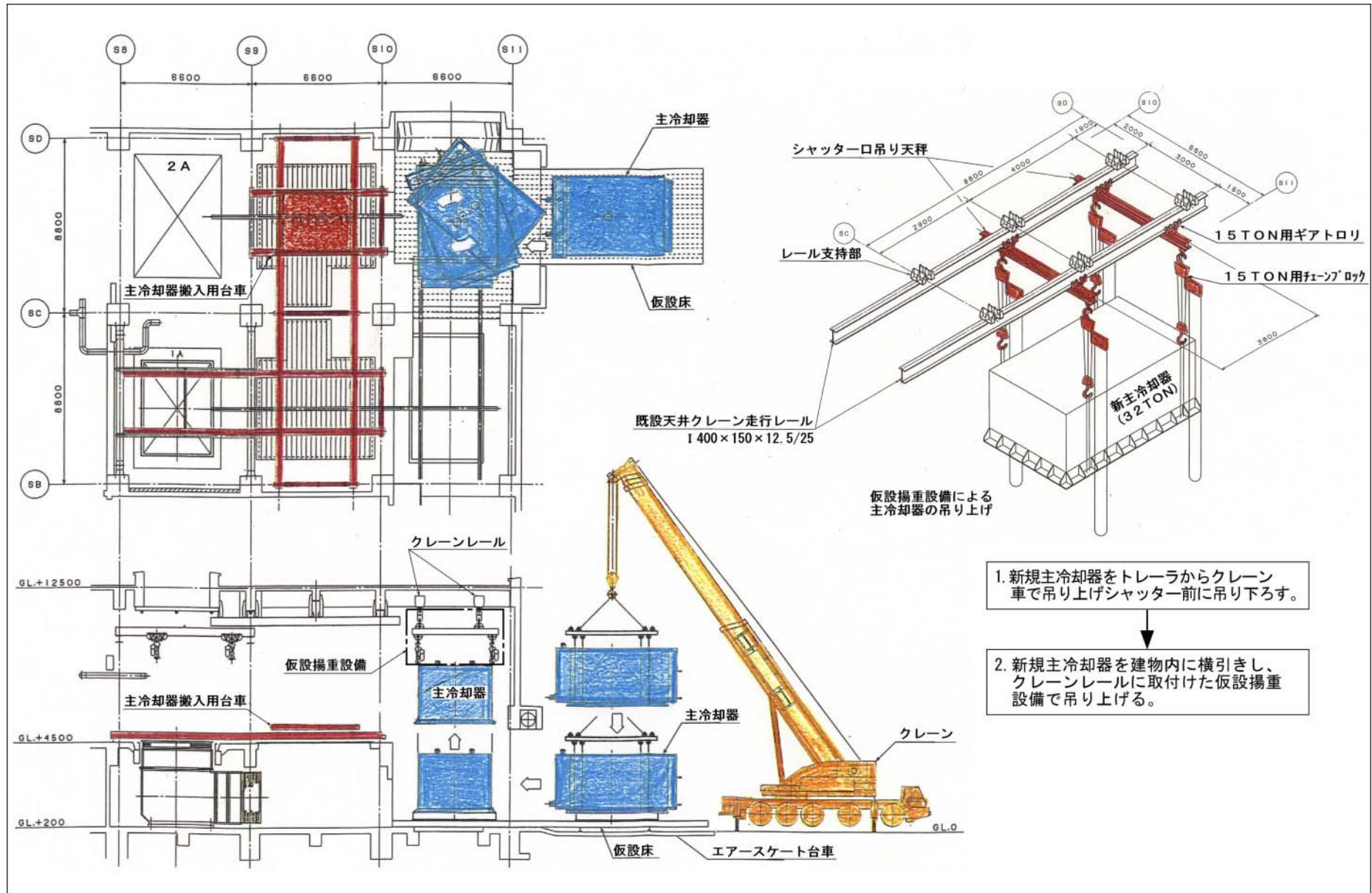
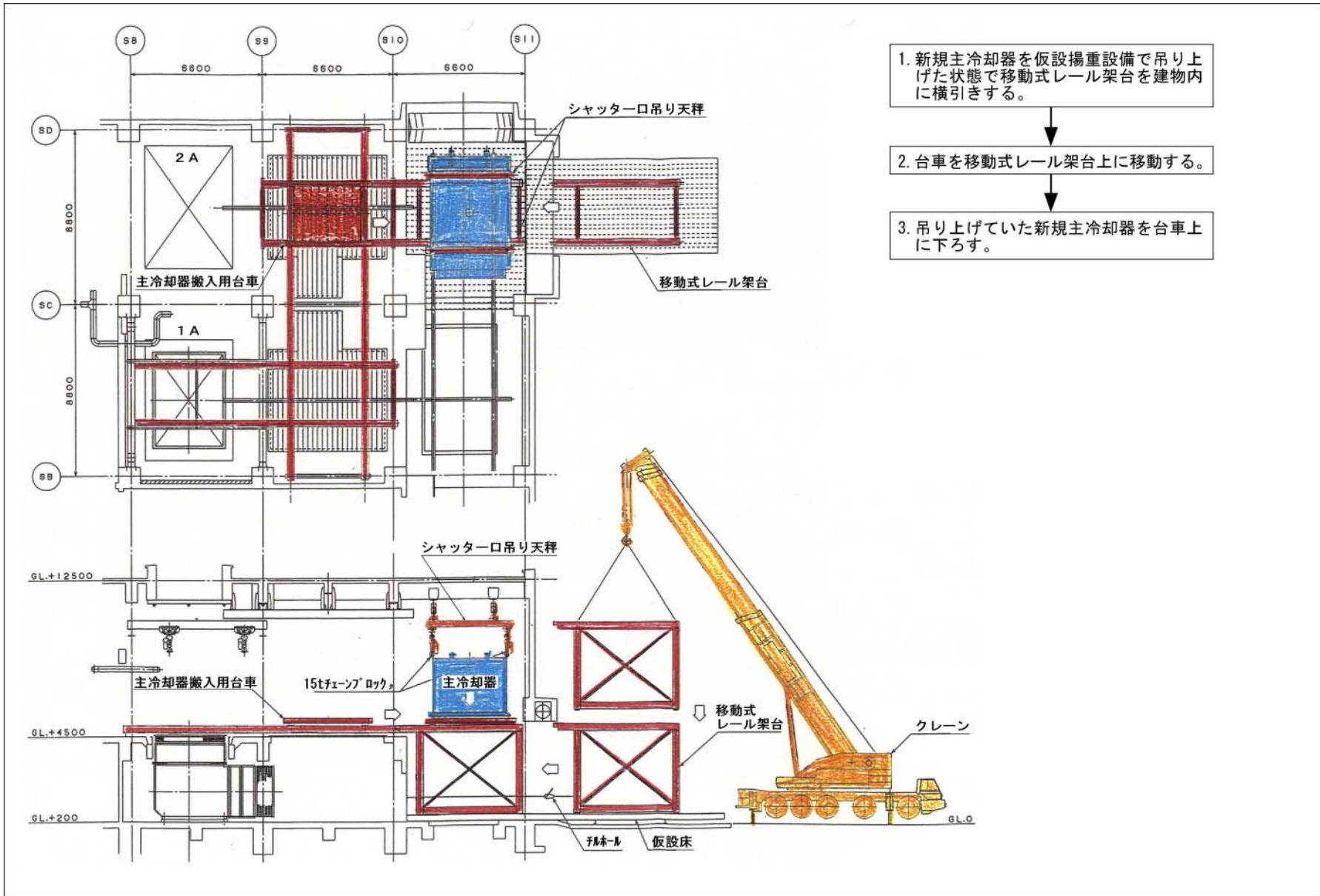


図 2.3 - 7 (1/4) MK - 用新主冷却器の搬入・据付概念図



1. 新規主冷却器を仮設揚重設備で吊り上げた状態で移動式レール架台を建物内に横引きする。
2. 台車を移動式レール架台上に移動する。
3. 吊り上げていた新規主冷却器を台車上に下ろす。

図 2.3 - 7 (2/4) MK - 用新主冷却器の搬入・据付概念図

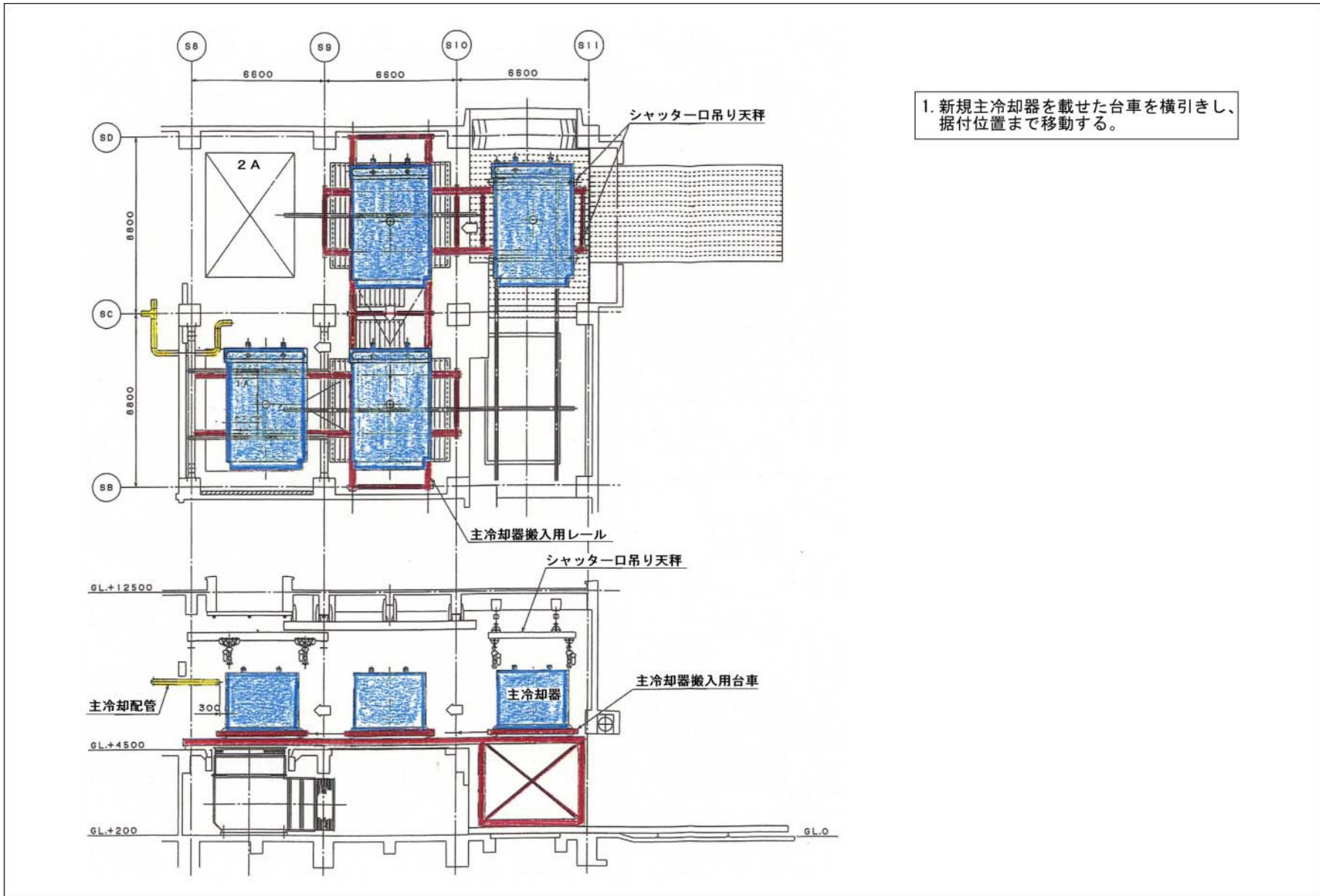


図 2.3 - 7 (3/4) MK - 用新主冷却器の搬入・据付概念図

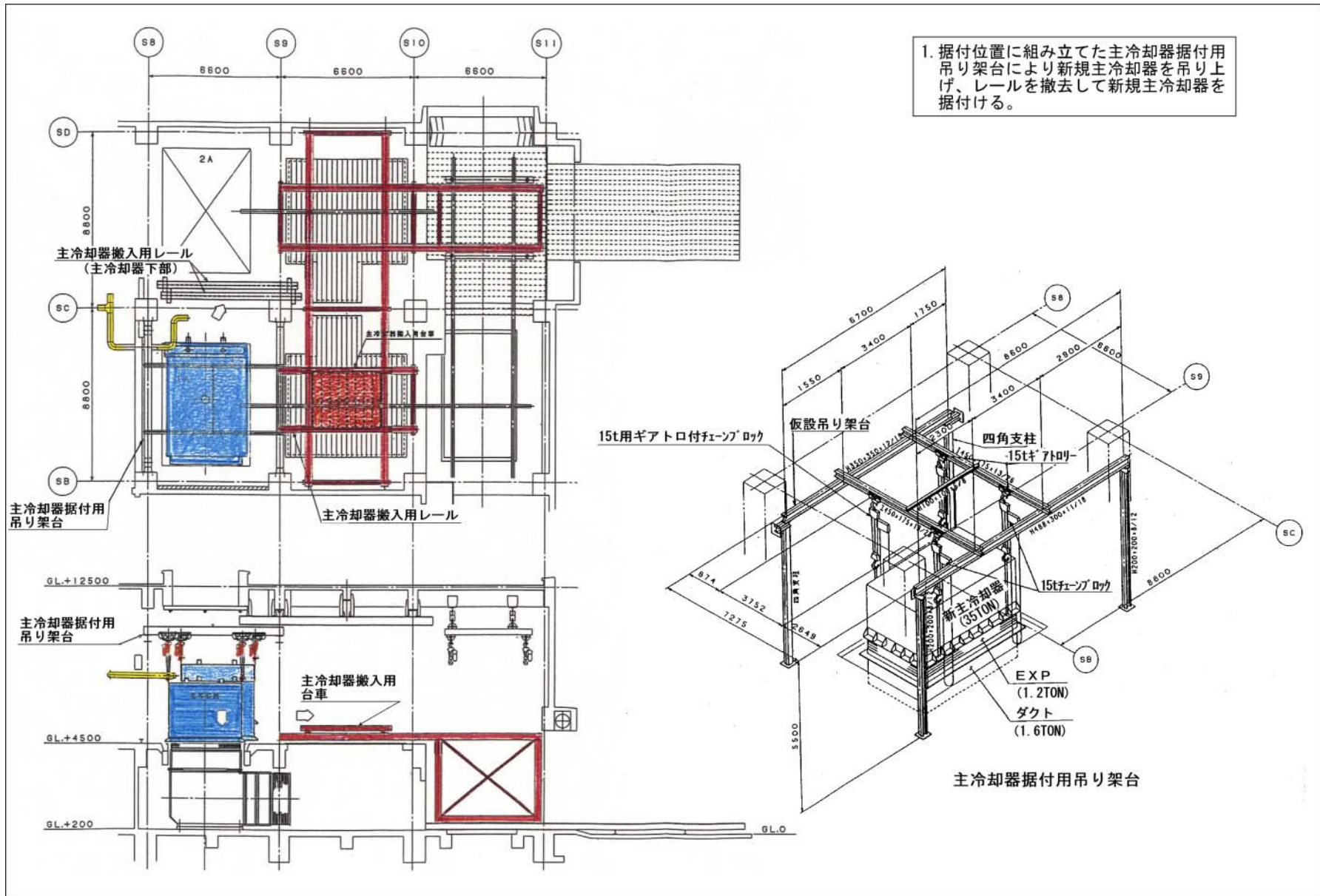


図 2.3 - 7 (4/4) MK - 用新主冷却器の搬入・据付概念図

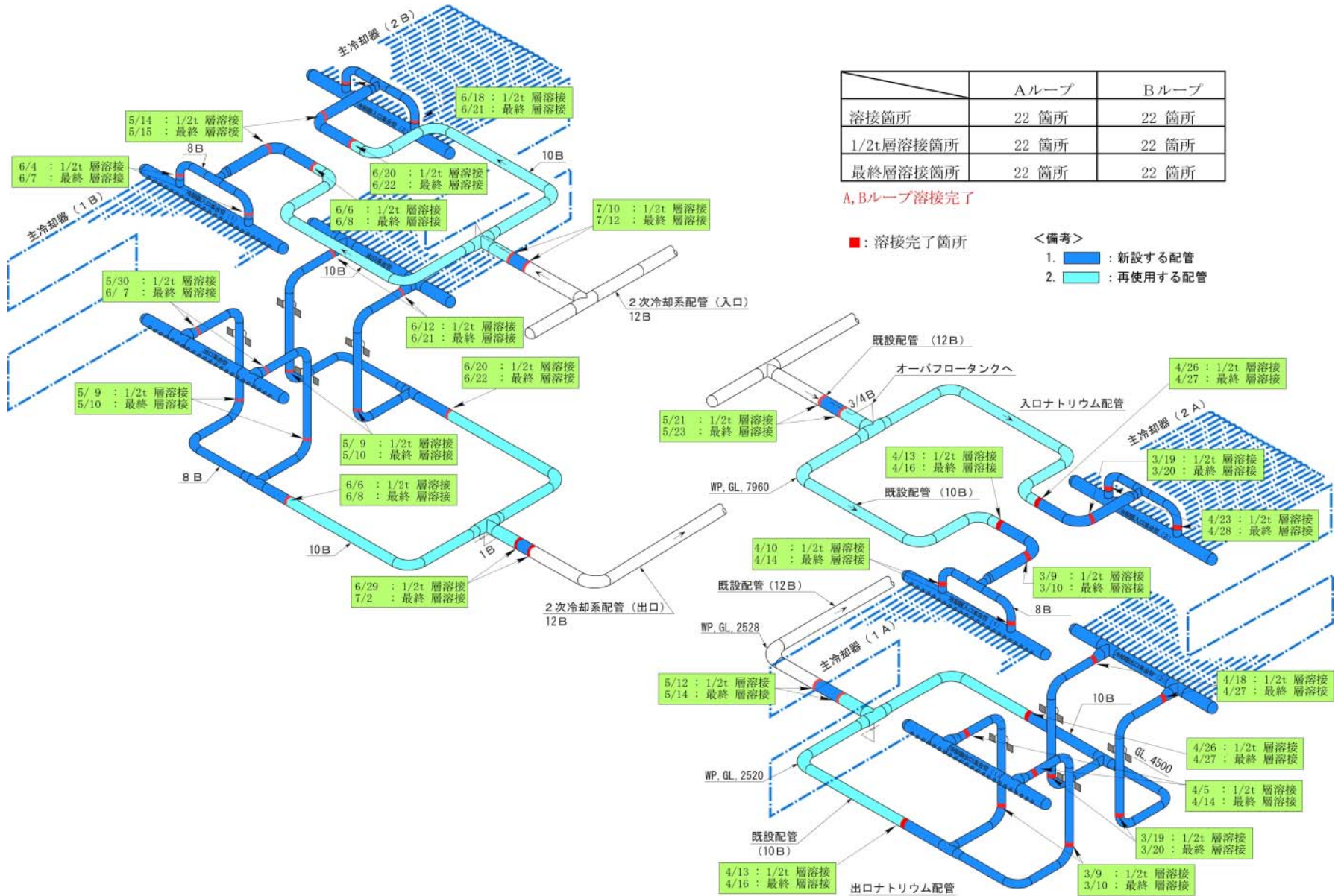


図 2.3 - 8 MK - 用新主冷却器接続配管の溶接位置

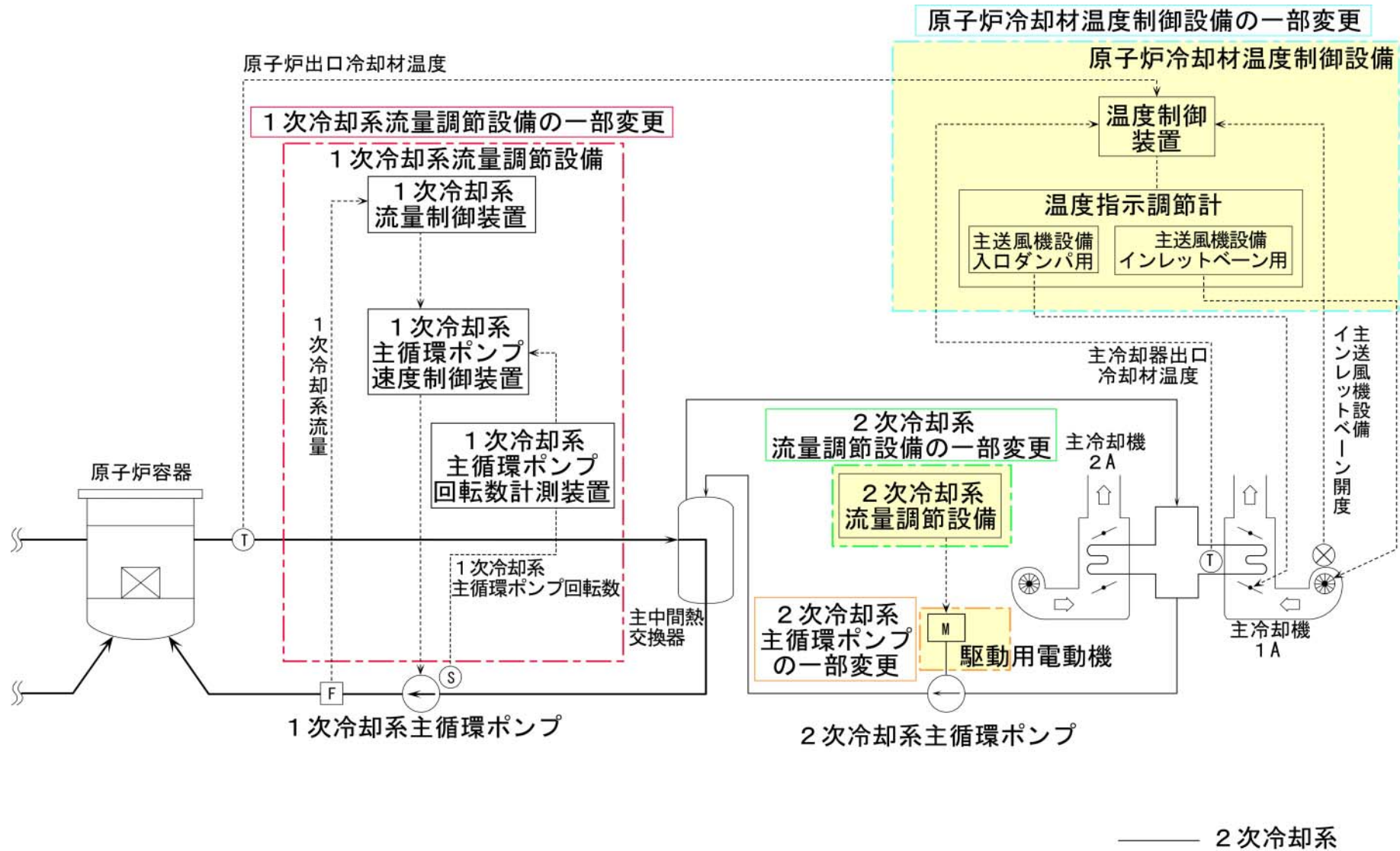


図 2.4 - 1 2次冷却系電気設備の改造範囲



図 2.4 - 2 2次冷却系電気設備改造工事の対象電気品（主冷却機建物）

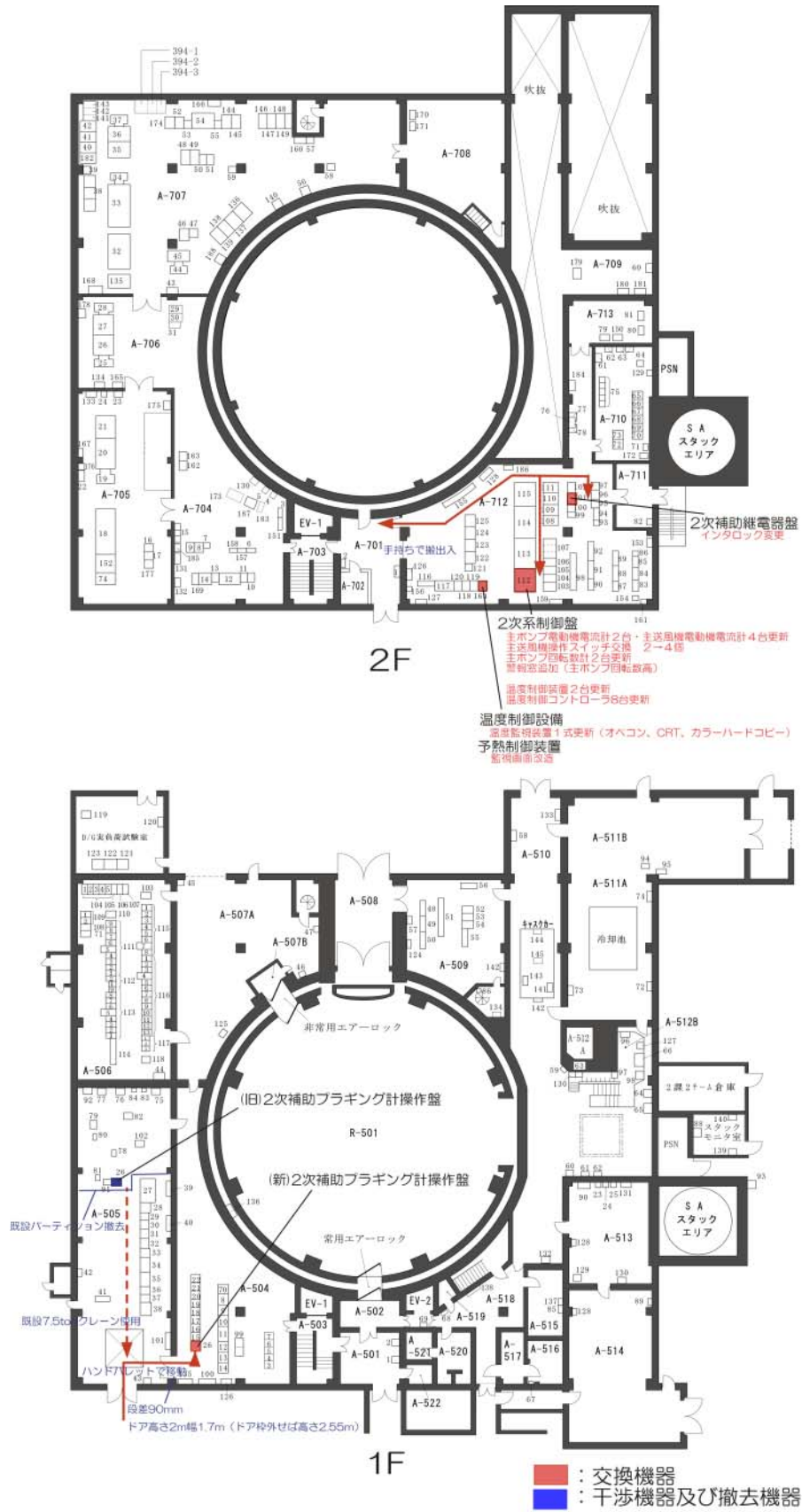


図 2.4 - 3 2次冷却系電気設備改造工事の対象電気品 (原子炉附属建物)

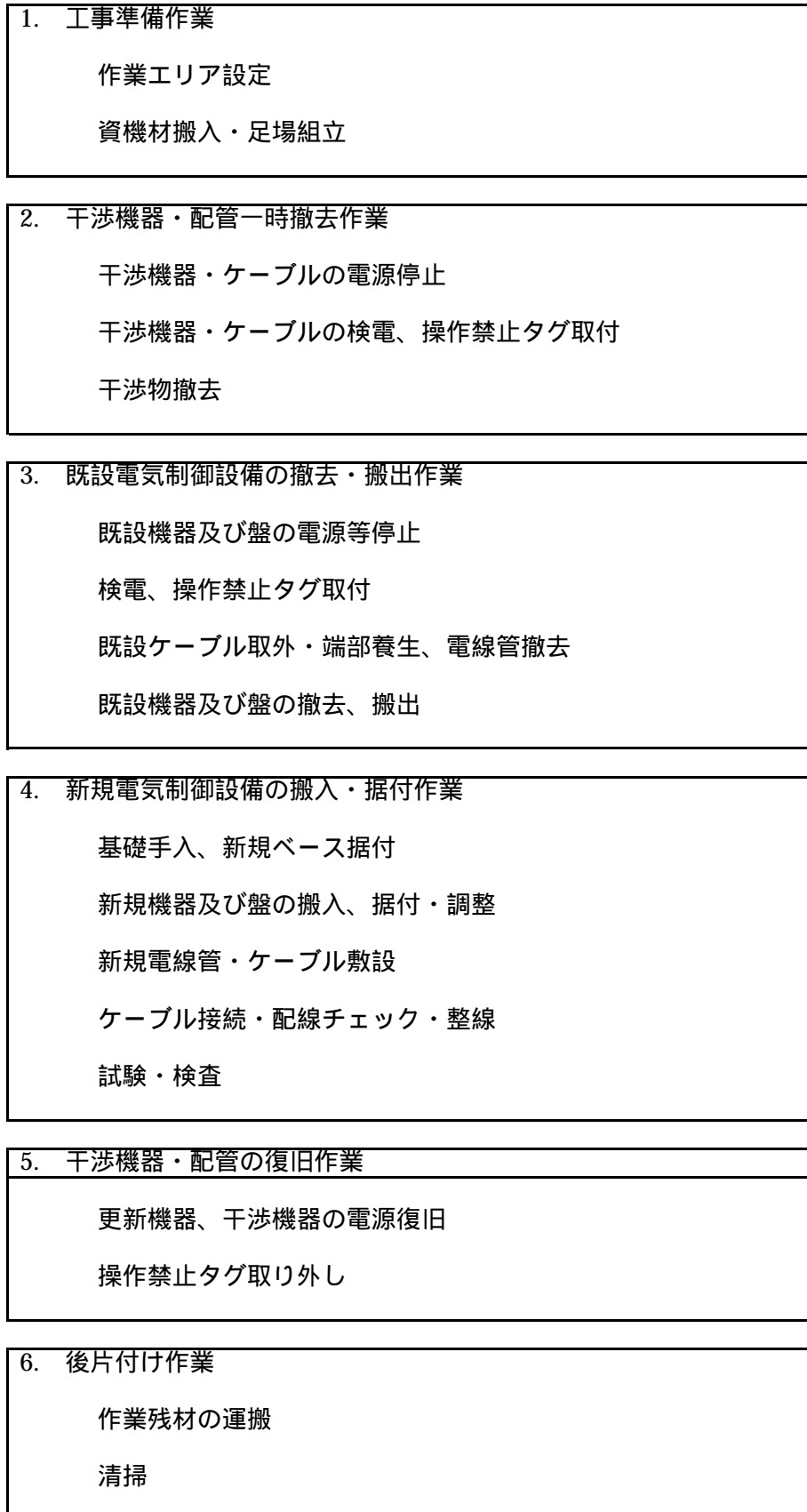


図2.4 - 4 2次冷却系電気設備の工事フロー

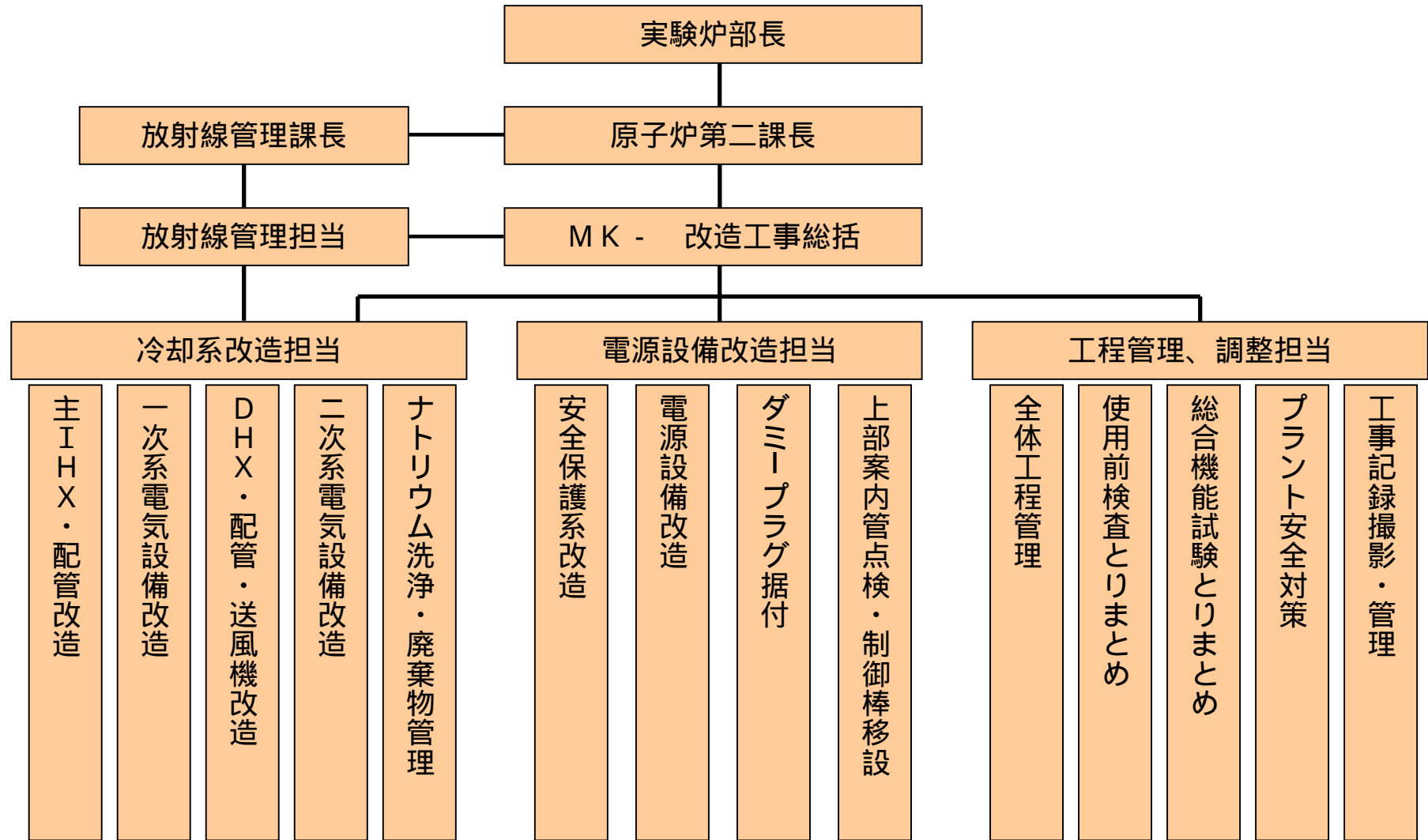


図 4.1 - 1 MK - 改造工事におけるサイクル機構内工事実施基本体制

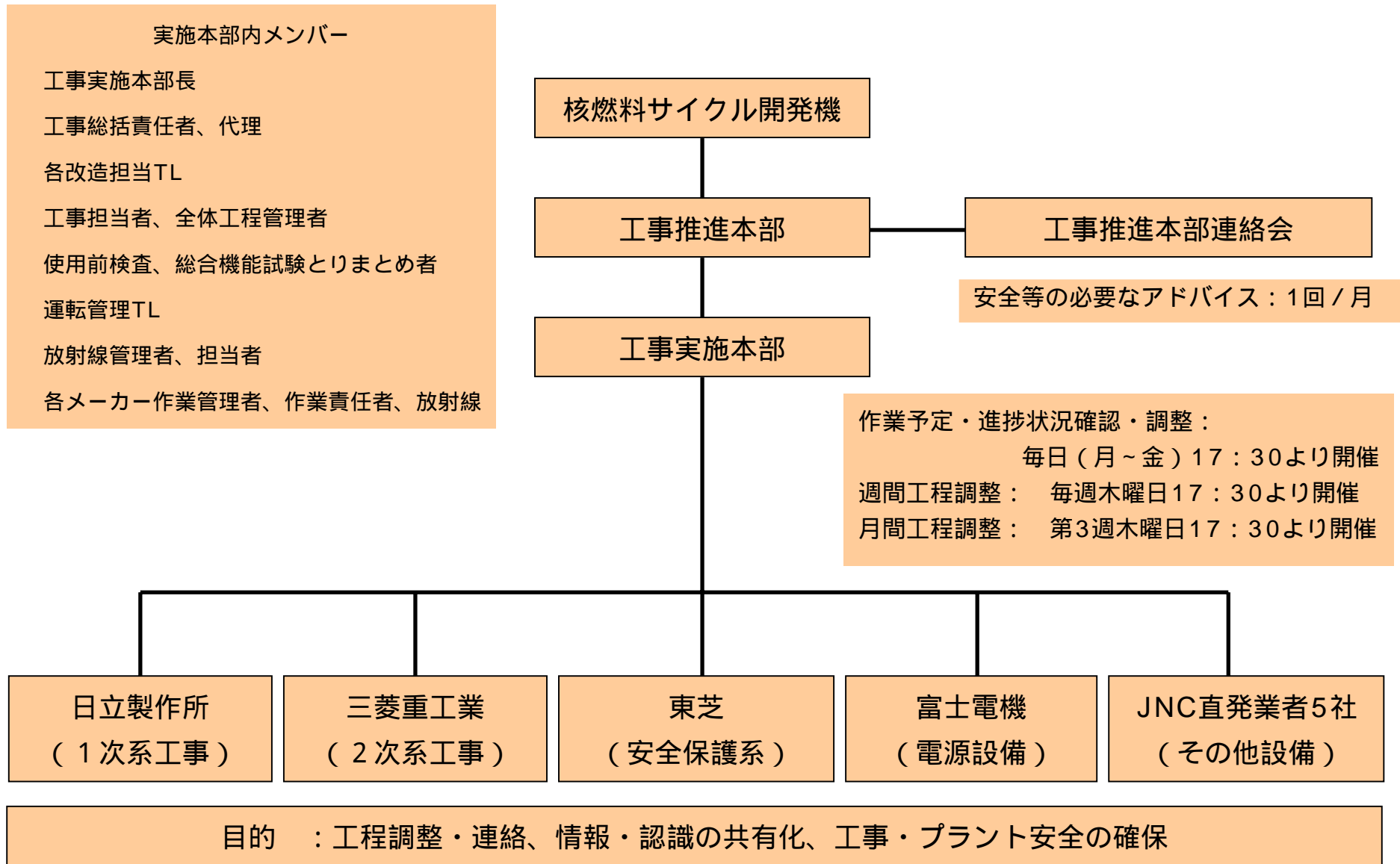


図 4.1 - 2 MK - 改造工事における工事実施体制

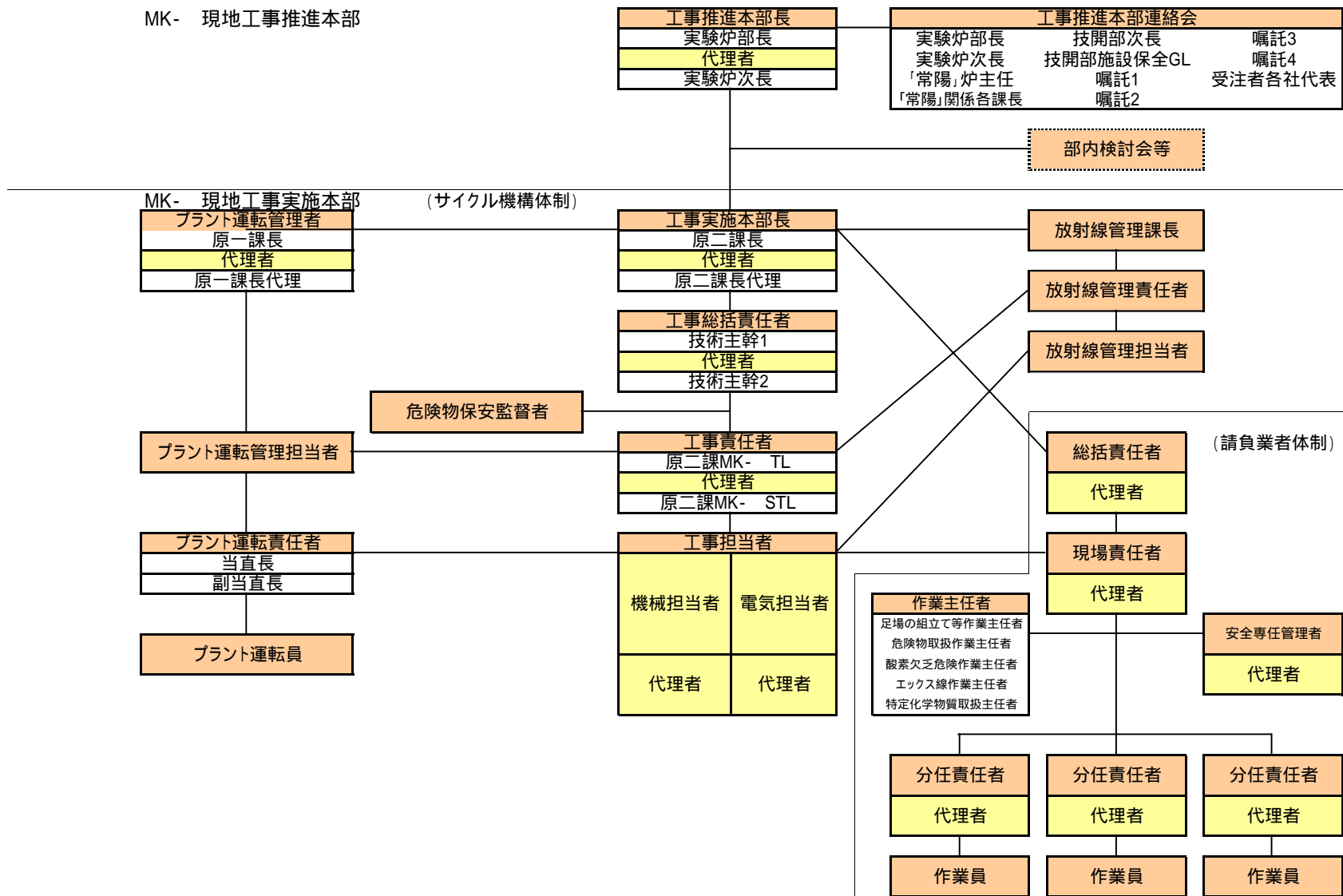


図4.2 - 1 1次冷却系改造工事の工事体制

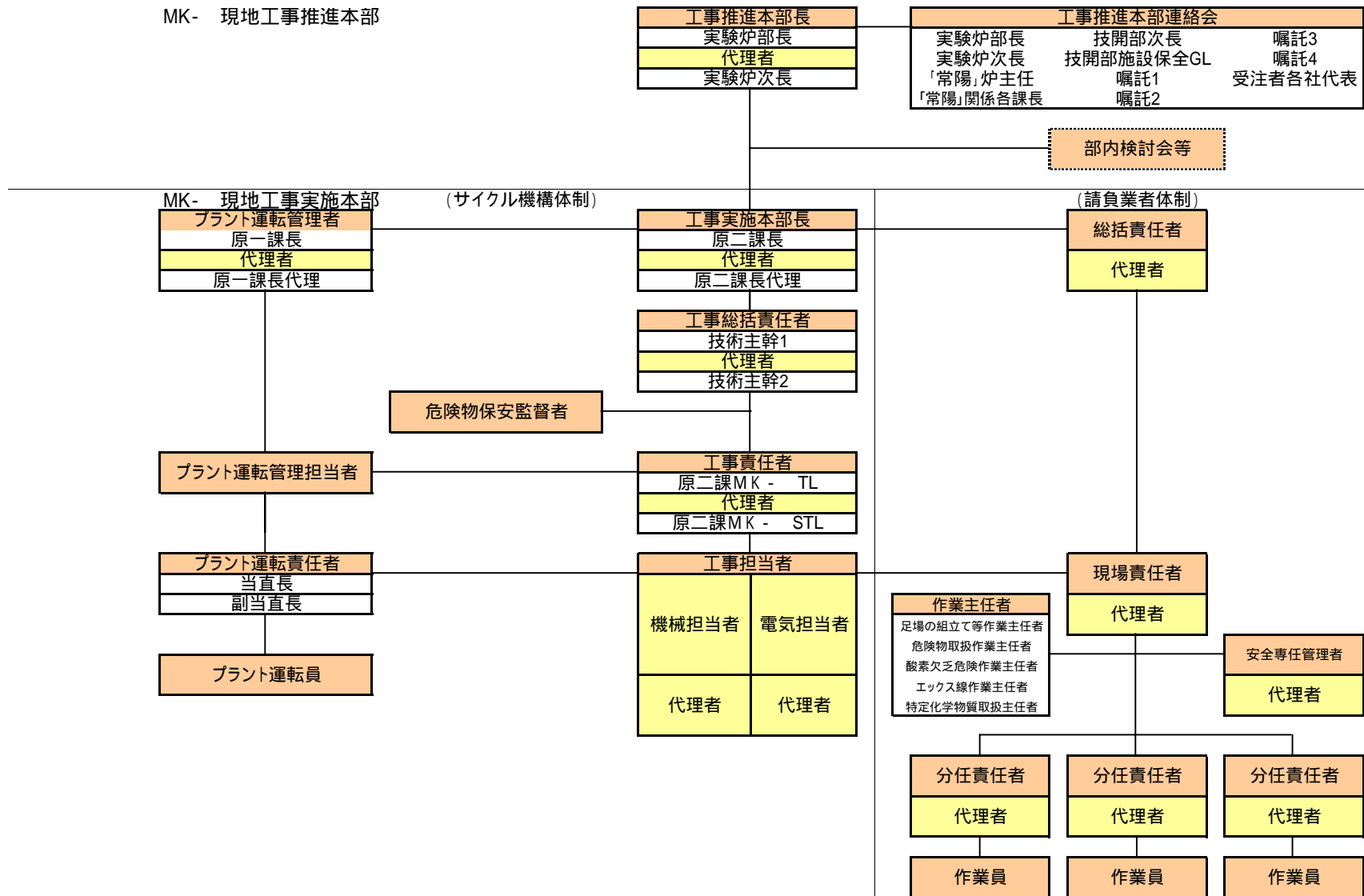


図4.3 - 1 2次冷却系改造工事の工事体制

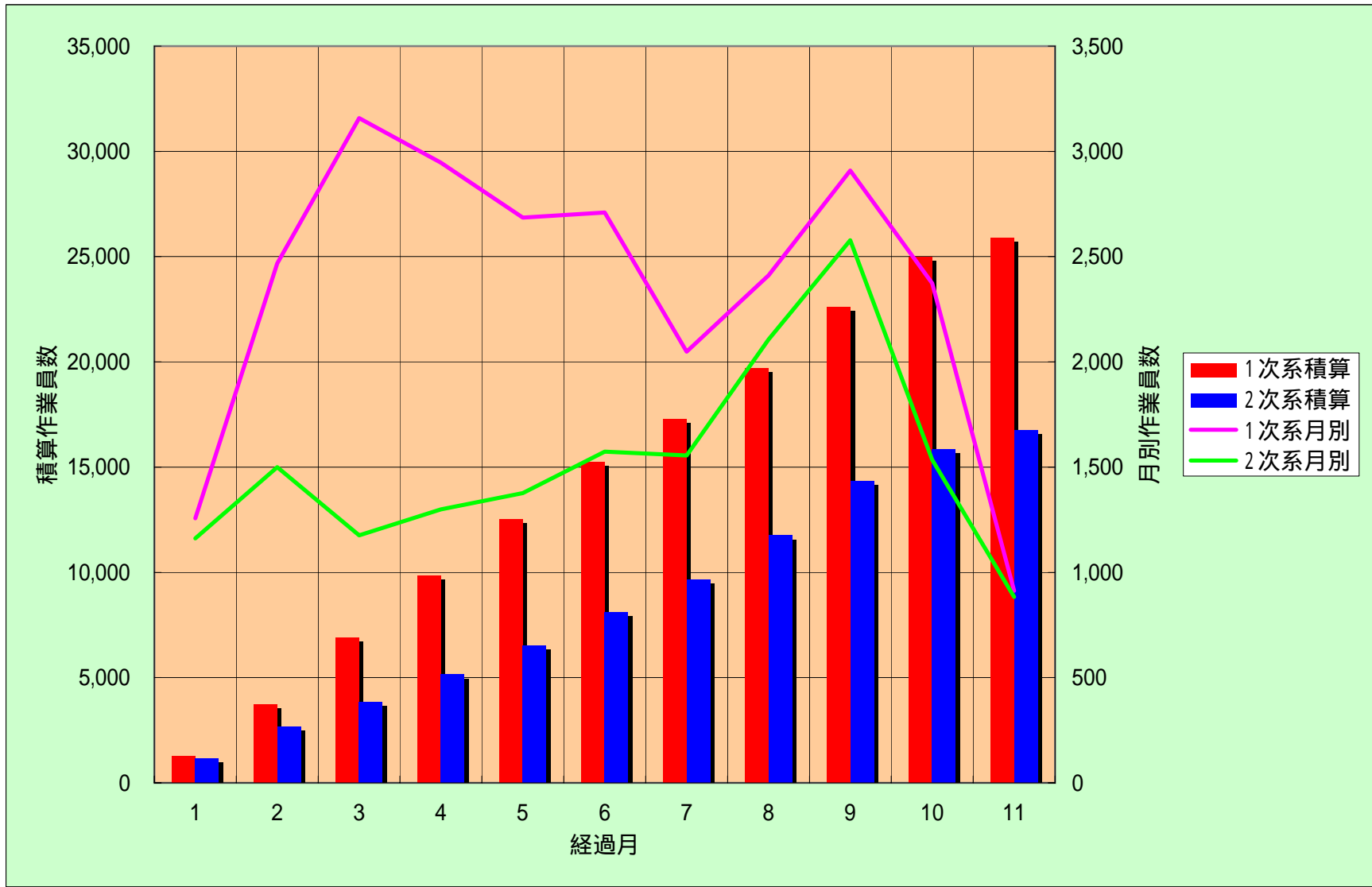


図4.5 - 1 MK - 冷却系改造工事における作業員実績

1. モックアップトレーニング
要素モデル及びフルスケールモデル
2. 仮設遮へい体の設置

仮設遮へい体
鉛マット：230枚、鉛板：220枚、鉛袋：80袋

- モックアップトレーニングの目的
作業員の被ばく低減化対策
1. 作業時間短縮のための最適作業要領選定
 2. 作業時の想定装備による作業要領確認
 3. 工事時作業メンバーによる作業習熟訓練
作業要領の確認
 1. 仮設遮へい体設置工法の検討
 2. 切断工法の確認
 3. 閉止板取り付け工法の確認とシール性の確認
 4. 溶接施工性の確認
 5. 溶接時カバーガス圧力設定値のサーベイ
 6. シールバック内ガス置換回数及び時間の確認
 7. シールバックのシール性の確認

モックアップトレーニングによる作業時間短縮割合

| | |
|----------------|-----------|
| 主中間熱交換器入口配管垂直部 | 8% (約-7h) |
| 主中間熱交換器入口ノズル部 | 8% (約-8h) |
| 主中間熱交換器出口配管水平部 | 6% (約-6h) |
| 主中間熱交換器出口ノズル部 | 4% (約-3h) |

仮設遮へい体による被ばく低減割合 **20%**

- 103 -

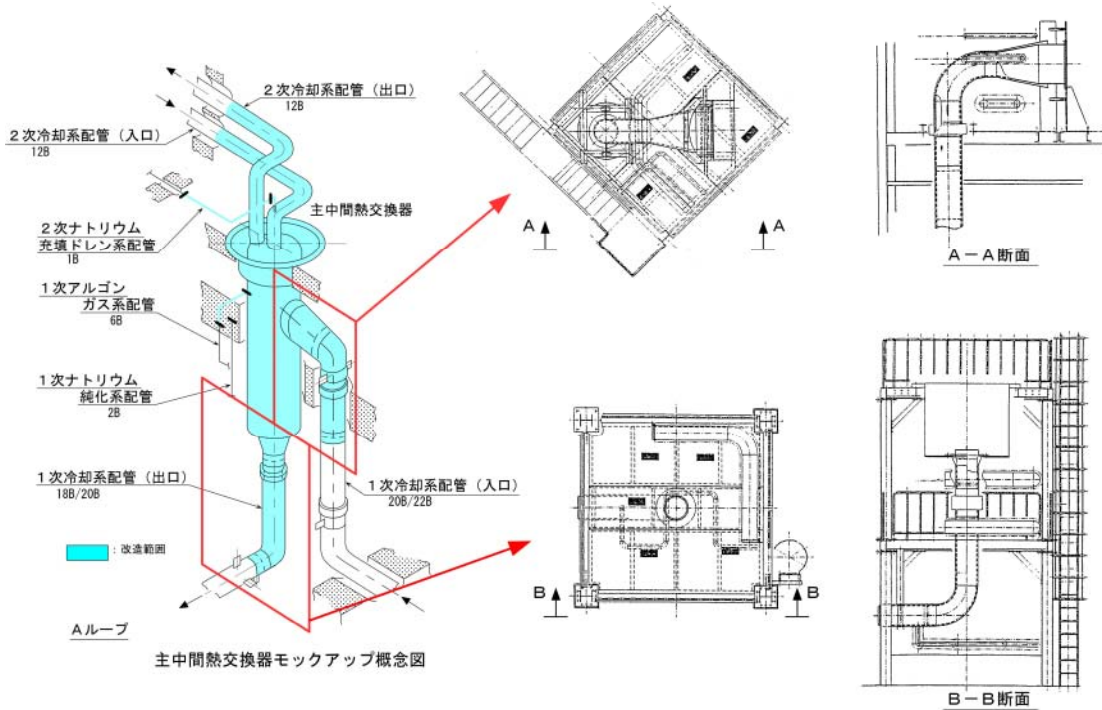
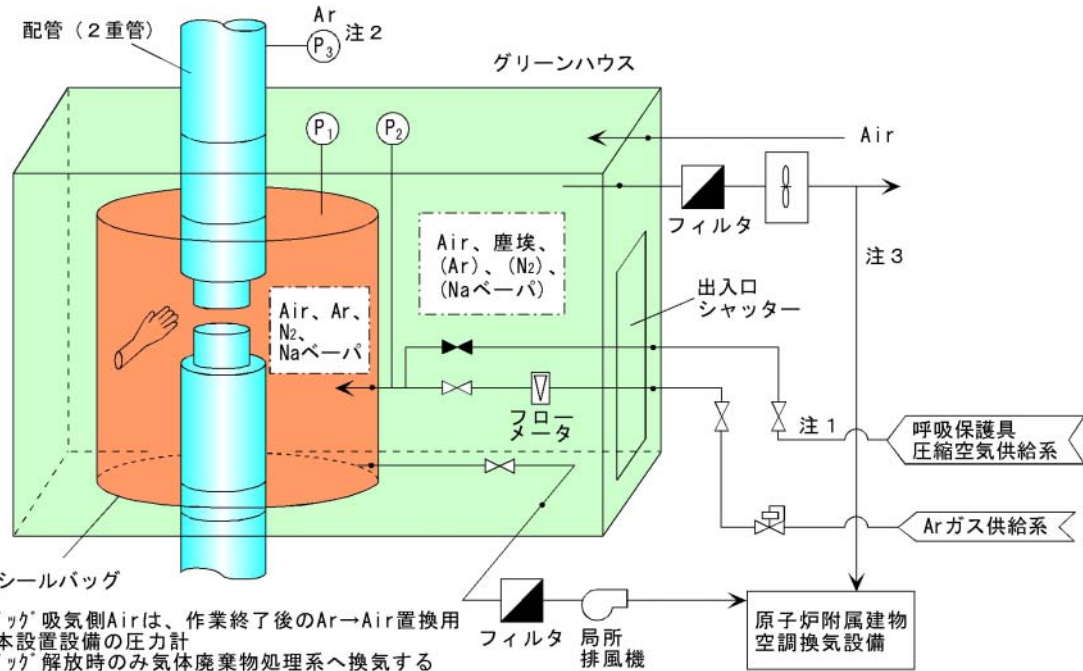


図 5.1 - 1 作業員の被ばく低減化対策

作業員汚染防止（エアラインマスク、タイベックススーツ使用）
 エリア汚染防止（シールバッグ、グリーンハウス、局所排風機使用）



注1：シールバッグ 吸気側Airは、作業終了後のAr→Air置換用
 注2：P₃は本設置設備の圧力計
 注3：シールバッグ 解放時のみ気体廃棄物処理系へ換気する

配管切断作業（板厚約2/3まではシールバッグなし）



タイベック+エアラインマスク
 （又はタイベックス+全面マスク）

図 5.1 - 2 作業員及び作業エリアの汚染防止対策

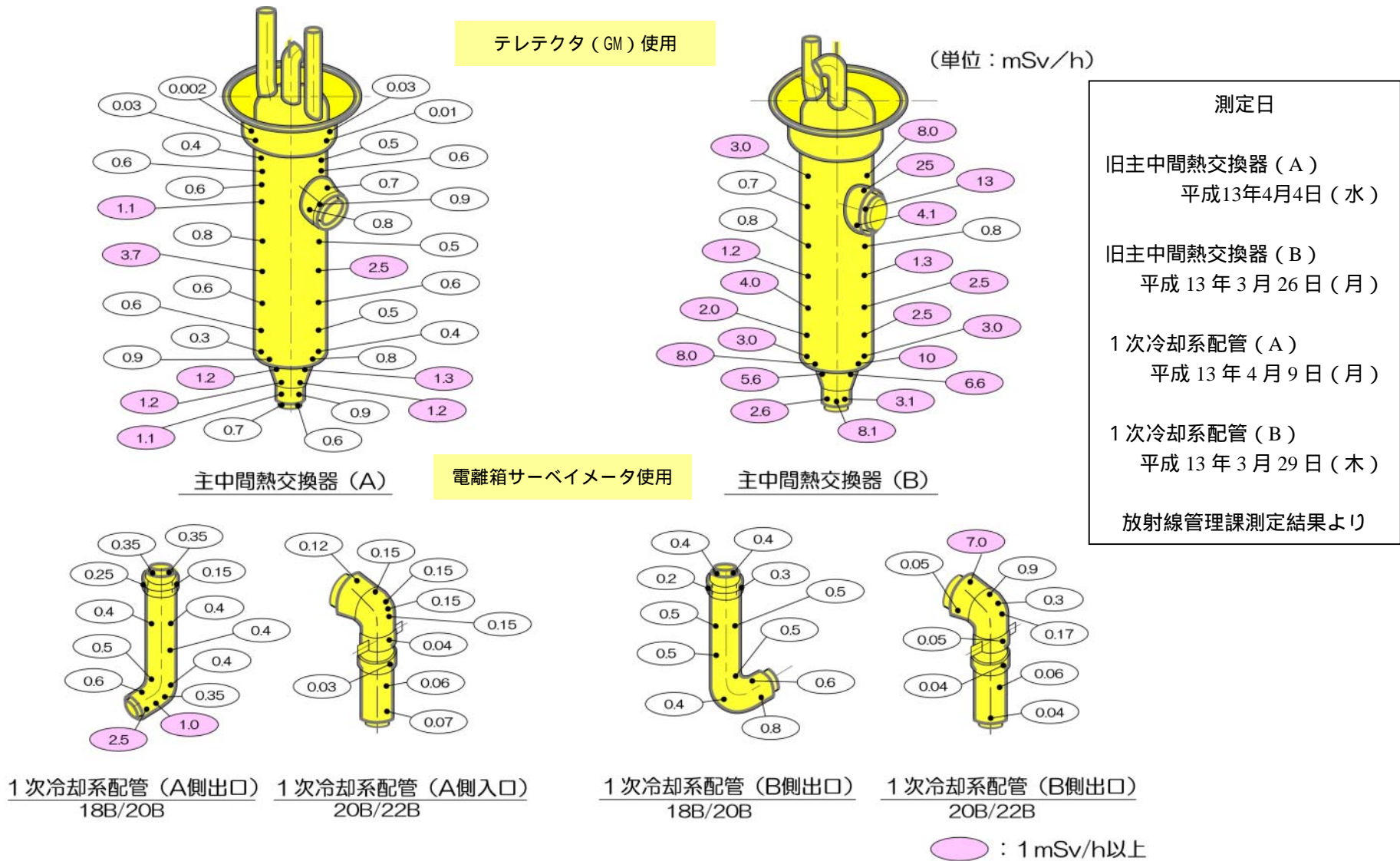


図 5.1 - 3 旧主中間熱交換器及び接続1次系配管の表面線量率

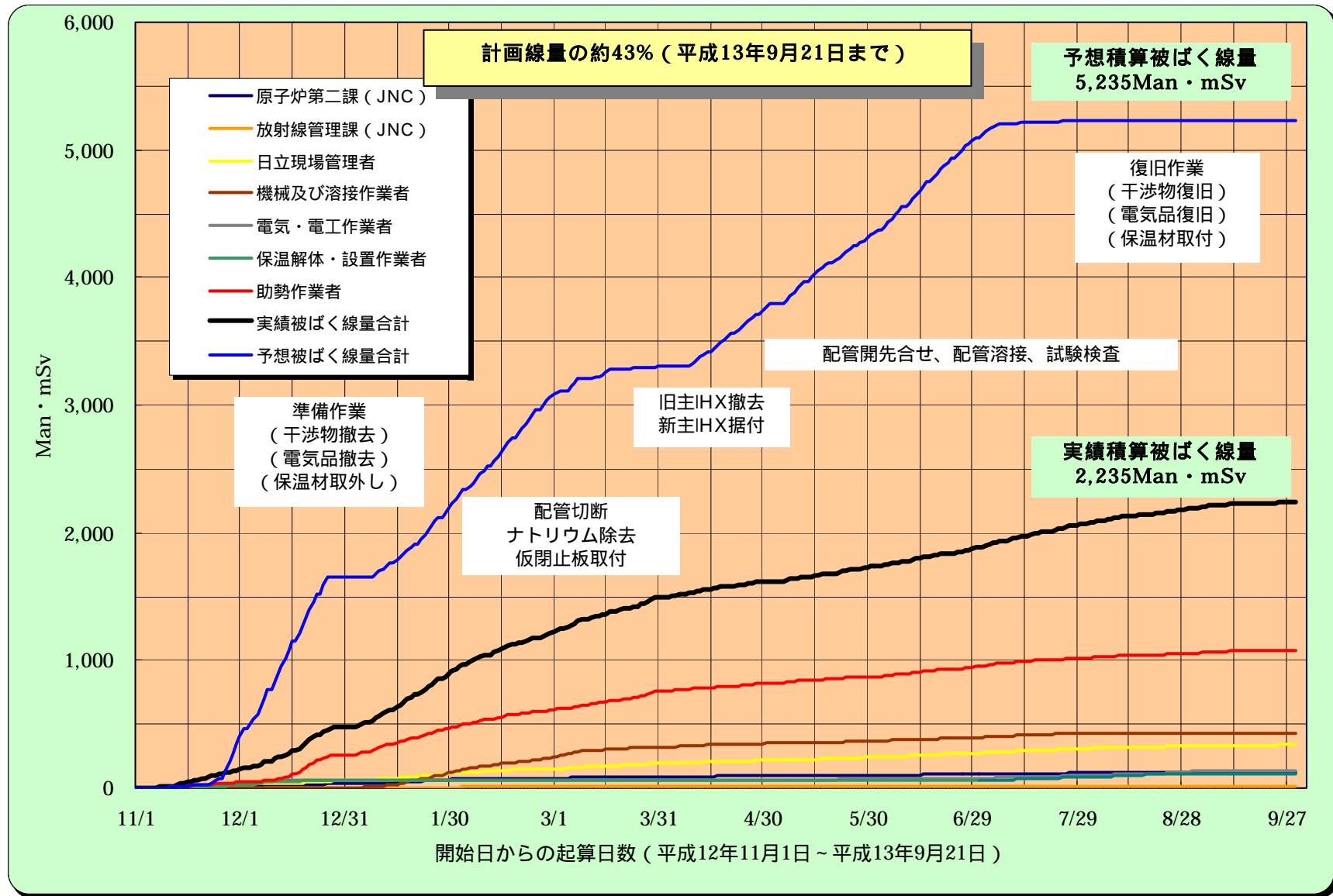
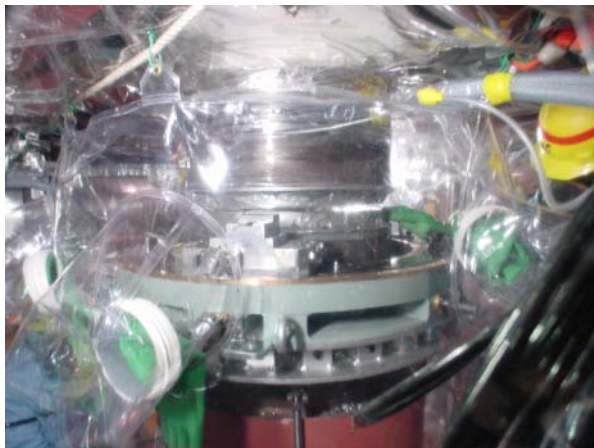


図 5.1 - 4 MK - 冷却系改造工事の被ばく線量

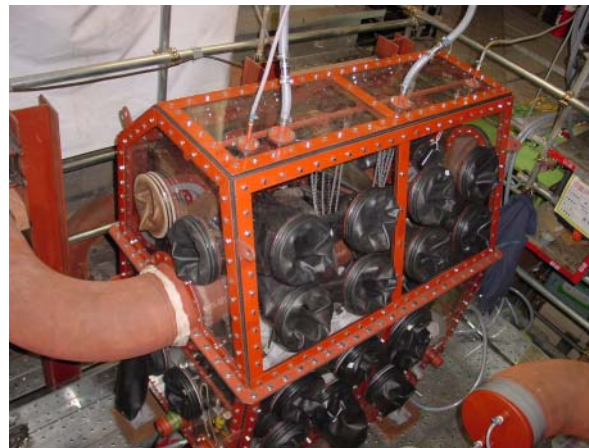
シールバッグ（又はグローブボックス）の使用

シールバッグ中の濃度管理値： O₂ 1,000ppm以下（実質500ppm以下）
 系統内カバーガス中の濃度管理値： O₂ 300ppm以下
 : N₂ 1,200ppm以下

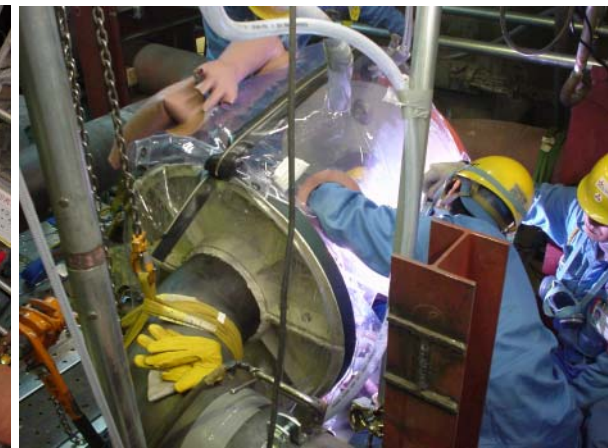
シールバッグ内 : 作業前Arガス置換（グローブ、Na回収缶内同時置換）
 作業期間中 : 給排気の実施による圧力一定保持（シール部漏えい量ゼロでないため）
 バウンダリ開放作業 : 作業開始～仮閉止まで連続作業（バウンダリ開放状態で夜間放置禁止）



1次系改造工事用シールバッグ



2次系改造工事用グローブボックス
（切断及び自動溶接用）



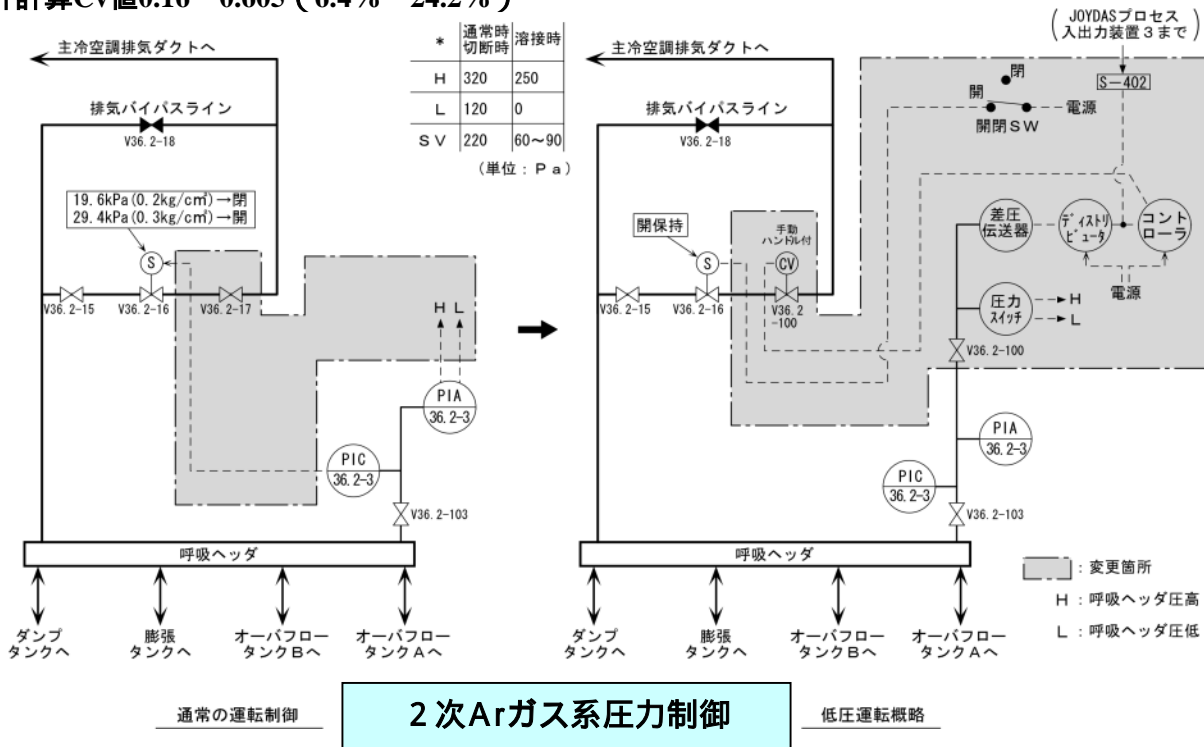
2次系改造工事用シールバッグ
（開先合せ及び手動溶接用）

図 5.2 - 1 系統内酸素混入防止対策

配管切断：300Pa以下で制御できること
 シールバッグ及びグローブボックス破損防止対策及び作業性
 配管溶接：100Pa以下で制御できること
 溶接1パス目最後（バウンダリが閉鎖される部分）の健全性確保

既設配管1B 低圧調節弁1/2B

定格Cv値2.5（適正制御範囲Cv値3%～60%） PID制御定数 P：40%、I：15sec、D：2sec
 設計計算Cv値0.16～0.605（6.4%～24.2%）



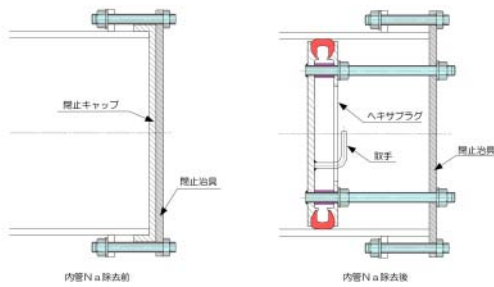
1次Arガス系
 通常：約300～700Pa制御
 低圧：約150～300Pa制御
 1次系バウンダリ開放作業
 約50～200Pa手動制御

2次Arガス系
 通常約20～30kPa制御
 MK - 冷却系改造工事前に極低
 圧運転可能な制御系を追加
 2次系バウンダリ開放作業
 約60～220Pa自動制御

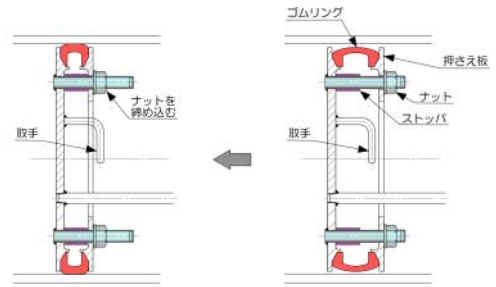
図 5.3 - 1 系統内カバーガス低圧制御

仮閉止条件：耐圧性（カバーガス圧力に対して裕度を有する）
 1次冷却系配管：配管切断時：配管キャップ、既設配管撤去・Na除去後：ヘキサプラグ
 2次冷却系配管：配管切断・Na除去時：ヘキサプラグ、開先合せ時：配管キャップ

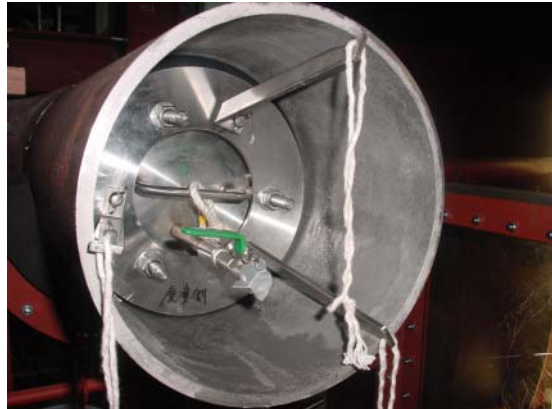
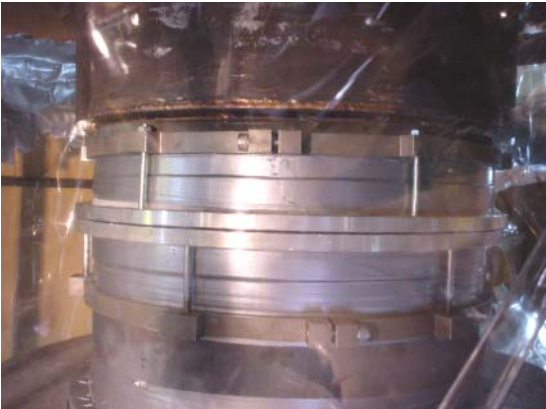
1次系



2次系



仮閉止治具の耐圧
 閉止キャップ+閉止治具 : 10kPa
 ヘキサプラグ : 35kPa



切断時の閉止キャップ+閉止治具（左）ヘキサプラグ（右）

切断時のヘキサプラグ

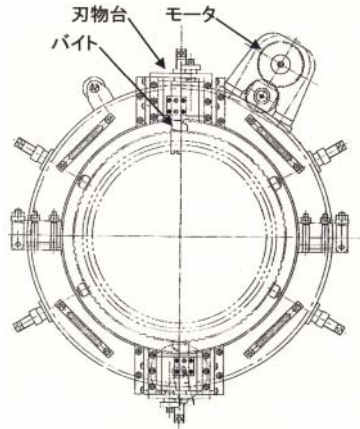
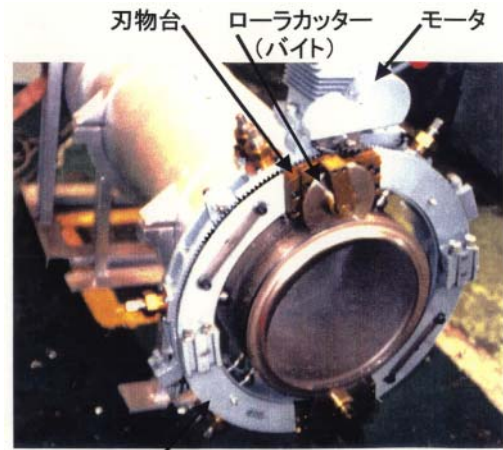
図 5.3 - 2 配管切断部の仮閉止治具

系統内への切粉混入防止（異物管理）

水平切断部 : Na除去時にバイト切削切粉除去
 垂直切断部 : 切断手順の切替による切粉混入防止

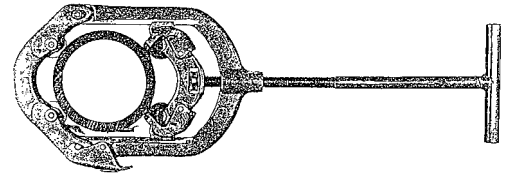
1次冷却系配管（系統側先行切断）

系統側垂直部
 板厚2/3までバイト切削
 残り1/3ローラカッターによる押し切り
 系統側水平部
 バイト切削
 Na除去時切粉回収



切断機本体

切断機（二分割配管切断機）
 バイト切削 + ローラカッター押し切り



パイプカッター（6B以下の小口径配管切断用）

2次主冷却系配管

切断位置：すべて水平配管
 バイト切削
 Na除去時切粉回収

図 5.4 - 1 配管切粉混入防止対策

Na除去時における異物管理とNa除去
 既設垂直配管Na除去時の治工具の落下防止対策
 溶接部近傍のNa除去及び洗浄管理



既設垂直配管治工具落下防止



主IHX接続 2次系配管Na掻き出し

2次系Na処理量
 DHX：4.8kg、配管：0.6kg、
 IHX側配管：7.8kg

最終洗浄ウェスNa付着量
 $1 \times 10^{-2} \text{mg/cm}^2$ 以下

Na除去・洗浄治具
 上段：1次系改造工事用
 Na（アルコール+水）洗浄液、
 Na回収缶、ヘラ、ドリル、Na
 洗浄ウェス
 下段：2次系改造工事用
 Na（アルコール+水）洗浄液、
 Na回収缶、ステンレス受皿、
 Na掻き出し棒、Na洗浄棒



図 5.4 - 2 配管内治工具落下防止対策及びナトリウム洗浄治具

オーステナイト系ステンレス鋼 (SUS304TP) 1次主冷却系配管

ナトリウム浸漬による延性低下及び強度増加は顕著でない

新 - 旧配管溶接部の健全性に問題なし

21/4Cr-1Mo鋼 (STPA24)

2次主冷却系配管

温度400 以上のナトリウム環境で熱時効、脱炭により材料の機械的強度特性が変化

撤去配管した主冷却器入口 (高温側) と新管との溶接を実施して機械試験片製作

新 - 旧配管溶接部機械的特性試験等を実施

(外観観察、磁粉探傷試験、断面マクロ・ミクロ観察、硬さ試験

引張試験 (室温、高温)、衝撃試験、曲げ試験)

| 機 械 試 験 結 果 | 温度 | 採取位置 | 配管仕様 | 0.2%耐力 (N/mm ²) | 引張強さ (N/mm ²) | 伸び (%) | 破断位置 |
|----------------------------|----------|------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------|------|
| | 室温 22 | 撤去配管 | STPA24 10B × Sch40 | 307 318 | 541 542 | 25.6 26.0 | A |
| | | 溶接部 | | 348 345 | 566 566 | 20.8 20.4 | 母材 |
| | | 新規配管 | | 337 336 | 547 544 | 26.4 26.8 | A |
| | 室温 / 470 | BDS | | 205 / 175 | 410 / 365 | 10.0以上 | |
| | 470 | 撤去配管 | STPA24 10B × Sch40 | 264 249 | 401 397 | 25.2 28.0 | A |
| | | 溶接部 | | 289 285 | 435 433 | 16.0 16.8 | 母材 |
| | | 新規配管 | | 258 267 | 427 433 | 26.0 25.6 | A |

破断位置Aは、標点間の中心から標点距離の1/4以内で破断したことを示す

図 5.5 - 1 新配管と旧配管溶接部の構造健全性に対する対応と機械試験結果

目的

1. 長期的に荷重が負荷されていた材料の機械的特性の把握
2. これまでの「常陽」サーベイランス試験データの補充
3. 新 - 旧配管溶接部の構造健全性の再確認
4. 構造材料の余寿命評価の研究開発（要素技術開発部新材料研究Grテーマ）

試験依頼：要素技術開発部 新材料研究Gr

試験対象品及び試験項目

1 次主冷却系配管

対象品：母材部（SUS27TP）、溶接部（SUS27TP - SUS27TP）

試験項目：金相試験、新 - 旧配管溶接部（新管溶接実施）機械的特性（引張、硬さ、クリープ）

2 次主冷却系配管

対象品：母材部（STPA24）、溶接部（STPA24-STPA24）

試験項目：金相試験、新 - 旧配管溶接部（新管溶接実施）機械的特性（引張、硬さ、クリープ）

主冷却器伝熱管

対象品：母材部（STBA24）、フィン付母材部（STBA24）

試験項目：減肉量（空気側、Na側）、金相試験、機械的特性（引張、硬さ、クリープ）

2 次プラグング計

対象品：ユニット内配管（SUS27TP）

試験項目：サーマルストライピング観察（外観観察、RT、内外表面PT、溶接金属表面拡大観察）実施済
：可能な範囲で機械的特性試験

図 5.5 - 2 撤去配管等のサーベイランス試験計画

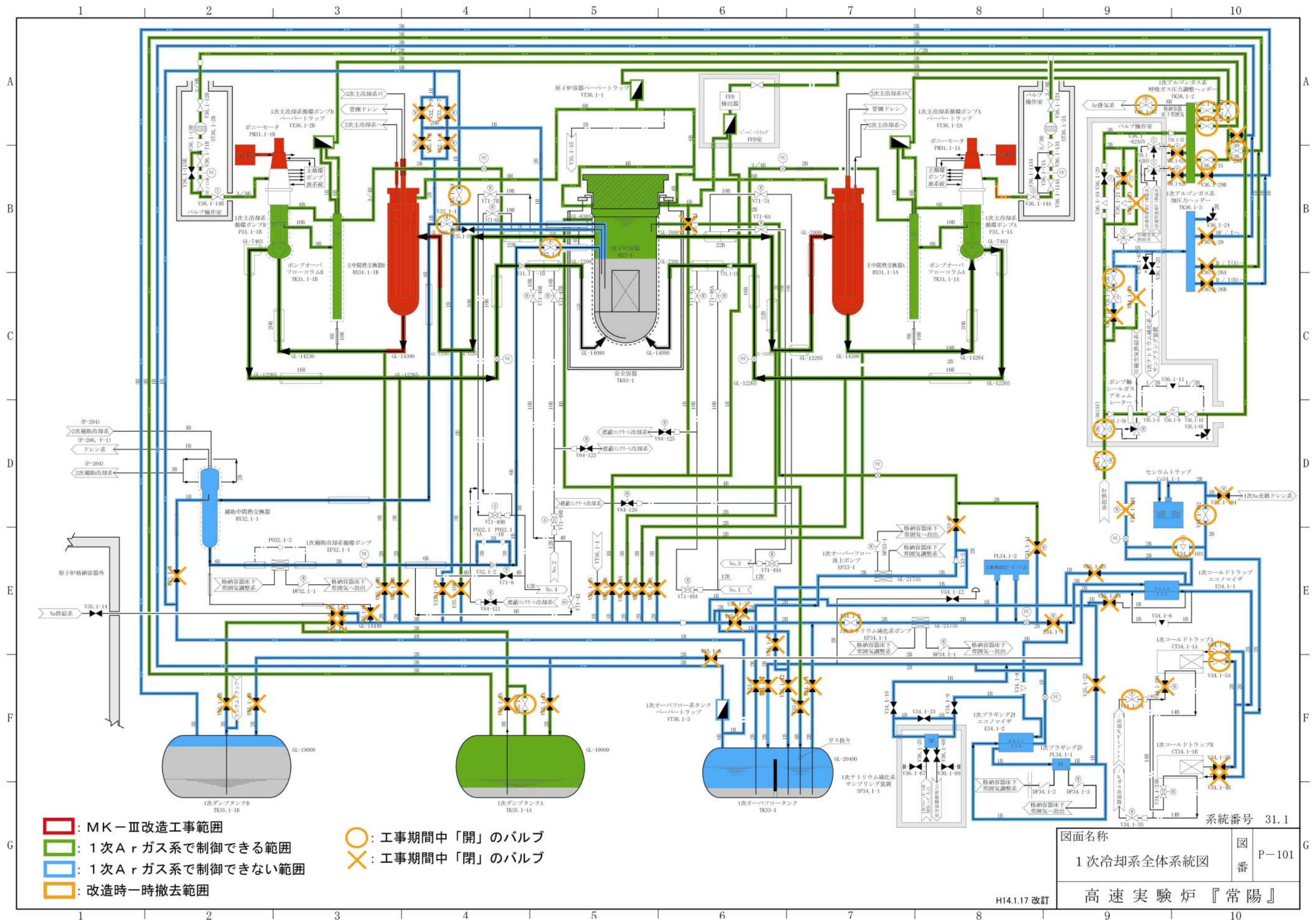


図 6.2 - 1 MK - 1次冷却系改造工事におけるプラント状態

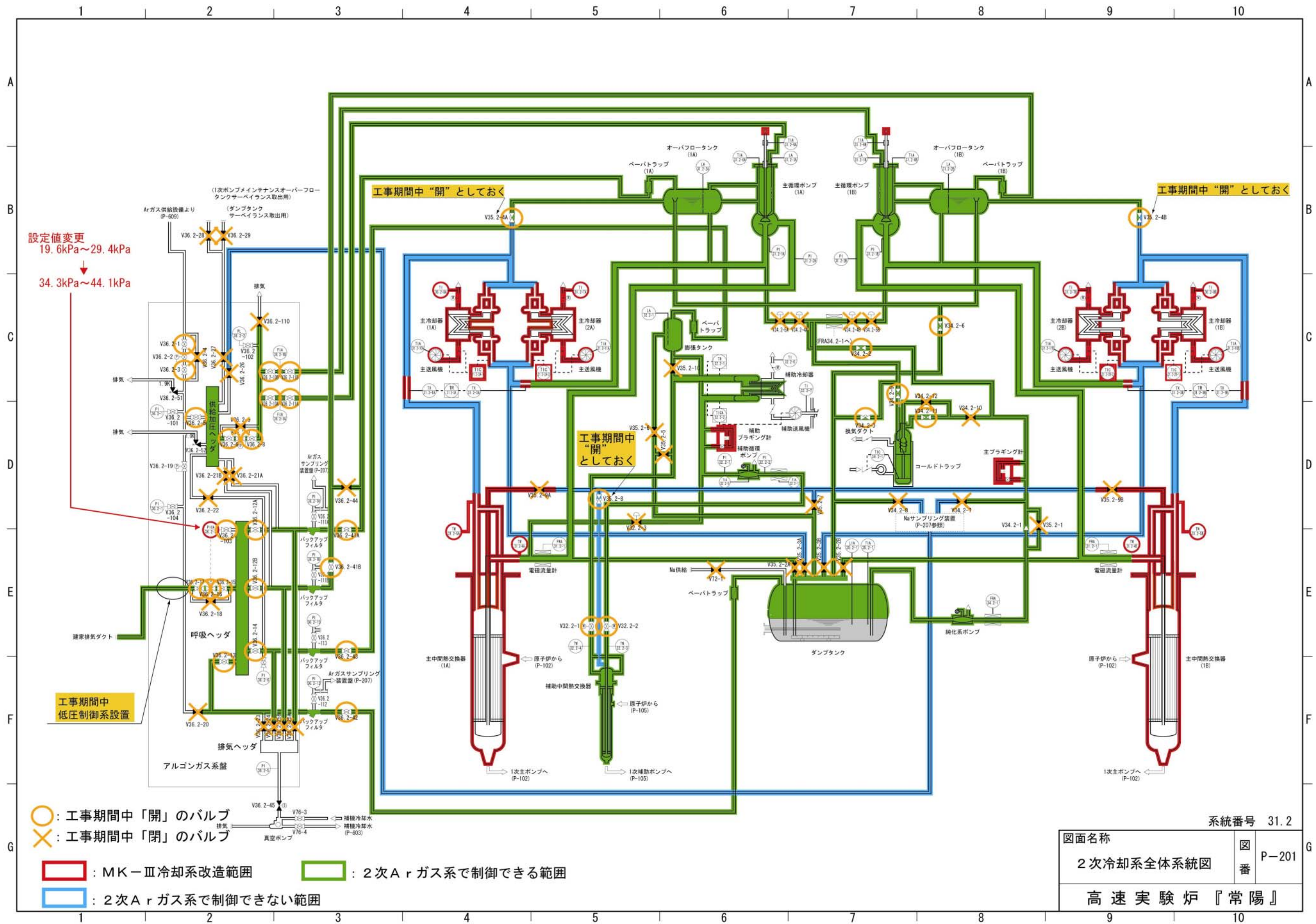


図 6.2 - 2 MK - 2次冷却系改造工事におけるプラント状態

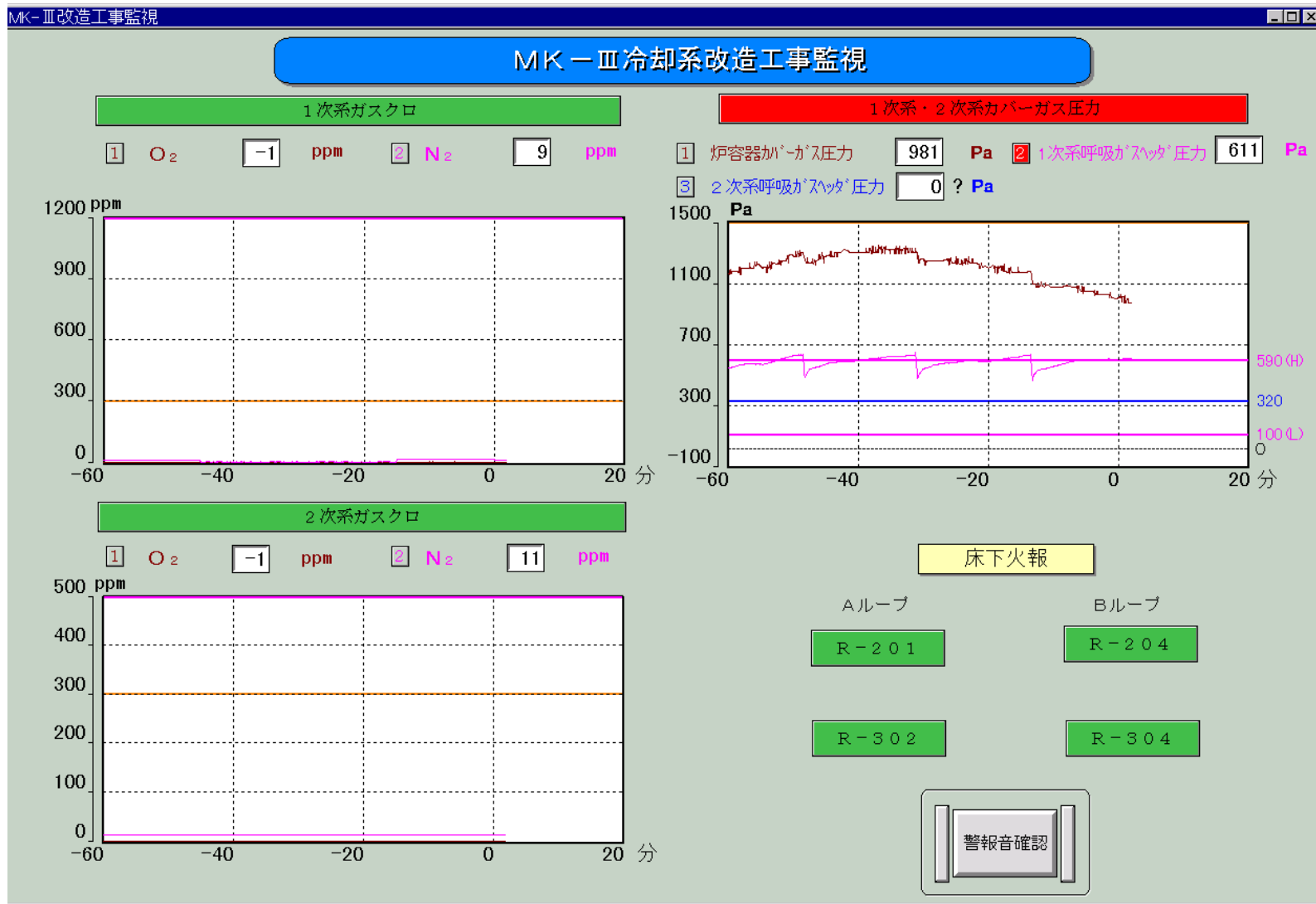


図 6.2 - 3 JOYDAS「MK-III冷却系改造工事監視」画面

添付資料 1

M K - 冷却系改造工事中におけるプラント安全確保について

添付表 1 - 1 MK - 冷却系改造工事中のプラント安全確保について (1/6)

| | 系 統 | 基本プラント条件 | 工事上の理由 | 安全上問題となる事項 | 対応計画 | 添付資料 |
|---|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 原子炉状態 | 崩壊熱除去及び予熱確保のため予熱窒素ガス系炉容器ループ側の通気ができること。また、燃料の取り出しにより炉内Naの自然循環経路を確保しておく。 | 予熱窒素ガス系炉容器ループ側の通気により炉内Na温度が上昇しない崩壊熱になってから工事を開始する。したがって、原子炉の崩壊熱が炉停止～配管切断（切断前までに補助系もドレン）開始の期間内に十分低下し、ドレン以降、予熱窒素ガス系みの運転で炉内温度が上昇しないような崩壊熱であることが必要となる。これまでの試験データでは、崩壊熱約30kWで予熱窒素ガス系炉容器ループ側を通気停止した場合に炉容器壁面温度(下部)が約190で安定したという結果が得られているが、集合体出口温度は約1/hrで上昇したことから、予熱窒素ガス系炉容器ループ側の通気が必要である。 | <p>崩壊熱除去手段のバックアップ</p> <p>遮蔽コンクリート冷却系については一部ラインが改造工事に干渉するため、改造工事開始前のNa充填中（予熱窒素ガス系停止中）に炉容器Aループ供給側予熱窒素ガス系との切換部の一部配管及び弁を一時撤去するが、閉止フランジ取付後は床下メンテナンスモードを除き運転可能である。ただし、補機冷却系や窒素ガス冷却器等の定検工程との調整が必要。また、補助系については、電磁ポンプ吐出圧によるNa漏出防止、2次補助プラグ計の交換及びMK-改造工事時の安全確保等のためドレン状態とする（「1次補助冷却系」、「2次補助冷却系」の項参照）。</p> <p>炉内ナトリウム温度低下</p> <p>予熱窒素ガス系停止時の対策をどうするか（「予熱窒素ガス系」の項参照）。</p> | <p>補助系は2次Arガス系低圧運転制御系の設置及び調整のため、崩壊熱50kW以下で停止するが、配管切断は、崩壊熱30kW到達後（平成12年12月13日以降）に実施する。</p> <p>配管切断開始後（30kW到達後）の崩壊熱除去は予熱窒素ガス系の炉容器ループ側の通気により行う。また、遮蔽コンクリート冷却系（床下メンテナンスモードを除く）を確保し、崩壊熱除去あるいは予熱確保の必要性に応じて運転、停止を行う。</p> <p>炉内自然循環で崩壊熱除去が可能となるNaチャンネルとして10列の3体を引き抜く。</p> | 添付図 1.1 - 1 改造工事撤去範囲 系統図（遮コン系） |
| 2 | 格納容器床下雰囲気 及び 格納容器床下雰囲気調整系 | <p>改造工事開始前の遮蔽コンクリート冷却系干渉物の撤去工事中はNa充填中であるが空気雰囲気であること（改造工事中はドレン状態）。</p> <p>原子炉容器ベーパーラップ冷却ラインを停止する。</p> | <p>当該干渉物撤去は予熱窒素ガス系が停止できるNa充填中に実施する必要がある。</p> <p>原子炉容器ベーパーラップ冷却ラインが主中間熱交換器の撤去・据付時に干渉する。</p> | <p>床下雰囲気</p> <p>Na充填中、床下空気雰囲気での作業安全確保。</p> <p>冷却ラインを撤去してもベーパーラップの性能上問題ないか。</p> | <p>床下干渉物撤去工事は、工事機材搬入を常用エアロックを開閉として実施し、機器搬出入口は開閉しない。工事中は、常用エアロックを通常状態に復旧して、格納容器パウンダリを確保したうえで床下空気雰囲気にて行う。（平成12年7月に工事は終了した）</p> <p>Naドレン後に冷却ラインのV84-207を閉としてベーパーラップ温度の上昇確認を実施し、この結果に応じて仮設ラインを設けるか判断する。</p> | 添付図 1.2 - 1 格納容器床下雰囲気調整系系統図 |

添付表 1-1 MK - 冷却系改造工事中のプラント安全確保について (2/6)

| | 系 統 | 基本プラント条件 | 工事上の理由 | 安全上問題となる事項 | 対応計画 | 添付資料 |
|---|---------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3 | 1次主冷却系 | 遮蔽コンクリート冷却系干渉物の撤去工事時はNa充填状態、主中間熱交換器の交換に伴う配管切断時はドレン状態であること。 | 工事開始前の遮蔽コンクリート冷却系干渉物撤去は予熱窒素ガス系が停止できるナトリウム充填中に実施する必要がある。また、主中間熱交換器の交換時には配管切断を行うためドレンが必要となる。 | <p><u>炉容器Naドレンレベル</u></p> <p>原子炉容器カバーガス圧と系統側(原子炉入口側)カバーガス圧との差圧により、切断した主配管側にNaが漏出するおそれがあるため、漏出しないレベルまで炉容器液面を下げるためのドレンを実施する必要がある。</p> <p><u>系統ガス圧の設定</u></p> <p>改造工事時は、配管切断及び溶接時における系統内への酸素混入防止及び溶接施工性の観点から、系統内ガス圧をシールバック内圧力より若干高めに管理することで考えているが、系統内からのアルゴンガス(トリチウム含む)放出の問題がある。</p> | Naドレンレベルについて、差圧によるNa漏出防止については十分な裕度があり上部案内管取扱ドレンレベル(GL-7500)で問題ないが、1次アルゴンガス呼吸ヘッダ小口径排気弁(V36.1-46)故障、炉容器カバーガス圧力計の精度等を考慮し、余裕をみて下部案内管取扱ドレンレベル(GL-8600)とする。系統内ガス圧を若干高めに管理する。シールバック取付状態においてはその耐圧性能から+200Pa程度で管理する。 | |
| 4 | 2次主冷却系 | ドレン状態であること。 | 主冷却器の交換に伴う配管切断を行うため。 | <u>カバーガスが流せない配管のガス管理</u> 2次主配管は、原子炉建物内主中間熱交換器出入口と主冷却機建物主冷却器出入口で切断されるため、一部配管ルートでカバーガスラインを形成できない。よって、このラインのカバーガス管理を考える必要がある。 | 主 IHX ドレン配管、DHX 入口側配管については弁の開操作によってガスラインを確保する。DHX 出口側配管、主 IHX 2次側出口配管については閉止ノズルをつけて管理する。詳細は今後の工事計画の中で明確化していく(原二課)。 | |
| 5 | 1次補助冷却系 | 改造工事前の遮蔽コンクリート冷却系干渉物の撤去工事時はNa充填状態、主中間熱交換器の交換に伴う配管切断時はドレン状態であること。 | 補助系運転時には、電磁ポンプ吐出圧が炉内下部プレナム部に作用し、切断した主冷却系入口側配管内に逆流し漏出するおそれがある。また、1次主冷却系配管切断時、補助系サイフォンブレイクライン電動弁の駆動用モータ電源が干渉するため電源ケーブルを一時撤去する。したがって、Na漏えいを想定した場合サイフォンブレイクが効かないためドレン状態であることが必要。 | <u>崩壊熱除去手段のバックアップ</u> 崩壊熱除去手段のバックアップとして、補助冷却系を確保できない。 | 崩壊熱 50kW 到達後に補助系をドレンし、その後の崩壊熱除去は予熱窒素ガス系の炉容器ループ側の通気により行い、バックアップとして遮蔽コンクリート冷却系(床下メンテナンスモードを除く)を確保する。 | |
| 6 | 2次補助冷却系 | ドレン状態であること。 | 2次補助プラグング計ユニットの交換作業を行なうためドレン状態とし、予熱ヒータを切とする必要がある。 | <u>崩壊熱除去手段のバックアップ</u> 崩壊熱除去手段のバックアップとして、補助冷却系を確保できない。 | 同上 | |

添付表 1 - 1 MK - 冷却系改造工事中のプラント安全確保について (3/6)

| 系 統 | 基本プラント条件 | 工事上の理由 | 安全上問題となる事項 | 対応計画 | 添付資料 | |
|-----|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 7 | オーバフロー系 | ドレン状態であること。 | 主中間熱交換器交換作業においてオーバフロー配管の配管支持装置が一部干渉し一時撤去するためドレン状態とし、予熱ヒータを切とする必要がある。なお、1次主循環ポンプセルピウス制御系盤(MK-にて更新)の据付時にオーバフロー電磁ポンプの誘導加熱盤が干渉するためケーブル取り外し及び一時撤去を行うが、IVR 盤側で電磁ポンプの予熱確保を行う。 | <u>オーバフロー電磁ポンプの予熱確保</u> IVR 盤による電磁ポンプの予熱確保の要領を明確にしておく必要がある。 | 誘導加熱盤移設後は、通常どおり IVR 盤側にて誘導加熱を行うため、仮設分電盤を設置して電源供給ラインを IVR 盤側に切替える。電源切換え作業には約1時間を要し、この間のダクト温度低下については過去のデータ(Na 充填中)から問題ないと考えられる。しかし、オーバフロー系電磁ポンプの点検のため、ちくわドレンを実施し、予熱を切とする。 | |
| 8 | 1次ナトリウム純化系 | ドレン状態であること。また、主中間熱交換器(A)に接続されている緊急汲み上げラインの予熱ヒータを切とすること。 炉容器、オーバフロータンク、ダンプタンク内Naの純化はしない。 | 主中間熱交換器(A)へのラインを一部撤去し、閉止キャップを取り付ける。なお、1次主循環ポンプセルピウス制御系盤(MK-にて更新)の据付時に1次ナトリウム純化電磁ポンプの IVR 盤が干渉するためケーブル取り外し及び一時撤去を行うが、誘導加熱盤側に切換えて電磁ポンプの予熱確保を行う。 | <u>1次ナトリウム純化電磁ポンプの予熱確保</u> 誘導加熱盤による電磁ポンプの予熱確保の要領を明確にしておく必要がある。 <u>炉容器等の純度管理</u> ナトリウム配管切断後の原子炉容器内ナトリウム純化は行わないが、純度管理として燃料被覆管制限値を守れるか。また、オーバフロータンクの純度管理はどうか。なお、工事中的カバーガス内酸素濃度は最大300ppmになることがあり得る。 | IVR 盤一時移設期間中は誘導加熱盤側からの電源供給ラインへ切換えて誘導加熱を維持する。 工中原子炉内Na温度は約200 であり、Na温度400 以下では燃料・構造材料の腐食は生じない。 | 添付図 1.8 - 1 改造工事撤去範囲系統図(1次ナトリウム純化系) |
| 9 | 2次ナトリウム純化系 | ドレン状態であること。また、2次ナトリウム純化プラグング計の交換のため予熱ヒータを切とすること。 | 2次ナトリウム純化プラグング計交換工事実施のため。 | <u>純度管理及び予熱確保</u> ナトリウム配管切断後のダンプタンク内ナトリウム純化は行わないが、現状のコールドトラップ(C/T)で初期純化できるか(初期純化後更新予定)。工事中の予熱確保については、ダンプタンク、コールドトラップ、及び純化電磁ポンプ周りのヒータを入とする。予熱ヒータ電源設備更新時には、仮設の分電盤をS-501に設置する。本設から仮設側へのケーブルつなぎ替え作業に3時間程度を要するが問題ないか。 | MK- 工事後の初期純化で捕獲量が設計値に到達するので、C/Tを交換する。NaK 圧力計は、特に予熱確保は行わない。純化 EMP はちくわドレンするので、ヒータ切とする。C/T はドレンせず、冷却ラインに閉止板を取付けて対応する | |
| | | 2次コールドトラップ交換時は、コールドトラップも真空ドレンでドレン状態とすること。また、コールドトラップ廻りの予熱ヒータも切とすること。 | 2次コールドトラップ交換工事実施のため。 | <u>2次コールドトラップの交換</u> 2次コールドトラップは、改造工事における不純物の混入を考えると工事後の初期純化で捕獲量が限界に達する。工事時期はMK- 改造後の初期純化のあと実施しなければならない。 | コールドトラップについては、建設当初に実施した初期純化用コールドトラップの交換時に実施した方法を用いてドレンする。 | |

添付表 1 - 1 MK - 冷却系改造工事中のプラント安全確保について (4/6)

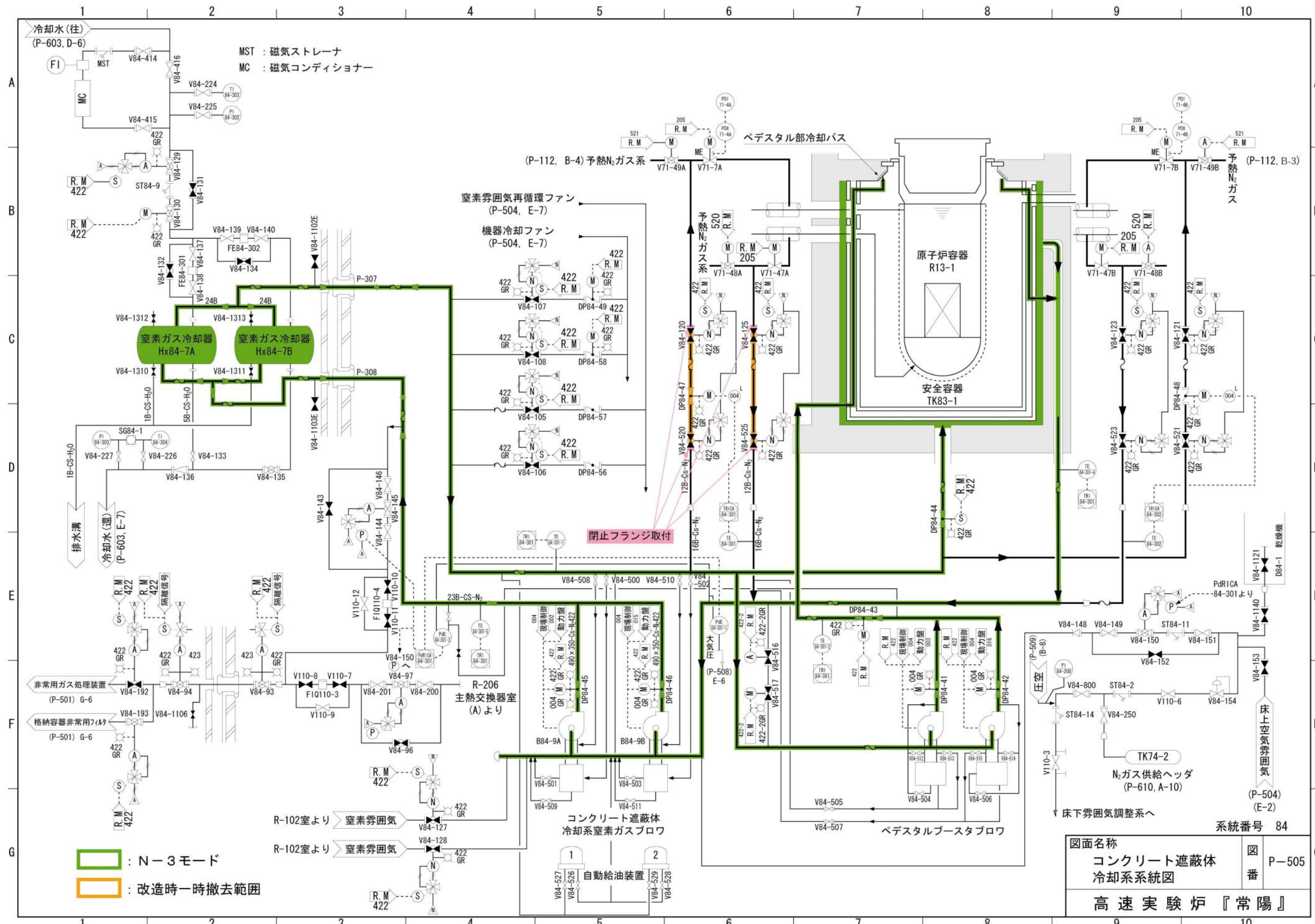
| | 系 統 | 基本プラント条件 | 工事上の理由 | 安全上問題となる事項 | 対応計画 | 添付資料 |
|----|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 10 | 1次ナトリウム 充填ドレン系 | 主冷却系に接続されているドレンライン等の予熱ヒータを切とすること。 | 一部充填ドレン配管が工事中干渉するためヒータを切とす必要がある。 | | | |
| 11 | 2次ナトリウム 充填ドレン系 | ドレン状態であること。 | | | | |
| 12 | 1次アルゴンガス 系 | 低圧運転モードにて運転状態であること。 | 工事期間中アルゴンガス系を生かし溶接時のバックシールガスとして使用する。配管切断時及び溶接時はシールバック内圧力より系統内圧力を若干(約200Pa)高めに設定し、シールバックからの酸素混入を防止する。ただし、主中間熱交換器(A)交換時に干渉する1次主循環ポンプ(A)軸封ライン配管を一時撤去するため同軸封ガスの供給を停止する必要がある。配管切断後のアルゴンガス系の酸素濃度は300ppm以下を目標に管理する。 | <u>低圧運転時の圧力制御及び監視の方法</u> 1次アルゴンガス系の供給弁及び排気弁の前弁(手動弁)をかなり絞って制御、監視する必要がある。また、供給弁まで1次アルゴンガス供給タンクの圧力が加わっていることから、万一の開に対しても急激な圧力上昇を防止する対策が必要。 <u>許認可</u> 1次主循環ポンプ(A)軸封ライン配管の一時撤去は設工認が必要となる。 | 圧力監視(20mmAq)は、呼吸ガスヘッドの圧力計(誤差±5mmAq)で行う。急激な圧力上昇対策として、圧力自動調整弁手前の手動弁(V36.1-19,21)を絞り込み調整する。また、過去のポンプメンテ作業時、圧力変動でシールバックが膨張したことから、圧力微調整の手段として工事中に中制より手動でV36.1-22(供給)、V36.1-46(排気)を調整することも検討する。 ダンプタンクへのラインを活かすか検討する(原一課、原二課) 1次Arガス系のカバーガス圧力、ガスクロの酸素、窒素を監視するため、JOYDASに工専用監視画面を追加して指示を取り込む。 | 添付図 1.12 - 1 改造工事撤去範囲 系統図(1次アルゴンガス系) |
| 13 | 2次アルゴンガス 系 | 低圧運転モードにて運転状態であること。 | 工事期間中アルゴンガス系を生かし溶接時のバックシールガスとして使用する。配管切断時及び溶接時はシールバック内圧力より系統内圧力を若干高めに設定し、シールバックからの酸素混入を防止する。配管切断後のアルゴンガス系の酸素濃度は300ppm以下を目標に管理する。 | <u>低圧運転時の圧力制御及び監視の方法</u> 長期間の低圧運転のため、圧力制御及び監視のための専用の圧力調節計を設置する必要がある。 <u>許認可</u> 本改造は設工認に該当しないか。 | 既設ガスラインに、制御弁、差圧伝送器、コントローラ等を追加し、呼吸ヘッド圧力を約50mmAqに制御する。カバーガス圧力、ガスクロの酸素、窒素の監視は、JOYDASに工専用監視画面を追加して指示を取り込む。 設工認に該当しない。 | 添付図 1.13 - 1 改造工事撤去範囲 系統図(2次アルゴンガス系) |

添付表 1 - 1 MK - 冷却系改造工事中のプラント安全確保について (5/6)

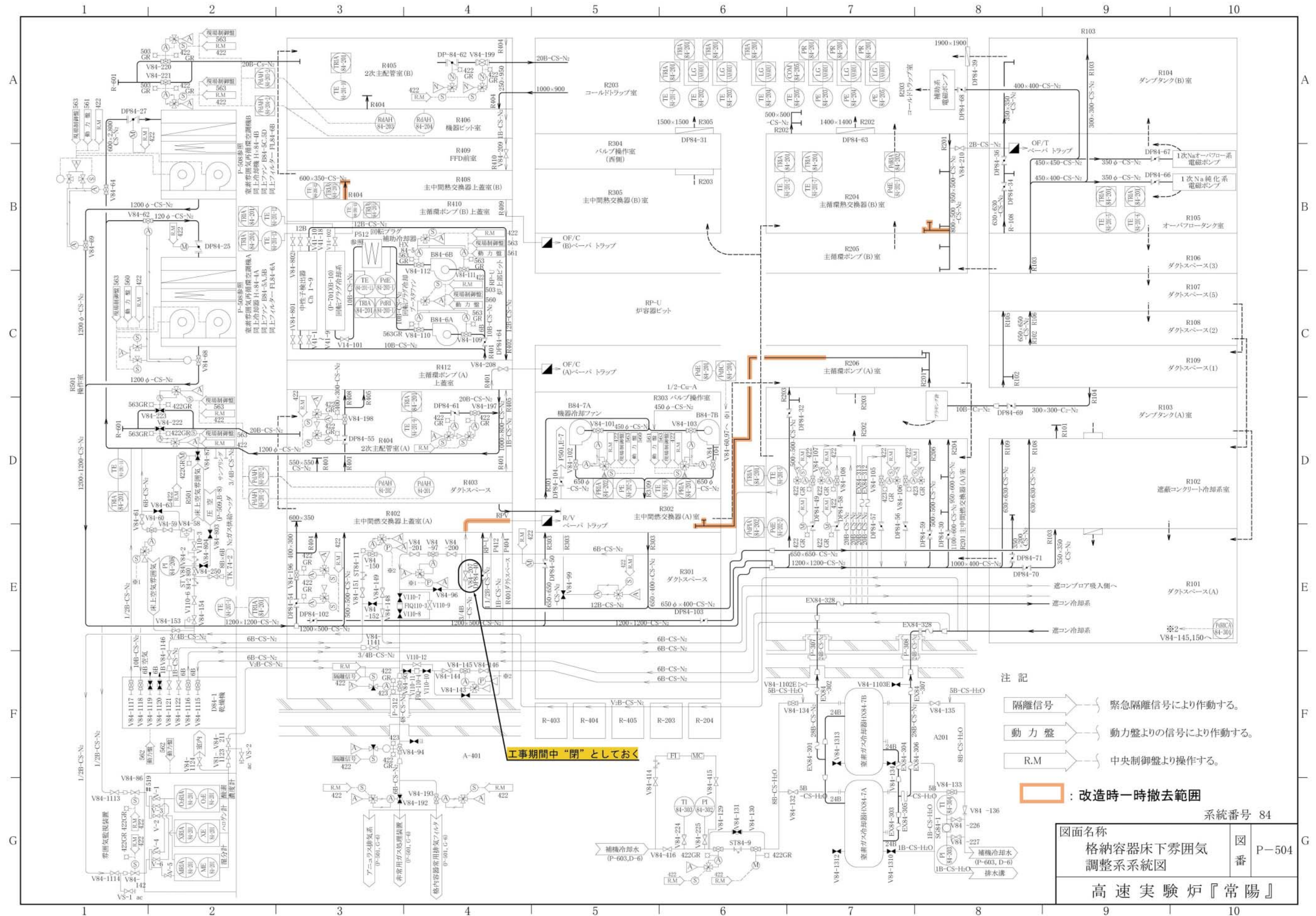
| 系 統 | 基本プラント条件 | 工事上の理由 | 安全上問題となる事項 | 対応計画 | 添付資料 |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 14 予熱窒素ガス系 | 改造工事期間中、運転状態であること。ただし、炉容器側のみの通気とし、主冷却系 A,B ループ出口弁、補助冷却系出口弁の全閉により主冷却系、補助系への通気は停止する。 | 改造工事期間（ドレン状態）中は本システムを運転して原子炉容器の予熱を行う必要がある。ただし、改造工事前の準備として干渉するコンクリート遮蔽体冷却系配管の一部撤去作業及び予熱窒素ガス系配管保温材の改造に伴い予熱窒素ガス系を停止する必要がある（Naドレン前）。また、1次主冷却系配管外管切断時には主配管の ISI 窓を開放し、空気置換する必要がある。 | <u>予熱窒素ガス系停止時の対策</u> 予熱窒素ガス系は一般電源系であり、電源喪失時及び1台故障時の対応はどう行うか。短時間であれば復電を待ち、長時間（日オーダー）非常系からの逆送電を行う必要がある。ただし、短時間であっても、温度分布の偏りによる炉容器の熱変形が発生する可能性がある。 <u>予熱窒素ガスプロアのサージング</u> 炉容器のみの通気でプロアサージングは問題ないか確認が必要。 | 一般系電源の停電時、非常系からの逆送電のマニュアルを見直した（原一課）。技術課での炉容器内ナトリウム温度変化特性試験実施時の実績では、予熱窒素ガスプロア運転状態のまま炉容器ループ側の通気停止、復旧を行ったが、通常流量(140 m ³ /min)の約 1/2 まで安定運転されており問題ないとする。 | 添付図 1.14 - 1 改造工事撤去範囲系統図(予熱窒素ガス系(1)) 添付図 1.14 - 2 改造工事撤去範囲系統図(予熱窒素ガス系(2)) |
| 15 遮蔽コンクリート冷却系 | 改造工事前の Na 充填中に一時停止する。 | 改造工事前の準備（Na 充填中）として干渉する配管（遮蔽コンクリート冷却系、炉容器 A ループ供給側予熱窒素ガス系の切換弁間）を取り外し、閉止フランジを設置する作業の間は停止とする必要がある。なお、閉止フランジ取付後は遮蔽コンクリート冷却系は運転可能であるが、床下メンテナンスモードが使用できない。 | <u>予熱窒素ガス系と遮コン系との B 側の仕切り</u> 工事中は予熱窒素ガス系炉容器ループ側への通気を行うが、この場合遮蔽コンクリート冷却系との連通弁がバウンダリとなるため、シートリークなどで床下に窒素ガスが噴出すことはないか。 その他「原子炉状態」の項参照。 | 連通弁は配管毎直列に 2 基づつ設置されており、工事期間中の遮蔽コンクリート冷却系は運転・停止時共に給・排気系は制御状態とし、床下との連通弁（V84-127, 128）を閉止するなどの管理を確実に実施することで、床下への窒素放出等の恐れはない。 | |
| 16 FFD - CG 法 (オンライン線モニタ設備) | 停止とする。 | オンライン線モニタ設備の配管は、主中間熱交換器(B)室ライニングの上部を通過しており、主中間熱交換器(B)を引き抜く際に干渉するため、一部配管を撤去する必要がある。ただし、干渉する配管を撤去後、閉止キャップ取付により、CG法ラインは運転可能である。 | <u>許認可</u> 一部配管の撤去は設工認が必要となる。 | 科技厅との事前ヒアリングの結果、計装配管のため設工認の必要がないことを確認した。 | 添付図 1.16 - 1 改造工事撤去範囲系統図(加ガスオンライン線モニタ試験装置系) 添付図 1.16 - 2 改造工事撤去範囲系統図(加ガスオンライン線モニタ試験装置系) |

添付表 1 - 1 MK - 冷却系改造工事中のプラント安全確保について (6/6)

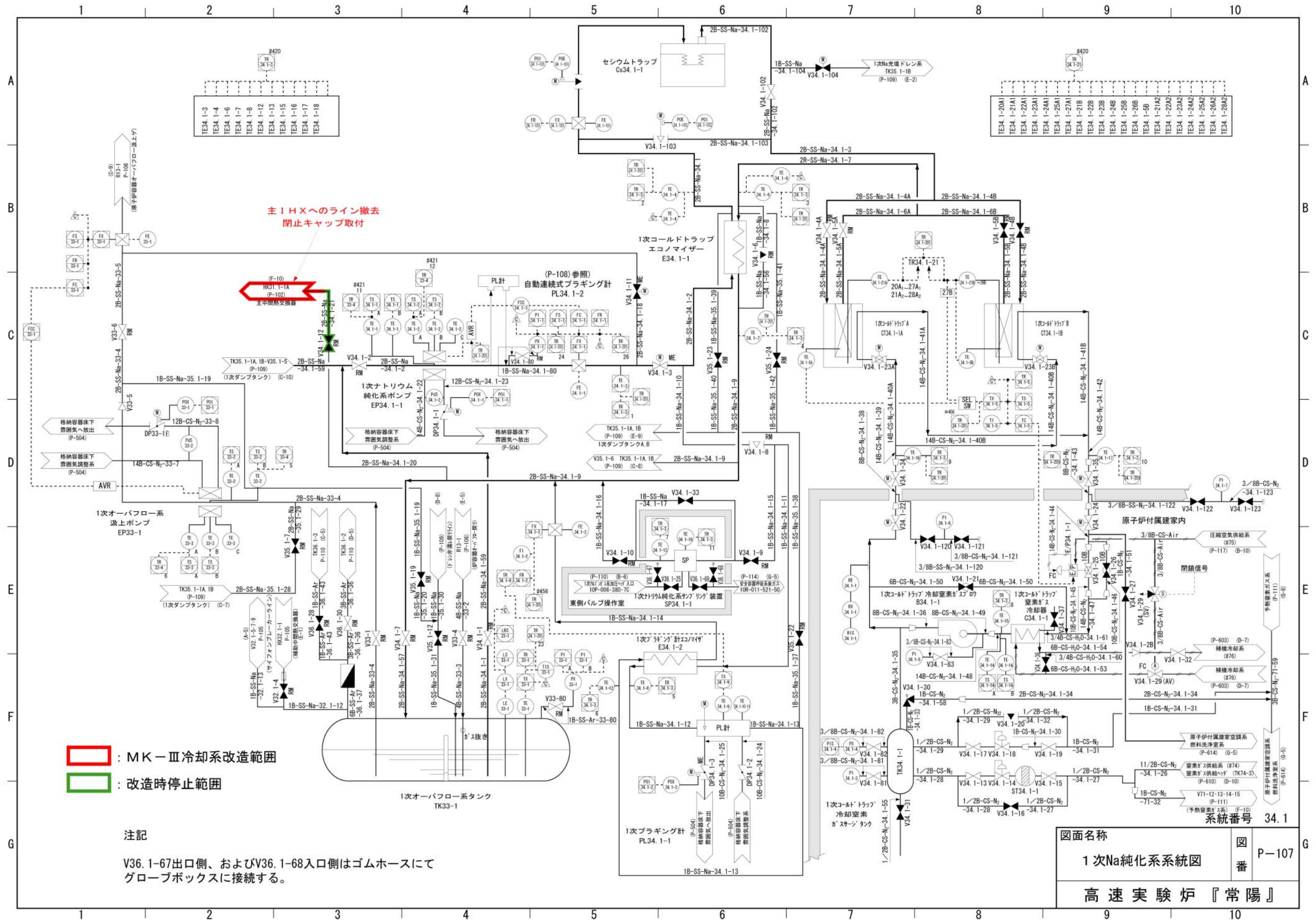
| | 系 統 | 基本プラント条件 | 工事上の理由 | 安全上問題となる事項 | 対応計画 | 添付資料 |
|----|---------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 17 | 格納容器内圧縮空気供給設備 | 改造工事期間中、格内より一時撤去する。 | 主中間熱交換器の交換工事は、格内オペフロ上を占有するが、格内ベピコンが干渉するため一時撤去する。 | <u>本設圧空供給源喪失時の対策</u> 格内空気作動弁への圧縮空気供給源をどうするか。 | 万一のアイソレーション作動時については、附属建物の圧空供給があれば問題ないため、格内ベピコン撤去期間中は格納容器圧空供給系隔離弁V84-190及び191を「開」ロック（ボタンのねじ込み固定式）しておく。また、万一の床下圧空系配管破損による圧空喪失時についても、F.CまたはF.Oによりそれぞれの状態を保持するか、あるいは閉止板の設置等により安全上プラント状態に影響を及ぼすことはないため問題ない。 | 添付図 1.17 - 1 改造工事撤去範囲系統図（窒素ガス供給ヘッダ廻り系統図） |
| 18 | 格内床上雰囲気調整系 | 運転中であること | R-303（東側バルブ操作室）の排気口よりシールバック廃ガス放出のため。 | | | |
| 19 | 原子炉附属空調換気系 | 水冷却池室系が運転中であること。 | A-510（キャスクカ移動エリア）またはA-407（送風機室）の排気口よりシールバック廃ガス放出のため。 | | | 添付図 1.19 - 1 改造工事時ブルー側放出先（系統図） |
| 20 | 原子炉格納容器バウンダリ等 | 機器搬出入口、常用エアロック及びアニュラス入口遮へい扉が開放状態であること。 | 工事時には、工事用仮設電源、シールバック廃ガス放出先確保のため、原子炉附属建物側より電源供給及び附属空調へ廃ガス放出を行うことを計画しているため。また、工事中は、「R-501 主中間熱交換器(A),(B)用ハッチ」、「R-501,R-406 機器ハッチ(非常用エアロック前)」、「R-203 機器搬入エリア閉止板」、「R-410,412 床下ハッチ」を全て開放する。 | <u>格納容器バウンダリ状態</u> 機器搬出入口、常用エアロックの状態は、通常の定検時と同様とするが問題ないか。 | ドレンを実施した上でのバウンダリ開放であり、通常の定検時と同様として問題ない。 | 添付図 1.20 - 1 主IHX交換工事時の格納容器バウンダリ状態 |
| 21 | 床下酸素濃度測定装置 | 運転状態であること。 | 床下酸素濃度測定装置のうち、R-402 室測定端が工事時に干渉するため、検出端を撤去する。 | 検出端を撤去してしまうため、R-402 室の酸素濃度測定ができない。 | 検出端を撤去しても測定できるように、銅管先端に検出端と同一メッシュのカバーを取り付け測定できるようにする。 | 添付図 1.21 - 1 床下酸素濃度測定装置系統図 |



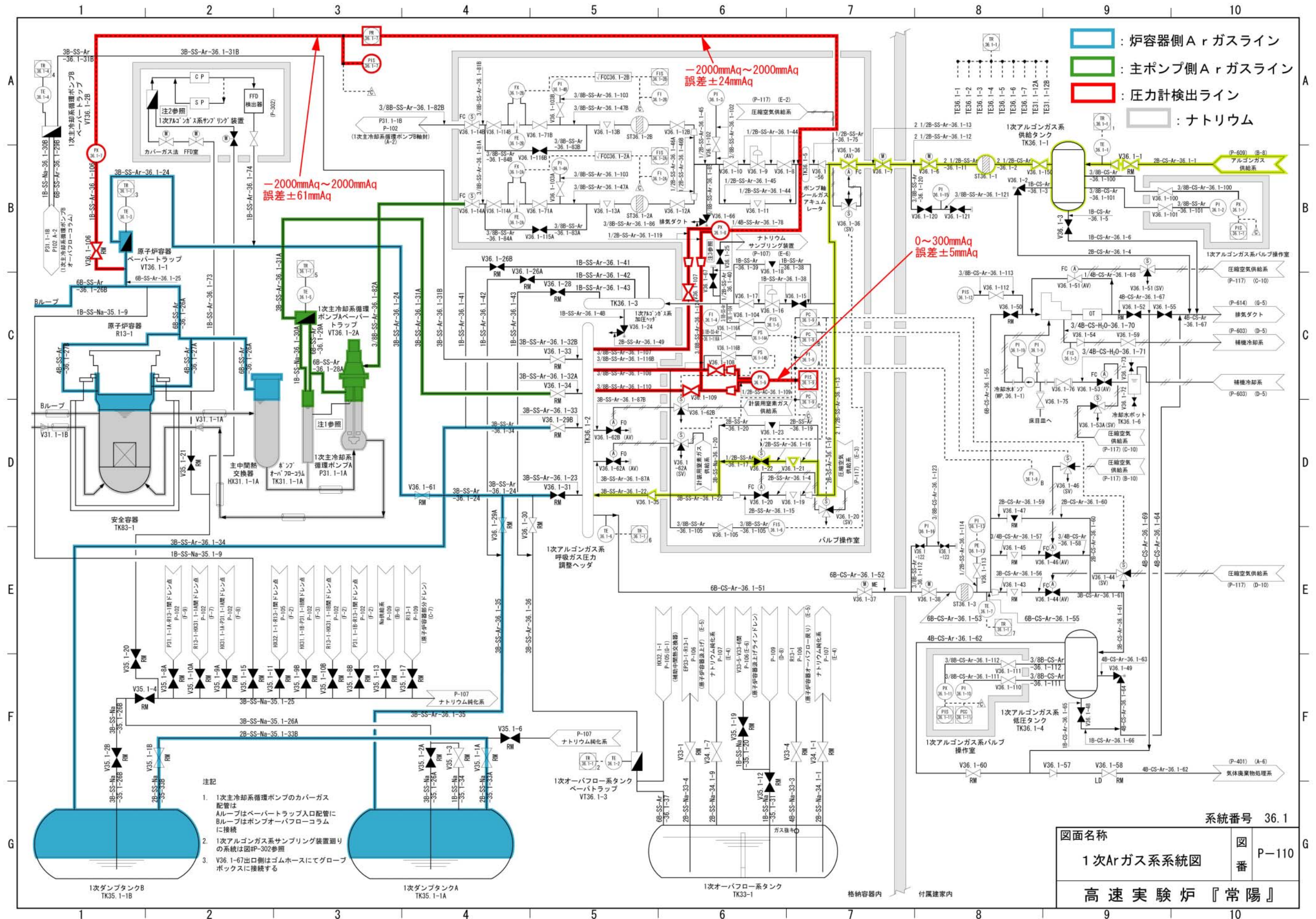
添付図 1.1 - 1 改造工事撤去範囲系統図 (遮へいコンクリート冷却系)



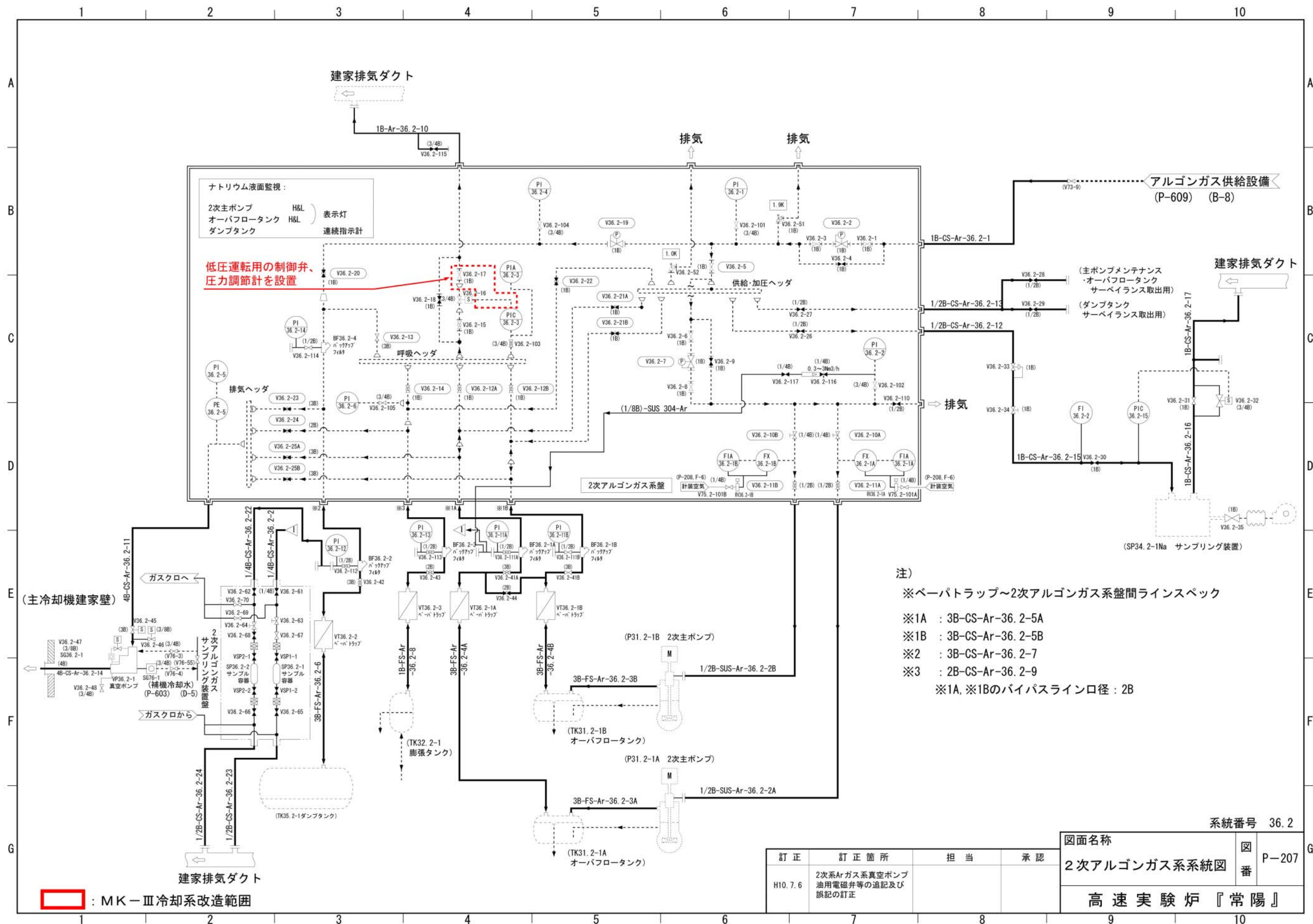
添付図 1.2 - 1 格納容器床下雰囲気調整系系統図



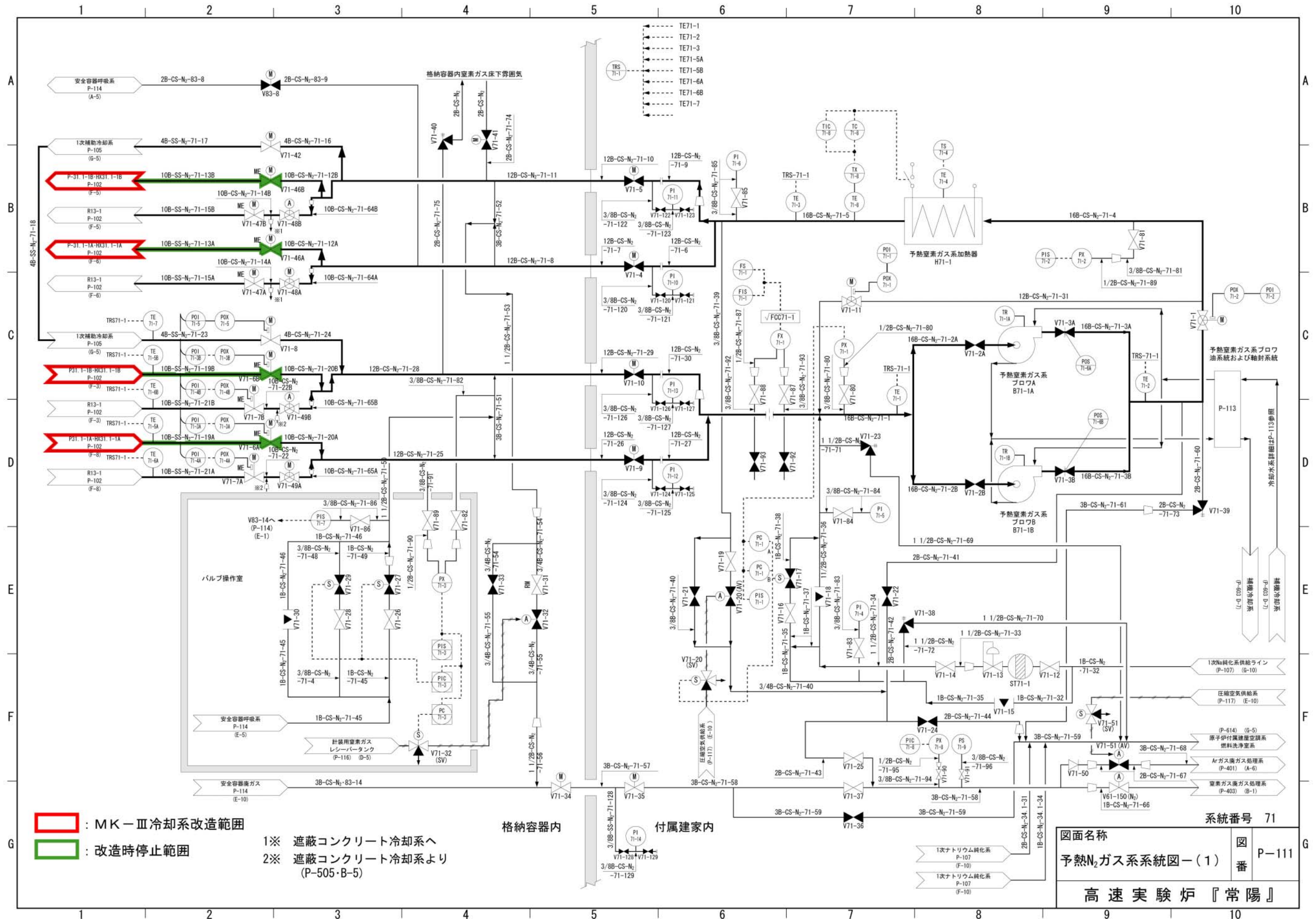
添付図 1.8 - 1 改造工事撤去範囲系統図 (1次ナトリウム純化系)



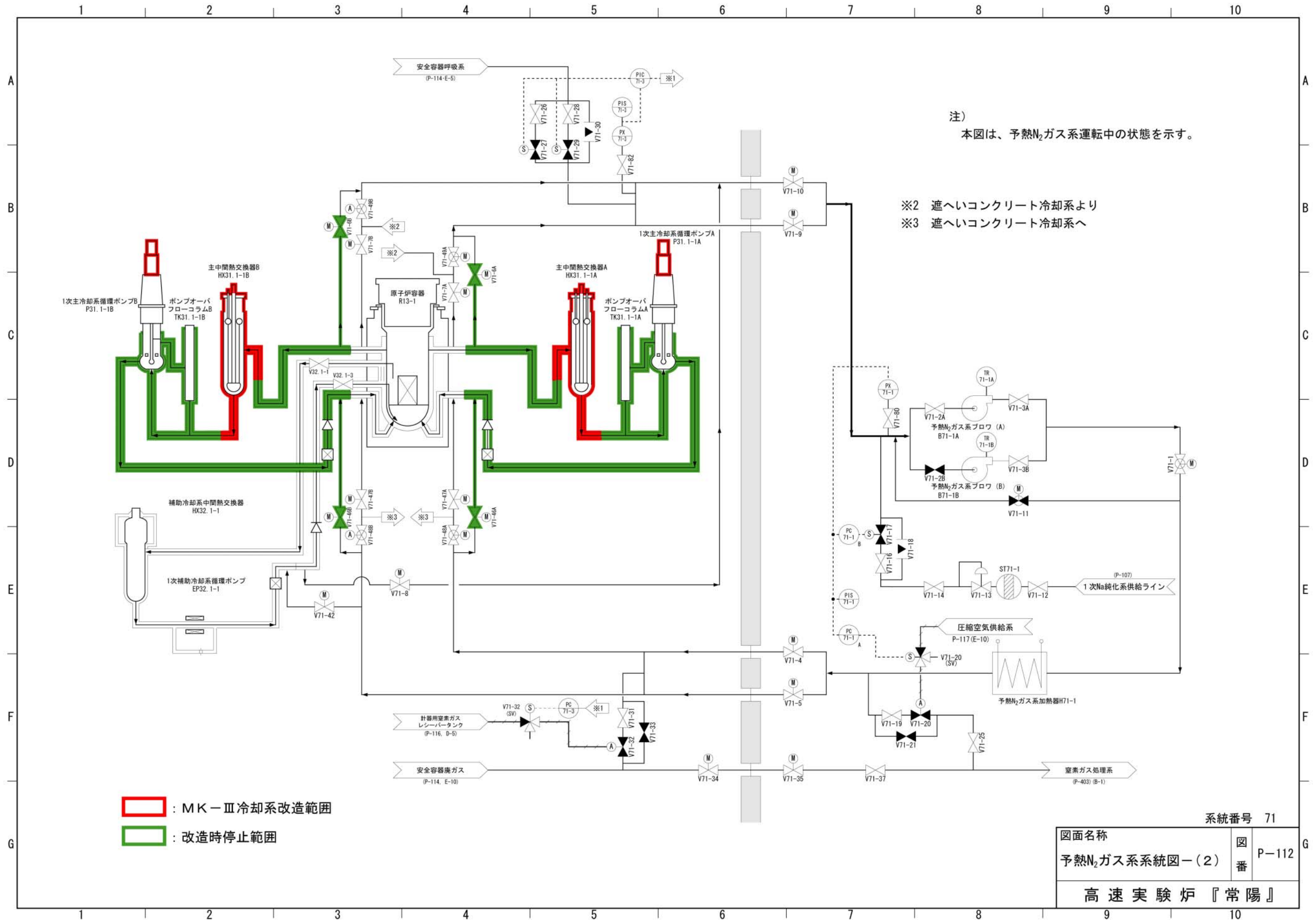
添付図 1.12 - 1 改造工事撤去範囲系統図 (1次アルゴンガス系)



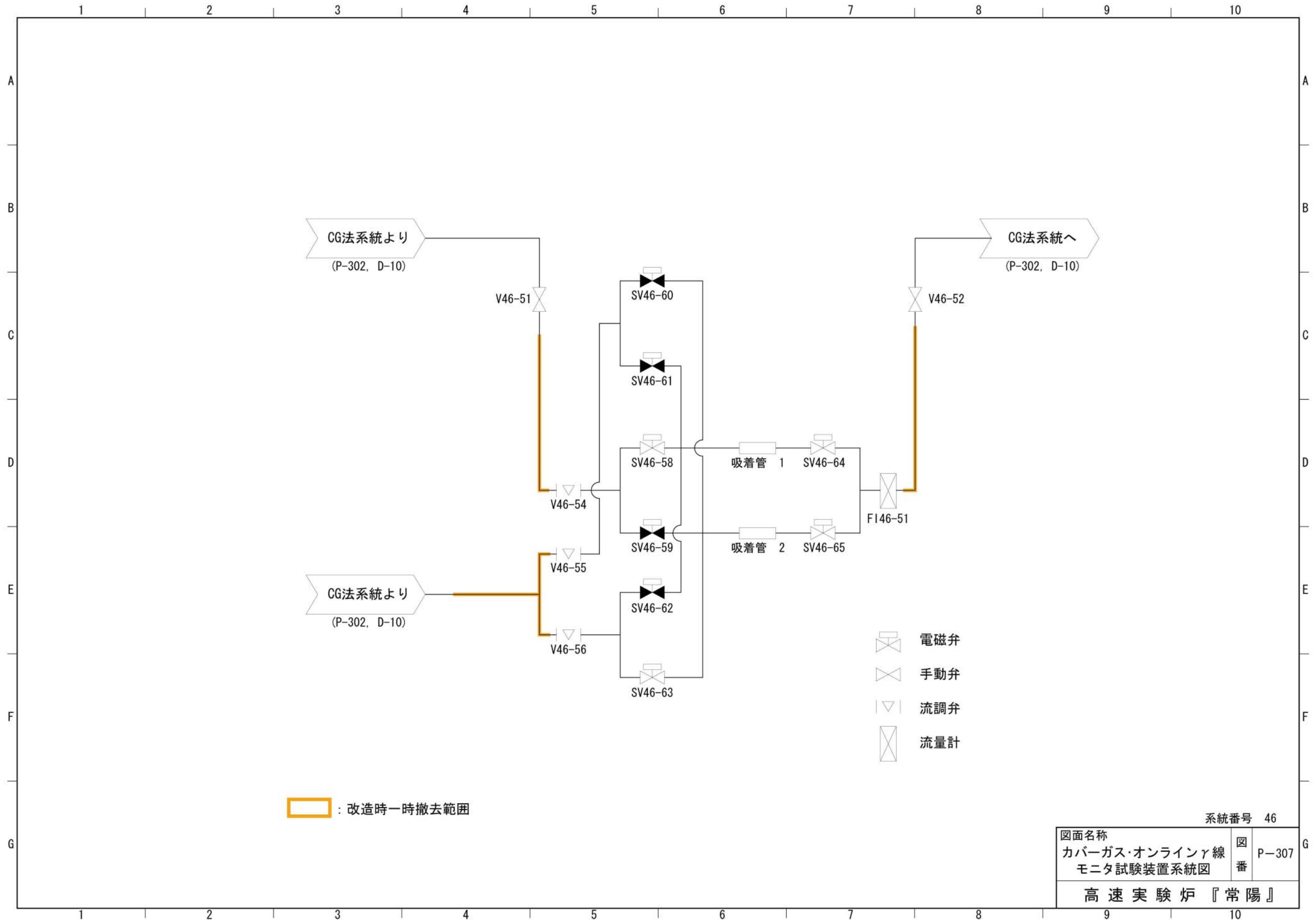
添付図 1.13 - 1 改造工事撤去範囲系統図 (2次アルゴンガス系)



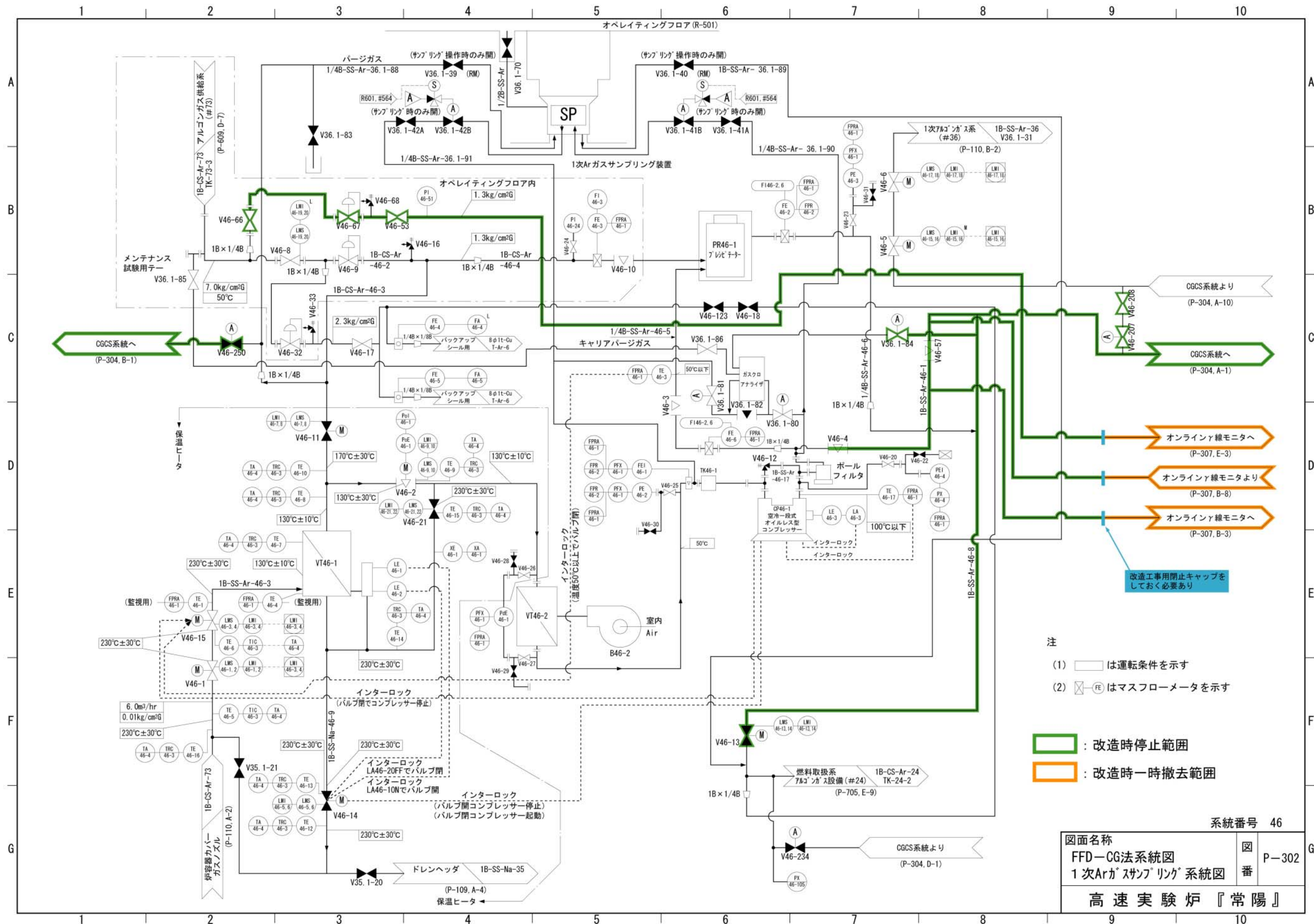
添付図 1.14 - 1 改造工事撤去範囲系統図 (予熱窒素ガス系 (1))



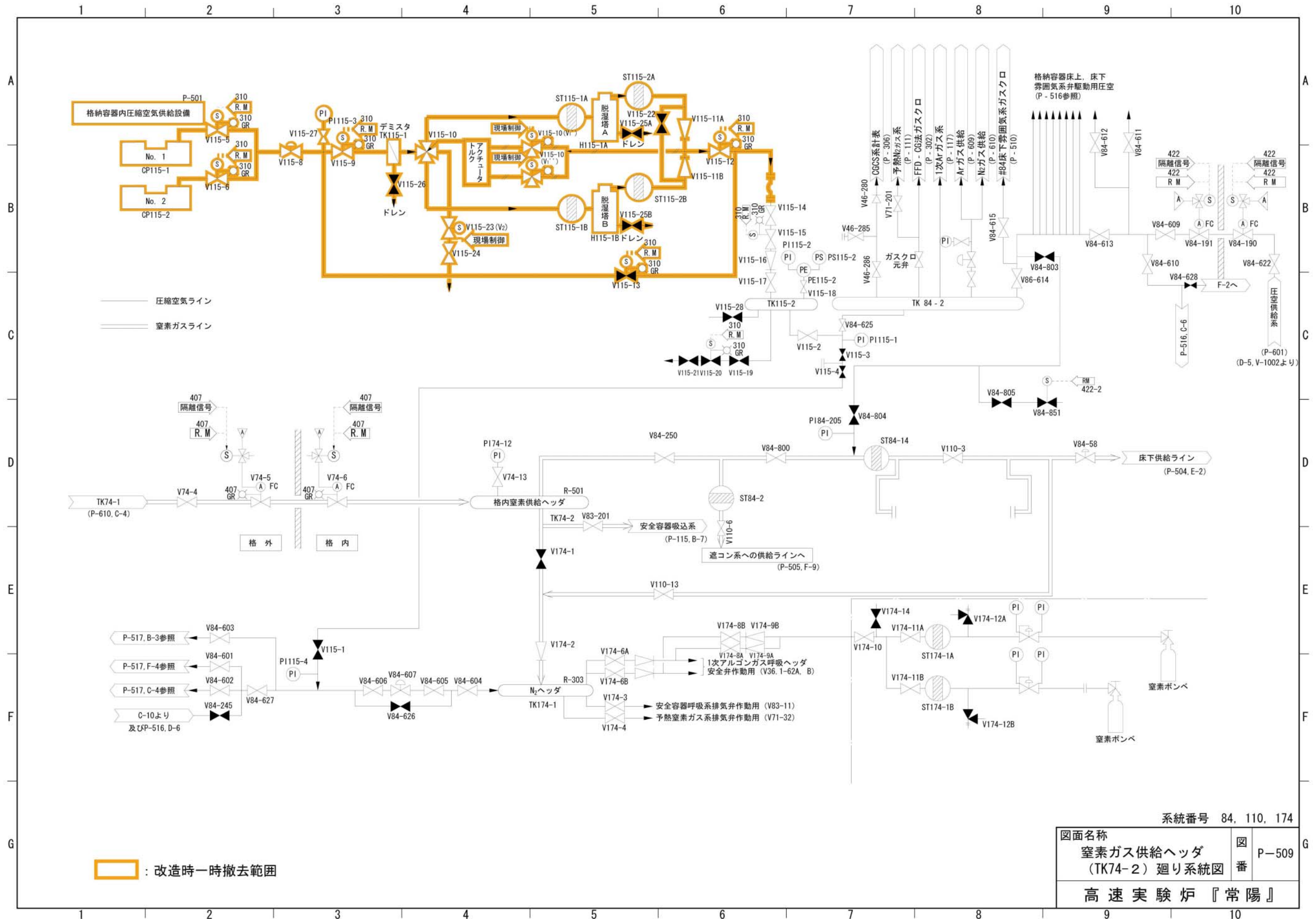
添付図 1.14 - 2 改造工事撤去範囲系統図 (予熱窒素ガス系 (2))



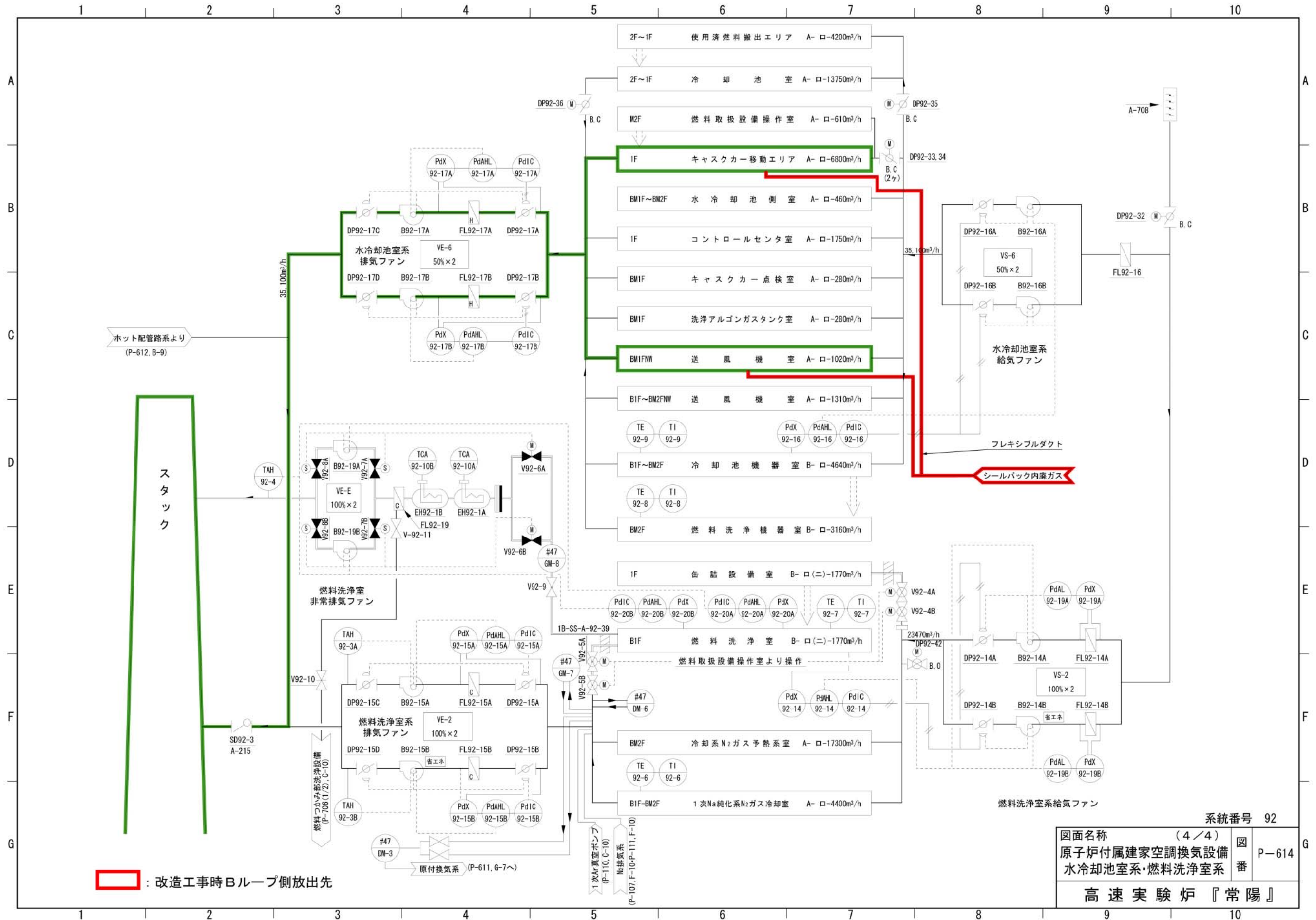
添付図 1.16 - 1 改造工事撤去範囲系統図 (カバーガス・オンライン 線モニタ試験装置系 (1))



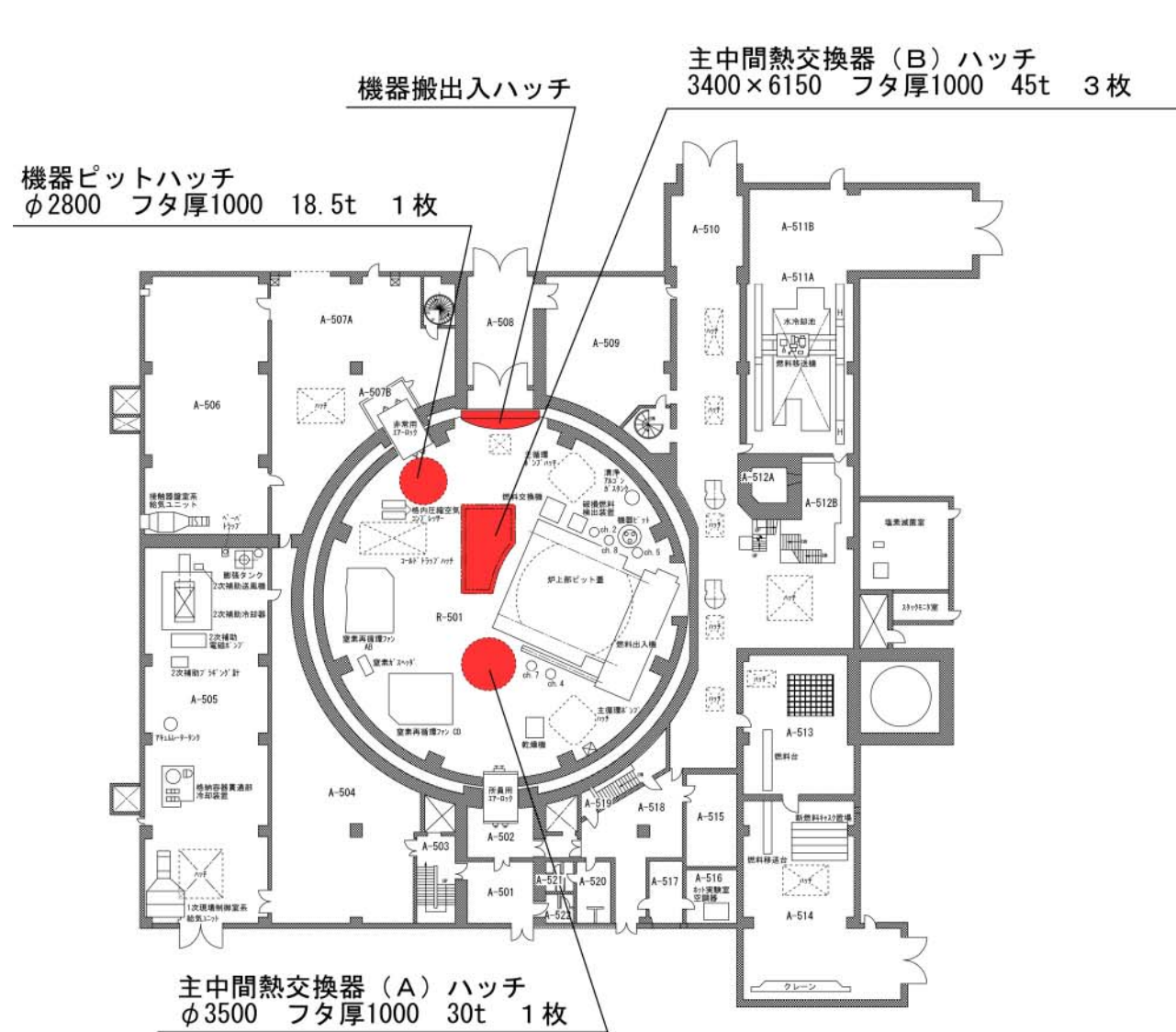
添付図 1.16 - 2 改造工事撤去範囲系統図 (カバーガス・オンライン線モニタ試験装置系 (2))



添付図 1.17 - 1 改造工事撤去範囲系統図 (格納容器内圧縮空気供給設備)

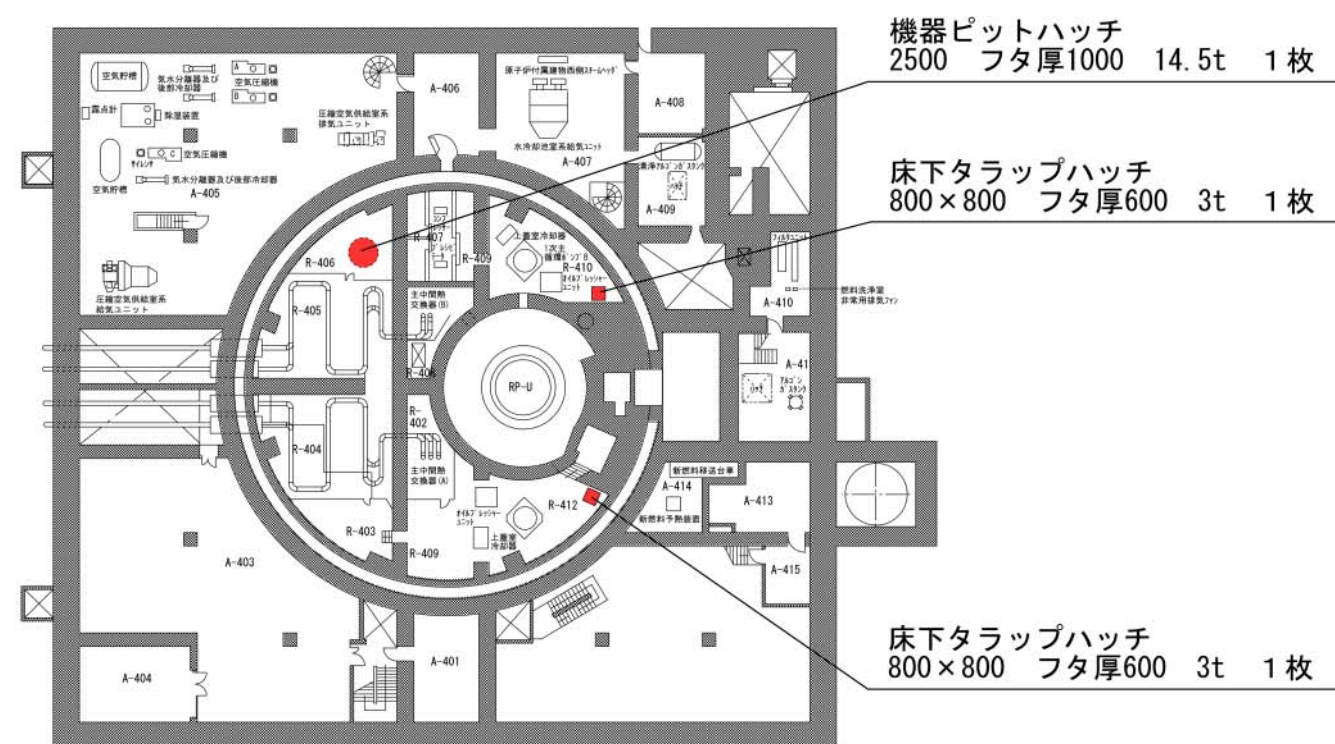


添付図 1.19 - 1 1次系改造工事時におけるシールバック廃ガス放出先

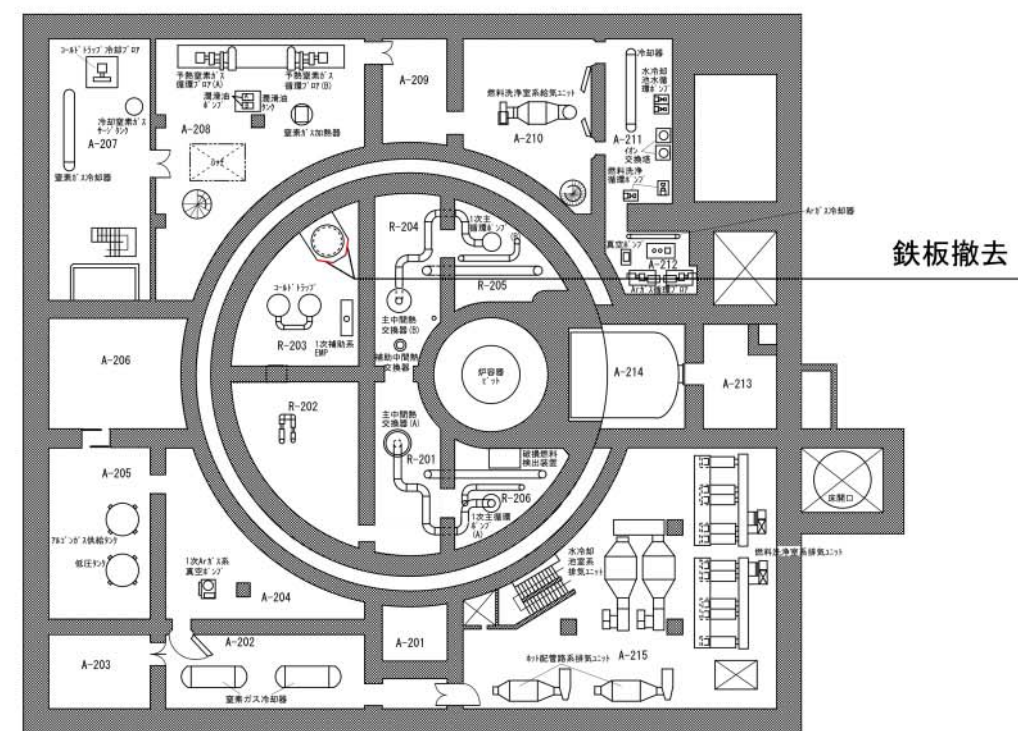


1 F

■ : 開放

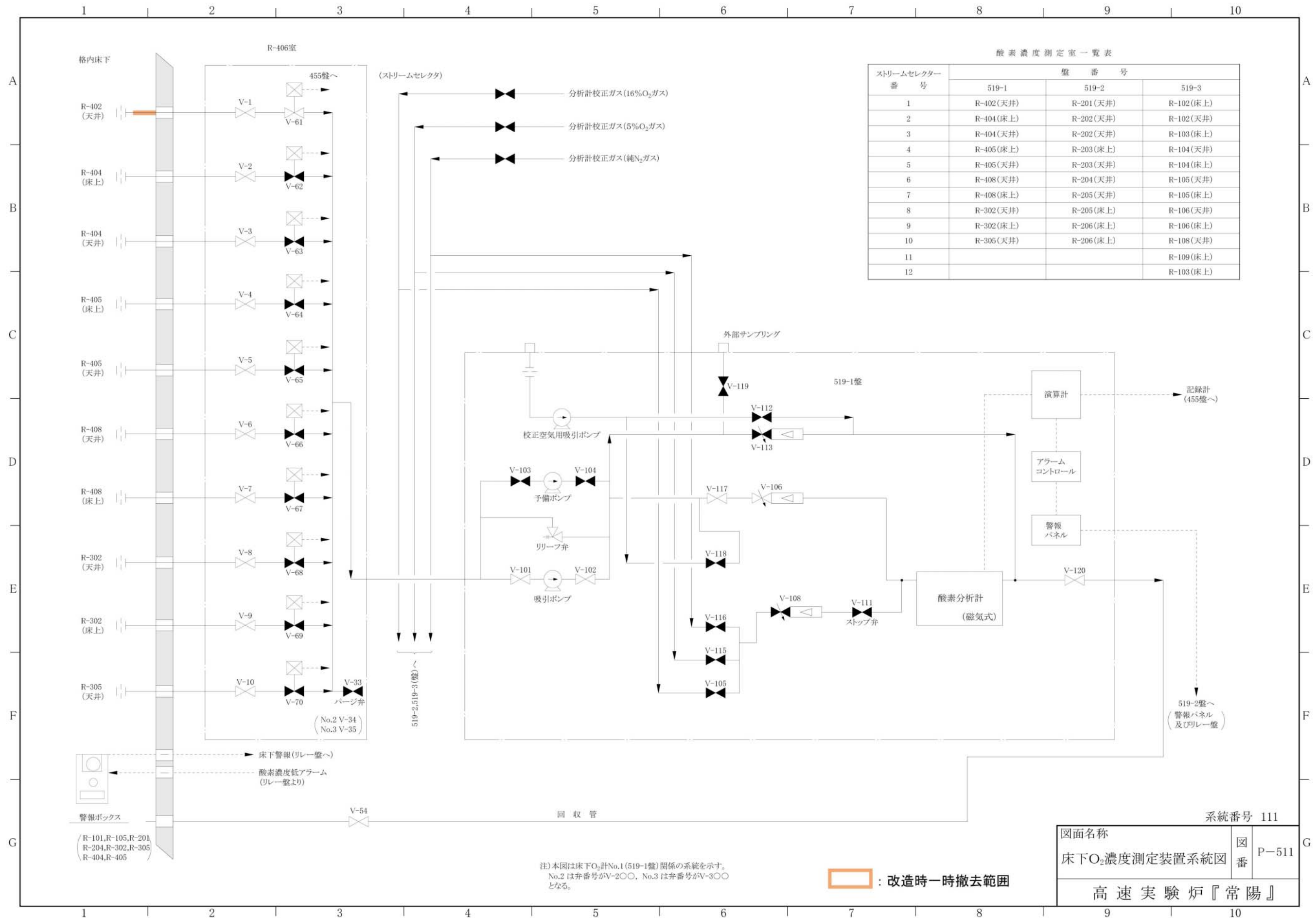


BM 1 F



BM 2 F

添付図 1.20 - 1 1次系改造工事時の原子炉格納容器バウンダリ状態



添付図 1.21 - 1 床下酸素濃度測定装置系統図