JAEA-Technology
2014-021

JAEA-Technology

製錬転換施設の機器解体に係る人工数評価式

Evaluation Formulas of Manpower Needs for Dismantling of Equipments in Uranium Refining and Conversion Plant

出雲 沙理　臼井 秀雄　窪田 晋太郎　立花 光夫
川越 浩　高橋 信雄　森本 靖之　徳安 隆志
田中 祥雄　杉杖 典岳

Sari IZUMO, Hideo USUI, Shintaro KUBOTA, Mitsuo TACHIBANA
Hiroshi KAWAGOSHI, Nobuo TAKAHASHI, Yasuyuki MORIMOTO, Takashi TOKUYASU
Yoshio TANAKA and Noritake SUGITSUE

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

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

© Japan Atomic Energy Agency, 2014

JAEA-Technology 2014-021

製錬転換施設の機器解体に係る人工数評価式

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

出雲　沙理、臼井　秀雄、窪田　晋太郎、立花　光夫[+1]、川越　浩、
高橋　信雄[+2]、森本　靖之[+3]、徳安　隆志[※]、田中　祥雄[+2]、杉杖　典岳[+2]

(2014 年 3 月 31 日受理)

原子力機構では原子力施設の合理的な廃止措置計画を策定するため、管理データ評価システム(PROject management data evaluation code for DIsmantling Activities：以下、PRODIA)の開発を進めている。PRODIA は、過去の原子力施設の解体実績データを基に、解体作業に要する人工数等を評価するための計算コードである。今回、人形峠製錬転換施設における回収ウラン転換技術開発等に使用した機器類の解体作業に対して、解体作業に要する人工数を評価するための評価式を作成した。解体作業は準備工程、解体工程、後処理工程に分けられる。準備工程に対しては作業項目、解体工程に対しては機器分類、後処理工程に対しては作業項目毎の人工数評価式で示した。今回得られた人工数評価式は、他の原子力施設、特にウラン取扱施設において廃止措置計画を策定する際に活用できる。

さらに、これらの人工数評価式のうち、適用条件が類似しているものを整理し、鋼製のプロセス機器類の解体工程に対しては単一の評価式にまとめられること、準備工程及び後処理工程に対しては作業環境に応じた包括的な評価式にまとめられることを確認した。単一の評価式を適用することにより、ウラン取扱施設における鋼製の機器類は一括して評価することができる。

原子力科学研究所（駐在）：〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4
+1　バックエンド推進部門
+2　人形峠環境技術センター
+3　人形峠環境技術センター環境保全技術部
※　技術開発協力員

JAEA-Technology 2014-021

Evaluation Formulas of Manpower Needs for Dismantling of Equipments in Uranium Refining and Conversion Plant

Sari IZUMO, Hideo USUI, Shintaro KUBOTA, Mitsuo TACHIBANA[+1],
Hiroshi KAWAGOSHI, Nobuo TAKAHASHI[+2], Yasuyuki MORIMOTO[+3],
Takashi TOKUYASU[※], Yoshio TANAKA[+2] and Noritake SUGITSUE[+2]

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 has developed PROject management data evaluation code for DIsmantling Activities (PRODIA) to make an efficient decommissioning for nuclear facilities. PRODIA is a source code which provides estimated value such as manpower needs, costs, etc., for dismantling by evaluation formulas according to the type of nuclear facility. Evaluation formulas of manpower needs for dismantling of equipments about reprocessed uranium conversion in Uranium Refining and Conversion Plant (URCP) have been developed in this report. In the result, evaluation formulas of manpower needs for dismantling of equipment were derived based on the classifications of equipment's functions or work items. These evaluation formulas are widely applicable to the estimation of the manpower needs for dismantling the other nuclear facilities, in particular uranium handling facilities.

It was confirmed that some of these evaluation formulas with the same applicable condition could be unified to some inclusive evaluation formulas. It turned out that all steel equipment contaminated by uranium could be evaluated by one evaluation formula.

Keywords: Uranium Refining and Conversion Plant, Decommissioning, Project Management Data

+1 Nuclear Cycle Backend Directorate
+2 Ningyo-toge Environmental Engineering Center
+3 Environmental Research and Development Department, Ningyo-toge Environmental Engineering Center
※ Collaborating Engineer

目　次

1. はじめに 1

2. PRODIA の概要 2

3. 製錬転換施設の機器類解体 3

3.1 製錬転換施設の概要 3
3.2 回収ウラン機器類の解体作業 4
3.2.1 解体作業の手順 4
3.2.2 使用工具の選定 5
3.2.3 解体作業の体制 6
3.3 解体実績データの収集 6
3.3.1 解体実績データの収集方法 6
3.3.2 解体作業で得られた実績データ 6

4. 回収ウラン機器類の解体作業に係る人工数評価式 8

4.1 解体工程 8
4.1.1 回収ウラン機器類の機器分類 8
4.1.2 解体工程の人工数評価式 9
4.2 準備工程及び後処理工程 19
4.2.1 作業項目の分類 19
4.2.2 準備工程及び後処理工程の人工数評価式 21

5. 解体作業に係る包括的な人工数評価式 23

5.1 解体工程の包括的な人工数評価式 23
5.1.1 プロセス機器類の単一評価式 23
5.1.2 単一評価式と機器分類毎の評価式との比較 24
5.2 準備工程及び後処理工程の包括的な人工数評価式 24

6. 考察 27

6.1 解体工程の人工数評価式の考察 27
6.2 準備工程及び後処理工程の人工数評価式の考察 27
6.3 プロセス機器類の単一評価式の考察 28
6.4 準備工程及び後処理工程の包括的な人工数評価式の考察 29

7. まとめ 30

謝　辞 30

参考文献 31

CONTENTS

1. Introduction 1

2. Outline of Evaluation System of Management Data (PRODIA Code) 2

3. Dismantling of Equipment in URCP 3
3.1 Brief Overview of URCP 3
3.2 Dismantling of Uranium Conversion Equipment 4
3.2.1 Dismantling Procedure 4
3.2.2 Selection of Dismantling Tools 5
3.2.3 Organization for Dismantling Operation 6
3.3 Collection of Work Management Data 6
3.3.1 Data Collection Method 6
3.3.2 Actual Work Management Data 6

4. Evaluation Formulas of Manpower needs for Dismantling of Uranium Conversion Equipment 8
4.1 Dismantling Process 8
4.1.1 Functional Classification of Uranium Conversion Equipment 8
4.1.2 Evaluation Formulas of Manpower needs for Dismantling Process 9
4.2 Preparation/Clean-up Process 19
4.2.1 Work Item Classification 19
4.2.2 Evaluation Formulas of Manpower needs for Preparation/Clean-up Process 21

5. Inclusive Evaluation Formulas of Manpower needs for Dismantling of Uranium Conversion Equipment 23
5.1 Inclusive Evaluation Formula for Dismantling Process 23
5.1.1 Unified Evaluation Formula for Uranium Conversion Process Equipment 23
5.1.2 Comparison between Unified Evaluation Formula and Evaluation Formulas of Functional Classification 24
5.2 Inclusive Evaluation Formulas for Preparation/Clean-up Process 24

6. Discussion 27
6.1 Discussion of Dismantling Process 27
6.2 Discussion of Preparation/Clean-up Process 27
6.3 Discussion of Unified Evaluation Formula for Uranium Conversion Process Equipment 28
6.4 Discussion of Inclusive Evaluation Formulas for Preparation/Clean-up Process 29

7. Summary 30

Acknowledgement 30
References 31

表リスト

表 1　機器類の用途による分類 33
表 2　塔槽類の解体に要した作業員の人工数 35
表 3　水和機の解体に要した作業員の人工数 35
表 4　粉砕機の解体に要した作業員の人工数 35
表 5　分離機の解体に要した作業員の人工数 36
表 6　トラップの解体に要した作業員の人工数 36
表 7　圧縮機の解体に要した作業員の人工数 37
表 8　乾燥機の解体に要した作業員の人工数 37
表 9　その他プロセス機器類の解体に要した作業員の人工数 37
表 10　スクラバの解体に要した作業員の人工数 37
表 11　配管の解体に要した作業員の人工数 38
表 12　熱交換器の解体に要した作業員の人工数 38
表 13　低圧タンクの解体に要した作業員の人工数 39
表 14　高圧タンクの解体に要した作業員の人工数 39
表 15　シリンダー槽の解体に要した作業員の人工数 39
表 16　冷凍機の解体に要した作業員の人工数 39
表 17　盤の解体に要した作業員の人工数 40
表 18　その他機器類の解体に要した作業員の人工数 40
表 19　フードの解体に要した作業員の人工数 41
表 20　グローブボックスの解体に要した作業員の人工数 41
表 21　ヒュームフードの解体に要した作業員の人工数 41
表 22　基礎の解体に要した作業員の人工数 42
表 23　架台の解体に要した作業員の人工数 43
表 24　台車の解体に要した作業員の人工数 44
表 25　クレーンの解体に要した作業員の人工数 44
表 26　準備工程及び後処理工程の作業項目一覧 45
表 27　準備工程に要した作業員の人工数 46
表 28　後処理工程に要した作業員の人工数 47
表 29　プロセス機器類の機器分類毎の評価式と単一評価式の相対誤差 48

図リスト

図 1　製錬転換施設の CAD 図 49
図 2　年度毎の作業員人工数の割合 49
図 3　解体物の内容物内訳 50
図 4　年度毎の解体物収納容器の平均充填率 50
図 5　塔槽類の重量と解体に要した人工数との相関図 51
図 6　水和機の重量と解体に要した人工数との相関図 51
図 7　粉砕機の重量と解体に要した人工数との相関図 52
図 8　分離機の重量と解体に要した人工数との相関図 52
図 9　トラップの重量と解体に要した人工数との相関図 53
図 10　圧縮機の重量と解体に要した人工数との相関図 53
図 11　乾燥機の重量と解体に要した人工数との相関図 54
図 12　その他プロセス機器類の重量と解体に要した人工数との相関図 54
図 13　スクラバの重量と解体に要した人工数との相関図 55
図 14　配管の重量と解体に要した人工数との相関図 55
図 15　熱交換器の重量と解体に要した人工数との相関図 56
図 16　低圧タンクの重量と解体に要した人工数との相関図 56
図 17　高圧タンクの重量と解体に要した人工数との相関図 57
図 18　シリンダー槽の重量と解体に要した人工数との相関図 57
図 19　冷凍機の重量と解体に要した人工数との相関図 58
図 20　盤の重量と解体に要した人工数との相関図 58
図 21　その他機器類の重量と解体に要した人工数との相関図 59
図 22　フードの重量と解体に要した人工数との相関図 59
図 23　グローブボックスの重量と解体に要した人工数との相関図 60
図 24　ヒュームフードの重量と解体に要した人工数との相関図 60
図 25　基礎の重量と解体に要した人工数との相関図 61
図 26　架台の重量と解体に要した人工数との相関図 61
図 27　台車の重量と解体に要した人工数との相関図 62
図 28　クレーンの重量と解体に要した人工数との相関図 62
図 29　エリア設定の人工数と作業エリア面積との相関図 63
図 30　放射線測定の人工数と作業エリア面積との相関図 63
図 31　放射線測定の人工数と作業エリア面積との相関図(転換試験室データなし) 64
図 32　資材搬入・設置の人工数と作業エリア面積との相関図 64
図 33　資材搬入・設置の人工数と作業エリア面積との相関図(転換試験室データなし) 65
図 34　収納容器搬入の人工数と作業エリア面積との相関図 65
図 35　養生設営の人工数と作業エリア面積との相関図 66
図 36　養生設営の人工数と作業エリア面積との相関図(転換試験室データなし) 66

図 37　GH 設営の人工数と作業エリア面積との相関図..... 67
図 38　GH 設営の人工数と作業エリア面積との相関図(転換試験室データなし)..... 67
図 39　足場設営の人工数と作業エリア面積との相関図..... 68
図 40　エリア解除の人工数と作業エリア面積との相関図..... 68
図 41　後片付けの人工数と作業エリア面積との相関図..... 69
図 42　後片付けの人工数と作業エリア面積との相関図(転換試験室データなし)..... 69
図 43　資材撤去の人工数と作業エリア面積との相関図..... 70
図 44　容器搬出の人工数と作業エリア面積との相関図..... 70
図 45　カートン処理の人工数と作業エリア面積との相関図..... 71
図 46　養生撤去の人工数と作業エリア面積との相関図..... 71
図 47　GH 撤去の人工数と作業エリア面積との相関図..... 72
図 48　GH 撤去の人工数と作業エリア面積との相関図(転換試験室データなし)..... 72
図 49　足場撤去の人工数と作業エリア面積との相関図..... 73
図 50　プロセス機器類の重量と人工数の相関図..... 73
図 51　共通準備の人工数と作業エリア面積との相関図..... 74
図 52　共通準備の人工数と作業エリア面積との相関図(転換試験室データなし)..... 74
図 53　共通後処理の人工数と作業エリア面積との相関図..... 75
図 54　共通後処理の人工数と作業エリア面積との相関図(転換試験室データなし)..... 75
図 55　「共通・高所」準備の人工数と作業エリア面積との相関図..... 76
図 56　「共通・高所」後処理の人工数と作業エリア面積との相関図..... 76
図 57　「共通・飛散防止」準備の人工数と作業エリア面積との相関図..... 77
図 58　「共通・飛散防止」準備の人工数と作業エリア面積との相関図
(転換試験室データなし)..... 77
図 59　「共通・飛散防止」後処理の人工数と作業エリア面積との相関図..... 78
図 60　「共通・飛散防止」後処理の人工数と作業エリア面積との相関図
(転換試験室データなし)..... 78
図 61　「共通・飛散防止・高所」準備の人工数と作業エリア面積との相関図
(転換試験室データなし)..... 79
図 62　「共通・飛散防止・高所」後処理の人工数と作業エリア面積との相関図
(転換試験室データなし)..... 79

This is a blank page.

1. はじめに

日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)には 200 超の多種多様な原子力施設があり、老朽化や役目を終えた原子力施設については順次廃止措置が行われている。廃止措置は長期間に亘って行われ、多くのコストも必要となることから、計画的、効率的に進めることが求められる。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には、予め解体作業[注1]に係る管理データ、すなわち人工数、被ばく線量、廃棄物発生量等を評価することが必要となる。そのため原子力機構では、廃止措置エンジニアリングシステム(DENESYS)の一部として、原子力施設の解体作業に係る管理データの評価を行うための計算コードである PRODIA(PROject management data evaluation code for DIsmantling Activities)の開発を進めている。

PRODIA は、原子力施設の解体作業で必要となる一連の作業を、作業項目の階層構造(WBS: Work Breakdown Structure)の形に分類した上で、作業項目毎に管理データを予測し、その結果を作業項目の階層構造に沿って積算して評価するための計算コードである。作業項目毎の管理データ評価は、これまでに行われた原子力施設の解体作業で収集した実績データを分析し、施設の種類（原子炉、再処理施設、ウラン取扱施設等）や特徴（構造、汚染状況）に応じて設定した評価式[1-6)]を用いて行われる。

人形峠環境技術センターにある製錬転換施設において 2008 年度から 2011 年度の間に行われた、回収ウラン転換技術開発等に使用された機器類の解体作業を対象に、各種実績データを収集・分析し、ウラン取扱施設に関する評価式の整備を行なった。本報告書は、製錬転換施設における実績データから作成した、回収ウラン転換技術開発等に使用した機器類の解体作業に要する人工数の評価式についてまとめるとともに、今後の廃止措置計画立案に適用できる範囲を示したものである。

注1 ここでは、準備から後処理までを含めた、施設の機器類や構造物を解体撤去し、収納容器に入れて保管するまでの一連の作業を指す。

2. PRODIA の概要

PRODIA は、解体作業の作業項目毎の評価式を用いて、各作業項目が対象とする機器・構造物の重量や作業エリアの面積等の指標から、作業項目の実施に要する人工数などの管理データを評価するための計算コードである。作業項目ごとに計算した管理データを、実際の解体作業を表す作業項目の階層構造に沿って積算することにより､解体作業全体に係る管理データが評価できる。

従って、解体作業全体に係る管理データを正確に評価するには、実際の作業手順を忠実に構造化した解体作業の WBS と各作業項目の実施に係る人工数を計算するための評価式が必要となる。

解体作業の作業項目は、「準備工程」「解体工程」「後処理工程」の大きく 3 つに区分され、各作業項目の実施に係る人工数 Y (人時)は以下に示す評価式で求めることができる。

(1) 「準備工程」及び「後処理工程」の実施に係る人工数の評価式

「準備工程」とは、足場設営、グリーンハウス(以下、GH)設営、等の解体作業の実施に必要な設備の設営等である。「後処理工程」とは、GH 撤去、足場撤去、片付け整理、等の準備作業で設営した設備の撤去等である。

「準備工程」及び「後処理工程」の実施に係る人工数は、作業項目、作業エリアの面積等を指標とする以下の 1 次式で評価を行う。

$$Y = a_w \times S \qquad \cdots (2\text{-}1)$$

ここで、

a_w ：作業項目 w に依存した単位作業係数(人時/m^2)

S ：作業エリアの面積(m^2)

(2) 「解体工程」の実施に係る人工数の評価式

「解体工程」とは、機器類の除染、分解、切断、収納、輸送等である。

「解体工程」に実施に係る人工数は、機器類の分類、作業内容、機器類の重量等を指標とする以下の 1 次式で評価を行う。

$$Y = a_e \times m_e \qquad \cdots (2\text{-}2)$$

ここで、

a_e ：機器類の分類 e に依存した単位作業係数(人時/ton)

m_e ：機器類の重量(ton)

3. 製錬転換施設の機器類解体

3.1 製錬転換施設の概要

製錬転換施設は、1981 年 10 月に竣工し、天然ウランや精鉱(イエローケーキ)を原料として UF_6 を製造する湿式一貫製錬法及び UF_6 転換技術(以下、湿式法)の開発と、東海再処理工場で回収したウラン(以下、回収ウラン)を原料として UF_6 を製造する乾式転換技術(以下、乾式法)の開発が行われた施設である [7-10]。製錬転換施設は鉄筋コンクリート造であり、湿式法および乾式法の実用化試験を行った 3 階建ての施設に付随して、乾式法の基礎研究等に使用していた 1 階(一部 2 階)建ての転換試験施設が併設された建物である。延べ床面積は約 11,400m^2 であり、うち管理区域の面積は約 7,300m^2 である。管理区域内は 37 の部屋に分かれ、部屋面積は 34m^2 から、最大で 653m^2 までである。製錬転換施設 CAD 図を図 1 に示す。

湿式法のプロセスは、製錬工程と転換工程からなる。製錬工程では、天然ウランの鉱石またはイエローケーキを溶媒抽出法により精製した後に電解還元し、フッ酸と反応させて含水 UF_4 の結晶を沈殿させた後に脱水することにより、UF_4 粉体が得られる。転換工程では、製錬工程で得られた UO_2 粉体にフッ素ガスを反応させることにより、UF_6 ガスが得られる。

乾式法のプロセスは、水和前処理工程、脱水還元工程及び転換工程からなる。原料である回収ウランの反応性を上げるため、水和前処理工程で回収ウランと水を混練し、脱水還元工程で脱水・還元して UF_4 の粉体とした後、転換工程でフッ化水素ガスおよびフッ素ガスをそれぞれ反応させることにより、UF_6 ガスが得られる。

転換工程の機器類は湿式法及び乾式法で共通のものが使用された。また、給排気設備や廃液処理設備についても、湿式法及び乾式法で共通のものが使用された。

製錬転換施設では、1982 年 3 月から 1991 年まで湿式法の技術開発、1982 年 12 月から 1999 年 7 月まで乾式法の技術開発が行われた。それぞれの技術開発で、およそ 385tonU、338tonU の UF_6 が生産されている。

試験終了後は、2000 年度から 2001 年度にかけて湿式法の製錬工程で用いた一部の機器類を対象に、小規模な解体試験が行われている。2002 年度から 2007 年度の間には、湿式法の製錬工程でうまく粉状にならなかった UF_4 塊の破砕・乾燥設備を設置し、同処理が行われている。2008 年度から 2011 年度には、管理区域内主要機器類の本格解体として、乾式法の実用化試験及び基礎研究に使用した機器類の他、湿式法の技術開発に使用した残りの機器類や、UF_4 塊の破砕・乾燥設備等（以下、回収ウラン機器類）の解体作業が行われている。この時、後に続く原子力施設の廃止措置に役立てるため、回収ウラン機器類の解体作業に関する実績データの収集も行っている。また、2010 年度からは管理区域内の残りの機器類(使用済流動媒体貯槽や給排気設備、廃液処理設備等)の解体作業も進められており、2019 年度には全ての管理区域内機器類の解体作業が終了する予定である。

3.2　回収ウラン機器類の解体作業

回収ウラン機器類の解体作業の手順、使用工具の選定及び解体作業の体制について述べる。

3.2.1　解体作業の手順

2008 年度は、次年度以降の解体を容易にするため、取扱いの難しい UF_6 使用機器、乾式法のプロセスから独立した大型機器、及び乾式法の基礎研究に用いた機器類が設置された部屋等を中心に、解体作業が行われた [11,12]。また、2009 年度以降は基本的に、乾式法の実用化試験に用いた機器類が設置された部屋について、人や機器・収納容器等の物流に使用する頻度が低い順かつ 1 階の部屋から順に解体作業が行われた。その理由は、物流で頻繁に使用する部屋は、解体作業を終えた後も汚染する可能性があり、できる限り廃止措置期間後半に行う必要があったためである。1 階から作業を行った理由は、乾式法の実用化試験に用いた機器類は長尺で階をまたいで設置されているものが多く、解体作業の際には下の階に吊降ろした上で横倒しにするスペースが必要であったためである。

回収ウラン機器類は、配管の他、ウランが内部を流通したプロセス機器類、基本的にウランが流通しておらず、プロセスに電気、水、ガス等を供給するためのユーティリティ機器類、及びプロセス機器類並びにユーティリティ機器類以外の付属設備に大別される。回収ウラン機器類の解体作業では、放射性廃棄物の発生量を極力削減するために、部屋毎にまずウランが流通しておらず、基本的に汚染のないユーティリティ機器類の解体が行われた後、プロセス機器類の解体が行われた [13-17]。付属設備については、周辺のプロセス機器類又はユーティリティ機器類の解体作業に合わせて適宜解体が行われた。

回収ウラン機器類は、解体後、汚染のない金属はメッシュコンテナ(サイズ：1,200×1,000×900 ㎜)に、それ以外はドラム缶に収納されている。施設の床耐荷重や容器サイズの制限から、次の通りに定められた。

【ドラム缶収納の場合】
- 最大重量　Gross 200kg
- 配管類　最大 70cm までの長さに切断
- 機器類　最大 40cm 角までの長さに切断

【メッシュコンテナ収納の場合】
- 最大重量　Gross 1,000kg
- 最大 100cm までの長さに切断

回収ウラン機器類の基本的な解体手順は以下の通りである。

(1) ユーティリティ機器類

汚染のないユーティリティ機器類は、機器類の設置場所にて分解や切断を行い、メッシュコンテナに収納した。

(2) プロセス機器類

プロセス機器類の解体では、プロセス機器類の解体作業を全て機器類の設置場所で行う場合と、プロセス機器類を設置場所から切り離し、切断用エリアに集約して切断や収納を行う場合の、2 通りの手順を適用した。切断用エリアとは、機器類の切断作業エリアを集約することで GH 設営の作業効率化等を目的とした場所のことで、2009 年度及び 2010 年度に施設既存のフードを利用することや、専用の GH を設営することで確保した。2008 年度及び 2011 年度は設置位置で解体作業を行い、2009 年度及び 2010 年度は切断用エリアに集約し、解体作業が行われた。

① 設置場所での解体

プロセス機器類の設置場所での解体では、単数又は複数のプロセス機器類を取り囲むように GH を設営後、その場で切断し、200L ドラム缶に収納した。

設置場所での解体では、接続配管の縁切り、プロセス機器類の切断からドラム缶への収納までの作業を GH 内で行う。切断物を収納した 200L ドラム缶は、一時保管場所まで運搬した。GH は、包含するプロセス機器類を全て解体した後、GH 内部を拭き取り除染し、撤去した。

② 切断用エリアでの解体

切断用エリアは毎年、施設 1 階に設置したため、2 階以上に設置されていた機器類については天井クレーン等を利用した吊降し及び台車等を用いた運搬作業が必要となった。運搬の際は、汚染拡大防止のために機器開口部の養生(多くは閉止フランジの取り付け、ポリシート及びガムテープによる)作業が必要となった。

切断用エリアは、その年度のプロセス機器類の解体終了後、切断用エリア内部を拭き取り除染し、撤去した。

(3) 付属設備

付属設備は基本的には設置場所にて解体を行い、メッシュコンテナまたはドラム缶に収納した。

3.2.2 使用工具の選定

切断に用いた工具については、火災予防の観点から、チップソー、バンドソー、セーバーソー等の機械式切断機が極力使用された[12-18]。しかし、切断対象物の材質や肉厚によっては、機械式切断機では作業効率の低下や消耗品の交換頻度が高くなるため、その際はガス切断機やプラズマ切断機等の熱式切断機が使用された。

3.2.3　解体作業の体制

2008 年度の全ての解体作業及び 2009 年度のユーティリティ機器類の解体作業は、複数の外部業者とスポットの役務契約を結んで解体作業が行われた。2009 年度のプロセス機器類の解体作業、2010 年度の全解体作業、及び 2011 年度の全解体作業は、1 つの外部業者との 3 年間の役務契約により行われた。

製錬転換施設の解体作業時の基本的な体制は、作業場所に合わせていくつかの作業班に分かれ、各作業班は監督、放射線管理員、作業員で構成した。

3.3　解体実績データの収集

3.3.1　解体実績データの収集方法

複数の外部業者が実施した 2008 年度の全ての解体作業及び 2009 年度のユーティリティ機器類の解体作業については、1 日の作業終了後に、各監督が職種毎の人工数[人日]と装備、作業項目毎の使用工具と作業性、そして解体対象物の実績データについて、日報に記録を行った。また、作業内容を記録するために解体作業中に適宜写真の撮影を行った。

1 つの外部業者が行った 2009 年度のプロセス機器類の解体作業及び 2010 年度と 2011 年度の全解体作業では、これらの実績データがより詳細に収集できるようになり、作業項目毎の解体対象物・使用工具・作業人工と作業時間(15 分単位)・高所作業の有無・GH 内人数等が記録された。また写真の撮影数も大幅に増え、多い年度で 3,500 枚を超えた。

解体物の実績データは監督等が所定の伝票(エクセル)に、主な内容物、主な材質、重量、発生部屋、発生部屋毎の重量、収納開始日、作業終了日等を記入した。二次廃棄物については作業者が所定の伝票(紙)に、封入日、内容物、発生場所、重量、種類(可燃物、難燃物 1、難燃物 2、難燃物 3)、分類(回収ウラン系、天然ウラン系、混合)、線量当量率等を記した。

なお、作業者の被ばく状況については個々人が所持する TLD を四半期ごとに確認することにより管理していたが、回収ウラン機器類の解体作業期間中に有意な値が出ることはなかった。

3.3.2　解体作業で得られた実績データ

製錬転換施設の回収ウラン機器類の解体作業を通して、作業員の工数、解体物発生量及び二次廃棄物発生量に関する実績データを取得した。

(1) 作業員の人工数

回収ウラン機器類の解体作業で収集した外部業者の人工数のうち、解体作業に直接従事した人工数を作業員の人工数として集計した。また、人工数が[人日]単位で収集された外部業者の実績データについては、製錬転換施設における実態聞き取り調査から、1 日の作業時間を 4.5 時間として[人時]単位に変換した。その結果、4 年間の回収ウラン機器類の解体作業に要した作業員の人工数は全部で 40,108[人時]であった。

年度毎の作業員の人工数の内訳は、図 2 に示す通り 2008 年度が 16,772 人時と最も多く、全体の 42%を占めていた。次に多かったのは 2010 年度で 10,158 人時であり、全体の 25%

を占めていた。

(2) 解体物発生量

回収ウラン機器類の解体作業に伴って発生した解体物発生量は約 477ton であり、その内訳は図 3[18]に示す通り、金属が全体の 7 割以上を占めており、汚染金属が全体の 32%、非汚染金属が全体の 44%である。次に多いのはコンクリートで、全体の 14%を占める。

発生した収納容器の数は、200L ドラム缶が 2,100 本、メッシュコンテナが 312 個となった。収納容器の平均充填率は、製錬転換施設では 3.2.1 項に記載した最大重量を制限値として収納を行った結果、コンクリートを収納した 200L ドラム缶で 167.5kg/本、コンクリート以外(主に金属)を収納したドラム缶で 119.5kg/本、メッシュコンテナで 700.3kg/個となった。年度毎の解体物収納容器の収納効率の推移は、図 4 に示す通りドラム缶では大差はないが、メッシュコンテナでは年度を追う毎に充填率が上がり、2008 年度に比べて 2011 年度の充填率は約 1.5 倍となった。なお、3.2.1 項に記載した最大重量値は、製錬転換施設の床耐荷重や、保管庫のフォークリフトの耐荷重等の制限に由来したものである。

(3) 二次廃棄物発生量

二次廃棄物発生量は約 35ton であり、難燃性-2(ポリエチレン類、酢酸ビニル等)のものが 22ton と全体の 64%を占め、次いで可燃性(紙、布等)のものが 9ton と全体の 25%を占めていた。(ただし、2010 年度から回収ウラン機器類の解体作業と同時並行で進められた使用済流動媒体の抜出作業および使用済み流動媒体貯槽の除染作業で発生した二次廃棄物も含まれている。)

4. 回収ウラン機器類の解体作業に係る人工数評価式

4.1 解体工程

解体作業のうち、解体工程に要する作業員の人工数の評価方法を考案した。製錬転換施設の回収ウラン機器類について、施設における用途に応じた分類を行い、その機器分類毎に解体に要する作業員の人工数を評価した。

4.1.1 回収ウラン機器類の機器分類

製錬転換施設の回収ウラン機器類は、3.2.1 項で述べた通り、プロセス機器類、ユーティリティ機器類、付属設備の 3 種類及び配管に分類される。さらにこれらは、各機器類の用途によって、表 1 に示す 24 種類に分類される。

(1) プロセス機器類の機器分類

プロセス機器類とは、ウラン化合物等との各種反応や処理を行うものであり、内部にウラン化合物の粉体等が残存していることが多い。今回の評価ではプロセス機器類を、その用途や形状から次の 9 種類に分類した。

塔槽類　：粉体状のウラン化合物と反応ガスとを接触させ、化学反応を行い、一時的に貯留を行う。
水和機　：ウラン化合物と水との混練を行う。
粉砕機　：塊状のウラン化合物を粉砕し、粒度調整を行う。
分離機　：ガス中の不純物やウラン化合物をフィルタで分離する。
トラップ：吸着剤等に流体を通すことにより、不純物やウラン化合物を化学的に分離する。
圧縮機　：流体をポンプ等により加圧し、流通を促進する。
乾燥機　：泥状のウラン化合物を回転式の窯で連続乾燥させる。
スクラバ：吸収液により排ガス中の有害成分を除去する。
その他プロセス機器類：上記以外のプロセス機器類。

(2) 配管

配管は、機器類と機器類を接続し、内部を流体が流通するものである。

(3) ユーティリティ機器類の機器分類

ユーティリティ機器類とは、電気、水、ガス等をプロセスに供給する機器類である。ユーティリティ機器類は、用途から次の 6 種類に分類した。

低圧タンク　：プロセス機器類に注入するガス(1,013kPa 未満)を貯蔵する。
　　例：ブローバックタンク
高圧タンク　：プロセスで使用するガス(1,013kPa 以上)を貯蔵する。
　　例：IF_5 ボンベ
熱交換器　　：プロセス機器類に注入する反応用のガスを予め温める又は冷やす。
　　例：予熱器
シリンダー槽：ウラン化合物を収納したシリンダーを加熱または冷却する。
冷凍機　　：冷媒を用いてプロセスの温度を下げる。
　　例：IF_5 コールドトラップ用冷凍機
盤　　：機器類を操作するための電源やスイッチ等を収める。

(4) 付属設備の機器分類

付属設備とは、回収ウラン機器類のうち、プロセス機器類及びユーティリティ機器類以外の全ての設備であり、機器類の支持固定、移動や汚染拡大防止のために設置されているものである。製錬転換施設では次の 8 種類に分類した。

フード　　：粉体の飛散による汚染拡大防止のために据え付けられた簡易部屋
ヒュームフード：化学実験を行うための局所排気装置
グローブボックス：グローブポートと局所排気装置のついた密閉容器
架台　　：機器類を支持固定するための構造物
基礎　　：機器類や架台を支持固定するための構造物
台車　　：製品の入ったシリンダーを移動するための車輪付きの台
クレーン　：重量物の吊上げ及び水平移動を行う機械
その他機器類：上記以外の付属設備

4.1.2 解体工程の人工数評価式

回収ウラン機器類の機器分類別に、機器類の主な解体手順を整理し、機器類の解体に要する人工数を評価した。評価式は、説明変数を機器重量とする原点を通る回帰直線で求めた。なお、同時期に複数の機器類を解体し、個々の機器毎に要した人工数を収集することが困難であった場合には、複数の機器類の解体に要した人工数を次のように分割することで、機器分類毎の解体に要する人工数を整理した。

複数の機器類がすべて同じ機器分類に属する場合

複数の機器類に要した人工数を纏め、総重量が等しい 1 つの大型機器の解体に要した人工数と見なした。

複数の機器類が異なる機器分類のものであった場合

機器分類毎の重量比で人工数を分配し、それぞれの機器分類の解体に要した人工数と見なした。

また、機器類に付随する配管(フランジ部まで)、保温材、ラッキング、バルブ、計器、サポート（以下、保温材等）は、当該機器類の一部と見なし、保温材等の解体に要した人工数は当該機器類の解体に要した人工数に含めて整理した。

(1) プロセス機器類の評価式

① 塔槽類、水和機、粉砕機、分離機

解体手順(一例)：

塔槽類、水和機、粉砕機、分離機の解体手順は、次の通りである。

解体対象物の付近に既設クレーンがない場合、天井部もしくは機器類の周辺にチェーンブロックを設置し、チェーンブロックからナイロンスリング等で機器類に玉掛けを行い、解体時の塔槽類等の転倒防止を行った。

次に、機器類の接続配管について縁切り対象箇所をポリシート等で養生した後、フランジの取外し又は接続配管の切断を行い、縁切り箇所に閉止フランジやキャップ(施設残存部)又はガムテープ(撤去部)で閉止措置を施した。

その後、機器類を固定している架台の固定ボルトを取外し、クレーン又はチェーンブロックを用いて架台から吊降し、リフターに載せて切断用エリアへ運搬した。なお、2 階又は 3 階に設置されている機器類の場合には、機器類を各階の既設開口部まで運搬した後、クレーンを用いて 1 階まで吊降ろし、再びリフターに載せて切断用エリアまで運搬した。また床部を貫通し、階をまたいで設置されている機器類の場合は、貫通部の開口部を利用してチェーンブロックで吊降ろした。

切断用エリア内で機器類の抜出バルブや蓋部等を開放し、機器類内部に粉体等が残留していた場合には刷毛等を用いて粉体をポリ袋に回収した後、濡れキムタオル等で機器類内部の拭き取り除染を行った。機器類は、切断用エリアの中で主にプラズマ切断し、200L ドラム缶に収納した。

機器類の解体に要した人工数：

塔槽類、水和機、粉砕機、分離機の解体に要した人工数を表 2～表 5 に、また機器重量との相関を図 5～図 8 に示す。いずれの機器類も、機器類内部の残留物の回収を行った場合とそうでない場合とがあったが、機器重量と解体に要した人工数との相関を見る限り作業効率に違いは見られなかった。

回帰分析により得られた、塔槽類の評価式を式(4-1-1)に示す。データ数は 29 点であり、評価式の決定係数[注2]は 0.96 であった。

水和機の評価式を式(4-1-2)に示す。水和機のデータ数は 1 点であった。

粉砕機の評価式を式(4-1-3)に示す。データ数が 4 点であり、評価式の決定係数は 0.97 であった。

分離機の評価式を式(4-1-4)に示す。データ数は 22 点であり、評価式の決定係数は 0.70 であった。

$$y = 124.1\,w \quad \cdots (4\text{-}1\text{-}1)$$
$$y = 119.3\,w \quad \cdots (4\text{-}1\text{-}2)$$
$$y = 103.0\,w \quad \cdots (4\text{-}1\text{-}3)$$
$$y = 73.0\,w \quad \cdots (4\text{-}1\text{-}4)$$

② トラップ

解体手順(一例)：

設置場所で蓋を開放し、ウラン化合物の粉体やケミカル系の充填物（NaF、アルミナ）を回収した。接続配管を切り離し、配管側の開口部を閉止キャップ、機器類側の開口部を閉止フランジ等で閉止処置を施した。トラップ周囲の保温材等を撤去した後、チェーンブロック、リフター等を用いて切断用エリアに運搬した。切断用エリアにて上下の蓋を分解し、粉体を回収後、機器類内部の拭き取り除染を行った。プラズマ切断後、200L ドラム缶に収納した。

一方、製品の捕集に用いられたコールドトラップ(4 基)は、切断前に機器類内部を水による系統除染を行った。機器類内部に付着した残留物等をふき取った後、ガス切断機及びプラズマ切断機で切断し、200L ドラム缶に収納した。

機器類の解体に要した人工数：

トラップの解体に要した人工数を表 6 に、また図 9 にトラップの重量とトラップの解体に要した人工数の関係を示す。回帰分析により得られた、トラップの評価式を式(4-1-5)に示す。データ数は 12 点であり、評価式の決定係数は 0.99 であった。

$$y = 114.0\,w \quad \cdots (4\text{-}1\text{-}5)$$

[注2] 評価式の精度の良さを表す指標。0 から 1 までの値をとり、1 に近いほど評価式の当てはまりが良い事を示す。

③　圧縮機

解体手順(一例)：

接続配管やダクトを切り離し、開口部の閉止処置を行った。油を内包しているものは油抜きを行った後、分解・切断し、メッシュコンテナ又は 200L ドラム缶に収納した。

機器類の解体に要した人工数：

圧縮機の解体に要した人工数を表 7 に、また図 10 に圧縮機の重量と解体に要した人工数の関係を示す。回帰分析により得られた、圧縮機の評価式を式(4-1-6)に示す。データ数は 14 点であり、評価式の決定係数は 0.68 であった 。

$$y = 124.4\ w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}6)$$

④　乾燥機

解体手順(一例)：

接続配管の保温材を撤去し、ポリ袋に回収した。接続配管のフランジ部を開放またはバンドソーで切断し、残配管の開口部に閉止フランジ又は閉止キャップ、撤去配管は閉止ソケットにより閉止処置を施した。粉砕機がある場合は上部ホッパー及び下部シュートを取外し、内部の粉体を回収した後、閉止処置を施した。粉砕機のカバーを取外し、駆動部を取り外した。カバーは機械的切断した後 200L ドラム缶に収納した。天井にチェーンブロックをセットし、粉砕機にナイロンスリング等で玉掛けした後床に吊降ろし、設置部屋内の切断エリアに移動させた。切断エリアにもチェーンブロックを設置し、解体物を吊りながらガス切断を行った。乾燥機の電気炉部分は設置場所において吊ながら切断を行った後収納した。乾燥機本体は切断エリアに移動し、フィーダー、シューター及び乾燥機内の粉体を回収した後、チェーンブロックで吊りながら切断を行い、解体物を床に降ろした後ドラム缶に収納した。最後に付属の排気バグフィルタの解体撤去も行った。

機器類の解体に要した人工数：

乾燥機の解体に要した人工数を表 8 に、また図 11 に乾燥機の重量と乾燥機の解体に要した人工数の関係を示す。回帰分析により得られた、乾燥機の評価式を式(4-1-7)に示す。データ数は 2 点であり、評価式の決定係数は 1.00 であった。

$$y = 81.2\ w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}7)$$

⑤　その他プロセス機器類

解体手順(一例)：

切断し、200L ドラム缶に収納した。

機器類の解体に要した人工数：

その他プロセス機器類の解体に要した人工数を表 9 に、また図 12 にその他プロセス機器類の重量と解体に要した人工数の関係を示す。回帰分析により得られた、その他プロセス機器類の評価式を式(4-1-8)に示す。データ数は 5 点であり、評価式の決定係数は 0.77 であった。

$$y = 51.2\ w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}8)$$

⑥　スクラバ

解体手順(一例)：

付属のポンプを解体撤去した後、接続配管を切り離し、縁切り部にガムテープ等で閉止措置を行った。その後、チェーンブロック等を用いてスプレー塔を吊上げ、下部の廃液タンクと切り離し、それぞれを切断エリアに運搬した。この際、設置場所または切断エリアにてスプレー塔内の充填物（ラシヒリング等）を下部または点検窓から回収した。機械的切断を行った後、200L ドラム缶に収納した。

機器類の解体に要した人工数：

スクラバの解体に要した人工数を表 10 に、また図 13 にスクラバの重量とスクラバの解体に要した人工数の関係を示す。回帰分析により得られた、スクラバの評価式を式(4-1-9)に示す。 データ数は 2 点であり、評価式の決定係数は 1.00 であった。

$$y = 273.0\ w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}9)$$

(2)　配管の評価式

解体手順(一例)：

配管のラッキングを分解し、均した後にメッシュコンテナに収納した。保温材は分解後ポリ袋に収納し、空気抜き後ドラム缶へ収納した。電線管等を撤去しメッシュコンテナに収納した。液抜きが必要な配管については、配管のフランジ部のボルトを順次緩めて液抜きを行い、残液を回収した。液抜き完了後は、液をふき取りガムテープにて閉止処置を行った。また汚染配管については、配管のフランジ部分に養生を施した上でボルトの取外し、又は配管の切離し部に養生を施した上で機械式切断機にて 70cm 程度に切断(ただし、切断エリアに運搬する場合は数メートルの長さに切断)を行った。汚染配管はドラム缶へ、非汚染配管はメッシュコンテナへそれぞれ収納した。配管撤去範囲は室内又は室外壁際のフランジ等継手までとし、残す配管の末端には閉止フランジ、又は閉止キャップ等を取付けた。

機器類の解体に要した人工数：

撤去範囲と解体に要した人工数が明確に分かったもののみ、製錬転換施設の CAD から配管の長さを求めて重量を算出し、分析を行った。配管の解体に要した人工数を表 11 に、また図 14 に配管の重量と配管の解体に要した人工数の関係を示す。回帰分析により得られた、配管の評価式を式(4-1-10)に示す。データ数は 9 点であり、評価式の決定係数は 0.79 であった。

$$y = 159.1\ w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}10)$$

(3) ユーティリティ機器類の評価式

① 熱交換器、低圧タンク：

解体手順(一例)：

接続配管やダクトを切り離し、開口部については施設残存部を閉止キャップ、機器類側をガムテープ等で、それぞれ閉止処置を行った。その後、設置場所で分解及び機械的切断を行いメッシュコンテナに収納するか、切断エリアに運搬した後に分解及び切断を行い 200L ドラム缶に収納した。

機器類の解体に要した人工数：

熱交換器、低圧タンクの解体に要した人工数を表 12～表 13 に、また図 15 に熱交換器の重量と熱交換器の解体に要した人工数の関係を、図 16 に低圧タンクの重量と低圧タンクの解体に要した人工数の関係をそれぞれ示す。

回帰分析により得られた、熱交換器の評価式を式(4-1-11)に示す。データ数は 16 点であり、評価式の決定係数は 0.71 であった。

低圧タンクの評価式を式(4-1-12)に示す。データ数は 14 点であり、評価式の決定係数は 0.66 であった。

$$y = 79.0\ w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}11)$$

$$y = 119.7\ w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}12)$$

② 高圧タンク：

解体手順(一例)：

切断し、ドラム缶に収納した。

機器類の解体に要した人工数：

高圧タンクの解体に要した人工数を表 14 に、また図 17 に高圧タンクの重量と高圧タンクの解体に要した人工数の関係を示す。回帰分析により得られた、高圧タンクの評価式を式(4-1-13)に示す。データ数は 1 点であった。

$$y = 534.9\ w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}13)$$

③　シリンダー槽：

解体手順(一例)：

シリンダー槽は、保温材および蓋部を撤去した後、熱交換器やファンといった槽内部品を取外し、最後に槽本体を熱的切断機により切断した後、メッシュコンテナに収納した。解体の際は既設のクレーンを用いた。また、一部の汚染部分は養生した後切断し、ドラム缶に収納した。

機器類の解体に要した人工数：

シリンダー槽の解体に要した人工数を表 15 に、また図 18 にシリンダー槽の重量とシリンダー槽の解体に要した人工数の関係を示す。回帰分析により得られた、シリンダー槽の評価式を式(4-1-14)に示す。データ数は 2 点であり、評価式の決定係数は 0.91 であった。

$$y = 32.6\,w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}14)$$

④　冷凍機：

解体手順(一例)：

切断し、ドラム缶に収納した。

機器類の解体に要した人工数：

冷凍機の解体に要した人工数を表 16 に、また図 19 に冷凍機の重量と冷凍機の解体に要した人工数の関係を示す。回帰分析により得られた、冷凍機の評価式を式(4-1-15)に示す。データ数は 1 点であった。

$$y = 155.7\,w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}15)$$

⑤　盤

解体手順(一例)：

盤にある計器、ケーブル（末端は絶縁テープで養生）及びケーブルダクトを撤去し、200L ドラム缶に収納した。盤の内部を分解し、躯体は機械的切断を行った後、メッシュコンテナに収納した。

機器類の解体に要した人工数：

盤の解体に要した人工数を表 17 に、また図 20 に盤の重量と盤の解体に要した人工数の関係を示す。回帰分析により得られた、盤の評価式を式(4-1-16)に示す。分析結果を見ると、データ数は 35 点であり、評価式の決定係数は 0.53 であった。

$$y = 89.6\,w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}16)$$

(4) 付属設備の評価式

① その他機器類

解体手順(一例)：

切断後、200L ドラム缶に収納した。

機器類の解体に要した人工数：

その他機器類の解体に要した人工数を表 18 に、また図 21 にその他機器類の重量と解体に要した人工数の関係を示す。回帰分析により得られた、その他機器類の評価式を式(4-1-17)に示す。データ数は 4 点であり、評価式の決定係数は 0.99 であった。

$$y = 52.0\ w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}17)$$

② フード

解体手順(一例)：

ダクトや貫通配管がある場合は養生を施し、切離した後、閉止処置を施した。設置場所でアルミサッシ及びパネル（アクリルまたはポリカーボネイト製）を取外し、機械的切断の後 200L ドラム缶に収納した。炭素鋼製の梁、柱、縞鋼板等を必要に応じてチェーンブロック等で吊降ろした後、機械的切断をし、メッシュコンテナ又は 200L ドラム缶に収納した。

機器類の解体に要した人工数：

フードの解体に要した人工数を表 19 に、また図 22 にフードの重量とフードの解体に要した人工数の関係を示す。回帰分析により得られた、フードの評価式を式(4-1-18)に示す。データ数は 10 点であり、評価式の決定係数は 0.87 であった。

$$y = 71.9\ w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}18)$$

③ グローブボックス

解体手順(一例)：

ブロワ及びダクトを解体撤去後、解放部に閉止処置を施した。鋼管、チェーンブロック等にてグローブボックスの底部を支えた後、固定ボルトを取外し、吊上げながら脚部架台から切り離した。切断エリアまたは設置場所に設営した GH 内に搬入し、内部機器類も含めて分解及び切断し、200L ドラム缶に収納した。

機器類の解体に要した人工数：

グローブボックスの解体に要した人工数を表 20 に、また図 23 にグローブボックスの重量とグローブボックスの解体に要した人工数の関係を示す。回帰分析により得られた、グローブボックスの評価式を式(4-1-19)に示す。データ数は 4 点であり、評価式の決定係数は 0.93 であった。

$$y = 80.6\ w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}19)$$

④　ヒュームフード

解体手順(一例)：

ダクトに養生を施し、切離した。施設側にはフィルタ取付け又は閉止処置を施し、ヒュームフード側は閉止処置を施した。切断エリアまたは設置場所に設営した GH 内に搬入し、ヒュームフード内機器類を分解及び機械的切断後、200L ドラム缶に収納した。ヒュームフード内面を拭取り除染した後、分解及び機械的切断し、200L ドラム缶に収納した。

機器類の解体に要した人工数：

ヒュームフードの解体に要した人工数を表 21 に、また図 24 にヒュームフードの重量とヒュームフードの解体に要した人工数の関係を示す。回帰分析により得られた、ヒュームフードの評価式を式(4-1-20)に示す。データ数は 6 点であり、評価式の決定係数は 0.74 であった。

$$y = 87.0\ w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}20)$$

⑤　基礎

解体手順(一例)：

製錬転換施設は 3 階構造であり、各階の床面に係る荷重を減らすために、機器類や架台はダボ鉄筋（床スラブと基礎コンクリートのずれを防ぐ目的の鉄筋）の入ったコンクリート製の基礎に設置されていた。そのため、基礎の解体時には鉄筋部分とコンクリート部分を分離する必要があった。コンクリート部分については、粉塵の拡散を防止するため水を散水しながらブレーカーで破砕し、200L ドラム缶に収納した。残りの鉄筋部分はグラインダーで切断し、メッシュコンテナに収納した。基礎解体後の床面にモルタルを充填し、その上から床塗装（耐酸）を行った。

機器類の解体に要した人工数：

基礎の解体に要した人工数を表 22 に、また図 25 に基礎の重量と基礎の解体に要した人工数の関係を示す。回帰分析により得られた、基礎の評価式を式(4-1-21)に示す。データ数は 38 点であり、評価式の決定係数は 0.89 であった。

$$y = 29.4\ w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}21)$$

⑥　架台

解体手順(一例)：

主にセーバーソーで切断し、メッシュコンテナに収納した。架台の解体順序としては、天板部から切断を行うか、又は、架台を吊上げ脚部から順次切断を行った。

機器類の解体に要した人工数：

架台の解体に要した人工数を表 23 に、また図 26 に架台の重量と架台の解体に要した人工数の関係を示す。 架台は、天板部から切断を行う場合と、架台を吊上げ脚部から

切断を行う場合があったが、作業効率に違いは見られなかった。また幾つかの架台はガス切断機やプラズマ切断機を用いて切断を行ったが、作業効率に大きな違いは見られなかった。回帰分析により得られた、架台の評価式を式(4-1-22)に示す。データ数は 50 点であり、評価式の決定係数は 0.86 であった。

$$y = 34.1\ w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}22)$$

⑦　台車

解体手順(一例)：

屋内のクレーンを用いて設置部屋内に設営した切断エリアまで移動させ、ボルト組立部品を取外し、セーバーソー、ガス切断機、プラズマ切断機等を用いて切断後、メッシュコンテナに収納した。

機器類の解体に要した人工数：

台車の解体に要した人工数を表 24 に、また図 27 に台車の重量と台車の解体に要した人工数の関係を示す。回帰分析により得られた、台車の評価式を式(4-1-23)に示す。データ数は 7 点であり、評価式の決定係数は 0.90 であった。

$$y = 8.9\ w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}23)$$

⑧　クレーン

解体手順(一例)：

チェーンブロック及び建屋クレーンを用いて電動ホイストを取外し、メッシュコンテナに収納した。天井部 2 ヶ所にチェーンブロックを設置し、架台柱部に玉掛けを行った。架台の柱部を 1m 程度に切断しメッシュコンテナへ収納する作業を、4 本の柱について順次行った。支柱を撤去した後、架台を降ろし基礎上に仮置きし、レール等を撤去した。架台上部を切断しメッシュコンテナに収納した。

機器類の解体に要した人工数：

クレーンの解体に要した人工数を表 25 に、また図 28 にクレーンの重量とクレーンの解体に要した人工数の関係を示す。回帰分析により得られた、クレーンの評価式を式(4-1-24)に示す。データ数は 2 点であり、評価式の決定係数は 1.00 であった。

$$y = 24.7\ w \qquad \cdots (4\text{-}1\text{-}24)$$

4.2 準備工程及び後処理工程

解体作業のうち､準備工程および後処理工程に要する作業員の人工数の評価方法を明確にした。各作業項目について作業内容に応じた分類を行い、作業エリア面積に応じた人工数評価式を作成した。以下にその詳細を示す。

4.2.1 作業項目の分類

製錬転換施設の回収ウラン機器類の解体作業に係る準備工程及び後処理工程を、作業目的により共通準備、飛散防止用養生設営、高所作業準備、共通後処理、飛散防止用養生撤去、及び高所作業後処理に分類した。これらをさらに作業内容によって、7 種類の準備作業項目と 8 種類の後処理作業項目に分類した(表 26)。なお、製錬転換施設の回収ウラン機器の解体作業では遠隔作業等の特殊な作業はなかった。

(1) 準備工程

①共通準備

共通準備とは、解体対象物の汚染状況や設置環境によらず、解体工程の前に必ず行う準備作業である。製錬転換施設における共通準備は、その作業内容によって、以下の 4 つに分けられる。

エリア設定　：作業エリアの区画設定(トラロープ等)、資材・カートンボックス置き場区画の設定、エリアシューズの準備、表示・標識の設置、床養生、カーテン養生

放射線測定　：外部業者による作業前及び作業後のサーベイメータでの測定、スミヤ採取と 2 系統測定（測定対象は作業エリア、解体対象設備、GH 内および身体）、状況確認と記録

資材搬入・設置　：足場材・防護具・工具・測定器等を管理区域内に搬入、作業エリアに移動し設置(クレーン、台車等)

収納容器搬入　：空のドラム缶やメッシュコンテナを管理区域内に搬入、作業エリアに移動(クレーン、台車等)

②飛散防止用養生設営

飛散防止用養生設営とは、解体対象物が汚染している時、あるいは解体工程において粉塵等の飛散が予想される際に行う準備作業である。製錬転換施設における飛散防止用養生設営は、その作業内容によって、以下の 2 つに分けられる。

養生設営　：GH よりも簡易な飛散防止用養生(ポリシート 1 重で天井が無い等)を設営、局所排気装置を設置。移動式ダストモニタ又はダストサンプラを取付け。専用シューズの準備。

GH 設営　　：鋼管または足場材を用いて枠組みを作り、天井部及び壁部にポリシートを 2 重に張り付ける(ガムテープ)。GH 内部の機器等にもポリシートを 2 重に張り付ける。移動式排気装置及び移動式ダストモニタの取付け。専用シューズの準備。ドラム缶収納エリアに重量計を設置。火気使用エリアでは、さらに床面及び壁面にブリキ板を設置(アルミテープで固定)し、防炎シート、消火器、金属製のバッド等も設置。

③高所作業準備

人形峠における高所作業とは、作業する床面の高さが 2m 以上の箇所および当該箇所に設ける作業用の支持された床の端、開口部で墜落の恐れのある箇所で行う作業をいう。高所作業準備とは、高所作業を行うための準備作業である。ただし、高所作業を行う床面まで工具類を運搬する作業や、チェーンブロックの設置及び玉掛け作業は、解体工程に含まれている。

足場設営　　：ピケ足場、鋼管足場、及び手すりの組立て(転倒防止対策及び揺れ防止対策含む)。作業場所に応じた分解、移動も含む。

(2)　後処理工程

①共通後処理

共通後処理とは、解体対象物の汚染状況や設置環境によらず、解体工程の後に必ず行う後処理作業である。製錬転換施設における共通後処理は、その作業内容によって、以下の 5 つに分けられる。

エリア解除　　：作業エリアの区画解除、各種資材・カートンボックス置き場区画の解除、作業表示・標識類の撤去
後片付け　　：作業エリアの整理、整頓、及び清掃
資材撤去　　：使用工具の拭取り及び自主サーベイ、工具・防護具・測定器・足場材等を保管エリアに返却
収納容器搬出　：自主サーベイ、指定一時置き場へ運搬、伝票記入、容器を指定場所に移動し保管(全ての作業終了後)
カートン処理　：カートン置場への運搬及び伝票記入

②飛散防止用養生撤去

設営された飛散防止用養生を撤去する作業である。製錬転換施設における飛散防止用養生撤去は、その作業内容によって、以下の 2 つに分けられる。

養生撤去　　：養生内の清掃及び自主サーベイ(汚染があれば除染)、養生の解体、移動式モニタ等の停止、ダストろ紙の測定、必要事項の記入

GH 撤去　　：GH 内の清掃及び自主サーベイ(汚染があれば除染)、GH の解体、移動式モニタ等の停止、ダストろ紙の測定、必要事項の記入

③高所作業後処理

高所作業後処理とは、高所作業を行った後処理作業である。ただし、高所作業を行う床面から工具類を運搬する作業や、チェーンブロックの撤去作業は、解体工程の「撤去」に含まれている。

足場撤去　　：足場の解体

4.2.2　準備工程及び後処理工程の人工数評価式

作業内容によって分類した作業項目に基づいて、解体作業の準備工程及び後処理工程に要する作業員の人工数を評価した。各年度の各部屋について、それぞれの作業項目に要した人工数を整理し、これの説明変数として、トラロープや床養生等の区画、GH や足場の設営エリア、及び解体対象機器類が設置されていたエリア(以下、これらを総称して作業エリアとする)の延べ面積を用いることにした。設置場所が分からなかった小さな盤及び配管の撤去に使った作業エリアは当該範囲から除外した。

作業エリアの面積は、解体作業中の写真と施設平面図を参考に算出した。なお、解体作業中の写真を参照するなかで、養生、GH 及び足場の設営状況として、作業エリアに占める面積はごく一部であることが多く、また大部分は足場 1 段又は 2 段の高さであったが、最大で足場 6 段の高さのものもあることが確認できた。

(1)　準備工程の評価式

準備工程の各作業項目に要した人工数を表 27 に示す。図 29～図 39 に各作業エリアの面積と各作業項目に要した人工数の関係を示す。これらの作業項目に要した人工数と、その時の作業エリア面積について、回帰分析を行った結果、エリア設定の評価式は式(4-2-1)、放射線測定の評価式は式(4-2-2)、資材搬入・設置の評価式は式(4-2-3)、収納容器搬入の評価式は式(4-2-4)、養生設営の評価式は式(4-2-5)、GH 設営の評価式は式(4-2-6)、及び足場設営の評価式は式(4-2-7)と、それぞれ得られた。

分析結果を見ると、「放射線測定」、「資材搬入・設置」、「養生設営」、及び「GH 設営」の作業項目において、転換試験室のデータは他の部屋のデータと異なる可能性がある。その理由として、転換試験室は他の部屋と異なり、部屋内に 3 階建ての大型フードが設置されていたため、他の部屋と比べ作業エリア面積に対する放射線測定に要した人工数が多くなったものと考えられる。また、転換試験室の解体作業では、他の部屋と異なり、部屋のすぐ近くに資材の搬入口があったため、「資材搬入・設置」に要した人工数が他の部屋と比べ少なかったと考えられる。さらに、転換試験室の解体作業は、他と異なる外部業者が行ったため、「養生設営」や「GH 設営」の作業内容が他の部屋と異なっていた可能性もある。いずれにせよ、転換試験室のデータを評価式に含めるか否かは今後検討の余地がある。

そこで、ここでは転換試験室のデータを含めた場合と除いた場合(丸括弧内)の両方の式を掲載する。

エリア設定	:	y = 0.10 s		・・・(4-2-1)
放射線測定	:	y = 1.19 s	(y = 0.39 s)	・・・(4-2-2)
資材搬入・設置	:	y = 0.25 s	(y = 0.64 s)	・・・(4-2-3)
収納容器搬入	:	y = 0.15 s		・・・(4-2-4)
養生設営	:	y = 0.79 s	(y = 0.57 s)	・・・(4-2-5)
GH 設営	:	y = 0.97 s	(y = 1.77 s)	・・・(4-2-6)
足場設営	:	y = 0.28 s		・・・(4-2-7)

(2) 後処理工程の評価式

共通後処理の各作業項目に要した人工数を表 28 に示す。図 40～図 49 に各作業エリアの面積と各作業項目に要した人工数の関係を示す。これらの作業項目に要した人工数と、その時の作業エリア面積について、回帰分析を行った結果、エリア解除の評価式は式(4-2-8)、後片付けの評価式は式(4-2-9)、資材撤去の評価式は式(4-2-10)、収納容器搬出の評価式は式(4-2-11)、カートン処理の評価式は式(4-2-12)、養生撤去の評価式は式(4-2-13)、GH 撤去の評価式は式(4-2-14)、及び足場撤去の評価式は式(4-2-15)と、それぞれ得られた。

分析結果を見ると、「後片付け」及び「GH 撤去」において転換試験室のデータは他と異なる可能性があり、その原因としては、準備工程と同様、様々な理由が考えられるが、根本原因の特定は今後検討する必要があるため、当該データを含めた場合と除いた場合(丸括弧内)の両方の式を掲載する。

エリア解除	:	y = 0.02 s		・・・(4-2-8)
後片付け	:	y = 0.76 s	(y = 0.98 s)	・・・(4-2-9)
資材撤去	:	y = 0.10 s		・・・(4-2-10)
収納容器搬出	:	y = 0.16 s		・・・(4-2-11)
カートン処理	:	y = 0.07 s		・・・(4-2-12)
養生撤去	:	y = 0.12 s		・・・(4-2-13)
GH 撤去	:	y = 0.26 s	(y = 0.31 s)	・・・(4-2-14)
足場撤去	:	y = 0.20 s		・・・(4-2-15)

5. 解体作業に係る包括的な人工数評価式

解体作業に要する人工数は、4 章において考案した種々の評価式を、実際の解体の WBS に応じて組み合わせて使用することで評価できる。しかしこのためには、解体工程であれば対象としている機器類の重量を、予め機器分類毎に整理しておく必要がある。また、機器分類の数だけ計算を行わなければならない。さらに、24 種類の機器分類から外れる機器類については、解体工程に要する人工数の計算を行うことができない。準備工程及び後処理工程であれば、予め想定される作業項目を全て洗い出しておく必要があり、またその作業項目数だけ計算を行わなければならない。

そこでここでは、4 章において考案した種々の評価式について、適用条件が類似するものについて包括的な評価式を構築する。

5.1 解体工程の包括的な人工数評価式

解体工程について、機器類の設置環境および解体手順が類似しているプロセス機器類 9 種類について、単一評価式にまとめることを検討した。以下にその詳細を示す。

5.1.1 プロセス機器類の単一評価式

プロセス機器類とは、4.1.1 項で述べた通り、塔槽類、トラップ、水和機、粉砕機、分離機、圧縮機、乾燥機、スクラバ、その他プロセス機器類の 9 種類である。

これらの機器類の設置環境としては、脚部を基礎で固定された強固な架台に支持されているか、もしくは基礎に機器類が直接固定されていた。

解体手順は概ね以下の通り。まず機器類の周囲の保温材等を撤去し、200L ドラム缶へ収納した。次に、接続配管の縁切りを行った。そして、機器類を支持固定している架台や基礎から切離し、切断用エリアへ運搬した。切断用エリア内において、手工具で分解し、機器類内部に溜まっているウラン粉体、充填物、油または液を回収した後、水による系統除染または拭取り除染を行った。主にプラズマ切断機により切断を行った後、200L ドラム缶に収納した。ただし、一部の乾燥機やトラップは切断エリアへ運搬せず、機器類の設置場所で解体を行った。また、一部のトラップは水で系統除染を行った。

このように、9 種類のプロセス機器類は設置環境が類似しており、解体工程における手順もほぼ同じであることから、9 つのプロセス機器類に関する解体工程の人工数評価式を単一評価式とすることを検討した。図 50 に 9 つのプロセス機器類の解体工程に要した人工数と、機器重量との相関を示す。図 50 の回帰分析より、スクラバのデータは外れたものの、スクラバを除く 8 種類のプロセス機器類については単一評価式として式(5-1)が得られた。単一評価式の決定係数は 0.95 であった。

$$y = 105.6\,w \qquad \cdots (5\text{-}1)$$

5.1.2　単一評価式と機器分類毎の評価式との比較

8 種類のプロセス機器類について、4.1.2 項で考案した機器分類毎の個々の評価式を用いて、解体工程に要した人工数を計算した値の合計値と、5.1.1 項で考案した単一評価式を用いて同人工数を計算した値との正確さについて、比較を行った。(表 29)

その結果、機器分類毎の評価式を 8 つのプロセス機器類に用いた結果、もともとデータが 1 点しかなかった水和機を除くと、トラップの 0.7%から、分離機の 36.5%までの誤差があるものの、8 つのプロセス機器類に対する計算結果の合計値は実績値に対し 4.7%の誤差となった。

一方で、単一評価式を用いて計算した結果は、実績値に対し 7.6%の誤差となった。

従って、プロセス機器類の評価結果の正確さについては、機器分類毎の評価式を用いる方が高いものの、単一評価式を用いても誤差 10%未満で人工数の評価が行えることを確認した。

5.2　準備工程及び後処理工程の包括的な人工数評価式

4.2 項で整備した準備工程及び後処理工程に係る人工数評価式は、何れも同じ作業エリア面積から各作業項目に要する人工数が一意に決まるものであった。そこで、作業環境に応じて必要となる作業項目を纏めて評価できる包括的な評価式を整備した。

4.2.1 項で整理した準備工程及び後処理工程の各作業項目は、その作業目的に基づき、作業環境として以下の 4 種類に纏めることができる。

(1) 飛散防止用養生が必要なく、高所作業もない場合
(2) 飛散防止用養生は必要ないが、高所作業がある場合
(3) 飛散防止用養生は必要だが、高所作業はない場合
(4) 飛散防止用養生が必要であり、高所作業もある場合

(1)～(4)の条件下において、準備工程及び後処理工程で必要となる作業項目の実績データを合計し、それぞれ作業エリア面積の 1 次近似式として包括的な人工数評価式を作成した。

(1) 飛散防止用養生が必要なく、高所作業もない場合

この場合、準備工程として必要な作業項目は、共通準備の作業項目(エリア設定、放射線測定、資材搬入・設置、収納容器搬入)である。同様に、後処理工程として必要な作業項目は、共通後処理の作業項目(エリア解除、後片付け、資材撤去、収納容器搬出、カートン処理)である。

これらの作業項目に要した人工数の合計と、作業エリア面積について、回帰分析を行うと、以下の包括的な評価式となる(図 51～図 54)。但し、転換試験室のデータは他と異なる可能性があるが、現時点では根本原因を特定できないため、ここでは当該データを含めた場合と除いた場合(丸括弧内)の両方の式を掲載する。

共通準備　　$y = 1.46\,s$　($y = 0.96\,s$)　・・・(5-2-1)

共通後処理　　$y = 0.82\,s$　($y = 1.11\,s$)　・・・(5-2-2)

(2) 飛散防止用養生は必要ないが、高所作業がある場合

この場合、準備工程として必要な作業項目は、共通準備の作業項目に加え、高所作業準備(足場設営)である。同様に、後処理工程として必要な作業項目は、共通後処理の作業項目に加え、高所作業後処理(足場撤去)である。

これらの作業項目に要した人工数の合計と、作業エリア面積について、回帰分析を行うと、以下の包括的な評価式となる(図 55～図 56)。

「共通・高所」準備
(共通準備及び高所作業準備)　　y = 1.33 s　　・・・(5-2-3)

「共通・高所」後処理
(共通後処理及び高所作業撤去)　　y = 1.38 s　　・・・(5-2-4)

(3) 飛散防止用養生は必要だが、高所作業はない場合

この場合、準備工程として必要な作業項目は、共通準備の作業項目に加え、飛散防止用養生設営(養生設営、GH 設営)である。同様に、後処理工程として必要な作業項目は、共通後処理の作業項目に加え、飛散防止用養生撤去(養生撤去、GH 撤去)である。

これらの作業項目に要した人工数の合計と、作業エリア面積について、回帰分析を行うと、以下の評価式となる(図 57～図 60)。但し、転換試験室のデータは他と異なる可能性があるが、現時点では根本原因を特定できないため、ここでは当該データを含めた場合と除いた場合(丸括弧内)の両方を掲載する。

「共通・飛散防止」準備
(共通準備及び飛散防止用養生設営)　　y = 3.14 s　(y = 3.10 s)　　・・・(5-2-5)

「共通・飛散防止」後処理
(共通後処理及び飛散防止用養生撤去)　　y = 1.10 s　(y = 1.48 s)　　・・・(5-2-6)

(4) 飛散防止用養生が必要であり、高所作業もある場合

この場合、準備工程として必要な作業項目は、共通準備及び飛散防止用養生設営の作業項目に加え、高所作業準備(足場設営)である。同様に、後処理工程として必要な作業項目は、共通後処理及び飛散防止用養生撤去の作業項目に加え、高所作業後処理(足場撤去)である。

これらの作業項目に要した人工数と、作業エリア面積について、回帰分析を行うと、以下の評価式となる(図 61～図 62)。

「共通・飛散防止・高所」準備 （共通準備、飛散防止用養生設営、 及び高所作業準備）	y = 3.60 s	・・・(5-2-7)
「共通・飛散防止・高所」後処理 （共通後処理、飛散防止用養生撤去、 及び高所作業撤去）	y = 1.78 s	・・・(5-2-8)

6. 考察

製錬転換施設における回収ウラン転換技術開発等に使用した機器類の解体作業について、足場設営やGH設営等の作業項目からなる準備工程、配管縁切り、分解、切断、収納等の作業項目からなる機器分類毎の解体工程、そして足場撤去やGH撤去等の作業項目からなる後処理工程の3工程に分類した。準備工程は作業内容により7種類の作業項目に分類した。解体工程は機器類の用途により24種類に分類した。後処理工程は作業内容により8種類の作業項目に分類した。

これらの分類毎に、製錬転換施設の解体作業に要した人工数の実績データを整理し、機器類の重量や作業エリアの面積を説明変数とした人工数評価式を作成した。また今回作成した各種の人工数評価式について、適用条件が類似しているものについて包括的な人工数評価式を検討したところ、ウランが内部を流通した機器類(プロセス機器類)のうち、スクラバ以外の機器分類の解体工程は単一評価式とすること、及び準備工程と後処理工程はそれぞれ作業環境に応じた4種類の人工数評価式とすることができた。

ここでは、得られた人工数評価式に対する考察を行う。

6.1 解体工程の人工数評価式の考察

解体工程の人工数評価式については、対象機器類の重量と解体に要した人工数との相関から、機器分類毎の人工数評価式を作成した。今回作成した24種類の評価式は、他の原子力施設、特にウラン取扱施設において、製錬転換施設と同じ分類の機器類を同じ手順で解体する場合の人工数の評価に活用できる。

今回、製錬転換施設の実績データを用いて、塔槽類、トラップ、台車、基礎、架台等の機器分類については、決定係数の高い評価式を得ることができた。これらの機器分類に対する人工数評価式は、今後、製錬転換施設のものより大規模な機器類に対する適用性を検証していくことにより、汎用性がより高まることが期待できる。一方、分離機、圧縮機、配管、熱交換器、低圧タンク、盤等の機器分類については、評価式の決定係数が低いため、今後さらに解体手順を注視しながら他のウラン取扱施設等で実績データを収集し､データがばらつく原因を調査する必要がある。また、粉砕機、乾燥機、スクラバ、高圧タンク、冷凍機、シリンダー槽、グローブボックス、クレーン等の機器分類については、製錬転換施設で取得できたデータ数が少ないため、今回作成した人工数評価式の信頼性は高いとは言えない。しかし、他のウラン取扱施設等で同じ機器分類の解体作業が行われた際に、実績データを収集し、サンプル数を増やすことにより、評価式の信頼性向上を図ることができる。

6.2 準備工程及び後処理工程の人工数評価式の考察

準備工程及び後処理工程の人工数評価式については、作業エリアの面積と作業項目に要した人工数との相関から、作業項目毎の人工数評価式を作成した。今回作成した準備工程の7種類の作業項目及び後処理工程の8種類の作業項目の評価式は、他の原子力施設で製錬転換施設と同様の作業を行う場合の人工数の評価に活用できる。

ただし、転換試験室の解体作業に関するデータは、転換試験室の作業エリア内に3階建ての大

型フードが設置されていたこと、作業エリアと資材や収納物容器の搬出入口が近かったこと、他とは異なる外部業者が解体作業を行ったこと等、作業環境や作業内容の点で他の部屋のデータとは異なる可能性があるため、全ての作業項目において、評価式から転換試験室のデータを分離することを今後検討する必要がある。

また、準備工程及び後処理工程の人工数評価式のうち、資材搬入・設置や収納容器搬入は、搬入物の内容や個数に応じて作業に要する人工数が変化すると推測されるため、説明変数として作業エリア面積よりも搬入物の内容や個数を採用した場合に、より正確な人工数の評価が行える可能性がある。これは資材撤去や収納容器搬出にも同様のことが言える。また、養生設営やGH設営は、作業エリアのうち一部分のみに設営されることが多いため、作業エリア面積よりも、養生やGHの設営面積や設営体積で評価を行った方が、評価式の精度が上がる可能性がある。養生撤去及びGH撤去にも同様のことが言える。さらに、足場設営についても、作業エリアのうち一部分のみに設営されることが通常であり、また同じ足場設営面積であっても、製錬転換施設における足場の実績データは、高さが1段又は2段のものから、最大で6段のものまで存在した。設営する足場の段数によっても設営に要する人工数は変化すると推測されるため、作業エリア面積ではなく足場の列数と段数による評価を検討する必要がある。これは足場撤去にも同様のことが言える。

6.3　プロセス機器類の単一評価式の考察

スクラバを除く8種類のプロセス機器類については、機器類の設置環境及び解体手順が類似していることから、単一評価式を作成した。また、機器分類毎の人工数評価式と比較して計算結果の正確さに大きな違いがないことも確かめた。

スクラバの実績データが外れた原因として、材質の違いが考えられる。スクラバ以外のプロセス機器類の主な材質はステンレス鋼又はモネル(銅とニッケルの合金)であるのに対し、スクラバの主な材質は強化プラスチック又はポリ塩化ビニルであり、単位体積あたりの機器重量が軽いため、機器重量に対する作業員の人工数は高い値となっている。また、スクラバは難燃性の材質であるため、ほかの8つのプロセス機器類のような熱的切断を行っておらず、全てチップソーを用いて切断を行った。さらに、大型のスクラバの解体作業では高所作業もあったため、その作業性の悪さが影響し、人工数を多く要している可能性がある。いずれにしても、スクラバのデータ点は2点しかないため、より多くの実績データを収集し、根本原因を突き止めることができれば、スクラバも包括する人工数評価式は得られる。

今回得られた式(5-1)の単一評価式は、その作成条件より、8種類のプロセス機器類に限らず、以下の条件を満たす鋼製のプロセス機器類であれば、全てのウラン取扱施設において適用可能と考える。

- 設置環境として、脚部を基礎で固定された強固な架台に支持されているか、もしくは基礎に機器類が直接固定されている。
- 解体工程の手順として、まずプロセス機器類の周囲の保温材等を解体し、200Lドラム缶へ収納する。次に、接続配管の縁切りを行う。そして、プロセス機器類を支持固定して

いる架台や基礎から切離し、切断用エリアへ運搬する。切断用エリア内において、手工具で分解し、機器類内部に溜まっているウラン粉体、充填物、油または液を回収した後、拭取り除染を行う。主にプラズマ切断機により切断を行った後、200L ドラム缶に収納する。切断エリアへの運搬はなく、機器類の設置場所で解体を行う場合にも適用できる。また、機器類を分解する前に、水で系統除染を行う場合にも適用できる。

6.4　準備工程及び後処理工程の包括的な人工数評価式の考察

準備工程及び後処理工程で必要となる作業項目は、作業環境によっておおよそ定まる。そこで、製錬転換施設の準備工程及び後処理工程について、作業環境毎の包括的な人工数評価式を作成した。今回作成した作業環境毎の包括的な人工数評価式は、他の原子力施設で製錬転換施設と同様の作業を行う場合の人工数の評価に活用できる。

但し、製錬転換施設の解体作業では、汚染拡大や粉塵飛散を防ぐため、GH や養生の設営を必要とする作業環境と、高所のため足場の設営を必要とする作業環境以外には、遠隔作業等の特殊な作業環境は存在しなかった。今後、製錬転換施設の実績データにはなかった特殊な環境下で解体作業を行う場合、人工数の評価には今回得られた評価式の係数に定数を掛ける等の工夫が必要である。また、今回作成した評価式についても、製錬転換施設の GH は機器類の周囲だけに設営されており、鋼管又はピケ足場と内部の機器類もポリシート 2 重で養生されたことに注意する必要がある。

7. まとめ

人形峠製錬転換施設では、2008 年度から 2011 年度にかけて、回収ウラン転換技術開発等に使用した機器類を解体撤去しドラム缶等に収納するまでの解体作業が行われた。この解体作業に要した作業員の人工数について、機器重量や作業エリア面積との相関を分析し、今後の原子力施設、特にウラン取扱施設の廃止措置計画に適用できるように整理した。今回得られた結果とその活用先は以下の通りである。

- 製錬転換施設の回収ウラン転換技術開発等に使用した機器類を、用途に応じて 24 種類に分類し、各々の機器類に対して解体工程に要する人工数評価式を作成した。本評価式は、他の原子力施設、特にウラン取扱施設において、製錬転換施設と類似の機器類を解体する場合の人工数評価に活用することができる。
- プロセス機器類は設置状況及び解体手順が類似していることから、材質等が異なるスクラバを除いた、鋼製のプロセス機器類 8 種類については単一評価式で評価することが可能であることを示した。本単一評価式は、他の原子力施設において、ウランで汚染された鋼製の機器類を製錬転換施設のプロセス機器類と同じ手順で解体する場合の人工数の評価に活用することができる。
- 単一評価式と、機器分類毎の評価式の両者を検証したところ、どちらも実績値をほぼ再現することができた。すなわち、どちらの評価式も、ウラン取扱施設のプロセス機器類の解体に要する人工数の評価に活用できることを確認した。
- 準備工程及び後処理工程の作業については、作業内容に応じて 7 種類と 8 種類の作業項目に分類し、作業項目毎の人工数評価式を作成した。本評価式は、他の原子力施設の類似作業に適用することができる。
- 準備工程及び後処理工程は、4 種類の作業環境に纏め、それぞれ包括的な評価式で示した。本評価式は、他の原子力施設において、製錬転換施設と同様の作業環境下にある場合に活用できる。特に、原子力施設の種類に依らない作業環境下に対する評価式は、今後すべての施設に適用することができる。

本報告書の結果は、今後のウラン取扱施設や、類似の作業が想定される他の原子力施設において、廃止措置計画の策定に役立つものと期待される。

謝　辞

本報告書を取り纏めるにあたって、人形峠環境技術センターの諸氏および(株)原子力産業の諸氏に数々のご助言・ご援助を頂いた。また、バックエンド推進部門の諸氏から種々のご指導を頂いた。ここに深甚なる感謝の意を表する。

参考文献

1) 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.
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) 里見慎一, 金山文彦, 萩谷和明ほか :“再処理特別研究棟　廃液貯槽 LV-2 の一括撤去作業　その 1　（撤去前準備作業）”, JAEA-Technology 2008-067, 2008, 53p.
5) 金山文彦, 萩谷和明, 砂押瑞穂ほか :“再処理特別研究棟　廃液貯槽 LV-2 の一括撤去作業　その 2　（撤去作業）”, JAEA-Technology 2011-011, 2011, 36p.
6) 村口佳典, 金山文彦, 臼井秀雄, 出雲沙理, 立花光夫 :“再処理特別研究棟の廃止措置　－グローブボックス群の解体作業に関する管理データの分析　Ⅰ－”, JAEA-Technology 2012-035, 2012, 69p.
7) 杉杖典岳, 森本靖之, 徳安隆志, 田中祥雄 :“製錬転換施設廃止措置プロジェクトの進捗状況”, 日本原子力学会和文論文誌, Vol. 12, No. 3, 2013, pp. 242-256.
8) N. Sugitsue, N. Takahashi, Y. Morimoto :“Decommissioning Project of JAEA Uranium Refining and Conversion Plant”, DD&R 2012, Chicago, 2012, in CD-ROM.
9) 天本一平 :“ウラン転換技術開発”, サイクル機構技報 No.9 2000.12.
10) 小原義之, 森良平, 岡本正文, 松田健二 :“回収ウラン転換技術開発”, 動燃技報 No.100 1996.12.
11) 製錬転換施設廃止措置成果編集委員会(編) :“製錬転換施設における廃止措置の進捗状況-平成 20 年度上半期-”, JAEA-Technology 2009-024, 2009, 101p.
12) 製錬転換施設廃止措置成果編集委員会(編) :“製錬転換施設における廃止措置の進捗状況-平成 20 年度下半期-”, JAEA-Technology 2009-061, 2009, 140p.
13) 製錬転換施設廃止措置成果編集委員会(編) :“製錬転換施設における廃止措置の進捗状況-平成 21 年度上半期-”, JAEA-Technology 2010-002, 2010, 66p.
14) 製錬転換施設廃止措置成果編集委員会(編) :“製錬転換施設における廃止措置の進捗状況-平成 21 年度下半期-”, JAEA-Technology 2010-032, 2010, 115p.
15) 製錬転換施設廃止措置成果編集委員会(編) :“製錬転換施設における廃止措置の進捗状況-平成 22 年度上半期-”, JAEA-Technology 2011-017, 2011, 77p.
16) 製錬転換施設廃止措置成果編集委員会(編) :“製錬転換施設における廃止措置の進捗状況-平成 22 年度下半期-”, JAEA-Technology 2011-024, 2011, 67p.
17) 製錬転換施設廃止措置成果編集委員会(編) :“製錬転換施設における廃止措置の進捗状況-平成 23 年度上半期-”, JAEA-Technology 2012-005, 2012, 64p.

18) Izumo, S. et al. :“Development of Evaluation model of Manpower needs for Dismantling the Dry conversion process-related equipment in Uranium Refining and Conversion Plant (URCP)”, ICEM 2013, Brussels, 2013, in CD-ROM.

表１　機器類の用途による分類（1/2）

		分類名	製錬転換施設における用途	本分類上の備考
プロセス機器類	1	塔槽類	ウラン化合物の反応や一時貯留	攪拌機、ポンプ、フィーダー等を伴うこともある。
	2	水和機	水とウラン化合物との混練	施設独自開発の機器。
	3	粉砕機	ウラン化合物の粒度調整	分級機を伴うこともある。
	4	分離機	ガス中のウラン化合物等の物理的捕集	内部にフィルタを有する。
	5	トラップ	流体中の特定成分の化学的捕集	円筒形状。内部には充填物等を有する。
	6	圧縮機	流体に圧力を与えて送り出す。	ダクトを伴うこともある。
	7	乾燥機	固体中に含まれる水分等の除去・乾燥	粉砕機、分離機等を伴うこともある。
	8	その他プロセス機器類	上記以外のプロセス機器類	
	9	スクラバ	排ガス中の特定成分の吸収除去	充填物の入ったスプレー塔、廃液タンク及び循環ポンプからなる。
配管	10	配管	機器類同士を接続し、流体の輸送を行う。	保温材、ラッキング、計器、バルブ等を伴うことが多い。
ユーティリティ機器類	11	熱交換器	プロセスの温度調節	保温材と伝熱管を有する。
	12	低圧タンク	供給ガスの貯留	円筒形状。軽量(300kg 以下)のものが多い。
	13	高圧タンク	圧縮ガス(1,013kPa 以上)を封入する容器	円筒形状。上部に計器とバルブを伴う。
	14	シリンダー槽	製品が入ったシリンダーを収納して温め、製品を液化することにより濃度を均質化	UF_6 で汚染した配管を一部含む。
	15	冷凍機	冷媒を用いてプロセスの温度を零下にまで下げる。	
	16	盤	機器類に電気を供給	ケーブルを伴うことが多い。

表１　機器類の用途による分類（2/2）

		分類名	製錬転換施設における用途	本分類上の備考
付属設備	17	その他機器類	上記以外の付属機器類	複雑形状
	18	フード	運転・点検中における汚染物質の飛散防止	主にパネルで囲われており、排気ダクトを伴うこともある。大型で人が出入りできる。
	19	グローブボックス	ゴム手袋（グローブ）が直結され、外気と遮断された状況下での作業を可能にする密閉容器	パネルと SUS で囲われており、排気ダクトを伴う。内部に機器類を有する場合もある。
	20	ヒュームフード	外気と触れても問題ない程度の有害物質を取扱う局所排気装置	前面は可動式ガラスサッシであり、排気ダクトを伴う。内部に機器類を有する場合もある。
	21	基礎	架台や機器類を床に支持固定	鉄筋コンクリート製
	22	架台	機器類の据付け	炭素鋼製
	23	台車	荷台に機器類(シリンダー)を載せて運搬	
	24	クレーン	動力によって荷を吊上げ、水平に運搬する。	

表 2　塔槽類の解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	塔槽類	1.80	212.8	脱水転換室(1)、脱水転換室(2)
2	塔槽類	2.32	296.0	脱水転換室(1)
3	塔槽類	0.57	91.3	脱水転換室(1)、脱水転換室(2)
4	塔槽類	0.50	28.1	水和転換室(3)
5	塔槽類	0.92	100.1	水和転換室(2)
6	塔槽類	1.00	64.0	転換試験室
7	塔槽類	0.49	58.2	脱水転換室(1)
8	塔槽類	0.35	42.8	脱水転換室(1)
9	塔槽類	0.56	36.4	脱水転換室(2)
10	塔槽類	0.56	48.8	脱水転換室(2)
11	塔槽類	1.02	153.8	脱水転換室(2)
12	塔槽類	0.20	19.2	脱水転換室(2)
13	塔槽類	1.00	110.3	乾式工程フィルタ室
14	塔槽類	0.71	59.1	水和転換室(2)、ふっ化沈殿室
15	塔槽類	0.54	61.6	脱水転換室(1)
16	塔槽類	0.16	29.5	水和転換室(1)
17	塔槽類	0.15	52.6	水和転換室(1)
18	塔槽類	0.58	104.6	水和転換室(1)
19	塔槽類	0.12	19.3	水和転換室(1)
20	塔槽類	0.10	24.9	水和転換室(1)
21	塔槽類	0.11	12.9	水和転換室(2)
22	塔槽類	0.13	23.4	水和転換室(2)
23	塔槽類	0.76	95.5	水和転換室(3)
24	塔槽類	0.71	88.8	水和転換室(3)
25	塔槽類	0.09	8.7	水和転換室(3)
26	塔槽類	0.72	31.5	脱水転換室(1)
27	塔槽類	0.04	13.5	水和転換室(2)
28	塔槽類	2.70	384.4	イエローケーク溶解調整室
29	塔槽類	0.11	16.4	転換試験室

表 3　水和機の解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	水和機	0.80	95.5	水和転換室(2)

表 4　粉砕機の解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	粉砕機	0.34	30.1	水和転換室(1)
2	粉砕機	0.33	57.4	水和転換室(2)
3	粉砕機	0.24	22.7	脱水転換室(2)
4	粉砕機	1.20	119.0	UF_4 供給室

表 5　分離機の解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	分離機	1.17	109.2	脱水転換室(1)
2	分離機	0.25	20.9	脱水転換室(2)
3	分離機	0.24	48.0	乾式工程フィルタ室
4	分離機	0.20	18.4	水和転換室(2)
5	分離機	0.12	11.9	水和転換室(3)
6	分離機	0.16	21.9	水和転換室(3)
7	分離機	0.06	12.0	水和転換室(3)
8	分離機	0.49	47.3	ふっ化沈殿室
9	分離機	0.02	21.4	脱水転換室(1)
10	分離機	0.01	15.0	水和転換室(1)
11	分離機	0.02	9.0	水和転換室(1)
12	分離機	0.13	42.7	水和転換室(2)
13	分離機	0.01	0.8	水和転換室(2)
14	分離機	0.30	11.9	水和転換室(2)
15	分離機	0.04	16.7	水和転換室(2)
16	分離機	0.07	13.6	水和転換室(2)
17	分離機	1.36	48.9	水和転換室(3)
18	分離機	0.04	18.9	水和転換室(3)
19	分離機	0.23	52.4	乾式工程フィルタ室
20	分離機	0.23	24.1	脱水転換室(1)
21	分離機	0.28	40.5	UF_4処理室
22	分離機	0.18	38.8	解体物保管室(2)

表 6　トラップの解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	トラップ	0.67	73.2	脱水転換室(2)
2	トラップ	0.67	60.3	脱水転換室(2)
3	トラップ	0.70	59.7	乾式工程フィルタ室
4	トラップ	0.07	10.0	水和転換室(2)
5	トラップ	0.70	104.2	脱水転換室(2)
6	トラップ	0.70	102.7	脱水転換室(2)
7	トラップ	1.05	147.8	脱水転換室(2)
8	トラップ	1.05	124.7	脱水転換室(2)
9	トラップ	8.80	1,005.8	コールドトラップ室
10	トラップ	1.27	197.7	転換試験室
11	トラップ	1.64	104.9	転換試験室
12	トラップ	0.07	5.6	UF_4処理室

表 7　圧縮機の解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	圧縮機	0.86	40.7	脱水転換室(1)
2	圧縮機	0.50	30.4	脱水転換室(1)
3	圧縮機	0.15	52.0	水和転換室(1)
4	圧縮機	0.23	50.6	水和転換室(2)
5	圧縮機	0.08	30.5	水和転換室(3)
6	圧縮機	0.20	22.5	ブロワ室
7	圧縮機	1.40	158.5	ブロワ室
8	圧縮機	0.08	33.0	ふっ化沈殿室
9	圧縮機	0.08	11.3	水和転換室(2)
10	圧縮機	0.16	15.5	ふっ化沈殿室
11	圧縮機	0.24	128.4	転換試験室
12	圧縮機	0.12	25.8	解体物保管室(2)
13	圧縮機	0.16	12.7	UF_4処理室
14	圧縮機	0.20	31.5	シリンダ処理室

表 8　乾燥機の解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	乾燥機	6.48	525.2	UF_4処理室
2	乾燥機	0.40	48.0	転換試験室

表 9　その他プロセス機器類の解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	その他プロセス機器類	0.15	9.6	転換試験室
2	その他プロセス機器類	0.20	19.8	コールドトラップ室
3	その他プロセス機器類	0.40	13.6	脱水転換室(1)
4	その他プロセス機器類	0.05	3.7	水和転換室(1)
5	その他プロセス機器類	0.08	10.1	UF_6充填室

表 10　スクラバの解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	スクラバ	0.17	47.7	水和転換室(1)
2	スクラバ	1.45	396.1	脱水転換室(1)

表 11　配管の解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	配管	0.06	31.8	ふっ化沈殿室
2	配管	0.45	42.0	ふっ化沈殿室
3	配管	0.04	5.0	UF_4 処理室
4	配管	0.03	9.0	UF_4 処理室
5	配管	0.08	12.0	UF_4 供給室
6	配管	0.05	12.0	UF_4 供給室、乾式工程フィルタ室
7	配管	0.10	48.5	乾式工程フィルタ室
8	配管	0.09	16.9	脱水転換室(2)
9	配管	0.41	84.6	乾式工程フィルタ室

注)重量は CAD から算出

表 12　熱交換器の解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	熱交換器	0.46	40.3	脱水転換室(1)
2	熱交換器	0.40	30.6	乾式工程フィルタ室
3	熱交換器	0.09	3.9	脱水転換室(2)
4	熱交換器	0.18	8.3	脱水転換室(2)
5	熱交換器	0.87	39.2	脱水転換室(2)
6	熱交換器	0.19	8.6	脱水転換室(2)
7	熱交換器	0.40	30.6	乾式工程フィルタ室
8	熱交換器	0.03	4.5	水和転換室(1)
9	熱交換器	0.20	66.0	水和転換室(2)
10	熱交換器	0.64	75.5	水和転換室(2)
11	熱交換器	0.05	9.2	水和転換室(2)
12	熱交換器	0.18	16.8	水和転換室(3)
13	熱交換器	0.23	39.1	脱水転換室(1)
14	熱交換器	0.87	53.8	乾式工程フィルタ室
15	熱交換器	0.06	25.3	ブロワ室
16	熱交換器	0.13	13.5	UF_4 処理室

表 13　低圧タンクの解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	低圧タンク	0.18	22.3	脱水転換室(1)
2	低圧タンク	0.12	24.0	脱水転換室(1)
3	低圧タンク	0.30	65.7	脱水転換室(1)
4	低圧タンク	0.30	9.8	水和転換室(1)
5	低圧タンク	0.08	9.5	脱水転換室(2)
6	低圧タンク	0.12	9.9	脱水転換室(2)
7	低圧タンク	0.05	9.9	脱水転換室(1)
8	低圧タンク	0.05	2.3	脱水転換室(2)
9	低圧タンク	0.10	25.2	脱水転換室(2)
10	低圧タンク	0.17	4.0	水和転換室(3)
11	低圧タンク	0.10	6.3	水和転換室(3)
12	低圧タンク	0.10	10.6	水和転換室(3)
13	低圧タンク	0.02	11.3	水和転換室(2)
14	低圧タンク	0.04	4.1	脱水転換室(1)

表 14　高圧タンクの解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	ボンベ	0.39	3.3	転換試験室

表 15　シリンダー槽の解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	シリンダー槽	11.00	349.7	シリンダ処理室
2	シリンダー槽	0.91	142.0	転換試験室

表 16　冷凍機の解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	冷凍機	0.86	134.4	転換試験室

表 17　盤の解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	盤	0.11	27.0	水和転換室(1)
2	盤	0.13	31.9	水和転換室(1)
3	盤	1.12	102.8	水和転換室(2)
4	盤	0.05	4.6	水和転換室(2)
5	盤	0.08	7.4	水和転換室(2)
6	盤	1.83	110.0	水和転換室(3)
7	盤	1.20	72.0	水和転換室(3)
8	盤	0.03	1.8	水和転換室(3)
9	盤	0.10	6.0	水和転換室(3)
10	盤	0.35	128.9	ふっ化沈殿室
11	盤	0.03	1.8	脱水転換室(2)
12	盤	0.02	5.0	脱水転換室(1)
13	盤	0.08	4.9	脱水転換室(2)
14	盤	0.03	6.0	脱水転換室(1)
15	盤	0.23	36.0	シリンダ処理室
16	盤	0.14	72.0	UF_6充填室
17	盤	0.03	3.0	UF_6充填室
18	盤	0.43	72.0	コールドトラップ室
19	盤	0.15	149.4	脱水転換室(1)
20	盤	0.07	61.4	脱水転換室(1)
21	盤	0.92	122.8	脱水転換室(1)
22	盤	0.09	94.1	脱水転換室(1)
23	盤	0.04	76.4	脱水転換室(1)
24	盤	0.13	15.9	脱水転換室(2)
25	盤	0.03	4.2	脱水転換室(2)
26	盤	0.07	8.3	脱水転換室(2)
27	盤	0.09	13.5	脱水転換室(2)
28	盤	0.14	19.8	脱水転換室(2)
29	盤	0.13	43.9	乾式工程フィルタ室
30	盤	0.08	28.1	乾式工程フィルタ室
34	盤	0.35	45.4	脱水転換室(1)
32	盤	0.27	42.8	UF_4処理室
33	盤	0.15	28.0	UF_4供給室
34	盤	0.02	9.0	UF_4供給室
35	盤	0.80	51.2	転換試験室

表 18　その他機器類の解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	その他機器類	1.10	57.1	ふっ化沈殿室
2	その他機器類	5.79	300.6	ふっ化沈殿室
3	その他機器類	0.10	21.5	解体物保管室(2)
4	その他機器類	0.05	36.0	UF_6充填室

表 19　フードの解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	フード	1.47	34.5	水和転換室(2)
2	フード	3.45	220.5	ふっ化沈殿室
3	フード	0.40	32.9	UF_4 処理室
4	フード	0.55	55.0	UF_4 供給室
5	フード	0.40	45.0	UF_4 供給室
6	フード	0.60	38.0	UF_4 供給室
7	フード	2.00	240.0	転換試験室
8	フード	1.00	64.0	転換試験室
9	フード	0.15	14.9	コールドトラップ室
10	フード	0.10	12.0	UF_6 充填室

表 20　グローブボックスの解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	グローブボックス	0.70	44.8	分析基礎試験室
2	グローブボックス	0.60	38.4	分析基礎試験室
3	グローブボックス	0.50	54.2	乾式工程フィルタ室
4	グローブボックス	0.50	54.6	乾式工程フィルタ室

表 21　ヒュームフードの解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	ヒュームフード	0.24	28.3	分析室
2	ヒュームフード	0.24	32.3	分析室
3	ヒュームフード	0.12	28.2	分析室
4	ヒュームフード	0.09	21.7	分析室
5	ヒュームフード	0.16	40.7	分析室
6	ヒュームフード	0.70	43.5	脱水転換室(2)

表 22　基礎の解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	基礎	0.38	9.4	脱水転換室(1)
2	基礎	0.82	18.1	脱水転換室(1)
3	基礎	0.08	2.1	脱水転換室(2)
4	基礎	1.53	48.8	脱水転換室(2)
5	基礎	0.12	0.7	乾式工程フィルタ室
6	基礎	0.12	4.4	乾式工程フィルタ室
7	基礎	0.24	4.6	乾式工程フィルタ室
8	基礎	1.62	38.3	乾式工程フィルタ室
9	基礎	7.58	198.4	ふっ化沈殿室
10	基礎	0.53	22.7	脱水転換室(1)
11	基礎	7.91	229.2	脱水転換室(1)
12	基礎	3.36	74.8	脱水転換室(2)
13	基礎	2.27	85.3	ブロワ室
14	基礎	2.32	153.6	脱水転換室(1)
15	基礎	0.80	54.9	脱水転換室(2)
16	基礎	0.48	29.0	水和転換室(1)
17	基礎	0.66	32.0	水和転換室(1)
18	基礎	0.83	44.0	水和転換室(1)
19	基礎	0.22	25.0	水和転換室(1)
20	基礎	1.06	24.9	水和転換室(2)
21	基礎	0.80	44.5	水和転換室(2)
22	基礎	0.22	7.5	水和転換室(2)
23	基礎	3.27	92.0	水和転換室(3)
24	基礎	1.38	31.0	水和転換室(3)
25	基礎	0.77	49.0	水和転換室(3)
26	基礎	0.50	25.0	ふっ化沈殿室
27	基礎	0.15	34.0	ふっ化沈殿室
28	基礎	0.25	45.0	ふっ化沈殿室
29	基礎	0.94	22.1	水和転換室(2)
30	基礎	0.30	54.0	乾式工程フィルタ室
31	基礎	0.63	27.4	脱水転換室(1)
32	基礎	0.43	7.0	乾式工程フィルタ室
33	基礎	0.58	16.2	乾式工程フィルタ室
34	基礎	2.34	92.8	ブロワ室
35	基礎	2.94	164.7	コールドトラップ室
36	基礎	0.95	65.3	UF_4 処理室
37	基礎	0.41	58.5	UF_4 供給室
38	基礎	5.86	123.2	解体物保管室(2)

表 23　架台の解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	架台	2.10	60.1	脱水転換室(1)
2	架台	1.40	65.5	脱水転換室(1)
3	架台	0.05	7.5	脱水転換室(1)
4	架台	0.20	3.0	脱水転換室(2)
5	架台	1.55	59.1	脱水転換室(2)
6	架台	0.46	9.7	脱水転換室(2)
7	架台	0.86	19.8	脱水転換室(2)
8	架台	0.72	49.4	乾式工程フィルタ室
9	架台	5.65	208.4	脱水転換室(1)
10	架台	0.49	17.1	脱水転換室(2)
11	架台	0.09	6.9	水和転換室(1)
12	架台	0.07	7.7	水和転換室(1)
13	架台	0.10	15.5	水和転換室(1)
14	架台	0.16	0.0	水和転換室(1)
15	架台	1.86	41.5	水和転換室(1)
16	架台	0.22	21.6	水和転換室(1)
17	架台	1.17	38.2	水和転換室(1)
18	架台	0.90	50.0	水和転換室(1)
19	架台	3.80	224.8	水和転換室(1)
20	架台	0.05	4.9	水和転換室(1)
21	架台	0.25	12.0	水和転換室(2)
22	架台	0.53	39.0	水和転換室(2)
23	架台	1.92	88.7	水和転換室(2)
24	架台	0.74	88.4	水和転換室(2)
25	架台	5.21	271.0	水和転換室(2)
26	架台	0.01	0.8	水和転換室(3)
27	架台	1.64	52.7	水和転換室(3)
28	架台	0.38	24.7	水和転換室(3)
29	架台	2.21	76.3	水和転換室(3)
30	架台	1.23	37.0	ふっ化沈殿室
31	架台	0.16	15.1	水和転換室(3)
32	架台	1.58	100.4	ふっ化沈殿室
33	架台	0.15	3.8	脱水転換室(1)
34	架台	2.15	49.9	乾式工程フィルタ室
35	架台	0.66	41.6	脱水転換室(1)
36	架台	0.68	40.3	脱水転換室(1)
37	架台	1.78	101.4	脱水転換室(1)
38	架台	5.80	188.8	脱水転換室(2)
39	架台	0.20	15.8	シリンダ処理室
40	架台	2.24	283.9	UF_6 充填室
41	架台	5.07	207.9	コールドトラップ室
42	架台	6.20	207.0	UF_4 処理室
43	架台	0.10	19.0	UF_4 供給室
44	架台	2.07	248.5	転換試験室
45	架台	0.39	47.2	転換試験室
46	架台	1.24	52.7	転換試験室
47	架台	23.21	798.3	転換試験室
48	架台	22.87	948.4	転換試験室
49	架台	13.11	63.3	製品一時置場
50	架台	0.50	34.9	解体物保管室(2)

表 24　台車の解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	台車	7.62	82.7	製品一時置場
2	台車	1.91	36.0	シリンダ処理室
3	台車	11.6	90.0	UF_6 充填室
4	台車	0.45	29.0	UF_4 供給室
5	台車	0.06	6.0	UF_6 充填室
6	台車	0.05	13.5	UF_6 充填室
7	台車	0.30	13.5	UF_6 充填室

表 25　クレーンの解体に要した作業員の人工数

No.	機器分類	重量 (ton)	人工数 (人時)	エリア
1	クレーン	2.67	65.8	核燃料物質貯蔵庫
2	クレーン	0.10	3.3	水和転換室(1)

表 26　準備工程及び後処理工程の作業項目一覧

	作業目的	No.	作業項目	主な作業内容
準備工程	共通準備	1	エリア設定	作業エリア・資材置き場・カートンボックス置き場の区画設定、エリア専用靴の準備、表示・標識類の取付、床養生(ポリシート 1 重)、カーテン養生
		2	放射線測定	直接測定、スミヤ試料採取、α・β(γ)の二系統測定(作業開始前、作業中の機器類・エリア・GH、エリア解除前)
		3	資材搬入・設置	資材・工具を管理区域内の保管場所または資材置き場に搬入
		4	収納容器搬入	ドラム缶及びコンテナを保管場所又は資材置き場に搬入
	飛散防止用養生設営	5	養生設営	GH よりも簡易な飛散防止用養生
		6	GH 設営	鋼管を組み、内部の機器類も含めポリシート 2 重で養生(ピケ足場を用いた場合は、足場材もポリシートで 2 重養生)、内部で火気を使用の場合は追加の床養生(ブリキ板、防炎シート等)も設営
	高所作業準備	7	足場設営	ピケ足場又鋼管足場の組立て、転倒防止措置及び揺れ防止対策、作業場所に応じた分解・移動・再組立て(適宜)
後処理工程	共通後処理	1	エリア解除	作業エリア・資材置き場・カートンボックス置き場の区画解除、表示等の取外し
		2	後片付け	作業エリアの整理整頓、作業エリアの清掃(全ての作業終了後)
		3	資材撤去	使用工具の拭き取り、放射線測定、資材・工具を保管場所に返却
		4	収納容器搬出	収納容器の放射線測定、指定一時置き場へ運搬、必要事項の記録、容器を指定場所に移動し保管(全ての作業終了後)
		5	カートン処理	カートン置き場への運搬及び伝票の記入
	飛散防止用養生撤去	6	養生撤去	養生内の清掃・放射線測定、養生の撤去、局排・モニタの停止、ダストろ紙の測定、必要事項の記入
		7	GH 撤去	GH 内の清掃・放射線測定、GH の撤去、局排・モニタの停止、ダストろ紙の測定、必要事項の記入
	高所作業後処理	8	足場撤去	足場の解体

*局排…移動式局所排気装置

**モニタ…移動式ダストモニタ(α、β、HF)

表 27　準備工程に要した作業員の人工数

年度	部屋名	作業ｴﾘｱ 面積 (m^2)	ｴﾘｱ設定	人工数(人時) 放射線測定	資材搬入設置	容器搬入	養生設営	GH設営	足場設営	備考
2008	ふっ化沈殿室	69.6			27.0		84.2	132.3	24.8	
2008	シリンダ処理室	104.1					29.3	47.7	56.3	
2008	UF_6 充填室	37.8					40.5	162.0		
2008	UF_4 供給室	139.2		12.2			60.3	331.2	6.8	
2008	UF_4 処理室	139.2		80.6			37.4	274.1	28.8	
2008	ｺｰﾙﾄﾞﾄﾗｯﾌﾟ室	95.7		6.3	27.0		140.9	318.6	41.4	
2008	転換試験室	552.6		1003.5	18.0		534.4	195.8		
2009	水和転換室(1)	104.0	0.5	54.8	21.5	9.5	57.0	184.5	33.5	
2009	水和転換室(2)	62.7		43.8	12.0	2.0	34.5	165.5	26.5	
2009	水和転換室(3)	63.5		27.0	5.0	4.0	60.0	85.0	17.0	
2009	ふっ化沈殿室	41.2	10.0	13.3	30.0	1.5	139.0	99.5	14.0	
2009	脱水転換室(1)	120.0	12.6	17.7			98.8	65.9	40.7	
2009	脱水転換室(2)	33.6	4.5	4.5	7.2		17.6		52.7	
2009	乾式工程ﾌｨﾙﾀ室	109.9		34.2			46.4	27.0	32.4	
2009	ブロワ室	22.9		15.3			8.1		3.6	
2009	切断エリア	41.1		9.5	3.0		20.5	12.5	3.0	
2010	ふっ化沈殿室	102.5	2.0	75.7	174.8	18.0	61.0	140.0	39.5	
2010	乾式工程ﾌｨﾙﾀ室	124.5	0.5	38.5	43.0		50.5	285.5	12.0	
2010	ブロワ室	69.9	7.5	16.0	29.0		9.0	182.5	1.5	
2010	解体物保管室(2)	52.0	3.0	19.5	40.5		35.5	4.0	32.5	
2010	核燃料物質貯蔵庫	46.6	2.0	18.3	24.5		41.0		5.0	
2010	製品一時置場	102.7	1.0	40.3	57.0		30.0			
2010	脱水転換室(1)	148.5	51.5	68.0	168.0		78.8	501.0	56.5	
2010	脱水転換室(2)	136.9		71.0	85.5	4.0	117.5	476.5	48.3	
2010	切断エリア	41.1		32.0	17.5		6.0			
2011	ふっ化沈殿室	23.7	3.0	0.8	16.5	7.5				※
2011	ブロワ室	59.3		14.6	48.0			22.0		※
2011	UF_4 供給室	15.9		1.5	14.5	2.0		22.0	4.0	※
2011	UF_4 処理室	16.7		2.2	11.0			12.5	24.5	※
2011	乾式工程ﾌｨﾙﾀ室	18.4		3.8	21.0			32.0	4.5	※
2011	水和転換室(1)	8.4		2.6	15.0		9.0			※
2011	脱水転換室(1)	160.6	7.5	71.2	100.5	43.5	80.0	53.8	23.3	※
2011	脱水転換室(2)	39.9	3.0	6.0	54.3	12.5	10.0		4.0	※
2011	ｲｴﾛｰｹｰｸ溶解調整室	71.2	12.5	80.0	96.5	7.5	19.5	133.0	12.5	※
2011	分析室	101.0		21.5	10.5			53.0		※
2011	廃液処理室(2)	10.7		2.3	11.0			10.5	2.5	※

※2011 年度に人形峠において「準備作業」として分類されていた人工数(作業エリアへの資材搬入・運搬・設置に加え、日々の解体工程の直前に行う、防護装備の装着や機材の運搬等の細かな作業に要した人工数)を、ここでは「資材搬入・設置」に分類した。

表 28　後処理工程に要した作業員の人工数

年度	部屋名	作業ｴﾘｱ	人工数(人時)						
		面積 (m^2)	ｴﾘｱ解除	後片付け	資材撤去	容器搬出	ｶｰﾄﾝ処理	養生撤去	GH撤去	足場撤去
2008	ふっ化沈殿室	69.6		69.8					22.5	21.6
2008	シリンダ処理室	104.1		133.7	9.0				11.3	
2008	UF_6 充填室	37.8		72.0					27.0	
2008	UF_4 供給室	139.2		81.0					31.5	18.0
2008	UF_4 処理室	139.2		153.0					31.5	
2008	ｺｰﾙﾄﾞﾄﾗｯﾌﾟ室	95.7		266.9					95.4	157.1
2008	転換試験室	552.6		320.6					117.7	
2009	水和転換室(1)	104.0		55.5	11.5	57.5	7.3	2.0	31.0	12.0
2009	水和転換室(2)	62.7		19.0	4.0	8.5	2.3	5.5	32.0	
2009	水和転換室(3)	63.5		49.5	9.0	10.0	2.0	8.0	19.0	1.0
2009	ふっ化沈殿室	41.2	3.0	110.0		8.3	1.3		19.5	6.0
2009	脱水転換室(1)	120.0		143.6		4.1		9.9	43.2	17.1
2009	脱水転換室(2)	33.6		13.5				2.7		20.3
2009	乾式工程ﾌｨﾙﾀ室	109.9		13.5		1.8		1.8	5.4	14.2
2009	ブロワ室	22.9								13.5
2009	切断エリア	41.1		8.0		14.8	2.5	5.0	14.0	
2010	ふっ化沈殿室	102.5	1.0	197.8		23.5	15.5	18.5	28.5	19.5
2010	乾式工程ﾌｨﾙﾀ室	124.5	1.5	23.5		13.0	9.0	29.0	48.0	9.0
2010	ブロワ室	69.9		12.0			10.5		35.5	3.0
2010	解体物保管室(2)	52.0		36.5				5.0	10.5	16.0
2010	核燃料物質貯蔵庫	46.6		5.5			0.5	10.0		
2010	製品一時置場	102.7		69.5		27.5		3.0		
2010	脱水転換室(1)	148.5	4.5	152.8		22.0	10.5	15.8	69.5	18.8
2010	脱水転換室(2)	136.9		52.5		9.3	6.3	20.5	77.5	12.5
2010	切断エリア	41.1		5.0						4.0
2011	ふっ化沈殿室	23.7								
2011	ブロワ室	59.3		31.0			1.5			
2011	UF_4 供給室	15.9	2.0							1.0
2011	UF_4 処理室	16.7		6.0						4.0
2011	乾式工程ﾌｨﾙﾀ室	18.4		15.0						
2011	水和転換室(1)	8.4	1.0	6.0						
2011	脱水転換室(1)	160.6		336.8			9.5			6.8
2011	脱水転換室(2)	39.9	0.3	71.5						2.0
2011	ｲｴﾛｰｹｰｸ溶解調整室	71.2	0.2	86.5						18.5
2011	分析室	101.0		30.0						
2011	廃液処理室(2)	10.7		7.5			0.5			0.8

表 29　プロセス機器類の機器分類毎の評価式と単一評価式の相対誤差

評価式の種類		評価式係数	機器類の総重量 [ton]	工数 (計算値) [人時]	工数 (実績値) [人時]	相対誤差
機器分類毎の評価式	塔槽類の解体	124.1	19.0	2359.3	2288.4	3.1%
	粉砕機の解体	103.0	2.1	217.3	229.1	5.2%
	水和機の解体	119.3	0.8	95.4	95.5	0.0%
	トラップの解体	114.0	17.4	1982.5	1996.6	0.7%
	分離機の解体	73.0	5.6	409.1	644.1	36.5%
	圧縮機の解体	124.4	4.5	554.1	643.3	13.9%
	乾燥機の解体	81.2	6.9	558.7	573.2	2.5%
	その他プロセス機器類の解体	51.2	0.9	45.1	56.9	20.7%
	機器分類毎の評価式の合計			6221.5	6527.1	4.7%
単一評価式		105.6	57.1	6032.9	6527.1	7.6%

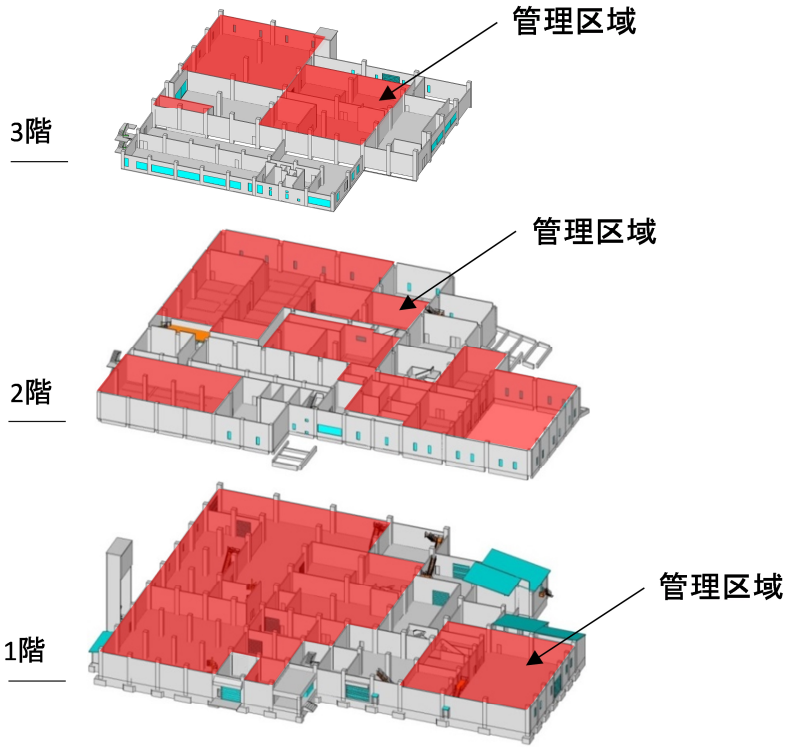

図1　製錬転換施設のCAD図

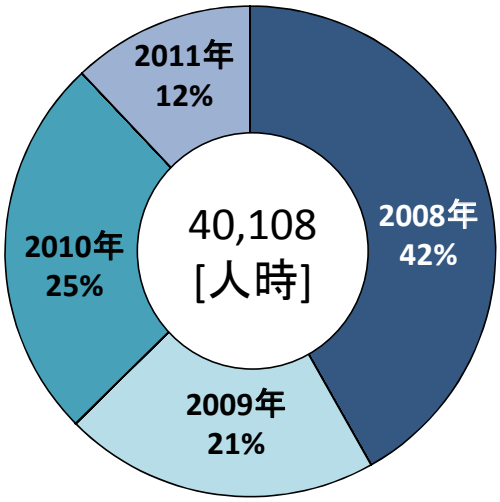

図2　年度毎の作業員人工数の割合

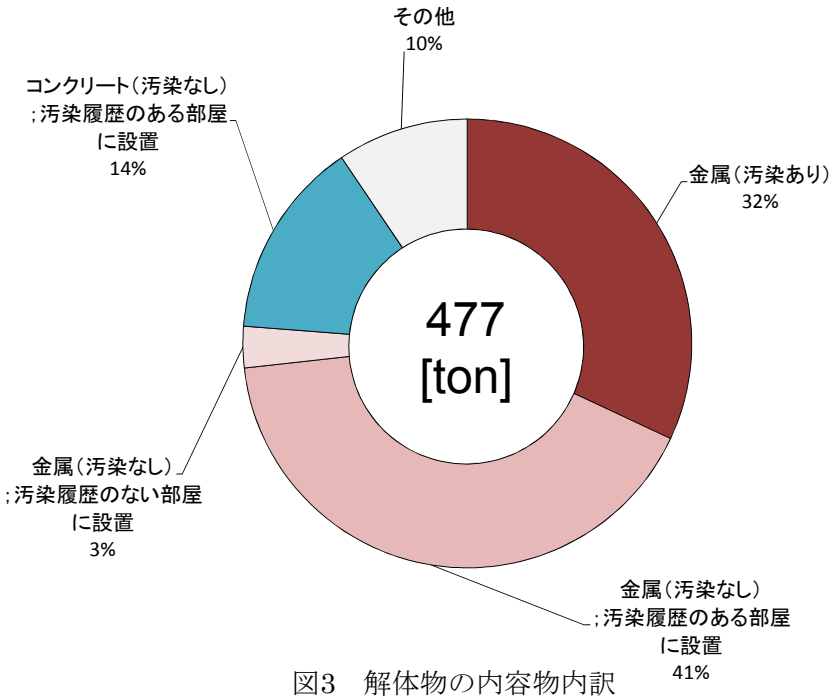

図3　解体物の内容物内訳

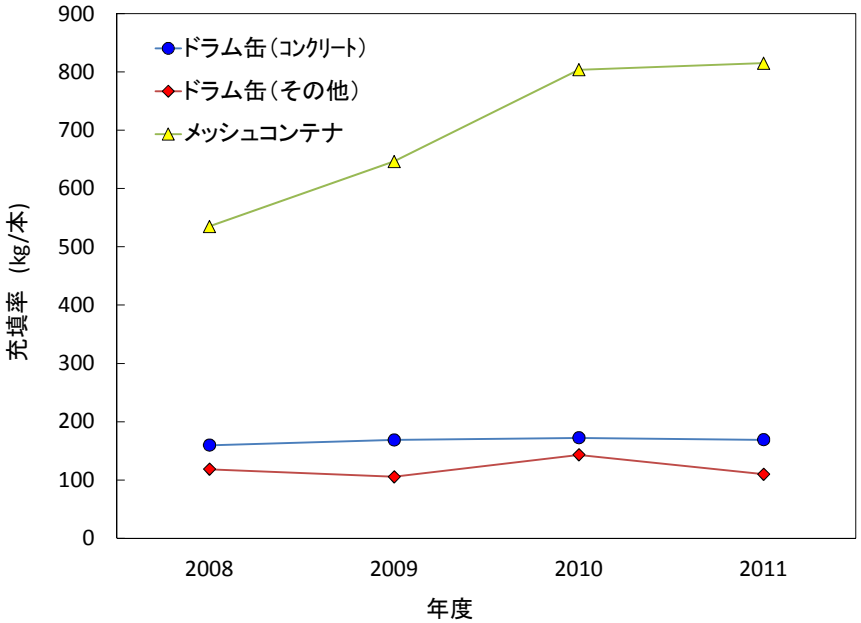

図4　年度毎の解体物収納容器の平均充填率

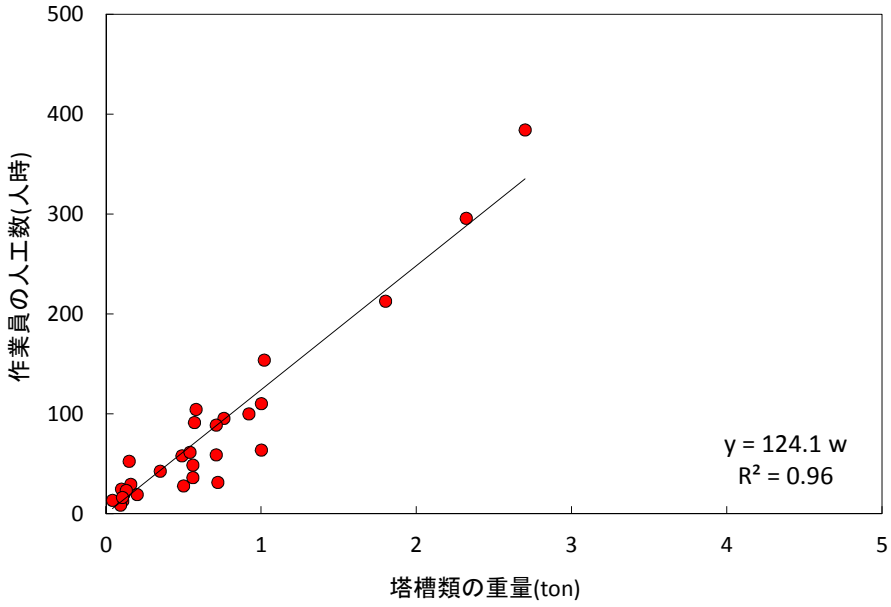

図5　塔槽類の重量と解体に要した人工数との相関図

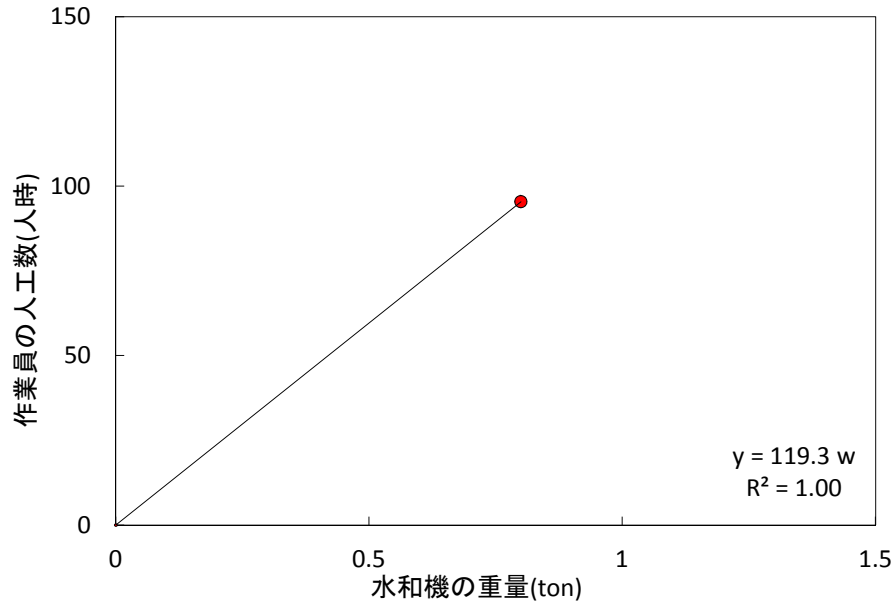

図6　水和機の重量と解体に要した人工数との相関図

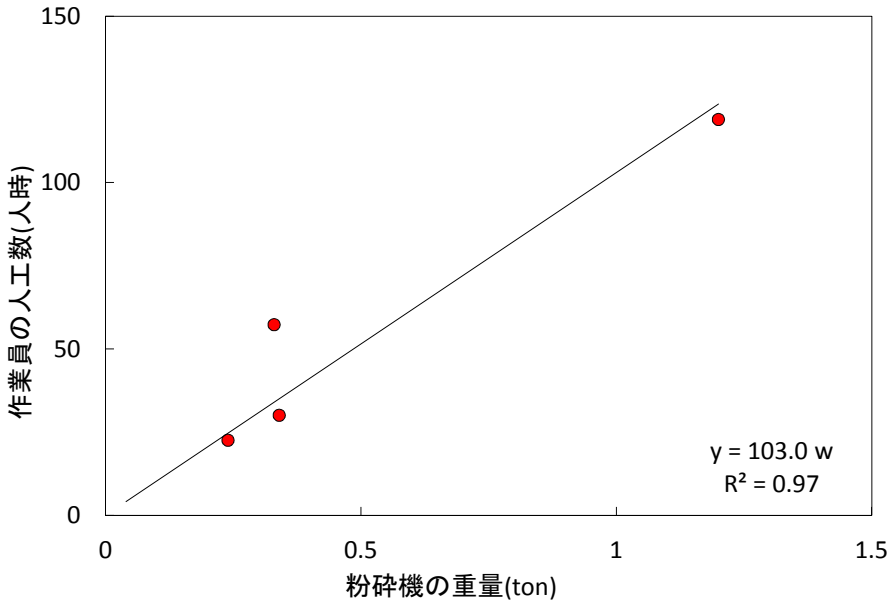

図7　粉砕機の重量と解体に要した人工数との相関図

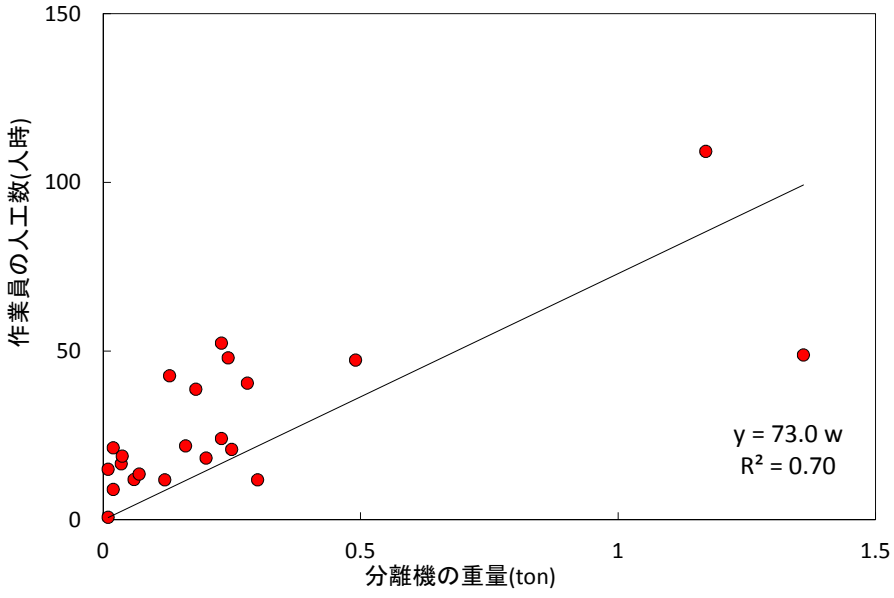

図8　分離機の重量と解体に要した人工数との相関図

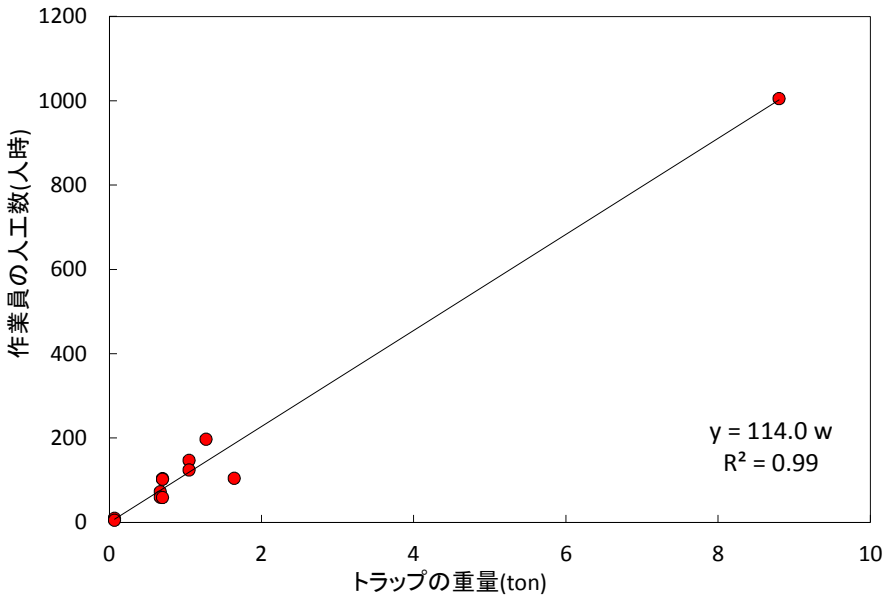

図9　トラップの重量と解体に要した人工数との相関図

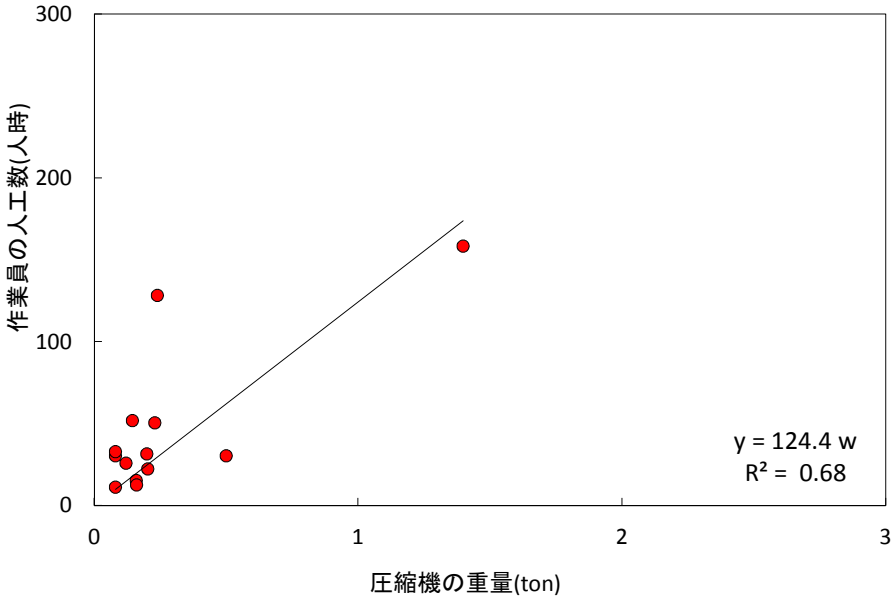

図10　圧縮機の重量と解体に要した人工数との相関図

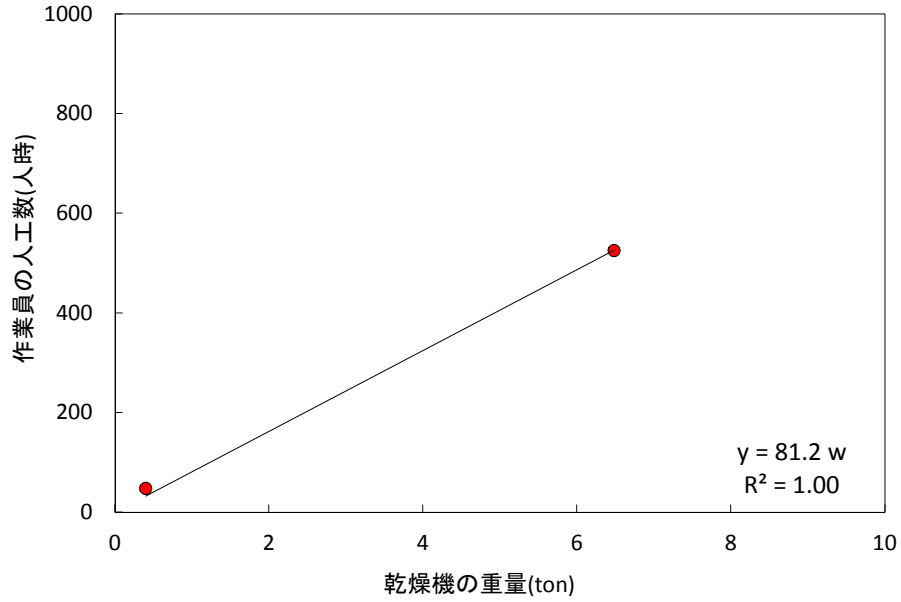

図11　乾燥機の重量と解体に要した人工数との相関図

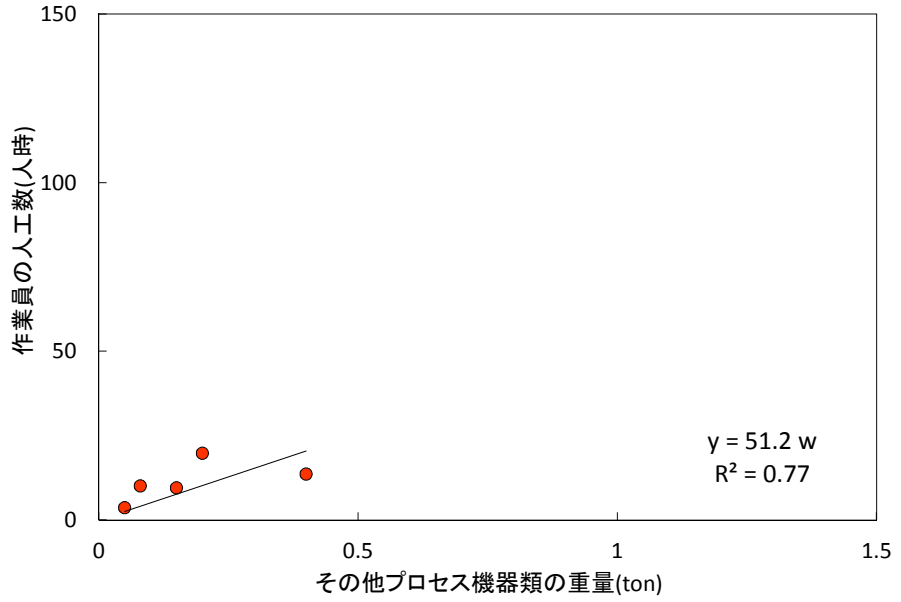

図12　その他プロセス機器類の重量と解体に要した人工数との相関図

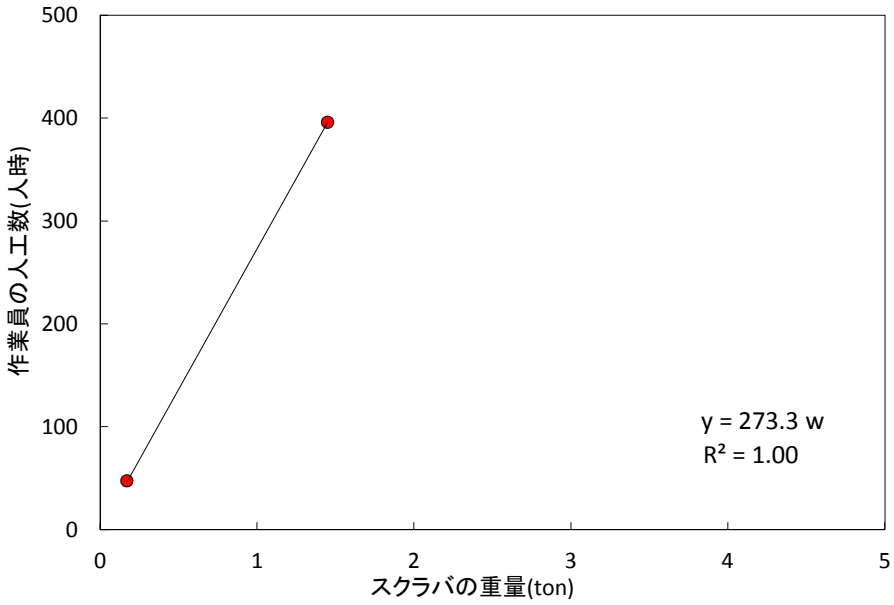

図13　スクラバの重量と解体に要した人工数との相関図

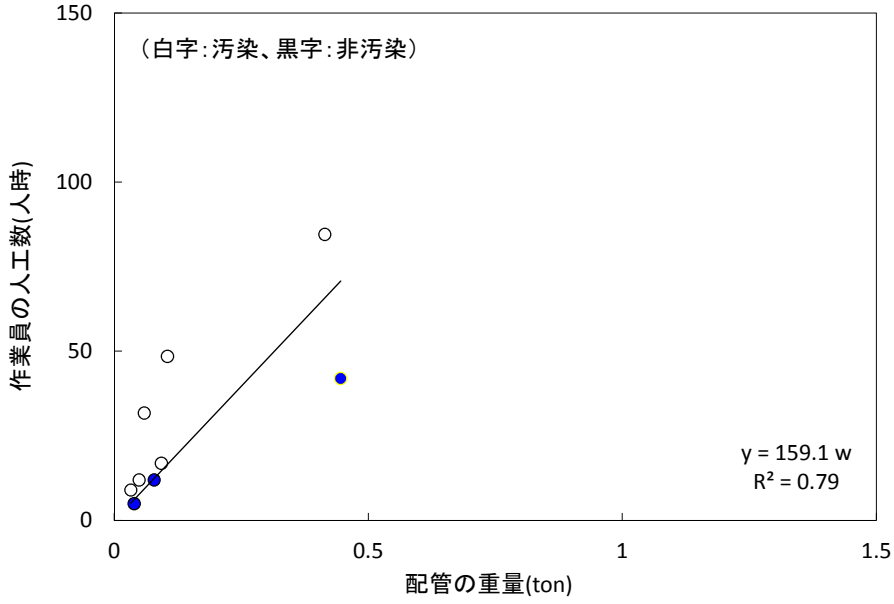

図14　配管の重量と解体に要した人工数との相関図

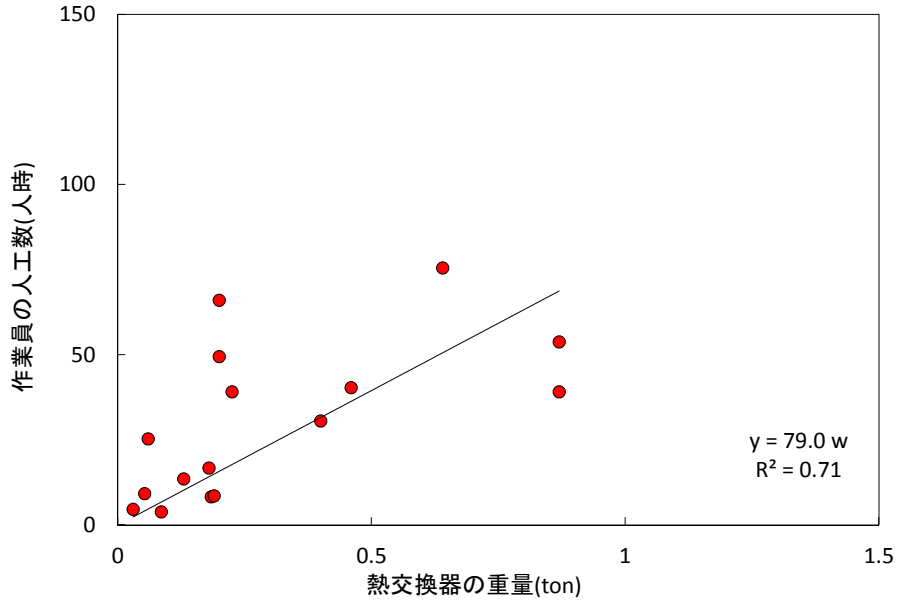

図15　熱交換器の重量と解体に要した人工数との相関図

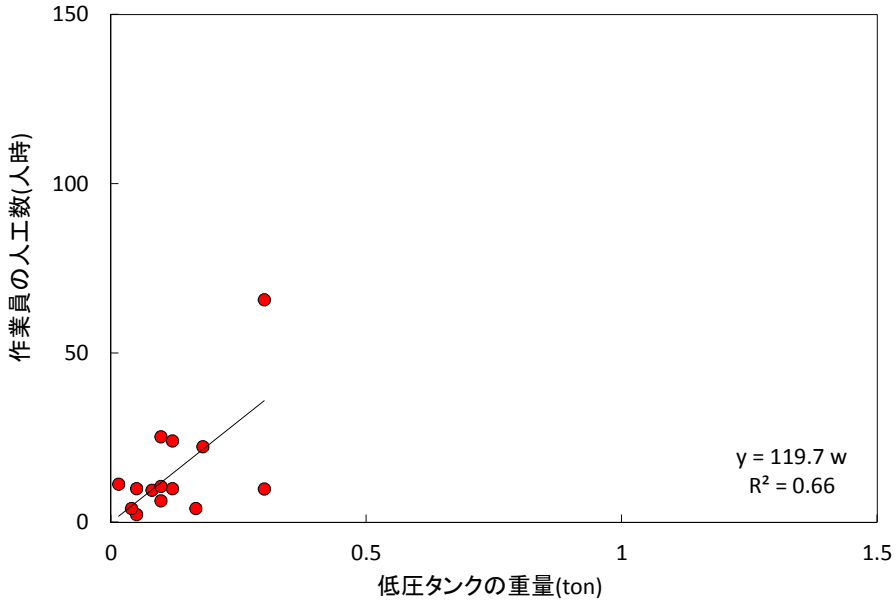

図16　低圧タンクの重量と解体に要した人工数との相関図

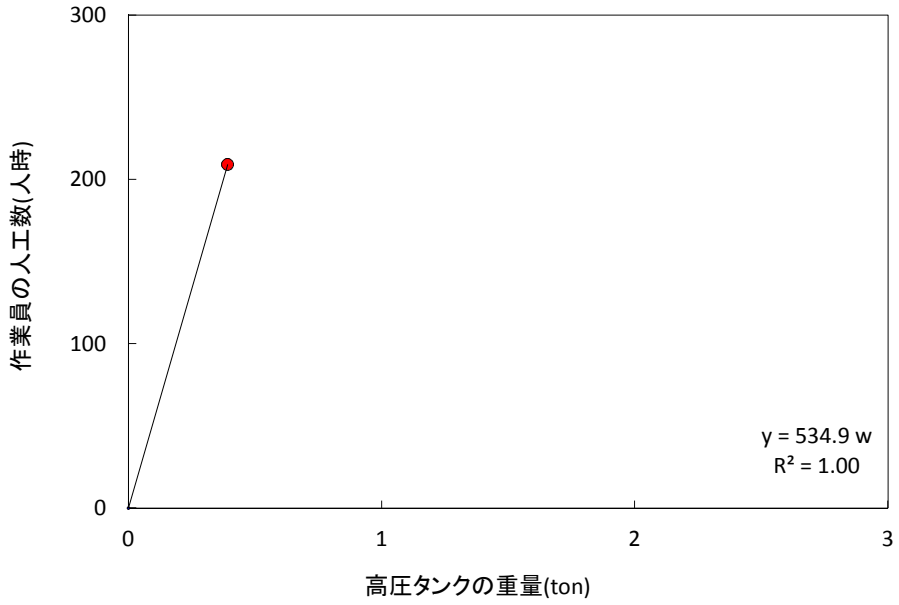

図17　高圧タンクの重量と解体に要した人工数との相関図

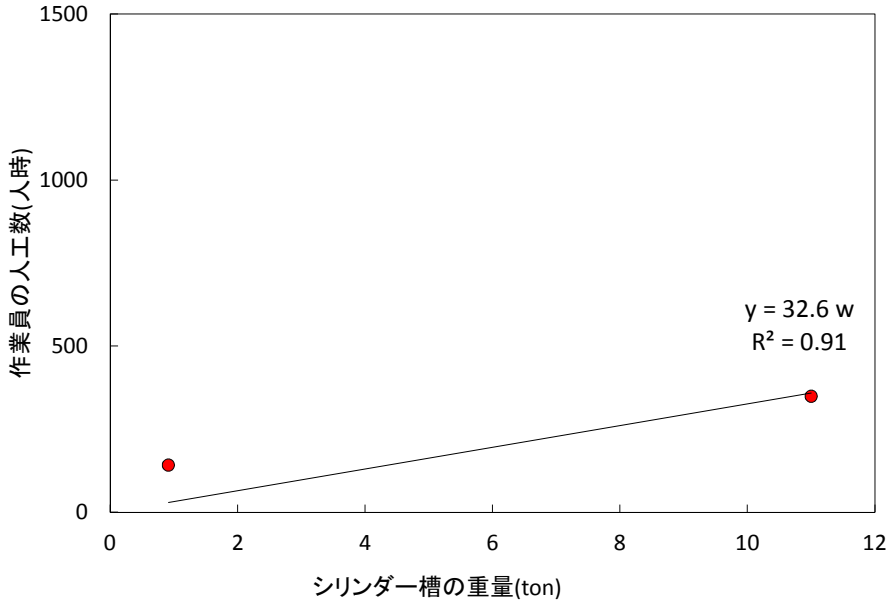

図18　シリンダー槽の重量と解体に要した人工数との相関図

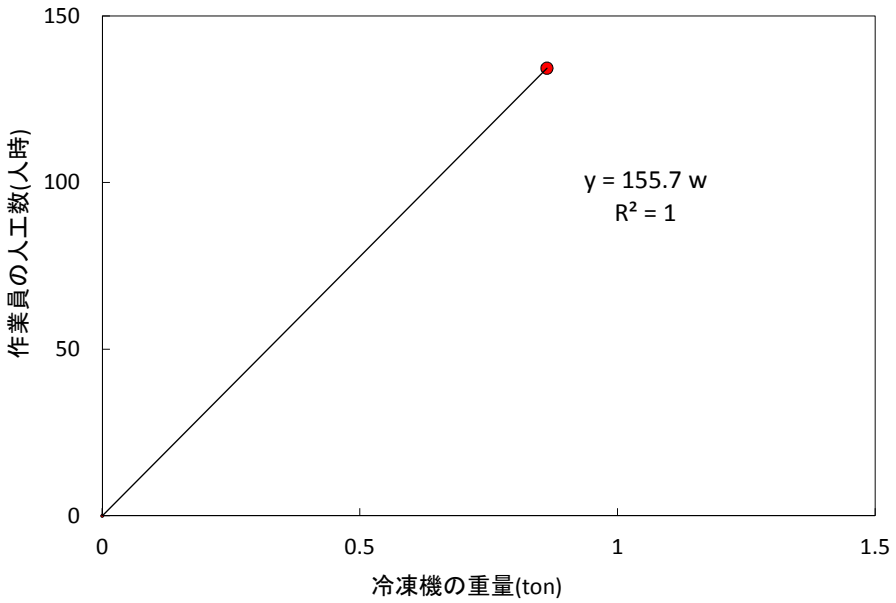

図19　冷凍機の重量と解体に要した人工数との相関図

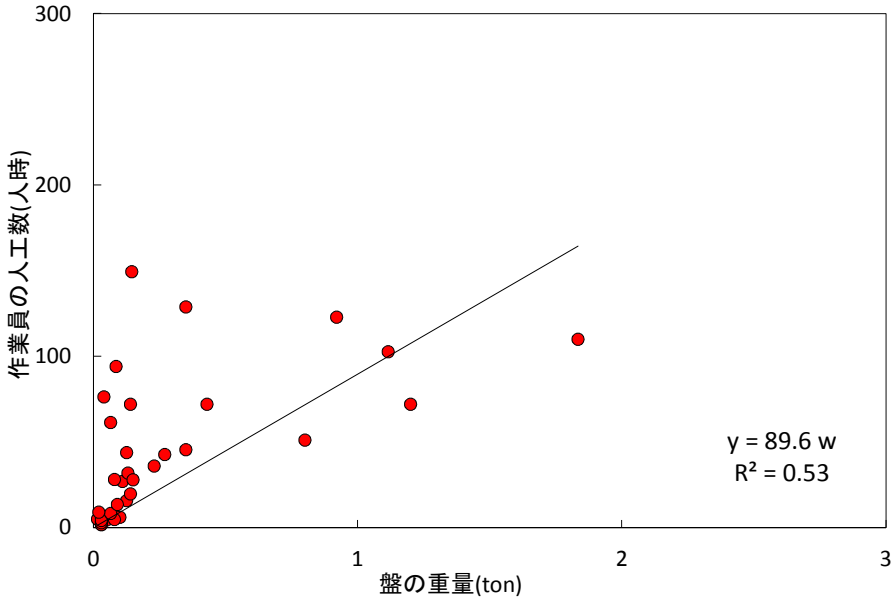

図20　盤の重量と解体に要した人工数との相関図

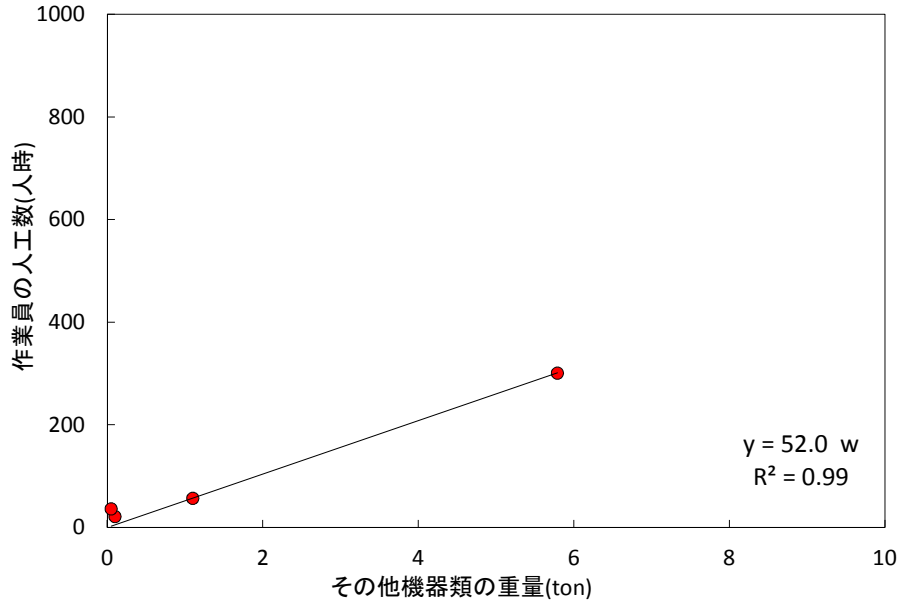

図21　その他機器類の重量と解体に要した人工数との相関図

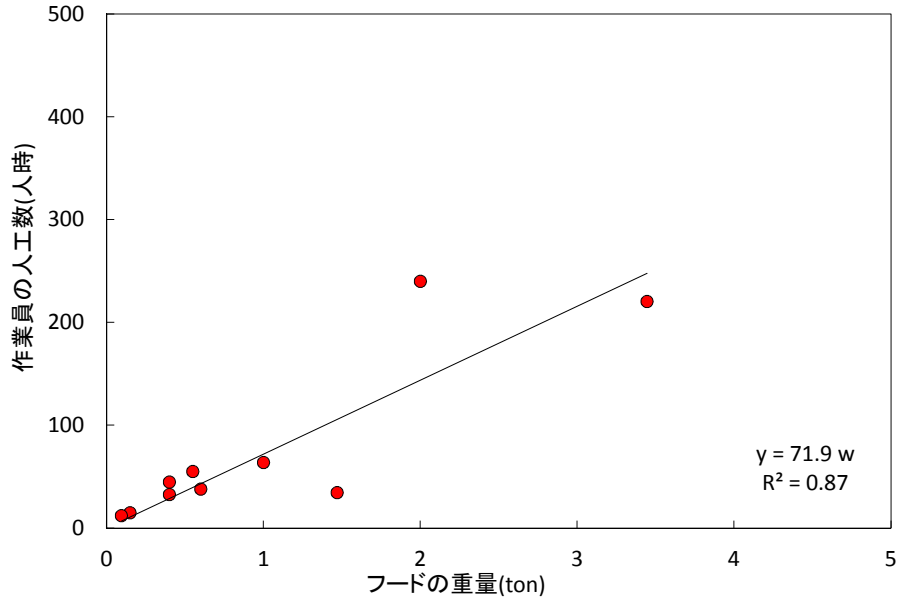

図22　フードの重量と解体に要した人工数との相関図

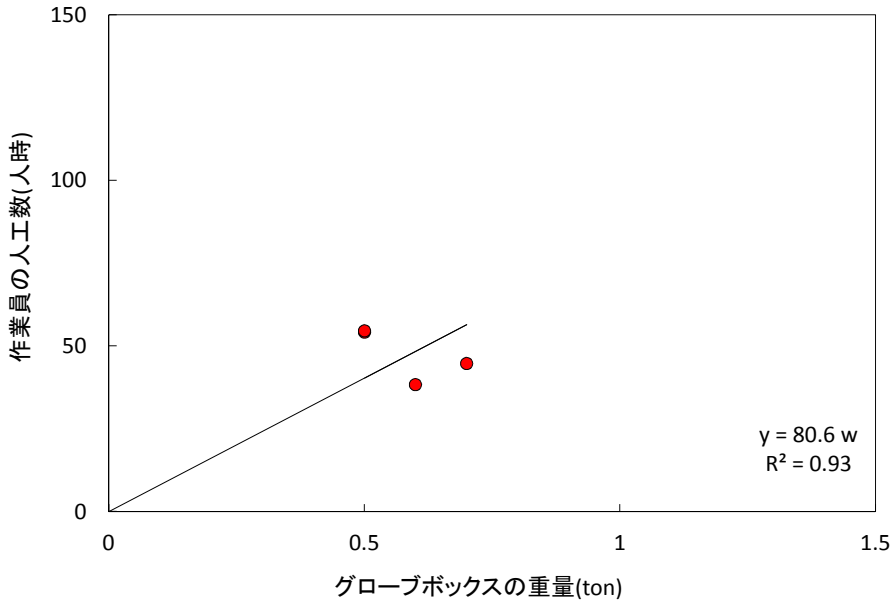

図23　グローブボックスの重量と解体に要した人工数との相関図

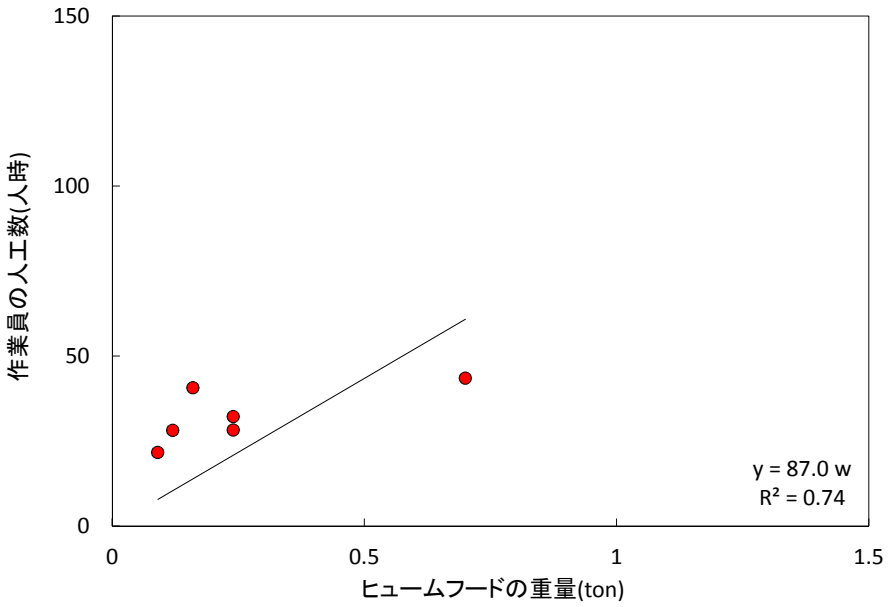

図24　ヒュームフードの重量と解体に要した人工数との相関図

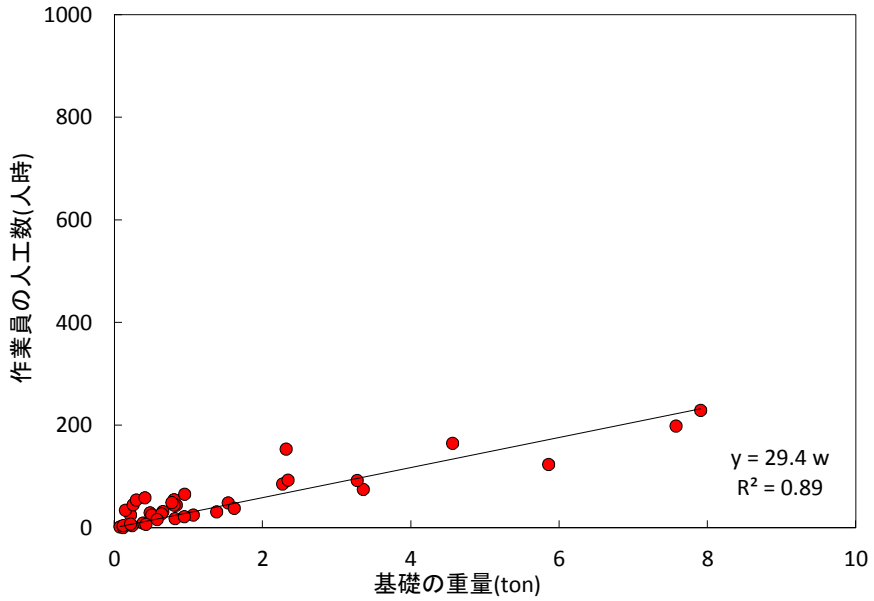

図25　基礎の重量と解体に要した人工数との相関図

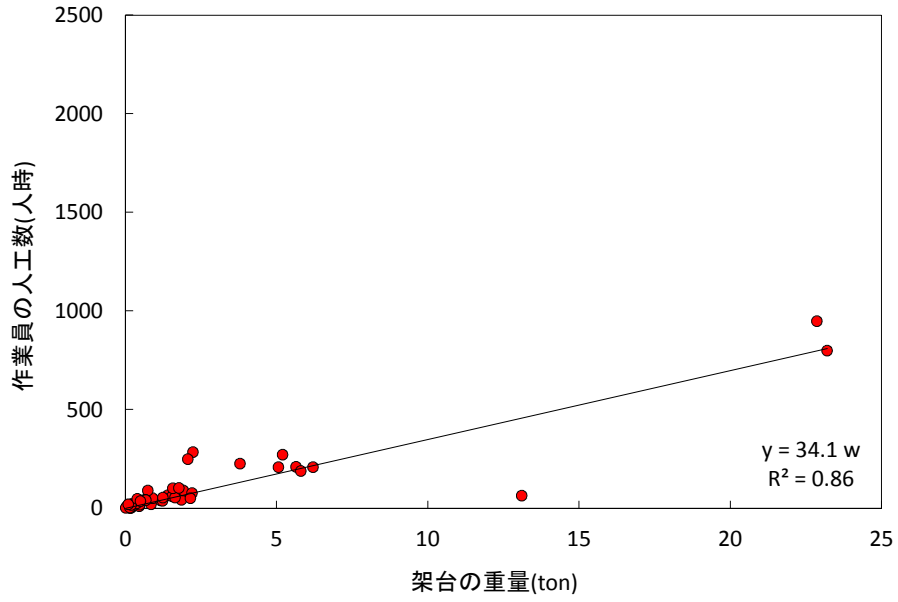

図26　架台の重量と解体に要した人工数との相関図

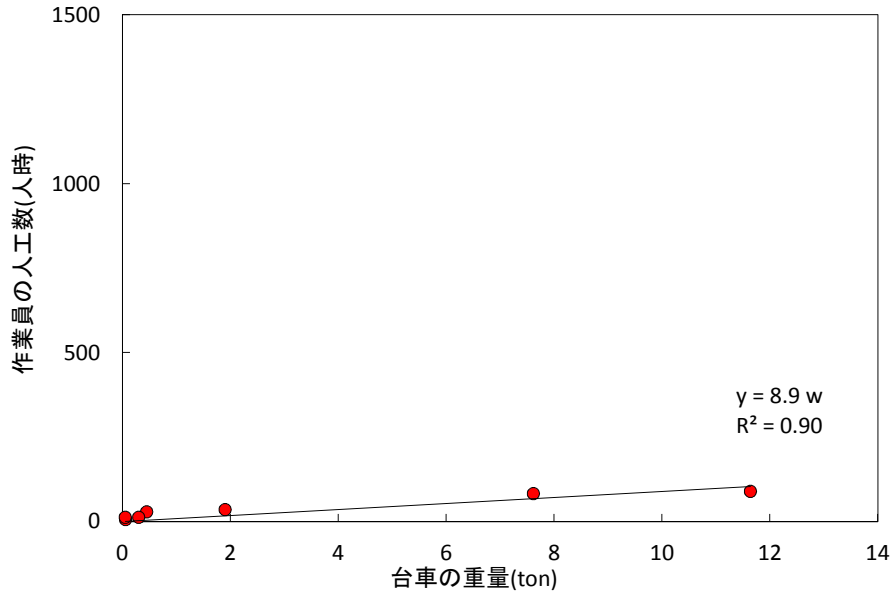

図27　台車の重量と解体に要した人工数との相関図

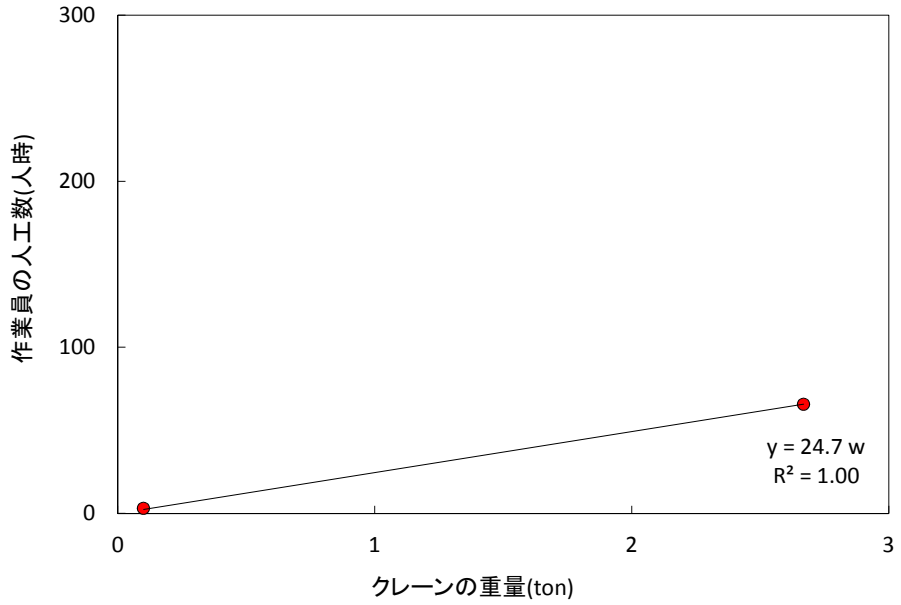

図28　クレーンの重量と解体に要した人工数との相関図

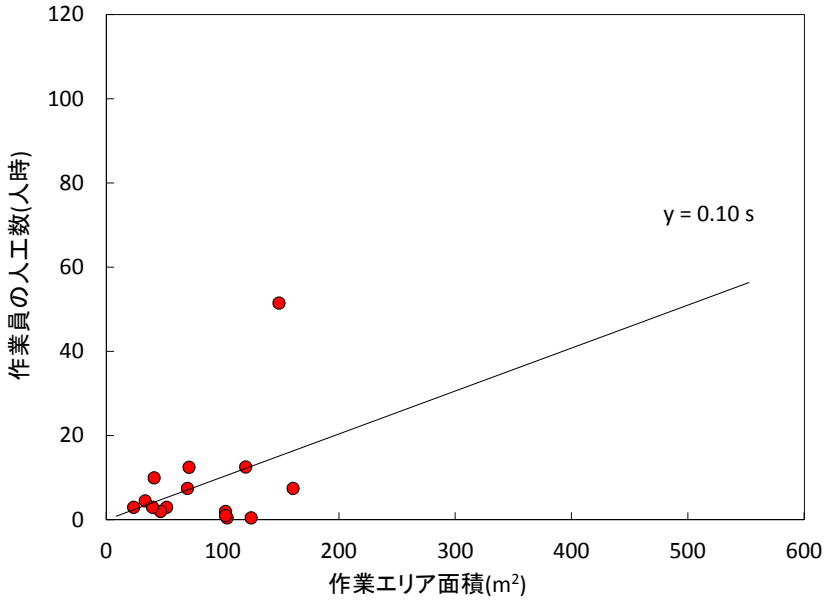

図29　エリア設定の人工数と作業エリア面積との相関図

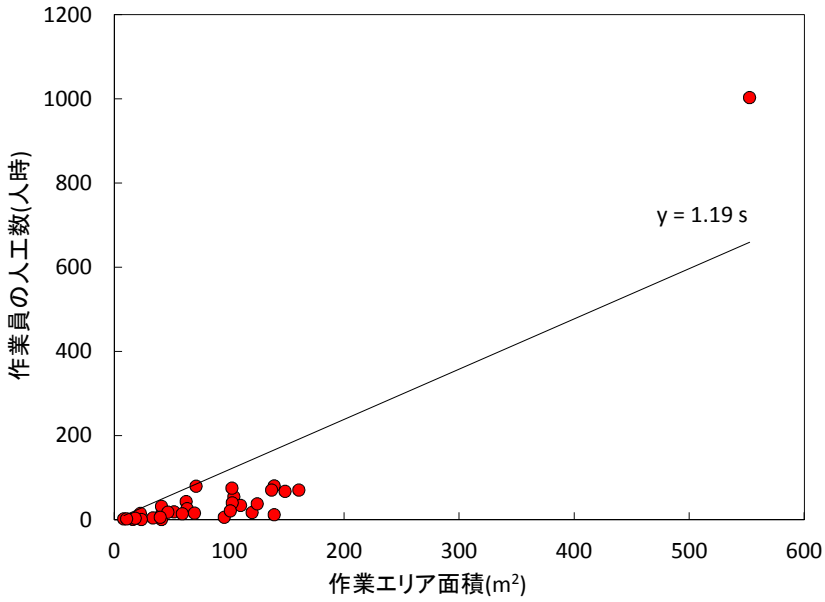

図30　放射線測定の人工数と作業エリア面積との相関図

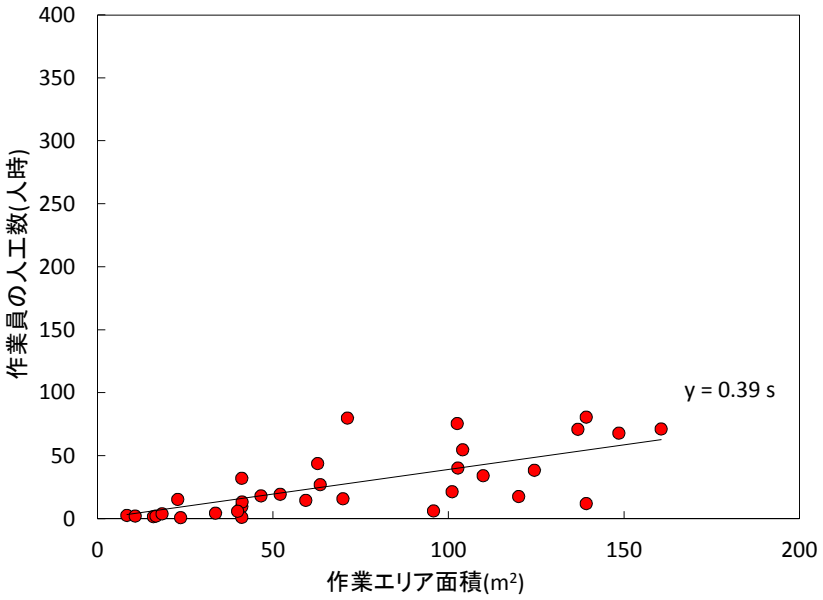

図31　放射線測定の人工数と作業エリア面積との相関図
（転換試験室データなし）

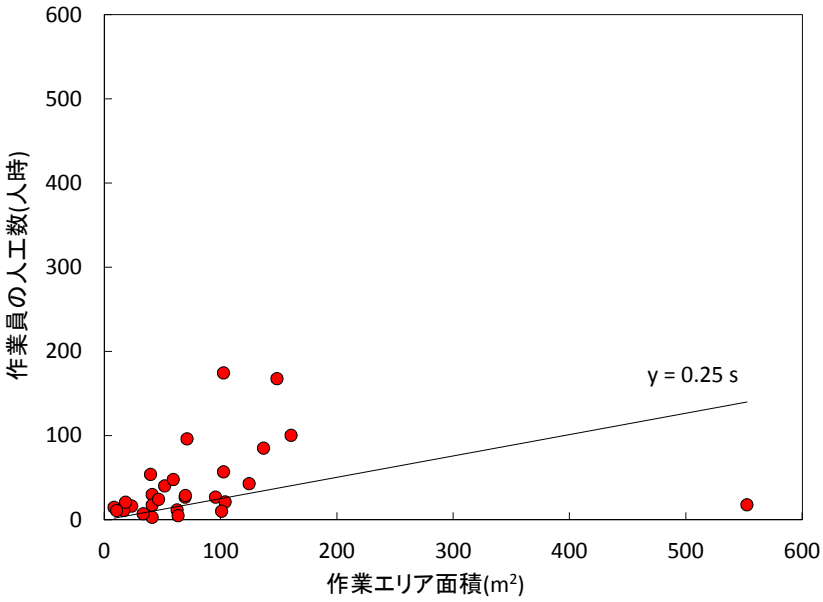

図32　資材搬入・設置の人工数と作業エリア面積との相関図

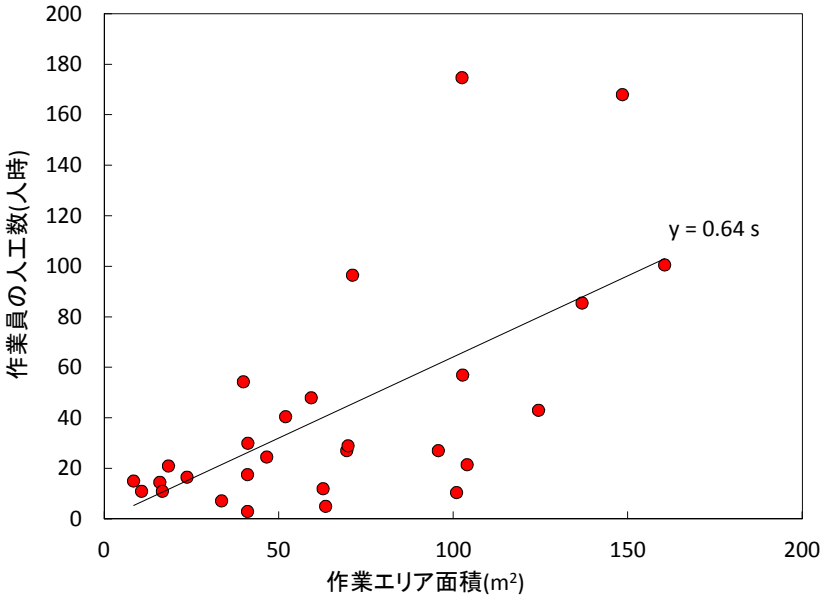

図33　資材搬入・設置の人工数と作業エリア面積との相関図
（転換試験室データなし）

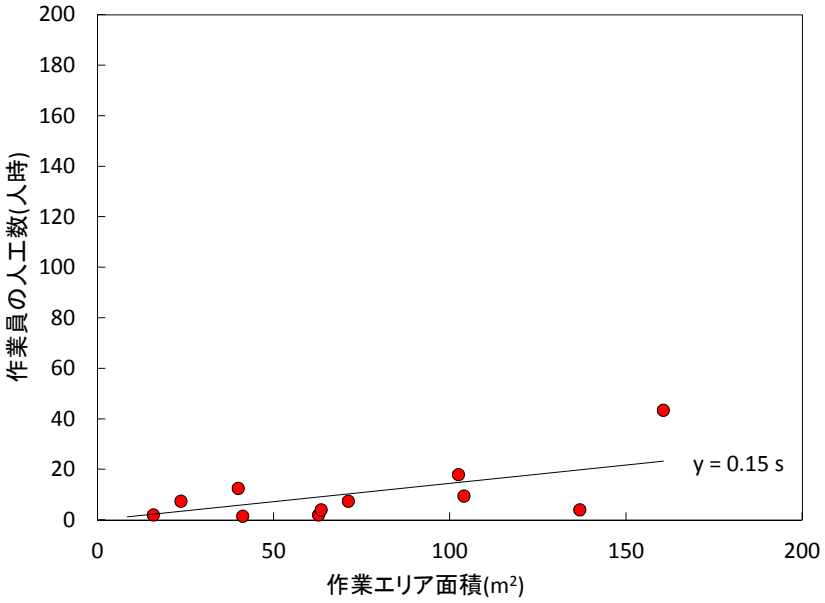

図34　収納容器搬入の人工数と作業エリア面積との相関図

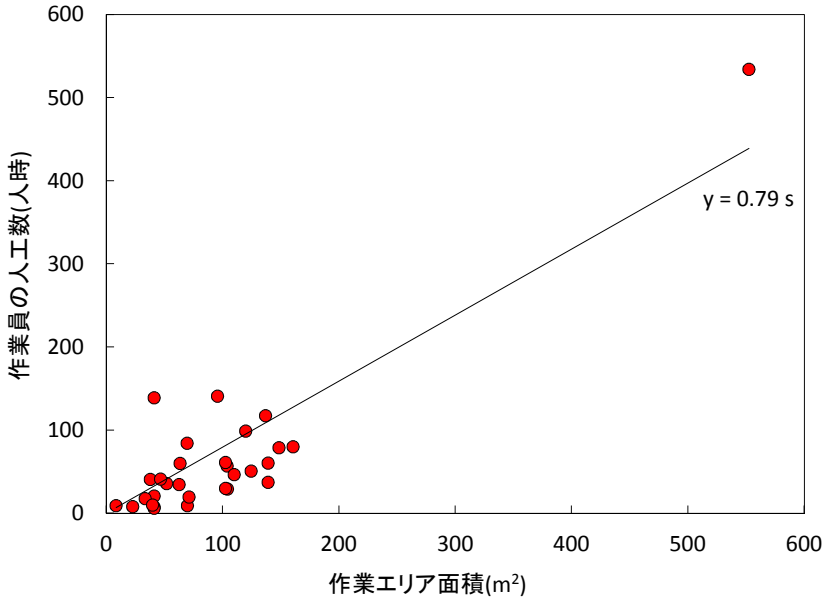

図35　養生設営の人工数と作業エリア面積との相関図

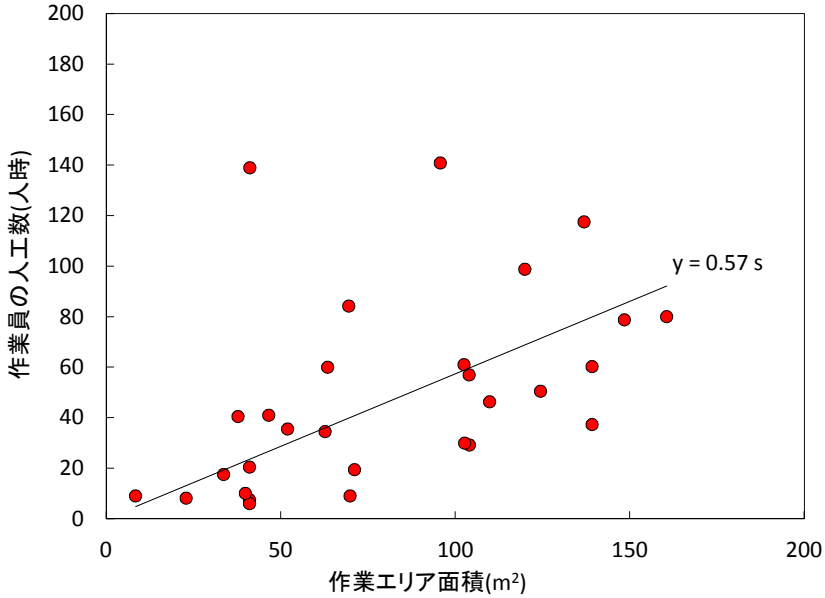

図36　養生設営の人工数と作業エリア面積との相関図
（転換試験室データなし）

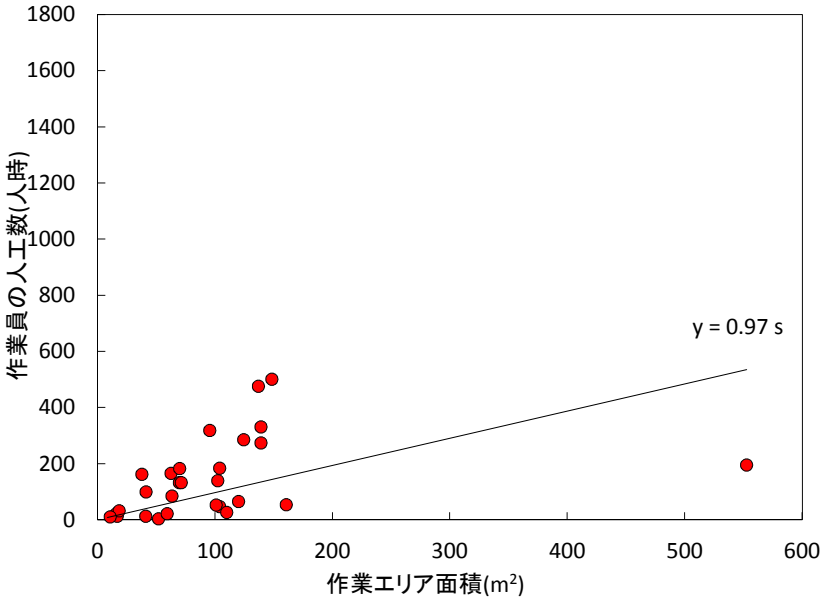

図37　GH設営の人工数と作業エリア面積との相関図

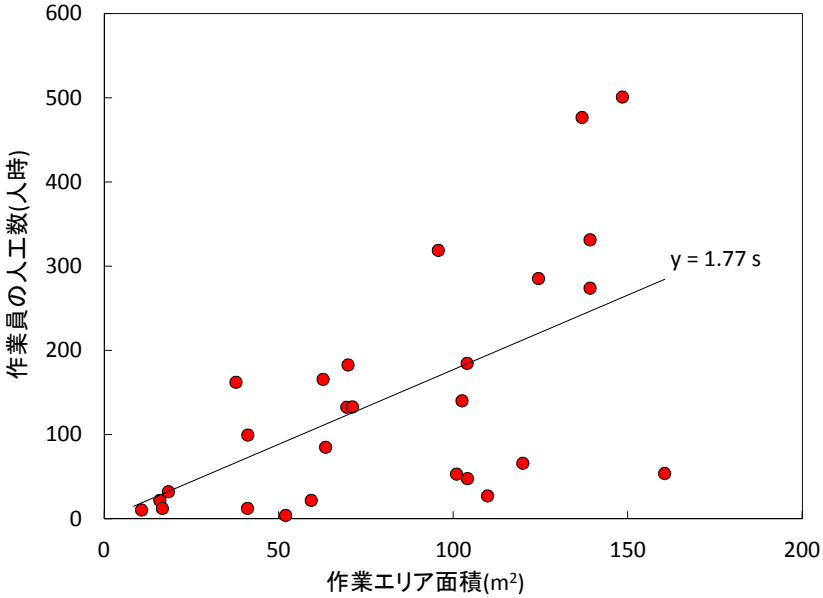

図38　GH設営の人工数と作業エリア面積との相関図
（転換試験室データなし）

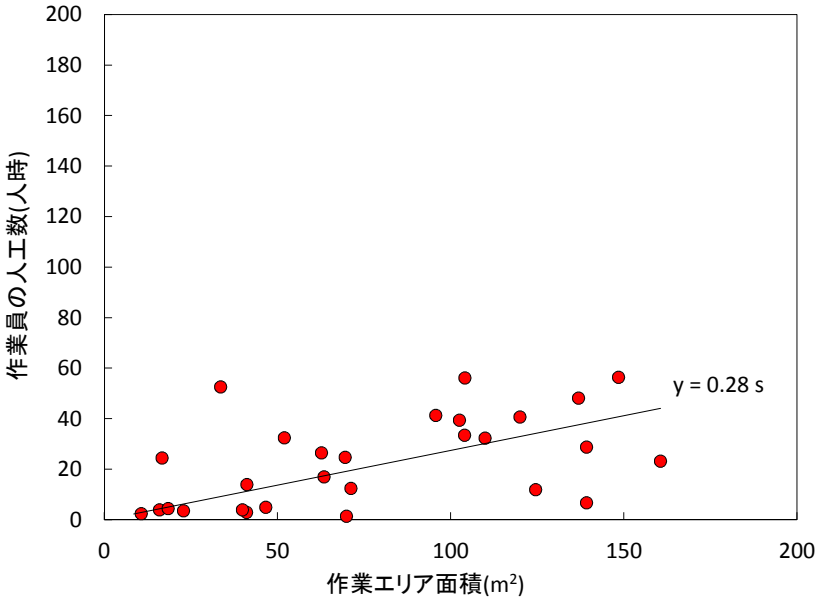

図39　足場設営の人工数と作業エリア面積との相関図

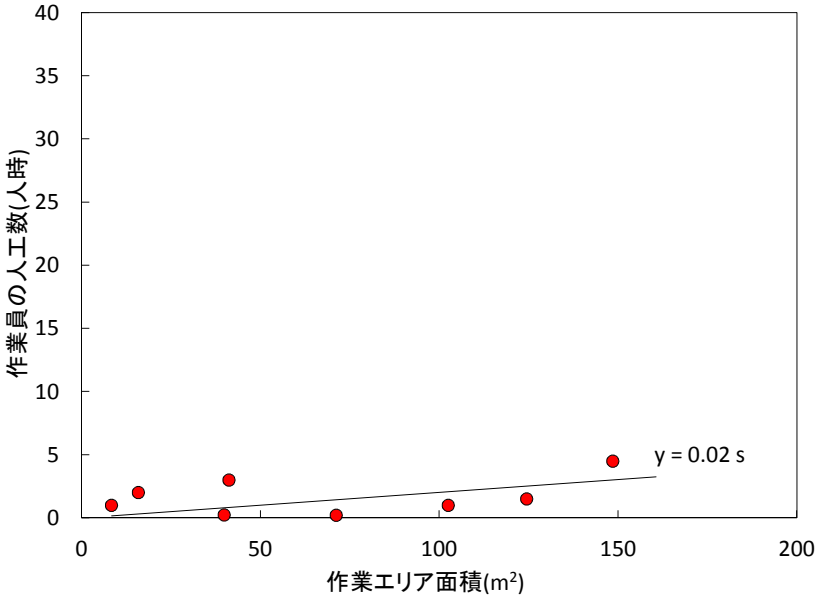

図40　エリア解除の人工数と作業エリア面積との相関図

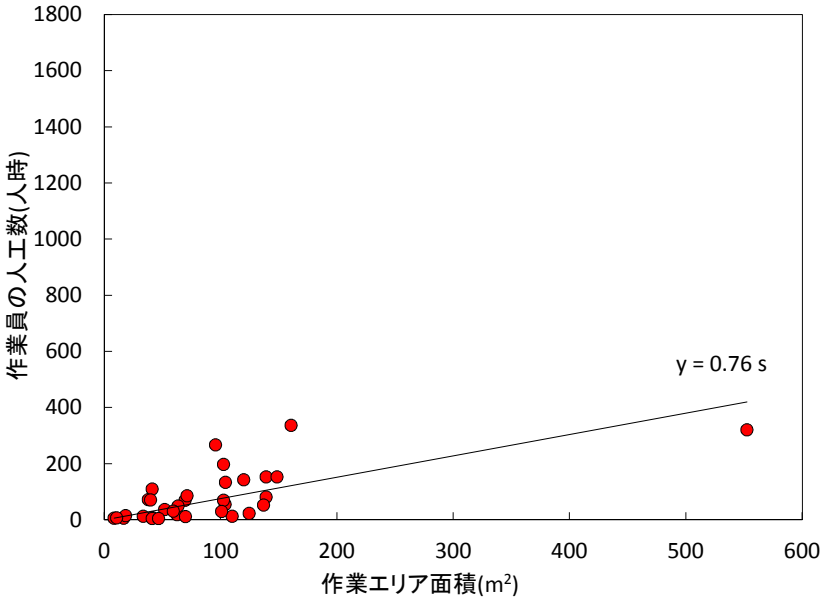

図41　後片付けの人工数と作業エリア面積との相関図

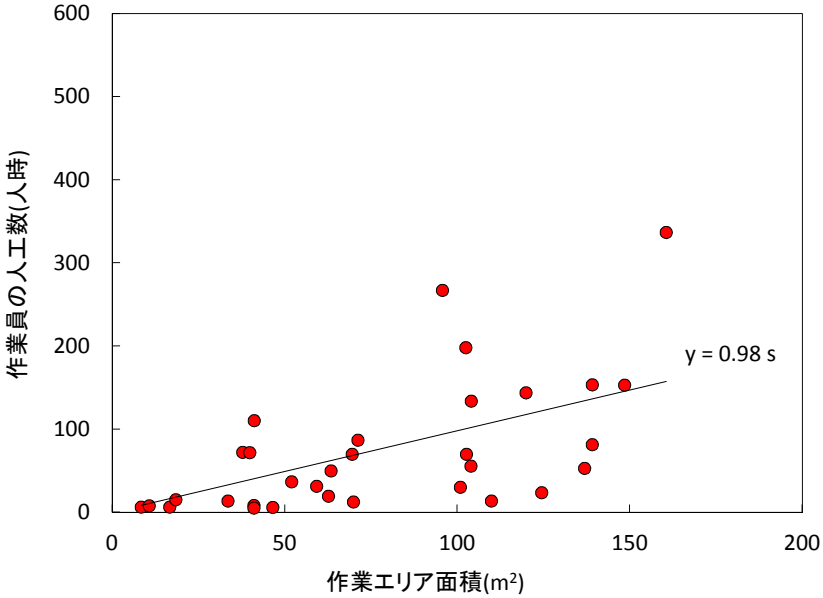

図42　後片付けの人工数と作業エリア面積との相関図
（転換試験室データなし）

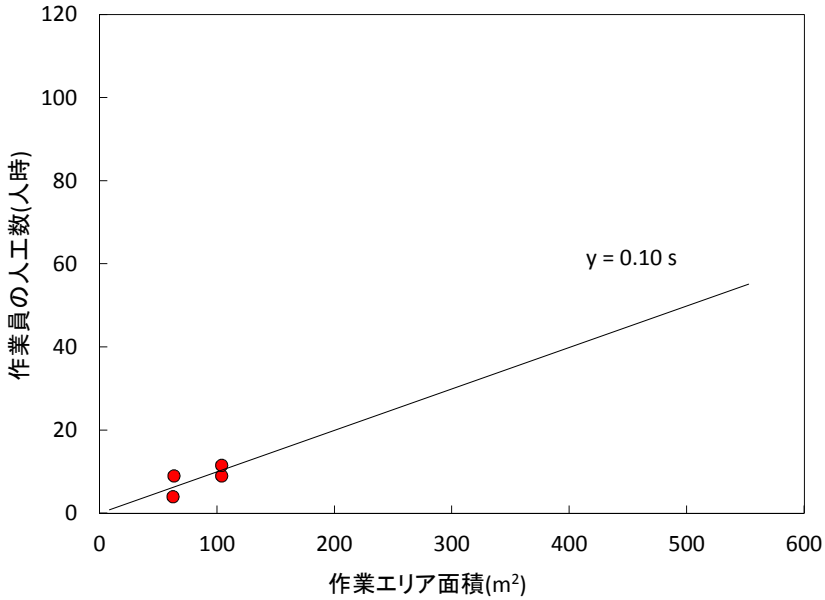

図43　資材撤去の人工数と作業エリア面積との相関図

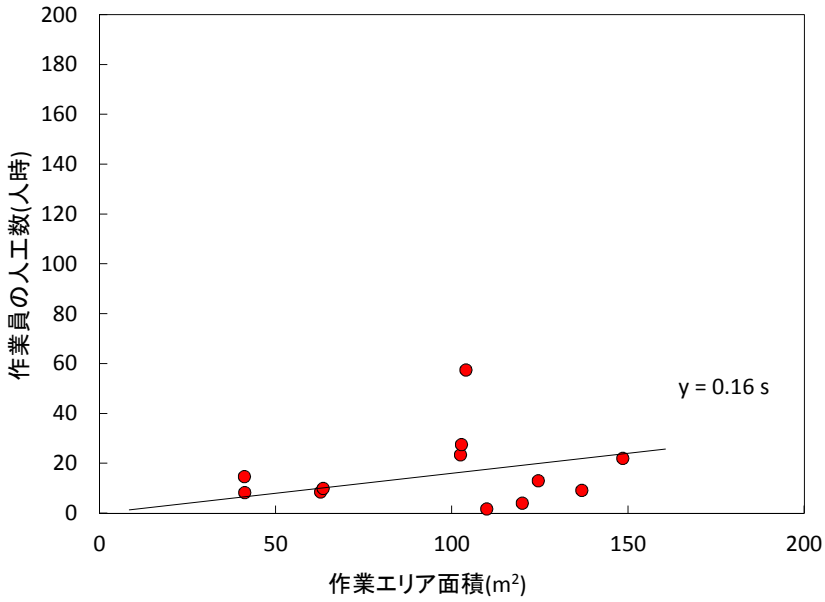

図44　容器搬出の人工数と作業エリア面積との相関図

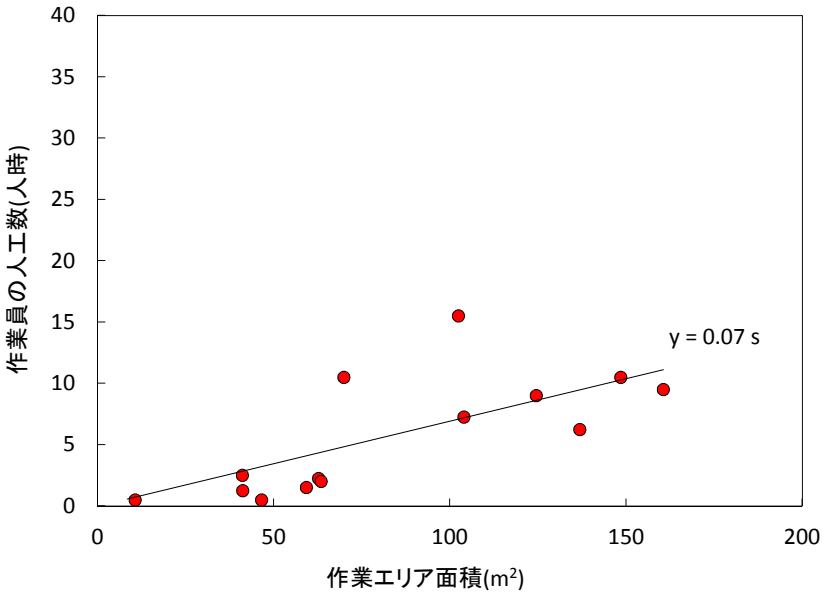

図45　カートン処理の人工数と作業エリア面積との相関図

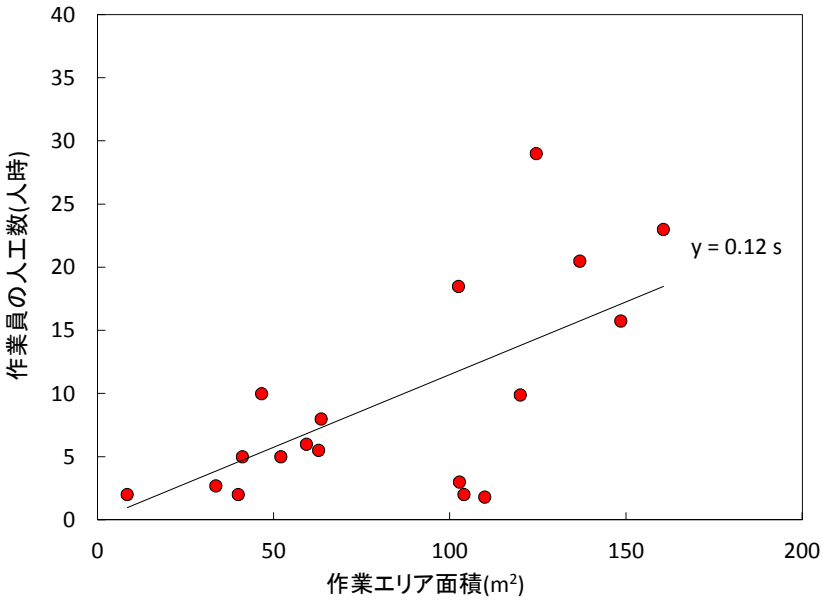

図46　養生撤去の人工数と作業エリア面積との相関図

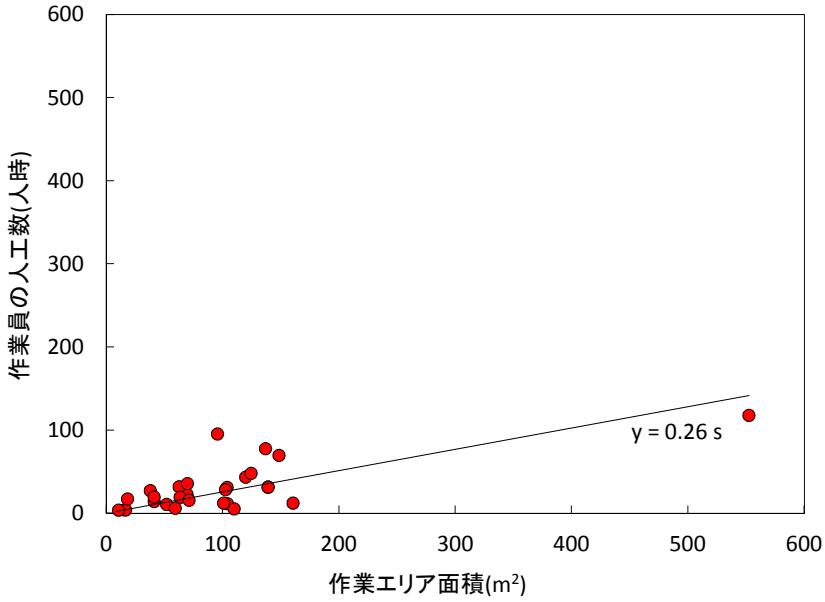

図47　GH撤去の人工数と作業エリア面積との相関図

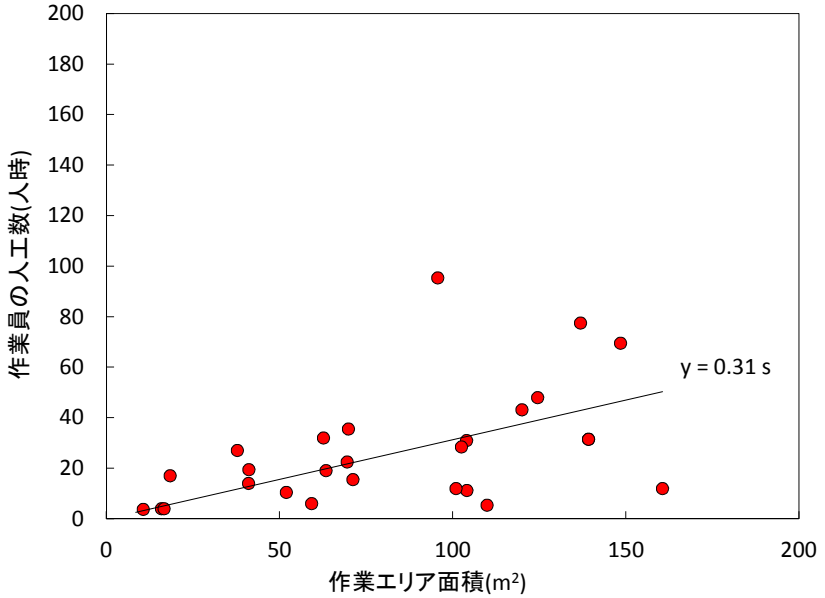

図48　GH撤去の人工数と作業エリア面積との相関図
（転換試験室データなし）

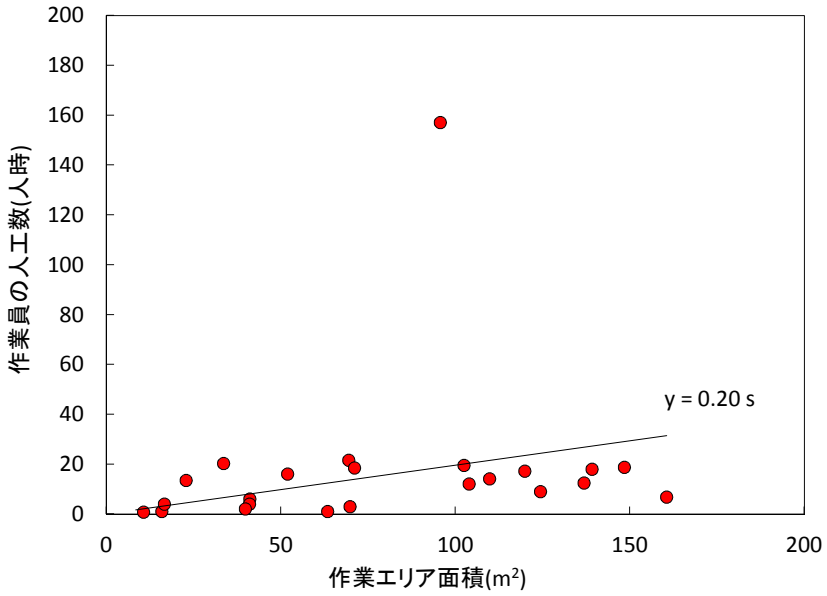

図49　足場撤去の人工数と作業エリア面積との相関図

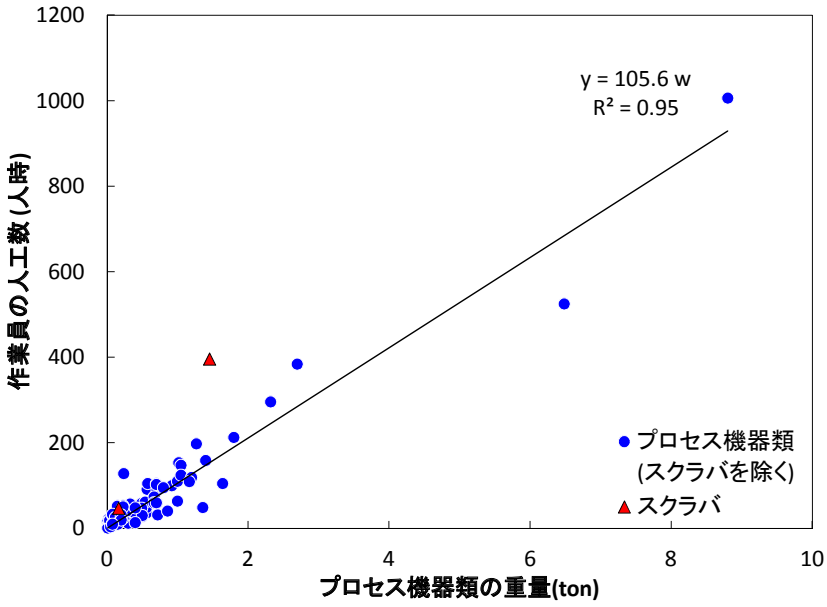

図50　プロセス機器類の重量と人工数の相関図

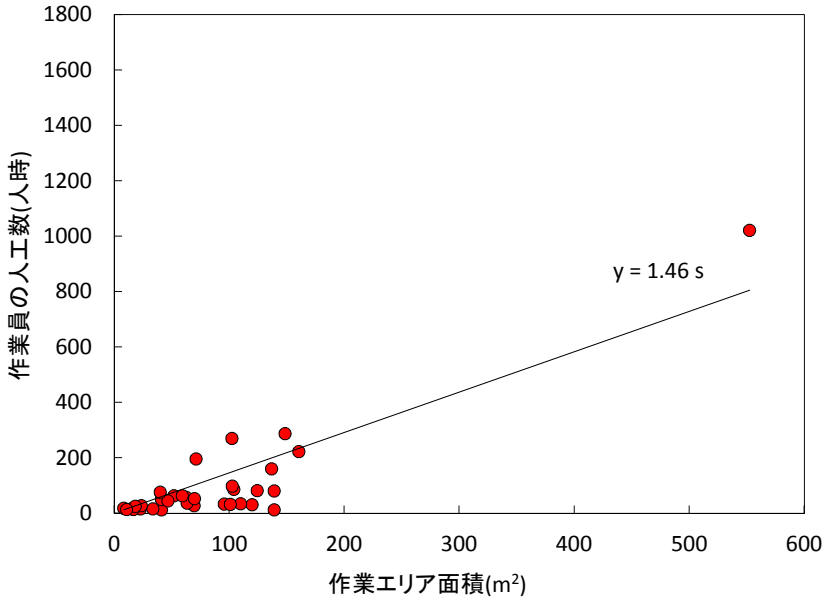

図51　共通準備の人工数と作業エリア面積との相関図

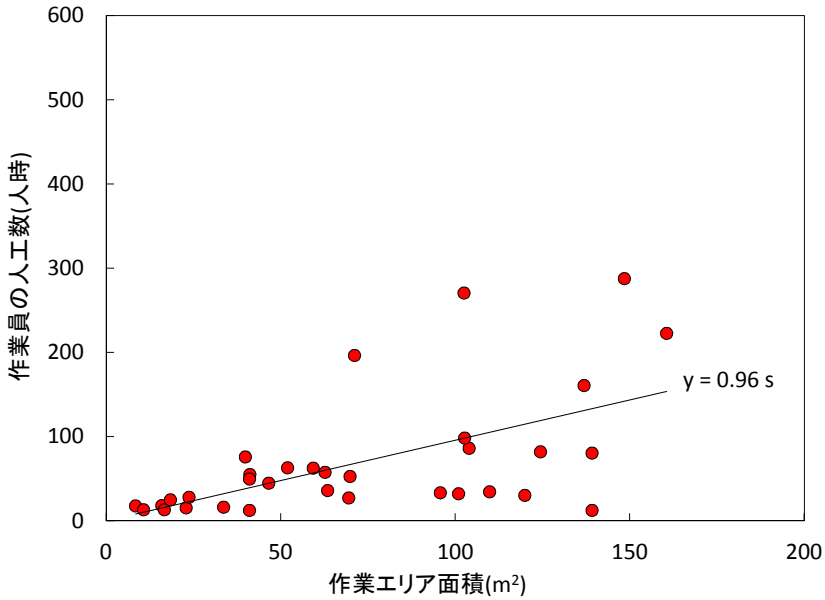

図52　共通準備の人工数と作業エリア面積との相関図
（転換試験室データなし）

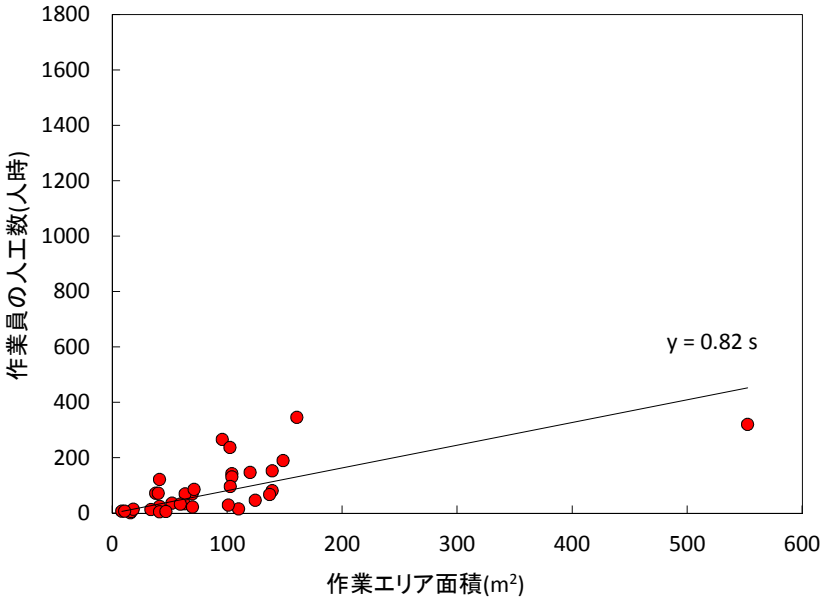

図53　共通後処理の人工数と作業エリア面積との相関図

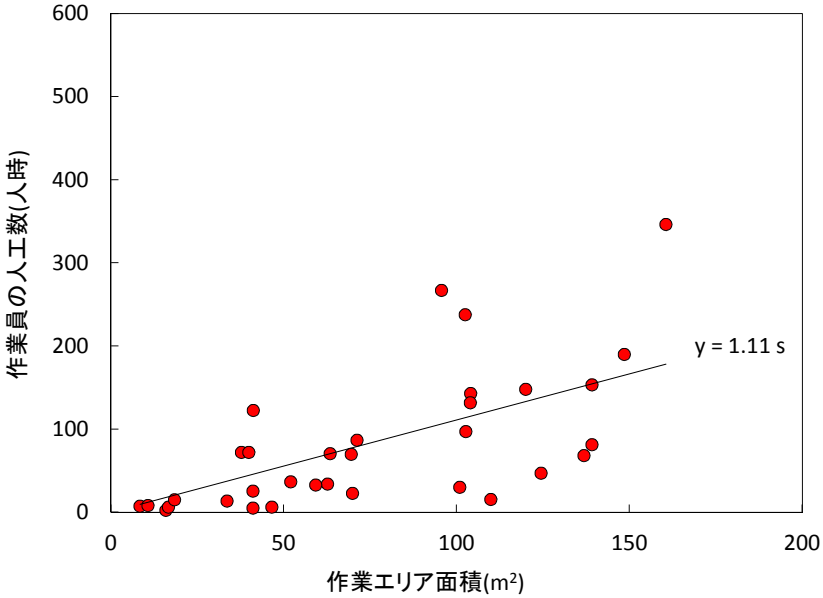

図54　共通後処理の人工数と作業エリア面積との相関図
（転換試験室データなし）

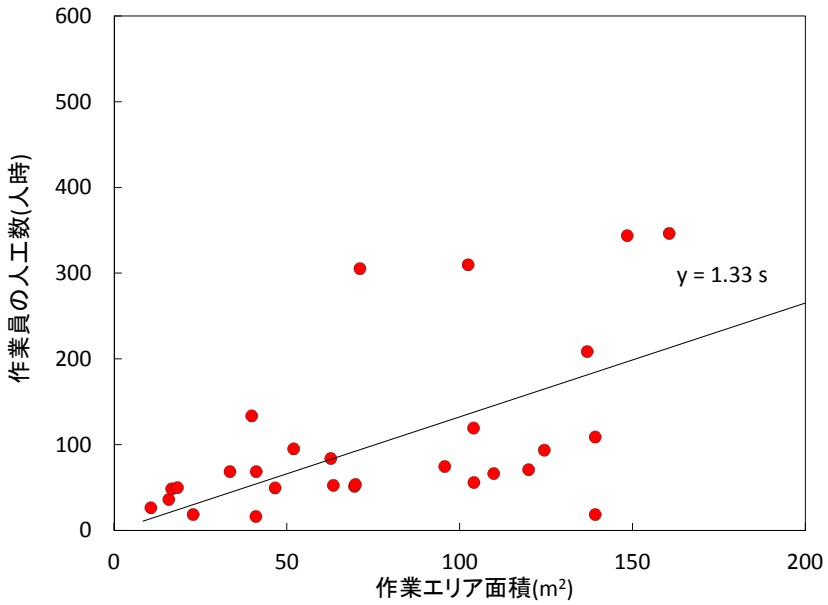

図55　「共通・高所」準備の人工数と作業エリア面積との相関図

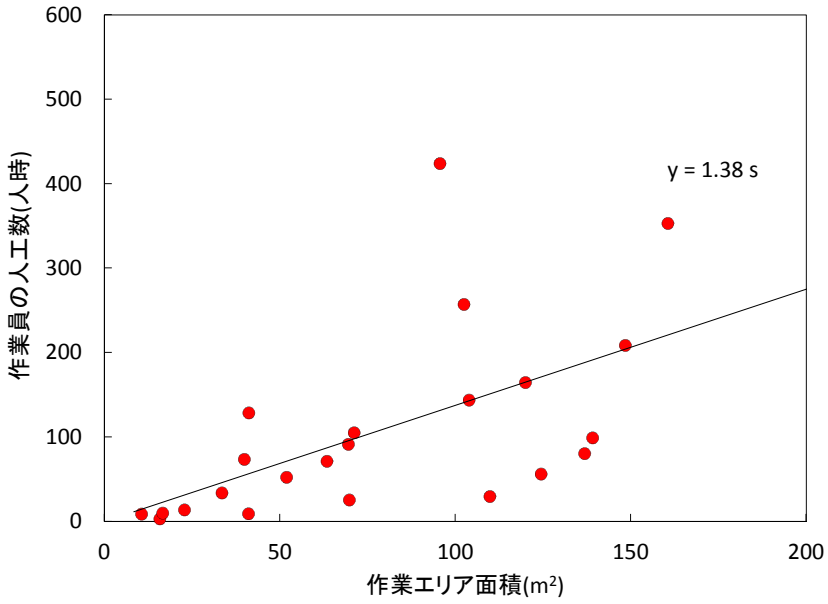

図56　「共通・高所」後処理の人工数と作業エリア面積との相関図

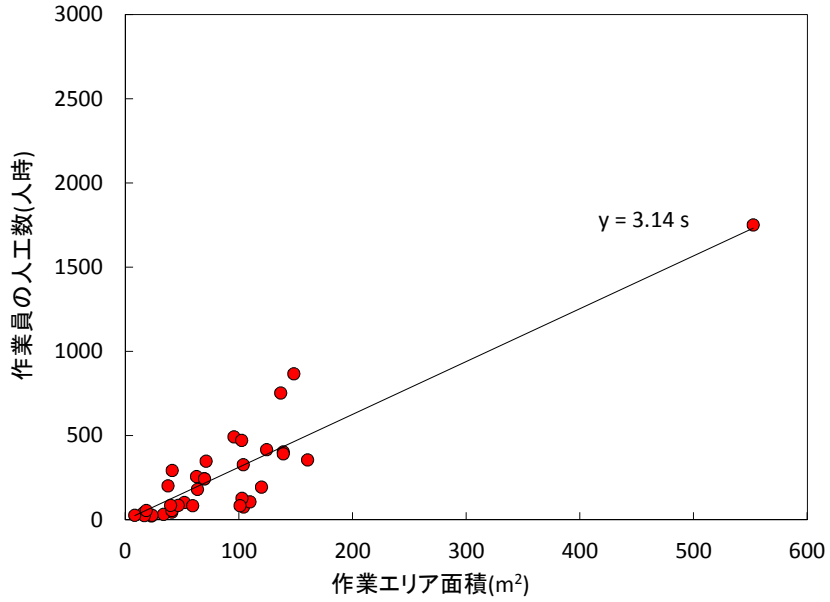

図57　「共通・飛散防止」準備の人工数と作業エリア面積との相関図

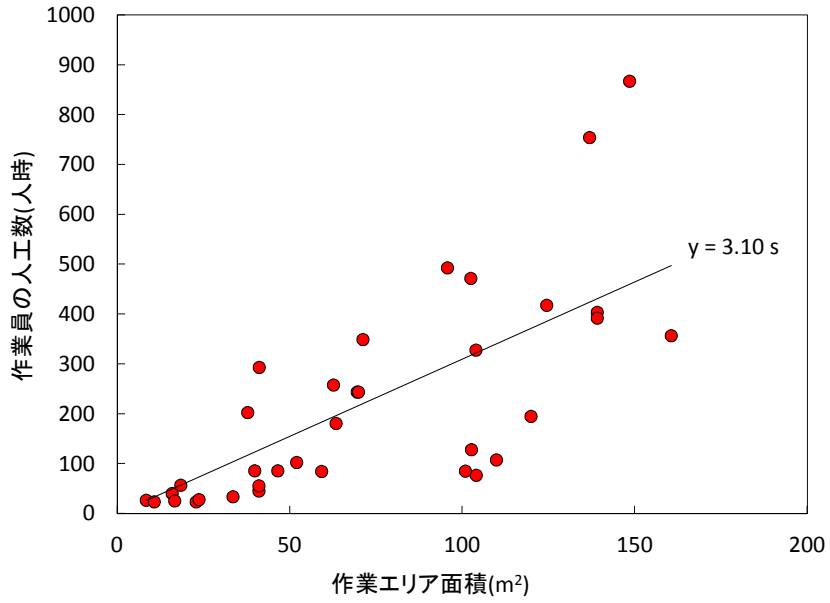

図58　「共通・飛散防止」準備の人工数と作業エリア面積との相関図
（転換試験室データなし）

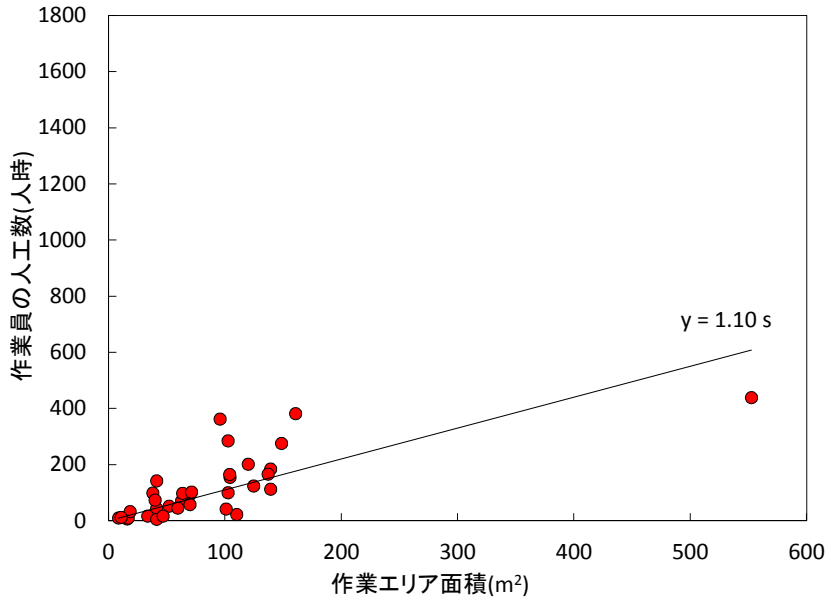

図59　「共通・飛散防止」後処理の人工数と作業エリア面積との相関図

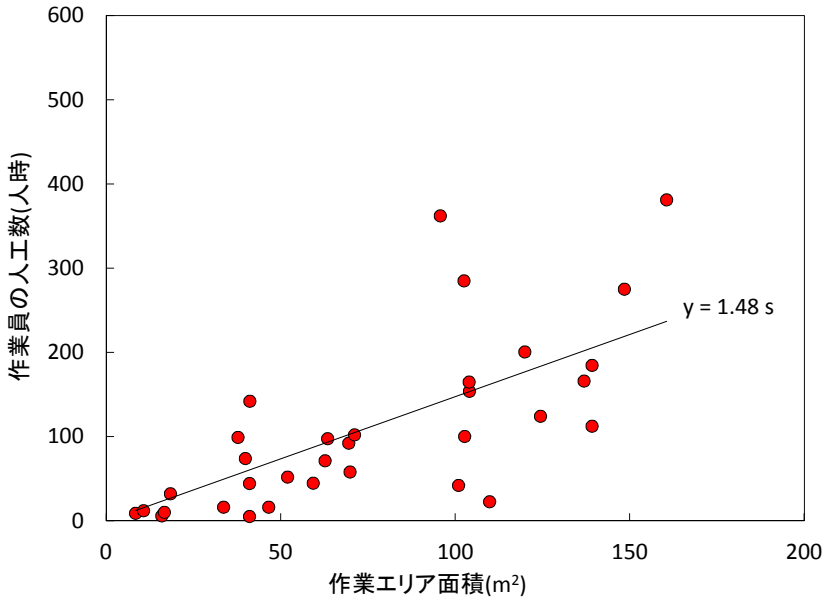

図60　「共通・飛散防止」後処理の人工数と作業エリア面積との相関図
（転換試験室データなし）

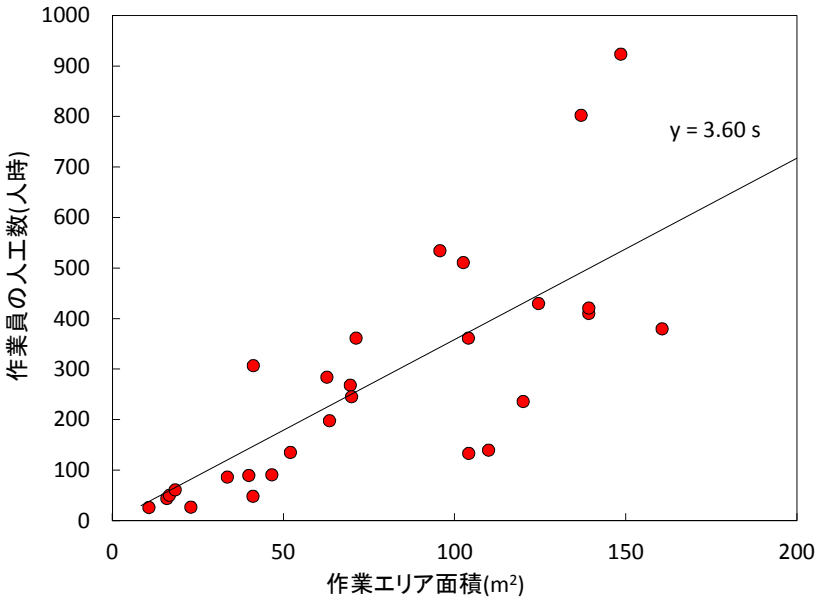

図61　「共通・飛散防止・高所」準備の人工数と作業エリア面積との相関図
（転換試験室データなし）

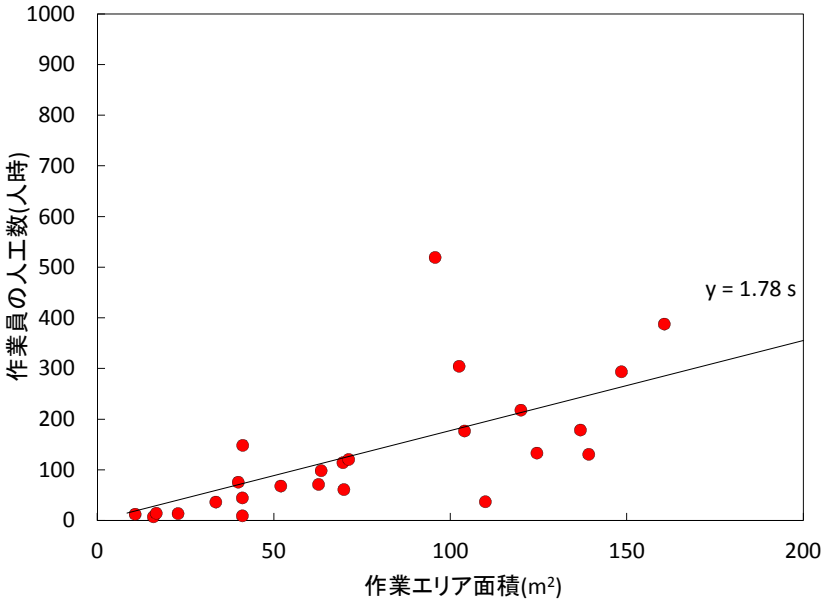

図62　「共通・飛散防止・高所」後処理の人工数と作業エリア面積との相関図
（転換試験室データなし）

This is a blank page.

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
速さ，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	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
磁束	ウエーバ	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	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度(e)	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr(c)	cd
照度	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	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	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	$m^{-1}\ kg\ s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg\ s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m\ m^{-1}\ s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	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} sA
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m^2	m^{-2} sA
電束密度，電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	m^{-2} sA
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} sA
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2\ s^{-3}$
放射強度	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	$W/(m^2\ sr)$	$m^2\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=kg\ s^{-3}$
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	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	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L, l	$1L=1l=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
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	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

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=10^5Pa
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
バーン	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
エルグ	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	$1\ sb=1cd\ cm^{-2}=10^4cd\ m^{-2}$
フォト	ph	$1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}\ 10^4lx$
ガル	Gal	$1\ Gal=1cm\ s^{-2}=10^{-2}ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1\ Mx = 1G\ cm^2=10^{-8}Wb$
ガウス	G	$1\ G =1Mx\ cm^{-2} =10^{-4}T$
エルステッド(c)	Oe	1 Oe ≙ $(10^3/4\pi)$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	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R = 2.58\times10^{-4}C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$
ガンマ	γ	$1\ \gamma=1\ nT=10\text{-}9T$
フェルミ		1フェルミ=1 fm=10-15m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー）4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	μ	$1\ \mu=1\mu m=10^{-6}m$

（第8版，2006年改訂）