



第 27 回ふげん廃止措置技術専門委員会資料集

Document Collection of the 27th Technical Special Committee
on Fugen Decommissioning

忽那 秀樹 門脇 春彦 榊原 安英 平田 智宏

Hideki KUTSUNA, Haruhiko KADOWAKI, Yasuhide SAKAKIBARA
and Tomohiro HIRATA

敦賀本部

原子炉廃止措置研究開発センター

Fugen Decommissioning Engineering Center
Tsuruga Head Office

September 2013

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail: ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail: ird-support@jaea.go.jp

第 27 回ふげん廃止措置技術専門委員会資料集

日本原子力研究開発機構 敦賀本部

原子炉廃止措置研究開発センター

忽那 秀樹⁺¹、門脇 春彦⁺¹、榊原 安英⁺²、平田 智宏[※]

(2013 年 6 月 27 日 受理)

原子炉廃止措置研究開発センター（以下「ふげん」という。）は、廃止措置技術開発を計画・実施するにあたり、「ふげん」を国内外に開かれた技術開発の場及び福井県が目指すエネルギー研究開発拠点化計画における研究開発拠点として十分に活用するとともに、当該技術開発で得られる成果を有効に活用することを目的として、原子力機構内外の有識者で構成される「ふげん廃止措置技術専門委員会」を設置している。

本稿は、平成 25 年 3 月 14 日に開催した第 27 回ふげん廃止措置技術専門委員会において報告した“廃止措置の状況”、“重水回収・トリチウム除去における除去技術の高度化”及び福井県エネルギー研究開発拠点化計画へのふげんの取組み状況として報告した“福井県における高経年化調査研究”、“技術課題解決促進事業（公募型）”について、資料集としてまとめたものである。

原子炉廃止措置研究開発センター：〒914-8510 福井県敦賀市明神町 3 番地

+1 技術開発部

+2 安全研究センター

※ 技術開発協力員(敦賀本部経営企画部)

Document Collection of the 27th Technical Special Committee on Fugen Decommissioning

Hideki KUTSUNA⁺¹, Haruhiko KADOWAKI⁺¹, Yasuhide SAKAKIBARA⁺²
and Tomohiro HIRATA[※]

Fugen Decommissioning Engineering Center
Tsuruga Head Office,
Japan Atomic Energy Agency
Myojin-cho, Tsuruga-shi, Fukui-ken

(Received June 27, 2013)

Fugen Decommissioning Engineering Center, in planning and carrying out our decommissioning technical development, is establishing “Technical special committee on Fugen decommissioning” which consists of the members well-informed, aiming to make good use of Fugen as a place for technological development which is opened inside and outside the country, as the central point in the energy research and development base making project of Fukui prefecture, and to utilize the outcome in our decommissioning to the technical development effectively.

This report compiles presentation materials “The Current Situation of Fugen Decommissioning”, “Upgrading of a Removal Technique for a Heavy Water Withdraw and a Tritium Removal” and “Research of Ageing Management of Nuclear Power Plant for Safe Long Term Operating in FUKUI”, “The Work for Solution and Promotion on Technical Challenge(Public Offering Type)” which is related with the efforts of Fugen in the FUKUI energy research and development centralization plan, presented in the 27th Technical special committee on Fugen decommissioning which was held on March 14, 2013.

Keywords: FUGEN, Decommissioning, Cutting Method, Dismantling, Heavy Water Withdraw, Tritium Removal, Ageing Management, FUKUI Energy Research and Development Centralization Plan, Technical Special Committee

+1 Technology Development Department

+2 Nuclear Safety Research Center

※ Collaborating Engineer (Policy Planning and Co-ordination Department, Tsuruga Head Office)

目 次

1. ふげん廃止措置技術専門委員会（第 27 回）	1
1.1 議事次第	1
1.2 委員構成	2
2. 廃止措置技術開発報告	3
2.1 廃止措置の状況	4
2.2 重水回収・トリチウム除去における除去技術の高度化	12
3. 福井県エネルギー研究開発拠点化計画への「ふげん」の取組み状況報告	19
3.1 福井県における高経年化調査研究	20
3.2 技術課題解決促進事業（公募型）について	36
4. 講評	40

Contents

1. The 27th Technical Special Committee on Fugen Decommissioning.....	1
1.1 Agenda.....	1
1.2 Members of the Technical Special Committee on Fugen Decommissioning.....	2
2. Decommissioning Technology Development Report.....	3
2.1 The Current Situation of Fugen Decommissioning.....	4
2.2 Upgrading of a Removal Technique for a Heavy Water Withdraw and a Tritium Removal	12
3. Report of Efforts of Fugen in the FUKUI Energy Research and Development Centralization Plan	19
3.1 Research of Ageing Management of Nuclear Power Plant for Safe Long Term Operating in FUKUI.....	20
3.2 The Work for Solution and Promotion on Technical Challenge(Public Offering Type).....	36
4. Review.....	40

This is a blank page.

1. ふげん廃止措置技術専門委員会(第 27 回)

1.1 議事次第

第 27 回ふげん廃止措置技術専門委員会の議事次第を表 1 に示す。

表1 第 27 回ふげん廃止措置技術専門委員会 議事次第

第 27 回 ふげん廃止措置技術専門委員会 議 事 次 第	
1. 開催日時	平成 25 年 3 月 14 日 13 : 20～16 : 10
2. 開催場所	独立行政法人日本原子力研究開発機構 敦賀本部 原子炉廃止措置研究開発センター 第 1, 2, 3, 4 会議室
3. 出席者	(委員) 石樽主査、井口委員、福田代理 (浦上委員代理)、山内代理 (荏込委員代理)、 友澤委員、中安委員、仁木委員、松本委員、山本委員、小川委員、土田委員 (ふげん) 高橋所長、森下技術開発部長、田尻計画管理課長 他
4. 次第	(1) 開会挨拶 (2) 委員及び機構出席者の紹介 (3) 前回委員会の議事要旨の確認 (4) 廃止措置の状況 (5) 重水回収・トリチウム除去における除去技術の高度化 (6) ご講評 (7) 福井県エネルギー研究開発拠点化計画への「ふげん」の取組み状況報告 ① 福井県における高経年化調査研究 ② 技術課題解決促進事業 (公募型) について (8) ご視察 (原子炉建屋) (9) 次回の委員会について

1.2 委員構成

ふげん廃止措置技術専門委員会の構成員を表 2 に示す。

表2 ふげん廃止措置技術専門委員会 構成員

主査	石樽 顕吉	(社)日本アイソトープ協会 常務理事
委員	井口 哲夫	名古屋大学 大学院 工学研究科 量子工学専攻 教授
委員	石倉 武	(財)エネルギー総合工学研究所 参事 工学博士
委員	浦上 学	関西電力(株) 原子燃料サイクル室 サイクル環境グループ チーフマネジャー
委員	荻込 敏	日本原子力発電(株) 廃止措置プロジェクト推進室 室長
委員	友澤 史紀	東京大学名誉教授
委員	中安 文男	福井工業大学 工学部 原子力技術応用工学科 教授
委員	仁木 秀明	福井大学 大学院 工学研究科 原子力・エネルギー安全工学専攻 教授
委員	松本 洋志	東京電力(株) 原子燃料サイクル部 廃棄物設備グループ グループマネージャー
委員	山本 正史	(公財)原子力環境整備促進・資金管理センター 基準・規格調査研究プロジェクト チーフ・プロジェクト・マネジャー
委員	小川 弘道	(独)日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター 原子力科学研究所 バックエンド技術部長
委員	土田 昇	(独)日本原子力研究開発機構 敦賀本部 レーザー共同研究所 レーザー技術利用推進室長

(以上 12 名)

2. 廃止措置技術開発報告

本章は、第 27 回ふげん廃止措置技術専門委員会における発表資料を取りまとめたものである。

2.1 廃止措置の状況

Fugen Decommissioning Project



廃止措置の状況

報告概要

技術開発部 計画管理課 忽那 秀樹

- 平成24年度作業計画・実績
- 解体撤去・汚染の除去工事
- 遮へい冷却水の抽出し等作業
- 「ふげん」を用いた研究開発
- 国際会議等報告
- 福島支援のための切断技術確証試験



ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-3-1

Fugen Decommissioning Project



平成24年度作業計画・実績(1)

項目	年 月	平成24年										平成25年		
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
1. 重水の搬出														
(1) 重水前処理確認試験														
(2) 重水搬出準備作業														
2. 解体撤去工事														
【タービン設備等の機器の解体撤去】														
(1) 復水器等の解体撤去														
(2) タービン補機冷却水ポンプ等の解体撤去														
3. 汚染の除去工事														
【重水系・ヘリウム系等の汚染の除去工事】														
(1) 残留重水回収														
(2) 原子炉補助建屋機器のトリチウム除去														
① 重水浄化系のトリチウム除去														
(3) 原子炉建屋機器のトリチウム除去														
① カランドリアタンク等のトリチウム除去														
② 遠へい冷却水の抜出し等作業														

□ : 計画 ■ : 実績

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-3-2



平成24年度作業計画・実績(2)

項目	年 月	平成24年										平成25年		
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
4. 「ふげん」を用いた研究開発														
(1) 高経年化等のための調査研究														
① RCPケーシング材等の調査														
(2) レーザー除染の実地試験														
(3) プルトニウム量測定装置の実証試験														
(4) ケーブル劣化診断法の適用性試験														
5. 汚染状況等の調査														
6. 設備・機器等の維持管理														
(1) 第25回施設定期検査														
(2) 設備の自主点検及び自主検査														
(3) 設備の改造														
7. 国際協力等														
(1) OECD/NEA技術諮問グループ会議														
(2) CEA情報交換会議														
(3) NDA廃止措置状況調査														

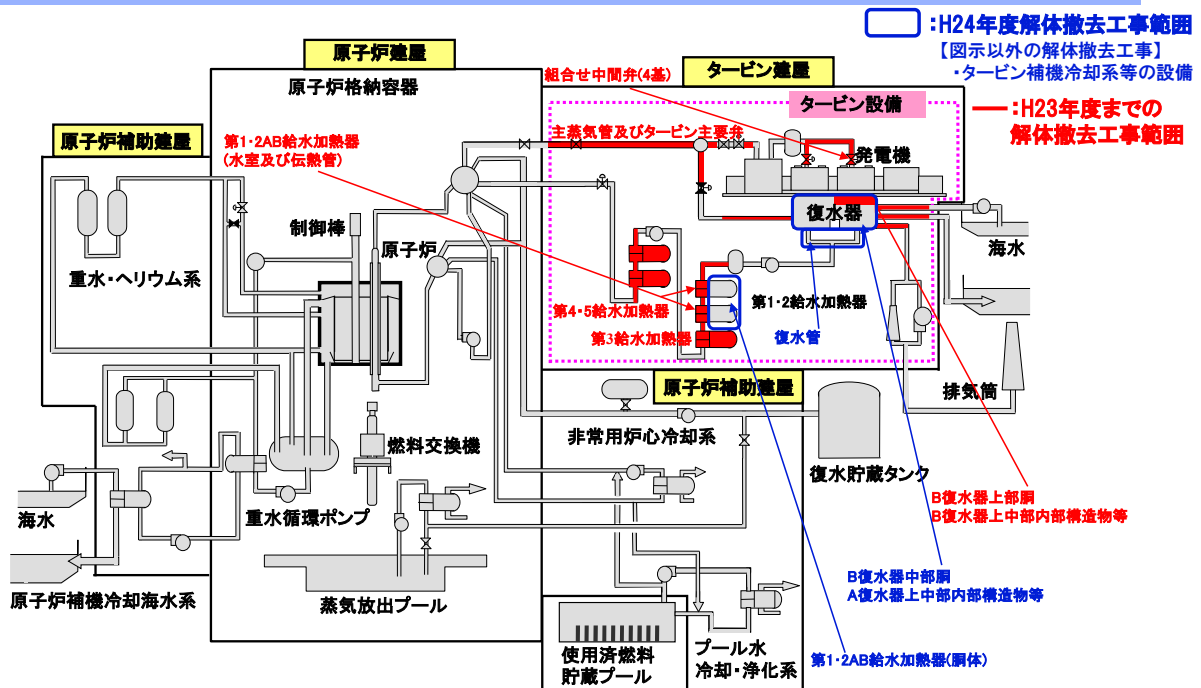
□ : 計画 ■ : 実績

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-3-3



解体撤去工事の実施範囲

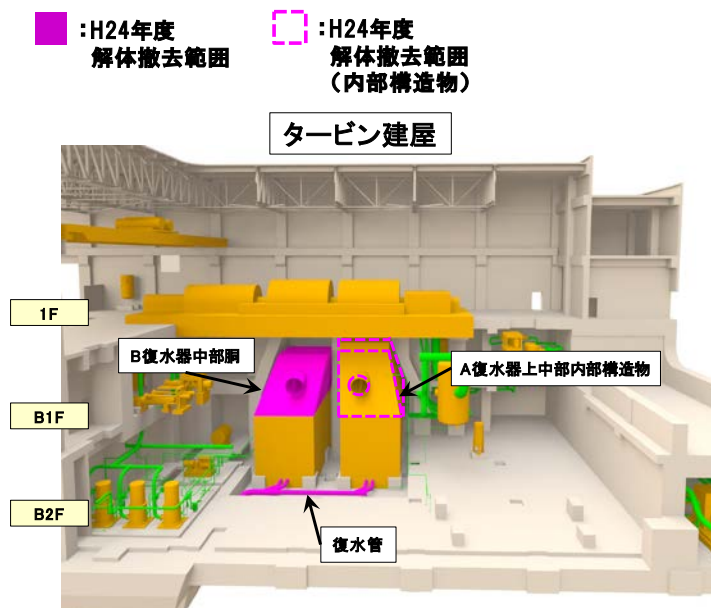


ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-3-4



解体撤去物等の実績



復水器等の解体撤去工事範囲図

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

解体撤去物等の実績(トン)

年度 種類	～H23	H24 予想	H24 実績 *1	合計
金属	590.1	101	90.3	680.4
保温材	31.3	1	1.3	32.6
コンクリート	30.2	8	3.9	34.1
合計	651.6	110	95.5	747.1
二次廃棄物	21.4	4	3.7	25.1

(端数処理に伴い合計値が一致しないことがある。)

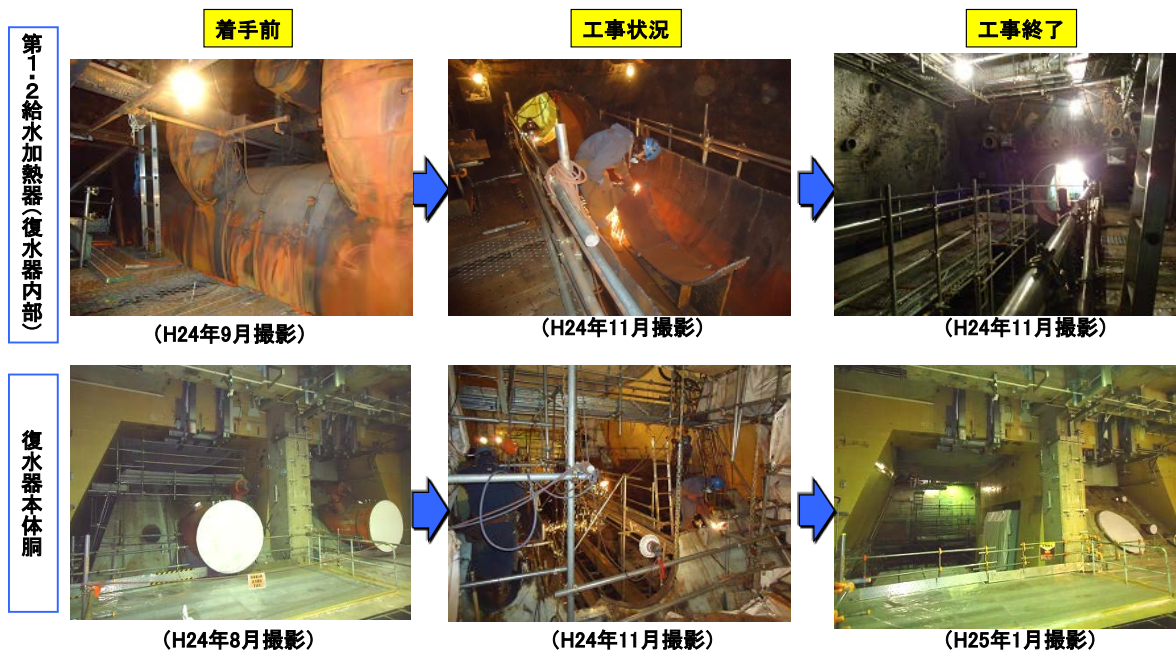
解体撤去作業人工数(人・日)

～H23	H24予想	H24実績 *1	合計
11,032	1,800	1,473	12,505

* 1: データはH25年2月末現在

資料 27-3-5

復水器等(管理区域)の解体撤去工事状況



ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-3-6



タービン補機冷却水ポンプ等(保安区域)の解体工事状況

着手前



(H25年1月撮影)

工事状況



(H25年2月撮影)



(H25年2月撮影)

タービン補機冷却水ポンプ

密封油処理装置



(H25年1月撮影)



(H25年1月撮影)



(H25年2月撮影)

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-3-7



コンクリート解体における静的破碎法の適用

◆ コンクリート解体技術

切削	機械的	ダイヤモンドワイヤーソー
		コアボーリング
	切削	ディスクカッター
		アブレイシブウォータージェット
破碎	打撃	成型爆薬
	衝撃	ブレーカ
	機械圧力	制御爆破
	膨張変形	圧砕機
熱		静的破碎材
		火炎切断
		レーザー切断

過去にふげん解体工事で使用実績有

◆ 破碎工法の比較(静的破碎剤メーカーカタログより)

項目 種別	破碎力	破碎時の状況				安全性	防護設備の簡略化※	経済性※
		騒音	振動	粉じんガス	飛石			
ダイナマイト	◎	×	×	×	×	×	×	◎
コンクリート破碎機	○	△	△	×	△	△	×	○
大型油圧ブレーカー	△	△	○	○	○	○	◎	△
油圧割岩機	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	×
静的破碎材	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○

注) ◎優れている、○:良い、△やや劣る、×劣る(または公害あり)

※破碎場所の環境により左右される。



コアボーリングによる穿孔作業



静的破碎材の注入作業



約24時間後の状態

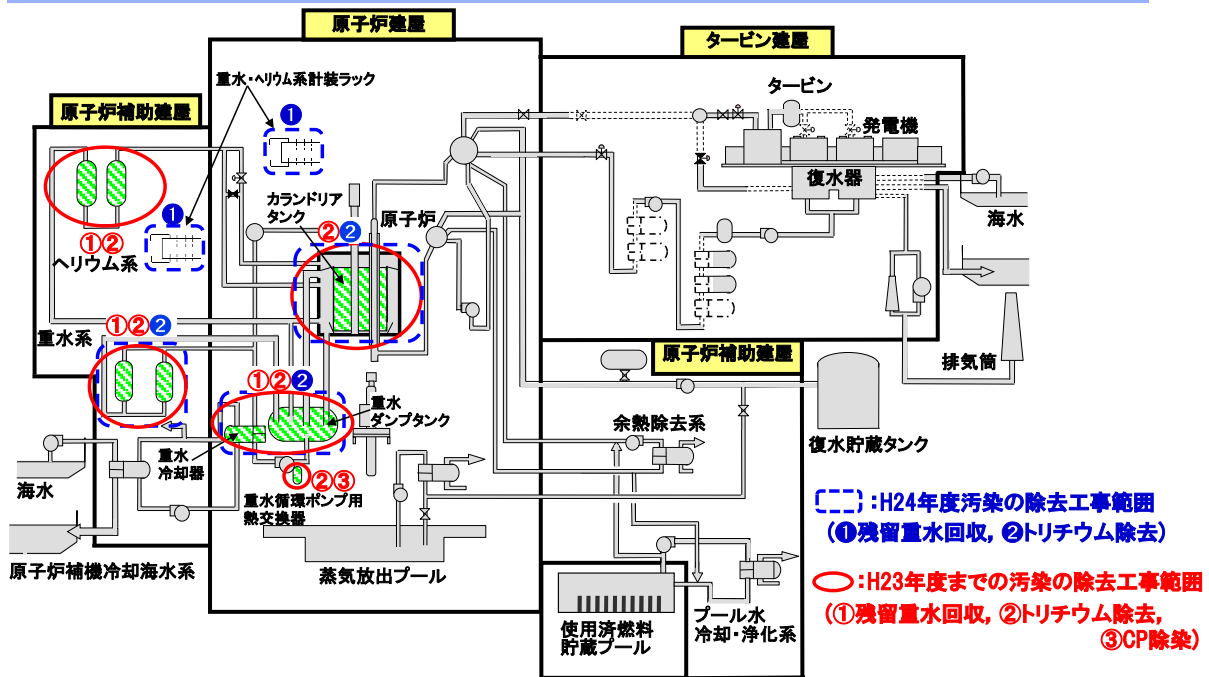
静的破碎作業の状況 (タービン補機冷却海水ポンプ基礎[保安区域])

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-3-8



汚染の除去工事の実施範囲



ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-3-9



汚染の除去工事(残留重水回収、トリチウム除去)の作業状況

	作業概要	作業状況 (H24.2月末現在)
残留重水回収	弁操作によるドレンアウト後に、フランジの開放、配管の切断等により内部に残留する重水を回収	約2130リットル回収
トリチウム除去	システムを分割して加熱真空引き等によりトリチウムを除去 トリチウム除去装置を用いてカランドリアタンク等に乾燥空気を循環することによりトリチウムを除去	検出限界値以下 (作業エリア内トリチウム濃度) 実施中



残留重水回収作業の状況



トリチウム除去装置

原子炉建屋			原子炉補助建屋	
主な機器※	重水回収 (リットル)	トリチウム除去 (Bq/cm³)	重水回収 (リットル)	トリチウム除去 (Bq/cm³)
◆カランドリアタンク ◆重水冷却器 ◆ダンプタンク	実施中 105	実施中	10	検出限界値以下
◆重水循環ポンプ用熱交換器	0.3	検出限界値以下	21	検出限界値以下
◆R/B重水ドレンタンク	92	今後実施予定	62.4	実施中
			606	今後実施予定
			1230	今後実施予定

※ 計装配管内の残留重水回収を実施中

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-3-10



遮へい冷却水の抽出し等作業

目的

ランドリアタンク等のトリチウム除去(真空乾燥)を行うために、当該タンクを覆っている鉄水遮へい体*の遮へい冷却水(六価クロム含有)を約90m³(推定値)を抽出し、無害化処理を行う。

遮へい冷却水の性状

六価クロム濃度	約400ppm	排出基準 0.5ppm
全クロム濃度	約400ppm	排出基準 2.0ppm
カリウム濃度	約800ppm	——
主要放射能濃度	Mn-54	$< 5.4 \times 10^{-3}$ Bq/cm ³
	Co-60	$< 3.0 \times 10^{-2}$ Bq/cm ³
	Cs-134	$< 8.1 \times 10^{-3}$ Bq/cm ³

【実績】平成25年2月末現在

- 既設回収ラインから回収可能な約55m³の抽出を実施し、作業を終了
- 約55m³の無害化処理を実施

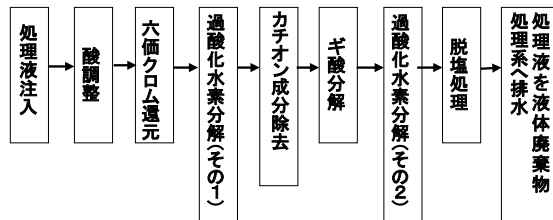
【今後の予定】

- 残留遮へい冷却水の抽出し方法の検討
- 次年度以降の無害化処理計画の立案

* 原子炉からの放射線や伝熱を遮へいすることを目的に設置

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

■ バッチ処理 (5m³/バッチ)



六価クロム無害化処理フロー図



遮へい冷却水抽出し作業状況



処理のための薬品注入状況

資料 27-3-11



「ふげん」を用いた研究開発

高経年化調査研究事業

・原子力発電所の高経年化対策の充実を目的として、長期運転に供した「ふげん」の実機材料データを採取して、保全管理技術の妥当性検証等の研究を原子力機構安全研究センターと連携して行う

(1) ステンレス鋼の熱時効脆化研究 (2) SCC対策技術の有効性確認



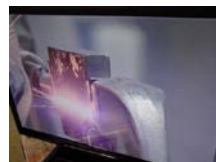
原子炉再循環系配管からの試料採取状況



硬さ測定状況

レーザー除染試験に関する研究

・原子力施設の廃止措置等において、建屋内の高線量部分の除染に利用できるレーザー除染装置の開発を目的に、(財)若狭湾エネルギー研究センター等と原子力機構が共同研究を実施



レーザー除染試験状況

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

低圧ケーブルの経年劣化測定技術の実用化研究

・原子力プラントの高経年化対策に資するためマイクロ波誘電吸収法によるケーブル劣化診断の手法を開発することを目的に、福井工業大学、憚TASと原子力機構が共同研究

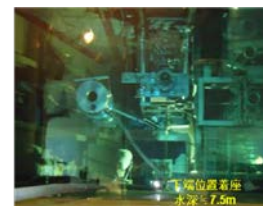
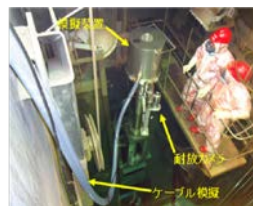
・制御棒駆動装置用ケーブル、原子炉内中性子計測装置駆動装置用ケーブル、再循環ポンプ温度計用ケーブル等を対象として、適用性試験を実施



ケーブル劣化診断法適用性試験状況

使用済燃料集合体中のPu量非破壊測定装置実証試験

・IAEAの使用済燃料の次世代保障措置検閲を目的に、ロス・アラモス国立研究所(LANL)と原子力機構が、ふげん使用済燃料中のPu量を測定する非破壊測定(NDA)システムの性能評価を共同で実施



Pu-NDA実証試験準備作業状況

資料 27-3-12



国際会議等報告

OECD/NEA技術諮問グループ会議(TAG-53)

OECD/NEA廃止措置協力計画のもとで定期的に開催されるTAG会議において、各国の廃止措置状況に係る意見交換や廃止措置関連施設の調査を通して継続的に情報を収集

- 開催期間:平成24年10月15日(月)～19日(金)
- 開催場所:アメリカ/シンシナティ

- 「ふげん」からは、廃止措置の進捗状況として、復水器の解体状況、重水回収状況、原子炉本体解体技術に関連してレーザー切断工法による切断試験の実施状況及び今後の計画を報告
- TRR(台湾:重水減速軽水冷却型研究炉:40MWt)
 - ・1998年に運転を停止し廃止措置を実施中
 - ・主要冷却系、重水系設備の解体を終了し、原子炉容器は撤去し安全貯蔵中
 - ・現在、使用済燃料貯蔵プールの除染を実施中



TAG53 会議状況

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター(ふげん)

フランス原子力・代替エネルギー庁(CEA)との情報交換会議

JAEA/CEA間の「原子力研究開発分野における協力のためのフレームワーク協定」に基づき、解体と廃止措置、廃棄物処理技術をテーマとして情報交換会議を開催

- 開催時期:平成24年10月22日(月)～26日(金)
- 開催場所:日本/JAEA東海研究開発センター
JAEA人形峠環境技術センター

JAEAからの報告

- JAEA施設の廃止措置全体概要、東海ウラン濃縮施設の廃止措置、廃止措置に係る管理データ評価システムの研究、焼却灰セメント固化試験等の報告
- 福島復旧技術(除染効果予測コード、モニタリング・マッピング方法、スラッジ等の処理・処分の技術開発)の報告
- 「ふげん」からは、廃止措置の状況、原子炉領域解体に向けた構造材の切断技術開発について報告

CEAからの主な報告

- 廃止措置技術:
3Dモデル・VRシミュレーションシステム技術開発、レーザー切断技術開発等の解体への適用等の報告
- 廃棄物処理技術:
土壌汚染の環境修復に用いた評価方法、汚染マップ作成コード等の報告

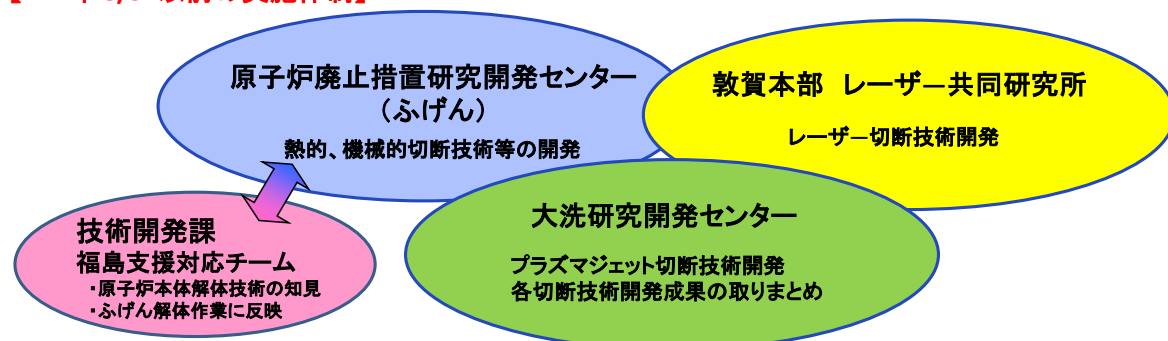
資料 27-3-13



福島支援のための切断技術確証試験(1)

炉内解体技術開発グループの体制

【H24年 8/31以前の実施体制】



【H24年 9/1以降の実施体制】

- 大洗研究開発センターに炉内解体技術開発Gr.を設置
- ふげん、レーザー共同研究所の担当者は、大洗研究開発センターと兼務

大洗研福島技術開発特別チーム 炉内解体技術開発グループ

- ・敦賀本部、大洗研究開発センターが一体的に研究開発を実施、共通試験体の製作、試験装置の共用
- ・解体技術に係るノウハウの共有、施設解体に係る技術者の育成

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター(ふげん)

資料 27-3-14



福島支援のための切断技術確証試験(2)

〈開発目標〉 炉内構造物の材質を考慮した厚板(150mm以上)に対する水中切断技術の適用性評価

【平成24年度ふげん実施計画】

1) プラズマアーク切断技術

- ・出力200Aの装置を用いた気中・水中での切断試験(実施中)
- ・出力600Aの装置整備及び気中・水中での切断試験(実施中)
- ・切断性能比較のため、ガソリン切断試験(実施中)

2) アブレイシブウォータージェット(AWJ)切断技術

- ・吐出圧力200MPa以上の装置による気中・水中での切断試験(実施済)
- ・切断性能の比較のため、バンドソー切断試験(実施済)



プラズマアーク切断装置【水中】



(主な切断条件)
出力: 200A, 600A
プラズマガス: Ar+H₂, Ar+N₂
シールドガス: Air
スタンドオフ: 5, 10, 15, 20mm



AWJ装置【気中】



AWJヘッド【気中】

(主な切断条件)
吐出圧力: 200, 250, 300, 370MPa
研掃材供給量: ガーネット 1.5kg/min
スタンドオフ: 10, 30, 50, 100mm

2.2 重水回収・トリチウム除去における
除去技術の高度化

Fugen Decommissioning Project



重水回収・トリチウム除去における 除去技術の高度化

報告概要

- 「ふげん」のトリチウム汚染の特徴
- 従来法のトリチウム除去
- 重水回収・トリチウム除去の実績のまとめ
- 課題とトリチウム除去技術の高度化
- まとめと今後の検討

技術開発部 開発実証課 門脇 春彦



ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

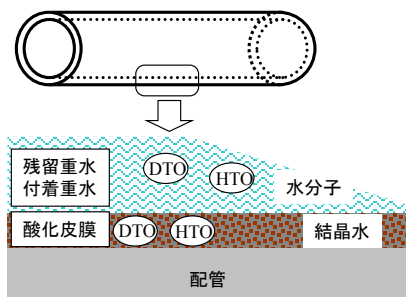
資料 27-4-1

Fugen Decommissioning Project



「ふげん」のトリチウム汚染の特徴

「ふげん」の重水系機器・配管類は原子炉の運転によりトリチウムによって汚染
 重水中トリチウム濃度： 2.6×10^8 Bq/cm³（平成15年3月-運転停止時）



○トリチウムの状態

- ・残留重水及び付着重水（水分子）と酸化皮膜中重水（結晶水）

○酸化皮膜中トリチウム

- ・付着重水除去後に空气中に拡散

○トリチウム放出率（常温環境下）

- ・付着重水除去直後： $\sim 10^2$ Bq/cm²/hour
- ・2000時間～3000時間経過後： $\sim 10^{-2}$ Bq/cm²/hour



このような特徴の汚染に鑑みトリチウムの除去には以下の方法が有効

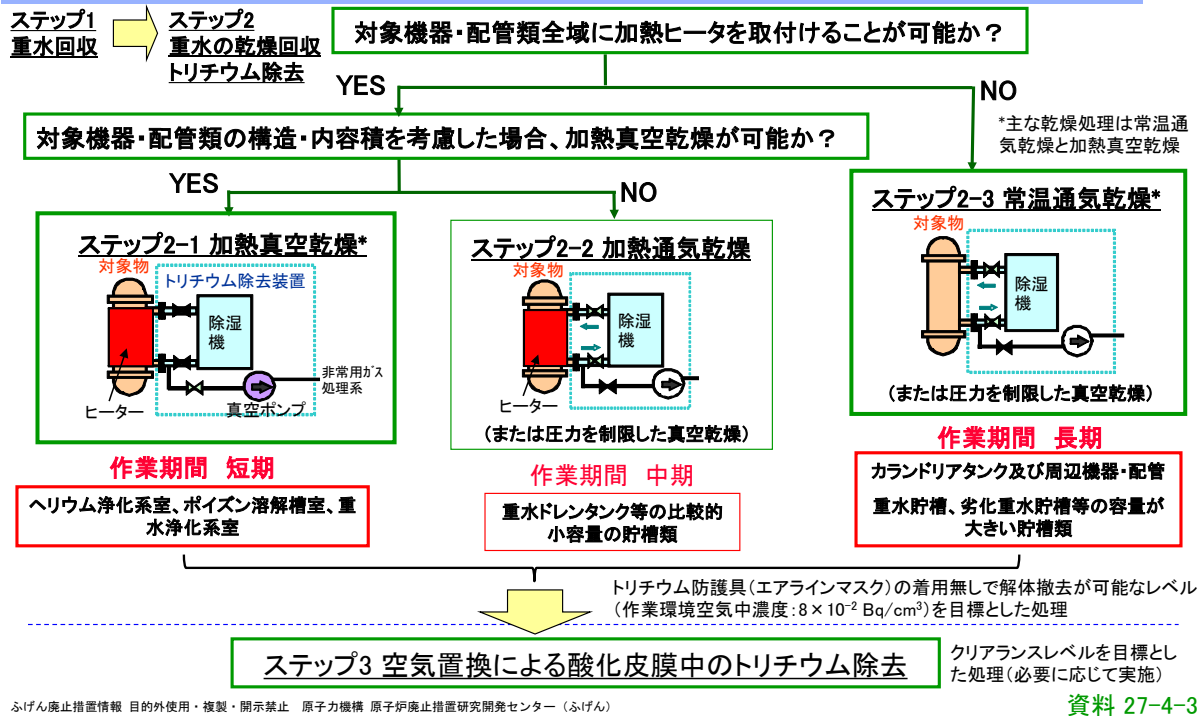
- ① 残留重水のドレンアウト（重水回収）
- ② ドレンアウト後の通気乾燥や真空乾燥による残留重水・付着重水除去（重水の乾燥回収・トリチウム除去）
- ③ 付着重水除去後の酸化皮膜中トリチウムの空気置換（トリチウム除去）

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-4-2



従来法のトリチウム除去



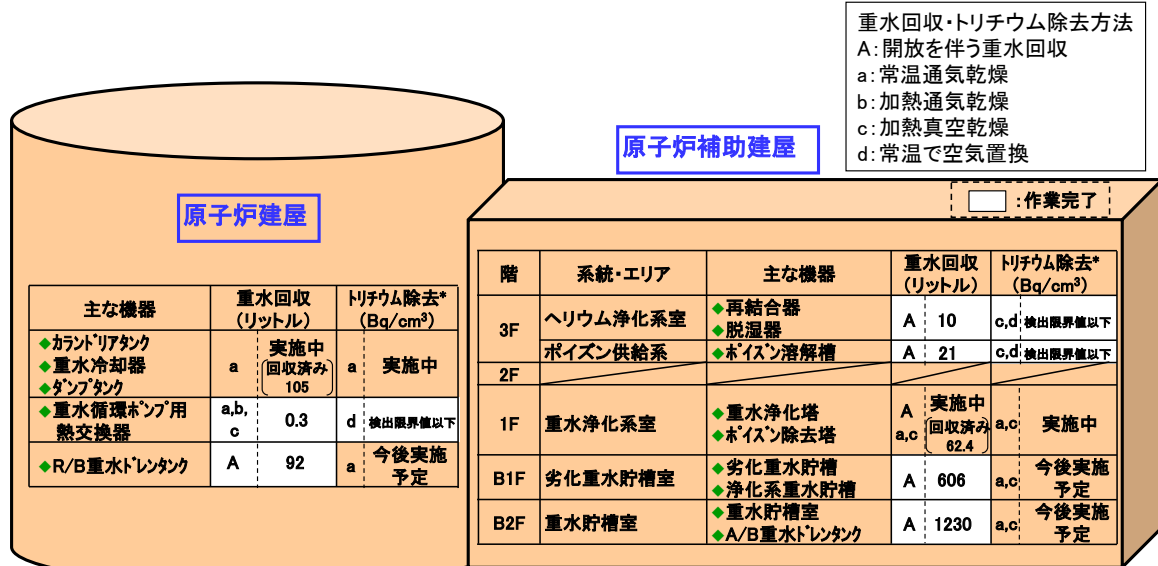
重水回収・トリチウム除去の実績工程

	平成 20年度	平成 21年度	平成 22年度	平成 23年度	平成 24年度	平成 25年度
(1)弁操作による重水の抜き出し		重水回収: 約240 m ³				
(2)重水循環ポンプ用熱交換器のトリチウム除去		残留重水・付着重水(含トリチウム)除去方法の実機適用性評価試験				
(3)原子炉補助建屋の残留重水回収・トリチウム除去(系の開放を伴う重水回収を含む)						
(4)カランドリアタンク等のトリチウム除去			回収: 約100 L		回収: 約5 L	



重水回収・トリチウム除去の実績のまとめ

- ・開放を伴う重水回収と通気・真空乾燥（平成25年2月末における実績）



*残留重水・付着重水を十分除去後、系を開放した状態での作業エリア内のトリチウム濃度

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-4-5



課題とトリチウム除去技術の高度化

- ①大型除湿機が設置できない狭隘箇所を有する系統の乾燥
(主に重水冷却系)

→ 小型可搬式除湿機

- ②残留重水量の把握
(カランドリアタンクを含む重水冷却系)

→ 残留量推測方法

- ③ヒーター設置が困難、かつ、通気乾燥に適さない部分の乾燥
(作業員がアクセスできない部分)

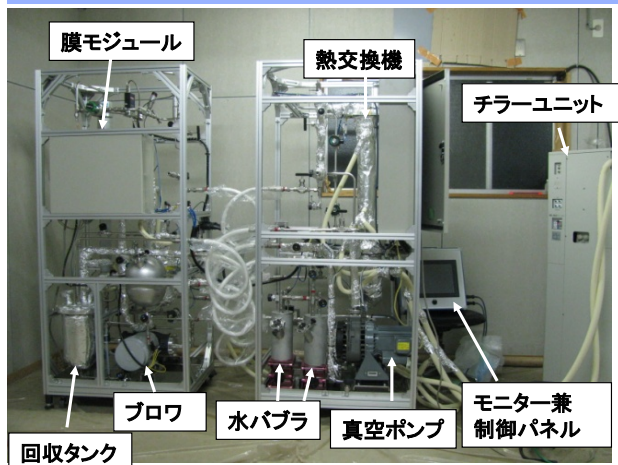
→ 常温真空乾燥法

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-4-6



①小型可搬式除湿機

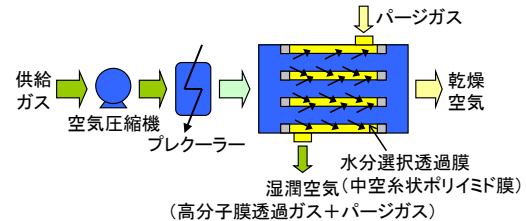


可搬式除湿機の外観

特徴

- ・低露点であるため、湿分の回収効率が低い。
- ・装置が小型・可搬式であるため、狭隘な場所でもトリチウム除去作業ができる。

高分子膜モジュール式除湿機のプロット



装置仕様

- ・除湿方式: 冷却凝縮・膜分離併用
- ・大きさ: L 0.8m × W 0.6 m × H 1.8 m (×2ユニット)
- (各ユニットはフレキシブルチューブで接続)
- ・最大風量: 50 L/min
- ・到達露点: $-80^{\circ}\text{C}(\text{dp})$ (水蒸気圧 0.05 Pa[abs])

従来の1/10サイズ

従来の除湿機

- ・大きさ: L 8.0 m × W 4.3 m × H 3.7 m
- (主要機器は鋼製配管で溶接接続)
- ・風量: $8.3 \text{ m}^3/\text{min}$
- ・露点: $-20^{\circ}\text{C}(\text{dp})$ (水蒸気圧 103 Pa[abs])

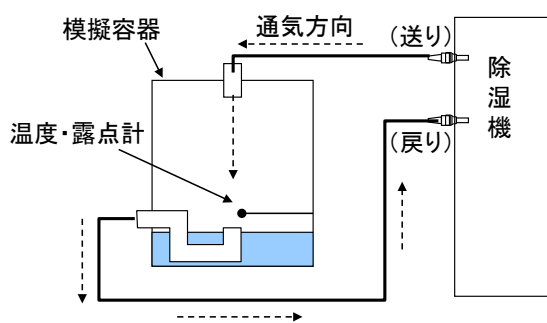
ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-4-7

①除湿機の性能試験(コールド試験)



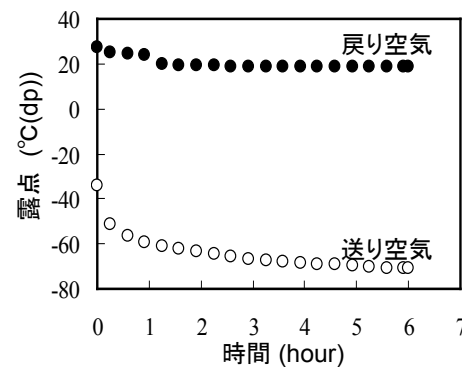
試験目的: 除湿機の到達露点評価



モックアップ試験装置(重水浄化塔を模擬)

条件

残留水量: 5 L、温度: 室温 (31°C)
 風量: 22 L/min (重水浄化塔の通気速度を考慮)



通気乾燥中の戻り空気及び送り空気の露点の経時変化

本方式(冷却凝集・膜分離併用式)の除湿により、戻り空気露点 $19^{\circ}\text{C}(\text{dp})$ の湿り空気を露点 $-60^{\circ}\text{C}(\text{dp})$ 以下の乾燥空気に除湿できた。
 このことから本方式は十分な除湿性能を持つことを確認した。

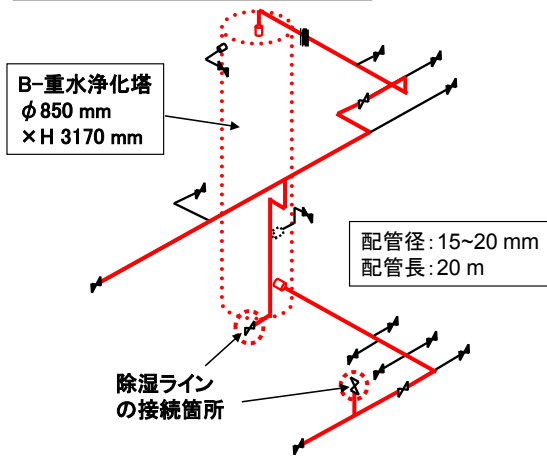
ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-4-8

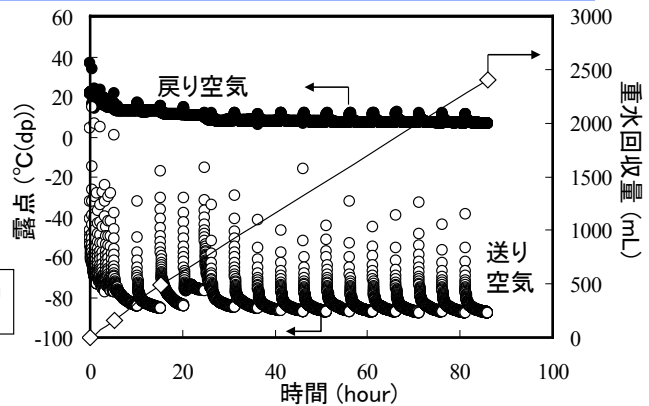


①重水浄化塔の常温通気乾燥(除湿機の適用性確認)

試験目的: 実機の乾燥性能評価



B-重水浄化塔を含む通気ライン 容積: 約1.8 m³



B-重水浄化塔の通気乾燥中の戻り空気及び送り空気の露点及び重水回収量の経時変化
風量: 11~21 L/min, 室温: 10~20°C

送り空気の露点が -60°C(dp) 以下になり、また時間とともに重水回収量が増加した。実機の通気乾燥においても湿り空気を乾燥できることを確認した。露点データより、系統には重水が残留しており、乾燥処理が必要である。

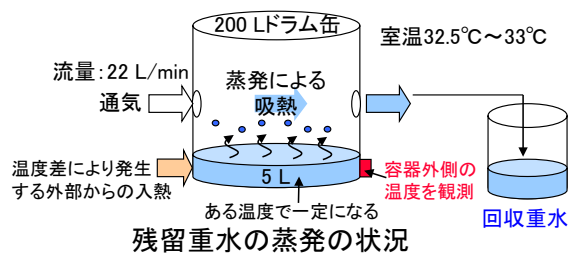
ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-4-9

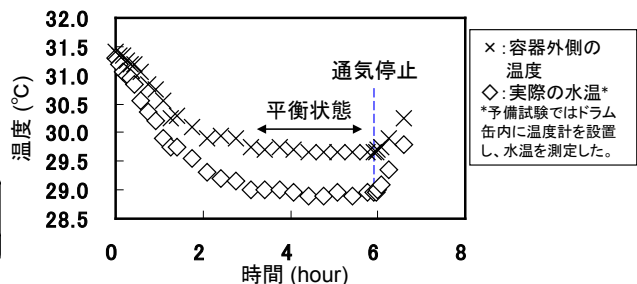


②残留量推測方法の概念

熱量計算から残留重水量を求める
手順の概念(通気乾燥)



残留重水の蒸発の状況



通気乾燥時の水温の経時変化(予備試験_軽水)

外部からの入熱

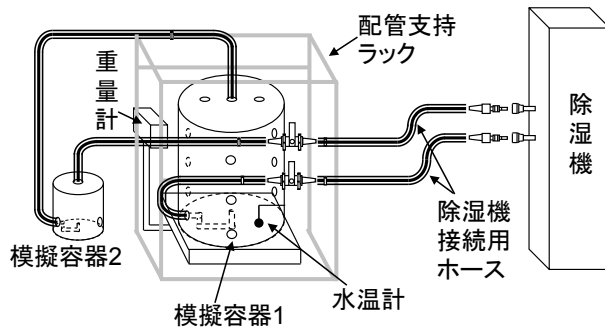
- (通気時) 重水の蒸発: 重水の蒸発量 × 蒸発潜熱
- (停止時) 重水の温度上昇: 重水の残量 × 比熱 × 温度変化量
- その他、重水の蒸発、機器配管類の温度上昇 など

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-4-10



②残留量の推測精度の評価

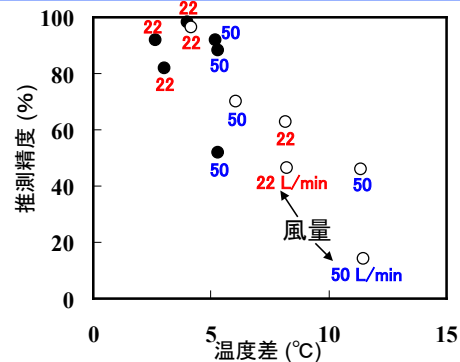


モックアップ試験装置

通気流路: 模擬容器1と2がホースで直列接続

残留水量: 5 L (模擬容器1) 及び 2 L (模擬容器2)

風量: 22~50 L/min、室温: 29~32℃



温度差 |室温 - 水温| と推測精度の関係

●: 模擬容器1, ○: 模擬容器2

$$\text{推測精度}\% = (1 - (|\text{実量} - \text{推測量}| / \text{実量})) \times 100$$

室温と水温の差が5℃以内の場合に推測精度が80%以上を示した。室温と水温の差が大きい程、推測精度が低い傾向が示された。これは温度差が大きい場合に、加温される容器壁(外側)と実際の水温(内側)の温度勾配が大きいため、測定精度が比較的低くなったことが原因と考えられる。精度を上げるためには温度差、即ち風量を小さくすることが必要である。

課題 適用対象のカランドリアタンク内の重水の温度を高精度測定

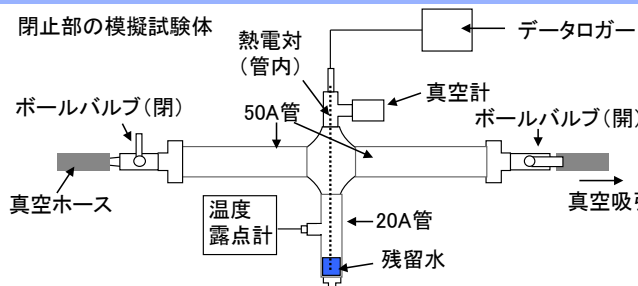
現在は既設のカランドリアタンク内の温度計(熱電対)により残留重水の温度の検出が可能か検討中。

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-4-11



③常温真空乾燥による閉止部残留水の乾燥



条件

乾燥方法: 常温真空乾燥

模擬試験体: 20A~5 cm配管閉止部(ポケット)

真空圧力: 吸引限界(およそ 3.7×10^2 Pa)

室温: 24~29℃

試験手順

①閉止部に水25mLを注入する。

②バルブ(開)にし真空吸引する。

このとき残留水が蒸発し冷却される。

③任意の時間でバルブを閉じる。

このとき残留水が室内空気により加温される。

④手順②と③を繰り返し、残留水が無くなるまでパッチ処理する。

*比較

通気乾燥

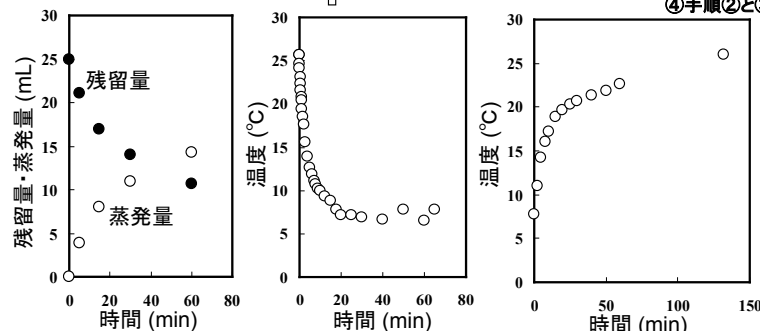
条件

風量: 50 L/min.

試験手順

①水25 mLを注入

②連続通気



残留水の常温真空乾燥における残留量・蒸発量の経時変化
残留水の常温真空乾燥における水温の経時変化
真空保持時における残留水の温度の経時変化

30分までの蒸発速度は22 mL/hourを示した。本条件の閉止部(ポケット)残留水の乾燥において、**常温真空乾燥は通気乾燥速度*の60倍速く**、本法の優位性が確認された。

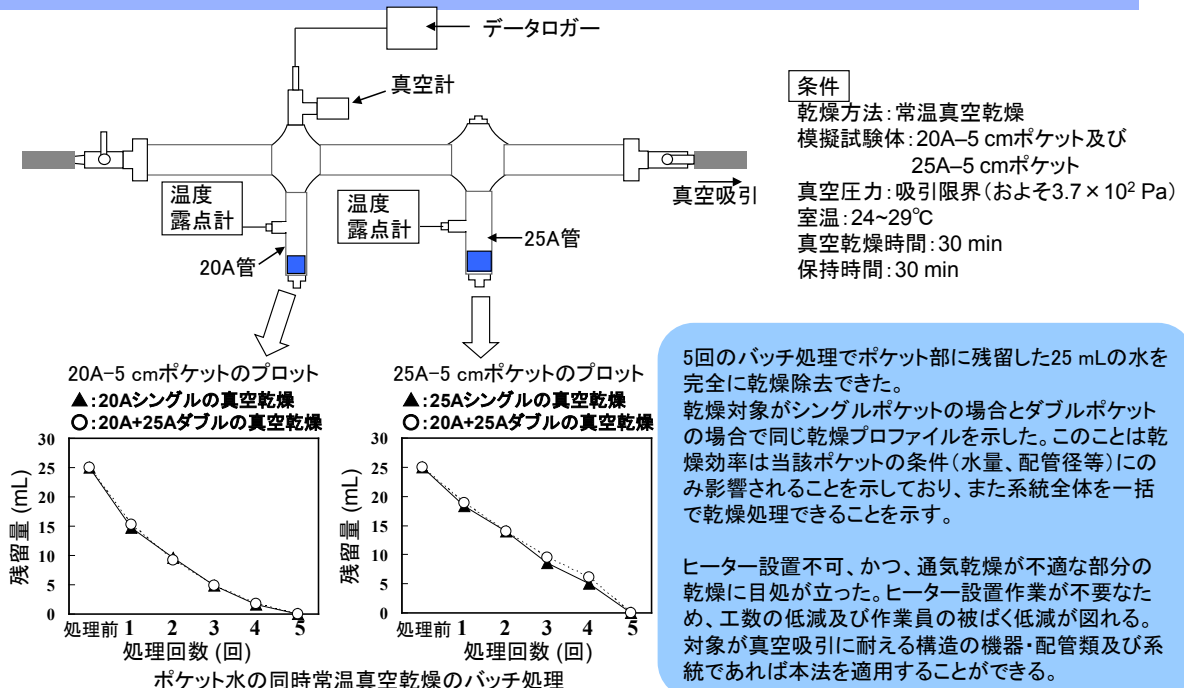
乾燥と加温を交互に5~15分繰り返すことがポケット水の除去に効率的であるが、作業性等を考慮して、30分の真空吸引と30分の真空保持・加温が適切であると判断した。

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-4-12



③閉止部残留水の常温真空乾燥適用性試験



ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-4-13



まとめと今後の検討

- ① 小型可搬式除湿機の適用により、大型除湿機が設置できない狭隘箇所を有する系統の乾燥に目処が立った。

→ 小型可搬式除湿機を適用したトリチウム除去の検討

現在、重水冷却系について計装ラックの配管を切断し、この切断箇所を利用して重水残量の推測や、小型可搬式除湿機を用いた乾燥データ取得等を検討している。

- ② 通気法の応用により、容器内の水の残留量を測定できる見通しが得られた。

→ カランドリアタンク内の重水残量推測の検討
 (課題: 残留重水の精密な温度測定)

- ③ 常温真空乾燥法の開発により、ヒーターの設置が不要で系統の一括乾燥が可能となった。

→ 常温真空乾燥法を適用した系統のトリチウム除去
 現在、B-重水浄化塔の常温真空乾燥を実施中

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-4-14

3. 福井県エネルギー研究開発拠点化計画への「ふげん」の取組み状況報告

本章は、第 27 回ふげん廃止措置技術専門委員会において福井県エネルギー研究開発拠点化計画への「ふげん」の取組み状況に関する発表資料を取りまとめたものである。

3.1 福井県における高経年化調査研究

Fugen Decommissioning Project



福井県エネルギー研究開発拠点化計画への「ふげん」の取組み状況報告

福井県における高経年化調査研究

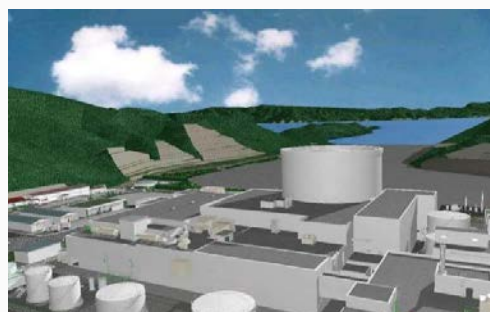
安全研究センター 榊原 安英

報告概要

➤ 研究発足の経緯と目的

➤ 研究課題

- 研究成果1:配管減肉
- 研究成果2:保全技術等有効性確認試験(SCC)
- 研究成果3:熱時効脆化
- 研究成果4:状態監視技術の実機適用調査



ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-5-1

Fugen Decommissioning Project



高経年化調査研究のこれまでの経緯

H16 (2004)	H17 (2005)	H18 (2006)	H19 (2007)	H20 (2008)	H21 (2009)	H22 (2010)	H23 (2011)	H24 (2012)
旧サイクル機構 旧原研		H17.10 2法人統合 日本原子力研究開発機構(JAEA)発足						
▲H16年度末 福井拠点化計画の中での福井高経年化研究の準備開始(サイクル機構)								
▲H17.9 福井高経年化研究(JNES委託)開始 (敦賀本部)								
▲H18.4 研究グループをJAEA安全センターに移管								
▲H20.11 委託研究再開(配管減肉・熱時効)								
▲H21.7 研究拡充(配管減肉・熱時効・SCC)								
▲H24.7 (配管減肉終了→基礎ボルト着手)								
▲H18.10 高経年化対策強化基盤整備事業(保安院)開始: 地域の研究機関、事業者、大学が連携し、東北、東日本、茨城、 福井・近畿圏の4クラスターで実施。								
▲H23→フェーズⅡ								
▲H16.12 高経年化対策検討委員会発足(保安院): 国内外の最新知見を採り入れ、PLMの拠り所 となる基準、指針等の明確化や国による合理的な検査の在り方等について検討。								
▲H17.8 高経年化対策の充実に関する報告書								
▲H17.12 炉規則改正、ガイドライン、標準審査要領制定、技術資料集整備								
▲高経年化対応技術戦略マップ2007,2008,2009								
▲高経年化対策実施基準(初版)・2008年版								
▲H21新検査制度の導入								
▲H24.9 規制庁発足								
▲H23.3 福島原発事故								
▲H16.8 美浜3号機配管破損事故								

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-5-2



エネルギー研究開発拠点化計画

エネルギー研究開発拠点化計画

基本施策

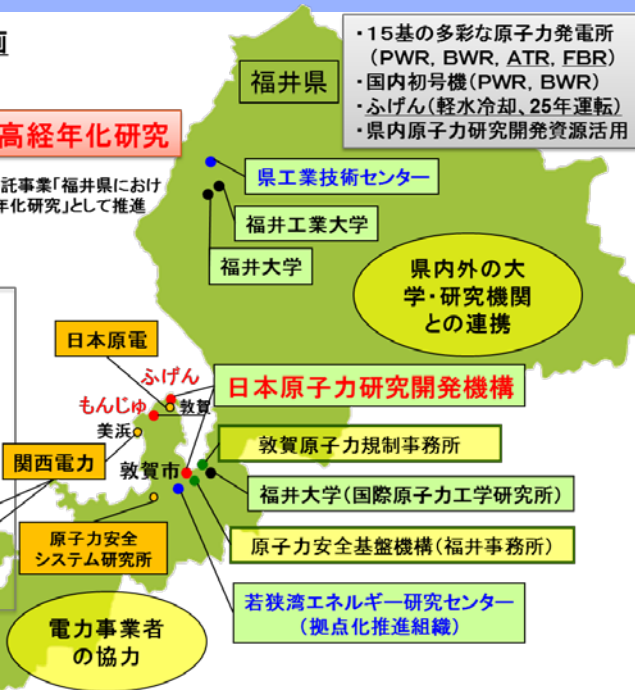
- ①安全・安心の確保
- ②研究開発機能の強化
- ③人材の育成・交流
- ④産業の創出・育成

福井高経年化研究

JNES委託事業「福井県における高経年化研究」として推進

重点施策

- ①国際原子力人材育成センター
- ②エコ芸術振興拠点化プロジェクトの推進
- ③原子力安全研修施設
- ④広域の連携大学拠点の形成
- ⑤嶺南新エネルギー研究センター
- ⑥高速増殖炉(FBR)を中心とした国際的研究開発拠点の形成
- ⑦レーザー共同研究所
- ⑧福井クールアース・次世代エネルギー産業化プロジェクト



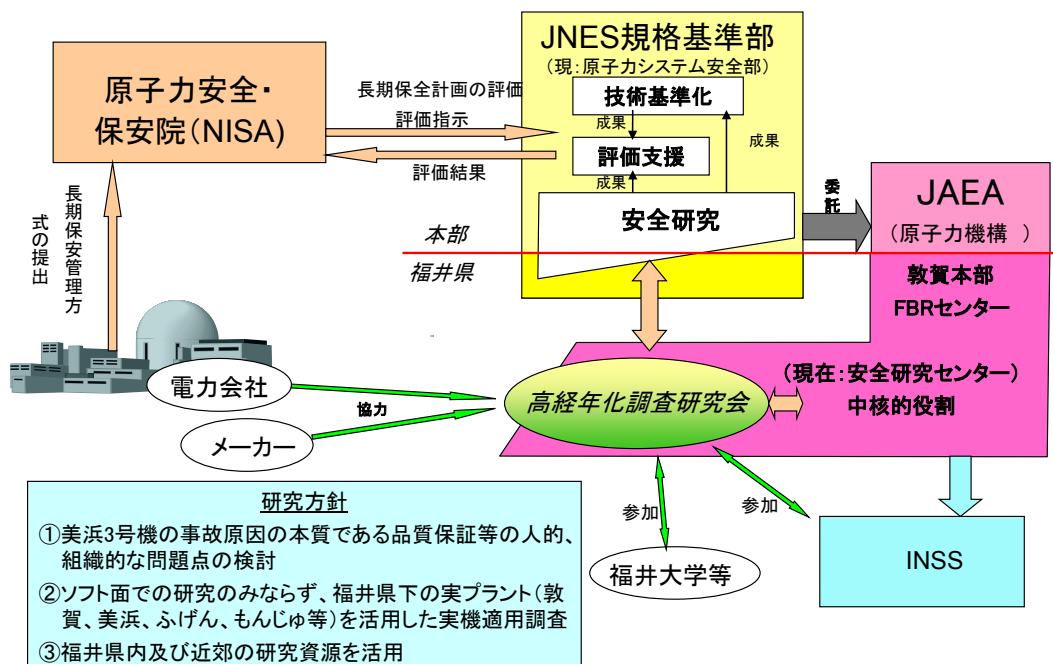
ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-5-3



高経年化調査研究体制

(H17保安院資料)



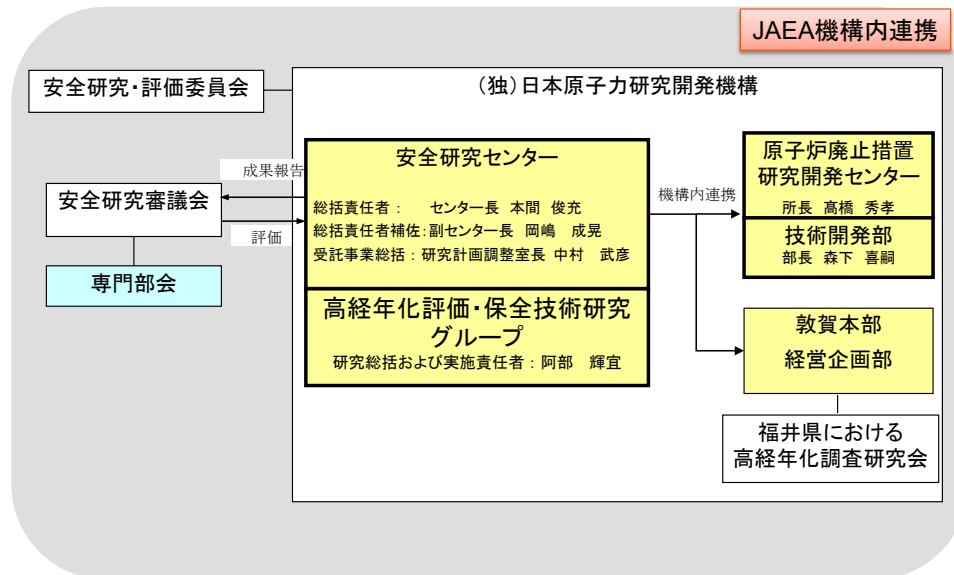
ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-5-4



高経年化調査研究実施体制

安全研究評価委員会・審議会での審議と専門部会での技術評価

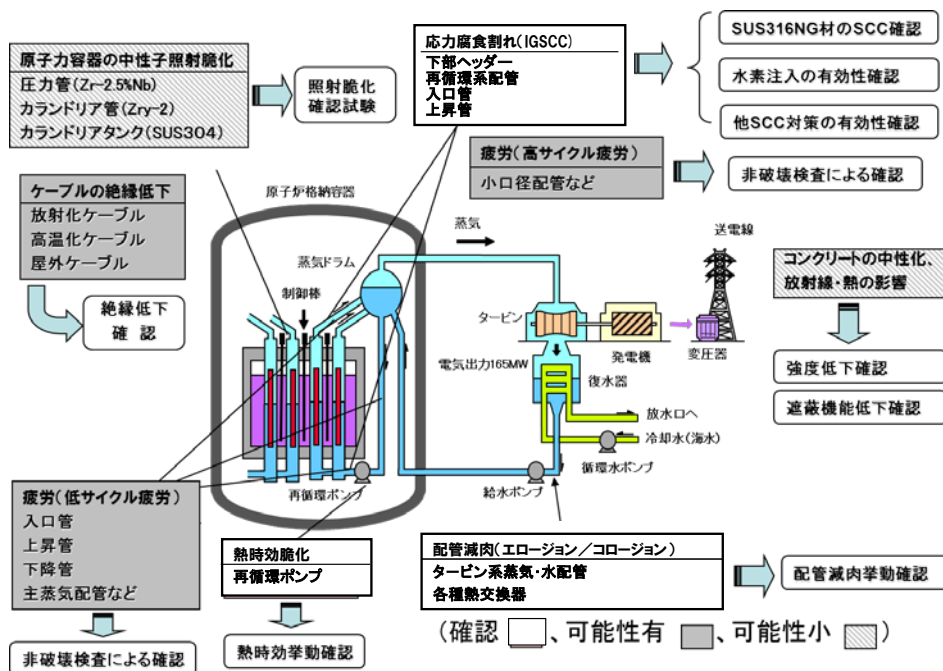


ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-5-5



ふげん実機材と高経年化事象



ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-5-6

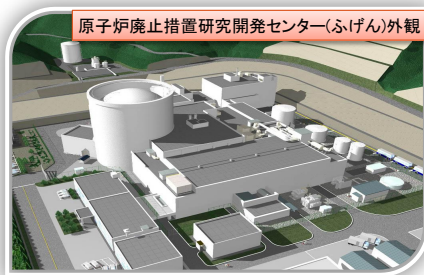


福井県における高経年化調査研究のミッション

- ・「ふげん」廃止措置計画の中に、「ふげん」を利用した研究開発等を実施することが位置付けられていることから、実機材の長期運転状況における高経年化事象の発生状況の正確な把握が可能。
- ・「ふげん」実機材を用い、高経年化対策・管理技術（予測、評価、検査等）の妥当性を国がより適切に判断できるようにするための各種データ・知見の収集を行う。



- ・高経年化対策・管理技術の信頼性向上
- ・JSME等の規格基準、規制基準の整備への貢献



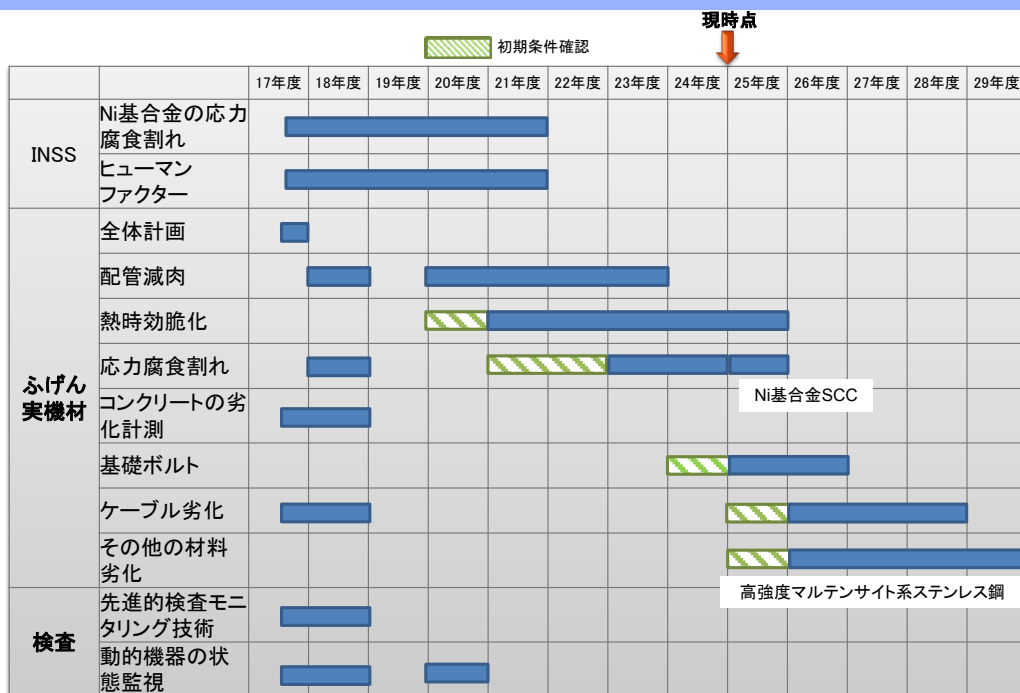
エネルギー研究開発拠点化計画：
福井県にある、25年間の長期運転に供し、現在廃止措置工事が進捗中である「ふげん発電所」の機器・構造物の実機材料や運転データを用いて、劣化事象ごとに、保全管理技術の妥当性検証などの研究を、長期運転プラントや研究機関等が集積する福井県下で実施する。

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-5-7



高経年化調査研究の経緯

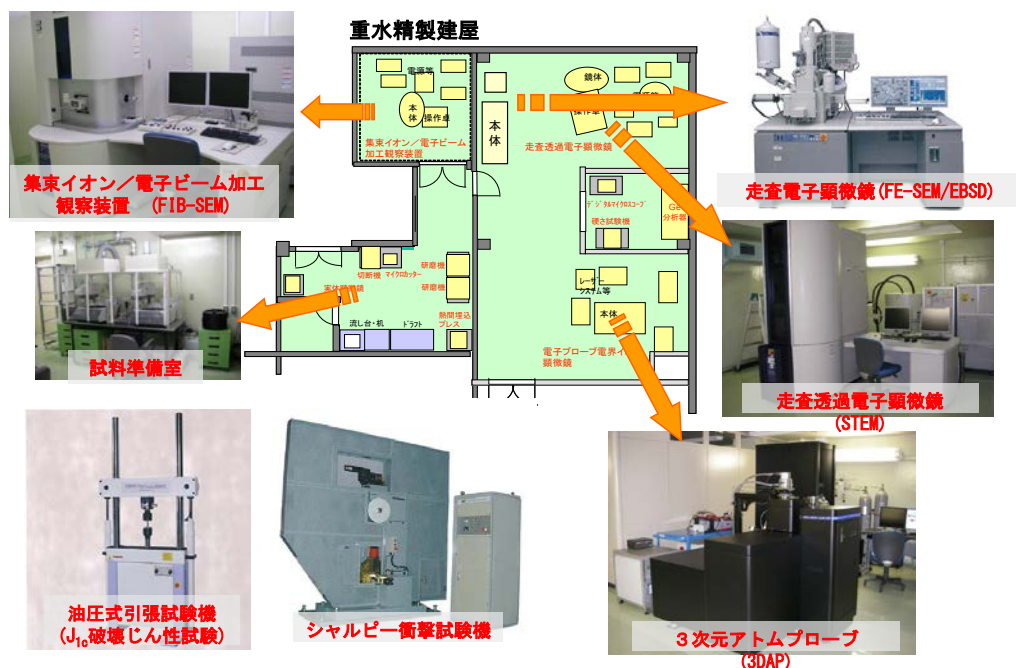


ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-5-8



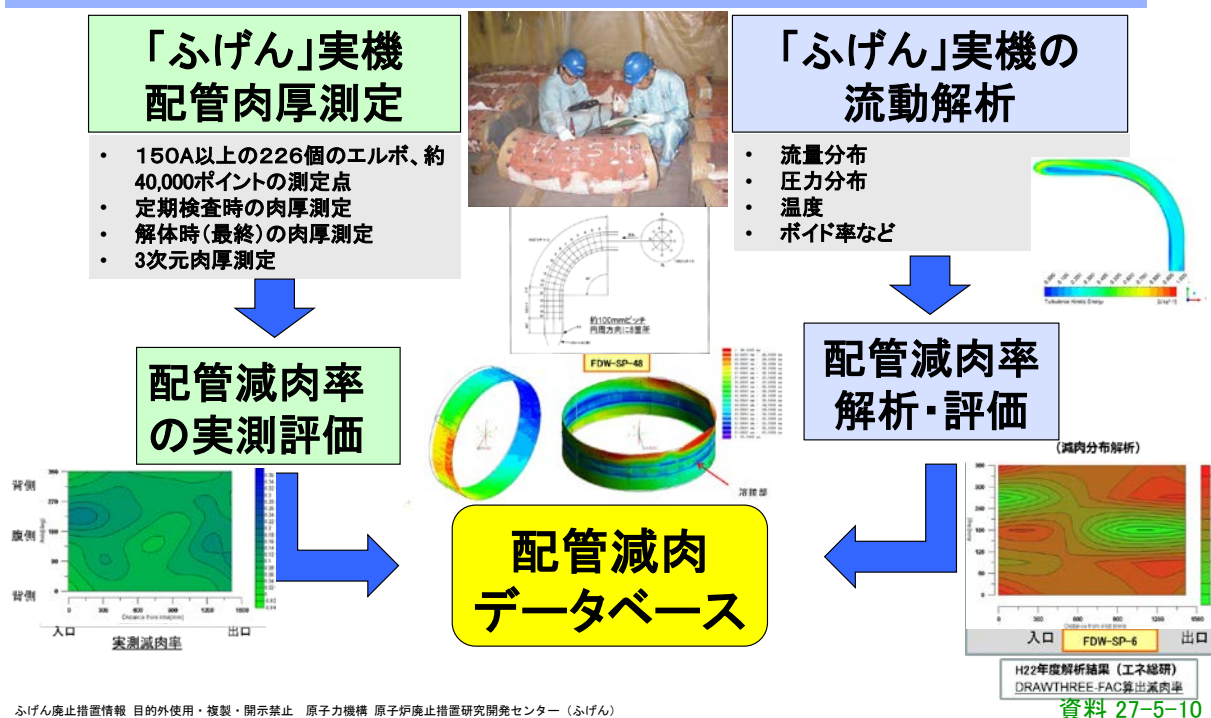
ふげん高経年化分析室(ホットラボ) 分析装置



ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子力廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-5-9

研究成果1(配管減肉)



ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

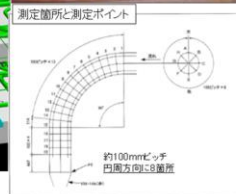
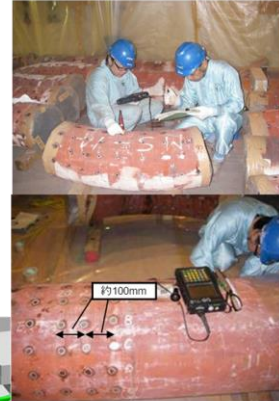
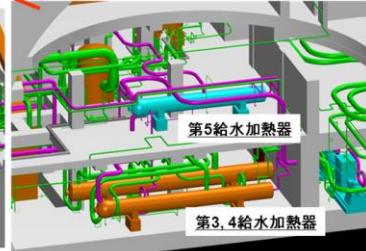
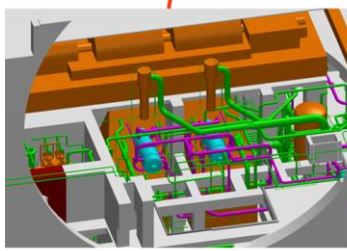
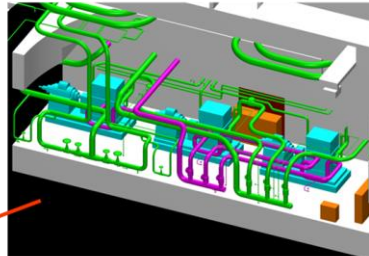
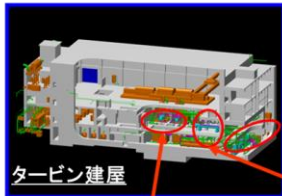
資料 27-5-10



「ふげん」実機配管減肉の実測

「ふげん」実機配管減肉データ(H20準備、H21~H22実測)

測定対象箇所:
鋼管径>150A全て
226 elbows @ 40,000points

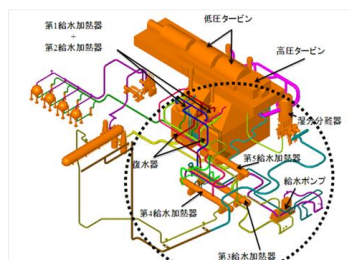


ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

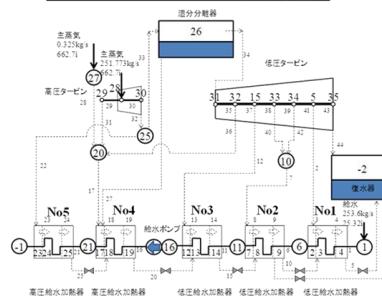
資料 27-5-11



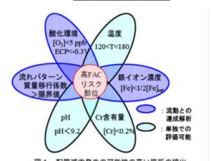
「ふげん」実機の流動・減肉解析



「ふげん」のタービン系、給水系鳥瞰図



評価の流れ:



内田 岡田ら(エネ経研) 日本機械学会
第18 回動力・エネルギー技術シンポジウム講演論文集

FAC/LDI減肉解析コードによる配管減肉評価

解析コード:
DRAWTHREE-FAC

・電気化学モデル(溶解速度)

・酸化皮膜成長モデル(酸化皮膜厚さ)

を連成させて減肉速度を求める

解析対象: 高圧給水管

1次元熱流動解析 (NETFLOW++)

温度、流速、ボイド率

3次元流動解析 (STAR-CCM等)

pH、酸素濃度、Cr、Mo量、形状係数

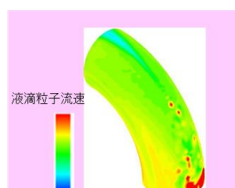
PASCAL-ECによる配管減肉評価

(基礎: Kastnerの式)

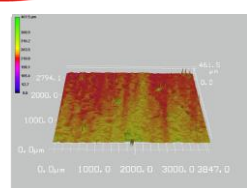
実測した減肉量との比較

平成21年度実施

平成22年度実施



各種流動解析結果

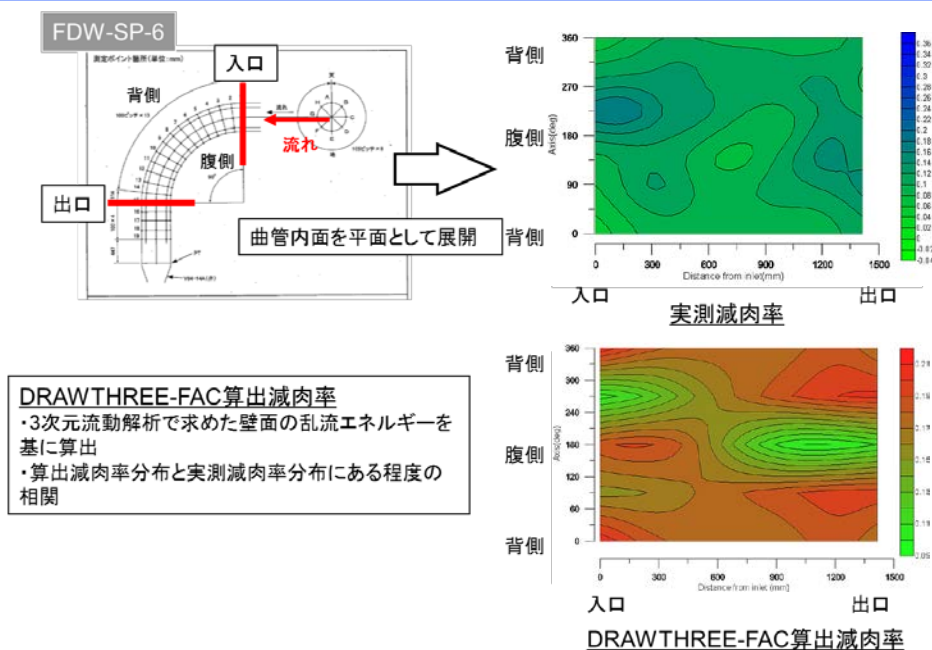


ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-5-12



配管減肉解析評価と実測値の比較・検証

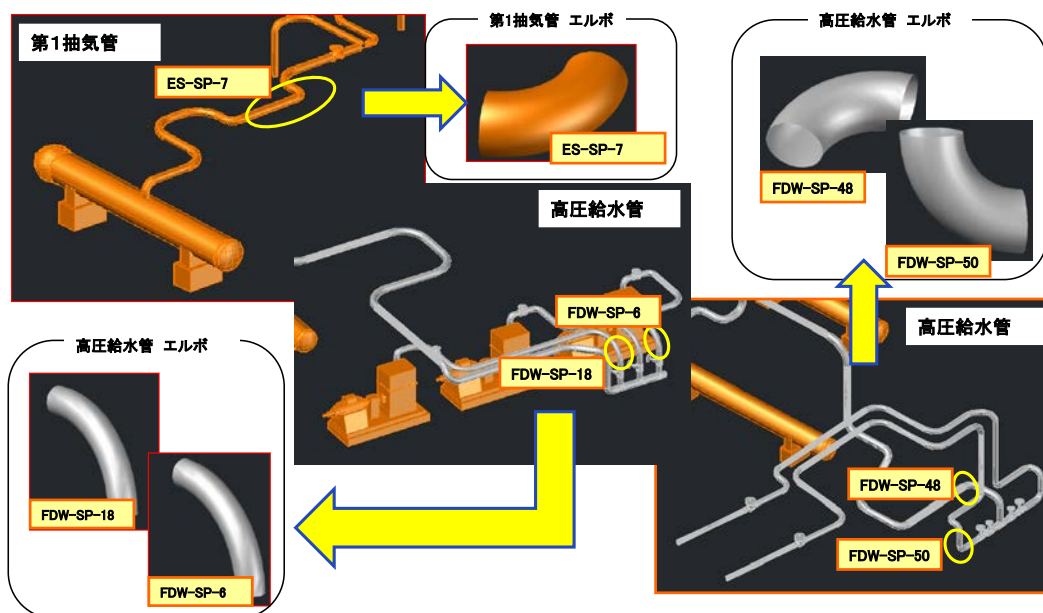


ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-5-13



配管減肉データベースの内容(2)



ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-5-14



配管減肉データベースポータル画面

配管減肉データベースポータル画面

配管減肉データベース

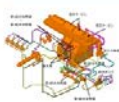
Top

Login

(株) 日本原子力安全協賛機構 JNES
(独) 日本原子力研究開発機構 JAEA



イメージ図



福井県における高経年化調査研究について

長期運転プラントや研究機関等が
集積する福井県下で、20年間の
長期運転に供した「ふげん」実機
材を用いた調査研究を推進し、
高経年化対策技術の高度性を図る
とともに、長期運転状況におけ
る各種データや地盤等の調査を
行うことで、原子力発電所の高経
年化対応技術の高度化に資するこ
を目的とします。

配管減肉データベースによること

このデータベースは独立行政法人日本原子力研究開発機構安全研究センター（敦賀地区）において、平成21年度まで
に福井県における高経年化調査研究の中で構築した配管減肉及び物性データベースの高度化の一環として、各種デー
タを追加や機能強化した配管減肉Webデータベースです。

「ふげん」配管減肉管理と配管減肉状態の調査について

配管減肉状態の調査は「ふげん」の廃止措置計画に沿って実施し、調査計画に基づいて肉厚の測定を行っています。
減肉率の値やそのばらつきが大きな測定箇所や、同一動機条件でも減肉率が異なる箇所、溶接部などの異常部
分を含む測定箇所については、線形三次元寸法測定装置を用いて肉厚のプロフィールや、レーザ距離計等
を用いて調査箇所の経緯などの調査を行っています。

配管減肉測定調査対象箇所「ふげん」系統図及びアインストリック図

お知らせ

- ・冷却減肉減材結果を記載（2011.12）
- ・減肉測定箇所アインストリックデータを記載（2011.11）

配管減肉データベース

ログイン

リンク集

NISA

安全研究センター

JNES

日本原子力安全協賛機構

JAEA

日本原子力研究開発機構

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-5-15

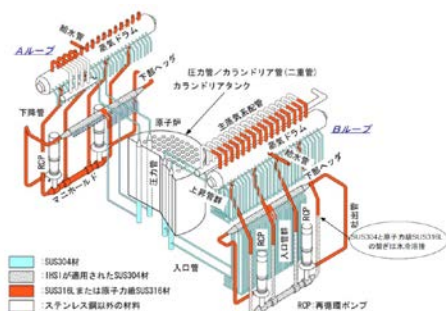
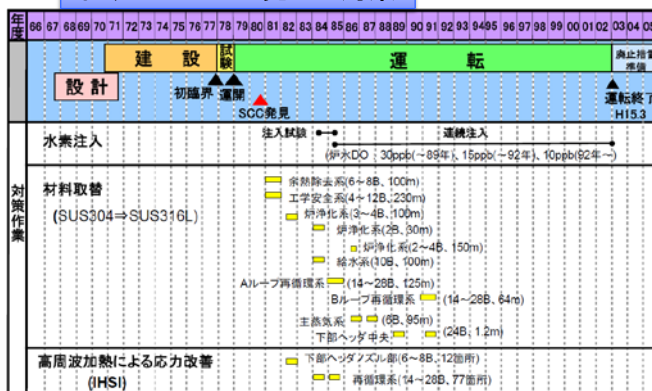
研究成果2(保全技術等有効性確認試験(SCC))



本調査研究の目的

- ・「ふげん」実機材の長期運転状況におけるIGSCC発生状況の正確な把握。
- ・同メカニズム解明、同発生・進展シミュレーション技術の検討
- ・「ふげん」実機材を用い、データや評価技術の検証、規制基準の整備を国が
より適切に判断できるようにするための各種データ・知見の収集を行う。

ふげんでのSCC発生と対策



「ふげん」実機構成

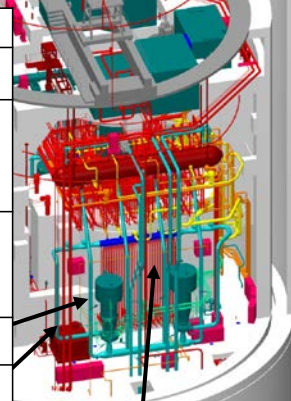
ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-5-16



研究成果(保全技術等有効性確認試験(SCC))

部位	SCC対策 (施工業者)	素材 上段:上流 下段:下流	外径 (mm) (呼び 径)	シーム 数	環境条件		
					温度 (℃)	溶存酸素濃度 (ppb)	使用時間 (hr)
Aループ 吐出管	通常溶接(材料 取替) (S.80年)	SUS316NG	406.4 (16B)	9	275	水素注入有(99,820hr) 10~30	99,820
Aループ 下降管		SUS316NG	355.6 (14B)	16	285		
Bループ 下降管	IHSI (S.59年)	SUS304	355.6 (14B)	1	285	水素注入無(36,440hr) 100~200	IHSI前 27,540
		SUS304				水素注入有(99,820hr) 10~30	IHSI後 108,720
Bループ 下降管	水冷溶接(材料 取替) (H.3年)	SUS316NG	355.6 (14B)	1	285	水素注入無(36,440hr) 100~200	66,760
		SUS304				水素注入有(99,820hr) 10~30	136,260



下降管14B
・SUS316NG+SUS304溶接部
(水冷溶接+水素注入)
・SUS304+SUS304溶接部
(IHSI+水素注入)



吐出管16B
・SUS316NG+SUS316NG溶接部
(材料取替+水素注入)



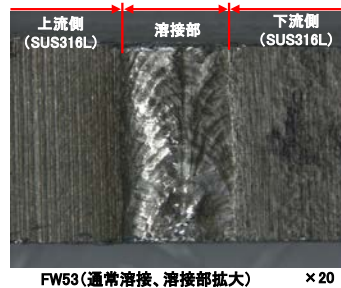
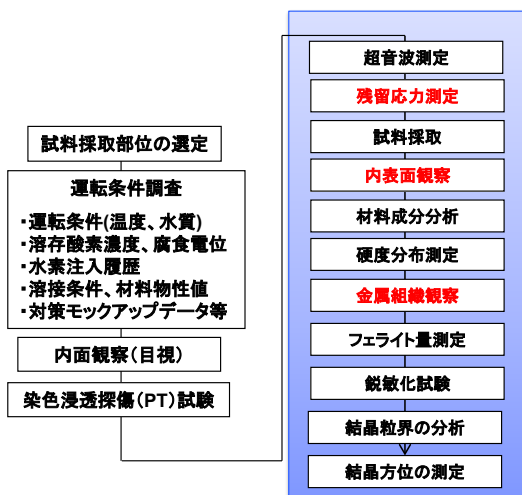
入口管2B
・SUS316NG+SUS304溶接部
(水冷溶接+水素注入)

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-5-17



研究成果(保全技術等有効性確認試験(SCC))



調査した27シーム全ての配管について、SCC等のき裂は認められなかった。

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

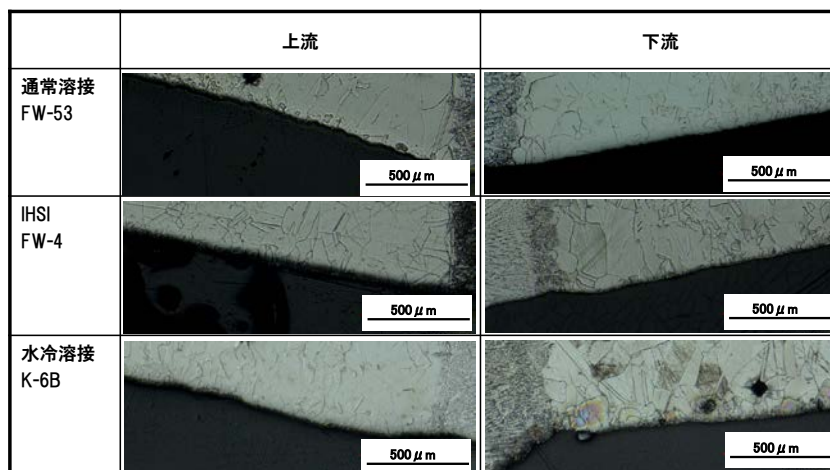
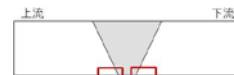
資料 27-5-18



研究成果(保全技術等有効性確認試験(SCC))

金属組織観察(管内表面近傍断面)

管内表面観察、断面マクロ観察と併せ、管内表面近傍の溶接部熱影響部の断面の金属組織観察を光学顕微鏡を用いて行い、管内表面の微細組織及び微小き裂の有無等を調査した。



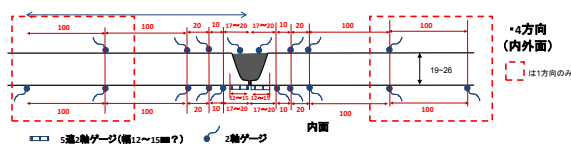
ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-5-19



応力開放法(歪ゲージ法)による残留応力測定

管内外表面へひずみゲージを貼付け、細断による応力開放法にて、残留応力を測定した。



ゲージ貼付け、切断状況



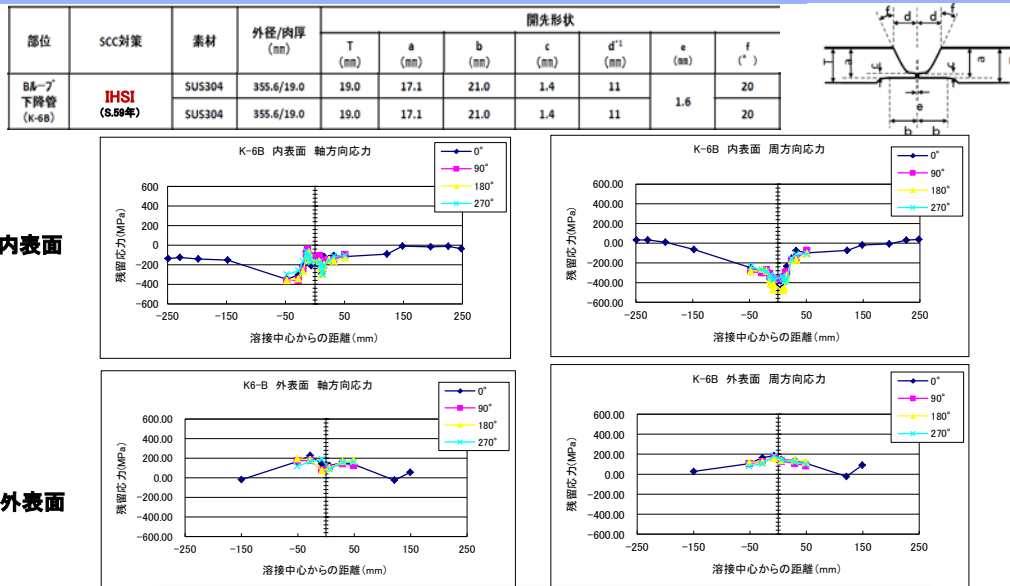
細断後サンプル、残留応力測定状況

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-5-20



残留応力測定結果(IHST)



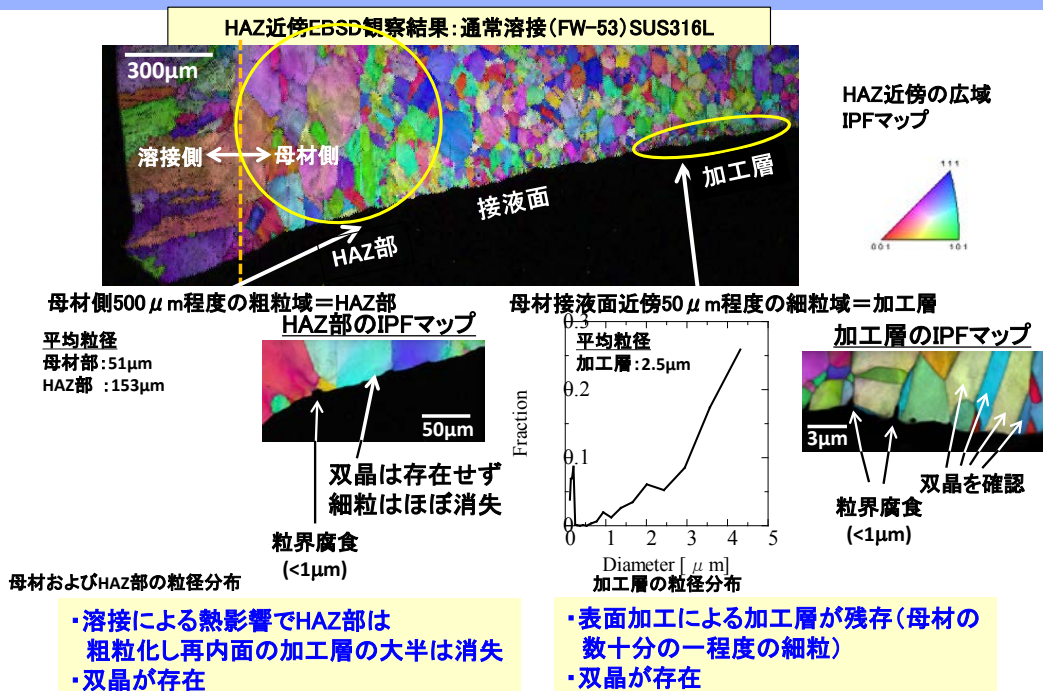
・IHSTを行った配管では、長期の運転後(108,000h)でも、内表面は圧縮残留応力、外表面は引張残留応力となっていることが確認された。
 ・特に内表面では軸方向、周方向ともに圧縮となり、周方向で高い値を示すなど、残留応力改善策として長期の運転後も非常に有効に機能していることが確認できた。

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-5-21



材料特性の調査:結晶方位の測定(EBSD)



ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-5-22



保全技術等有効性確認試験(SCC)まとめ

・SCC発生状況について

超音波検査、金属組織観察等による今回の詳細な調査によっても、SCC等の微小き裂は認められなかった。

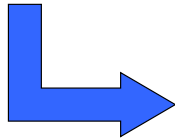
・残留応力について

通常の溶接法で施工した配管では、内表面で最大400MPaの残留応力が確認された。
残留応力低減対策である、IHSIでは圧縮残留応力に、水冷溶接では引張残留応力値が200MPa程度まで低減されていることが確認された。
また、これらの残留応力改善策の効果が、長期の運転後も有効に機能していることが確認できた。

・SCCが発生しなかった要因について(今後更に調査)

過去のIGSCC事例と比べHAZ内面の加工層が少ない、溶接部全体の塑性変形量(施工時)が少ない等、今後更に調査が必要であるが、以下の要因が考えられる。

- ①SUS304(鋭敏化傾向大): 水素注入及びIHSI等による応力低減の効果等
- ②SUS316L(NG)(鋭敏化傾向小、最大400MPaの引張残留応力): 水素注入及び優れた材質の効果等



「ふげん」はBWR使用・環境に類似したプラントであるが、水質改善、材料取替、残留応力低減等の保全技術を適用することで応力腐食割れを防止できることが確認された。

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター(ふげん)

資料 27-5-23

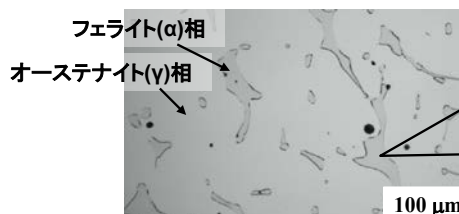


研究成果3(2相ステンレス鋼の熱時効脆化)

熱時効脆化とは？

オーステナイト相に5%以上の
δフェライト相を含む。

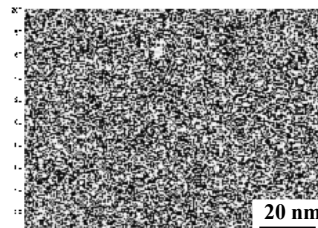
⇒ 材料強度、耐SCC性、溶接性が向上
軽水炉の配管やポンプ材として使用



「ふげん」再循環ポンプケーシングに使用されている
2相ステンレス鋼の光学顕微鏡像

約300～500℃の使用環境下

→ 熱時効によるフェライト相の
固相反応(スピノーダル分解)
により脆化



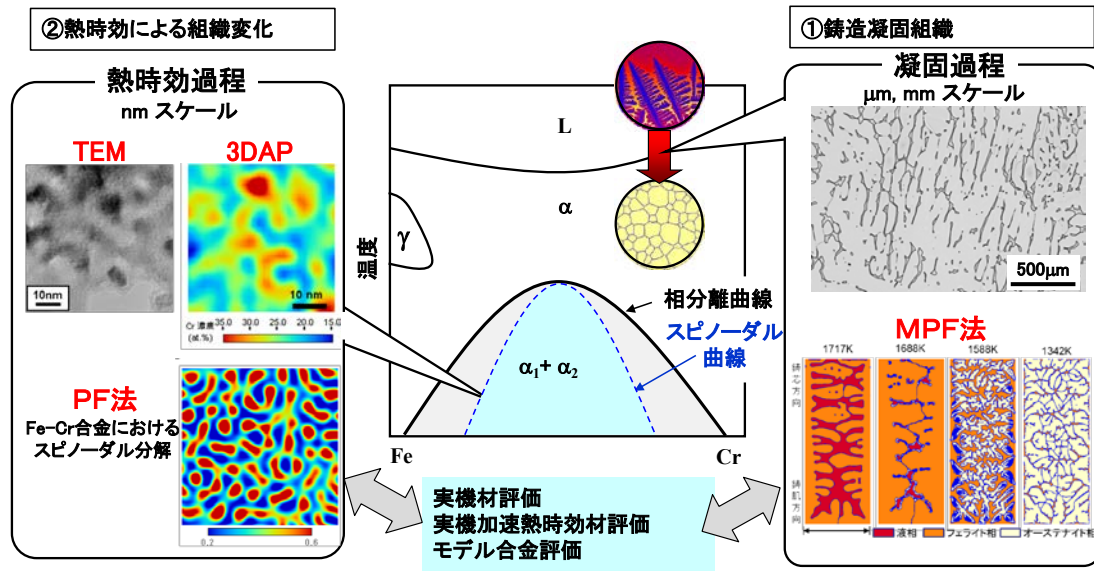
フェライト相におけるCr濃度分布の時間変化

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター(ふげん)

資料 27-5-24



2相ステンレス鋳鋼の熱時効脆化

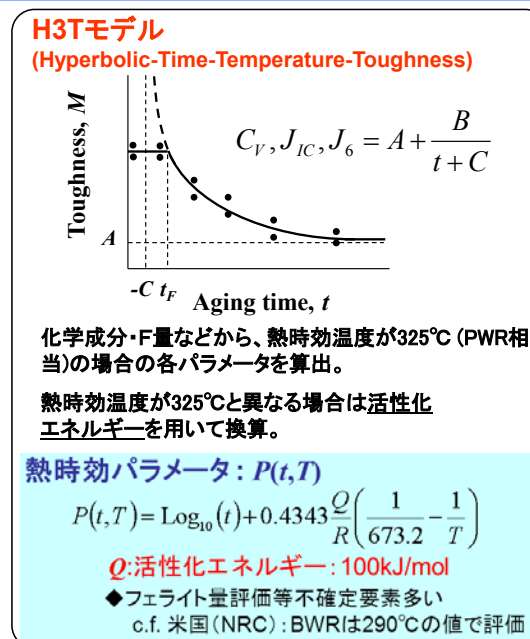


ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-5-25



2相ステンレス鋳鋼の熱時効脆化



予測値と実測データとの比較検討

「ふげん」実機材データ

- 再循環ポンプケーシング(RCP)
- ・回復処理材(初期相当材)
 - ・採取まま材(275°C × 136000h)

過去の試験データ(加速熱時効試験)

- Material A, B
- ・290°C ~ 400°C × ~30000h

材料No.	目標 フェライト量	計算による フェライト%	化学成分 (wt%)								(注2) 備考
A	25%	24.0/22.4	0.05	1.51	0.9	10.3	21.3	3.1	0.06	0.004	CF8M EF
B	20%	16.7/17.7	0.054	0.91	0.82	9.46	20.59	2.17	0.042	0.006	CF8M AOD
C	10%	10.2/10.5	0.047	0.58	0.94	10.51	20.12	2.15	0.047	0.007	CF8M AOD
E	15%	14.6/16.5	0.07	1.12	0.44	9.20	19.80	2.10	0.027	0.003	CF8M EF
F	20%	21.6/26.1	0.05	1.11	0.54	9.10	20.50	2.30	0.021	0.003	CF8M EF
G	20%	17.4/17.2	0.04	1.51	0.66	8.51	20.69	0.25	0.053	0.013	CF8 EF

(注1) 上段: ASTM A800に基づき、N量=0.05%を用いて計算

下段: ASTM A800に基づき、実測N量を用いて計算

(注2) A, B, Cは鋳造管(SA451 CF8M)であるが、成分的に鋳造材(SA351 CF8M)と同一なため以降CF8Mと記す。

JNES過去試験データ:「プラント長寿命化技術開発」に
関する報告書(昭和62年度~平成4年度)より

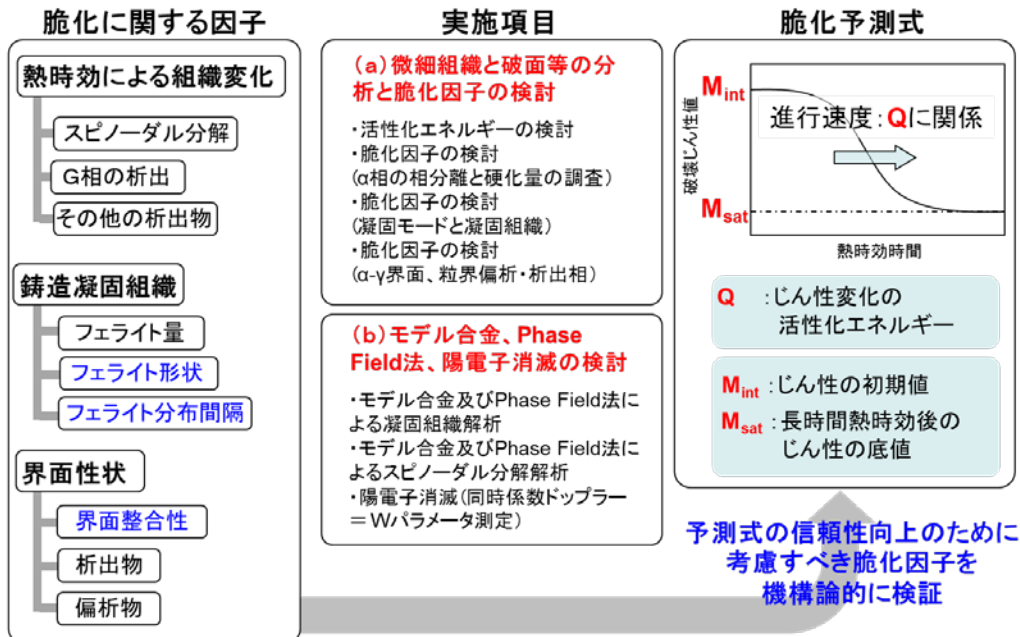
実機環境条件(300°C前後)における脆化予測式の妥当性
についての検討を実施

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-5-26



2相ステンレス鋳鋼の熱時効脆化

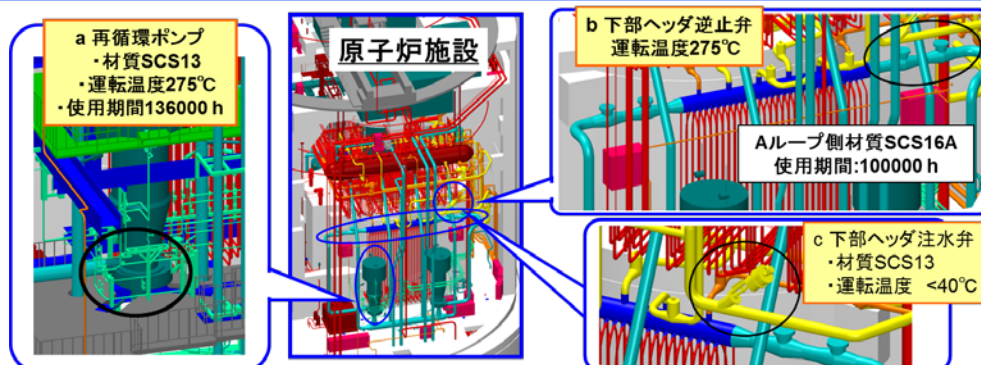


ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-5-27



2相ステンレス鋳鋼の熱時効脆化



対象部材 (部材記号名称)	鋼種	化学成分 (%)									フェライト量
		Si	Mn	P	Cr	Ni	Mo	C	S	N	
再循環ポンプ ケーシング(RCP)	SCS13	0.717	0.943	<0.030	20.10	8.46	-	0.05	0.009	0.027	10.9
下部ヘッダ逆止弁 Aループ (V21-2A)	SCS16A	0.820	0.768	<0.030	19.97	10.08	2.25	0.01	0.005	0.084	13.9
下部ヘッダ 注水弁 (V72-8A)	SCS13	1.080	1.650	<0.030	19.59	8.19	-	0.06	0.005	0.022	6.3
規格値 (JIS G 5121)	SCS13	≤2.00	≤2.00	≤0.040	18.00~ 21.00	8.00~ 11.00	-	≤0.08	≤0.040	-	-
	SCS16A	≤1.50	≤2.00	≤0.040	17.00~ 21.00	9.00~ 13.00	2.00~ 3.00	≤0.03	≤0.040	-	-

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

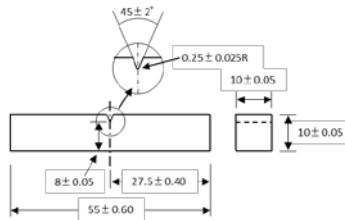
資料 27-5-28



2相ステンレス鋳鋼の熱時効脆化



シャルピー衝撃試験機

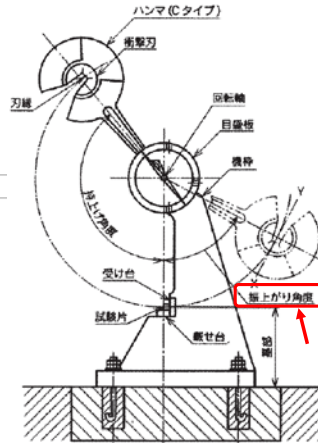


吸収エネルギー 大
壊れにくい

吸収エネルギー 小
壊れやすい



試験片形状



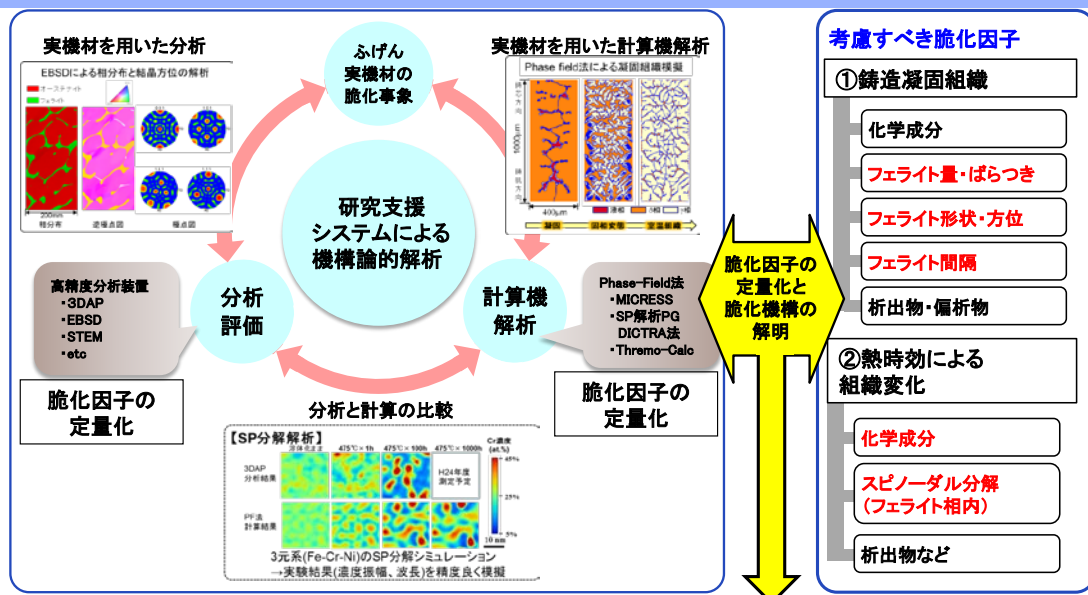
日本工業標準調査会 JIS B 7722 より

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-5-29



熱時効脆化の機構論的検討の全体構成



脆化予測式(H3Tモデル)の高精度化と
熱時効脆化に関するスクリーニング基準の科学的根拠の検証

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-5-30



研究成果4(状態監視技術の実機適用調査)

○状態監視技術の実機適用調査

高経年化機器に対する状態監視手法の効果と限界を明らかにする。

「ふげん」補修票をベースに、機器の劣化状態の原因と適用する状態監視技術の有効性を定量的に評価することで、状態監視技術の適用性を評価する。

部 位	原 因	振 動	潤滑油	赤外線	部 位	原 因	振 動	潤滑油	赤外線
ポンプ全体	性能低下(容量、揚程)				軸受 (転がりの場合)	傷(内輪、外輪、転動体)	○	○	
	漏れ(油、吸水)					潤滑不良	○		○
	キャビテーション	○				保持器接触	○	○	○
	ウォーターハンマー	○				転動体の径の不揃い	○		
ケーシング	サージング	○				内、外輪レース面のうねり	○		
	腐食(エロージョン、コローション)	△				摩耗	○	○	
	割れ					ラジアル隙間過少	○		○
	変形					ラジアル隙間過大	○		
インペラ	フランジからの漏れ					勘合部ガタ	○		
	アンバランス	○				軸受間のミスアライメント	○		
	腐食(エロージョン、コローション)	△				オイルリング損傷			
	締め付け部弛み	○			軸継手 (キアカップリンク)	ミスアライメント	○		
ローター軸	接触	○				ギア損傷	○		
	割れ					ギアの固着	○		
	変形(曲がり)	○				締め付け部弛み	○		
ディスク	摩耗	○				○リング劣化、油漏			
	割れ	△			基礎部	剛性不足	○		
	共振	○				架台共振	○		
	腐食(エロージョン、コローション)					基礎脆弱化、割れ	○		
軸受 (すべりの場合)	割れ					締付ボルトの弛み、折損	○		
	摩耗	○	○			腐食(支持部)	△		
	油膜切れ(金属接触)	○	○	△		架台溶接部の割れ(支持部)	△		
	オイルウィップ	○							
	傷(異物混入)		○						

※〔○印〕:検出可

〔△印〕:流体の振動として現れる腐食や不均一な腐食の場合は振動で検出可

出典:原子力発電所 保全の現状と今後の在り方について(日本保全学会)

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-5-31

まとめ



廃止措置段階にある「ふげん」を活用して進められた高経年化調査研究は、実験室では得られない貴重な長期使用した実機材(情報)を用いた日本で初めての研究であり、結果として、軽水炉の高経年化評価(長期間運転することを想定した技術評価で経年劣化事象に対して機器の健全性の評価を行うとともに、現状の保全方法が有効かどうかを確認し、必要に応じ追加すべき保全策を抽出すること。)の妥当性を判断するための研究成果を提供することが出来た。

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん)

資料 27-5-32

3.2 技術課題解決促進事業(公募型)について

Fugen Decommissioning Project



福井県エネルギー研究開発拠点化計画への「ふげん」の取組み状況報告

技術課題解決促進事業(公募型)について

報告概要

- 福井県「エネルギー研究開発拠点化計画」とは
- 福井県「エネルギー研究開発拠点化計画」
～推進方針＜平成24年度＞重点～
- 「技術課題解決促進事業」とは
- 「技術課題解決促進事業」フロー
- 「技術課題解決促進事業」詳細内容
- 「技術課題解決促進事業」実施事例

敦賀本部 経営企画部 平田 智宏



ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-6-1

福井県「エネルギー研究開発拠点化計画」とは

Fugen Decommissioning Project



ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-6-2

福井県「エネルギー研究開発拠点化計画」～推進方針＜平成24年度＞重点～

『プラント技術産学共同開発センター（仮称）』

（設備場所）敦賀市街
平成25年度以降 建設・運用開始予定

県内外の企業や広域の連携大学拠点等と一体になって、
地域産業の発展につながる研究開発を実施する。

構成する施設

- ▶レーザー共同研究所
- ▶プラントデータ解析共同研究所（仮称）
- ▶産業連携技術開発プラザ（仮称）

目的

- ①機構の研究成果の活用
- ②もんじゅ、ふげんに関する技術の共同開発

県内企業との双方向の連携を強化し、原子力分野への参入促進する制度の
本格運用を開始

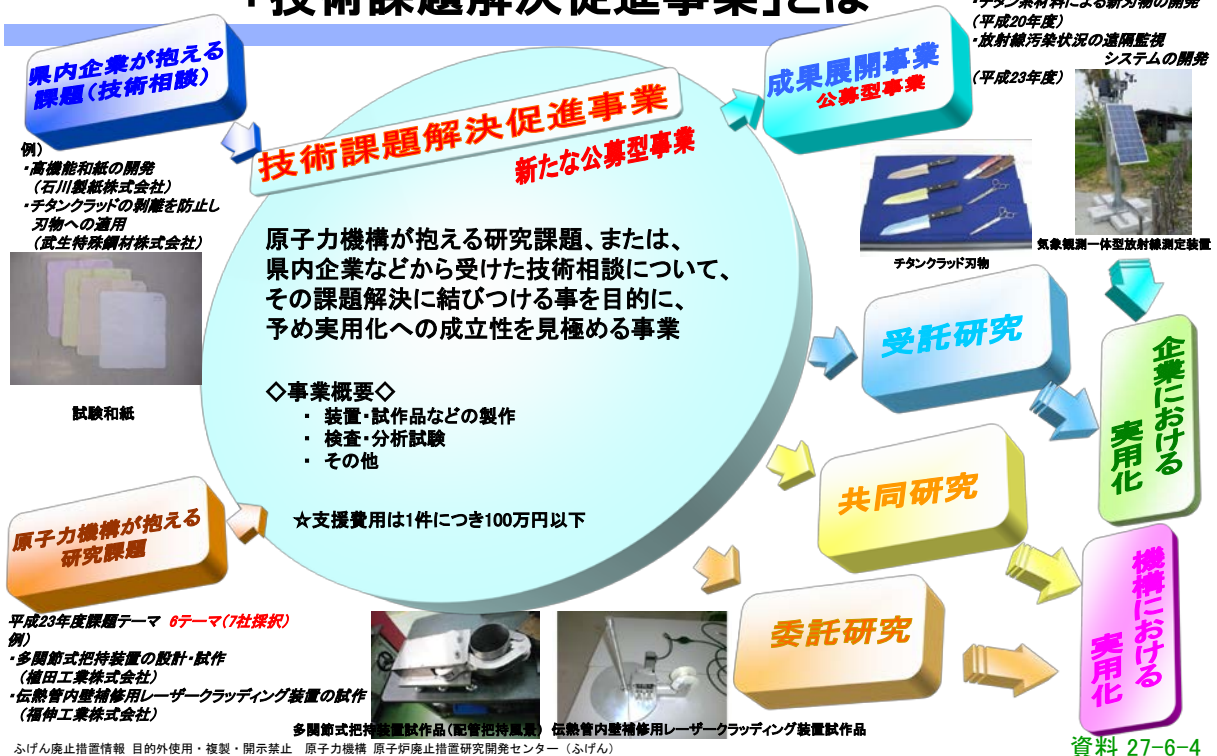
具体的な取組

- ◇成果展開事業
- ◇共用施設促進事業
- ◇技術指導支援
- ◇技術課題解決促進事業

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-6-3

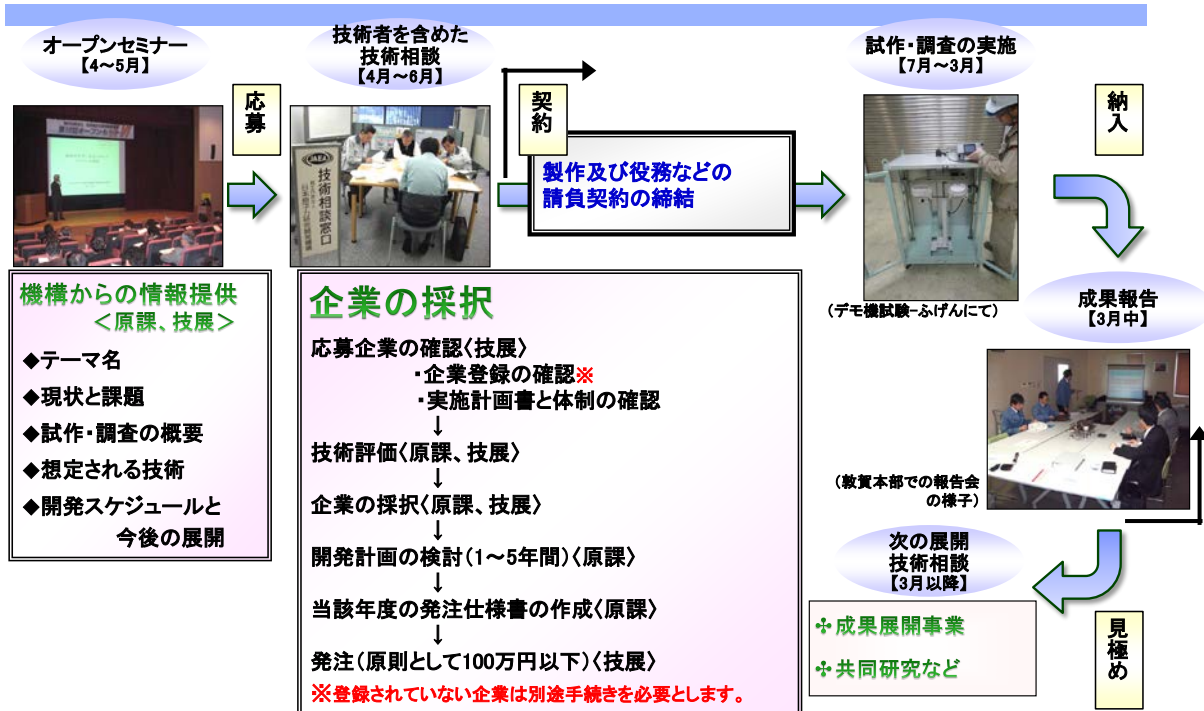
「技術課題解決促進事業」とは



資料 27-6-4



「技術課題解決促進事業」フロー



ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-6-5



「技術課題解決促進事業」詳細内容

＜＜技術課題解決促進事業＞＞

◆事業概要◆
次年度以降の成果展開事業や共同研究への進展を見据え、その一部について、あらかじめ、試作品の製作や調査等を行なうものです。

◆応募資格◆
福井県内の企業、もしくは福井県内に事業所を構える企業です。

◆事業費用◆
一件につき100万円以下の製作及び役務などの請負契約を原子力機構と採択企業で締結します。

◆契約に関する審査◆
採択に関しましては、原子力機構の契約に関する資格審査(企業登録)が必要となります。詳細は下記HPにてご確認ください。
URL: <http://www.jaea.go.jp/02/compe/01.html>

◆応募期間◆
(原則として)平成24年6月末

◆実施期間◆
契約締結から平成25年3月末

（財）日本原子力研究開発機構

技術課題解決促進事業

技術課題解決促進事業は、原子力機構が抱える研究課題や、県内企業などから受けた技術相談について、その課題解決に結びつける事を目的に、予め実用化への成立性を見極める事業です。

◇事業概要◇
次年度以降の成果展開事業や共同研究への進展を見据え、その一部について、あらかじめ、試作品の製作や調査等を行なうものです。

◇応募資格◇
福井県内の企業、もしくは福井県内に事業所を構える企業です。

◇事業費用◇
一件につき100万円以下の製作及び役務などの請負契約を原子力機構と採択企業で締結します。

◇契約に関する審査◇
採択に関しましては、原子力機構の契約に関する資格審査(企業登録)が必要となります。詳細は下記HPにてご確認ください。
URL: <http://www.jaea.go.jp/02/compe/01.html>

◇応募期間◇
(原則として)平成24年6月末

◇実施期間◇
契約締結から平成25年3月末

お問合せは・・・
（独）日本原子力研究開発機構 教習本部
経営企画部 技術展開推進グループ
TEL 0770-21-5033 / FAX: 0770-25-5782
<http://jaeasoudan.jp/>

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-6-6



「技術課題解決促進事業」の実施事例

【「ふげん」関係実施分】

◆平成22年度

- (1) 配管内残留液体の回収治具の試作・製作
- (2) 「ふげん」解体物の遠隔細断用治具の試作
- (3) 灰化樹脂のコンクリート混練固化調査
- (4) クリアランス金属の再生利用製品の試作調査

◆平成23年度

- (1) 多関節式把持装置の設計・試作
- (2) 小口径配管の縦割工具の試作
- (3) クリアランス金属の再生品の実用化製品調査・試作

◆平成24年度

- (1) 狭隘部対応型把持装置の設計・試作
- (2) 狭隘部挿入用治具への駆動機構の試作
- (3) 汚染拡大防止用養生シートの接着(溶着)方法の試作・試験



配管内残留液体の回収治具の試作・製作



クリアランス金属の再生利用製品の試作調査



小口径配管の縦割工具の試作



灰化樹脂のコンクリート混練固化調査

ふげん廃止措置情報 目的外使用・複製・開示禁止 原子力機構 原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）

資料 27-6-7

4. 講評

各報告の後、本委員会の石博主査より以下のご講評を頂いた。

- ・廃止措置のそれぞれの分野で少しずつではあるが、着実に進展していると感じた。
- ・タービン設備の解体撤去工事で発生する金属は相当量クリアランスの対象になり得られる。クリアランスは、測定も含め解体撤去物の管理が重要であり、注意深い取扱いが必要である。また、一般の方に対してクリアランスの取組みを紹介し、理解を得ながら、クリアランスを進めて頂ければと思う。
- ・トリチウム除去に関し、モデル系では比較的試験がうまくいっている印象である。実機に適用すれば更に難しい問題が生じるかもしれないが、それを克服してトリチウム除去技術を確立して頂きたい。トリチウム除去技術は、重水炉保有国にとっても有益であることから、その成果を国際的に発信して頂きたい。

国際単位系（SI）

表 1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質량	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表 2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立法メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立法メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の) 1	1
比透磁率 ^(b)	(数字の) 1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
(b) これらは無次元量あるいは次元 1 をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の 1 は通常は表記しない。

表 3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス度 ^(e)	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光束度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照射度	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性化	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b) ラジアンとステラジアンは数字の 1 に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の 1 は明示されない。
(c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d) ヘルツは周期現象についてののみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてののみ使用される。
(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
(g) 単位シーベルト (PV.2002,20,705) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表 4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘着力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ A
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射線強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² n ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表 5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨ	Y	10 ⁻¹	デ	d
10 ²¹	ゼ	Z	10 ⁻²	セン	c
10 ¹⁸	エ	E	10 ⁻³	ミ	m
10 ¹⁵	ペ	P	10 ⁻⁶	マイク	μ
10 ¹²	テ	T	10 ⁻⁹	ナ	n
10 ⁹	ギ	G	10 ⁻¹²	ピ	p
10 ⁶	メ	M	10 ⁻¹⁵	フェム	f
10 ³	キ	k	10 ⁻¹⁸	ア	a
10 ²	ヘ	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表 6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	′	1′=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	″	1″=(1/60)′=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1L=1l=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ kg

表 7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表 8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm)2=10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
ベール	B	
デジベール	dB	

表 9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エル	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe≐ (10 ³ /4π)A m ⁻¹

(c) 3 元素のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≐ 」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリ	cal	1cal=4.1858J (「15°C」カロリー) , 4.1868J (「IT」カロリー) 4.184J (「熱化学」カロリー)
マイクロン	μ	1 μ =1μm=10 ⁻⁶ m

