

ふげん発電所の機器撤去に係る人工数評価式-3 復水器等の撤去の解体工程

Evaluation Formulas of Manpower Needs for Dismantling of Equipment in FUGEN -3
Dismantling Process of the Condenser Removal

窪田 晋太郎 出雲 沙理 臼井 秀雄 川越 浩
香田 有哉 南光 隆

Shintaro KUBOTA, Sari IZUMO, Hideo USUI, Hiroshi KAWAGOSHI
Yuya KODA and Takashi NANKO

バックエンド推進部門
バックエンド技術開発ユニット

Nuclear Cycle Backend Technology Development Unit
Nuclear Cycle Backend Directorate

July 2014

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

ふげん発電所の機器撤去に係る人工数評価式-3
復水器等の撤去の解体工程

日本原子力研究開発機構
バックエンド推進部門バックエンド技術開発ユニット

窪田 晋太郎、出雲 沙理、臼井 秀雄、川越 浩、香田 有哉⁺、南光 隆⁺

(2014年3月31日受理)

原子力機構では原子力施設の物量データ等に基づき、廃止措置計画の策定に必要なデータを評価する PRODIA コードを開発しており、評価に用いる評価式の整備を進めている。平成 22 年度から平成 24 年度に「ふげん」で実施された復水器等の解体作業に要した人工数を分析し、解体工程の作業項目について既存評価式との比較を行った。

その結果、保温材の撤去については、既存評価式がより規模の大きい原子炉施設にも適用できることを確認し、信頼性の高い単位作業係数が得られた。また、配管・サポートの撤去については、クリアランスのための作業に要する人工数の評価式を作製したことにより、クリアランスを伴う作業が発生しても柔軟に人工数を評価することができるようになった。給水加熱器の撤去については、規模の大きい原子炉施設の評価に適した作業単位係数が得られた。復水器の撤去については、これまでデータの統計数が不足していたが、「ふげん」の複数の実績データを加えることにより統計的に意味のあるデータから単位作業係数が導出された。また、実績データに正の相関があることを確認し、人工数を一次式で評価できることを確認した。

それぞれの評価式について、今後得られる実績データを追加することで単位作業係数の信頼性の向上が期待できる。

Evaluation Formulas of Manpower Needs for Dismantling of Equipment in FUGEN -3
Dismantling Process of the Condenser Removal

Shintaro KUBOTA, Sari IZUMO, Hideo USUI, Hiroshi KAWAGOSHI,
Yuya KODA⁺ and Takashi NANKO⁺

Nuclear Cycle Backend Technology Development Unit,
Nuclear Cycle Backend Directorate,
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received March 31, 2014)

Japan Atomic Energy Agency (JAEA) has been developing the PRODIA code which supports to make decommissioning plan and has been preparing evaluation formulas. Manpower needs for the dismantling of the condenser that had conducted from 2010 to 2012 was analyzed and compared with existing evaluation formulas.

Applicability of evaluation formulas for a large scale reactor facility was confirmed in dismantling of the heat insulating materials and reliability of unit productivity factor was improved. The evaluation formula of work for clearance was made in dismantling of pipes and supports. Unit productivity factor of dismantling of feed water heaters which is applicable for a large scale reactor facility was derived. For derivation of unit productivity factor, statistically meaningful data was provided from the dismantling of the condenser. Manpower needs for dismantling of the condenser has positive correlation to the weight of equipment and can be described in linear expression.

Reliability of each unit productivity factor will be improved with accumulating actual dismantling data in future.

Keywords: Decommissioning, FUGEN, PRODIA Code, Project Management Data, Evaluation Formulas

⁺Technology Development Department, Fugen Decommissioning Engineering Center, Tsuruga Head Office

目 次

1. 緒言	1
2. PRODIA コードの概要.....	2
2.1 人工数評価式.....	2
3. 復水器等の撤去	5
3.1 「ふげん」廃止措置プロジェクトの概要.....	5
3.2 復水器等の撤去の概要.....	5
3.3 復水器等の撤去の解体工程.....	6
4. 解体実績データの分析結果と考察.....	12
4.1 分析結果.....	12
4.2 考察.....	13
4.3 評価式の商業用原子炉への適用性.....	15
5. 結言	22
謝辞.....	22
参考文献.....	22

Contents

1. Introduction.....	1
2. Outline of the PRODIA.....	2
2.1 Evaluation formulas of manpower needs.....	2
3. Removal of the condenser.....	5
3.1 Outline of the dismantling project in FUGEN.....	5
3.2 Outline of the removal of the condenser.....	5
3.3 Dismantling process of the condenser removal.....	6
4. Analysis result and discussion of the actual dismantling data.....	12
4.1 Analysis result.....	12
4.2 Discussion.....	13
4.3 Applicability of evaluation functions to commercial nuclear reactor.....	15
5. Summary.....	22
Acknowledgment.....	22
References.....	22

図表リスト

表 1	解体作業における主な作業項目	4
表 2	平成 22 年度の解体作業の作業項目と作業員人工数の割合	16
表 3	平成 23 年度の解体作業の作業項目と作業員人工数の割合	17
表 4	平成 24 年度の解体作業の作業項目と作業員人工数の割合	18
図 1	「ふげん」廃止措置の主要工程	9
図 2	復水器等の概略図（正面）	9
図 3	各年度の復水器の撤去対象範囲	10
図 4	第 1・2 給水加熱器の撤去手順	11
図 5	保温材の撤去に要する人工数と機器重量の関係	19
図 6	電気・計装品の撤去に要する人工数と機器重量の関係	19
図 7	配管・サポートの撤去に要する人工数と機器重量の関係	20
図 8	給水加熱器の撤去に要する人工数と機器重量の関係	20
図 9	復水器の撤去に要する人工数と機器重量の関係	21

1. 緒言

日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）には、これまで原子力研究開発に供してきた原子炉施設、核燃料使用施設、研究施設等の多種多様な原子力施設があり、老朽化や役目を終えた施設については順次廃止措置が実施されている。廃止措置に掛かる費用や期間は大きなものとなるため、計画的かつ効率的に廃止措置を行うことが課題である。そこで、原子力機構では原子力施設の安全で合理的な廃止措置計画を策定するための廃止措置エンジニアリングシステム（DENESYS）の開発を進めており、第2期中期計画¹⁾に基づいて大型炉の原子炉周辺設備の評価式を整備している。

DENESYS を構成する評価システムの1つである PRODIA コードは、原子力施設の物量データや放射能インベントリデータなどを基に、廃止措置計画の策定に必要な、解体作業に要する人工数、被ばく線量、廃棄物発生量等（以下、廃止措置計画管理データ）を評価するシステムである。

PRODIA コードを開発する上では、施設の規模や種類、特徴に応じた評価式を整備し、評価の信頼性を向上させることが課題である。現在 PRODIA コードで原子炉施設の廃止措置計画管理データを評価する際は、小規模な動力試験炉（以下、JPDR）の解体実績データを中心に作製した評価式を使用している。よって、将来行われる大規模な原子炉の廃止措置計画管理データを評価するため、比較的規模の大きい原子炉である原子炉廃止措置研究開発センター（以下、「ふげん」）の解体実績データを分析し、既存評価式の大型炉への適用性の検証や改良評価式の作製を行う必要がある。

「ふげん」（熱出力：557MWt、電気出力：165MWe）はウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX）燃料を本格的に使用する新型転換炉（ATR）であり、昭和53年の初臨界から25年間運転を続け、平成15年に運転を終了した。平成20年には廃止措置計画の認可が得られ、解体作業を進めながら原子炉施設の廃止措置に関する研究開発を行っている。平成20年度に「ふげん」で行われた第3・4給水加熱器室の機器撤去作業では、既存評価式の信頼性の向上、分割解体を行う給水加熱器の評価式の作製、準備・後処理工程の改良評価式の作製を行った²⁾³⁾。

本報告書では平成22年度から平成24年度に行われた復水器等の撤去の解体実績データを用いて、既存評価式の検証と改良評価式の作製を行った結果について述べる。

2. PRODIA コードの概要

PRODIA (**PRO**ject Management Data Evaluation Code for **DI**sman**tl**ing **A**ctivities) は、解体作業の各作業項目について、解体物の重量や作業エリアの面積等から、評価式を用いてその作業項目に掛かる人工数等の廃止措置計画管理データを導出するための計算コードである。計算した各作業項目の廃止措置計画管理データを、実際の作業手順を再現した作業項目の階層構造 (WBS: **W**ork **B**reakdown **S**tructure) に従って積算することで解体作業全体の廃止措置計画管理データを評価する。

一般的な解体作業の WBS の最上部の階層は、準備工程、解体工程、後処理工程の 3 工程、その下の階層は「グリーンハウス設置」や「資材・機材の搬入」などの作業項目から構成される。表 1 に解体作業における主な作業項目を示す。

廃止措置計画管理データの評価の信頼性を向上させるためには、実際の作業手順を再現することの出来る WBS と各作業項目に対応する評価式を整備することが必要となる。

2.1 人工数評価式

PRODIA コードを用いて解体作業に要する人工数を評価する際に使用する評価式の概要を説明する。

1) 準備工程、後処理工程の人工数評価式

JPDR の解体実績データを基に作製された人工数 Y (人時) の既存評価式は次の定数式である⁴⁾。

$$Y = a_{wi} \quad \dots (2-1)$$

ここで、 a_{wi} は「作業の種類 w 」と作業エリアの面積に応じて 3 つのレベルに区分された「作業レベル i 」によって決まる単位作業係数である。JPDR の作業エリア面積は約 85% が 100m^2 以下であり、この評価式は面積が 100m^2 以下の作業エリアが多い小規模な原子炉施設での解体作業の管理データ評価に適している。一方、第 3・4 給水加熱器室 (約 650m^2) の機器の撤去作業で得られた実績データの分析により、この既存評価式は規模の大きい原子炉施設の解体作業の評価には適していないことも明らかとなった。そのため、面積 S に比例する次の改良評価式を導入する³⁾。

$$Y = a_w \times S \quad \dots (2-2)$$

ここで、

a_w : 作業の種類 w によって決まる単位作業係数 (人時/ m^2)

S : 作業エリアの面積 (m^2)

2) 解体工程の人工数評価式

解体工程の人工数評価式は次のように解体対象機器等の重量 (以下、機器重量) を指標とす

る比例式である⁴⁾。

$$Y = a_e \times m_e \quad \dots (2-3)$$

ここで、

a_e : 機器の分類 e によって決まる単位作業係数 (人時/ton)

m_e : 機器重量 (ton)

また、解体作業を行う環境が、足場上で作業を行う「高所作業」や、狭隘な空間で作業を行う「狭隘作業」の場合、それぞれ作業効率が 50%程度になる。よって、単位作業係数に対して次のような作業環境による補正を行う²⁾。

$$a'_e = a_e \times [1 + \Sigma\{C(i) \times W_{cr}(i)\}] \quad \dots (2-4)$$

ここで、

a'_e : 作業環境による補正後の単位作業係数 (人時/ton)

a_e : 補正前の単位作業係数 (人時/ton)

$C(i)$: 作業環境 i による補正の有無 (無 : 0, 有 : 1)

$W_{cr}(i)$: 作業環境 i による補正係数 (高所作業 : 0.5, 狭隘作業 : 0.5)

原子力施設の解体作業は一般的に監督、放射線管理員、作業員から構成されるクルーで実施される。クルーの構成比率は施設や作業内容によって変化するため、解体作業に要する人工数を評価する際には実際の解体作業に当たる作業員の人工数のみを考慮する。

表 1 解体作業における主な作業項目²⁾

作業項目	作業内容
準備工程	
床壁養生	エリア内の床、壁等のビニール養生
グリーンハウス設置	汚染拡大防止のための隔離空間の確保・設置
放射線測定	解体実施前の放射線測定
解体範囲の設定	機器の切断箇所や解体対象外機器の特定と表示
足場設置	作業用の足場及び床、手摺り等の設置
資機材の搬入	解体に必要な資材、機器、工具類の搬入
容器搬出	撤去物収納容器の搬入
設備の停止処置	電源、水、空気等の停止措置及び確認
解体用機器類設置	工事用電源の設置、切断機、重機類等の機器の搬入、設置
遮蔽板の設置	鉛板による被ばく低減措置
作業領域の調査	解体作業前の現場調査、トラブル等の未然防止
解体工程	
準備（養生、仮支持）	個々の機器を解体するために必要最小限の準備
分解	機器の分解作業
切断	機器の切断・取り外し
細断場所への移送	設置現場から細断エリアへの移動
細断	機器を容器に収納又は搬出できる大きさに細断
容器への収納	ビニールによる梱包、撤去物収納容器への収納等
片付け	切断現場の簡単な後片付け
閉止板・配管の仮設	保安上必要に応じて閉止板、仮設配管等の設置
補修・復旧	基礎解体後のモルタル補修や解体時に撤去したものを復旧
施設の維持管理	施設の維持管理上必要な措置
後処理工程	
グリーンハウス撤去	グリーンハウスの移設及び撤去
足場撤去	足場及び床、手摺り等の撤去
解体用機器類搬出	解体作業で使用した大型機器等の搬出
資機材の搬出	解体作業で使用した資材・機材の搬出
撤去物の搬出	撤去物及び付随廃棄物の搬出
片付け・整理	整理整頓、作業終了後の放射線測定等

3. 復水器等の撤去

3.1 「ふげん」廃止措置プロジェクトの概要

「ふげん」廃止措置の主要工程は図1に示すように、使用済燃料搬出期間、原子炉周辺設備解体撤去期間、原子炉本体解体撤去期間、建屋解体期間の4段階に分けて実施されている。現在は使用済燃料搬出段階にあり、タービン建屋内部の放射能レベルの低い機器や汚染のない機器の解体作業が進行している。以下に各期間で実施する主な作業を示す。

使用済燃料搬出段階

使用済燃料及び重水の搬出を行う。また、使用済燃料の保管に係る安全機能に影響を与えない範囲で、放射能レベルの低い機器や汚染のない機器の解体撤去を行う。

原子炉周辺設備解体撤去段階

使用済燃料搬出の完了に伴い不要となった放射能レベルの低い機器、および原子炉領域の解体作業に使用する遠隔操作装置の設置に干渉する機器の解体撤去を行う。

原子炉本体解体撤去段階

放射能レベルの比較的高い原子炉領域の解体撤去を行う。また、汚染した全ての機器の解体撤去し、建屋の除染を行い、管理区域を解除する。

建屋解体段階

建屋等全ての廃止措置対象施設を解体する。

3.2 復水器等の撤去の概要

「ふげん」のタービン建屋内にはA復水器、B復水器の2つの復水器がある。図2に復水器等の概略図を示す。復水器は主に海水配管と接続するための入口水室、出口水室、冷却水（海水）を通して蒸気を凝縮するための冷却管、配管やサポート等の内部構造物、そして外側を囲う鋼板の胴体から構成されている。また、A復水器、B復水器の中部にはそれぞれ第1・2給水加熱器があり、復水器上部にはタービンからの蒸気を調整・遮断する組合せ中間弁がある。A復水器、B復水器の機器重量は645トンであり、第1・2給水加熱器の機器重量は77トンである。

「ふげん」では平成22年度から復水器とその周辺の機器の撤去を開始した。復水器の撤去は平成27年度まで予定されており、平成25年度までに入口水室、出口水室、組合せ中間弁、第1・2給水加熱器、A復水器の内部構造物の一部、B復水器の冷却管と胴体・内部構造物の一部が撤去されている。図3に各年度の復水器の撤去対象範囲を示す。

また、復水器本体以外については、復水器に接続している海水系配管、非海水系配管、復水器周辺のサポートなどの撤去が実施された。また、平成20年度に粗断し、一時保管場所に仮置きをしていた第3・4給水加熱器について、細断と収納を行った。

3.3 復水器等の撤去の解体工程

平成 22 年度から平成 24 年度に行われた復水器等の撤去の解体工程について、主な作業項目とその手順を以下に示す。

1) 保温材の撤去

撤去対象である復水器周辺配管に施工された保温材の撤去を行った。撤去する保温材は石綿を含有しているものとして、石綿障害予防規則を遵守して作業を行った。作業場所には HEPA フィルター付き集じん機を設置し、作業にあたってはマスク等の防護具を装備し、必要に応じて噴霧器等を用いて粉塵の発生を抑えた。撤去物は保温材、外装板、石綿付着品（保護衣、ゴム手袋、マスク、養生シート等）に分別し、ビニール袋で 2 重梱包して収納した。また、これらの撤去物は梱包単位で「解体撤去物等管理帳票」を作製して管理を行い、内容物が石綿であることを梱包袋に表記した。主な撤去手順は次のとおり。

①外装板、保温材を撤去

②保温材を 500×500×300mm 以内の大きさにビニール袋に梱包して収納

③濡れウェス等を用いて外装板の表面に付着した石綿を除去

④外装板を電動ハサミ、電動せん断式切断器によって 500×500×300mm 以内の大きさに細断してメッシュボックス（以下、MB）に収納

⑤保温材の撤去の終了時には、作業に使用した養生シートを剥がして新しいシートに張り替えるか、濡れウェス、噴霧器等を用いて清掃を行い、作業エリア内の石綿粉塵を除去

2) 電気・計装品の撤去

電気・計装品の主な撤去手順は次のとおり。

①端子台や現場機器の撤去対象ケーブルの検電を実施し、無電圧であることを確認

②ケーブルを切断し、絶縁テープを用いて切断面を養生

③ジョイントボックス等から電線管内のケーブルを引き抜く

④引きぬいたケーブルの切断、絶縁テープを用いた切断面の養生、番号札の取り付け

⑤解線が完了した計装品の取り外し

⑥バンドソー等を用いて電線管をグリーンハウス（以下、GH）内で切断

⑦撤去した電線管、ケーブルを細断して MB に収納

3) 配管・サポートの撤去

配管・サポートの主な撤去手順は次のとおり。

①撤去対象配管等の両端にスリング、ワイヤーを取付け、吊りピースや既設サポート等からチェーンブロックを吊り下げて配管が落下しないように固定

②配管等を機械的切断工法（バンドソー、セーバーソー、サンダー等）又は熱的切断工法（ブ

ラズマ切断及びガス切断) で切断

- ③切断した配管等をチェーンブロックで吊り降ろし、細断用 GH へ移動
- ④配管等を細断用 GH 内で機械的切断工法（バンドソー、セーバーソー、サンダー等）又は熱的切断工法（プラズマ切断及びガス切断）で 500×500×300mm 以内の大きさに細断
- ⑤熱的切断を使用した場合は細断後に残るノロやバリをサンダー等で除去
- ⑥細断物を MB に収納
- ⑦施設側に残る配管の切断口をゴムシート等で養生、又は鉄板溶接にて閉止

4) 給水加熱器の撤去

第 1・2 給水加熱器の撤去

第 1・2 給水加熱器は復水器の上部と一体となっているため、その場での解体を行った。給水加熱器の大部分は水室の内部にあるため、水室の外部から給水加熱器の中身（伝熱管）を引き出しながら解体を行った（図 4）。撤去手順は次のとおり。

- ①給水加熱器の水室（先端部分）を熱的切断工法（プラズマ切断及びガス切断）で切断し、500×500×300mm 以内の大きさに細断、ノロ取り
- ②管板（伝熱管を支え、胴体に固定している板）に吊りピースを溶接し、チェーンブロックで管板を吊り下げ
- ③管板と胴体を切断して切り離す、フランジ部分まで胴体を切断
- ④管板と伝熱管を引っ張りだすためのピースを管板下部に溶接、また、アンカーボルトを用いて床にもピースを固定
- ⑤管板下部のピースと床のピースをチェーンブロックでつなぎ、伝熱管の引き出し
- ⑥引き出した伝熱管をワイヤーで吊り上げ、管板を撤去
- ⑦伝熱管の切断と引き出しを交互に行い、伝熱管を細断、収納

第 3・4 給水加熱器の撤去

第 3・4 給水加熱器は平成 20 年度に粗断・運搬を行い、一時保管場所に仮置きされていた。平成 23 年度に、仮置きしていた第 3・4 給水加熱器の細断が行われた。撤去手順は次のとおり。

- ①仮置きしていた第 3・4 給水加熱器を細断用 GH へ運搬
- ②胴体の上部、側面部を熱的切断工法（プラズマ切断及びガス切断）で 500×500×300mm 以内の大きさに細断、MB に収納
- ③伝熱管を機械的切断工法（バンドソー、セーバーソー、サンダー等）又は熱的切断工法（プラズマ切断及びガス切断）で 1000mm 以内の大きさに細断、MB に収納
- ④胴体の下部を熱的切断工法（プラズマ切断及びガス切断）で 500×500×300mm 以内の大きさに細断、MB に収納

5) 復水器の撤去

入口水室、出口水室の撤去

水室内面は海水による腐食を防止するためにタールエポキシ樹脂で処理されている。タールエポキシ樹脂は可燃性であるため、熱的切断を行う前に切断箇所のタールエポキシを除去した。撤去手順は次のとおり。

- ①水室の鉄板カバーにスリング等を取付け、天井のサポートや吊りフックとチェーンブロックを用いて鉄板カバーを固定
- ②鉄板カバーのボルトを外して鉄板カバーを水室から分離、内面のゴムライニングをスクレーパーで分離
- ③鉄板カバーを細断用 GH へ運搬、タールエポキシ樹脂を除去し、細断、収納
- ④水室本体を鉄板カバーと同様に吊り下げ、ボルトを外して運搬、細断、収納
- ⑤水室本体を撤去した後の開口部は防災シートにて閉止

内部構造物の撤去

内部構造物の大部分は配管・サポートであり、撤去手順も配管・サポートとほぼ同様であった。ただし、復水器内部に入域する際は酸素及び硫化水素濃度の確認を行った。

胴体の撤去

復水器の胴体の撤去手順は次のとおり。

- ①復水器内部に入域する前に酸素及び硫化水素濃度の確認を実施
- ②撤去対象物をクランプ等ではさみ、チェーンブロック等を用いて吊り下げて固定
- ③機械的切断工法（バンドソー、セーバーソー、サンダー等）又は熱的切断工法（プラズマ切断及びガス切断）で粗断
- ④粗断片を手持ちで細断用 GH に運搬
- ⑤機械的切断工法（バンドソー、セーバーソー、サンダー等）又は熱的切断工法（プラズマ切断及びガス切断）で 500×500×300mm 以内の大きさに細断、収納
- ⑥撤去後の開口部を不燃性シートで養生、養生落下防止のためクランプ等を用いて養生を固定

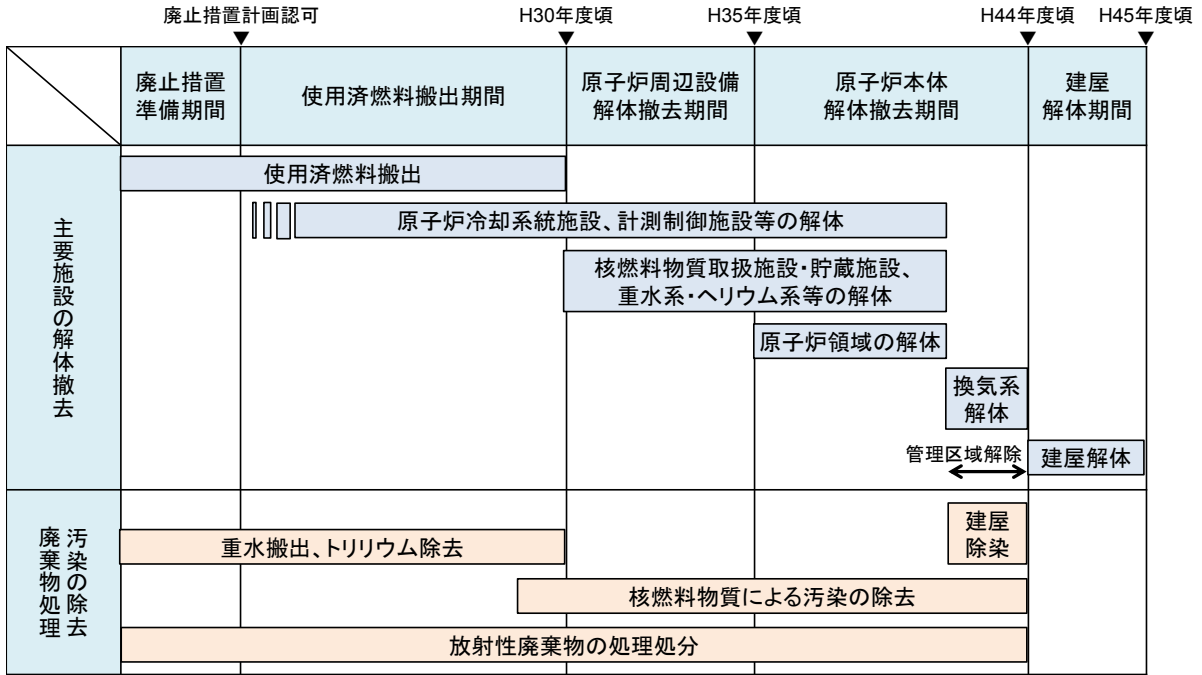


図1 「ふげん」廃止措置の主要工程

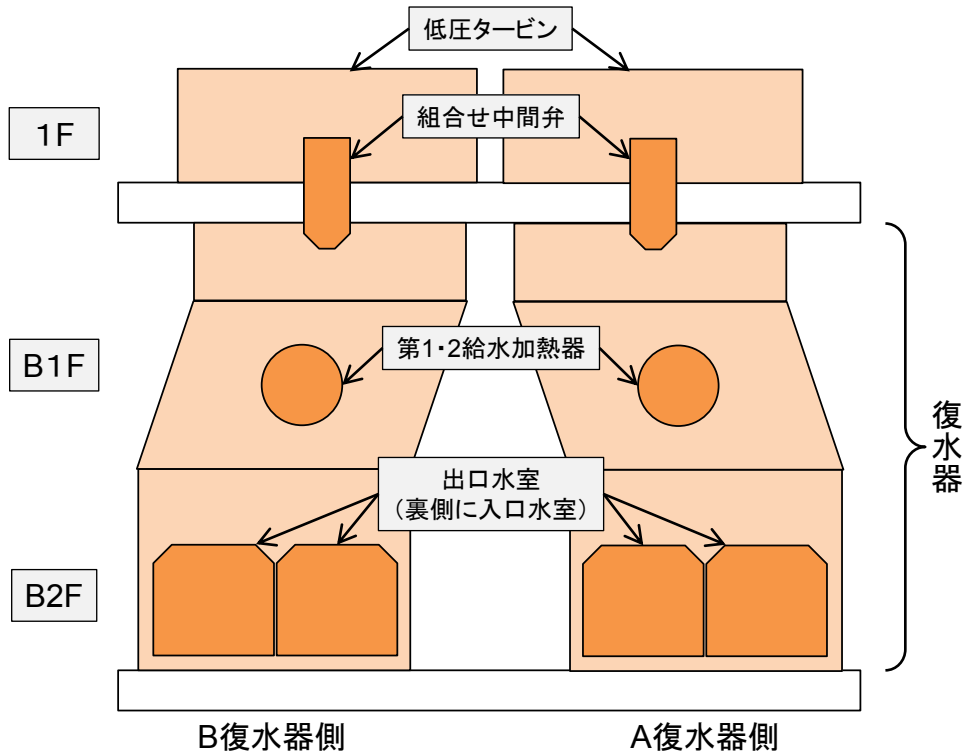
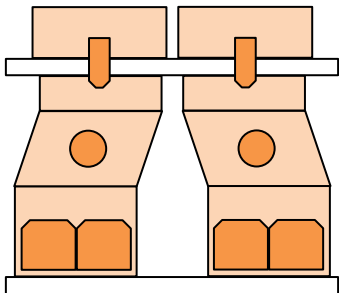
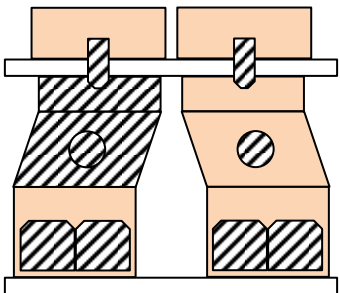
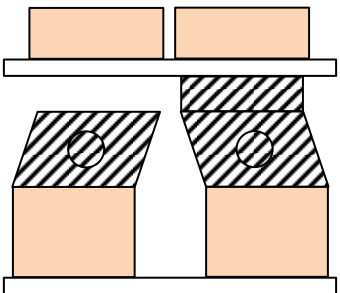


図2 復水器等の概略図(正面)

年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度
撤去対象範囲	復水器周辺配管 復水器入口水室	組合せ中間弁 復水器出口水室 第1・2給水加熱器(胴以外) B復水器上部胴・中部内部構造物	B復水器中部胴 第1・2給水加熱器胴 A復水器上中部内部構造物
撤去対象範囲概念図			


 : 撤去対象範囲

図3 各年度の復水器の撤去対象範囲⁵⁾

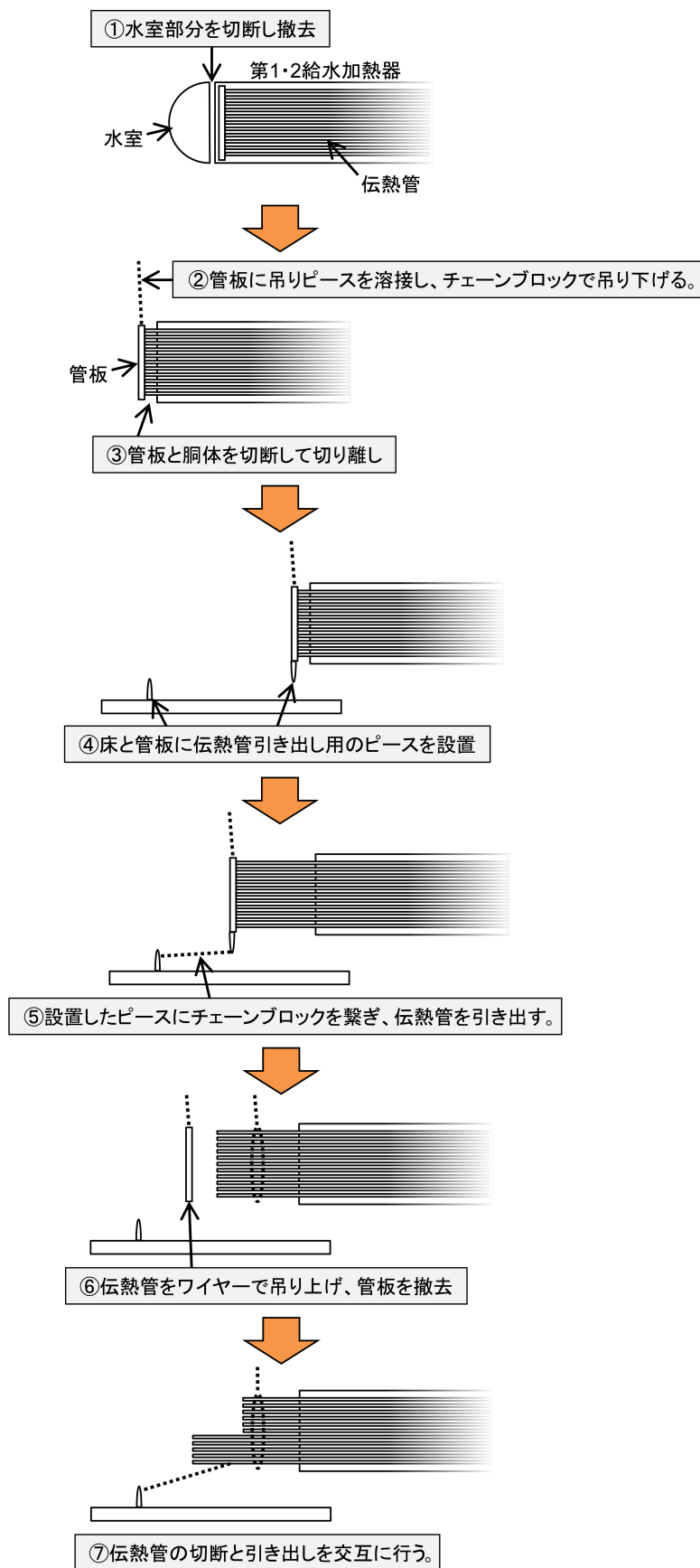


図4 第1・2給水加熱器の撤去手順

4. 解体実績データの分析結果と考察

年度ごとに解体作業の手順を整理し、各作業項目について作業員の人工数を算出した。表 2、表 3、及び表 4 に平成 22 年度、平成 23 年度、平成 24 年度の解体作業の作業項目と作業員人工数の割合を示す。

4.1 分析結果

1) 保温材の撤去

「ふげん」と JPDR での、保温材の撤去到要する人工数と機器重量の関係を図 5 に示す。「ふげん」については、平成 20 年度の第 3・4 給水加熱器室の機器撤去の実績データも含めている。JPDR については、一般的な作業環境で撤去を行った JPDR（一般）と、狭隘な作業環境で撤去を行った JPDR（狭隘）のデータを示した。

「ふげん」の「保温材の撤去」は多くが狭隘部又は高所の作業であったため、JPDR（狭隘）の単位作業係数と比較した。回帰分析の結果、「ふげん」の実績データによる単位作業係数は 107.3 ± 9.9 (人時/ton) となり、JPDR（狭隘）の単位作業係数 102.7 ± 8.7 (人時/ton) とよく一致した。また、「ふげん」と JPDR（狭隘）の実績データを合わせることで単位作業係数は 106.6 ± 4.6 (人時/ton) となり、決定係数は 0.97 となり、より信頼性の高い単位作業係数を得た。

2) 電気・計装品の撤去

「ふげん」と JPDR での、電気・計装品の撤去到要する人工数と機器重量の関係を図 6 に示す。「ふげん」の平成 22 年度から平成 24 年度までの解体作業における「電気・計装品の撤去」の対象物はケーブル・電線管が主であったため、JPDR については「ケーブル・電線管の撤去」の実績データをプロットした。「ふげん」の「電気・計装品の撤去」は多くが狭隘部又は高所の作業である。今までの解体作業の知見から、狭隘部又は高所の作業では式(2-4)のように通常的环境と比較して 1.5 倍程度の人工数を要することが経験知から知られている。よって、狭隘部又は高所作業による影響を取り除き、JPDR の実績データと比較するために、作業員人工数を 1.5 で除した値をプロットしている。

回帰分析の結果、「ふげん」の実績データによる単位作業係数は 61.1 ± 3.0 となり、JPDR の単位作業係数 42.6 ± 2.8 と比較して大きい値となったが、決定係数は 1.00 であり、よい正の相関が見られた。また、「ふげん」と JPDR の実績データを合わせた場合の単位作業係数は 43.5 ± 2.7 (人時/ton)、決定係数は 0.84 となった。

3) 配管・サポートの撤去

「ふげん」と JPDR での、「配管・サポートの撤去」に要する人工数と機器重量の関係を図 7 に示す。JPDR については「配管の撤去」の実績データをプロットしており、一般的な作業環境で撤去を行った JPDR（一般）と、狭隘な作業環境で撤去を行った JPDR（狭隘）のデータを示した。「ふげん」の実績データでは「配管の撤去」と「サポートの撤去」を分けることが出来

なかったため、合計の人工数をプロットしている。なお、JPDR の実績データでは「配管の撤去」と「サポートの撤去」の単位作業係数はそれぞれ 38.9 (人時/ton)、35.0 (人時/ton) と 1 割程度の差であり、解体手順も大きく変わらないため、「配管の撤去」と「サポートの撤去」のデータを合わせても単位作業係数は大きく変化しない。

「ふげん」の「配管・サポートの撤去」は多くが狭隘部又は高所の作業であるため、JPDR (狭隘) の単位作業係数と比較した。回帰分析の結果から、「ふげん」の実績データによる単位作業係数は 57.6 ± 4.4 (人時/ton) となり、JPDR (狭隘) の実績データによる単位作業係数 45.5 ± 3.4 (人時/ton) と比較して大きい値となった。

4) 給水加熱器の撤去

「ふげん」と JPDR での、給水加熱器の撤去に要する人工数と機器重量の関係を図 8 に示す。回帰分析の結果、「ふげん」の実績データによる単位作業係数は 30.8 ± 0.28 (人時/ton) となり、JPDR の作業単位係数 21.9 ± 2.7 と比較して大きい値となったが、決定係数は 1.00 であり、強い正の相関を持つことが確認できた。また、「ふげん」と JPDR の実績データを合わせることで単位作業係数は 30.7 ± 0.54 (人時/ton)、決定係数は 1.00 となった。

5) 復水器の撤去

「ふげん」と JPDR での、復水器の撤去に要する人工数と機器重量の関係を図 9 に示す。「ふげん」の「復水器の撤去」は多くが狭隘部又は高所の作業であるため、2)と同様に JPDR の実績データと比較するために、作業員人工数を 1.5 で除した値をプロットしている。回帰分析の結果、「ふげん」の実績データによる単位作業係数は 25.0 ± 3.6 (人時/ton) となり、JPDR の実績データによる単位作業係数 25.0 (人時/ton) とよく一致した。また、「ふげん」と JPDR の実績データを合わせることで単位作業係数は 25.0 ± 2.3 (人時/ton)、決定係数は 0.97 となり、強い正の相関が見られた。

4.2 考察

1) 保温材の撤去

保温材の撤去については、「ふげん」と JPDR の単位作業係数がよく一致したことから、JPDR の実績データを基に作製した既存の評価式は、より規模の大きい原子炉施設にも適用可能であると考えられる。

2) 電気・計装品の撤去

電気・計装品の撤去については、「ふげん」の実績データによる単位作業係数が JPDR と比較して大きい値となったが、元々の JPDR の実績データが大きくばらついており、「ふげん」の実績データから得られた単位作業係数を超えているデータ点も多数存在していることを考慮すると、両者に明白な差はないといえる。また、「ふげん」の実績データには強い正の相関があることから、既存の評価式は規模の大きい原子炉施設にも適用可能であると考えられる。今後「ふ

げん」で得られる実績データを追加することで単位作業係数の信頼性の向上が期待できる。

3) 配管・サポートの撤去

配管・サポートの撤去については、「ふげん」と JPDR の実績データに明白な差が見られた。差の最も大きな原因として、「ふげん」では通常の作業手順に加えてクリアランスのための作業を行っていることが考えられる。

JPDR と「ふげん」の解体作業の内容を比較すると JPDR では 200L ドラム缶に収納できる大きさまで細断すればよいが、「ふげん」では撤去物をクリアランス対象物として搬出する計画であり、除染及び測定を行うために 500×500×300mm 以内の大きさを目安に細断している。さらに「ふげん」では呼び径が 4B 以上の配管についても、当面のクリアランス対象物としており、これらの内表面を測定できるように縦半分に分割している。また、熱的切断の際に放射性物質が溶け込む可能性も考慮し、切断面のバリ取りを行っている。これらより、「ふげん」ではクリアランスのための作業が発生したために単位作業係数が大きくなったと考えられる。

以上を踏まえて、クリアランスを行う配管・サポートの撤去に要する人工数の評価式を作製した。クリアランスを行う配管・サポートの撤去に要する人工数 Y は次の式で表すことができる。

$$Y = Y_0 + Y_C \quad \dots (4-1)$$

ここで、

Y_0 : 通常の「配管・サポートの撤去」に要する人工数 (人時)

Y_C : クリアランスのための作業に要する人工数 (人時)

分析結果から、

$$Y = 57.6 \pm 4.4 \times m_e \quad \dots (4-2)$$

$$Y_0 = 45.5 \pm 3.4 \times m_e \quad \dots (4-3)$$

であるのでクリアランスのための作業に要する人工数の評価式は

$$Y_C = 12.1 \pm 5.6 \times m_e \quad \dots (4-4)$$

となる。

4) 給水加熱器の撤去

第 1・2 給水加熱器の撤去作業には、JPDR の給水加熱器及び第 3・4 給水加熱器の撤去にはなかった、吊りピース等の取付け作業や伝熱管の引き出し作業が含まれるが、今回の結果からはその作業が人工数に与える影響は見られなかった。「ふげん」の実績データによる単位作業係数は JPDR と比較して大きい値となったが、「ふげん」の実績データに強い正の相関があることから、機器重量 20ton 以上の領域では「ふげん」の実績データを追加して得られた単位作業係数を使用することによって、より信頼性の高い評価を行うことができると考えられる。

5) 復水器の撤去

復水器の撤去については、これまでデータの統計数が不足していたが、「ふげん」の複数の実績データを得られたことにより、統計的に意味のあるデータから評価式を検討することが可能となった。「ふげん」のデータ点は大きく分けて水室の撤去と内部構造物・胴体の撤去の2種類に分類できるが、グラフ上ではそれぞれに特徴的な違いは見られなかった。実績データに正の相関があるため、復水器の撤去に要する人工数は得られた単位作業係数を用いた一次式で評価できると考えられる。更に、今後「ふげん」で得られる実績データを追加することで単位作業係数の信頼性の向上が期待できる。

4.3 評価式の商業用原子炉への適用性

「ふげん」は MOX 燃料を本格的に使用する新型転換炉（ATR）であり、一般的な商業用原子炉の型式である沸騰水型原子炉（BWR）、加圧水型原子炉（PWR）とは一部異なる構造を持っている。

一般的な商業用原子炉の保温材の大部分は繊維質保温材かケイ酸カルシウム保温材である⁶⁾。繊維質保温材やケイ酸カルシウム保温材には石綿が含まれるものもあり、その保温材の撤去には、石綿対策作業が含まれる「ふげん」の実績データから得た評価式が適用できると考えられる。また、石綿を含まない保温材の撤去に要する人工数は、「ふげん」での保温材の撤去に要する人工数よりも少ないと推測できる。よって、「ふげん」の実績データから得た評価式を適用すれば、保守的な評価を行うことができる。ただし、商業用原子炉の一部に使用されている金属保温材については別途評価式の作製が必要である。ケーブル・電線管についてはどの原子炉施設でもほぼ同様のものを使用しているため、「ふげん」の実績データから得た評価式を商業用原子炉に適用することができる。

原子炉格納容器の外側の冷却系については「ふげん」と BWR は類似した構造を持っており⁷⁾、「ふげん」の実績データから得られた配管や復水器、給水加熱器等の評価式がそのまま BWR に適用できると考えられる。PWR については原子炉格納容器の外側の2次冷却系が BWR と類似しており、更に放射性物質との接触がないことから、「ふげん」の実績データから得られた配管や復水器、給水加熱器等の評価式を適用することにより、保守的な評価が可能である。以上の検討内容は、今後、商業用原子炉の解体実績データと蓄積したデータを比較することで検証することができる。

今回、原子炉施設に共通する保温材や電気・計装品、配管・サポートと、原子炉周辺設備である給水加熱器、復水器の評価式の適用性を検討し、新しく評価式を作製した。これらと第3・4 給水加熱器室の機器の撤去作業で得られた改良評価式を合わせることにより、規模の大きい原子炉の周辺設備の解体作業について、大部分の評価式を用意することができた。今後、商業用原子炉の解体実績データを用いた検証と、タービン等の撤去の評価式を作製することで、商業用原子炉の周辺設備の解体を網羅した評価が可能となる。

表 2 平成 22 年度の解体作業の作業項目と作業員人工数の割合

作業項目	作業員人工数の割合(%)
準備工程	
作業領域調査	0.7
資機材の搬入	3.2
床養生	1.5
GH の設置	11.3
足場の設置	5.2
解体用機器類設置	1.9
解体範囲の設定	1.0
H 鋼モノレール撤去	1.2
一時保管物の運搬	1.0
解体工程	
保温材の撤去	6.9
残留水の回収	1.8
電気・計装品の撤去	2.8
配管・サポートの撤去	21.7
海水系配管・サポートの撤去	21.7
入口水室の撤去	6.5
水室下部縞鋼板の撤去	0.9
コンクリート基礎の撤去	1.5
撤去物の運搬	0.5
撤去物の収納	1.8
後処理工程	
片付け・整理	3.2
資機材の搬出	1.5
足場の撤去	0.7
GH の撤去	1.7

表 3 平成 23 年度の解体作業の作業項目と作業員人工数の割合

作業項目	作業員人工数の割合(%)
準備工程	
作業領域調査	0.1
解体範囲設定	0.0
資機材の搬入	2.7
解体用機器設置	0.8
養生・GH・足場の設置・補修	17.2
一時保管囲い設置	0.3
解体工程	
残留水抜き出し回収	1.6
保温材の撤去	1.2
電気・計装品の撤去	3.1
配管・サポートの撤去	15.8
組合せ中間弁の撤去	3.8
第 1・2 給水加熱器の撤去	10.7
水室の撤去	5.9
海水系配管・サポートの撤去	3.0
復水器の撤去	5.7
第 3・4 給水加熱器の細断	11.9
主蒸気管室内撤去物の細断	7.7
撤去物の運搬	2.6
後処理工程	
資機材の搬出	0.2
養生・GH・足場の解体・撤去	1.9
片付け・整理	3.6
その他	
教育	0.1
コンクリート試料採取	0.1
金属試料採取	0.0

表 4 平成 24 年度の解体作業の作業項目と作業員人工数の割合

作業項目	作業員人工数の割合(%)
準備工程	
作業領域調査	0.1
解体範囲設定	0.0
資機材の搬入	4.1
解体用機器設置	1.0
養生・GH・足場の設置・補修	16.2
ホイスト点検架台設置	3.1
一時保管囲い拡張	0.4
解体工程	
電気・計装品の撤去	0.4
配管・サポートの撤去	7.9
第1・2 給水加熱器の撤去	15.2
B 復水器の撤去	21.1
A 復水器の撤去	8.3
撤去物の運搬	4.0
後処理工程	
資機材の搬出	3.7
養生・GH・足場の解体・撤去	4.6
片付け・整理	9.3
その他	
仮設プラットフォーム手摺り設置	0.1
メッシュボックス移動	0.1
金属切断データ測定	0.3

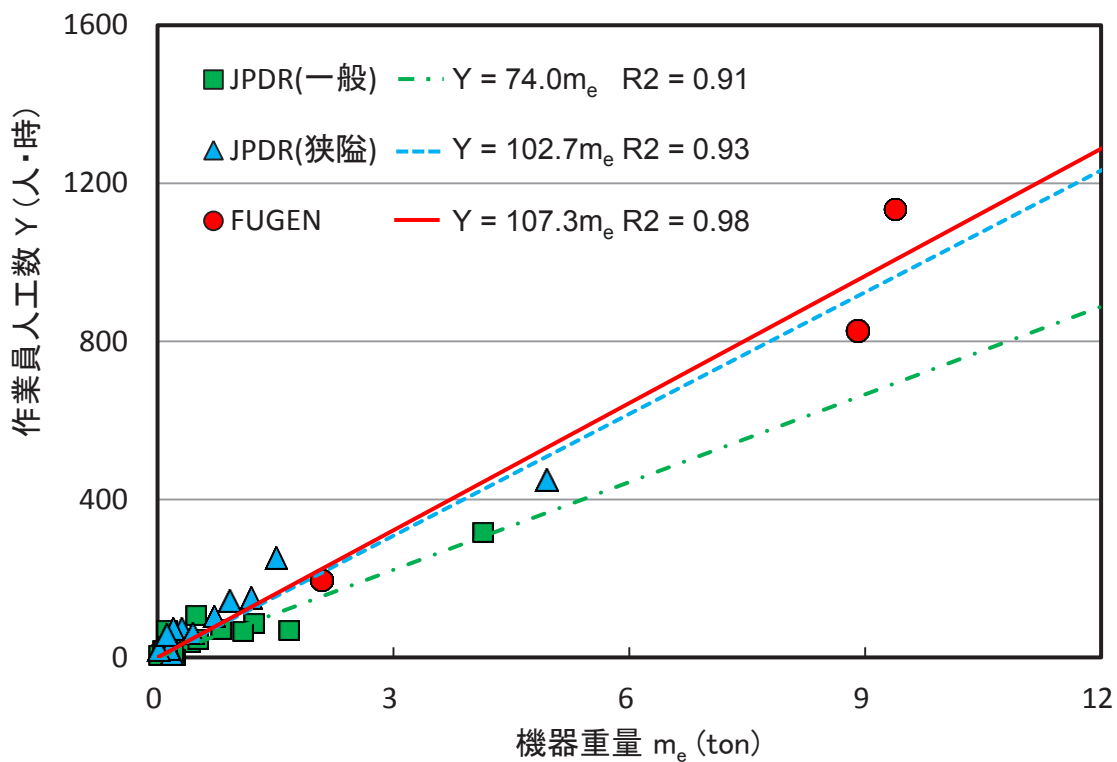


図5 保温材の撤去に要する人工数と機器重量の関係

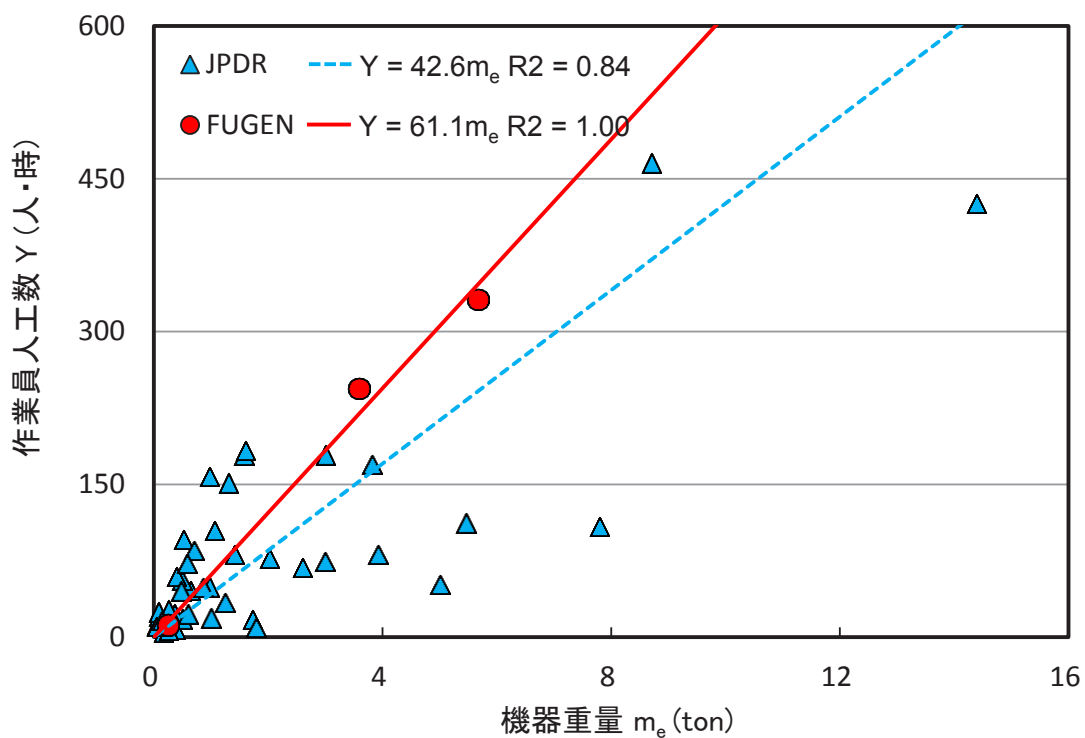


図6 電気・計装品の撤去に要する人工数と機器重量の関係

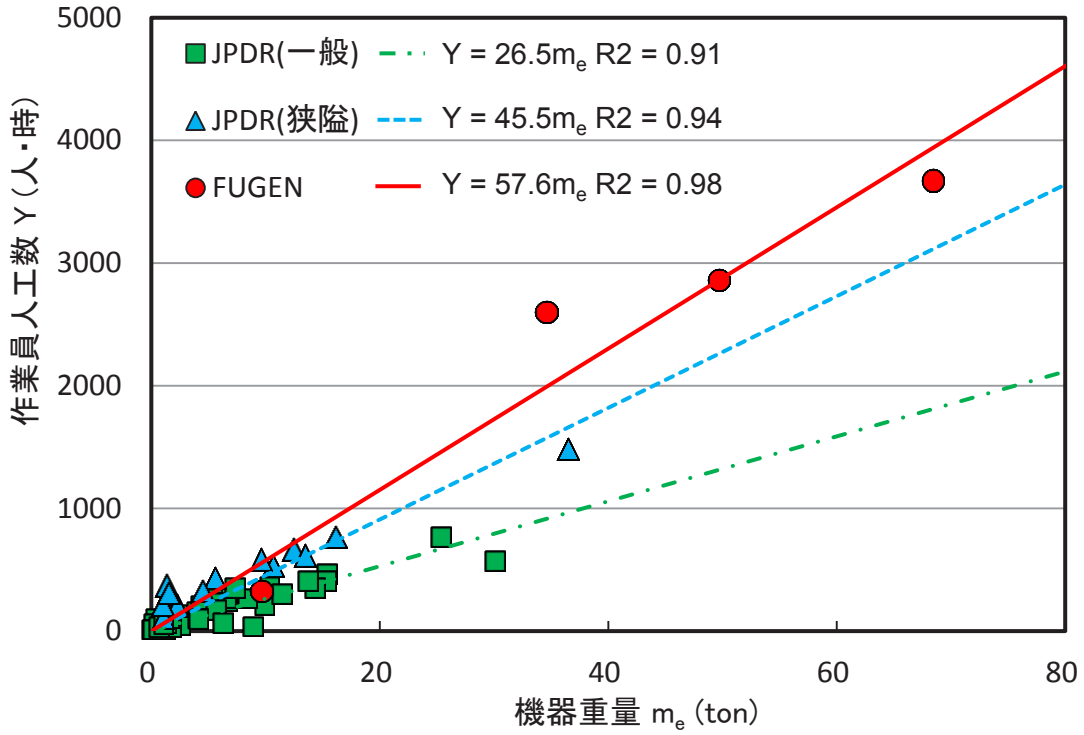


図7 配管・サポートの撤去に要する人工数と機器重量の関係

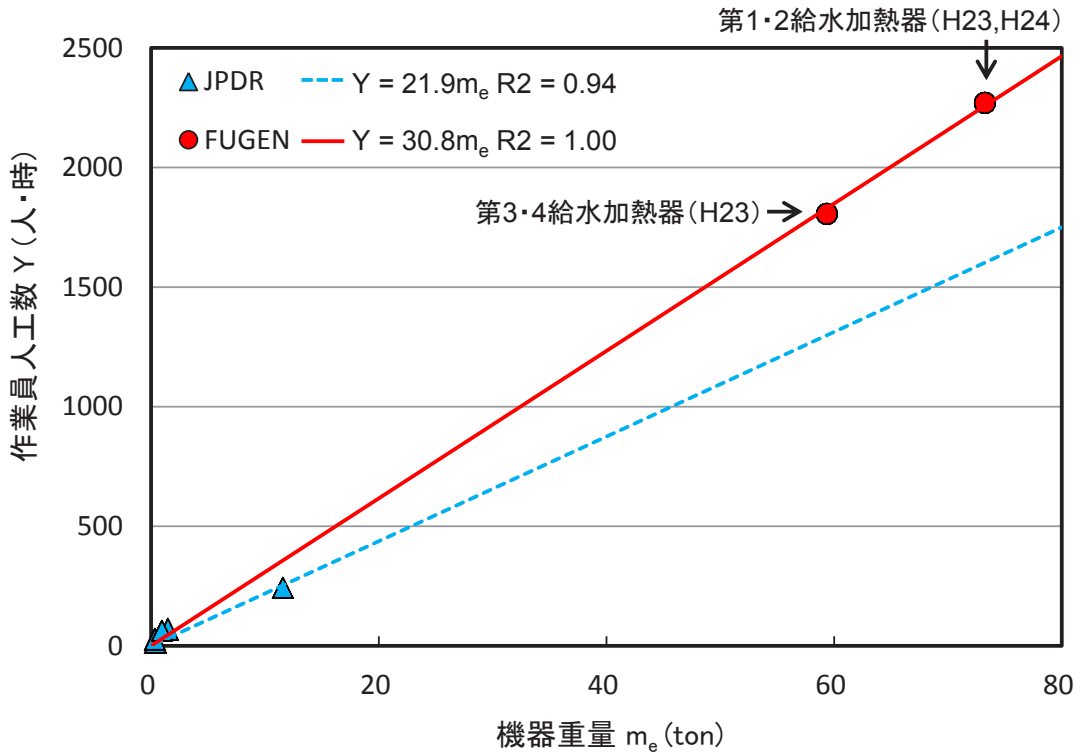


図8 給水加熱器の撤去に要する人工数と機器重量の関係

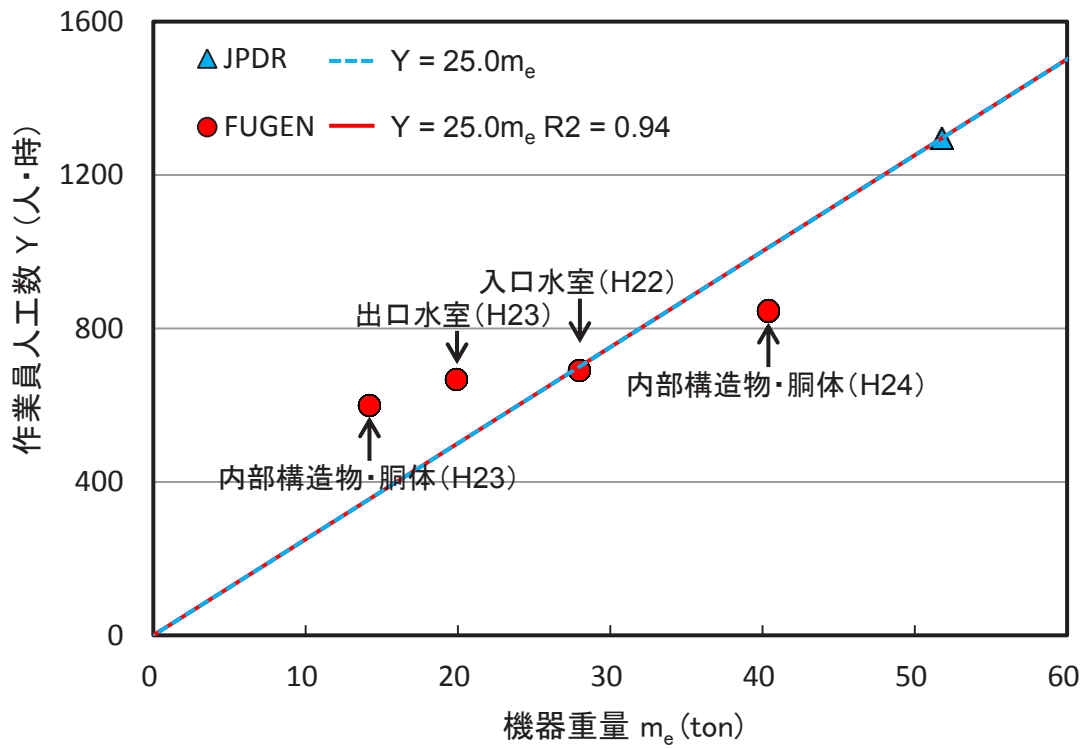


図9 復水器の撤去に要する人工数と機器重量の関係

5. 結言

平成 22 年度から平成 24 年度に「ふげん」で実施された復水器等の解体作業に要した人工数を分析し、解体工程の作業項目について既存評価式との比較を行った。

保温材の撤去については、既存評価式がより規模の大きい原子炉施設にも適用できることを確認し、信頼性の高い単位作業係数が得られた。配管・サポートの撤去については、クリアランスのための作業に要する人工数の評価式を作製したことにより、クリアランスに伴う作業が発生しても柔軟に人工数を評価することができるようになった。給水加熱器の撤去については、規模の大きい原子炉施設の評価に適した作業単位係数が得られた。復水器の撤去については、これまでデータの統計数が不足していたが、「ふげん」の複数の実績データを加えることにより統計的に意味のあるデータから単位作業係数が導出された。また、実績データに正の相関があることを確認し、人工数を一次式で評価できることが確認できた。

それぞれの評価式について、今後得られる実績データを追加することで単位作業係数の信頼性の向上が期待できる。

謝辞

本報告書をまとめるにあたって、原子炉廃止措置研究開発センターの諸氏に数々のご助言・ご援助をいただきました。また、バックエンド推進部門の諸氏から数々のご指導を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) “独立行政法人日本原子力研究開発機構の中期目標を達成するための計画（中期計画）”、独立行政法人日本原子力研究開発機構、平成 24 年 3 月 30 日（変更認可）。
- 2) 芝原雄司、立花光夫、石神努、泉正憲、南光隆、“ふげん発電所の機器撤去に掛かる人工数評価モデルの検討-1 第 3・4 給水加熱器室の機器撤去の解体工程”、JAEA-Technology 2010-033 (2010) 42p.
- 3) 芝原雄司、立花光夫、泉正憲、南光隆、“ふげん発電所の機器撤去に掛かる人工数評価式の検討-2 第 3・4 給水加熱器室の機器撤去の準備・後処理工程”、JAEA-Technology 2011-010 (2011) 44p.
- 4) 白石邦生、助川武則、柳原敏、“動力試験炉（JPDR）の解体における作業データの分析”、JAERI-Data/Code 98-010 (1998) 186p.
- 5) 大谷洋史、松島聡、毛利直人、忽那秀樹、東浦則和、“第 24 回ふげん廃止措置技術専門委員会資料集”、JAEA-Review 2011-041 (2012) 55p.
- 6) “非常用炉心冷却系統ストレーナ及び格納容器再循環サンプスクリーン閉塞事象に関する対応状況について”、経済産業省 原子力安全・保安院、平成 20 年 3 月 6 日。
- 7) “新型転換炉原型炉の概要（図面集）”、動力炉・核燃料開発事業団、PNC TN341 69-40 VOL1 (1969).

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
物質の量	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	キログラム毎立方メートル	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
比透磁率 ^(b)	(数字の)	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
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)
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
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s
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
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	Vs
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C	K
光線	ルーメン	lm	cd sr ^(c)
放射線	ルクス	lx	lm/m ²
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
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
酸素活性	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み、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (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.2002.70,205) 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
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s
表面張力	ニュートンメートル	N m
角加速度	ニュートン毎メートル	N/m
角加減	ラジアン毎秒	rad/s
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³
電荷密度	ジュール毎立方メートル	J/m ³
電表面電荷	ジュール毎立方メートル	J/m ³
電束密度, 電気変位	ジュール毎立方メートル	J/m ³
誘電率	ジュール毎立方メートル	J/m ³
透磁率	ジュール毎立方メートル	J/m ³
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol
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)
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎キログラム	C/kg
吸収線量率	ジュール毎キログラム	C/kg
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s
放射線輝度	グレイ毎秒	Gy/s
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)
	カタール毎立方メートル	kat/m ³

表5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	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	1 h=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	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=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	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=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=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デジベル	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 =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm 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=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π) A m ⁻¹

(c) 3元系の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=1 cGy=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	1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1 μm=10 ⁻⁶ m

