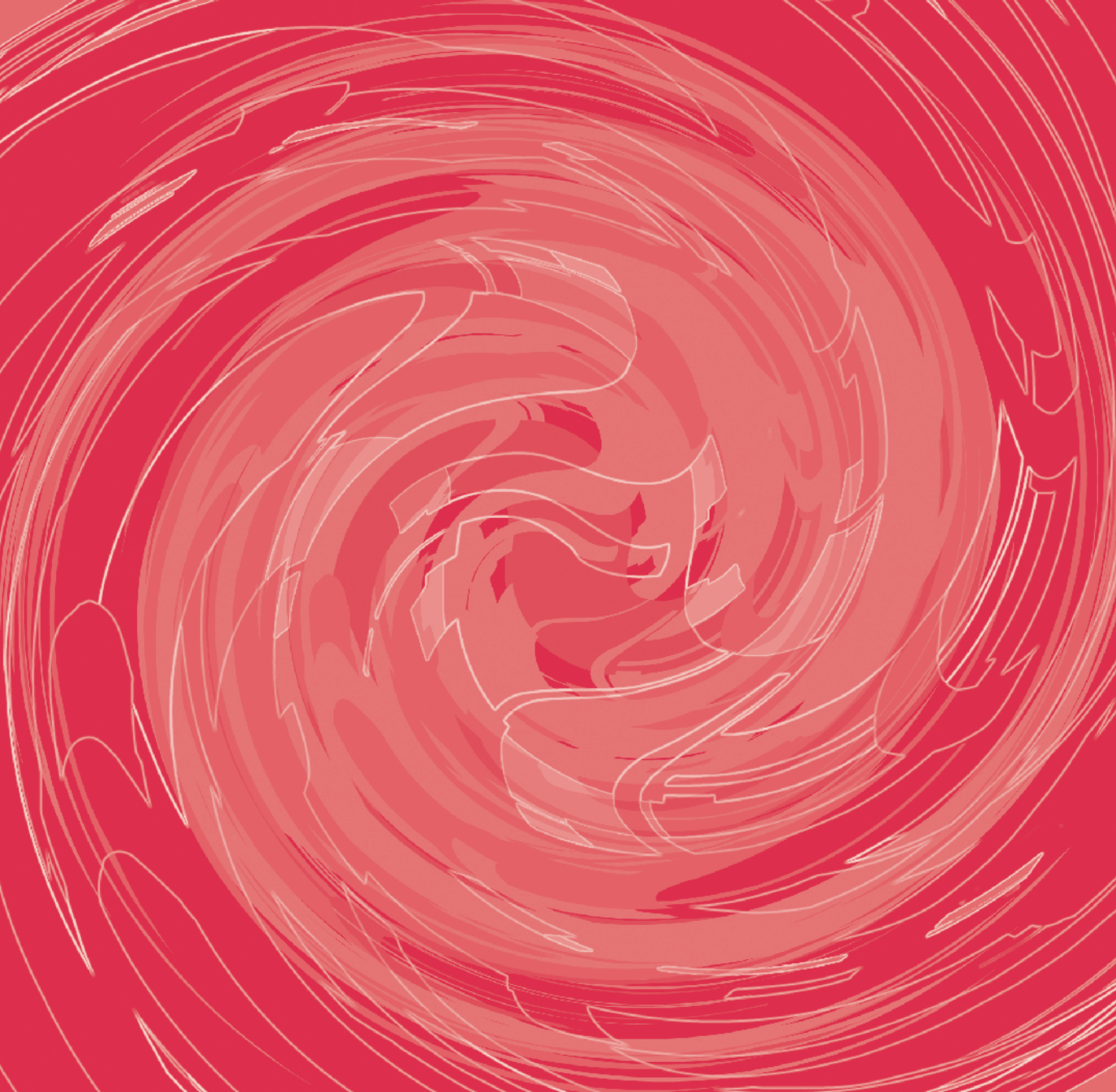


ISSN 0014-5645

FAPIG

THE FIRST ATOMIC POWER INDUSTRY GROUP



172
2006. MARCH



ひとと地球」のテクノロジー

陸・海・空に広がるKawasakiの製品。その一つひとつに、
「技術は“ひとと地球”のためでありたい」と願う、私たちの想いが込められています。

カワサキプラントシステムズ株式会社

東京本社 〒136-8588 東京都江東区南砂2丁目11番1号 TEL03-3615-5200(代) FAX03-5690-3159(代)
 神戸本社 〒136-8588 神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号 TEL078-682-5200(代) FAX078-682-5574(代)
 ホームページアドレス <http://www.khi.co.jp/kplant/>

FAPIG

THE FIRST ATOMIC POWER INDUSTRY GROUP

2006 - 3 / 平成17年度 第3号

No.172

目次

■ 報 告

IFMIF加速器構成材料の重陽子入射による放射化断面積の測定(3)

中尾 誠 / 堀 順一 / 落合謙太郎 / 久保田直義
佐藤 聡 / 山内通則 / 石岡典子 / 西谷健夫

■ 紹 介

固体増殖テストブランケットモジュールの構造概念(8)

野本恭信 / 黒田敏公

3次元形状認識遠隔ハンドリングシステムの開発(13)

富塚千昭 / 竹内 豊

再処理施設の排気モニタリングシステムの設計(19)

中島定雄 / 鈴木善二郎

■ 解 説

認証技術の動向(26)

石見宗彦

■ 随 筆

伊勢街道一人旅(34)

米田正章

■ グループ情報

FAPIGの機構(44)

表紙デザイン：清水郁男

IFMIF加速器構成材料の重陽子入射による 放射化断面積の測定

Measurements of Deuteron-Induced Activation Cross Sections for IFMIF Accelerator Structural Materials

中尾 誠*	堀 順一**	落合謙太郎***	久保田直義***
Makoto Nakao	Jun-ichi Hori	Kentaro Ochiai	Naoyoshi Kubota
佐藤 聡***	山内通則***	石岡典子****	西谷健夫***
Satoshi Sato	Michinori Yamauchi	Noriko Ishioka	Takeo Nishitani

CONTENTS

■ Report

Measurements of Deuteron-Induced Activation Cross Sections for IFMIF Accelerator Structural Materials(3)
M. Nakao / J. Hori / K. Ochiai / N. Kubota
S. Sato / M. Yamauchi / N. Ishioka / T. Nishitani

■ Introduction

Structural Concept of Solid Breeder Test Blanket Module for ITER(8)
Y. Nomoto / T. Kuroda

Development of Remote Handling System Based on 3-D Shape Recognition Technique(13)
C. Tomizuka / Y. Takeuchi

Design of Exhaust Air Monitoring System at Reprocessing Plant(19)
S. Nakashima / Z. Suzuki

■ Commentary

Mechanism of Authentication and Its New Technologies.....(26)
M. Ishimi

■ Essay

Sentiment of Solitary Journey on Ise-kaidou(34)
M. Yoneda

Cover Design : Ikuo Shimizu

〔概要〕

IFMIF (International Fusion Material Irradiation Facility) は核融合材料照射試験を行うための強力中性子源として建設計画中の施設である。本施設では稼働率70%を目指しているが、重陽子による加速器構成材料の放射化によってメンテナンス作業が制限されることが、稼働率を低下させる要因となるため、重陽子入射に対する低放射化材料の選択と放射化断面積の評価は重要な課題である。そこで、本件ではアルミニウム、鉄、銅、タンタル、タングステンについて、重陽子が入射した時に生成される主な放射性核種に対する放射化断面積の測定を行った。

1. はじめに

IFMIF (International Fusion Material Irradiation Facility) は核融合材料照射試験を行

うための強力中性子源として建設計画中の施設である。IFMIFの鳥瞰図を図1に示す。この施設では加速器によって40MeVに加速された250mAの重陽子ビームをLiターゲットに入射させること

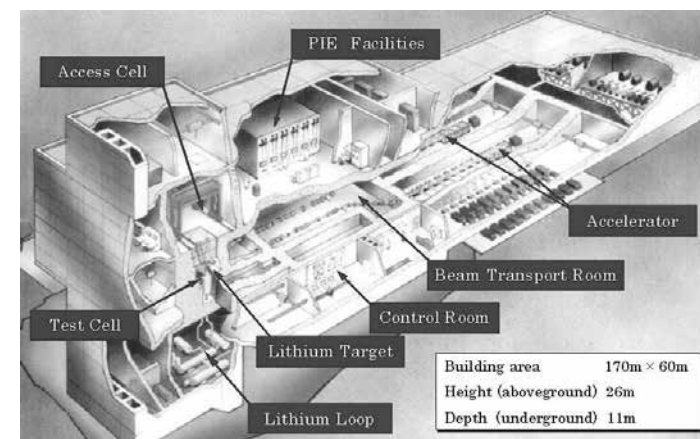


図1 IFMIFの鳥瞰図

*日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門 核融合中性子工学研究グループ (カワサキプラントシステムズ株式会社より出向)

**京都大学原子炉実験所 原子力基礎工学研究部門

***日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門 核融合中性子工学研究グループ

****日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門 ポジトロンイメージング動態解析研究グループ

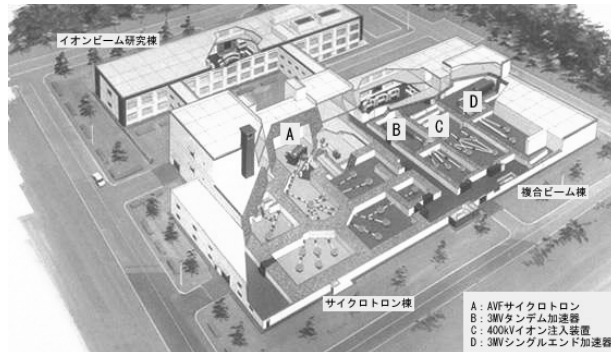


図2 TIARAの鳥瞰図

によって中性子の発生が行われる¹⁾。また施設稼働率として70%を目指しているが、重陽子による加速器構成材料の放射化によりメンテナンス作業が制限されることが、稼働率を低下させる要因となるため、重陽子入射に対する低放射化材料の選択と放射化断面積の評価は重要な課題である。そこで、本件では、アルミニウム（ビームチューブおよびチェンバーの材料）、鉄（ドリフトチューブの材料）、銅（キャビティ壁およびマグネットコンダクターの材料）、タンタルおよびタングステン（ビームスリット材料およびコーティング材）の各金属材料について、重陽子が入射した時に生成される主な放射性核種に対する放射化断面積の測定実験を行った。

2. 実験

2.1. 実験施設

断面積測定の実験は日本原子力研究開発機構のイオン照射研究施設（TIARA）にて行なった。図2にTIARA施設の鳥瞰図を示す。AVFサイクロトロンによって加速された重陽子ビームを測定対象である各金属材料へ照射した。

2.2. 実験方法

断面積の測定には、金属箔を交互に積層して作った試料を照射するstacked foil法を適用した。各金属材料の箔（純度99.9%以上）の大きさは1cm四方で、厚さはそれぞれ200 μ m（アルミニウム）、50 μ m（鉄）、25 μ m（銅）、10 μ m（タンタル）、20 μ m（タングステン）である。これらの試料に重陽子ビームを3～10分間照射し、冷却

させた後、試料を解体し、放射化により各金属箔で生成した放射性核種から放出されるガンマ線を高純度ゲルマニウム検出器により測定した。

3. 放射化断面積の導出

金属箔ごとに、ガンマ線の測定データから算出された各放射性核種の放射能および入射した重陽子の個数から放射化断面積を導出した。金属箔への入射重陽子数は、Takacsらが最近発表した²⁾ $^{nat}\text{Cu}(d, x)^{65}\text{Zn}$ の断面積²⁾の値を用いて算出した⁶⁵Znの放射能から求めた。各箔での重陽子のエネルギーの減衰はIRACMコード³⁾を用いて計算し、各箔の前面と後面でのエネルギーの中間値をその箔から求まる断面積のエネルギー点とした。

4. 測定結果

今回の実験で得られた重陽子のエネルギー領域20-40MeVでの放射化断面積の値を、他の実測値およびALICE-Fコード⁴⁾によって計算された放射化断面積ライブラリーACSELAMの値と比較した図を以下、金属材料ごとに示す。

4.1. アルミニウム

$^{27}\text{Al}(d, x)^{22}\text{Na}$ （半減期26年）および $^{27}\text{Al}(d, x)^{24}\text{Na}$ （半減期15.0時間）の反応に対する断面積をそれぞれ図3、4に示す。どちらも、Takacs²⁾、Martens⁵⁾、Michel⁶⁾らの測定値と誤差の範囲内で一致する結果となった。ACSELAMの値はファクター3～9の過少評価となった。

4.2. 鉄

$^{27}\text{Fe}(d, x)^{55}\text{Co}$ （半減期17.5時間）および

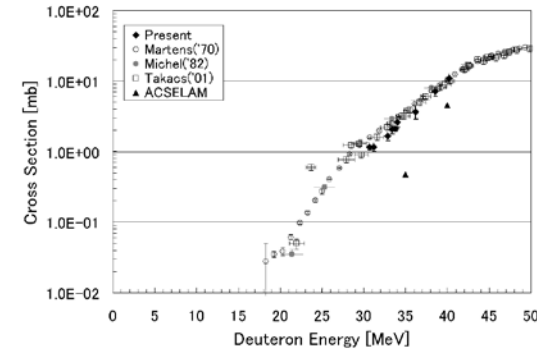


図3 $^{27}\text{Al}(d, x)^{22}\text{Na}$ 反応に対する断面積

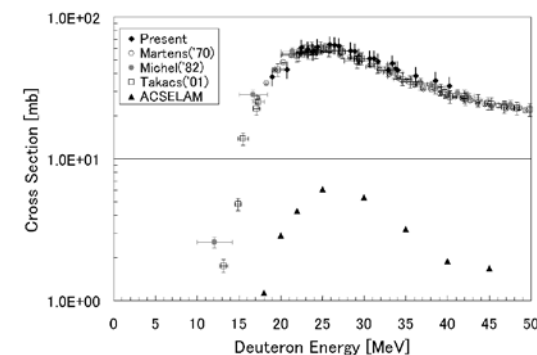


図4 $^{27}\text{Al}(d, x)^{24}\text{Na}$ 反応に対する断面積

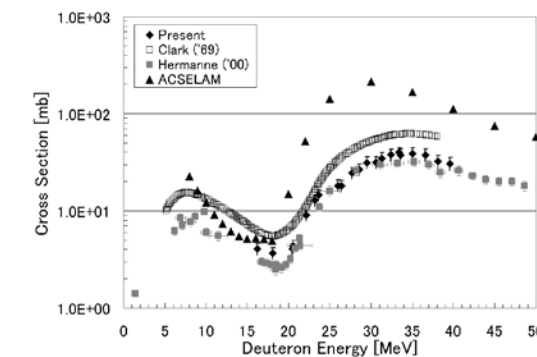


図5 $^{nat}\text{Fe}(d, x)^{55}\text{Co}$ 反応に対する断面積

$^{27}\text{Fe}(d, x)^{56}\text{Co}$ （半減期77日）の反応に対する断面積をそれぞれ図5、6に示す。⁵⁵Coに関しては、Clark⁷⁾の値と60%以内で、Hermanne⁸⁾の値と30%以内で一致した。またACSELAMの値は最大でファクター6の過大評価となった。⁵⁶Coに関してはTakacs²⁾の値とよく一致し、ACSELAMの値は最大でファクター2の過大評価となった。

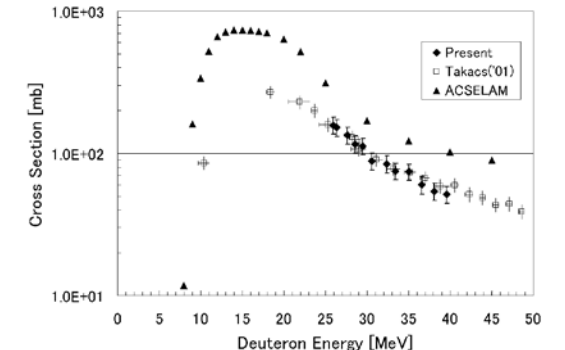


図6 $^{nat}\text{Fe}(d, x)^{56}\text{Co}$ 反応に対する断面積

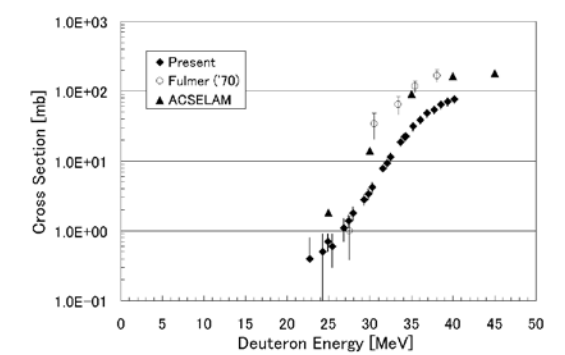


図7 $^{nat}\text{Cu}(d, x)^{61}\text{Cu}$ 反応に対する断面積

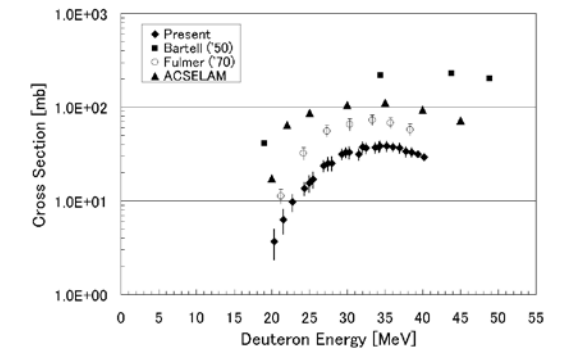


図8 $^{nat}\text{Cu}(d, x)^{62}\text{Zn}$ 反応に対する断面積

4.3. 銅

$^{nat}\text{Cu}(d, x)^{61}\text{Cu}$ （半減期3.3時間）および $^{nat}\text{Cu}(d, x)^{62}\text{Zn}$ （半減期9.2時間）の反応に対する断面積をそれぞれ図7、8に示す。どちらもFulmer⁹⁾およびACSELAMの値よりファクター2～3小さい値となった。またBartell¹⁰⁾の値は今回の値よりファクター6程度過大であった。

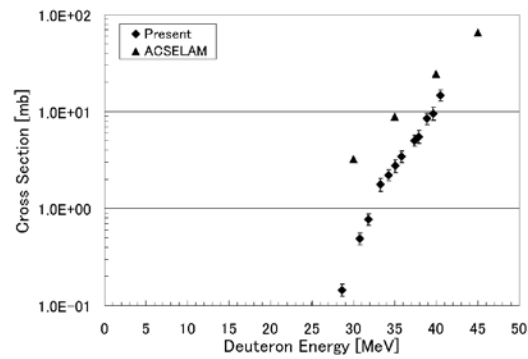


図9 $^{nat}\text{Ta}(d, x)^{178}\text{Ta}$ 反応に対する断面積

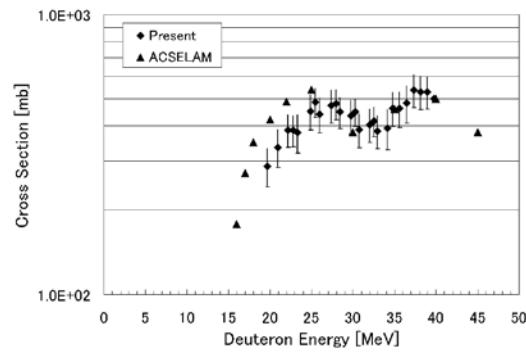


図11 $^{nat}\text{W}(d, x)^{181}\text{Re}$ 反応に対する断面積

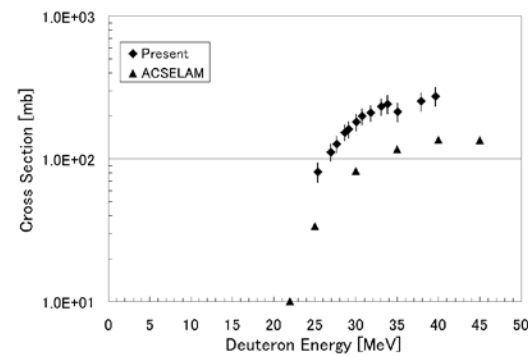


図10 $^{nat}\text{Ta}(d, x)^{180}\text{Ta}$ 反応に対する断面積

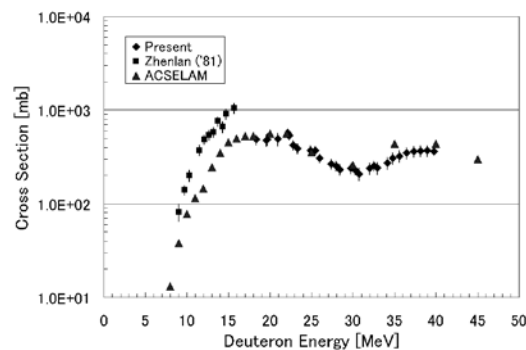


図12 $^{nat}\text{W}(d, x)^{183}\text{Re}$ 反応に対する断面積

4.4. タンタル

$^{nat}\text{Ta}(d, x)^{178}\text{Ta}$ (半減期2.4時間) および $^{nat}\text{Ta}(d, x)^{180}\text{Ta}$ (半減期8.2時間) の反応に対する断面積をそれぞれ図9, 10に示す。このエネルギー領域では他の実測値はなく, ACSELAMの値は ^{178}T でファクター2~7の過大評価, ^{180}Ta でファクター2~3の過少評価となった。

4.5. タングステン

$^{nat}\text{W}(d, x)^{181}\text{Re}$ (半減期19.9時間), $^{nat}\text{W}(d, x)^{183}\text{Re}$ (半減期70日) の反応に対する断面積をそれぞれ図11, 12に示す。他の実測値としてあるのはZhenlan¹¹⁾による16MeV以下のエネルギー領域での ^{183}Re の値のみである。またACSELAMの値は40%以内で一致した。

5. まとめ

IFMIF設計に用いる放射化評価のために, 日本原子力研究開発機構のイオン照射研究施設TIARAにて, IFMIF加速器構成材料であるアル

ミニウム, 鉄, 銅, タンタル, タングステンに重陽子を照射し, 放射化により生成した放射性核種ごとに断面積を測定した。測定により重陽子エネルギー20-40MeVの領域で断面積の値を得ることができた。ALICE-Fコード⁴⁾によって計算された放射化断面積ライブラリーACSELAMの値は鉄およびタンングステンから生成する核種以外, 断面積がファクター2以上の過大または過少評価となった。今後の計画としては, 他の材料(金, SUS316, フェライト鋼)の放射化評価を行い, またTALYS¹²⁾などの他の計算コードを用いて断面積を算出し, 実験値との比較・検証を行なう予定である。

参考文献

- 1) IFMIF International Team, IFMIF-KEP; International Fusion Materials Irradiation Facility key element technology phase report, JAERI-Tech 2003-005 (2003)
- 2) S. Takács, et al., New Cross-Sections and

- intercomparison of deuteron monitor reactions on Al, Ti, Fe, Ni and Cu, Nucl. Inst. Meth., B 174 (2001) 235
- 3) S. Tanaka, M. Fukuda, K. Nishimura, et al., IRACM: A Code System to Calculate Induced Radioactivity Produced by Ions and Neutrons, JAERI-Data/Code 97-019 (1997)
 - 4) 馬場澄子他, 計算コードALICEの内容と使用法, JAERI-memo 7768 (1978)
 - 5) T U. Martens, G. W. Schweimer, Production of be-7, Na-22, Na-24 and Mg-28 by Irradiation of Al-27 with 52 MeV Deuterons and 104 MeV Alpha Particles, J. Zeitschrift fur Physik. 233 (1970) 170
 - 6) R.Michel, G.Brinkmann, M.Galas, R.Stuck, Production of 24-Na and 22-Na by 2-H-induced reactions on aluminium, EXFOR No. A0158 (1982)
 - 7) J.W.Clark, C.B.Fulmer, I.R.Williams, Excitation Function for Radioactive Nuclides Produced by Deuteron-Induced Reactions in Iron, Phys. Rev.

- 179 (1969) 1104
- 8) A. Hermanne, M. Sonck, S. Takács, F. Tarkanyi, Experimental study of excitation function for some reactions induced by deuteron (10-50 MEV) on natural Fe and Ti, Nucl. Inst. Meth. B 161-163 (2000) 178
- 9) C.B.Fulmer, I.R.Williams, Excitation Functions For Radioactive Nuclides Produced By Deuteron-Induced Reactions in Copper, Nucl. Phys. A 155 (1970) 40
- 10) F. O. Bartell, A.C. Helmholtz, S.D. Softky, D.B. Stewart, Excitation Functions for Spallation Reactions on Cu, Phys. Rev. 80 (1950) 1006
- 11) T. Zhenlan, Q. Huiyuan, W. Gongoing, EXCITATION FUNCTIONS FOR W-182-186 (D, 2N) RE-182-186 AND W-186 (D, P) W-187 REACTIONS, Chinese Nucl. Phys. 3 (1981) 242
- 12) A. J. Koning, S. Hilaire, M. Duijvestijn, TALYS-0.64 USER MANUAL, NRG Report 21297/04.62741/P FAI/AK/AK (2004)

固体増殖テストブランケットモジュールの構造概念

Structural Concept of Solid Breeder Test Blanket Module for ITER

野本 恭信* 黒田 敏公**
Yasunobu Nomoto Toshimasa Kuroda

〔概要〕

ITERテストブランケットモジュール試験は、ITER（国際熱核融合実験炉）の水平ポートにトリチウムの増殖機能や発電機能を有するブランケットモジュール（テストブランケットモジュール：TBM）を取り付けて機能試験を行い、原型炉ブランケットの研究開発に資する試験データを取得するものである。構造材に鉄鋼材料を使用し、冷却材に水を採用した固体増殖方式のブランケットは、原型炉ブランケットの第一候補方式であり、本方式のTBMは、ITER運転初日よりモジュール試験の実施を計画している。本論文では、鉄鋼材料・水冷却・固体増殖方式TBMについて、基本仕様、ならびに、構造概念を紹介する。

1. 緒言

ブランケットは、核融合炉においてプラズマに対向して設置され、(1)トリチウムの生産、(2)熱エネルギーの取りだし、(3)中性子の遮蔽、といった役割を担う炉内機器である。TBMとは、原型炉ブランケットの研究開発に資するために、トリチウムの増殖機能や発電機能の実証を目的としてITERで試験を行うブランケットであり、このモジュール試験計画は、ブランケット研究開発において最も重要なマイルストーンの一つである。よって、原型炉ブランケットと同じ方式を採用したTBMに対して、研究開発や試験計画の策定を進め、ITERと原型炉のブランケット条件の違いに対し、外挿性の良好な試験データを取得することが極めて重要となる¹⁾。

日本では、原型炉ブランケット開発を目指し、固体増殖方式のブランケットを中心に液体増殖方式のブランケットについても、日本原子力研究開発機構や大学などが協力して検討を実施している。特に、構造材に鉄鋼材料を使用し、冷却材に水を採用した固体増殖方式のブランケットは、材料基礎データが豊富なこと、製作技術の統合が最

も進展していること、ならびに、水冷却により高い除熱性能が得られることより、原型炉ブランケットの第一候補方式として開発が進められている²⁾。本方式のTBMについては、ITER運転初日よりモジュール試験の実施を計画している。

本論文では、原型炉ブランケットの最有力候補と目されている鉄鋼材料・水冷却・固体増殖方式を採用したTBMについて基本仕様、ならびに、構造概念を紹介する。

2. 原型炉ブランケットの構造概念

TBMは、原型炉の増殖ブランケットに対して、設計の妥当性や機能、健全性を検証するモジュールであり、使用材料や基本構造は原型炉ブランケットを模擬できるものとする必要がある。したがって、TBMの構造概念構築にあたり、土台となる固体増殖方式の原型炉ブランケット構造概念について、最初に紹介する。

図1に、構造材に鉄鋼材料、冷却材に水を使用し、固体増殖方式を採用した原型炉ブランケット構造概念を示す。本ブランケットは、鉄鋼材料で構成される筐体構造の内部に、ペブル状のトリチ

ウム増殖材と中性子増倍材が交互に層状に充填した構造概念を有する。プラズマに対向するブランケット第一壁は、除熱の観点より矩形冷却管を内蔵した構造を採用し、その製作は、矩形冷却管、ならびに、板材を熱間等方圧加圧法（HIP）により一体成型する方法を主案に考えている。原型炉

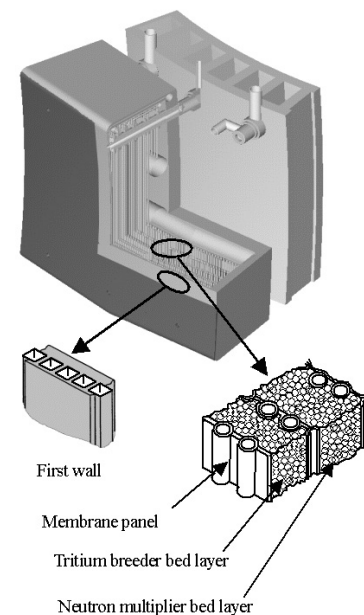


図1 原型炉ブランケット構造概念

ブランケットの候補材料については、構造材料には低放射化フェライト鋼（F82H鋼）、トリチウム増殖材にはLi₂TiO₃などのリチウムセラミックス、また、中性子増倍材にはベリリウム、もしくは、ベリリウム合金が使用される。冷却材については、PWR相当の加圧軽水、もしくは、より高い発電効率を目指し超臨界圧水を用いた概念設計が実施されている^{2)~4)}。

3. 水冷却TBMの構造概念

3.1. 基本仕様

TBMは、独立した2体のモジュールが共通フレームに装着され、共通フレームごとITER水平ポートに設置される。水冷却TBMの場合は、鉛直方向に分割された共通フレームに装着される計画であり、その寸法は、縦1740×横530×厚さ600mmと縦長な形状を有する。水冷却TBMに使用される材料については、固体増殖方式の原型炉ブランケットに併せ、構造材にF82H鋼、トリチウム増殖材にはLi₂TiO₃、また、中性子増倍材にはベリリウムが第一候補材料に挙げられている。冷却材には加圧軽水が用いられ、冷却条件は発電プラントとして多数実績を有するPWR条件に併せている。ただし、先進オプションとして、圧力

表1 水冷却TBM基本仕様

Items	Unit	Reference	Advanced
Structural material		Reduced activation ferritic steel (F82H)	
Neutron multiplier		Be or BeTi alloy pebble	
Tritium breeder		Li ₂ TiO ₃ or other lithium ceramics pebble	
Armor		Be	
Area of first wall	m ²	0.53 ^W ×1.74 ^H	
TBM thickness	m	0.6	
Coolant		Pressurized water	Supercritical water
Coolant pressure	MPa	15.5	25.0
Coolant inlet/outlet temperature	℃	280.0/325.0	360.0/380.0
Coolant Flow Rate	kg/s	4.33	4.60
Surface Heat Flux	MW/m ²	0.3	
Neutron Wall Load	MW/m ²	0.78	
Total Heat Deposit	MW	1.09	
Total Tritium Production	g/FPD	0.156	

*カワサキプラントシステムズ(株) プロジェクト開発総括部 原子力室（現在、日本原子力研究開発機構へ出向中）

**カワサキプラントシステムズ(株) プロジェクト開発総括部 原子力室

25MPaの超臨界圧水を用いたモジュール試験も計画している。熱負荷条件に関しては、ブランケット構造材は0.78MW/m²規模の中性子負荷を受けるとともに、プラズマに対向する第一壁表面にて0.3MW/m²程度の表面熱負荷に曝され、水冷却TBMの発熱量は約1.1MWと評価される。表1に、水冷却TBMの基本仕様を示す。

3.2. 構造概念

図2に、水冷却TBMの構造概念を示す。水冷却TBMは、同じ構造を有する2体の箱型サブモジュールを後壁にて電子ビーム溶接により接続する構造案を採用した。本構造は、原型炉においてプラズマディスラプション時にブランケットに生ずる電磁力を低減する観点で採用したスリット入り筐体構造を模擬した構造であり、サブモジュール

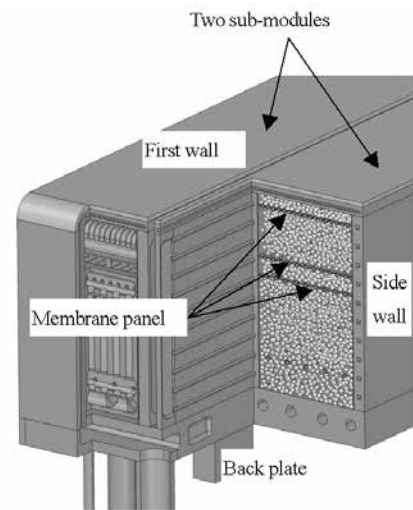


図2 水冷却TBM構造概念

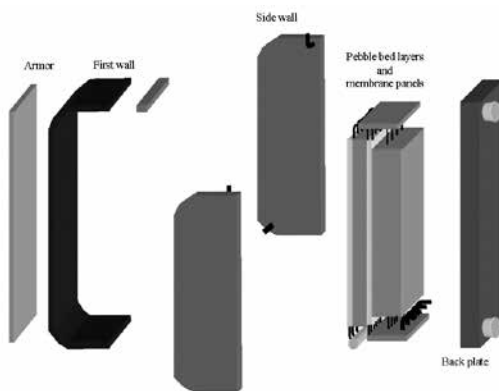


図3 水冷却TBMサブモジュール組立て概念

ルの分割数は、筐体内部へ冷却材が漏洩する事故発生時のTBM耐圧性を考慮し設定した。

図3に、水冷却TBMサブモジュールの組立て概念を示す。2体のサブモジュールは、上面、プラズマ対向面および底面からなるコの字型の第一壁、側壁および後壁を接続した筐体構造を有する。第一壁と側壁は、内部に矩形冷却流路を埋め込み効率的な除熱を行う構造を有し、その製作には、矩形冷却管と板材をHIPにより一体成型する方法を主案と考えている。また、サブモジュール筐体構造の成型にはTIG溶接を適用する。サブモジュール筐体構造内部には、ペブル状のトリチウム増殖材および中性子増倍材が、交互に層状に充填される。トリチウム増殖材層と中性子増倍材層はF82H鋼薄板とメンブレンパネルにより成型されたペブル充填容器内に充填される。メンブレンパネルは、冷却管をフィンで接続した構造を有し、トリチウム増殖材層と中性子増倍材層を隔離すると同時に各層の冷却を担う。ペブル充填容器は、第一壁と後壁に溶接にて接続される。

図4に、水冷却TBMの代表的な水平断面を示す。第一壁の冷却流路寸法やピッチ、壁厚さなどの構造寸法については、表面熱負荷や体積発熱および冷却材の内圧に耐えるとともに、原型炉ブランケットで想定される構造材の最高使用温度が再現できるよう設定した。また、トリチウム増殖材層や中性子増倍材層の厚み、ならびに、メンブ

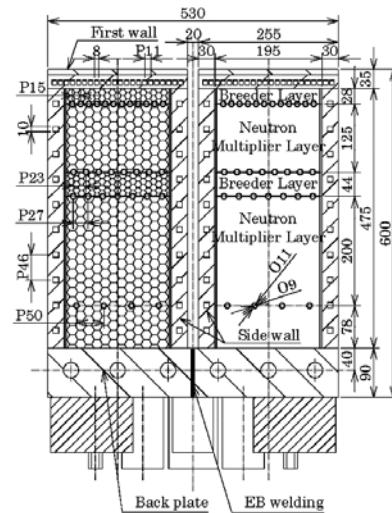


図4 水冷却TBM水平断面図

ンパネルの冷却管ピッチについては、原型炉ブランケットで想定される各ペブル材の最高使用温度条件に合致するようITERの運転条件に基づき核解析を実施し、設定した。

3.3. 冷却材流れとTBM接続配管仕様

図5に、水冷却TBMの冷却材流れのフローチャートを示す。圧力15.5MPa、温度280℃で供給された冷却材は、TBM後壁下部に設けられた冷却材入口ヘッダで分岐され、サブモジュールを並列に冷却する。冷却材は最初に第一壁の矩形冷却流路を上昇し、続いて両側壁の矩形冷却流路を下

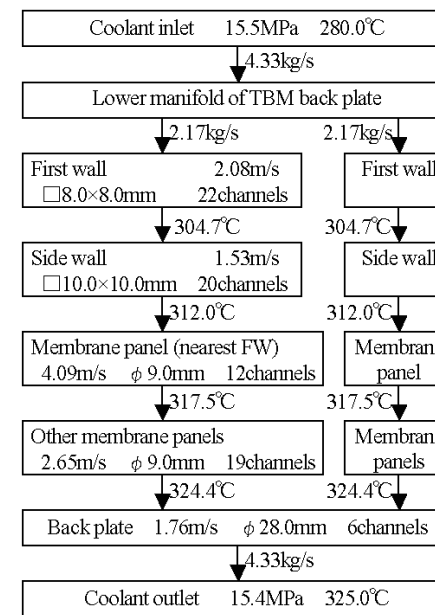


図5 水冷却TBM冷却材流れ

降する。側壁を冷却した後、最もプラズマ寄りのメンブレンパネルを冷却材は上昇し、プラズマ側のトリチウム増殖材層と中性子増倍材を冷却する。次に、残り3本のメンブレンパネルを並列に下降した後、2サブモジュールを並列に流れた冷却材は後壁に戻って合流する。最後に、後壁内の冷却流路を上昇し冷却材出口ヘッダに到達し、通常運転時には冷却材温度は325℃まで昇温され、冷却システムへ戻される。また、TBM内での冷却材圧力損失は、約92.2kPaと評価された。水冷却TBMを出た冷却材は、タービンシステムを保有する冷却システムに送られ、発電実証を行う計画である。

表2に、水冷却TBMに接続される配管仕様を示す。水冷却TBMには冷却材用の出入り口配管のほか、TBM内で発生したトリチウムを回収するためのパージガス用の出入り口配管や中性子フラックスセンサー、熱電対等の計測ケーブル類を接続するための導管が接続される。これらの配管は全てTBM後壁に溶接されるが、互いに干渉することなく、かつ、TBM内部の冷却材流れとも整合が採れるよう配置した。

4. 結 言

本論文では、現在、原型炉ブランケット研究開発において最有力候補となっている鉄鋼材料・水冷却・固体増殖方式を採用したTBMの構造概念を紹介した。本方式のTBM基本構造として、原型炉ブランケットにおける電磁力の低減、なら

表2 水冷却TBM接続配管

	Coolant condition			Pipe specification		
	Pressure	Temperature	Flow rate	OD/ID	Number	Velocity
	MPa	℃		mm		m/s
Coolant inlet	15.5	280.0	4.33kg/s	89.1/66.8	1	1.62
Coolant outlet	15.5	325.0	4.33kg/s	89.1/66.8	1	1.86
Purge gas inlet	0.1	RT	2.59Nm ³ /h	25.4/18.4	4	2.70
Purge gas outlet	0.1	450.0	2.59Nm ³ /h	25.4/18.4	4	6.67
Cable conduit				76.3/57.3	4	
Cable conduit for MI cable				13.8/7.8	4	

びに、冷却材漏洩時の耐圧性の観点より、サブモジュール構造を採用した。また、TBMサブモジュールは、第一壁、側壁および後壁より構成される筐体構造内部に、ペブル状のトリチウム増殖材および中性子増倍材が、交互に層状に充填され、各層はメンブレンパネルで隔離される構造概念を有する。水冷却TBMの詳細な寸法構造については、原型炉ブランケットの運転条件を想定したモジュール試験が可能となるよう設計を進めている。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、日々の研究作業の中で貴重な助言と数多くのご指導を賜った日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門 ブランケット工学研究グループの皆様に、厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 田中他, ITERテストブランケット開発の現状, プラズマ・核融合学会誌, 81(6), (2005) pp.434-450
- 2) M. Enoeda et al., Design and technology development of solid breeder blanket cooled by supercritical water in Japan, Nucl. Fusion 43 (2003) pp.1837-1844.
- 3) Y. Seki and SSTR Design Team, The Steady State Tokamak Reactor, Proc. 13th Int. Conf. Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research, Washington, D.C., October 1-6, 1990, IAEA-CN-53/G-I-2.
- 4) S. Mori et al., Blanket and divertor design for the steady state tokamak reactor (SSTR), Fusion Eng. Des. 18 (1991) pp. 249-258.

3次元形状認識遠隔ハンドリングシステムの開発

Development of Remote Handling System Based on 3-D Shape Recognition Technique

富塚千昭* 竹内 豊**
Chiaki Tomizuka Yutaka Takeuchi

〔概要〕

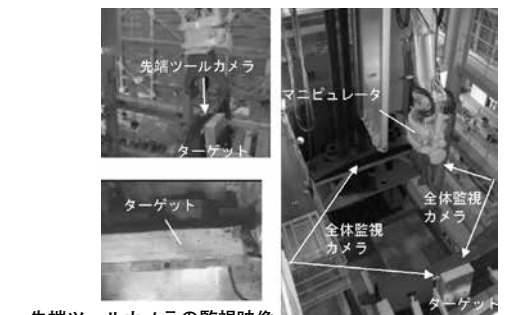
原子力分野の放射線環境におけるハンドリング作業では、人が作業環境に立ち入ることができないため、遠隔操作機器を使用する。富士電機システムズ(株)では、形状認識技術を応用してハンドリング対象(ターゲット)の位置、姿勢を特定、ビジュアル化する遠隔操作補助システムの開発を行っている。オペレーターは本システムの操作画面を見ることによってマニピュレータなどのハンドリング装置を容易に操作することが可能となる。本稿では、本システムの概要および開発内容を紹介する。

1. はじめに

従来の遠隔操作機器の代表である燃料取扱設備では、原子炉内の例を見るまでもなく取扱対象の核燃料が厳密な位置、方位に配置されており、厳しい環境下で、精密で高度な動きを要求されるものの、定められた軌道を一定量動いたら止まる、次に別の動作に移る、といったあらかじめ計画された作業を行うものが主であった。この方式は、ターゲットの位置、姿勢が既知である作業では有効であった。近年、位置、姿勢が不特定なターゲットを取り扱うケースが増えてきており、このような場合には多関節マニピュレータをマニュアル操作して作業を行っている。

廃止措置における原子炉解体作業(概念)¹⁾や、セル内の遠隔作業では、多関節マニピュレータ、カメラを作業環境に設置し、操作室でカメラの映像を見ながらマニュアル操作する。図1は原子炉遠隔解体試験装置の例である。この装置を使用して床にあるターゲットをマニピュレータでつかみ上げる遠隔操作試験²⁾(図2参照)では、カメラの台数を変えて作業効率(作業時間)への影響を調べた。カメラ映像では奥行き感がつかみづらかったり、手前にある物に遮られてターゲットの映

像が十分に得られない場合がある。これを補うためにカメラの台数を増やすと、作業効率は良くなる。一方、多くの映像を見比べながら長時間作業するとオペレーターへの負担が大きくなり、作業効率が落ちることも考えられる。また、どのような場面でも最良の位置にカメラを設置できるとは限らない。



先端ツールカメラの監視映像

図1 解体作業におけるカメラ映像の例



全体監視カメラ映像

先端ツールカメラ映像

図2 監視映像の例

*富士電機システムズ(株) 発電プラント本部 原子力統括部 設計部

**富士電機アドバンステクノロジー(株) 情報通信制御部

ターゲットやその近傍に付けたマークやガイドを目安にして操作する工夫もよく行われている。図3はツールの先端をターゲットの穴に挿入するために、ツールに付けたレーザポインターからターゲットにレーザスポットを照射し、カメラ映像を見ながら位置合わせを行う例である。しかし、いずれの工夫をしてもターゲット以外の物が隣接する複雑な作業環境になるほど、多くのカメラ映像が必要になる。多くのカメラ映像の中からどの映像を選択して作業を行えばよいか、位置合わせのマークはどのように活用すればよいかなどの判断はオペレーターの経験に依存するため、オペレーターの熟練度が作業効率、作業内容の質に影響してくる。そのため、熟練度の違いによらず均質な作業が行えるように技量をカバーするシステムが望まれている。

2. 遠隔ハンドリングシステム概念

このような背景から開発を行っている遠隔ハンドリングシステム概念を図4に示す。

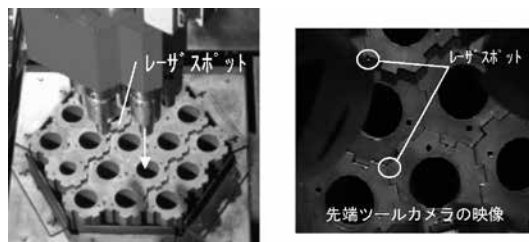


図3 マークによる位置合わせの例

本システムは、ターゲットの位置、姿勢を遠隔操作時に見る操作画面に表示し、マニピュレータのマニュアル操作に必須の画像、距離情報を提供する遠隔操作補助システムである。操作画面にはカメラの実映像の他に、作業環境（シーン）をバーチャルに表現した監視画像を表示する。シーンは作業環境に設置する距離センサでターゲットを含む領域をスキャンすることによって点群データとして得られ、以下の特徴を持っている。

- ①シーンは3次元情報（空間の3次元座標）を持った点群で表現される。
- ②シーンの中にあるターゲットの輪郭およびマニピュレータの外形を表示する。
- ③シーンを見る視線は任意に移動させることができる。
- ④マニピュレータ先端とターゲットなど、距離を知りたい任意の2点間を監視画像上でポイントニングすることにより、その距離を得ることができる。

オペレータは、現場に設置するカメラの実映像と、上記の監視画像の両方が表示された操作画面を見て操作する。操作画面のイメージを図5に示す。操作画面左側はカメラの実映像である。右側は距離センサでスキャンした監視画像である。監視画像の最大の特徴は、ターゲットの一部しかセンサで捉えていなくても、見えている部分的な形状の特徴から3次元形状認識技術を応用して、シーンの中からターゲットの部分を探し出し、その

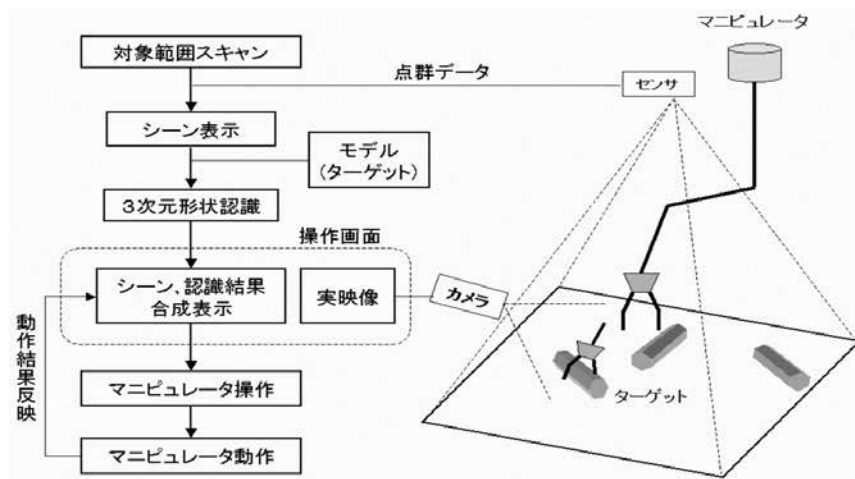


図4 遠隔ハンドリングシステム

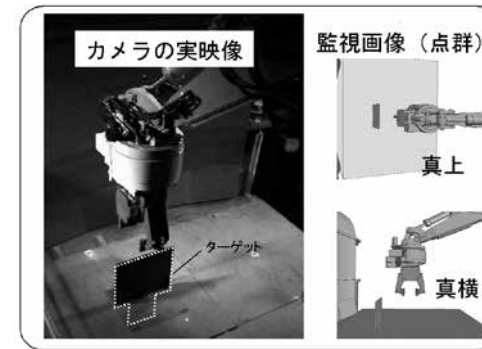


図5 操作画面(イメージ)

全体象を輪郭で合成表示することにある。さらにこの監視画像は、マニピュレータの外形も合成表示され、視線を見たい方向に自由に変えられるバーチャルな画像になっている。オペレータは監視画像を見ることによって、ターゲットとマニピュレータとの位置関係を眺め回している感覚が得られる。

例えば、図5では、実映像は固定カメラの特定方向だけの映像であり距離感がつかみづらいが、真上、真横から見た監視画像を併用することによって、マニピュレータとターゲットとの水平、垂直距離感が捉え易くなり、画面に表示される距離も併せると、図5に示されたシーンから、あとどれくらい、どのようにマニピュレータを動かせばよいか分かる。

マニピュレータを操作すると、バーチャル画像のマニピュレータも実物と同じようにリアルタイムで動作する。マニピュレータの操作中、その状況を監視することによって目的の作業を遂行することが可能になる。

本システムは点群で表現された複数のターゲットの形状モデルをデータベースとして持っており、ハンドリング対象として選択したターゲットと、スキャンしたシーン（点群データ）とを照合し、3次的に形状を認識することによってターゲットの位置、姿勢を特定している。本研究では、ターゲットの一部しか見えない状況でも位置、姿勢を特定することを第一目標として、3次元形状認識技術を中心に、開発に取り組んできた。

3. 3次元形状認識技術

コンピュータによる認識技術は、人間の認識・判断を伴う業務を自動化する試みにおいて、必須である。しかし、人間の認識・判断のプロセスは解明されておらず、汎用的な認識アルゴリズムも研究途上であるため、自動化すべき業務ごとに専用の認識アルゴリズムを開発し対応することが多い。

人間の視覚認識・判断を自動化する技術は研究が進んでおり、2次元画像を用いた産業用の検査・認識装置や、近年ではバイオメトリクス認証装置が普及している。これらは、対象物を見る視点が固定された環境を想定している。したがって、前述のカメラによる遠隔操作のような、さまざまな視点が必要となる環境においては、十分に要求に答えることは難しい。

このような課題を解決するためには、3次元認識技術が有効である。3次元のデータ処理は、2次元のデータ処理と比較して、膨大なデータを扱う必要があり、それらを処理するコンピュータの能力が必要である。これらの課題は、近年のコンピュータの急速な発展により実現可能となった。一方、高価・特殊であった距離センサ技術においては、レーザ方式、複眼カメラ方式とも、機器の低価格化が進み、広く利用されるようになった。こうした状況から、3次元認識技術が現実的になり、研究が進められるようになったが、未だ確立した手法がないのが現状である。

2次元認識の限界と3次元認識の課題は、以下の点にある。3次元の物体を2次元として観測するには、ある視点からの画像として扱うことになる。カメラ画像や写真が相当する。同一物体であっても、視点が異なれば画像は異なる。人間は、物体の形状を経験的に理解しているため、視点が異なる画像からも物体を認識することができる。しかし、コンピュータは経験的な知識を持っていないため、同様の認識を行うためには、あらゆる視点からの2次元画像を保持し2次元認識アルゴリズムを適用するか、視点に依存しない3次元認識アルゴリズムを適用する必要がある。前者は既存技術を適用できる利点はあるが、距離により対象物の大きさが変化するような遠近感に対応する

ことが難しい。

本システムでの研究課題は、あらかじめ想定した対象物（モデル）が任意の位置に任意の姿勢で含まれるシーンを距離センサで点群として測定し、3次元形状認識技術を用いて、点群からモデルの種類および姿勢を特定することである。次に、3次元認識技術を適用し、マニピュレータの操作を支援するハンドリングシステムを構築することである。

3.1. 3次元形状認識の原理

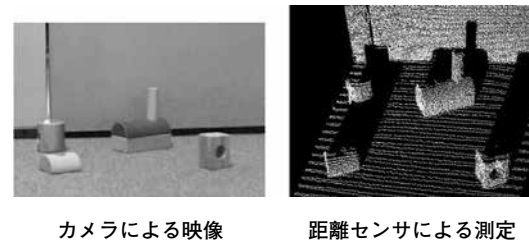
画像のように認識対象のデータ量が大きい場合、認識アルゴリズムでは、データをそのまま扱うのではなく、情報ロスの少ない低次元の量に変換して扱うことが一般的である。低次元の量は特徴量と呼ばれる。視点や対象物の姿勢、対象物までの距離に依存しない認識を実現するためには、対象物上のある点を表す特徴量が、視点や姿勢、距離に依存しないことが必要である。3次元形状認識では、このような特徴量を利用することが大きな課題のひとつとなる。

本システムでは、こうした条件を満足する特徴量を用いて3次元的な認識を行っている。特徴量の主な性質を記す。

- ①視点の方向への依存度が低く、対象物の姿勢への依存度が低い。
- ②視点からの距離への依存度が低い。
- ③近傍に位置する他物体の影響を受けにくい。

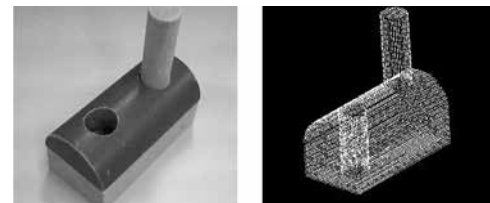
次に、この特徴量を利用した認識原理について記す。まず、認識対象（モデル）の点群を用意し、一定間隔にてサンプリングした点ごとに、特徴量を計算しておく。各特徴量は、モデル上の点の3次元座標と対応付けられている。このような「特徴量、モデル種類、対応する点の3次元座標」の3つの情報の組合せを要素とするライブラリを、あらかじめ作成しておく。

次に、認識処理時には、認識対象を含むシーンの点群を測定後、シーン内の任意に抽出した点に対して、特徴量を計算する。この計算した特徴量を、パターン認識の手法を用いてライブラリ内の特徴量と比較し、類似している特徴量を選び出す。その結果、シーンから抽出された点が、特徴量を介して、モデルの種類とモデル内の3次元座標に



カメラによる映像 距離センサによる測定

図6 測定データ



カメラによる映像 点群データ

図7 モデルデータ

対応付けられる。この対応付け処理を、順次行うことにより、複数の対応を得る。これら複数の対応関係に基づいて、シーン内に存在するモデルの種類とその姿勢を求めることができる。

3.2. 3次元形状認識の実験結果

以下、具体的な例を示す。

1) 測定データ

図6は、実験対象とした複数の積木を、カメラおよび距離センサにて測定した図である。距離センサによる測定図は、約30000点の点群により構成されており、このデータから認識を行う。距離センサは、パルステック社のレーザスキャナTDS3100Aを使用した。

2) 認識対象モデル

認識すべきモデルの一例を図7に示す。点群の作成方法は、実測やCAD図からの変換を想定しているが、今回は専用プログラムにて作成した。本モデルの底面のサイズは55mm×110mmである。計算した特徴量は、約2000点である。

3) 認識処理

本例では、全数約30000点から10点ごとに約3000点を抽出し、モデルとの対応付けを行ない、正しく認識することができた。認識結果例を図10に示す。実測データである点群に対し、認識結果をCG表現により合成表示している。

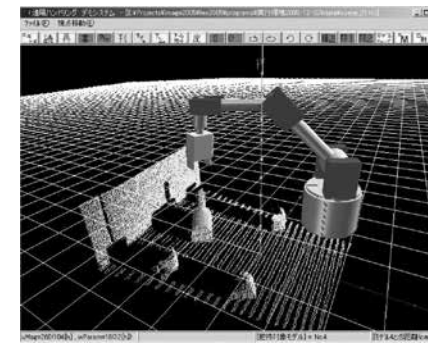


図8 全体図



図9 モデル選択メニュー

3.3. ハンドリングシステム

3次元形状認識結果を適用したハンドリングシステムについて記す。図8は全体図であり、測定したシーンの点群、認識結果に基づくモデルのCG表現、マニピュレータのCG表現により構成される。

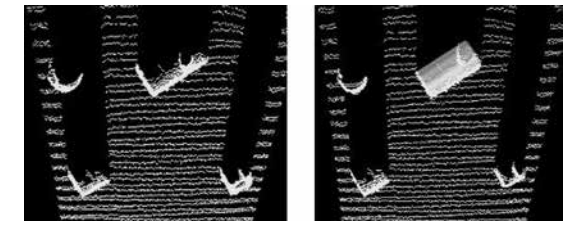
認識対象となるモデルは、図9のメニューより選択する。モデルは事前に登録しておく。

ハンドリングシステムの特徴と処理概要を記す。

1) 認識結果のCG表現

測定データは、視点から見える測定面のみ点群が存在し、視点から見えない面の点群は存在しない。これはハンドリングすべき対象物が全面観測されていないことを意味し、容易なハンドリング操作を妨げる要因の一つである。

そこで、認識対象モデルの存在する位置と姿勢を求めた認識結果に基づいて、モデルをCGにて表現し、測定データ上へ書き込むこととした。図10の例では、左の測定データに、全面の存在するモデルのCG表現を合成した結果を右図で示している。



測定データ モデルCG合成

図10 モデルのCG表現1

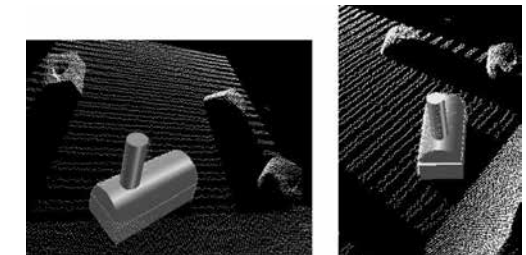


図11 モデルのCG表現2

モデルを形状認識し、結果をCG表現することの利点は以下の2点である。

- ①ターゲットの全面の輪郭表示ができ、マウス操作により任意の方向への視点の移動が可能である。これにより、図11のように実際には観測することのできない側面からの映像として表示することができ、視覚的に適確な情報をつかむことができる。
- ②測定データと認識結果を3次元モデルとして保有しているため、任意の2点間を指定することにより、距離の算出が可能になる。

2) マニピュレータのCG表現

この環境において、ハンドリングを行うマニピュレータを手動で操作する。まず、測定データの点群と認識されたモデルのCG表現に、マニピュレータのCG表現を加える。動作時にマニピュレータ各軸の情報（エンコーダの値）をリアルタイムに読み取ることにより、実際のマニピュレータの動作にあわせて、CG表現されたマニピュレータを同一動作させることができる。

こうして、図12のようにシーンの測定データとしての点群、認識したモデルのCG表現、マニピュレータのCG表現を重ね合わせた複合現実視（Augmented Reality）と言える表現を行う。

図12では、対象物がグリッパ部に遮られて見えない状態であるが、右図のように視点を変えることにより対象物を確認することができる。

視点の移動によるハンドリング支援の例を示す。図13左図は測定機方向を視点とする映像であり、マニピュレータが対象物を把持できる位置に操作されているように見える。しかし、マウス操作により映像の視点を側面に移動させると、右図のように、把持可能な位置に操作されていないことがわかる。

このように、視点を変化させることにより、図14に示すように、把持可能な位置へ容易に操作することができる。

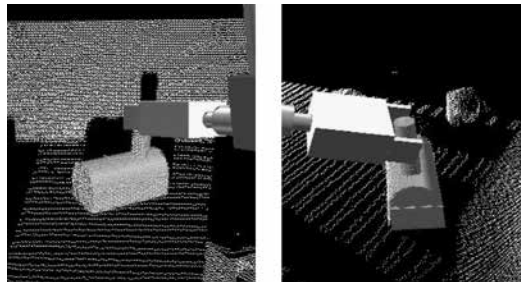


図12 バーチャルなマニピュレータ表現

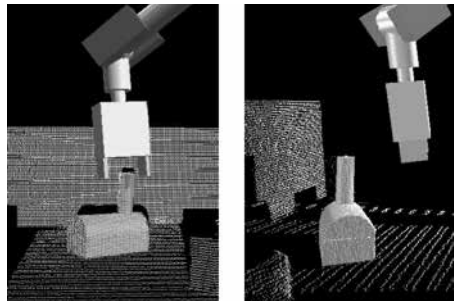


図13 視点の変更例1

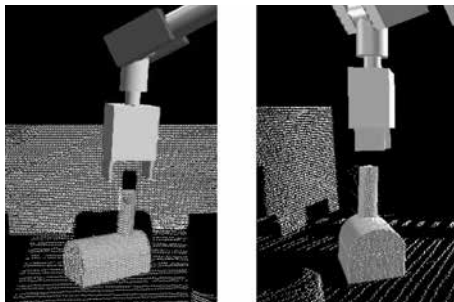


図14 視点の変更例2

以上のように、本システムでは、把持対象物を、実際には観測できない側面を認識結果に基づいてCG表現することと、マニピュレータをCG表現することにより、視点の移動が可能になり、任意の視点からの観測が可能になる。また、複数の視点を指定し、複数の観測映像を常時表示することも可能である。その結果、距離感のつかみやすい方向から対象物を確認することや、対象物を遮っている物体を避けた視点から見ることができ、必ずしも熟練度の高いオペレーターのハンドリング操作を、適切に支援することができる。

4. あとがき

本研究では、これまでに形状認識技術を中心に開発を行ってきた、シーンの中からターゲットを特定する、当初の目標を達成した段階にある。今後は、より現実的な作業環境を想定して簡易で、使い易いマンマシンインターフェイスとして発展させていく予定である。また、今回はマニュアル操作の補助システムとして開発を行っているが、自動運転の目標位置を測定する機能として応用することも考えられ、将来は自動運転も組み合わせたシステムに発展させることが可能である。

遠隔操作機器が活躍する場面は原子力分野に限ったことではない。危険物の取扱や、大型重量物のクレーンによる取扱もまた、遠隔操作による技量を要する作業と言える。本システムを適用することにより効率がアップすることはもとより、熟練者ではなくても作業を行えることのメリットは大きいと考えられ、本研究で開発しているハンドリングシステムが原子力以外の分野でも活用されていくことを期待している。

最後に本開発にあたって、有益なご助言、ご指導を頂いた東京大学生産技術研究所佐藤助教授、豊橋技術科学大学金澤助教授に感謝致します。

参考文献

- 1) 児玉他, 原子炉遠隔解体装置の開発, FAPIG誌, 159, (2001) pp.30-36
- 2) 富塚他, 商業用原子力発電所の遠隔解体確認試験(その22), 日本原子力学会2004春の大会(2004), IV-411

再処理施設の排気モニタリングシステムの設計

Design of Exhaust Air Monitoring System at Reprocessing Plant

中島定雄* 鈴木善二郎**
Sadao Nakashima Zenjiro Suzuki

〔概要〕

排気モニタリングシステムは原子力関連施設の排気筒などから環境に放出される放射性気体廃棄物のモニタリングを行うものである。

再処理施設の排気ガスに含まれる核種やその性状は従来の原子力発電所などと異なるため、再処理施設の排気モニタリングシステムの構築に当たっては新たなシステム設計や製品設計が必要となる。システム設計では、再処理施設として必要とされるモニタリング項目や多様化、耐震上からの要求事項を踏まえてシステムの構築を行い、これを実現するための各種製品設計を行った。

1. はじめに

排気モニタリングシステムは、原子力関連施設の排気筒などから環境に放出される放射性気体廃棄物を管理するためのものである。本システムは、排気サンプリング設備と排気モニタで構成される。

排気サンプリング設備は排気筒などに設置したサンプリングノズルからサンプリング配管を通じて排気ガスをサンプリングし、捕集材で監視対象物質の連続捕集を行うものである。なお、排気ガスは戻り配管を通じて再び排気筒などに戻される。従来の原子力発電所の排気サンプリング設備では、排気ガス中のダスト、よう素、トリチウムを捕集している。これらの捕集試料は定期的に回収され別置の放射能測定装置で測定している。

排気モニタは、従来の原子力発電所ではガスモニタが設置されるのが一般的で、放射性希ガスの連続測定を行っている。

これらモニタの測定値は中央制御室などの放射線監視盤に伝送されて指示(または表示)、記録

される。さらに、測定値は予め設定された警報設定値と比較し、これを超える場合には放射線監視盤で警報を発する。

今回、日本原燃株式会社殿が青森県上北郡六ヶ所村にて試験運転を行っている再処理施設(以下、単に「再処理施設」という)の排気モニタリングシステムを設計、製作し製品納入を完了した。

再処理施設の排気モニタリングシステムは、原子力発電所などに比べてモニタリング項目が多く、安全審査指針類などから多重化や耐震性について考慮するよう要求がある。上記のシステム構築に当たっては、この特徴を十分に考慮に入れ、日本原燃株式会社殿とシステム設計を行い、製品設計を実施した。以下では、再処理施設排気モニタリングシステムの内、主排気筒の排気モニタリングシステムの設計および製品設計について紹介する。

2. システム要件

再処理施設の排気モニタリングシステムのシステム設計に当たり要求される事項は以下のとおり

*富士電機システムズ(株) e-ソリューション本部 放射線システム統括部 放射線システム部 原燃技術課

**同社 東京工場 放射線装置部 プロセス機器設計グループ

である。

(1) 排気モニタリングに係る要求事項

再処理施設では、測定項目として放射性希ガスの連続測定、粒子状物質、よう素、トリチウムおよび炭素-14の連続捕集を行うとしている。放射性希ガスの測定を行う主排気筒ガスモニタは安全上重要な設備（以下では「安重設備」と呼ぶ）に位置付けており高い信頼性を要求される設備となっている。

(2) 系統分離

排気モニタリングシステムは、連続捕集または連続測定を要求されており、高い信頼性を確保する必要がある。このため、系統分離および可動機器の二重化について考慮することとした。特に安重設備と非安重設備との系統分離は必須である。

(3) 耐震

再処理施設では、主排気筒ガスモニタは地震発生時においても監視できるよう耐震Aクラスに位置付けており、ガスモニタに関連するサンプリングノズル、サンプリング配管、ガスサンブラ、ガスサンプルラック、戻り配管、放射線監視盤は耐震Aクラスで設計することが要求される。また、他の設備は耐震Cクラスであるため、これとの系統分離を考慮する必要がある。

(4) 溶接検査

主排気筒の排気サンプリング系統は、その内包する放射性物質の放射能濃度から、法令に基づく溶接検査対象となるため、サンプリング系統設計および機器設計上で溶接箇所の削減および溶接構造の検討が必要になる。

(5) モニタリング項目

再処理施設の排気モニタリングでは、(1)項に加え、粒子状放射性物質および放射性よう素の放出状況を連続的に把握するため、以下の項目をモニタリングする。

- ①放射性希ガスの連続測定
- ②粒子状物質およびよう素の捕集（測定は別置の放射能測定装置で行う。）
- ③トリチウムの連続捕集（測定は別置の放射能測定装置で行う。）
- ④炭素-14の連続捕集（測定は別置の放射能測定装置で行う。）

⑤揮発性Ruの連続捕集（測定は別置の放射能測定装置で行う。）

- ⑥粒子状物質のアルファ線およびベータ線測定
- ⑦よう素-129およびよう素-131他の測定

上記の測定項目の内、④～⑦は従来の原子力発電所などの排気モニタリングシステムにはない項目であり、再処理施設としてシステム設計と製品設計が必要になる。

(6) 測定レンジ

再処理施設では、通常運転時には使用済燃料のせん断・溶解・分離・精製が行われ、これらの工程から排気される気体廃棄物が排気ガスとして排出されるためその放射能レベルは高くなる。一方、上記工程が稼動していない時は放射能レベルは低くなる。さらに、事故時には放射能レベルが上昇する可能性もあり、この時も測定ができる必要がある。測定レンジの設定に当たっては、上記の内容を考慮して自然放射能レベルから事故時に予想される放出放射能レベルまで広範囲にわたる測定レンジを設定する必要がある。

(7) 測定方法に関する要求

一般にダストモニタおよびよう素モニタは、捕集材に排気ガス中のダストおよびよう素を捕集しながら、捕集材近傍の検出器で測定する。再処理施設では排気ガス中にKr-85が含まれ、Kr-85から放出されるベータ線またはガンマ線による計数寄与が捕集した粒子状放射性物質およびよう素の計数よりも大きくなるため測定が不可能となる。したがって、測定方法を含めた製品設計が必要になる。

3. システム設計

2項のシステム要件に対して以下のとおりシステムを構築した。

図1に主排気筒排気モニタリングシステムの全体構成図を示す。

(1) 系統構成

系統構成は以下のとおりとした。

- ①排気モニタリング設備は高い信頼性を要求されることからA系統およびB系統に系統分離し、それぞれ独立運転を行う構成とした。
- ②各系統の中で、ガスモニタサンプリング系とダスト・よう素サンプリング系は分離してそ

れぞれ独立運転ができるようにし、安重設備と非安重設備を分離した。

- ③ガスモニタサンプリング系は、ガスモニタを収納するガスサンブラとサンプルポンプを収納するガスモニタサンプルラックで構成し

た。サンプルポンプは可動機器であるため二重化した。

- ④ダスト・よう素サンプリング系はダスト・よう素サンブラ、トリチウムサンブラ、炭素-14サンブラ、ダスト・よう素サンプルラック

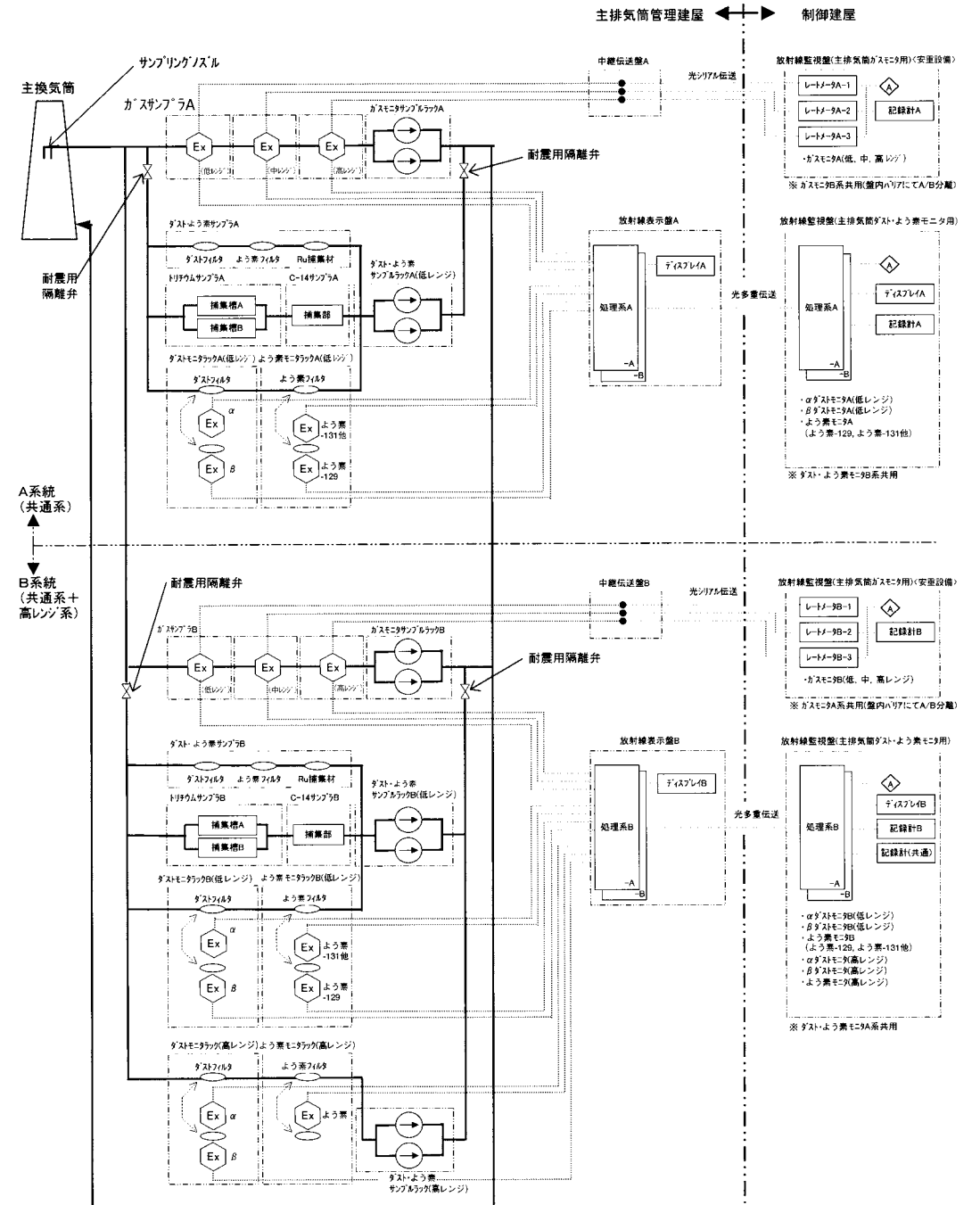


図1 主排気筒排気モニタリングシステムのシステム構成図

(低レンジ),ダストモニタラック(低レンジ),
 よう素モニタラック(低レンジ)で構成する。
 サンプルングガスの吸引は, サンプルポンプ
 を収納するダスト・よう素サンプルラック
 (低レンジ)で行う。サンプルポンプは可動
 機器であるため二重化した。

⑤ B系統には上記の他に事故時においても測定
 できるようダストモニタラック(高レンジ),
 よう素モニタラック(高レンジ),ダスト・よ
 う素サンプルラック(高レンジ)を設置した。
 排気モニタリング設備の外観を写真1に示す。

(2) 耐震設計

主排気筒ガスモニタは耐震Aクラスとするため,
 構成するサンプルングノズル, フィールド配
 管, ガスサンプラ(検出器, 計測部を含む), ガ
 スサンプルラック, 放射線監視盤(安重設備)は
 耐震Aクラスで設計した。耐震評価は, 原子力発
 電所耐震設計技術指針(JEAG4601)に基づき実
 施した。

フィールド配管については, 標準支持間隔法に
 よる応力評価を行い, 施工する配管サポートの間
 隔が当該の標準支持間隔以下になるよう配管工
 事を実施した。また, 計算コードNASTRANによ
 る個別解析も併せて行い固有振動数および応力上
 問題ないことを確認した。なお, フィールド配管
 において耐震Cクラスとの境界には隔離弁を設け
 て縁切りするようサンプルングシステムを設計した。

ラック・盤類については, 筐体の強度を高くし,
 打振試験により剛構造(固有振動数20Hz以上)
 であることを確認した。また, 収納機器について

は, 振動試験を実施して電氣的機能維持の評価を
 実施した。

サンプルングノズルについては, 耐震評価と機
 械学会「配管内円柱状構造物の流体振動評価指針」
 (JSME S 012)に基づく強度評価を併せて実施し
 した。サンプルングノズルは, 等速吸引を実現する
 観点からJIS「排ガス中のダスト濃度の測定方法」
 (JIS Z 8808)にしたがって設計し, 複数の吸引
 孔を有する複雑な構造体になった。上記の評価指
 針では直管またはそれに近似した単純な構造のノ
 ズルに対する評価手法を取り上げており, 今回の
 ノズルには適用できない。このため, 以下のステ
 ップにより強度評価を実施した。

- ① サンプルングノズルの固有振動数を計算コー
 ドNASTRANにより計算し, 固有振動数は
 20Hz以上で剛構造であることを確認した。
 さらに, 計算コードNISA IIなどにより地震
 時の発生応力を計算した。
- ② サンプルングノズル回りの流体による振動数
 を評価指針に基づいて計算し, サンプルング
 ノズルが流体による振動に対して共振しない
 ことを確認した。
- ③ サンプルングノズルの流体の振動による応答
 倍率は3倍の裕度を持たせて100倍として流
 体による揚力・抗力を計算し, 発生応力を計
 算コードNISA IIなどを用いて計算した。
- ④ ①, ③項で算定した応力を組み合わせてサン
 プリングノズルの強度評価を行い, 許容応力
 を下回ることを確認した。
- ⑤ ③項で想定した応答倍率100倍の妥当性を検
 証するため, サンプルングノズルの振動試験
 を行って最大の応答倍率を測定し, その値が
 100倍よりも十分小さいことを確認した。

(3) 溶接検査対応

溶接検査は, ガスサンプルング系とダスト・よ
 う素サンプルング系の設備の一部において必要と
 なる。これら設備では, 溶接検査対応として以下
 の設計対応を行った。

- ① 捕集部などの機械加工品は1体物から削り出
 しを行い, 溶接点がない設計とした。
- ② 計器などで接ガス部に溶接点があるものは,
 溶接点のない計器を使用するように設計変更

表1 主排気筒排気モニタリングシステムのモニタリング項目および仕様について

モニタリング項目	測定レンジ	検出器	測定範囲 (Bq/cm ³)	測定エネルギー範囲	捕集方法	捕集部又は測定部を収納するラック	
希ガス	連続測定	低レンジ	プラスチックシンチレーション検出器	約9×10 ⁻⁴ ~9×10 ¹	β線 約200keV~3MeV	-	ガスサンプラ(低レンジ)A, B
		中レンジ	プラスチックシンチレーション検出器	約9×10 ⁻² ~9×10 ²	β線 約200keV~3MeV	-	ガスサンプラ(中レンジ)A, B
		高レンジ	電離箱	約4×10 ¹ ~4×10 ⁷	γ線 約80keV~1.3MeV	-	ガスサンプラ(高レンジ)A, B
粒子状物質	連続捕集	-	-	-	-	-	ダストフィルタで捕集
		低レンジ	半導体検出器	約3×10 ⁻⁸ ~3×10 ³	β線 約80keV~3MeV	ダストフィルタで捕集	ダスト・よう素サンプラA, B
		高レンジ	半導体検出器	約2×10 ⁻³ ~2×10 ²	β線 約80keV~3MeV	ダストフィルタで捕集	ダストモニタラックA, B(低レンジ)
		α線測定	半導体検出器	約4×10 ⁻⁹ ~4×10 ⁻⁴	α線 約4MeV以上	ダストフィルタで捕集	ダストモニタラックA, B(低レンジ)
よう素	連続捕集	低レンジ	NaI(Tl)シンチレーション検出器	約9×10 ⁻⁴ ~9×10 ¹	γ線 20keV~100keV	よう素カートリッジで捕集	ダストモニタラックA, B(低レンジ)
		中レンジ	NaI(Tl)シンチレーション検出器	約4×10 ⁻² ~4×10 ²	γ線 100keV~1.3MeV	よう素カートリッジで捕集	よう素モニタラックA, B(低レンジ)
		高レンジ	NaI(Tl)シンチレーション検出器	約2×10 ⁻² ~2×10 ²	γ線 100keV~1.3MeV	よう素カートリッジで捕集	よう素モニタラック(高レンジ)
		-	-	-	-	有機溶媒に溶解	炭素-14サンプラA, B
炭素-14	連続捕集	-	-	-	-	冷却凝縮方式	トリチウムサンプラA, B
揮発性Ru	連続捕集	-	-	-	-	シリカゲルに吸着	ダスト・よう素サンプラA, B

を実施した。

- ③ ボール弁, ニードル弁, ストップ弁は接ガス
 部に溶接点がないものを選定した。小口径電
 磁弁は一般的に配管取合部はねじ込みである
 が, 溶接検査ラインに使用するため溶接取り
 合いの特殊なものを弁メーカーに特注した。

(4) モニタリング項目および測定方法

モニタリング項目に対する測定方法(測定レン
 ジ, 検出器, 測定範囲, 測定エネルギー範囲)お
 よび捕集方法, 捕集部または測定部を収納するラ
 ックの一覧を表1に示す。

ガスモニタはバックグラウンドレベルから事故
 時の放射能レベルまで測定できるようにするため
 低, 中, 高の3レンジで測定を行う設計とした。
 ガスモニタ(低レンジ)およびガスモニタ(中レ
 ンジ)は通常運転時に放出される放射性希ガスの
 大部分を占めるKr-85を測定するためプラスチック
 シンチレーション検出器を使用し, ベータ線計
 測を行うこととした。ガスモニタ(高レンジ)は,
 事故時においても計測できるよう考慮しており放
 射性希ガスのガンマ線を電離箱にて計測する設計
 とした。ガスモニタ(低レンジ)およびガスモニ
 タ(中レンジ)は, (社)放射線計測協会にてKr-85
 実ガス校正を行い, 濃度換算係数を設定した。ガ
 スモニタ(高レンジ)は, 計算により濃度換算係
 数を算出し, 同一型式のモニタで別途実施した
 Ar-41の実ガス校正データと照合し妥当性を確認
 した。

ダストモニタはバックグラウンドレベルから事
 故時の放射能レベルまで測定できるように低, 高
 の2レンジで測定を行う設計とした。ベータ線ダ
 ストモニタおよびアルファ線ダストモニタ共に検

出器は半導体検出器を採用した。ダストモニタの
 校正は値付けされた標準面線源を使用することと
 し, 標準面線源を装着して校正が可能のように捕
 集機構部を設計した。

よう素モニタはバックグラウンドレベルから事
 故時の放射能レベルまで測定できるように低, 高
 の2レンジで測定を行う設計とした。さらに, 低
 レンジ用のよう素モニタは, よう素-129測定用と
 よう素-131他測定用のモニタで構成する設計とし
 た。よう素-131他用よう素モニタでは, 測定対象
 核種の放出するガンマ線が200keV以上のエネル
 ギーであるためNaI(Tl)シンチレーション検出
 器を採用した。よう素-129用よう素モニタでは,
 約30keV付近の微弱なガンマ線を測定するため,
 厚さが5mmで薄型のNaI(Tl)シンチレータを
 用いたNaI(Tl)シンチレーション検出器を採用
 した。よう素モニタの校正は値付けされた標準面
 線源(よう素-129標準線源, モックアイオダイ
 ン)を使用することとし, 標準面線源を装着して校
 正が可能のように捕集機構部を設計した。

4. 製品設計

(1) 炭素-14サンプラの設計

炭素-14は, 排気ガス中にCOまたはCO₂等の形
 態で存在する。炭素-14の捕集方法は, シリカゲ
 ルによる捕集および有機溶媒による捕集が候補と
 してあげられたが, 捕集効率が高いことおよび捕
 集後に測定するための前処理が簡単であることか
 ら有機溶媒による捕集方式を選定し, 製品設計を
 行った。

本サンプラの構造は図2に示すとおりで, 試料
 採取用などの複数のビンとそれを収納する恒温槽

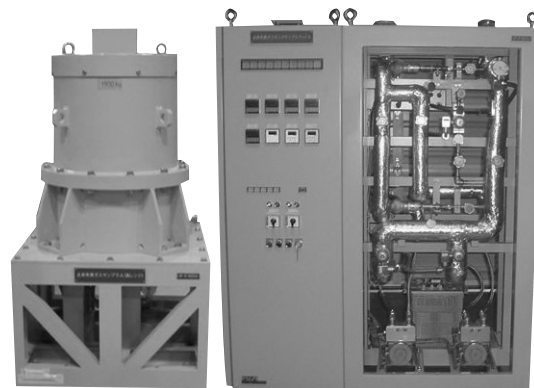


写真1 排気モニタリング設備の外観

で構成する。試料採取ビンには有機溶媒としてモノエタノールアミンを入れ、サンプリングガスを通過させてサンプリングガス中のCOまたはCO₂等を有機溶媒に吸収させる方式とした。サンプリングガス中の水分は捕集効率を低下させる原因になるため、トリチウムサンプラの捕集槽後段側から配管を分岐して本サンプラにサンプリングガスを導くことで、水分除去後のサンプリングガスを流すよう工夫した。また、COまたはCO₂等のモノエタノールアミンへの溶解度を高めるため試料採取容器は恒温槽に入れ15℃に維持するようにした。なお、本サンプラによる捕集効率は90%以上である^{1), 2)}。

(2) 揮発性Ru捕集槽の設計

Ruの化合物は通常固体であるが、四酸化ルテニウムの化学形態では揮発性物質となる。これを

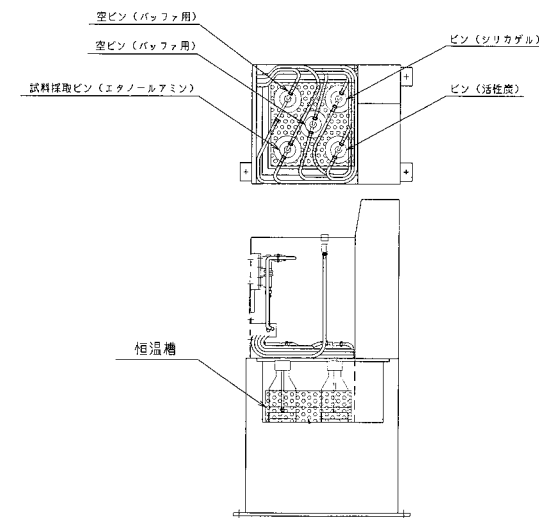


図2 炭素-14サンプラ構造図

捕集するため、シリカゲルの吸着塔にて捕集する方法を採用した。図3にRu捕集槽の構造図を示す。ステンレス製の捕集容器内にシリカゲル粒を詰め、サンプリングガスを通気できる構造となっている。本器はダスト・よう素サンプラ内に収納するが、捕集容器外周にはヒータおよび保温材を設け、捕集温度を70℃に保ち捕集効率90%以上を確保するように設計した³⁾。

(3) ダスト・よう素モニタ用捕集部の設計

一般にダストモニタやよう素モニタでは、サンプリングガスを捕集材に通過させてダストやよう素を捕集しながら、捕集材の近傍に取り付けた検出器で測定を行う。サンプリングガス中に含まれるKr-85は希ガスでありフィルタ等で除去できないため、ダストモニタやよう素モニタの測定部に混入する。このため、Kr-85濃度が高いと、これによる計数寄与が捕集した物質からの計数寄与に比べて遥かに多い状態となり、粒子状放射性物質や放射性よう素が測定できなくなる。

上記の問題点を解決するため、捕集材にサンプリングガスを通過させて粒子状物質やよう素を捕集した後、捕集材をエアパージして近傍のKr-85を除去し、そこに検出器を対向させて測定を行う間欠測定方式を採用した。これを連続的に行うため、試料捕集部はターンテーブル構造とし、ターンテーブル上の捕集材が回転して供給位置、捕集位置、パージ位置、測定位置の各位置にきた時点で、それぞれフィルタ供給、捕集、エアパージ、測定の実行が行えるように設計した。このターンテーブルの運転動作を図4の説明図に示す。

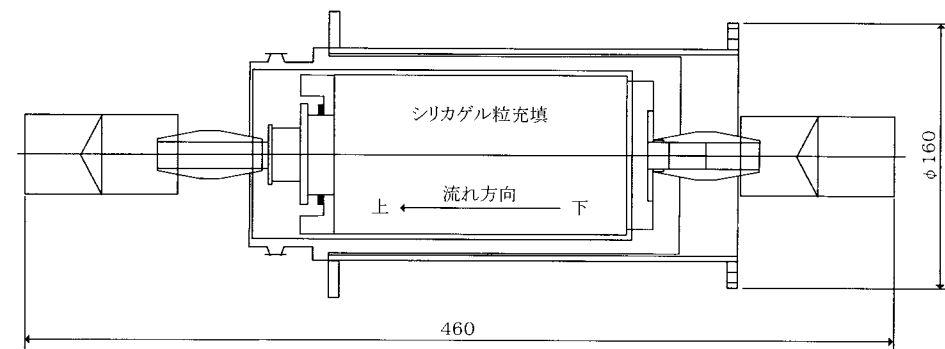


図3 Ru捕集槽の構造図

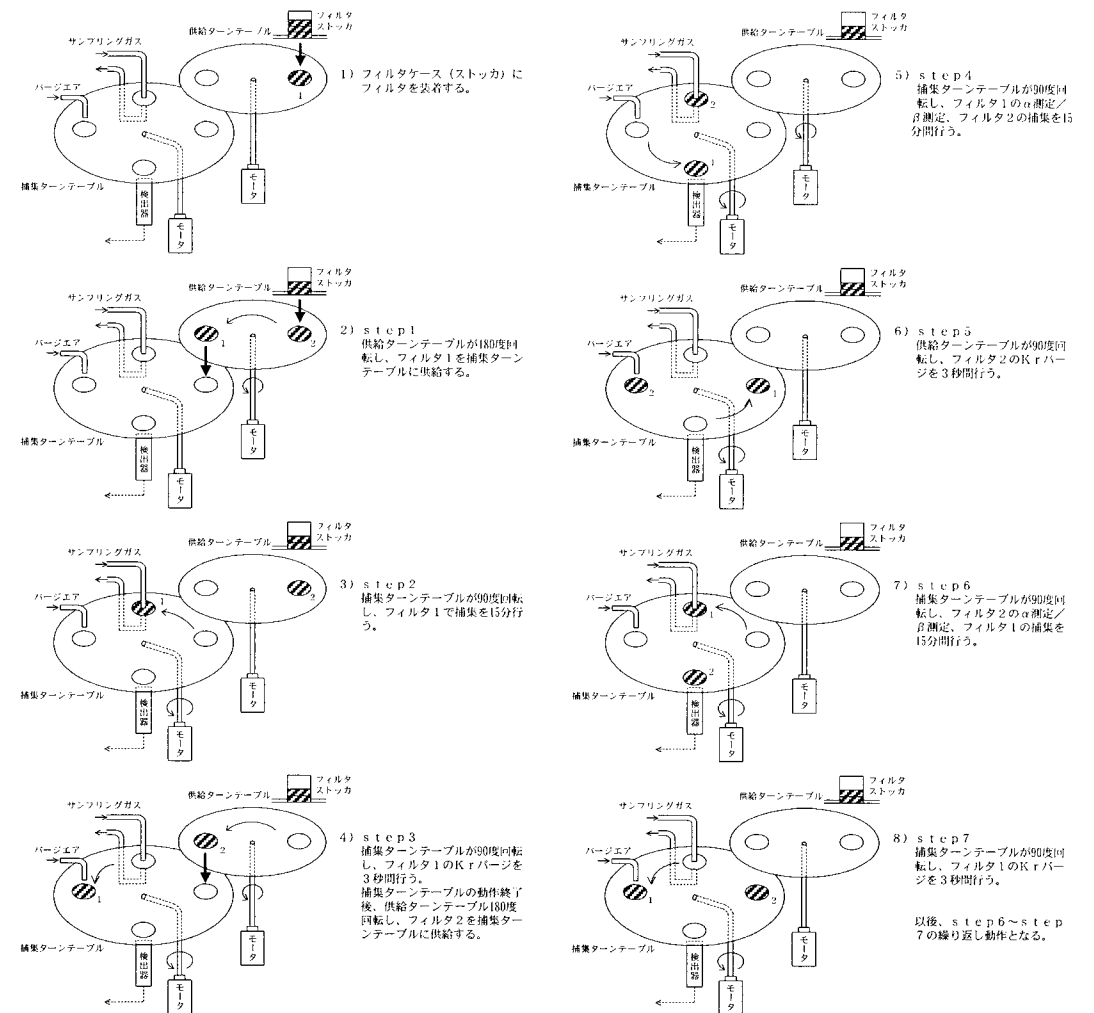


図4 ターンテーブル動作説明図

5. おわりに

再処理施設向けの排気モニタリングシステムは、従来の原子力発電所などのシステムとは要求されるシステム要件および排気ガスに含まれる核種やその性状が違うため、新たにシステム設計と製品設計を行った。再処理施設は現在ウラン試験を終えて使用済燃料による総合試験を行う段階であり、今回開発した排気モニタリングシステムを用いた放出管理が行われている。

排気モニタリングシステムは原子力関連施設の放射線管理上で欠くことができない重要なシステムであり、しかも国内初の商業用再処理施設向けのシステム設計・製品設計できたことは望外の喜

びである。

最後に本システムの設計、製作および本稿執筆に当たり、日本原燃株式会社殿に多大なご指導、ご協力を頂いたことを深く感謝する。

参考文献

- 1) 齊藤, 他, Radioisotopes, 25, 556 (1976)
- 2) 渡辺, 他, 環境中炭素-14 濃度測定法の検討, PNC N844 85-18 (1985)
- 3) D.W.Rhodes, D.R.Anderson, IDO-14510, 1960, CAPCITY TEST DATA FOR THE ADSORPTION OF VOLATILE RUTHENIUM ON SILICAGEL

認証技術の動向

Mechanism of Authentication and Its New Technologies

石見宗彦*
Munehiko Ishimi

〔概要〕

偽造カードや振り込め詐欺など、「なりすまし」と呼ばれる類の犯罪が多発している。これらの犯罪は、本人確認が不十分な点について発生するものであり、それを防ぐための、「認証」技術が大きな注目を集めている。認証技術の基本と最近の技術動向について、電子パスポートや生体認証付きキャッシュカード、公的個人認証などの例を用いて解説する。

1. 認証とは

銀行のIDカードと暗証番号、インターネットの会員制サイトにおけるIDとパスワードの利用などは、認証の典型的な一形態である。

サービス提供者は、利用者を識別するために会員番号などのID（アイデンティフィケーション：識別子）の発行し、以降、利用者はIDを提示しサービスを要求する。だが、IDは他者に知られることもあるし、盗難の危険性もある。そこで、その利用者がIDの正当な持ち主であることを、パスワードなどを利用してサービスシステムに対して証明する。この一連の手続きが認証である。

「認証」とは、ある人物がサービスを要求した場合、要求された側がそのサービスを提供してよいかどうかを判定するために、その人物が主張している本人であることを確認することである。

認証は、大きくは次の2つの段階に分かれる。

(1) 対象を識別するためのIDを「発行」する段階
第1は、ある対象（人やモノ）に対して、その対象を識別するためのIDを発行する段階である。

IDとパスワードが情報として発行される場合や、運転免許証やパスポートのようにIDが証明書に含まれて発行される場合などがある。

(2) 利用者IDとの関係を「検証」する段階

第2は、サービスなどを利用するときに、利用者が、事前に発行された情報、証明書および利用者が保有する情報などを提示することにより、利

用者とIDとの関係を検証する段階である。

この2つの段階の両者が厳密に行われて、初めて認証の信頼性を確保することができる。一方だけをいくら厳密に行おうと、他方がいい加減ならば、その認証に信頼性はない。

2. 認証の方式

認証には、次の3つの方式がある。

- ①本人だけが知っているものを用いた確認
- ②本人だけが持っているものを用いた確認
- ③本人だけに備わっているものを用いた確認

「①本人だけが知っているもの」としては、パスワードが一般的に用いられる。これは、発行しやすい反面、欠点もある。情報が短いと推測されやすく、コンピュータを利用した全件攻撃を受けやすい。また、情報が長いと、忘却によりサービスが利用できない場合もある。かといって、忘却を防ぐために記録を残すと、他人へ漏洩してしまう危険がある。パスワードを忘れてしまった場合などに備え、母親の結婚前の姓やペットの名前などを事前に登録し、パスワードを思い出させるヒントや再発行のために利用されることもある。

「②本人だけが持っているもの」としては、印鑑、健康保険証、運転免許証、パスポート、従業員カードなどがある。これらは幅広い場面で利用されているが、携帯していないと利用できず不便なこともある。また、紛失時の不正使用や偽造による不正使用の危険性もある。

「③本人だけに備わっているもの」は、顔、指紋、血管のパターン、DNA、筆跡、声紋などがある。安全性の高い認証が可能だが、「生体情報」が流出した場合は、その情報を変更することができないので、影響は非常に大きい。IDの持ち主を特定する情報をまとめると図1のようになる。

3. 認証の強度

セキュリティは単に強ければ良いというものでもない。無条件にあまりに高いセキュリティを導入すると、使いにくかったり、コストが非常に高くなる恐れがある。サービスを利用する環境やサービスの性質により適切なセキュリティの導入が望ましい。

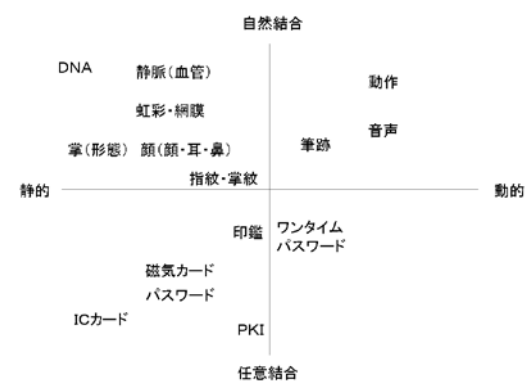


図1 IDの持ち主を特定する情報

認証のセキュリティレベルは、提供されるサービスが、対象となる人物特定をどれだけの厳密性を要求するかに依存している。これについては米国の行政管理予算局（Office of Management and Budget：OMB）が発行した連邦政府機関向け電子認証ガイドランスは、次の4つのレベルに区分している。

(1) レベル1

自己登録IDとパスワードの利用によるサービスの利用時など。

(2) レベル2

初期に本人確認を必要とする一般の公的サービスなど。誤認証によって起こる影響が一時的なもので済むような場合。

(3) レベル3

秘密情報の誤開示により、競合相手に大きな利益を生ませるような場合など、金額的には、重大な損失ではあるが、壊滅的ではない場合。

(4) レベル4

犯罪情報を含んだデータベースへのアクセスなど、誤って情報が開示された場合に多大な問題を起こす場合。

それぞれのレベルが要求するセキュリティを（表1）に示す。

表1 認証のレベル

レベル値	認証への要求事項	要求される手続き	秘密情報の管理	認証結果の受領方法
レベル1	利用するIDによって本人を特定できるだけの情報がほとんどない	本人の実在性については要求せず、単に同じ人物が後で何回かサービスを利用するためのもので、ID発行時の本人確認への要求はない	なし	電子署名付きまたは安全な経路
レベル2	利用するIDによってある程度本人を特定できる	本人の実在と当事者が本人であることを確認するため、①政府機関の発行する写真ID(住所や国籍付き)の提示、②IDの形式上の検証、③写真と申込者の一致の確認、④住所の確認を実施する	秘密情報失効時の72時間以内の対応	電子署名付きまたは安全な経路 認証結果の有効期限12時間
レベル3	利用するIDによって高い信頼性をもって本人を特定できる	レベル2の検証をより厳密に行うことが必要とされ、ID発行機関への照会を行い、ID・生年月日・住所・その他個人情報の確認が要求される	秘密情報失効時の24時間以内	電子署名付きまたは安全な経路 認証結果の有効期限2時間
レベル4	利用するIDによって確実に本人を特定できる	より厳密性が要求されるため、レベル3の手続きが2つ以上のIDの提示により行われる。	秘密情報失効時の24時間以内 暗号鍵の有効期限24時間以内	(記述なし)

*富士通㈱ The Fujitsu Way 推進本部

4. 認証を構成する要素とシングルサインオン

(1) 認証を構成する要素

認証を構成する要素には「利用者」「証明書情報発行者」「検証者」「サービス提供者」があり、この仕組みとステップを整理すると次のようになる(図2)。

まず、①利用者は証明書情報発行者に対して、IDや鍵などが含まれた証明道具の配布やパスワードの申請をする。これを受け、②証明書情報発行者は、あらかじめ規定されたルールに基づいて申請者の審査を行い、証明道具を提供する。そして、③その証明情報を検証者に提供する。次に、④利用者はサービスを利用するために、検証者に対して、証明道具などを提示して、自分がサービスを受ける正当な権利がある本人であることを確認するように求め、⑤検証者はその確認の判定結果をサービス提供者に伝える。⑥サービス提供者は判定結果に基づき、利用者にサービスを提供する。これが認証の基本形である。

実装の一般的な例としては、証明書情報発行者、検証者、サービス提供者を同一の事業者が実施している場合が多い。利用者との契約に基づきIDとパスワードが発行され、検証プログラムはパスワードの検証を行う。その結果が、サービス提供者のアプリケーションに伝えられ、利用者にサービスが提供される。それぞれのシステムは同一事業者が提供しているため、利用者との契約関係も単純である。

(2) シングル・サイン・オンとそのメリット

複数のサービスが異なる事業者により提供される場合、利用者は事業者ごとに証明書道具を入手

し、それぞれのサービスを利用するたびに認証手続きが必要となる。また、事業者内異なる組織がサービスを提供する場合は、同様にサービスごとに認証手続きを行う必要があり、利用者にとっては非常に面倒である。

これは、単に利用者の不便さという問題だけではなく、サービスごとに認証プログラムの開発が必要となるというサービス提供者側のコスト増大という非効率な状況を生んでいる。「シングル・サイン・オン」を利用すると、認証を共通化でき、複数のサービスを1回のログインで利用できるようになる(図3)。

シングル・サイン・オンは、複数のサービス提供者が、証明情報発行機能と検証機能を共通に利用する。サービス提供者は、検証結果を受け入れるインターフェースだけを用意することで認証に関わる機能をサービスごとに開発する必要がなくなり、全体の開発コストを削減することができる。

(3) シングル・サイン・オンの課題

証明書情報発行機能、検証機能、サービス提供機能が社内LANのような安全なネットワークで結ばれている場合には、シングル・サイン・オンの構築はそれほど難しくはない。

しかし、それぞれの機能がインターネット上で分散している場合には、それぞれのセキュリティの発展性を考慮する必要があり、どのように構築するかが課題となる。

例えば利用者が、検索サービスや価格、性能比較サービスなどを利用して、航空会社、鉄道会社、旅館、レストラン、レジャー施設などの連携サービスをインターネット上で受ける場合には、十分なセキュリティが構築されている必要がある。

また、認証の連携が行われる場合、各サービス

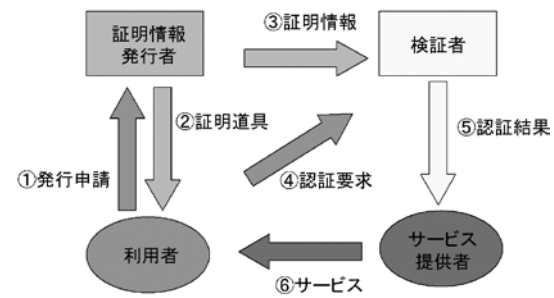


図2 認証の構造

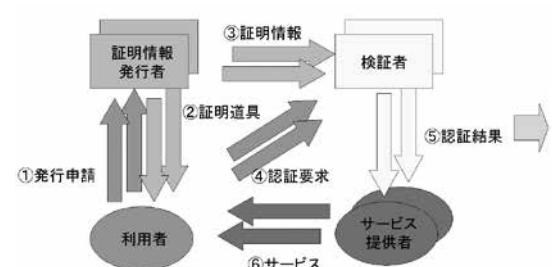


図3 複数サービスの利用構造

に必要とされる認証レベルを明確に定義し、必要とされるレベルに満たない認証システムからのサービス要求については、サービスを拒否するようなシステムの構築が必要となる。

5. 生体認証

シングル・サイン・オンが利便性やコストダウンという効率化を目指す一方で、顔、指紋、血管のパターン、DNA、筆跡、声紋などを利用した高セキュリティを目指す生体認証の活用範囲も拡大してきている。

(1) 生体認証の「登録」と「認証」のプロセス

生体認証は、まず生体情報の登録が行われる。①「登録のための生体情報の収集」→②「生体情報の特徴の測定・抽出」→③「特徴の登録・保存」。次に、サービスの利用時には、③「認証のための生体情報収集」→④「生体情報の特徴の抽出」→⑤「比較すべき登録・保存された特徴の選別」→⑥「特徴の比較」→⑦「認証の判定」という手続きにより、本人確認が行われる(図4)。

このプロセスにおいて、比較すべき登録・保存された特徴データを選別する方式には2つのタイプがある。

- 1) 認証時に登録者IDと生体情報を提示し、その情報と登録されている情報を比較するもの。
- 2) 認証時には生体情報のみを提示し、その情報と登録されている情報を比較することにより、認証を行うもの。

2)の「生体情報のみを提示する場合」は、登録されている情報と「一致する」ものを識別することを目的とする場合と、登録されている情報とは「一致しない」ことを識別することを目的とす

る場合がある。前者はビルなどの入出管理に用いられ、後者はあらかじめ知られている不正者を排除するために用いられる。

(2) 生体認証の特徴

生体は、常に動いているため、測定ごとに全く同一のデータが測定されることはまずない。同一人物であっても、体の状態や測定の方法によりデータが必ず異なる。もし、全く同じである場合は、データが漏洩し、そのデータによる不正利用である可能性の方が高い。そのため、認証を行うには、これらの測定誤差をあらかじめ考慮する必要がある。

しかしながら、この誤差をあまりに大きく許容してしまうと、他人をも同一人物として認証してしまう危険性が高まる。また、逆にこの誤差を少なくしてしまうと、本人であるにもかかわらず認証されない場合が発生してしまう。

認証の精度は、利用する技術の進展度に大きく依存する。表2に、現状における主な生体認証方式の特徴を示す。

(3) 生体認証の実用化の要件

生体認証の実用化にあたっては、単に認証精度が高いというだけでなく、利用者の受容性、簡便性、経済性などについての考慮も必要となる。

①生体情報の適切性

- ・ 同一性：生体情報が他人と異なり、明確に識別できること。
- ・ 不変性：生体情報が時間、環境の変化により、変化しないこと。
- ・ 汎用性：生体情報が誰にでも備わっていること。

②システムの安全性

照合精度が高く認証が確実で、偽造・盗難などによる悪用が困難であること。

③利用者の受容性

生体情報の提示時に、肉体的・心理的な不快感や抵抗感がないこと。

④利用時の簡便性

操作が簡単、認証時間が速い、携帯性があること。

⑤実用時の経済性

費用が保護すべき利益に見合うこと。

(4) 生体情報を含む電子パスポートの導入

パスポートの偽造や変造、成りすましによる不正使用が増加しているため、安全性の高いパスポ



図4 生体認証のプロセス

ートが求められている。2001年の米国同時多発テロ以降は、米国がビザ免除継続の要件として各国に生体情報を採用したパスポートの導入を求めた。日本でも、改正旅券法が2005年6月10日に公布され、生体情報を含む電子パスポートの発行が2007年3月から予定されている。

パスポートは世界中の国々で使用されることから、国際的な相互運用性が不可欠であり、ICAO（国際民間航空機関International Civil Aviation Organization）において国際標準化作業が進められている。ICAOは2003年5月、記録媒体として非接触型ICチップを選択し、そこに記録される必須の生体情報として「顔画像」を採用した。また、オプションとして指紋、虹彩を追加的に採用することもできるが、日本の場合には、IC旅券の生体情報として、「顔画像」のみが記録される。

出入国者の生体情報は、読取装置により収集され、電子パスポートに記録されているデータとの比較により、本人確認が行われる。

日本人の場合は、相手が日本人であれば、顔形の違いをある程度正確に判定することができるが、外国人の違いを識別することが一般に不得意である。そこで、顔の特徴をコンピュータで照合できれば、この弱点を克服することが可能となる。

しかし、電子パスポートは、発行者（出国側）と受入者（入国側）で、異なるコンピュータシステムを使っているため、各種の標準化が必須である。

る。入力装置の仕様および特徴の抽出と認証時の特徴を抽出する方法が、登録時と認証時が同一の基準に基づいていないと認証は困難である。異なる製品やシステムを用いての相互運用性を確保するために標準化は必須であるものの、多くのものが企業秘密とされており、生体認証を行うための、特徴の抽出方法と比較方法については標準化にっていない。

そのため、国際間での相互運用性を確保する方式として、特徴抽出後のデータではなく、収集したイメージデータそのものを一定の品質を規準として定め、格納する方法が現在のところ採られている。電子パスポートの認証のプロセスを図5に示す。

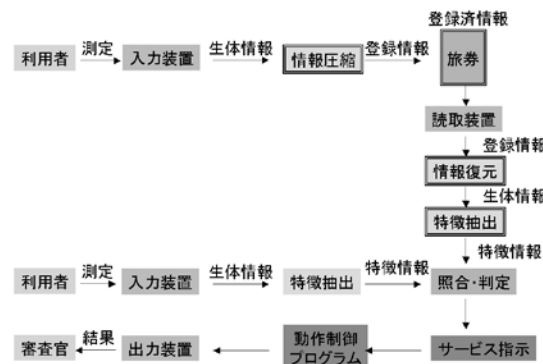


図5 電子パスポート認証プロセス

表2 主な生体認証の特徴

種別	情報	特徴	認証精度
身体的特徴	指紋	指紋隆線の特徴点などを抽出して認証する。入力・認証方式が数多存在。	高
	掌形	手の大きさ、長さ、厚さなど、物理的形状を抽出して認証する。入力が簡便。	中
	虹彩	虹彩の模様を特徴を抽出して認証する。情報入力の操作性が悪い。	高
	網膜	網膜上の血管パターンの特徴を抽出して認証する。特別な入力装置が必要。	高
	顔	顔部品の特徴点、部品配置、輪郭、立体形状などを抽出して認証する。入力が簡便。認証精度の向上、眼鏡や化粧品による顔つきの変化への対応が課題。	低
行動的特徴	血管	手、指などの血管パターンを特徴を抽出して認証する。	高
	音声	音声波形を分析し、特徴コード化して認証する。操作性が高く、電話での認証が可能。雑音などの耐環境性が課題。	低
	署名	署名の字体、署名時の書き順・筆圧などの動的特徴を用いて認証する。操作は簡単だが模倣される可能性がある。	低

(5) 生体情報を含むICカードの導入

キャッシュカードの犯罪が増加している状況で、国内においては、生体情報認証付きのキャッシュカードが普及し始めている。手のひらの静脈パターンなどを計測して事前に登録しておき、利用時に再びその情報を計測することにより、登録時のものと同一であるかを確認するものである。

磁気カードによるキャッシュカードを利用した場合、ATMは各社のものが相互に接続されるようになっているが、生体情報を用いたものは、現在のところ各銀行間での相互接続はできていない。その原因は、ビジネスが先行しているため、生体情報についての標準化が電子パスポートの場合よりもさらに、遅れているからである。

生体情報を用いる場合、大きく分けて2とこの方法がある。

1) 第1の方法は、ICカードに生体情報が格納されており、ICカードの情報と機器を用いて測定した利用者（認証要求者）が提示する生体情報をその場で比較するものである。この方法には、①生体情報の比較をICカードの中で行うか、②ICカードの外の機器で行うかの2とありある。

①ICカードの内部で比較を行う場合（図6）は、登録された生体情報がICカードの外部に出ることはないため、安全性は高くなるが、ICカードには判定に必要な高度な機能が要求される。

一方、②外部の機器で比較を行う場合（図7）は、登録された生体情報がICカードの外部に出ることになり、情報の漏洩リスクは大きくなる。このリスクを小さくするためには、ICカードが外部の機器に対して無条件に情報を提供するのではなく、外部の機器を認証する機能がICカード側に備わっている必要がある。

2) 第2の方法は、生体情報をサーバに登録する方法である（図8）。この方法だとカードの変更もなく、生体認証の入力機器を用意するだけなので、低コストでの実装が可能となる。

6. 認証におけるPKI

(1) 電子パスポートへのPKI技術の導入

電子パスポートには、本人の顔画像のほかに、国籍、名前、生年月日などがICチップに記録され、

それらの情報に対して電子署名がなされている。

電子署名には、暗号技術を利用したPKI（Public Key Infrastructure = 公開鍵基盤）が用いられる。情報は「本人だけが所有する鍵」（署名鍵）によって暗号化（電子署名）され、受取手はその暗号（電子署名）を解読（検証）するために「公開された鍵」（検証鍵）を利用する。

電子パスポート内のデータの電子署名を検証するための鍵は、あらかじめ相手国に渡しておく。そ

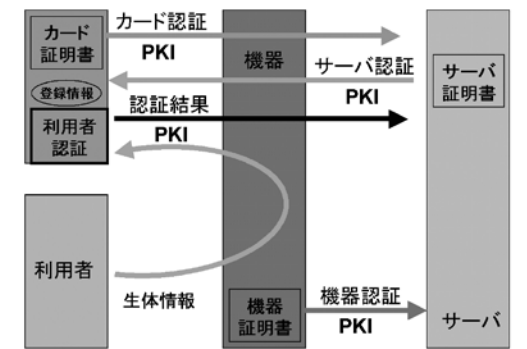


図6 生体情報の認証方式（カード内判定）

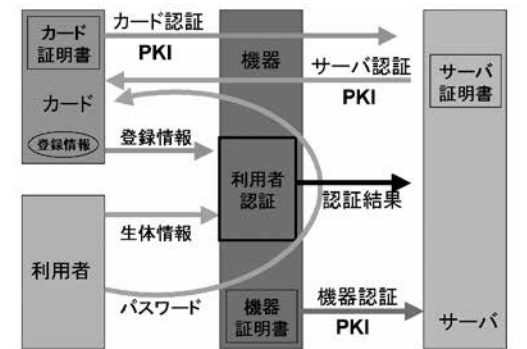


図7 生体情報の認証方式（カード外判定）

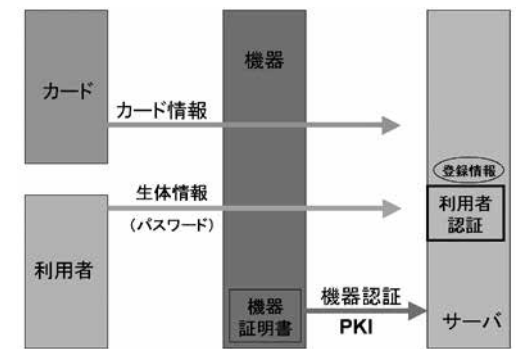


図8 生体情報の認証方式（サーバ内保存）

の鍵を利用してコンピュータが電子署名を検証できれば、提示されたパスポートのデータが本物であることが分かる。もし、データに何らかの改ざんが行われている場合やデータを捏造した場合には、コンピュータが不正データであると判定する。

日本の場合、パスポートを発行する外務省が電子署名を検証するための鍵を各国の政府に配布しておけば、各国は、日本政府によって発行されたパスポートを確実に判定できる。全く同じパスポートは、複製できるかもしれないが、パスポートに記載されている情報は顔写真情報を含め一切変更できない。

ICAO規格では、電子パスポートを検証する公開鍵とその公開鍵そのものを検証するための公開鍵という2階層構造を取っている。

まず、電子パスポートを検証する公開鍵を検証するための公開鍵証明書(Country Signing CA Certificates)を国レベルで1つ発行し、事前に外交ルートを通して2カ国間で交換する。次に、それに記載されている公開鍵で検証できる公開鍵証明書(Document Signer Certificates)が発行され、それに記載されている公開鍵を利用して、電子パスポートの電子署名を検証が行われる。

ICAOは、パスポートの署名者のリストを補完的に関係者への配布を行うサービスを行う予定で

ある(図9)。

(2) 公的個人認証へのPKI技術の導入

パスポートと同様に、身分証明書として汎用的に利用できるものとして、住基カード(住民基本台帳カード)が2002年8月から配布が開始された。住基カードにはICチップが埋め込まれており、ここに、氏名、生年月日、性別、住所、および、住民票コードが記録され、これらの情報が地方公共団体間で共有されるようになった。ICチップは暗証番号で保護されており、暗証番号で本人確認を行えるが、地方公共団体に出向いて利用することを想定したものである。

電子パスポートも住基カードもセキュリティの大幅な向上を期待できるが、これらの情報を読み取る装置が一般には普及していないので、利用の範囲は限定される。

しかし、この住基カードに、2004年1月より、インターネットを使って行政機関などに手続きを行うときに利用する電子証明書と署名鍵が格納できるようになった。このサービスは、公的個人認証と呼ばれ、電子証明書の中には、氏名、生年月日、性別、住所、電子署名を検証するための公開鍵が含まれる。

署名鍵と電子証明書が格納されているICカードを、ICカードリーダー経由でパソコンと接続す

ることにより、電子署名が実施できるようになり、インターネット上で本人確認を行える。

しかし、誰でもこのサービスを利用できるわけではない。「電子署名に係る地方公共団体の認証業務に関する法律」において、公的個人認証制度の利用は、行政機関と特定認証業務(政府の認定を受けた民間が行う認証業務)を行う者に限定されている。公的個人認証制度を利用して特定認証事業者が証明書を発行し、民間ではこの証明書を利用することになっている。

現在、一般の民間企業が直接、公的個人認証を利用することは許されていないが、今後その利用の開放も検討されている。

セキュリティを高めるうえで、生体認証などの高度技術は非常に有効なものであることは疑いない。しかし、実用化のためには各種機器やシステムの連携を行い、稼働率を上げ、効率性を高め、コストダウンを図ることが必要になる。認証は、確実な情報の連鎖によって成立している。情報が伝達される経路において、すべての機器が正当であることが保障されないのであれば、成りすましが行われる危険性が発生する。

例えば、自分の管理下でない機器がいくら「正しい」と主張したところで、その機器自体が怪しかったら全体としての認証は成立しない。機器そのものの正当性を確保することが必要になるのである。

PKIは機器認証に有効であるし、生体情報の改ざんを防ぐためにもPKIを用いた電子署名が有効である。また、生体情報を安易に外部に露出させ

ないためには、安全性の高いICカードも必要である。

今後の認証は、確実な情報の連鎖を実現すべく、生体認証、PKI、ICカードの利点を組み合わせて発展していくものと予想される。

参考文献

- (1) Biometrics Deployment of Machine Readable Travel Documents Version 2.0, ICAO TAG MRTD/NTWG, 21 May 2004.
http://www.icao.int/mrtd/download/documents/
- (2) PKI for Machine Readable Travel Documents Version 1.0, ICAO-NTWG PKI Task Force, April 21, 2004 Published by authority of the Secretary General INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION.
http://www.icao.int/mrtd/download/documents/
- (3) Development of a Logical Data Structure-LDS For Optional Capacity Expansion Technologies Revision 1.7, 18 May 2004, Published by authority of the Secretary General INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION.
http://www.icao.int/mrtd/download/documents/
- (4) Security Assertion Markup Language (SAML) 2.0 Technical Overview, Working Draft 01, 22 July 2004,
http://xml.coverpages.org/SAMLTechOverview V20-Draft7874.pdf

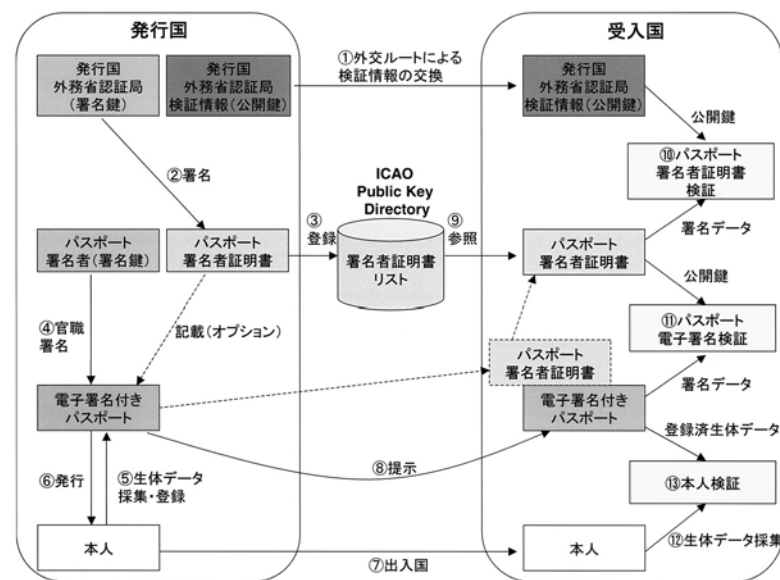


図9 電子パスポート信頼構造

伊勢街道一人旅

Sentiment of Solitary Journey on Ise-kaidou

米田正章*
Masaaki Yoneda

〔概要〕

伊勢街道は、三重県四日市市日永の東海道との追分を起点に伊勢湾沿いを南下し、白子・津・六軒・松阪・斎宮・伊勢へと至る脇街道で、その距離はおよそ十八里である。もともと伊勢神宮は皇祖神を祀る神社として一般人は参拝することができなかったが、平安時代以降、天皇・貴族の権力が衰えると、武士・庶民にも伊勢信仰が広がるなかで多くの人々が伊勢を目指した。江戸時代になると、伊勢街道は多くの物資や情報が行き交い、東海道に次いで交通量が多い賑やかな街道となった。

2005年11月3日(木)
日永-白子(しろこ)

東京6時46分発の「のぞみ」に乗る。名古屋から近鉄名古屋線に乗換え、四日市駅9時14分に着く。目指す追分に行く内部線は…9、10番ホームとあるが、見当たらない。駅員に尋ねると「改札を出てあっちに連絡通路があるから」と言われ進む。幅の狭い小さな電車に乗り込む。この電車のレール幅は70cm位でめちゃめちゃ揺れる。9時48分追分駅に着く。日永の追分を目指し歩き始める。追分に建つ嘉永2年(1849)の道標には、「左いせ参宮道」「右京大坂道」と刻まれている。かつては、鳥居が街道を跨ぐように建っていたとのこと。辺りは茶屋や旅籠が立ち並んでいたそうだが、その面影はない。県道103号の四日市鈴鹿

線を南に向けて歩き出す。歩道が整備されていて歩きやすい。途中、蟹築山蜜蔵院を案内する道標四基を見て進む。内部川に掛かる河原田橋を渡り、暫らく歩くと「津市六里三十二町」と刻まれた標柱が建っている。JR関西本線と平行に歩き、国道23号のガードをくぐり、鈴鹿川に掛かる高岡橋を渡ると、文化4年(1807)建立の大神宮常夜燈が見えてくる。この常夜燈は、点灯のために石の階段が取付けられた珍しいものだ。田園風景の中を、古代条里制の面影が残る真っ直ぐな道を進む。やがて家並が現れ石垣が見える。神戸の見附に着く。街道の両側に石垣とそれに続く土塁が築かれ、石垣には木戸を支えた溝が残っている。参宮の旅人等を監視する番所が置かれ、夜間には木戸を閉じて通行を禁じ、町の治安を守ったといわれる。



日永の追分



石の階段がついた常夜燈

鈴鹿市に入ると、旅籠「かみ亭」や連子格子の家など、古い家が残っている。近鉄鈴鹿線の踏切を渡り、かつては神戸藩士の水泳練習場であり、螢の名所でも有名な大橋を越えると鈴鹿市の中心街に入る。区画整理のための工事があちらこちらで進められていて、街道が消滅したところもある。宝珠山地蔵院、その先に今も営業している旅籠「道具屋」、門前に明治天皇行在所跡の碑がある真宗高田派別院を見て進み、萬福寺を過ぎ、元禄2



真宗高田派別院

年(1699)の「右いなふ道」「左志ろこ道」と刻まれた道標を見て左折する。閑散とした鈴鹿市の街並が続く。伊勢鉄道の高架下を抜け住宅街に入る。肥田町、北玉垣町と続く長閑な集落を進む。小さな鳥居の奥に山ノ神が奉られ、その横には小さな燈籠が建っている。鳥居・山ノ神・燈籠は、集落の入口と出口にある。途中、弥都加茂神社では七五三の参拝姿が見える。14時15分フジクラ鈴

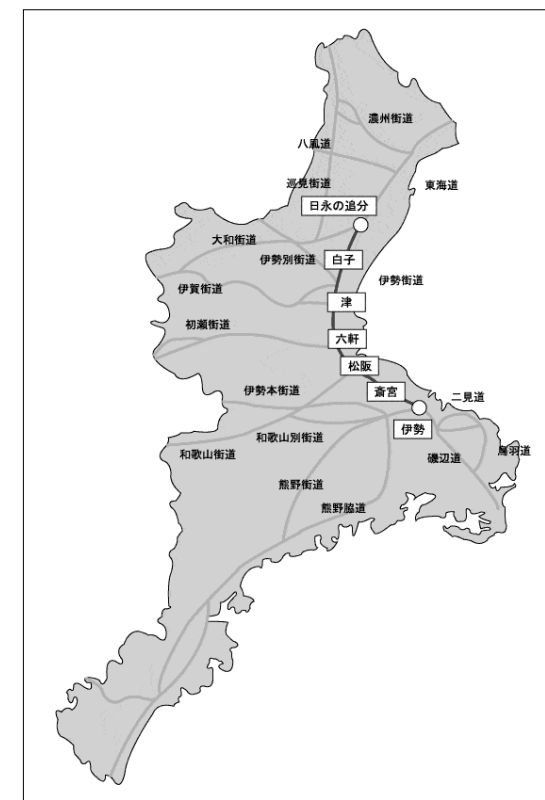


北の端の地藏堂

鹿工場前を通過。雨模様になる。まわりは団地が広がっている。静かな道が続く。近鉄名古屋線の踏切を越えたところに鎌倉時代に建立されたという北の端地藏がある。道路を挟んだ東側には役行者神変大菩薩が祀られている。雨が上がる。江戸時代初期の絵馬を多く保存しているという江島神社のあたりから、家の建ち方が直線ではなくギザギザになっている。防御を目的とした武者隠れのある町づくりと言われている。所々に連子格子の家



東江島の町並



伊勢市観光協会 資料より

が残っている。江島領主小笠原氏の菩提寺、雲心院が左手奥に見える。街道左の東町児童公園内には、明治26年から大正末期まで設置されていた河芸郡役所跡の碑がある。暫らく歩くと、右手に久留真神社がある。正面の真宗・唯信寺を見て、道なりに右に曲がると街道は突き当たり、白子参宮街道道標が左に行けと指で示し教えてくれる。道標を撮ろうとしたところでデジカメがフリーズする。電池は充分あるのに。15時45分撮影を諦めて近鉄白子駅に向かう。量販店が見当たらず県庁所在地の津に向かう。近鉄津駅より2軒程のところの量販店でカメラを買う。想定外の出費が、明晩の松阪での食事のメニューに影響しそうだ。津に泊まる。早寝して明日に備える。

2005年11月4日（金）

白子一千里（ちさと）一津一六軒一松阪

6時半、白子駅から歩き出す。白子代官所跡の横を通り、東に向かい「さんぐう道」の道標を真



甕釜冠地藏堂

う珍しい名のお堂がある。参宮道者の無事を祈願し茶を接待した休憩所で屋根上の露盤の代わりに瓦製の竈（かま）を置き、その上に水甕が伏せてある。本福寺の前を通り、尾前神社の参道を見ながら行く。近鉄千里駅前で踏切を渡り国道を横切る。切妻連子格子の家、上野神社の参道、最勝寺があり、虫籠窓・連子格子の立派な造りの家も



伊勢参宮街道の道標

新しいデジカメで撮影。小さな橋を渡ったところで右折する。正面に名利子安観音寺が見える。道は曲がりくねっている。弘化4年（1847）の「左くわんおん道 右さんぐう道」と刻まれた道標が残っている。堀切川の堤防を暫らく歩く。川を離れると国道と平行した一本道になる。途中、街道より少し奥まったところに八幡神社、専照寺が見える。中ノ川橋を渡り国道を横切って反対側に行く。国道は、大型トラックや通勤の乗用車で交通量が多い。甕釜冠（かめかまかぶり）地藏堂とい



虫籠窓・連子格子の家

見られる。このあたりを中町といい宿場の中心で、本陣・高札場・問屋・脇本陣などがあったというが何も残っていない。唯一、元和年間（1615～1623）のころからあるといわれる弘法井戸が残っている。満流寺、光勝禅寺と見ながら河芸町役場の前で国道を横切る。お神神社がある。もとは地の神を祀っていたと思われるが、今では痔の神となっている。病んでお悩みの読者諸氏に代わってお参りする。街道に戻り、栗真小川町・栗真中山町と進む。途中、地藏堂、逆川神社と続き、また



痔神社



巡礼道との追分

また国道を渡り、巡礼道との追分に出る。天保10年（1839）に建立された両宮常夜燈や道標がある。地藏堂、嘉永4年（1851）建立の大きな常夜燈がある。やがて江戸橋に着く。江戸に向かう藩主の見送りもここまでということで江戸橋と命名されたという木造の橋のたもとにも、安永6年（1777）建立の常夜燈と明治22年に再建された道標がある。ここは東海道関宿に続く伊勢別街道との追分でもある。一条寺、深正寺、光蓮寺があり、その先には津市の文化財となっている醸造業の阿部喜兵衛商店がある。歩道がなく車の往来が激しい。この辺りは、寛文年間（1661～1672）頃より人家が建ち並んだそうだ。JR津駅前の交差点を横切り暫らく行くと四天王寺がある。寺記に「用明天皇の御宇に聖徳太子物部守屋を討ちて四箇所の天王寺を創建せらる。本寺即ちその一なり」とある。安濃川に掛かる塔世橋を渡り国道を離れアーケードを抜けると「津の観音さん」と親しまれている



阿部喜兵衛商店



四天王寺

恵日山観音寺がある。日本三大観音の一つといわれ、藤堂高虎の祈願寺でもある。昭和20年の空襲で全焼し再建された仁王門、如意輪観音堂、天保7年（1836）の銅製水盤、寛永5年（1628）の銅燈籠、元和3年（1617）の銅鐘などが残っている。“伊勢は津でもつ津は伊勢でもつ”とうたわれ、明和年間（1764～1772）には、一日に千人が津で宿泊したという記録があり、かつては商店や旅籠屋で賑わい、本陣・脇本陣などもあったという通りを進む。岩田橋を渡る。もとは土橋であったが、のちに銅製の擬宝珠が付けられ、街道の名所の一つになったという。暫らく国道23号線を歩き、左折すると街道らしい道になる。伊勢国司・北畠氏の守り神であった市杵島姫神社があり、鳥居の左右の柱には千歳飴の袋が飾ってある。隣に閻魔堂、延命子安地藏尊には地藏が3体祀られてる。教円寺、神明神社、薬師寺、格子や軒の低い二階づくりの家並みの中を歩く。弘法太師の作といわれる



延命子安地藏尊と閻魔堂

地藏を祀る地藏堂がある。香良洲道との追分に着く。「お伊勢詣らば可良須に詣れ、可良須詣らな片参宮」といわれ、伊勢街道を往来する旅人は、伊勢参宮の往路・帰路に香良洲神社に参詣するのが普通だったようだ。さらに進むと古道との合流点があり、その先は成就寺、金剛寺、南昌寺、須賀神社と続く。加良比之神社参道入口を示す石標と明和元年（1764）の銅製の常夜燈がある。円光寺、西国19番札所の西福寺、浄誓寺など、寺が多い。長閑な道が続く。天神橋を越えると称念寺があり、門前には常夜燈がある。街道の勅使休泊所として使われた高茶屋神社があり、その前にも大きな春日型常夜燈がある。JR紀勢本線の高茶屋



石標と常夜燈

駅の踏切を渡り、街道は島貫へと入る。集落の中央の本陣跡には、明治天皇島貫御小休所跡の碑がある。その奥に檜の大木があり、その下に山ノ神二基が祀られている。雲出の渡し場にあった常夜

燈は、平成12年に架け替えられた橋の両詰に移されている。江戸時代の慶安3年（1650）・宝永2年（1705）・明和8年（1771）・文政13年（1830）と、ほぼ60年周期で4回起こった「おかげまいり」では、伊勢参宮のために全国各地から多いときには500万人以上の民衆が往来したといわれ、ここ雲出島貫の宿場も大層な賑わいであったという。松阪市に入る。肥留町の文政7年（1824）の建立という常夜燈を過ぎ、小村縄手の人家の垣根のところには文政4年（1821）の道標がある。奈良街道との分岐点の月本追分には、天保13年（1842）建立の伊勢街道で最大の道標が建っている。その



伊勢街道で最大の道標

横には、明治16年に再建された「右大和七在所道ならばせかうや道いごゑ本道」と刻まれた変形宮立形燈籠の道標もある。さらに「両宮 常夜燈」と彫ってある大きな常夜燈もある。このあたりには大きな燈籠がたくさん残っている。曾原茶屋交差点にも常夜燈、勅使塚がある。龍宮橋の近くで、傾きかけた小津一里塚跡の碑を見て先に進む。小津にも、道標と常夜燈が建っている。明治の終わり頃、鉄道の参宮線が開通しても白装束姿の旅人は六軒駅で降りこの曲がり角を歩いて伊勢まで参宮したという。三渡川を越えると、初瀬街道との追分を示す「大和七在所順道」「やまとめぐりかうや道」と豪快な書体で刻まれた道標が建っている。街道を挟んだ南側には文政元年（1818）建立の常夜燈が建っている。市場庄町では切妻連子格子の家があちこちに残り、各家に屋号の看板を掲げて家なみの保存に力が注がれている。ここ市場

庄は、江戸時代のショッピングセンターで、参宮道中に必要な合羽や土産物や土産物を売る店が軒を連ね、矢を射ると当たりどころによって、美女が出たり鬼が飛び出すゲームもあったと記されている。久米に入ると、いがみち分岐の道の一隅に「左さんぐう道」と刻まれた道標、行者堂、嘉永5年（1853）の常夜燈、庚申堂、山ノ神二基などがかたままって建てられている。なまこ壁の長屋門のある船木家を過ぎる頃には薄暗くなり、近鉄松阪駅まであと一駅を残して、16時50分本日の旅を終える。



長屋門のある旧家

2005年11月5日（土）

松阪一斎宮一伊勢（外宮）

7時5分前、近鉄松ヶ崎駅より街道に復帰する。すぐに万延2年（1861）建立の古川水神常夜燈に着く。その先、塚本の百々川のほとりにも嘉永5年（1852）建立の常夜燈がある。船江町に入ると、薬師寺がある。唐様を基調として和様を混入した



百々川右岸に立つ常夜燈

建物で、承応2年（1653）の建築とある。このあたりにも街道の雰囲気を残す連子格子の家がある。街道が大きくカギ形に曲がり、松阪市街に入る。坂内川に架かる松阪大橋を渡り、街道から少し離れた魚町にある本居宣長旧宅に行く。本居宣



魚町の家並

長は、著書「古事記伝」で、日本人古来のものの見方である「もののあわれ」や「やまとごころ」を説いた江戸中期の国学者で歌人でもあった。街道に戻り、江戸の紙問屋・小津家の前を通る。松阪商人の代表格として知られる三井家発祥の地がある。繁華街に入ると、松阪肉で有名な和田金、お菓子の老舗・柳屋などが並び、日野町の交差点には、参宮街道と和歌山街道の分岐点で、「右わかやま道」「左さんぐう道 八雲神社」と刻まれた道標が建っている。日野町、湊町、平生町、愛宕町、昔の街道沿いの町々ではあるが、今は美しく整備され広い通りが続く。垣鼻町に入り暫らく歩



日野町交差点に建つ道標

くと道は急に狭くなり、昔の面影を残す街道となる。荒神山稲荷、閻魔堂、信楽寺などがある。信楽寺には、旧本堂の鬼瓦や天明5年（1785）広瀬永正寺の名僧・天阿上人の建立による仏足石が残



仏足石

っている。金剛橋を渡ったあたりから、抜け道なのか急に車の往來が激しくなってきた。田園が広がる。JR徳和駅を過ぎさらに進むと、天保2年（1836）建立の常夜燈と、明治13年建立の女人の供養塔が続く。このあたりから連子格子の家があちこちに残っている。弘化3年（1846）建立の道標には「從是外宮四里」と刻まれている。へんば



「從是外宮四里」と刻まれた道標

餅を名物にしていたおもん茶屋跡がある。おかん茶屋跡もあったと聞くが見当たらない。大櫛神社の前を通り、櫛田橋を渡って早馬瀬町に入る。少し街道を離れたところには大乘寺、早馬瀬神社がある。天保9年（1838）建立の石地藏がある。道



六字名号碑と近鉄特急

の傍らに文化14年（1817）の六字名号碑があり、後方には近鉄特急が見える。斎王群行の際に、ここで祓いをして斎王宮に入ったことから名付けられた祓川を越えると弘化4年（1847）建立の道標「從是外宮三里」がある。竹川に入る。ここには駕籠屋の溜まり場、馬の取次ぎ場がある立場茶屋があり、明治以降は人力車、馬車の溜まり場があった。街道から離れ斎王・斎宮の歴史を、模型や映像で紹介する「斎宮歴史博物館」に寄る。街道に戻ると、程なく竹神社に着く。ここは、毎年6



竹神社

月初旬に行われる斎王まつりの斎王行列の出発点である。このあたり一帯は、伊勢神宮に奉祀する斎王を中心にして500人近い人々が住まいした斎宮の跡で、道路や溝で碁盤目状に区切られ、都風の建物が整然と並ぶ地域であったという。暫らく行くと、六地藏石幢（有明六地藏）、庚申堂三棟、山

ノ神五基があり、更に50mほど西に入ったところに盃地藏と地藏が祀ってある。今風の連子格子の家がある。永仁5年（1297）創建の安養寺は、江



今風の連子格子

戸時代参宮客に湯茶の接待をしたので賑わったそうだ。嘉永6年（1853）建立の「從是外宮二里」の道標、弘法大師堂などを見る。天保7年（1836）建立「上人さん」と呼ばれる「徳浄上人千日祈願の塔」がある。庚申堂を霊場としていた徳浄上人



特浄上人千日祈願の塔

が大飢饉・疫病に見舞われた村民の窮状を目の当たりにし、その救済のため雨の日も風の日も伊勢神宮両宮に千日の間素足で日参したという言い伝えが残っている。街道は大きく右折し、老舗「へんばや」の前に入る。へんばとは、三宝荒神など馬に乗った参宮客がここから馬を返して（返馬）一休みしたことから名付けられたへんば餅を売る茶店である。相合川に掛かる相合橋を渡り、新道から別れて旧道に入ると庚申堂がある。外城田川



老舗「へんば屋」

を渡りしばらく行くと、斎宮に起居していた斎王が伊勢神宮へ向う際、立ち寄って宿泊した離宮院址がある。薬等を販売していた虫籠窓が残る格子の町家、浄土寺、切妻の家なみの中を歩く。「参宮人見付」と刻まれた石柱が宮古橋のたもとに立つ。文政5年（1822）建立の「すぐ外宮江十三丁半、内宮江老里三十三丁半」と刻まれた道標もある。街道は途切れていて迂回しつつ筋向橋に着く。



筋向橋

筋向橋の川は、現在地下の水路になっており、嘉永2年（1849）の欄干のみが残っている。しばらく行くと左手に小西万金丹薬舗の堂々たる建物が見える。延宝4年（1676）創業、切妻の建築様式を今に伝え、現在も漢方薬「万金丹」などを販売している。いよいよ外宮である。豊受大神宮という。内宮が伊勢に鎮座してから約500年後に、天照大神の大御饌（食事）を司る神として丹波の国から迎えられた豊受大神を祀っている。



小西万金丹薬舗

りは古市で、かつて伊勢参りの人々が精進落としに立ち寄ることで賑わいを極めた歓楽街である。歌舞伎「伊勢音頭恋寝刃」の舞台である遊郭油屋の跡の標柱がある。長峰神社の先には、嘉永4年(1851)創業の旅籠屋「麻吉旅館」がある。古市



麻吉旅館



豊受大神宮



牛谷坂の常夜燈

2005年11月6日(日)

伊勢(外宮)ー伊勢(内宮)

伊勢街道最後の行程は、雨模様である。小田の橋を渡る。伊勢街道を歩いてきて初めて坂だと意識できる尾部(おべ)坂を上っていく。このあた



尾部坂

の歴史的資料を収集・保存・展示する古市参宮街道資料館もある。牛谷坂の途中にある常夜燈二基を見て、坂を下ると猿田彦神社の前に出る。おはらい町に入る。伊勢神宮内宮の門前町で切妻妻入の伝統的な伊勢の町並みが復元されている。その一角のおかげ横丁には、郷土料理や名産品の店が並ぶ。宝永4年(1707)創業の老舗「赤福本舗」もある。伊勢土産として人気の赤福は、五十鈴川の清流を餡(あん)に、川床の小石を餅に見立ててあるという。宇治橋の手前少し奥まったところに国指定史跡の旧林崎文庫がある。江戸時代の内宮領の学舎で、本居宣長や鴨長明など参宮に訪れ



おかげ横丁



赤福本店の前景

た学者が立ち寄って講義をしたという。五十鈴川に架かる長さ約102mの総檜造りの宇治橋を渡ると旅の終わりの内宮である。橋の両側に立つ二つの鳥居は内宮・外宮の正殿の旧棟持柱で作られているそうだ。内宮は、垂仁天皇皇女・倭姫命が天



伊勢神宮宇治橋

照大神がご鎮座する地を求めて各地を旅し、大神のお告げによってここ伊勢を鎮座地に選ばれたのが始まりといわれ、その歴史は約2000年にも及ぶといわれる。



注連縄



赤福 一人前280円也

道中伊勢音頭に「伊勢へゆきたい伊勢路がみたい せめて一生に一度でも わしが国さは伊勢路が遠い お伊勢行きたや参りたや」と人々が憧れたお伊勢さんへの道を三泊四日で歩いた。東海道や中山道に比べると起伏のほとんどない単調な街道ではあったが、往時の旅や街道の様子を忍ぶことができた。また、普通は正月が過ぎたら外してしまう注連縄を一年中玄関にかけているのも伊勢周辺の風習であることを知った。赤福本店の赤い毛氈に座って食べた「赤福」が、旅の疲れを癒してくれた。

FAPIG の 機 構 (社名 ABC順)

(平成18年3月1日現在)

理 事 会・委 員 会・専 門 部 会・事 務 局

会 長 沢 邦 彦 富士電機ホールディングス社長	理 事 佐 藤 康 博 みずほCB常務執行役員
副 会 長 林 敏 和 カワサキプラントシステムズ社長	〃 齋 藤 秀 一 渋沢倉庫取締役総合企画部長
〃 田 邊 弘 幸 双日常務執行役員	〃 萩 原 勉 清水建設執行役員

理 事 長 藤 史 郎 荏原製作所取締役専務執行役員	監 事 金 井 琢 磨 みずほCB営業第十部次長
〃 伊 藤 晴 夫 富士電機システムズ社長	
〃 弓 場 英 明 富士通経営執行役常務	事 務 局 長 溝 口 忠 雄
〃 小 倉 俊 次 郎 古河電工執行役員常務	
〃 植 松 敏 勝 古河機械金属専務取締役	

高温ガス炉プロジェクト部会 (6名)

◎ 早 川 均 (富士電機システムズ)

○ 中 村 志 郎 (双 日)

岡 本 太 志 (富士電機システムズ)

堀 徹 (カワキファントシステムズ)

甲 斐 芳 郎 (清 水 建 設)

オ ブ ザ ー バ ー

加 藤 茂 (原 燃 工)

廃止措置プロジェクト部会 (7名)

◎ 小 石 川 秋 三 (カワキファントシステムズ)

○ 見 上 寿 (富士電機システムズ)

荒 井 正 幸 (荏 原 製 作)

樋 口 哲 二 (富 士 通)

沢 本 雅 弘 (双 日)

渡 辺 守 成 (清 水 建 設)

竹 田 正 幸 (荏 原 工 業 洗 浄)

バックエンド調査研究部会 (6名)

◎ 山 崎 誠 一 郎 (カワキファントシステムズ)

○ 藤 沢 盛 夫 (富士電機システムズ)

石 山 祐 二 (荏 原 製 作)

三 澤 真 (富 士 通)

井 上 桂 一 (双 日)

加 納 茂 和 (清 水 建 設)

品質保証部会 (7名)

◎ 高 橋 正 昭 (富士電機システムズ)

○ 斉 藤 利 二 (カワキファントシステムズ)

竹 山 敏 (荏 原 製 作)

児 玉 義 和 (富 士 通)

有 本 徹 (古 河 電 工)

石 黒 修 司 (双 日)

中 村 誠 (清 水 建 設)

事 務 局

局 長 溝 口 忠 雄

FAPIG委員会および専門部会

(◎は委員長または部会長, ○は副委員長または副部会長)

企画委員会 (14名)

◎ 秋 定 俊 裕 (富士電機システムズ)

三 沢 秀 行 (荏 原 製 作)

早 川 均 (富士電機システムズ)

三 木 俊 也 (〃)

福 原 修 (富 士 通)

岩 崎 邦 男 (古 河 電 工)

中 川 敏 一 (古 河 機 械 金 属)

山 崎 誠 一 郎 (カワキファントシステムズ)

金 子 治 行 (み ず ほ C B)

吉 澤 顕 (双 日)

池 内 健 (渋 沢 倉 庫)

小 林 経 夫 (清 水 建 設)

溝 口 忠 雄 (事 務 局)

オ ブ ザ ー バ ー

阿 部 修 一 (原 燃 工)

広報委員会 (11名)

◎ 溝 口 忠 雄 (事 務 局)

米 田 正 章 (荏 原 製 作)

三 木 俊 也 (富士電機システムズ)

桜 本 和 博 (富 士 通)

岩 崎 邦 男 (古 河 電 工)

岩 間 和 義 (古 河 機 械 金 属)

湯 原 貴 浩 (カワキファントシステムズ)

秋 澤 弘 行 (み ず ほ C B)

村 野 博 一 (双 日)

菅 野 康 弘 (渋 沢 倉 庫)

酒 井 喜 則 (清 水 建 設)

原子力情勢調査部会 (6名)

◎ 清 水 良 雄 (双 日)

○ 白 川 正 広 (富士電機システムズ)

組 田 泰 男 (荏 原 製 作)

福 原 修 (富 士 通)

湯 原 貴 浩 (カワキファントシステムズ)

加 納 茂 和 (清 水 建 設)

Makoto Nakao, Jun-ichi Hori, Kentaro Ochiai, Naoyoshi Kubota, Satoshi Sato, Michinori Yamauchi, Noriko Ishioka, Takeo Nishitani

Measurements of Deuteron-Induced Activation Cross Sections for IFMIF Accelerator Structural Materials

FAPIG No. 172 pp.3~7 (2006)

The IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility) is in the design planning stage as neutron source to test fusion reactor materials for high fluence neutron.

In the design of it, long-term operation that total facility is 70% at least is required. However, deuteron beam activates the structural materials these activation limits maintenance and makes long-term operation difficult. Thus the accurate estimation of deuteron-induced activity and the selection of structural materials are important.

In this work, measurements of deuteron-induced activation cross sections for aluminum, iron, copper, tantalum and tungsten were performed.

KEYWORDS : International Fusion Material Irradiation Facility, TIARA facility, deuteron, cross section, activation

Yasunobu Nomoto, Toshimasa Kuroda

Structural Concept of Solid Breeder Test Blanket Module for ITER

FAPIG No. 172 pp.8~12 (2006)

A solid breeder blanket was selected as the primary candidate blanket of the fusion power demonstration plant (DEMO plant) in Japan. Test blanket module (TBM) testing in ITER is the most important milestone for the development of the blanket of the DEMO plant. This paper presents a structural concept of solid breeder TBM cooled by pressurized water. The sub-module concept was adopted for this TBM to simulate the DEMO blanket structure and to endure the over-pressurization in case of the coolant ingress to box structure. Two sub-modules have multi-layer structure composed of ceramic breeder pebbles and neutron multiplier pebbles inside of box structure made of F82H.

KEYWORDS : solid breeder blanket, test blanket module, structural concept, sub-module concept

FAPIG No.172

平成18年3月8日印刷

平成17年度 第3号

平成18年3月13日発行 (非売品)

発行所 第一原子力産業グループ事務局

〒107-8655 東京都港区赤坂6丁目1-20

双日(株)内

電話 (03) 5520-4911

ホームページ: <http://www.fapig.com/>

編集兼発行人 溝口忠雄

印刷所 ミズノブリテック(株)

〒104-0042 東京都中央区入船2-9-2

電話 (03) 5566-6677(代)

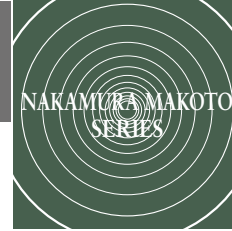
Chiaki Tomizuka, Yutaka Takeuchi

Development of Remote Handling System Based on 3-D Shape Recognition Technique

FAPIG No. 172 pp.13~18 (2006)

In a nuclear facility, the maintenance and repair activities must be done remotely in a radioactive environment. Fuji Electric Systems Co., Ltd. has developed a remote handling system based on 3-D recognition technique. The system recognizes the pose and position of the target to manipulate, and visualizes the scene with the target in 3-D, enabling an operator to handle it easily. This paper introduces the concept and the key features of this system.

KEYWORDS : remote handling system, 3-D recognition technique



Sadao Nakashima, Zenjirou Suzuki

Design of Exhaust Air Monitoring System at Reprocessing Plant

FAPIG No. 172 pp.19 ~ 25 (2006)

Exhaust air monitoring systems are implemented for monitoring and alarming air-borne radioactive materials in exhaust gas from the plants.

Since the quality of the radioactive exhaust air in Reprocessing Plant is different from that of Nuclear facilities, designing new exhaust air monitoring systems and new products are required. This paper introduces the exhaust air monitoring system newly developed for Reprocessing Plants, which meets the required monitorings and multiplex, and has the quake-resistant. Each monitoring device and instruments are also designed to integrate this system.

KEYWORDS : reprocessing plant, exhaust air monitoring

Munehiko Ishimi

Mechanism of Authentication and Its New Technologies

FAPIG No. 172 pp.26 ~ 33 (2006)

Crimes using masquerading technique are increasing. Masquerading is to falsify the identity of the perpetrator. Secure authentication mechanism is necessary to prevent those crimes. Bio, PKI, and smart card technologies are becoming to be adopted in advanced business communities.

Electronic passports will be introduced in a few years worldwide. Banks are introducing bio-authentication mechanism to ATM networks. Governments are distributing PKI Residential Identification Cards.

KEYWORDS : crime masquerade identity authentication bio PKI smart card passport



東寺晴初(京都市南区九条 教王護国寺)

作者プロフィール

中村 誠 Nakamura Makoto

1956年 滋賀県彦根市生まれ

現在 清水建設株式会社エンジニアリング事業本部在職中
FAPIG品質保証部会員

版画歴

1976年 葉書サイズのリノカットやゴム板を用いた凸版画を始める
一貫して建造物を配した古都の風景を描く

受賞歴

1979年 いづみや(現株式会社Tools)主催 版画はがきコンクール入選

1980年 いづみや(現株式会社Tools)主催 版画はがきコンクール入選

第一原子力産業グループ

旭電化工業株式会社

株式会社荏原製作所

富士電機ホールディングス株式会社

富士電機システムズ株式会社

富士通株式会社

古河機械金属株式会社

古河電気工業株式会社

川崎重工業株式会社

カワサキプラントシステムズ株式会社

株式会社神戸製鋼所

みずほコーポレート銀行

日本興亜損害保険株式会社

日本軽金属株式会社

渋沢倉庫株式会社

清水建設株式会社

双日株式会社

横浜ゴム株式会社