

# デコミッショニング技報

Journal of the RANDEC

巻頭言：発電所の廃止措置技術を地域産業の要に  
研究報告：環境中ウラン濃度と環境放射線への寄与  
低レベル放射性廃棄物ドラム缶内面腐食の外面  
からの超音波探査方法  
技術概説：軽水炉プラントにおける廃止措置の最近の取組  
みについて  
韓国における低中レベル放射性廃棄物処分施設  
の立地経緯及び現在の建設状況について  
技術報告：「ふげん」原子炉本体解体に向けた AWJ 切断技  
術の適用性試験

財団法人 原子力研究バックエンド推進センター

Radioactive Waste Management and Nuclear Facility  
Decommissioning Technology Center

No. 38 2008

# RANDEC

**RANDECは、原子力施設のデコミッショニング(廃止措置)技術の確立をめざした活動及びRI・研究所等廃棄物の処分地の立地等処理処分事業に関する調査等を行っています。**

## 事業の内容

デコミッショニングに関する試験研究・調査を行います。



デコミッショニングに関する技術・情報を提供します。



デコミッショニングに関する人材を養成します。



RI・研究所等廃棄物の処分地の立地等処理処分事業に関する調査等を行います。



デコミッショニング及びRI・研究所等廃棄物の処分地の立地等処理処分事業に関する普及啓発活動を行います。

# デコミッションング技報

第38号 (2008年11月)

## 目次

### 巻頭言

発電所の廃止措置技術を地域産業の要に .....	1
	福井 卓雄

### 研究報告

環境中ウラン濃度と環境放射線への寄与 .....	2
	佐藤和彦、石橋 純、川妻伸二

低レベル放射性廃棄物ドラム缶内面腐食の外面からの超音波探査方法 .....	11
	佐々木貞明、原 徹、山東和義

### 技術概説

軽水炉プラントにおける廃止措置の最近の取組みについて .....	25
	堀川義彦

韓国における低中レベル放射性廃棄物処分施設の立地経緯及び現在の建設状況について .....	35
	坂井章浩、菊池三郎、圓山全勝

### 技術報告

「ふげん」原子炉本体解体に向けたAWJ切断技術の適用性試験 .....	43
	中村保之、岩井紘基、佐野一哉、森下喜嗣、 丸山信一郎、手塚慎一、大鐘大介、高島雄次

# Journal of the RANDEC

No.38 Nov. 2008

## CONTENTS

### Research Report

- Uranium Distribution in the Environment and its Contribution to Environmental Radioactivity ..... 2  
Kazuhiko SATO, Makoto ISHIBASHI, Shinji KAWATSUMA
- Method for Observing Inner Corrosion of Low-Level Radioactive Waste Drums from Outside with  
Ultrasonic ..... 11  
Sadaaki SASAKI, Toru HARA, Kazuyoshi SANDO

### Exposition

- Recent Activities on Decommissioning of Light Water Reactors in Japan ..... 25  
Yoshihiko HORIKAWA
- Siting History and Current Construction Status of Disposal Facility for Low and Intermediate Level  
Radioactive Waste in Korea ..... 35  
Akihiro SAKAI, Saburo KIKUCHI, Masakatsu MARUYAMA

### Technical Report

- Experimental Study on the Applicability of the Abrasive Water Jet for Dismantling the Reactor Core of  
Fugen ..... 43  
Yasuyuki NAKAMURA, Hiroki IWAI, Kazuya SANO, Yoshitsugu MORISHITA,  
Shinichiro MARUYAMA, Shinichi TEZUKA, Daisuke OGANE, Yuji TAKASHIMA



### Uranium Distribution in the Environment and its Contribution to Environmental Radioactivity

Kazuhiko SATO, Makoto ISHIBASHI,  
Shinji KAWATSUMA

J.RANDEC, No38 (Nov.2008) page2~10, 5 Figures, 2 Tables

There is now discussion about clearance of materials and disposal of radioactive waste generated from uranium utilizing facilities which include uranium conversion and enrichment facilities, and fuel fabrication facility among the nuclear fuel cycle in Japan. These materials are supposed to be contaminated with natural nuclide, i.e. uranium. Uranium is widely distributed in the environment, e.g. soil, rock, river-water, groundwater and so on. Furthermore, uranium is also contained in some building materials and consumer goods. Literature survey was carried out to study distribution of uranium in the environment and measurement of uranium concentration in some materials. As a result, it is revealed that U-238 activities in soils in Japan range from order of several 1/1000 Bq/g to several Bq/g. Addition to that, the range of building materials is overlapped by that of soils, while some consumer goods showed relatively high activities. Furthermore, dose contribution of uranium series nuclides to the environmental radiation dose was discussed. It was suggested that, sum of environmental radiation dose in Japan is about 1.5 mSv/y and dose contribution of uranium series nuclides is about 0.8 mSv/y.

### Method for Observing Inner Corrosion of Low-Level Radioactive Waste Drums from Outside with Ultrasonic

Sadaaki SASAKI, Toru HARA, Kazuyoshi SANDO  
J.RANDEC, No38 (Nov.2008) page11~24, 24 Figures, 7 Tables

Among radioactive waste generated through the operation of nuclear power plants, low-level radioactive waste is filled into drums and stored for a specified period of time. We founded cases in which rust has

developed on the inner surface of the drum and defective cross-sections led to the formation of pitting corrosion, depending on the content of the drum. To deal with these problems that cannot be handled using conventional visual inspection from outside, we developed a new ultrasonic inspection technique. An experiment of this technique on an actual drum revealed that we could detect flaws and defective cross-sections of the inner surface of the drum with sufficient level of sensitivity regardless of the content, presence of water, and direct contact with metal.

### Recent Activities on Decommissioning of Light Water Reactors in Japan

Yoshihiko HORIKAWA

J.RANDEC, No38 (Nov.2008) page25~34, 10 Figures, 2 Tables

In Japan, there are now two power reactors under decommissioning, which are Tokai GCR of The Japan Atomic Power Company and Fugen of Japan Atomic Energy Agency.

In main countries such as the US and Germany, there are more than 30 commercial power reactors which have either completed or been undergoing decommissioning safely.

Based on these experiences in domestic and foreign countries, preparations for future decommissioning of LWRs in Japan are under way toward establishing socially-reliable and reasonable decommissioning technologies.

This paper introduces current preparatory activities for future decommissioning of LWRs in Japan.

### Siting History and Current Construction Status of Disposal Facility for Low and Intermediate Level Radioactive Waste in Korea

Akihiro SAKAI, Saburo KIKUCHI,  
Masakatsu MARUYAMA

J.RANDEC, No38 (Nov.2008) page35~42, 8 Figures, 3 Tables

Korean government decided disposal site for low and intermediate level radioactive waste (LILW), which is located at coastal area near the Wolsong nuclear power plants in Gyeong-Ju city in December, 2005, based on the result of votes of residents in four candidate sites. Since then, Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd (KHNP), which is the management company of the LILW disposal facility, has carried out the preparation for construction of disposal facility and its licensing process.

At the first phase, 100 thousand drums in 200 liter are planned to be disposed of in the rock cavern type disposal facility located at the depth from 80m to 130m below the sea level, and finally 800 thousand drums in 200 liter are planned to be disposed of in the site.

This report shows the history of siting for the LILW disposal, the outline of design of disposal facility and current status of its construction, based on the information which was obtained mainly during our visit to the disposal site in Korea.

### **Experimental Study on the Applicability of the Abrasive Water Jet for Dismantling the Reactor Core of Fugen**

Yasuyuki NAKAMURA, Hiroki IWAI,  
Kazuya SANO, Yoshitsugu MORISHITA,  
Shinichiro MARUYAMA, Shinichi TEZUKA,  
Daisuke OGANE, Yuji TAKASHIMA  
J.RANDEC, No38 (Nov.2008) page43 ~52, 17 Figures,  
5 Table

The advanced thermal reactor (Fugen) at Fugen Decommissioning Engineering Center is characterized by its tube-cluster structures. As a part of the study of dismantling, we are studying the abrasive water jet (AWJ) technique that could be used for the dismantling of double-tubes (pressure tube and calandria tube) as one of possible methods. As the results of the tests, we confirmed the possibility of abrasive recycle for reducing the volume of secondary wastes and the applicability of cutting monitoring technique in the water.

## 発電所の廃止措置技術を地域産業の要に



福井大学大学院工学研究科  
原子力・エネルギー安全工学専攻  
教授 福井 卓雄

生物を「自立的に活動し、繁殖するもの」、すなわち、遺伝子の維持者であると定義すると、その存続に必要なものは、活動のためのエネルギーと繁殖を可能にするだけの個体数・そのための空間である。同時に、生物はその活動の結果として、さまざまな不要物を排出する。この排出物はたびたび個体数の減少と利用空間の縮小を引き起こす。自然界は、何億年も時間をかけて、生物種の多様性を生み出し、ひとつの種の排出物を他の種が利用するという形で、資源を循環し廃棄物の毒性を還元するシステムを作ってきた。したがって、あるひとつの種だけが繁栄するときには、その排出物の処理がうまくいかずに自家中毒症状を起こして、種の個体数が減少する。人類は地球上にかつてない繁栄をほこり、その個体数は60億を超え、さらに倍増する勢いである。また、人類は同じ種の個体間やグループ間で競い合う種である。排出物によるものだけでなく、個体間の摩擦による自家中毒現象がいろいろな形で見られる。人類はこのような自家中毒を回避し、その繁栄を維持できるのであろうか？

人類の歴史の一部は排出物との闘いの歴史であった。人々が集団で生活し文明を築き始めたころよりこれは始まる。古代都市やパリの下水道などはその好例であろう。当初は、排出物を生活空間から排除し、その処理は自然の循環にまかせるものであったが、産業革命以降、排出物は有機性のものに加えて無機性のものが増加し、文明の進化による人口の増加に伴って、その量は増大しその質は多様化している。このために、人の手による排出物の処理が必要となり、処理技術の開発は必至となっている。現在問題となっている地球温暖化ガス、特にCO<sub>2</sub>の排出はその典型例であり、排出量の制御と処理の技術の発展が必須である。20世紀に入って、人類は物質を変換する技術を獲得し、その利用を拡げだした。すなわち、人類は、化学反応を利用する時代から、核反応を利用する時代へと変遷しつつある。当然ながら、新種の排出物が登場する。核廃棄物がそれである。自然による循環は、物理的なもの、すなわち移動と希釈、及び生物的なもの、すなわちある種の化学反応が中心である。核変換により生成する排出物のやっかいなところは、それが放射性物質を含むところにある。地球の表面という、各種の放射線から防護された環境のもとで進化した生物にとって、放射線の影響は未知のものであり、自然循環がそれを安全に減少させるものでもない。唯一の本質的な減少は時間によるものであるが、半減期が人類の歴史に対して極端に長い核種の場合には、それも無意味である。人類が核の時代を生きるのであれば、放射性廃棄物の量をきちんと制御する技術を獲得する必要がある、それが核の時代を生きる技術者の使命であると思う。

いま、私は敦賀に向かう列車の中でこの文を書いている。列車が山間部に入ると車窓には鬱蒼としたみどりが入り、自然の強さ・美しさを訴える。この敦賀において、ふげん発電所の原子炉廃止措置研究開発センターが発足し、わが福井大学においても研究がスタートした。それと同時に、地元商工会議所を中心として、地元の企業グループが学習・研究活動を始めている。原子力発電所からの廃棄物のほとんどの部分は非放射性である。当然ながら、その処理は民間事業にまかされるべきであろう。ふげんの廃止措置の研究は、核時代における排出物処理技術開発の端緒にすぎない。高度な処理技術の開発と同時に、民間レベルによる技術の具体化の進展と、それにより、世界をリードする技術を持った地域産業の興隆を願うものである。

## 環境中ウラン濃度と環境放射線への寄与

佐藤和彦\*、石橋 純\*、川妻伸二\*

### *Uranium Distribution in the Environment and its Contribution to Environmental Radioactivity*

Kazuhiko S<sub>ATO</sub>\*, Makoto I<sub>SHIBASHI</sub>\*, Shinji K<sub>AWATSUMA</sub>\*

核燃料サイクルの製錬転換、ウラン濃縮及び燃料加工のいわゆるウラン取扱施設のクリアランス及びそれら施設から発生するウラン廃棄物の処分の検討が国及び事業者などによりなされている。これら施設から発生するクリアランス対象物及びウラン廃棄物は、天然放射性元素であるウランで汚染されている。ウランは天然環境中にも広く分布し、土壌や岩石の他、河川水や地下水等にも含まれる。さらには、天然資源を用いた建築資材や一般消費財にも含まれる。そこで、環境中のウランの濃度に関する文献を調査し濃度分布を把握するとともに、一部比較的ウランを含むものについて、試料を入手・測定し確認を行った。その結果、日本の土壌におけるU-238の濃度範囲は0.001Bq/g～数Bq/gオーダーであること、一般消費財には濃度の高いものがあること、建築資材は日本の土壌の濃度範囲に含まれることがわかった。さらに、この結果から想定される環境放射線におけるウラン系列核種の寄与について考察し、日本における環境放射線による線量の合計は約1.5mSv/yであり、ウラン系列核種からの影響は、約0.8mSv/yであることが示唆された。

There is now discussion about clearance of materials and disposal of radioactive waste generated from uranium utilizing facilities which include uranium conversion and enrichment facilities, and fuel fabrication facility among the nuclear fuel cycle in Japan. These materials are supposed to be contaminated with natural nuclide, i.e. uranium. Uranium is widely distributed in the environment, e.g. soil, rock, river-water, groundwater and so on. Furthermore, uranium is also contained in some building materials and consumer goods. Literature survey was carried out to study distribution of uranium in the environment and measurement of uranium concentration in some materials. As a result, it is revealed that U-238 activities in soils in Japan range from order of several 1/1000 Bq/g to several Bq/g. Addition to that, the range of building materials is overlapped by that of soils, while some consumer goods showed relatively high activities. Furthermore, dose contribution of uranium series nuclides to the environmental radiation dose was discussed. It was suggested that, sum of environmental radiation dose in Japan is about 1.5 mSv/y and dose contribution of uranium series nuclides is about 0.8 mSv/y.

\* : 日本原子力研究開発機構 (Japan Atomic Energy Agency)

## 1. はじめに

製錬転換、ウラン濃縮及び燃料加工のいわゆるウラン取扱施設の運転及び廃止措置に伴い、クリアランス対象物及びウラン廃棄物が発生する。これら施設に係るクリアランス及びウラン廃棄物の処分に関する検討は、国及び事業者などにより進められている<sup>1)~3)</sup>。

クリアランス対象物及びウラン廃棄物に含まれる放射性核種の主要なものは長寿命天然放射性元素であるウランである。ウラン系列核種は、長い半減期を有するとともに天然にも広く分布する。例えば日本の土壤についてはUNSCEAR2000<sup>4)</sup>においてU-238濃度として0.002~0.059Bq/gの範囲が示されている。一方、環境放射線については、世界平均で年間2.4mSv<sup>4)</sup>、国内で年間1.5mSv<sup>5)</sup>の線量を受けているといわれている。

近年、様々な機関において全国レベルで環境放射線に係る様々な調査が実施されている。さらに、線量評価のための線量換算係数も見直されている。そこで、筆者らは、まず日本の土壤、建築資材及び一般消費財等の環境中ウランに関する文献を調査するとともに、特に高い濃度を示すものについて試料を入手・測定し、国内環境中のウラン濃度の範囲を確認した。さらに、その結果から想定される生活環境中の年実効線量を評価し、ウラン系列核種からの線量影響を検討したので報告する。

## 2. 環境中のウラン濃度

### 2.1 土壤中のウラン濃度

日本列島の上部地殻に含まれるウラン濃度は、2.32ppm (U-238濃度として0.029Bq/g)であるとされている<sup>6)</sup>。また、上述のUNSCEAR2000報告書によれば、日本の土壤中のU-238濃度の範囲は0.002~0.059Bq/g、平均値は0.033Bq/gと示されている。また、Megumi et al. (1988)<sup>7)</sup>によると、U-238の濃度範囲は0.005~0.130Bq/gとされている。その他の主な調査事例の概要を以下に示す (Fig.1)。

### 2.1.1 Yamagata and Iwashimaの調査<sup>8)</sup>

国内における土壤中のウラン濃度に関する先駆的調査として、Yamagata and Iwashima (1965)がある。この調査は、国土の大地放射線のバックグラウンドの地域差を評価するために行われたものである。この結果によると、ウランの濃度範囲は0.29~2.89ppm (U-238濃度として0.0032~0.036Bq/g)である。なお、この値は、全国で採取された260地点の土壤試料をもとに、地方毎(北海道、東北、関東、関西、九州等)の試料コンポジットを作成、測定したものであることから、地域毎の平均の変動幅を示していると考えられる。

### 2.1.2 産業技術総合研究所による「日本の地球化学図」<sup>9)</sup>

(独)産業技術総合研究所の地質調査総合センターでは、自然起源の約50の有害物質(ヒ素、ビスマス、ベリリウム、カドミウム、水銀、モリブデン、すず、ウラン、トリウム等)のバックグラウンドレベルの全国調査を1999年~2003年に実施し、2004年に「日本の地球化学図」を作成している。地球化学図は地殻表層での物質の分布を調べることを目的として作成される。そのため、広域を網羅し、かつ、環境中で十分混合されることから、河川堆積物が試料として選定されている。この試料の選定方法は世界的にも共通している。採取密度は100km<sup>2</sup>当たり1地点で、試料の数は合計約3,000点であり、国内における元素濃度調査としては最大規模である。元素濃度のバックグラウンドレベルの評価が目的であることから、地質学的な特徴のある地点(例えば、鉱床の近傍)を選ばないように、試料採取地点の選定には十分配慮がなされている。この調査によると、ウラン濃度の範囲は0.116~86.2ppm、平均1.41ppm (U-238濃度として範囲0.0014~1.06Bq/g、平均0.017Bq/g)である。

### 2.1.3 放射線医学総合研究所による農地土壤調査<sup>10)</sup>

(独)放射線医学総合研究所では、全国の農地土壤中のウラン濃度を調査している。約50の農地土壤が分析され、ウラン濃度範囲は、0.84~4.6ppm、平均2.55ppm (U-238濃度として範囲0.01~0.057Bq/g、平均0.031Bq/g)である。

項目		ウラン濃度 (Bq/g)	0.001	0.01	0.1	1	10	100	1000 (Bq/g)
土壌	水田土	0.018~0.225							
	畑地土	0.014~1.716							
	草地土	0.018~0.033							
	未耕地土	0.002~0.149							
	河川堆積物	0.003~4.02							
	湖底土	0.106~0.265							
	海底土	0.031							
	その他の土壌(分類不明を含む。)	0~0.255							
	宅地	0.23, 0.49, 0.21, 0.13, 0.18							
建設資材	石膏ボード	0.012, 0.031							
	フライアッシュセメント	0.017~0.198							
	フライアッシュ	0.194, 0.408							
	コンクリート	0.018~0.075							
	コンクリート骨材(砂、碎石(岩石))	0.0009~0.286 0.008~0.551							
	縁石、敷石(御影石)	0.54, 0.11							
	耐火物レンガ	0.32~7.144							
一般消費財	ラドン温泉浴素	20.4, 69.4							
	船底塗料	24.5							
	プレスレット・ネックレス(セラミックス)	3.47~18.0							
	健康器具(粉体入)	11.0							
	マフラー触媒	6.74							
	衣料(繊維に練込み)	2.04							
	研磨材	0.408, 2.857							
	リン酸肥料	0.078~0.149 0.45~2.25							

— 文献値 ▲ 本報告の測定値

電離放射線障害防止規則：  
放射性物質に該当しない固  
体状のものの濃度限度

核燃料物質、核燃料物質及び原子  
炉の規制に関する法律：  
使用の届出を要しない固体状の核  
燃料物質の放射能濃度等の限度

- 1) 日本分析センター, 日本の環境放射能と放射線ホームページ
- 2) 鳥取県ホームページ
- 3) 今井 登, 寺島 滋, 太田充恒, 御子柴(氏家)真澄, 岡井貴司, 立花好子, 富樫茂子, 金井 豊, 上岡 晃, 谷口政規, 日本地球化学会, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, (2004).
- 4) K.Megumi, T.Oka, M.Do, S.Kimura, T.Tsujimoto, T.Ishiyama, K.Katurayama, "Relationships between the concentrations of natural radionuclides and the mineral composition of the surface soil", Radiation Protection Dosimetry, 24[1], 69-72 (1988).
- 5) 茨城県公害技術センター, 表やグラフで見る茨城の環境 (第6版), (2003).
- 6) 放射線審議会基本部会, 自然起源の放射性物質を含む物の現地調査について, 放射線審議会第15回基本部会資料, 資料第15-2号, 放射線審議会, (2003).
- 7) 吉田昌弘, 遠藤 章, 佐藤滋朗, 大畑 勉, 渡辺正敏, 大山柳太郎, 古田廣高, "天然ウラン, トリウムを含む消費財中の放射能濃度とその利用等による被ばく線量の評価", 日本原子力学会和文論文誌, 4 [3], 37-42 (2005).
- 8) (独)放射線医学総合研究所, 放射線の線源, 影響及びリスク, (1990).
- 9) 放射線審議会基本部会, 自然起源の放射性物質を含む物の状況について, 放射線審議会第11回基本部会資料, 資料第11-2号, 放射線審議会, (2003).
- 10) 日本原子力研究開発機構, 日本原燃, 原子燃料工業, 三菱原子燃料, グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン, ジェー・シー・オー, ウラン廃棄物の処分及びクリアランスに関する検討書, (2006).
- 11) 山元他, 中性子放射化によるコンクリート中のウラン及びトリウム濃度の定量, 保健物理, 30, 141-148 (1995).
- 12) Q.Guo et al., Investigation on Thoron Progeny and Radon Progeny Concentration in Living Environment and Estimation of Their Effective Dose to the Public, 保健物理, 30, 219-226 (1995).
- 13) 原子力環境整備促進・資金管理センター, "日常生活用品等の放射性核種濃度データの収集", 原環センタートピックス, 59, 1-7 (2001).
- 14) 放射線審議会, 自然放射性物質の規制免除について, (2003).
- 15) (財)原子力安全研究協会, 環境放射線モニタリング, (1987).

Fig.1 Uranium Activity of Solid Materials contained with Natural Uranium in Japan



## 2.2 建築資材及び一般消費財中のウラン濃度

建築資材中のウラン濃度に関するまとまった調査は、原子力環境整備促進・資金管理センター(2001)<sup>11)</sup>、放射線審議会基本部会(2003)<sup>12)</sup>、吉田ほか(2005)<sup>13)</sup>等に示されている。それによると、石膏ボード、フライアッシュセメント、コンクリート及びその骨材等の建築資材のウラン濃度は0.01Bq/g~0.1Bq/gオーダーの範囲である。一方、耐火物レンガ、ラドン温泉浴素、健康器具、リン酸肥料等の一般消費財のウラン濃度は0.01Bq/g~10Bq/gオーダーの範囲にある(Fig.1)。

## 2.3 環境中ウランの測定

上記のように環境中のウラン濃度は多様であることが理解される。このことを確認するために、報告された地点において試料を採取しウラン濃度の測定を行った。採取地は、「日本の地球化学図」で河川堆積物のウラン濃度が比較的高く報告されている35点である。また、建築資材及び一般消費財については、一般に購入できるものとして各地のホームセンターにて購入可能な物品を入手し、12点を測定に供した。

それぞれの試料は複数採取・入手し、アルファ線サーベイメータにて有意の測定値が得られる試料を選定した後、粒径2mm以下の粒度に調整し

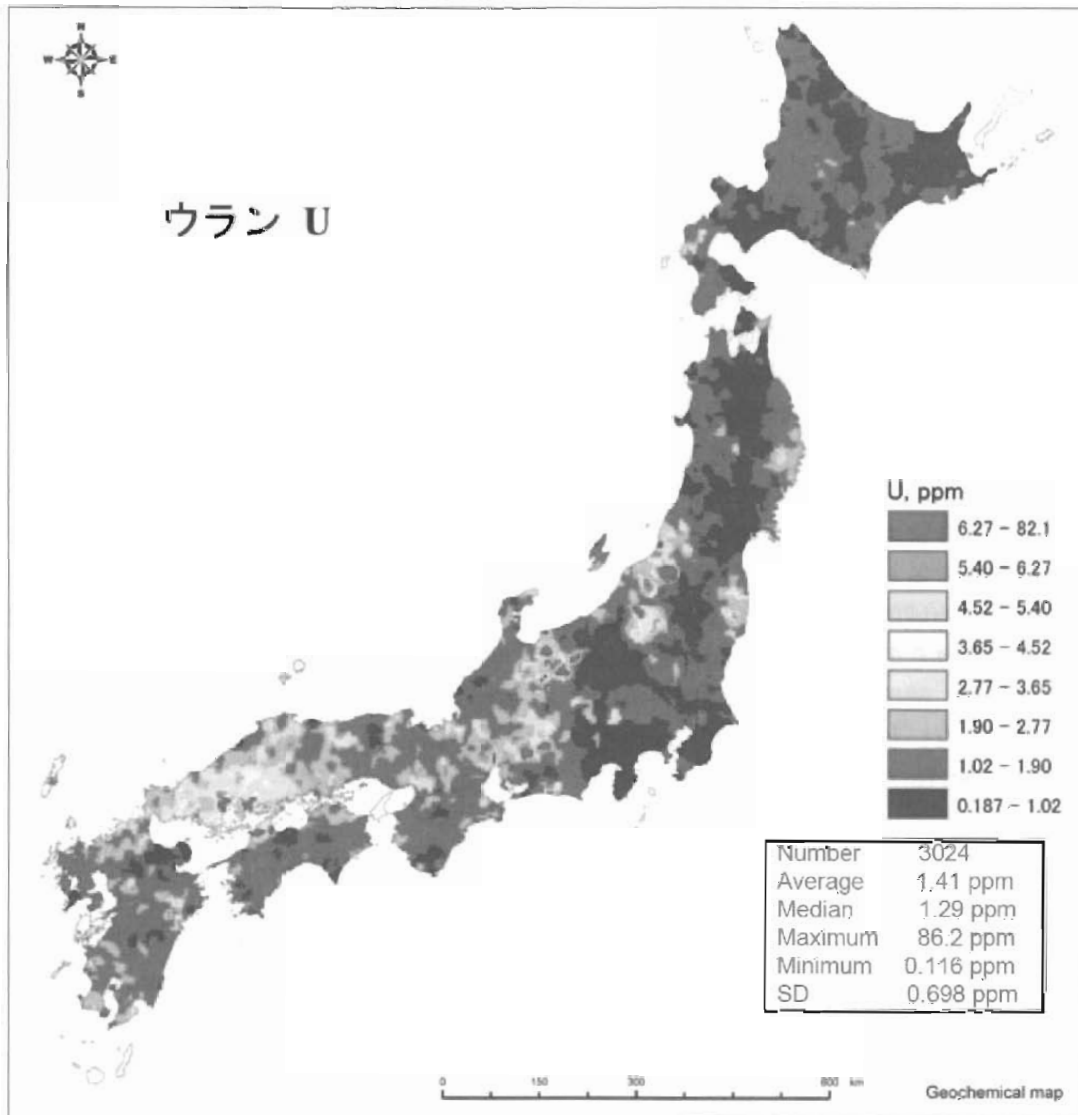


Fig.2 Spatial Distribution of Uranium Concentration in Japan (after Imai et al., 2004)

た。測定前処理として、試料粉碎の後、硫酸、硝酸及び過塩素酸による全溶解を行った。測定は、(独)日本原子力研究開発機構人形峠環境技術センターのHR-ICP-MS (サーモエレクトロン社 ELEMENT) によりウランの濃度 (単位: ppm) を測定し、天然ウランの放射能存在比及び比放射能を乗じてU-238濃度 (単位: Bq/g) とした。なお、粒度調整した試料を同センターのゲルマニウム半導体検出器にてウラン子孫核種の測定を行い、総合的な結果を得ている。これらの前処理及び測定方法は、文部科学省の放射能測定シリーズ「環境試料採取法」<sup>14)</sup>、「ウラン分析法」<sup>15)</sup>、「ゲルマニウム半導体検出器等を用いる機器分析のための試料の前処理法」<sup>16)</sup>及び「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」<sup>17)</sup>に準拠した。

## 2.4 環境中のウラン濃度の範囲について

2.1及び2.2で示した文献に示された土壌等、建築資材及び一般消費財のウラン濃度の範囲を2.3において測定したウラン濃度を合わせてFig.1に示す。土壌等は、種類により違いはあるものの、「日本の地球化学図」の濃度範囲が他の土壌等のデータ範囲を包含していることが分かる。これは、試料である河川堆積物が一定地域の表層物質を混合した結果であることを示していると考えられる。一方、建築資材や一般消費財については、国内データは少なく今後の測定に期待されるが、国内での流通を考慮すると、建築資材及び一般消費財のウラン濃度の地域的分布の偏りは大きくないと考えられる。これらのことから、耐火物レンガ、ラドン温泉浴素、健康器具、リン酸肥料等の一般消費財を利用しない状況においては、環境中のウラン濃度は0.001Bq/g～1 Bq/gオーダーの範囲であると考えられる。

## 3. 生活環境中の線量

### 3.1 環境放射線の線量の評価方法

環境放射線の線量は、外部被ばくに係るものとして、宇宙線及び大地からの放射線 (ガンマ線) が、内部被ばくに係るものとしてラドンの吸入及び食物中のウラン、トリウム及びカリウム等が関

与している。なお、建築資材及び一般消費財は大地からの放射線に包含されるものと考えられることができる。

大地からの放射線については、上述の「日本の地球化学図」のデータを用いた。これは、2にて示したものも含めて整理すると、以下の通り。

- ①ほぼ全国の市町村を網羅しておりデータ数 (約3,000点) が多い。
- ②全地点のデータが位置情報とともに公開されている。
- ③代表性を考慮して、採取地点を選定している (鉱床等の特異な地点を除いている)。
- ④他の機関等が行った調査結果の範囲を包含している。
- ⑤大地からの放射線に寄与するウランのほか、トリウム及びカリウムの濃度のデータも示されている。

Fig.2及びFig.3にウラン濃度 (単位: ppm) の分布とこのデータをU-238濃度 (単位: Bq/g) に換算した結果を参考として示す。これらのデータから高さ1 mにおける線量 (実効線量 $H_E$ ) を以下の式から評価した。

$$H_E[\text{mSv/y}] = (462 \times C_U + 604 \times C_{Th} + 41.7 \times C_K) \times 0.748 \times 8760[\text{h/y}] \times 10^{-6}$$

ここで、 $C_U$ 、 $C_{Th}$ 及び $C_K$ は、それぞれU-238、Th-232、K-40の放射能濃度 (Bq/g) である。462、604、41.7は、それぞれ、ウラン系列、トリウム系列、K-40の単位濃度当たりの高さ1 mでの空気吸収線量である<sup>18,19)</sup>。0.748は、空気吸収線量から実効線量への換算係数である<sup>20)</sup>。この方法により高さ1 mにおける実効線量を計算した結果をFig.4に示す。

また、ラドン吸入に係る線量は、放射線医学総合研究所のラドン濃度データ (Bq/m<sup>3</sup>) の調査結果をもとに、国連科学委員会<sup>4)</sup>の線量評価手法に準じて算出した。なお、その計算式は次のとおりである。

$$\text{線量}[\text{mSv/y}] = \text{ラドン濃度}[\text{Bq/m}^3] \times \text{平衡ファクター} \times \text{被ばく時間}[\text{h/y}] \times \text{線量換算係数}[(\text{Sv/h})/(\text{Bq/m}^3)]$$

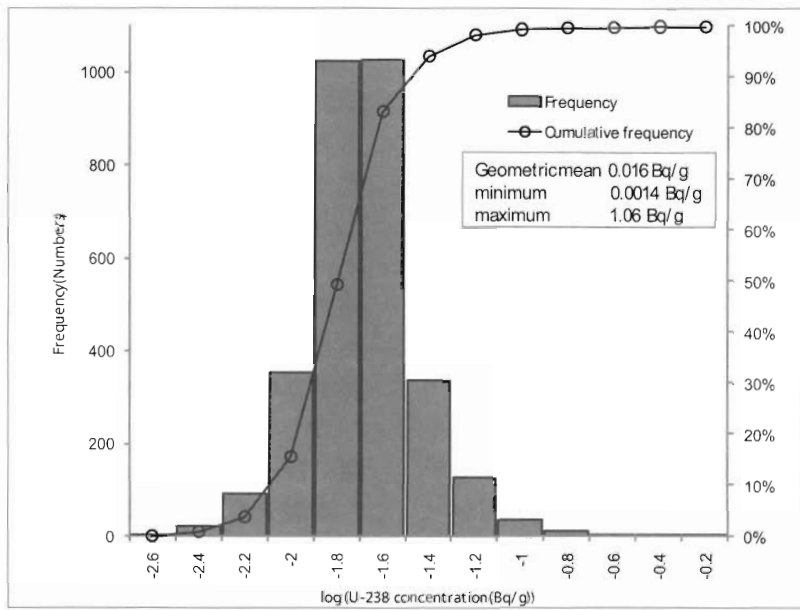
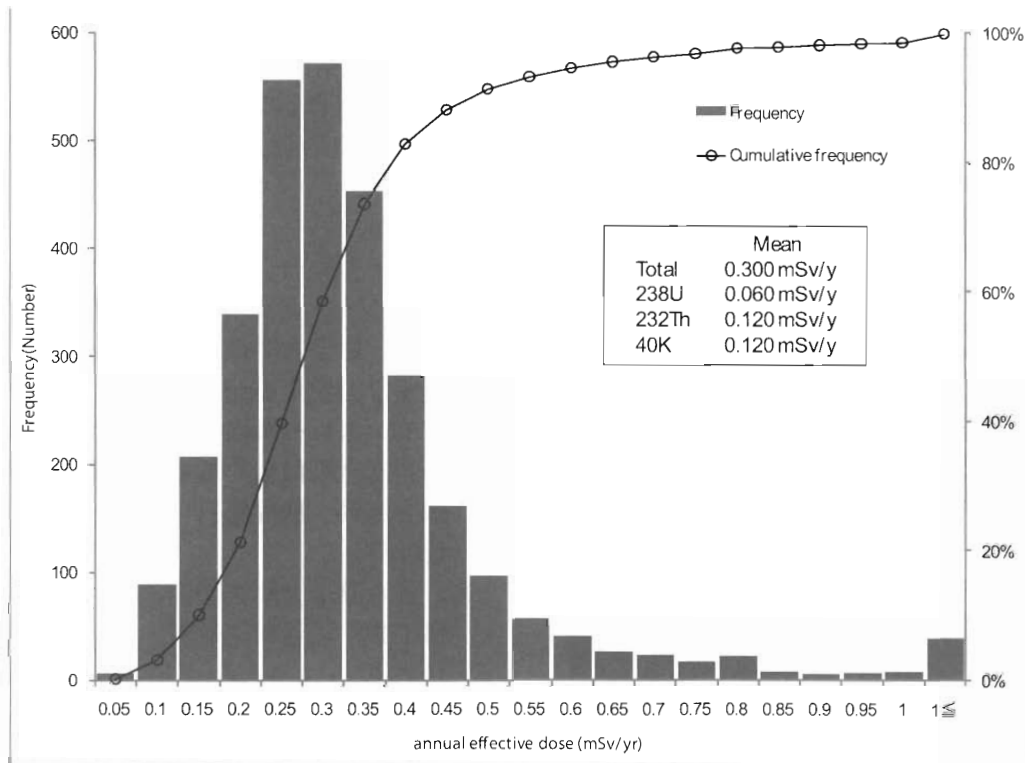


Fig.3 Distribution of U-238 Activities calculated from “Geochemical Map of Japan”



算出条件  
・年間被ばく時間：8760時間（365日×24時間）

Fig.4 Distribution of the Estimated Annual Effective External Dose due to Natural Nuclides

その他のものについては、最新の知見が反映されたデータベースもしくは文献を参考とし、Table 1に示すように計算した。

3.2 生活環境中の自然線源からの被ばく

上記の方法により環境放射線の線量を計算した結果をTable 2に示す。全体の幅は、1.1~2.6mSv/y、平均は1.5mSv/yとなり、我が国の日常生活で受けている環境放射線量を算定している生活環境放射線調査専門委員会 (1992)<sup>5)</sup>と整合的な結果となった。そのうちウラン系列からの寄与は、範囲として0.54~1.7mSv/y、平均として0.83mSv/yである。環境放射線の50%以上はウラン系列からの影響と言える。また、ウラン系列からの線量影響の内訳は、ラドン吸入が最も大きく、次に、経口摂取、外部被ばくの順である。個々の被ばく経路に寄与する主要核種は、親核種であるU-238ではなく、子孫核種、とりわけラドン及びその子孫核種である。

4. まとめ

本調査の結果、日本における土壤中のウランの濃度分布は、これまでUNSCEAR2000報告書に報告されていた範囲よりも大きいことがわかった。元素濃度のバックグラウンドを示す「日本の地球化学図」によると、その濃度範囲は、数Bq/gのオーダーに至ることが分かった。また、環境放射線源による実効線量の合計は平均約1.5mSv/yであり、そのうち、ウラン系列核種からの放射線の影響は約0.8mSv/yであることが示唆された。

謝辞

本調査を進めるにあたり、日本原燃株式会社及び(社)新金属協会核燃料加工部会の関係者の方々から試料をご提供いただくとともに、技術的討論をさせて頂いた。また、(独)日本原子力研究開発機構人形峠環境技術センターの関係者には、測定に関して協力をいただいた。さらに、同機構原子力基礎工学研究部門の齋藤公明博士には環境放射線測定に関する技術的ご指導をいただくとともに、(独)放射線医学総合研究所の田上恵子博士からは文献情報をご教示頂いた。ここに合わせて感謝する。

Table 1 Estimation Methods of Environmental Radiation Dose

		概要	
外部被ばく	宇宙線	放射線医学総合研究所「我が国における宇宙線からの線量マッピング」(2004)をもとに線量を算出。線量の幅は、10パーセント値から90パーセント値とした。	
	大地からの放射線	「日本の地球化学図」(2004)に示された濃度をもとに線量を算出。線量の幅は、10パーセント値から90パーセント値とした。	
内部被ばく	ラドン吸入	放射線医学総合研究所「全国屋内ラドン濃度マッピング」(2004)をもとに線量を算出。線量の幅は、県平均の変動幅とした。	
	食物等の摂取	U Th	金沢大、山本ら(1994)による食品等に含まれる放射性物質の濃度の調査結果をもとに線量を算出。線量の幅は文献値の最小、最大とした。
		Kほか	放射線医学総合研究所、内山ら(1981)による食品等に含まれる放射性物質の濃度の調査結果をもとに線量を算出。線量の幅は文献値の最小、最大とした。

Table 2 Estimated Environmental Radiation Dose in Japan

線源	全体(mSv/y)		U-238系列 <sup>1)</sup> からの線量(mSv/y)			備考	
	範囲	平均	範囲	平均	主要核種		
外部被ばく	0.22~0.44 <sup>2)</sup>	0.26	-	-	-	放射線医学総合研究所(2004)をもとに算出	
大地からの放射線	0.14~0.44 <sup>3)</sup>	0.30	0.026~0.095 <sup>4)</sup>	0.06	Bi-214, Pb-214	「日本の地球化学図」をもとに算出	
内部被ばく	0.38~1.3 <sup>5)</sup>	0.59	0.30~1.3 <sup>5)</sup>	0.83	Rn-222 <sup>6)</sup>	放射線医学総合研究所(2006)をもとに算出	
食物等の摂取	U Th	0.13~0.23	0.13	0.13~0.23	0.18	Pa-231, Pb-210	金沢大、山本ら(1994)及び放射線医学総合研究所、内山ら(1981)をもとに算出
		0.20	0.20	-	-	-	放射線医学総合研究所、内山ら(1981)をもとに算出
合計	1.1~2.6	1.5	0.54~1.7	0.83	Rn-222 <sup>6)</sup> , Pb-210		

1) 県平均の変動幅。  
 2) 10パーセント値から90パーセント値。  
 3) 県平均の変動幅。  
 4) U-238系列の放射線影響が小さい。  
 5) ラドン子孫核種の影響を含む。

参考文献

- 1) 原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会、ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について、原子力委員会、(2000)。
- 2) 原子力安全委員会事務局、原子力施設のクリアランスレベルに係る検討状況等について、原子力安全委員会 放射性廃棄物・廃止措置専門部会資料、放廃第11-3号、原子力安全委員会、(2006)。
- 3) 日本原子力研究開発機構、日本原燃、原子燃料工業、三菱原子燃料、グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン、ジェー・シー・オー、ウラン廃棄物の処分及びクリアランスに関する検討書、(2006)。
- 4) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, *UNSCEAR 2000 Report vol.1: Sources*, (2000)。
- 5) 生活環境放射線調査専門委員会 監修・編集、生活環境放射線(国民線量の算定)、原安協報告

- 231、原子力安全研究協会、(1992).
- 6) 富樫茂子、今井 登、奥山(楠瀬)康子、田中 剛、岡井貴司、狛 武、村田 泰章、青山秀喜、“日本列島の“クラーク数” 若い島弧の上部地殻の元素存在度”、地質ニュース、558、25-33 (2001).
- 7) K.Megumi, T.Oka, M.Doi, S.Kimura, T.Tsujimoto, T.Ishiyama, K.Katurayama, “Relationships between the concentrations of natural radionuclides and the mineral composition of the surface soil”, Radiation Protection Dosimetry, 24[1], 69-72 (1988).
- 8) N.Yamagata, K.Iwashima, “Terrestrial background radiation in Japan”, Health Physics, 13, 1145-1148 (1967).
- 9) 今井 登、寺島 滋、太田充恒、御子柴(氏家)真澄、岡井貴司、立花好子、富樫茂子、金井 豊、上岡 晃、谷口政硯、日本の地球化学図、産業技術総合研究所地質調査総合センター、(2004).
- 10) S.Yoshida, Y.Muramatsu, K.Tagami, S.Uchida, “Concentrations of lanthanide elements, Th, and U in 77 Japanese surface soils”, Environment International, 24[3], 275-286 (1998).
- 11) 原子力環境整備促進・資金管理センター、“日用品等放射線核種濃度データの収集”、原環センタートピックス、59、1-7 (2001).
- 12) 放射線審議会基本部会、自然起源の放射性物質を含む物の状況について、放射線審議会第15回基本部会資料、資料第11-2号、放射線審議会、(2003).
- 13) 吉田昌弘、遠藤 章、佐藤滋朗、大畑 勉、渡辺正敏、大山柳太郎、古田廣高、“天然ウラン、トリウムを含む消費財中の放射能濃度とその利用等による被ばく線量の評価”、日本原子力学会和文論文誌、4 [3]、37-42 (2005)
- 14) 文部科学省、環境試料採取法、放射能測定法シリーズ16、(1983).
- 15) 文部科学省、ウラン分析法(改訂版)、放射能測定法シリーズ14、(2002).
- 16) 文部科学省、ゲルマニウム半導体検出器等を用いる機器分析のための試料の前処理法、放射能測定法シリーズ13、(1982).
- 17) 文部科学省、ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー、放射能測定法シリーズ7、(1992).
- 18) K.Saito, P.Jacob, “Gamma ray fields in the air due to sources in the ground”, Radiation Protection Dosimetry, 58[1], 29-45 (1995).
- 19) International Commission on Radiation Units and Measurements, “Gamma-Ray spectrometry in the environment”, ICRU REPORT 53 (1994).
- 20) S.Moriuchi, M.Tsutsumi, K.Saito, “Examination on conversion factors to estimate effective dose equivalent from absorbed dose in air for natural gamma radiations”, Japanese Journal of Health Physics, 25, 121-128 (1990).

#### 付属資料A 河川水等に含まれる天然ウラン濃度

主要約50河川中を対象にしたウラン濃度の全国調査が(独)放射線医学総合研究所<sup>A1)</sup>により2002年~2006年にかけて実施された。その結果は、河川水中のウラン濃度は0.5~181ng/L( $6.2 \times 10^{-6}$ ~ $2.2 \times 10^{-3}$  Bq/L)、平均10.9ng/Lである。津村・山崎<sup>A2)</sup>は、全国の主要82河川及び雨水を対象に、ウラン濃度を調査している。その結果によると、ウラン濃度の範囲は、0.87~169ng/L、平均25.4ng/Lである。環境省の調査<sup>A3)</sup>によると、公用水域中(河川、湖、海)で10~5600ng/L、地下水で10~2,900ng/Lである。温泉水中のウラン濃度に関しては、多くの文献を金井(2002)<sup>A4)</sup>が整理している。その結果によると、~68,000ng/Lである。原子力機構における分析結果によると、河川水中で28~859ng/L、温泉水中で10~34,400ng/Lである。これらの結果をFig.A1に示す。

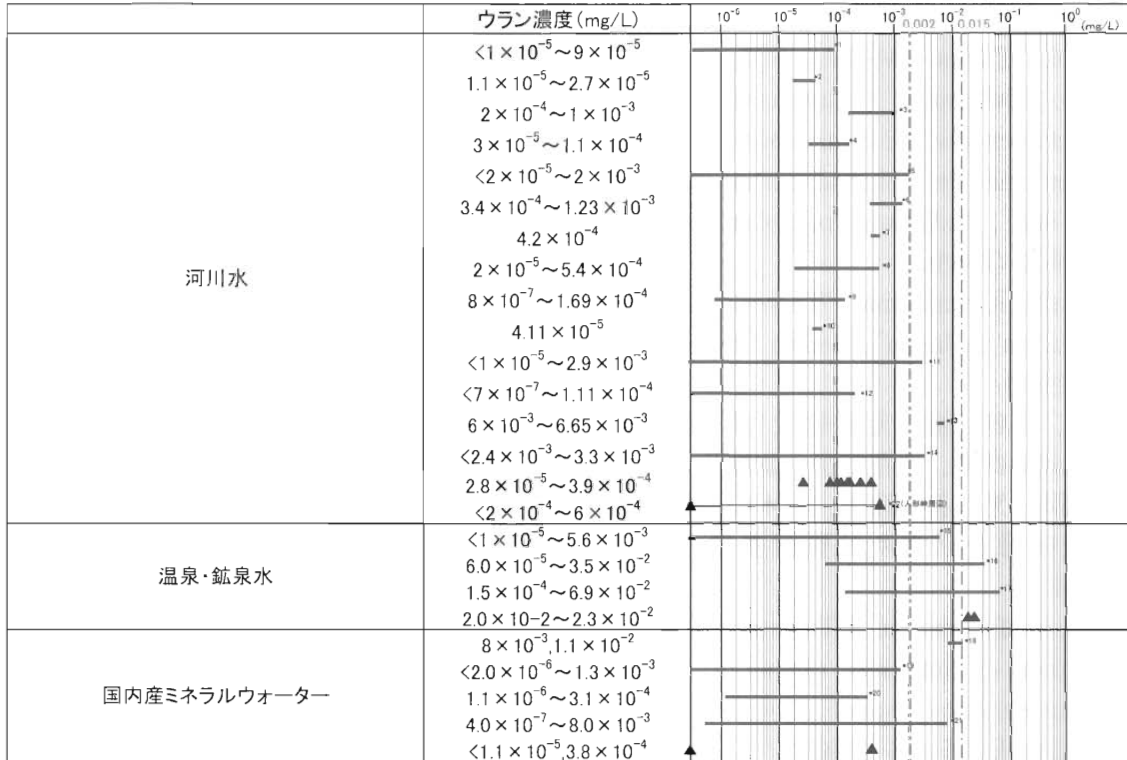
#### 参考文献

- A1) 内田滋夫、武田 洋、田上恵子、高橋知之、荻生延子、青野辰雄、日本の河川水中元素濃度分布図、NIRS-M-200、放射線医学総合研究所、(2007).
- A2) 津村昭人、山崎慎一、“河川水。雨のウラン、トリウム、ランタノイドなど微量元素のバックグラウンド調査”、Radioisotopes、47 [1]、46

-55 (1998).

A 3) 環境省水・大気環境局、平成16年度公共用水域水質測定結果、(2005)

A 4) 金井 豊、“福島県における温泉・湧水中の天然放射性核種”、地質調査研究報告、53 [7 / 8]、559-571 (2002).



- \*1 金井他、「新潟県中東地区におけるウランの水文学的・地球化学的研究」、地質調査所月報、第42巻第5号、p. 261-274(1991)
- \*2 北里大学ホームページ、「相模川の水質」
- \*3 神奈川県衛生研究所ホームページ「データボックス」2004
- \*4 川崎市公害研究所「川崎市の地下水及び公共用水域における全マンガン、ウラン及びアンチモンの実態調査」、川崎市公害研究所年報 第32号(2005)
- \*5 鳥居他、「温泉中のウランについて」、温泉科学、vol. 9, p. 91. (1958)
- \*6 Miyake, et al., Content of uranium, radium, and thorium in river waters of Japan. In Adams, J. A. S and Lower, W.M.eds. The Natural Radiation Environment, Chicago University Press, Chicago, p221(1964)
- \*7 望月他、「宍道湖・中海湖の水の懸濁物中のウラン含有量」、地質調査所月報 第23巻 第7号(1972)
- \*8 磯村他、「兵庫県内花崗岩地域を主とする河川水および飲料水中ウラン濃度」、Radioisotopes, 48, 628-634(1999)
- \*9 津村他、「河川水 雨のウラン・トリウム、ランタノイドなど微量元素のバックグラウンド調査」、Radioisotopes, 47, 46-55(1998)
- \*10 Oshita et al., 「Synthesis of novel chitosan resin derivatized with serine moiety for the column collection/concentration of uranium and the determination of uranium by ICP-MS」、Analytica Chimica Acta 480, 239-249(2003)
- \*11 環境省ホームページ、「平成13年度 要調査項目 存在状況調査結果」
- \*12 坂本他、「誘導結合プラズマ三次元四重極質量分析装置を用いる琵琶湖湖水及び琵琶湖周辺河川水中のウラン及び主成分元素の定量」、BUNSEKI KAGAKU Vol.53 No.2, p.91-99(2004)
- \*13 石原他、「鳥取県東部の阿用川を中心とする水の化学的性質とくにウランの異常について」、地質調査所月報 Vol.20No.7, p.435-448(1969)
- \*14 岡山県環境保健センター、岡山県、平成7～16年度人形峠周辺の環境放射線等測定報告書(1996～2005)
- \*15 金井、「福島県における温泉・湧水中の天然放射性核種」、地質調査研究報告、第53巻、第7/8号、p.559-571(2002)
- \*16 竜谷他、「山陰地方の温泉水中の<sup>238</sup>U、<sup>234</sup>U、<sup>226</sup>Raおよび<sup>228</sup>Ra含有量について」、Radioisotopes 32, p.18-21(1997)
- \*17 野口、「鳥根温泉の科学」、温泉科学28(3)(1977)
- \*18 小藤他、「ミネラルウォーター中のウラン濃度」、Radioisotopes 48 p.263-265(1999)
- \*19 斎藤他「ミネラルウォーター中のウラン・トリウム含有量」、3rd 環放射研・KEK Proc '02(2002)
- \*20 Shirahashi et al., 「DOSE EFFECT FOR JAPANESE DUE TO <sup>232</sup>Th AND <sup>238</sup>U IN IMPORTED DRINKING WATER」、Health Physics April 2004, Volume 86, Number 4(2004)
- \*21 金沢大学、「市販ミネラルウォーター中のウラン濃度」、Annual Progress Reports of Low Level Radioactivity Laboratory, Kanazawa University, LLRL-AR-19-23(1994.4～1999.3)Part 1
- \*22 JAEA人形峠環境技術センターホームページ(人形峠周辺環境の監視測定結果、平成16年)

Fig.A1 Uranium concentration of river-water, hot-water and mineral-water in Japan



## 低レベル放射性廃棄物ドラム缶内面腐食の外面からの超音波探査方法

佐々木貞明\*、原 徹\*\*、山東和義\*\*\*

### *Method for Observing Inner Corrosion of Low-Level Radioactive Waste Drums from Outside with Ultrasonic*

Sadaaki SASAKI\*, Toru HARA\*\*, Kazuyoshi SANDO\*\*\*

原子力発電所の運転に際して生成される放射性廃棄物のうち、低レベル廃棄物はドラム缶に充填して一定期間保管される。このドラム缶の内容物によっては内面から腐食を生じ、断面欠損から孔蝕に至る事例が見出された。これまでの外観からの目視による方法では対応できないため、超音波を使った新しい検査方法を考案し、実際のドラム缶を使用した実験を行ったところ、充填物や水の有無、金属の直接接触にも左右されず十分な感度で内面のキズや断面欠損を確認することができた。

Among radioactive waste generated through the operation of nuclear power plants, low-level radioactive waste is filled into drums and stored for a specified period of time. We founded cases in which rust has developed on the inner surface of the drum and defective cross-sections led to the formation of pitting corrosion, depending on the content of the drum. To deal with these problems that cannot be handled using conventional visual inspection from outside, we developed a new ultrasonic inspection technique. An experiment of this technique on an actual drum revealed that we could detect flaws and defective cross-sections of the inner surface of the drum with sufficient level of sensitivity regardless of the content, presence of water, and direct contact with metal.

#### 1. 対象となるドラム缶の仕様

- ドラム缶の仕様は以下の通りである。
- ・垂鉛めっき缶 (JIS Z 1600に準ずる)
  - ・内径：567±3 mm
  - ・外高：890±5 mm
  - ・容量：212L以上
  - ・板厚・1.6mm

#### 2. 探査の基本的方針

超音波を使用した新しい技術を考査するため、以下の方法で測定を行った。超音波の特性上、1回の探査で、腐食（減肉やきず）の有無と位置を確認し、かつ残厚を知ることは難しいため、調査を2つのステップに分けて行うこととした。すなわち、腐食（減肉やきず）の有無と位置を確認す

\* : 株式会社千代田テクノロ (Chiyoda Technol Corporation)

\*\* : フェニックスエンジニアリング株式会社 (Phoenix Engineering Inc.)

\*\*\* : 株式会社ニチゾウテック (Nichizo Tech Inc.)

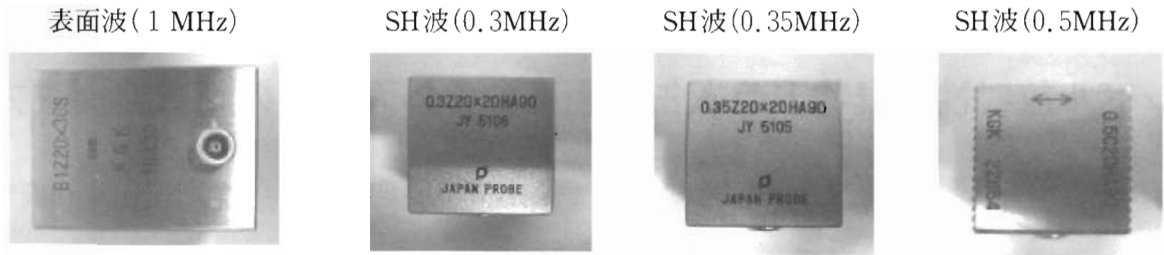


Fig.1 Transducers for Test

る1次調査と、発見した腐食（減肉やきず）の部位の残厚を測定する2次調査である。この方法であれば、1次調査終了時点で、内面腐食の有無によりドラム缶を分別することが可能になり、2次調査も容易になる。

### 3. 技術開発の手順

技術開発の手順として、以下のステップを順次実践した。

- (1) 長距離伝搬可能な超音波モードの選定
- (2) 探触子の収集と製作
- (3) 側板試験片の選定と探触子の性能調査
- (4) 最適探触子の決定
- (5) 実機ドラム缶への適用とデータ収集
- (6) 測定ピッチの検討
- (7) 残厚測定
- (8) 錆の評価
- (9) 最終評価
- (10) 実機同様の充填状態での試験
- (11) ドラム缶内面腐食の外側からの探査方法の処理能力

#### (1) 長距離伝搬可能な超音波モードの選定

超音波探傷に用いる波は弾性波である。弾性波には主に縦波、横波（SH波、SV波）、表面波、板波、クリーピング波がある。

この中で、長距離伝搬には表層面を伝わる波が有効であることから、SH波と表面波の2つのモードに候補を絞り、対比試験片による特性を確認して最終的なモード選定を行うこととした。

#### (2) 探触子の選定と製作

Fig.1に示す4種類（表面波（1 MHz）、SH波

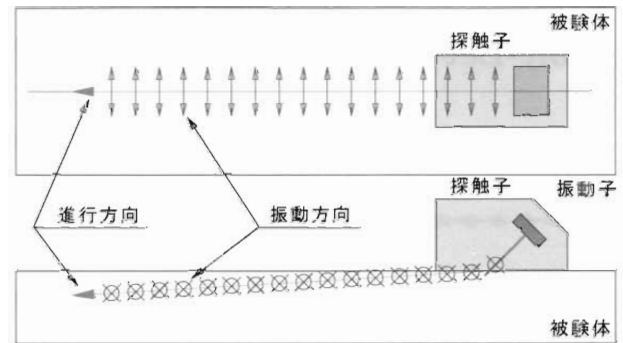


Fig.2 The Oscillation Mode of SH Wave

(0.3 MHz)、SH波 (0.35 MHz)、SH波 (0.5 MHz)) の探触子を収集・製作し、試験を行った。

表面波とSH波を比べると、SH波はFig.2に示すような伝搬形態から以下の特徴をもち、探査にもっとも有力と考えられることから周波数については3つの帯域で検討した。

- ① 表面波が少ない
- ② モード変換がないために疑似エコーが少ない
- ③ 距離減衰が比較的少ない

#### (3) 側板試験片の製作と探触子の性能調査

1の仕様の実機ドラム缶をFig.3に示すように軸方向に3分割し、さらに円周方向に3分割して、合計9枚の試験片に加工した。この試験片に人工きずとしてTable 1とFig.4のように3種類の孔深さと孔径を組み合わせて加工した試験片3枚と、径2 mmの貫通孔を開けた試験片の合計4枚の試験片を製作した。

製作した試験片にFig.5のように探触子を表面から当てて、各々、直径及び深さの異なる人工きずからの反射エコー高さを表示器上の40%高さ※に調整したときの探傷図形(波形)及びその時の超音波探傷器の感度読み値をデータとして採取した。

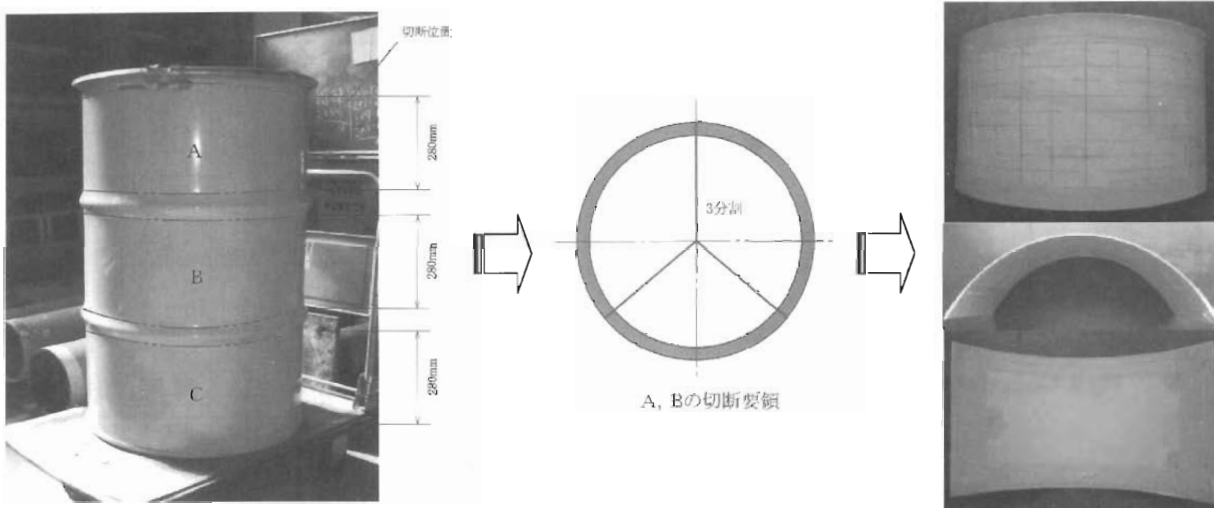


Fig.3 Test Piece

Table 1 List of Test Piece

対比試験片	腐食側	腐食程度	孔深さ	寸法(直径)	製作数(枚)
初期腐食	内面	小	0.4mm	φ 5mm	1
腐食減肉	内面	中	0.8mm	φ 10mm	1
腐食減肉	内面	大	1.2mm	φ 20mm	1
貫通				φ 2mm	1

Depth of hole :  
1.2mm

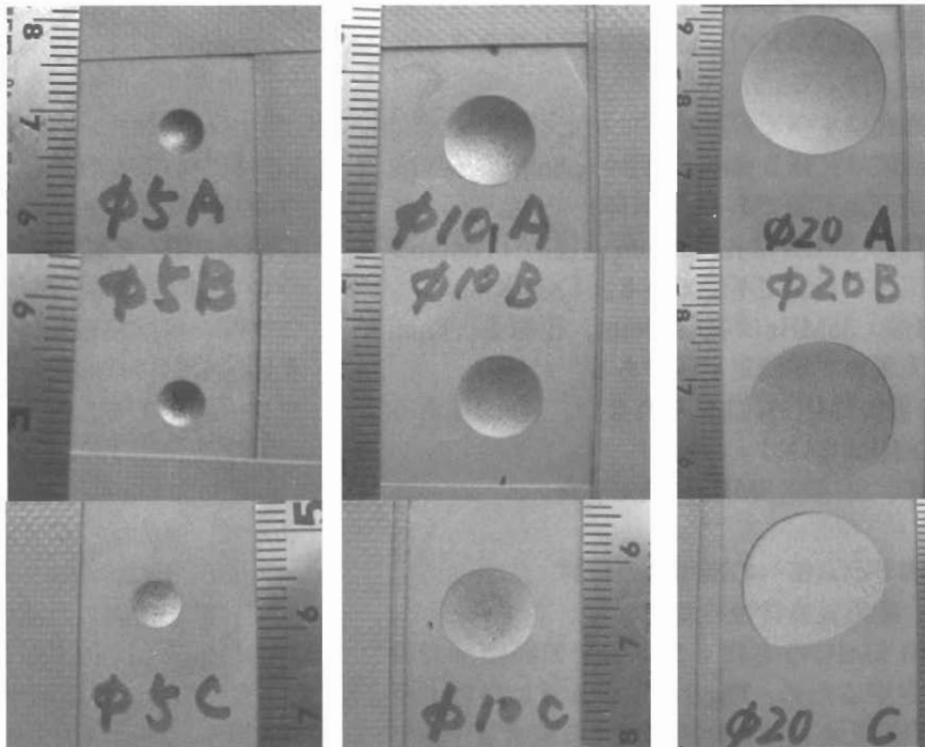


Fig.4 Mock Corroded Holes

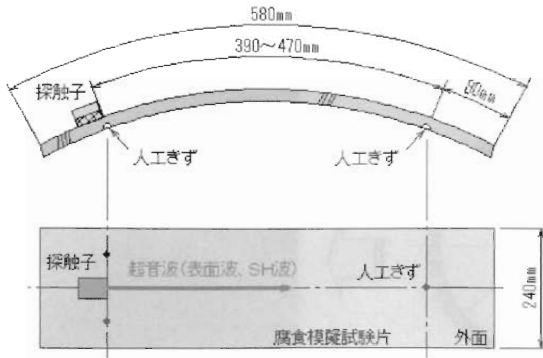


Fig.5 Method of Measurement

※試験片での超音波の伝搬方向は曲面に沿っており、伝搬に伴って側方の切断面からの反射エコーがノイズとして感知される。このノイズと目指すきずのエコーを明確に区分できるエコー高さの設定は40%が最適であった。実際の測定では超音波の伝搬方向は軸方向になり、側方からの反射エコーはない。

(4) 最適探蝕子の決定

Table 2には測定波形からきずが判定できるかどうかの程度、すなわちノイズエコーに対してきずエコーが十分な感度差を示すかどうか、その感度差の程度を○△×の3段階で表示してあるが、詳細は以下である。

- ①貫通孔はすべてのモードで判定可能である。
- ②表面波は孔径5mm、孔深さ0.8mmの人工きずが測定不能である。(×印)
- ③SH波0.3MHzは孔径10mm、孔深さ0.8mmの人工きずが測定不能である。(×印)
- ④SH波0.35MHzは孔径10mm、孔深さ0.8mmの人工きずが測定不能である。(×印)
- ⑤SH波0.5MHzには見られない。(△印はあるが×印はない。)

従って、SH波0.5MHzに決定した。

(5) 実機ドラム缶への適用時の検討

(5)ー1 距離減衰特性の測定

SH波0.5MHzの実機ドラム缶での距離減衰特性を測定するため、Fig.6に示すように実機ドラム缶に貫通孔をあけ、距離に対する減衰量を測定し、Fig.7の距離減衰曲線を作成した。

Table 2 Result of Measurement (Surface Wave, SH Wave)

モード	周波数	人工きず 深さ	人工きずの直径			
			φ20mm	φ10mm	φ5mm	φ2mm
表面波	1MHz	1.6mm (貫通孔)	-	-	-	○ 25.0dB
		1.2mm	○ 33.5dB	○ 33.5dB	△ 35.0dB	-
		0.8mm	△ 33.5dB	○ 32.5dB	× 34.0dB	-
		0.4mm	○ 32.5dB	○ 32.5dB	○ 33.0dB	-
SH波	0.3MHz	1.6mm (貫通孔)	-	-	-	○ 34.0dB
		1.2mm	△ 48.0dB	△ 51.0dB	○ 42.0dB	-
		0.8mm	○ 48.0dB	× 51.0dB	○ 46.0dB	-
		0.4mm	○ 47.0dB	△ 54.0dB	○ 50.0dB	-
SH波	0.35MHz	1.6mm (貫通孔)	-	-	-	○ 34.0dB
		1.2mm	△ 48.0dB	△ 51.0dB	○ 42.0dB	-
		0.8mm	○ 48.0dB	× 51.0dB	○ 46.0dB	-
		0.4mm	○ 47.0dB	△ 54.0dB	○ 50.0dB	-
SH波	0.5MHz	1.6mm (貫通孔)	-	-	-	○ 38.0dB
		1.2mm	△ 55.0dB	○ 52.0dB	○ 49.5dB	-
		0.8mm	○ 51.5dB	○ 60.5dB	○ 58.0dB	-
		0.4mm	○ 51.0dB	○ 61.0dB	△ 61.0dB	-

距離と減衰量から減衰特性の勾配を計算すると、 $(51.5\text{dB} - 41.5\text{dB}) / (774\text{mm} - 240\text{mm}) = 0.019$  (dB/mm) になり、測定に十分な減衰値が得られた。またリブ部分(ドラム缶側面2箇所の凸型のプレス成形箇所)に開けた貫通孔(Fig.6中のK1, k4)についても明確なエコーが得られており、リブからのノイズもない。伝搬距離についてもリブの曲面に沿った実距離となっているため、リブ部分についても問題なく伝搬している事が確認できる。

実際の探傷検査時にはこの距離減衰量を考慮した距離振幅特性曲線を超音波探傷器の表示器上にプロットしておくことにより、距離に依存されずにきずを検出することができる。

(5)ー2 実機模擬腐食供試体の作成

Fig. 8、Fig. 9のように、実機ドラム缶内面に、初期孔蝕を模擬した浅い孔をドラム缶側板の長さ方向に分散して加工した。ドラム缶側板模擬腐食孔一覧はTable 3に示す。

底坂にはFig. 10のように放射状に同様の加工を行い、実機模擬腐食供試体を作成した。詳細は

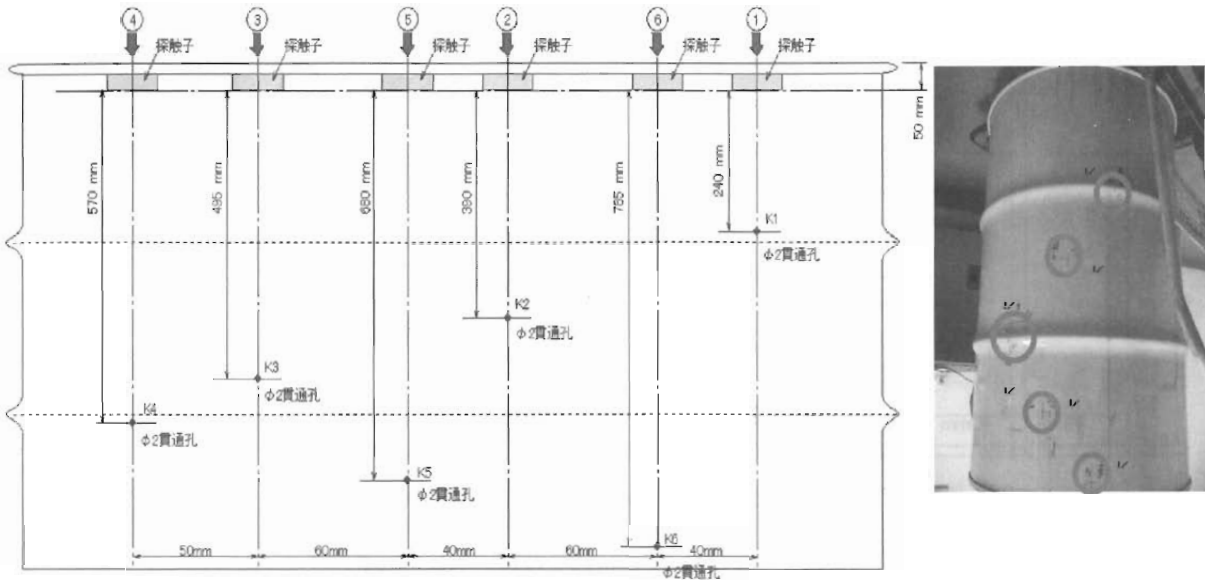


Fig.6 Piercing Holes on Real Drum Test Piece (Side Panel)

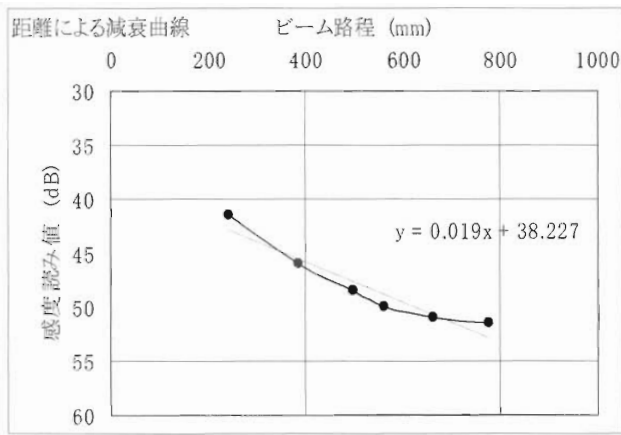


Fig.7 Sensitivity Curve (SH wave, 0.5MHz)

Table 4 に示す。

(5)－3 実機模擬腐食供試体での測定

作成した実機模擬腐食供試体について、それぞれの模擬腐食孔の探傷試験を行い、データを収集した。なお、測定の位置と方向は以下である。

- ①側板については、側板外周を8等分する位置で 上方→下方、および下方→上方の計16方向。
- ②底板は、外周を8等分した位置から中心に対して8方向。

以下に測定結果を示す。

①－1 側板（上方→下方）測定結果を Fig.11 に

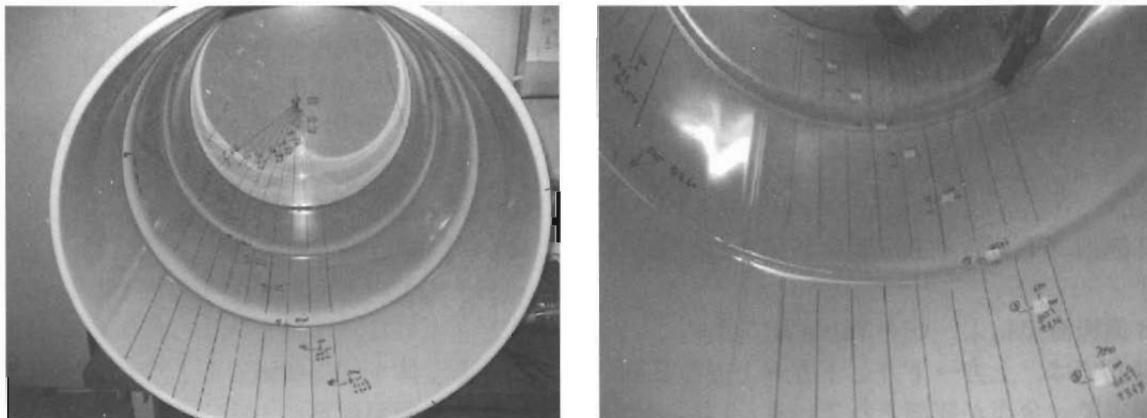


Fig.8 Mock Test-Piece of Corroded Holes (Bottom Plate)

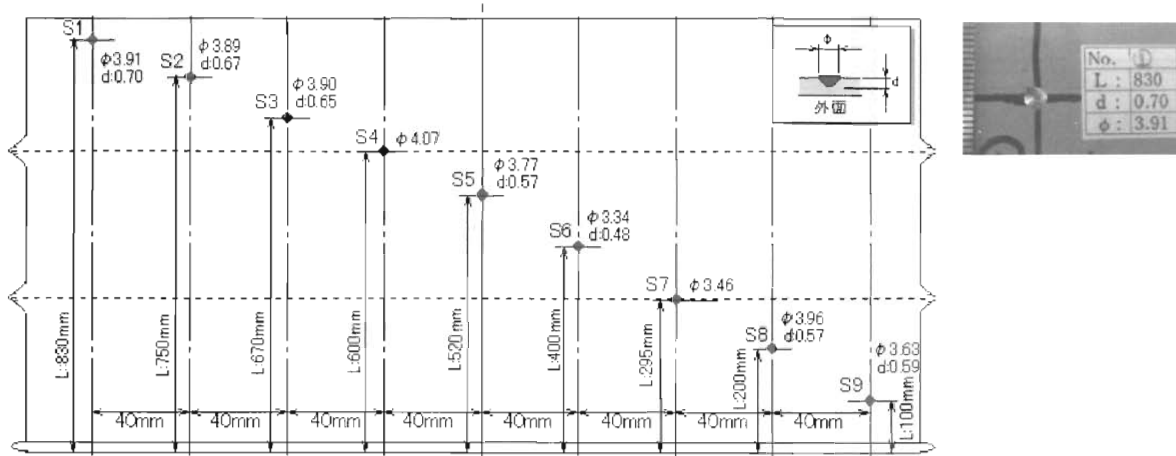


Fig.9 Mock-corroded Holes on Real Drum Test Piece (Side Panel)

Table 3 List of Mock-corroded Holes (Side Panel)

No.	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
孔径(mm)	3.91	3.89	3.90	4.07	3.77	3.34	3.46	3.96	3.63
深さ(mm)	0.70	0.67	0.65	—	0.57	0.48	—	0.57	0.59
残厚(mm)	0.90	0.93	0.95	—	1.03	1.12	—	1.03	1.01

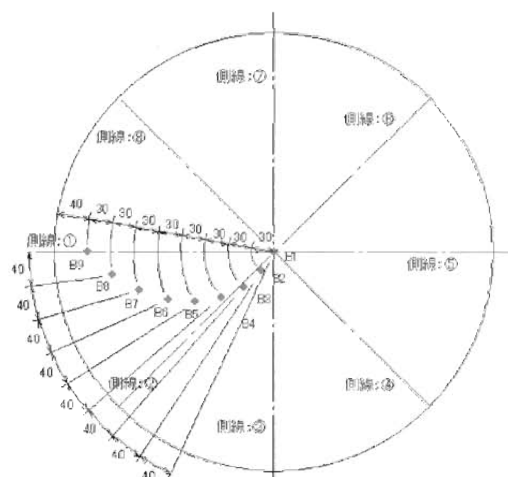
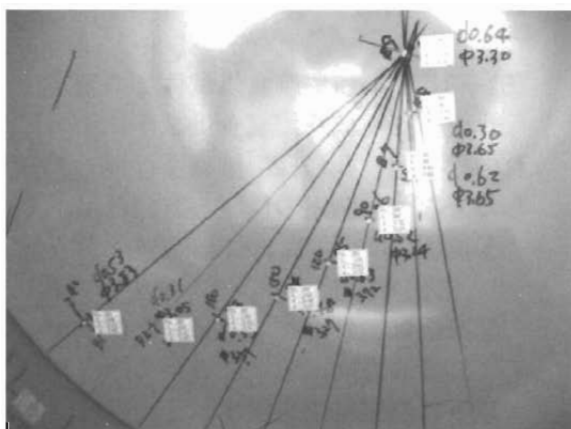


Fig.10 Mock-corroded Holes on Real Drum Test Piece (Bottom Plate)

Table 4 List of Mock Corroded Holes (bottom plate)

No.	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
孔径(mm)	3.83	3.05	3.51	3.27	3.72	3.24	3.65	2.65	3.30
深さ(mm)	0.53	0.31	0.53	0.48	0.63	0.52	0.62	0.30	0.64
残厚(mm)	1.07	1.29	1.07	1.12	0.97	1.08	0.98	1.30	0.96

密集した模擬腐食もそれぞれ区分して判別することができている。

②-2 底板測定結果一覧を Table 6 に示す。

示す。

①-2 側板 (下方→上方) 測定結果を Fig.12 に示す。

①-3 側板測定結果一覧を Table 5 に示す。

測線⑥では、上方→下方と下方→上方の2回の測定で、全点が観測されている。

②-1 底板測定結果を Fig.13 に示す。

(6) 探傷ピッチの検討

(6)-1 側板

ドラム缶内表面に発生する腐食による孔食を見落とさずに検出するためには、ドラム缶内面および外面全体を探傷領域とし、全面にSH波を伝搬させる必要がある。

Fig.11 で、測線⑥を見るとS1~S7が、測線⑦



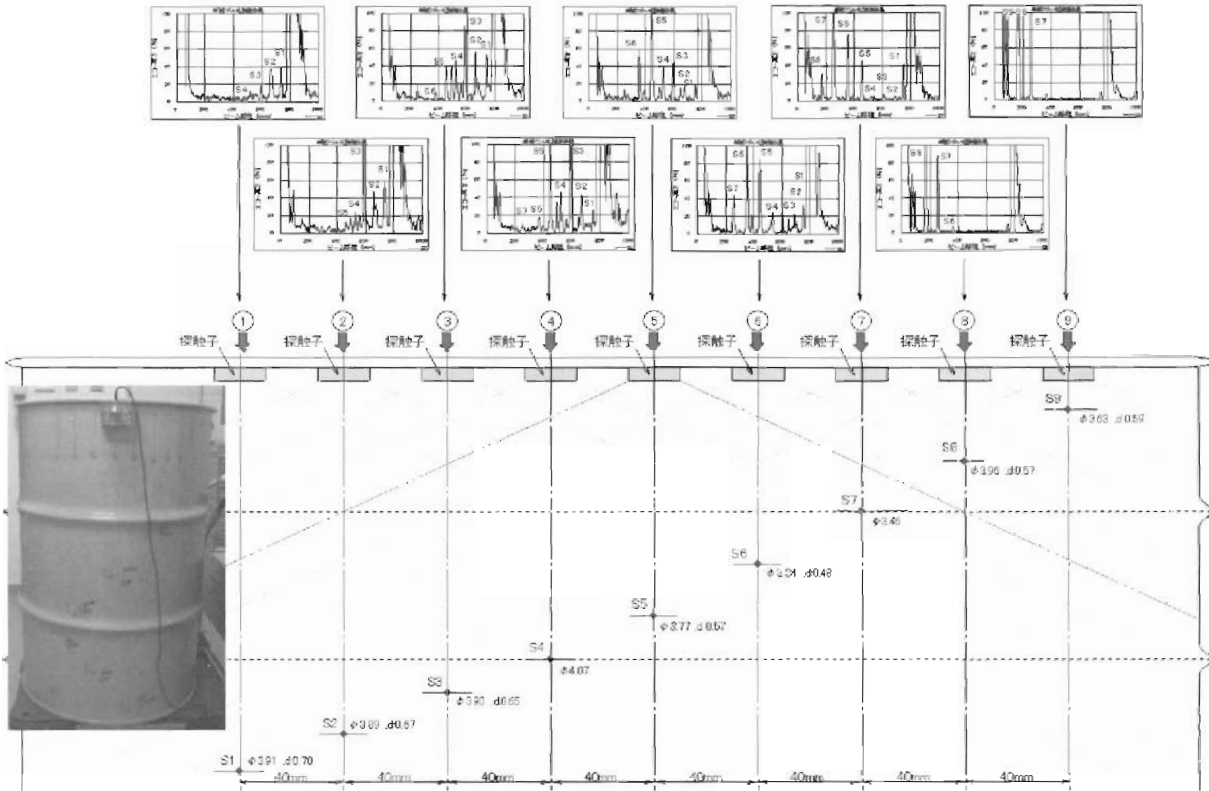


Fig.11 Result of Measurement of Side Panel (up to Bottom)

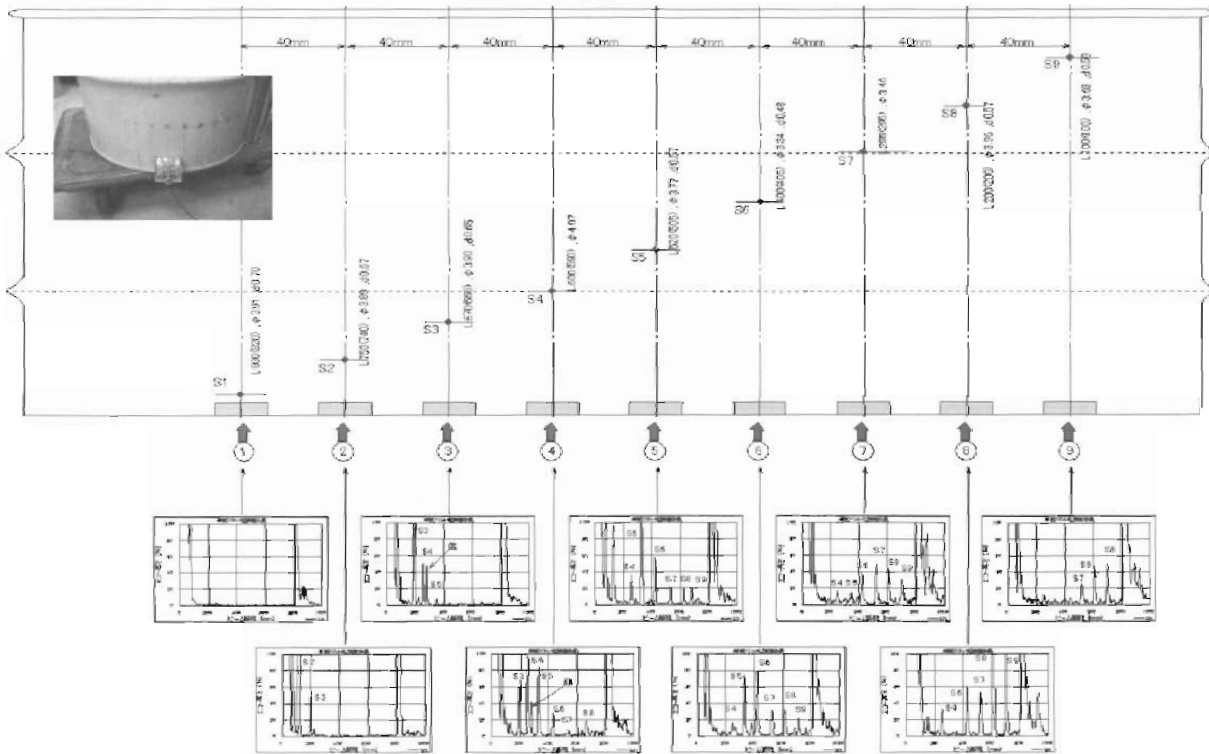


Fig.12 Result of Measurement of Side Panel (Bottom to up)

Table 5 Result of Measurement of Side Panel (up to Bottom, Bottom to up)

測線	測定方向	側板ドリル孔からのエコー高さ (%)								
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
①	上→下	40	38	20	10	—	—	—	—	—
	下→上	—	—	—	—	—	—	—	—	—
②	上→下	58	50	>100	23	10	—	—	—	—
	下→上	—	>100	50	—	—	—	—	—	—
③	上→下	52	56	83	50	40	10	—	—	—
	下→上	—	—	>100	50	10	—	—	—	—
④	上→下	30	42	>100	50	>100	20	10	—	—
	下→上	—	—	60	>100	85	30	8	20	—
⑤	上→下	20	17	42	40	>100	60	10	—	—
	下→上	—	—	—	35	>100	55	22	20	20
⑥	上→下	32	22	27	25	85	>100	45	—	—
	下→上	—	—	—	20	75	80	30	30	21
⑦	上→下	42	5	5	5	43	85	>100	32	—
	下→上	—	—	—	15	14	40	50	42	30
⑧	上→下	—	—	—	—	—	5	90	>100	—
	下→上	—	—	—	35	—	60	55	>100	>100
⑨	上→下	—	—	—	—	—	—	>100	>100	>100
	下→上	—	—	—	—	—	—	30	50	52

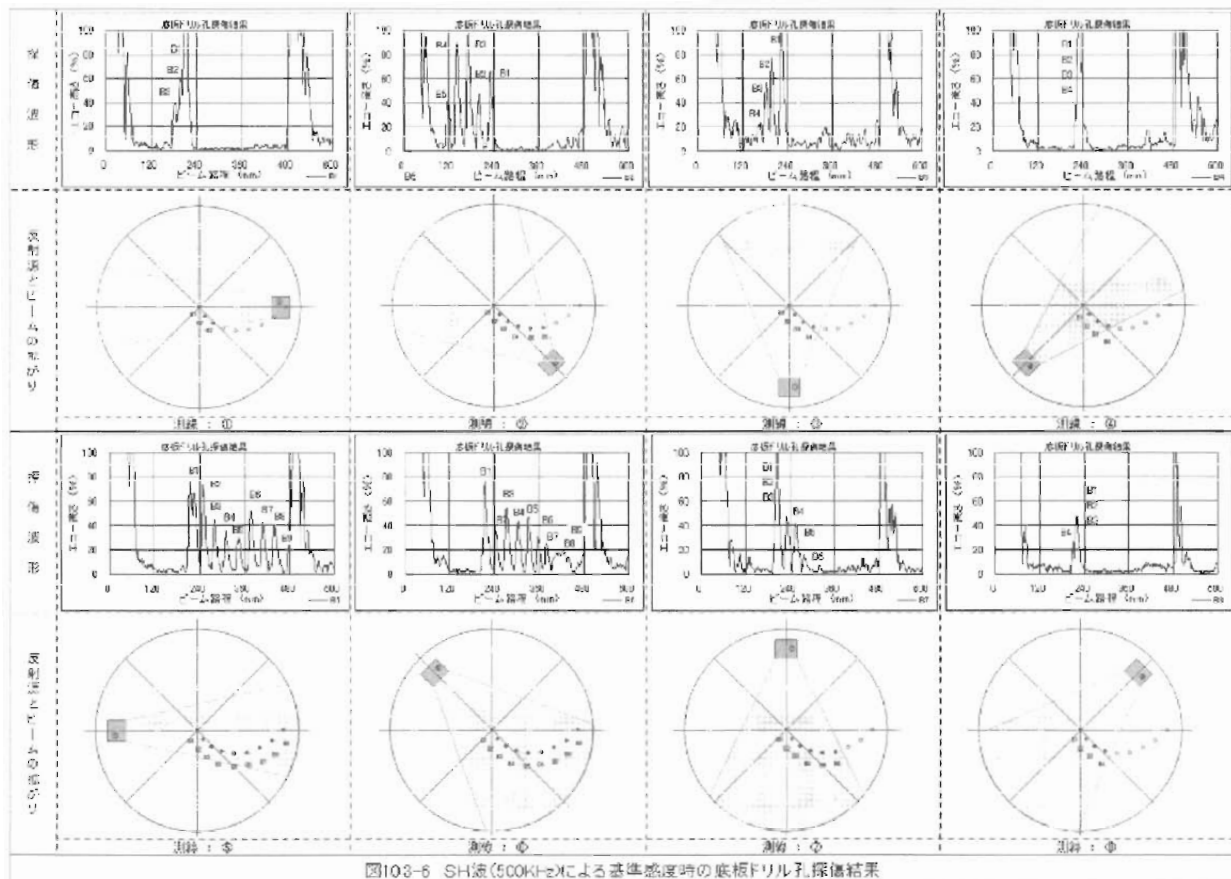


図103-6 SH波(500kHz)による感度感度時の底板ドリル孔探傷結果

Fig.13 Result of Measurement of Bottom Plate

Table 6 Result of Measurement of Bottom Plate

測線	底板ドリル孔からのエコー高さ(%)								
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
測線①	>100	60	40	-	-	-	-	-	-
測線②	70	50	100	90	40	-	-	-	-
測線③	100	80	55	25	-	-	-	-	-
測線④	100	100	100	100	-	-	-	-	-
測線⑤	85	85	45	35	30	50	40	40	40
測線⑥	75	35	45	40	50	30	25	20	20
測線⑦	100	100	100	50	40	15	-	-	-
測線⑧	50	50	50	30	-	-	-	-	-

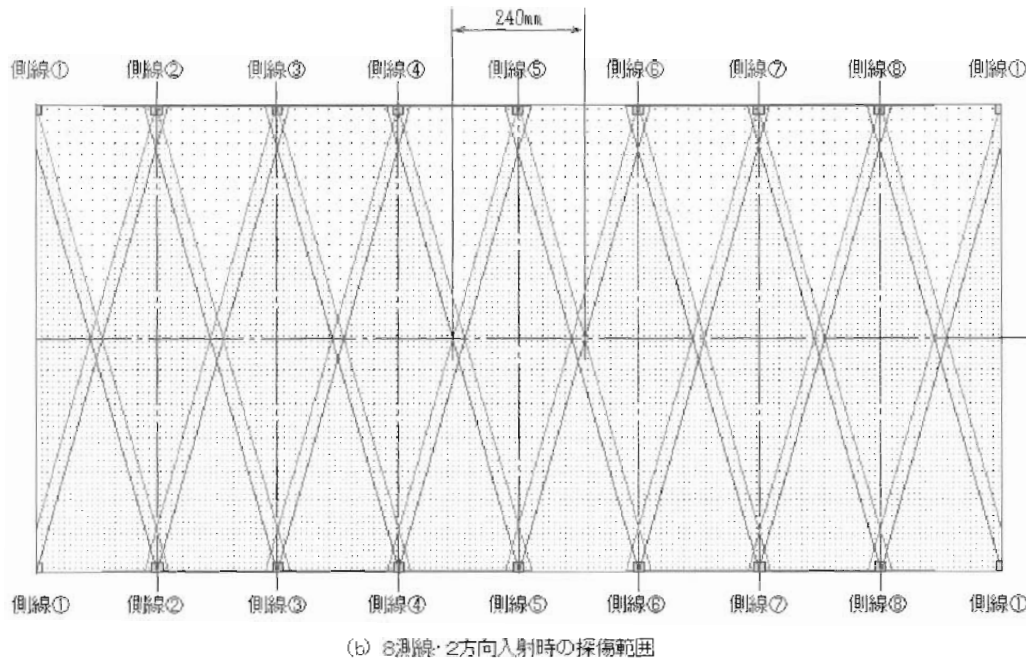


Fig.14 Examination of Measuring Pitch (Side Panel)

を見るとS 1～S 8が見えている。これ以外の測線ではS 1あるいはS 9の外側の伝搬領域が不明であり、伝搬領域が評価できない。従って測線⑥及び⑦が標準的な最大領域であると考えてよい。この2つの測線での超音波の拡がりは側板高さ方向中央部（ドラム缶端部から約445mm）で約240mm程度。従って円周方向の探傷ピッチを240mm以下にすれば、ドラム缶中央部以遠では全体に渡ってS H波を伝搬させることができることがわかった。ここで探傷ピッチを8測線とすると、 $\phi 570\text{mm} \times \pi / 8 = 223.8\text{mm} < 240\text{mm}$ となり、側板全域の探傷が可能となる。ただし、1方向からの探傷では探触子近傍に探傷不能領域が発生するため、Fig.14に示す上下2方向の探傷を基本とする。

(6)－2 底板

Fig.13に示す測線③と④ではB 1～B 4が見え、測線⑧でもB 1～B 4が見えている。測線②と⑧ではB 1～B 5が見えてはいるが、エコーが重複しており、明瞭とは言えない。従ってB 1～B 4が確認できるとすると、探触子中心からB 4を結ぶ線と、その線を中心線に対称に反転した線で囲まれる領域が超音波伝搬範囲としてよい。この領域を外周を8等分する位置で配置すると、十分な重なりを持ちながら全領域をカバーできる。したがって底板についてもFig.15のように8測線からの探査で、全域を探査することができる。

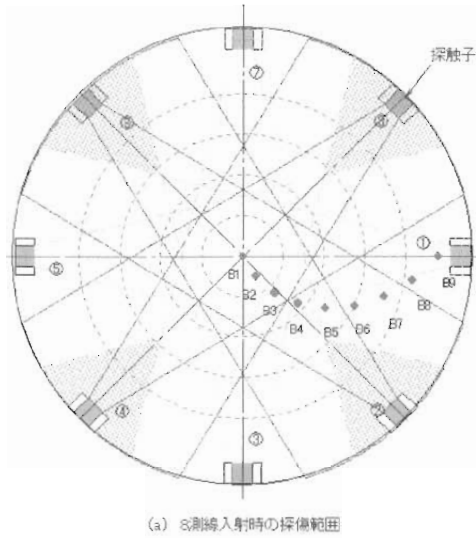


Fig.15 Examination of Measuring Pitch (Bottom Plate)

(7) 残厚測定

内面の模擬腐食について、外面から探査できることが確認できたので、2次調査としての残厚測定を、従来用いられている垂直探傷法を用いて行った。

(7) - 1 供試体

供試体には (3) で製作した試験片を使用した。

(7) - 2 探触子

試験片の板厚が1.6mmと薄いため、通常の垂直探傷用探触子では近距離音場限界内（探触子近傍の測定不能領域）での探傷となり、測定はできない。これを避けるためにFig.16に示す2振動子型

垂直探触子を使用した。この形式の探触子では、振動板が探触子表面から近距離音場限界以上の距離を以て接地してあるため、探触子表面からの測定が可能となる。この探触子を用いて、きずの反対面で、きず直上から探傷を行った。

結果としてTable 7に示すように、誤差±0.1mmでの測定が可能であることが判明した。この精度であれば残厚から残余寿命を算出するに十分であると考えられる。

(8) 錆の評価

次に実際に錆を発生させ、錆の検出が可能であるかどうかを検証した。

実機模擬腐食供試体の内面側の健全部とドリル孔加工位置の2箇所（錆A部、錆B部）に直径約100mm程度の錆を生じさせた。

錆は、表面の塗膜をグラインダーにより除去した後腐食を強制的に促進させるため硝酸を塗布し、そのままの状態ですら約2週間放置する方法によって発生させた。Fig.17に錆の状態を示す。

Table 7 Result of Measurement of Thickness

残厚 (mm)	人工きずφ5mm		人工きずφ10mm		人工きずφ20mm	
	測定値	差	測定値	差	測定値	差
0.4	0.4	±0.0	0.4	±0.0	0.4	±0.0
0.8	0.9	+0.1	0.9	+0.1	0.9	+0.1
1.2	1.3	+0.1	1.3	+0.1	1.3	+0.1

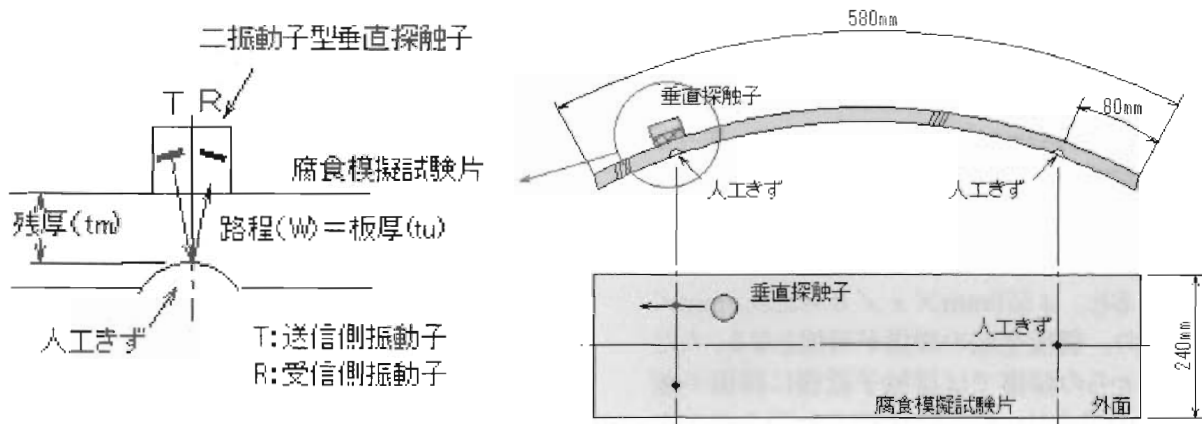


Fig.16 Measuring of Remaining Thickness

(8)-1 錆の測定結果 (きずなし)

Fig.18に示すように錆が細かいピークの連続として観測されている。

(8)-2 錆の測定結果 (きずあり)

Fig.19に示すように錆が細かいピークの連続として観測され、きずも検出されている。

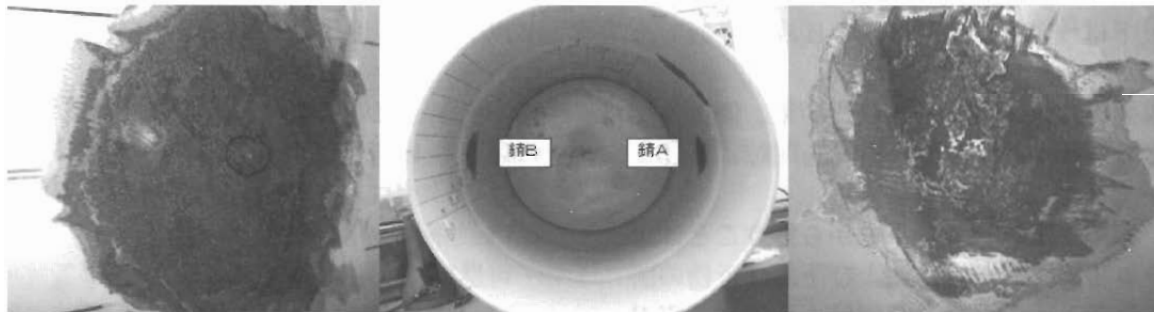


Fig.17 Assessment of Rust

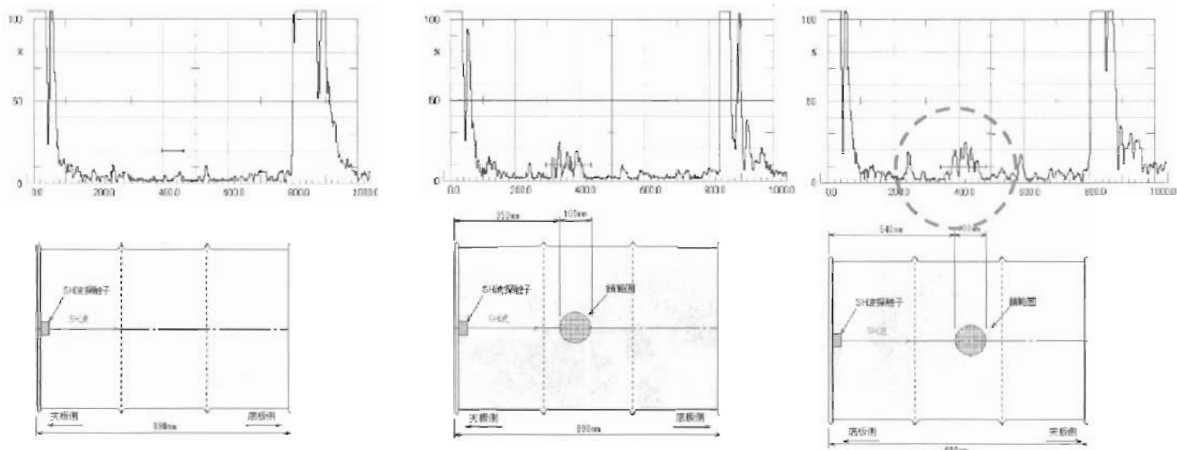


Fig.18 Result of Measurement of Rust (No Piercing Hole)

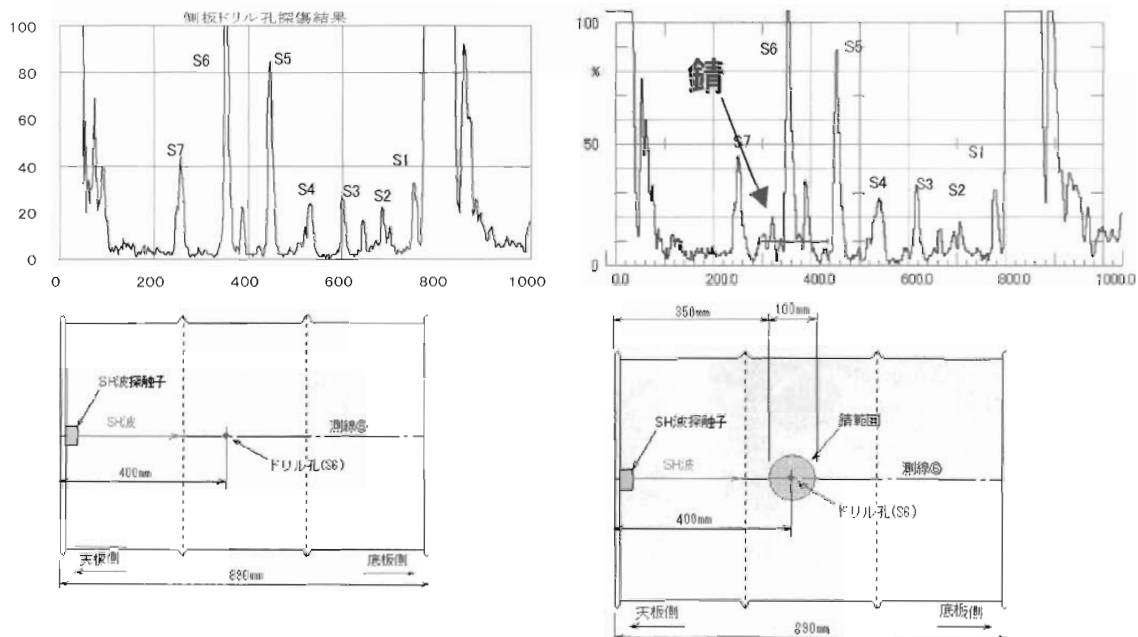


Fig.19 Result of Measurement of Rust (with Piercing Hole)

(9) 最終評価

ドラム缶内面に発生する減肉箇所の検出、減肉の程度と範囲を推定する手法としては、超音波を使用した検査手法が有効であり、また使用する超音波モードは周波数0.5MHzのSH波が最適である事がわかった。

実機模擬腐食供試体へ適用した結果、側板に加工したドリル孔からの反射エコーを明瞭に確認することができた。

また、探傷を上方からと下方から行うことにより、ドラム缶の上端部近傍および下端部近傍の断面欠損を見落とすことなく全領域を探傷する事が可能であることが確認できた。

側板と同様に、実機模擬腐食供試体の底板に加工したドリル孔を全測定線で明瞭に確認することができた。

板厚測定(2次調査)としては、通常の超音波

垂直探傷法より0.1mmの精度で残厚を測定することが確認できた。

(10) 実機同様の充填状態での試験

以上までの測定は、すべて中身を充填しない空缶状態でのものであったが、実施に当たっては内部に充填された状態での測定となる。そこで充填の影響を確認するため、実際と同様の内容物を(5)で使用した実機模擬腐食供試体に充填し、(5)と同じ方法で測定を実施した。

- ・可燃物(シュレッダーくず、布)  
内容物と充填状況をFig.20に示す。
- ・不燃物(金属ガラ、塩ビくず、排水ホース、等、建設現場廃材)  
内容物と充填状況をFig.21に示す。

可燃物と不燃物の混合(①+②)  
試験の結果を以下に示す。

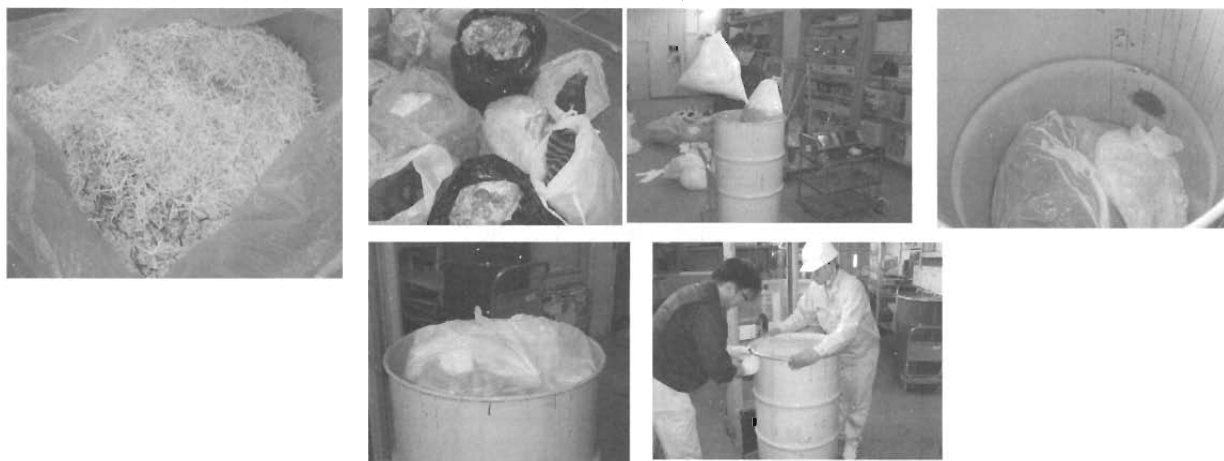


Fig.20 Flammable Items



Fig.21 Inflammable Items



①側板 (下→上) (Fig.22)

②底坂 (Fig.23)

Fig.22、Fig.23ともに、左端から空の状態、可燃

物充填、可燃物と不燃物の混合充填、不燃物充填であるが、どの測線でも波形はほとんど変わらなかった。したがって、充填物の影響は受けないと言える。

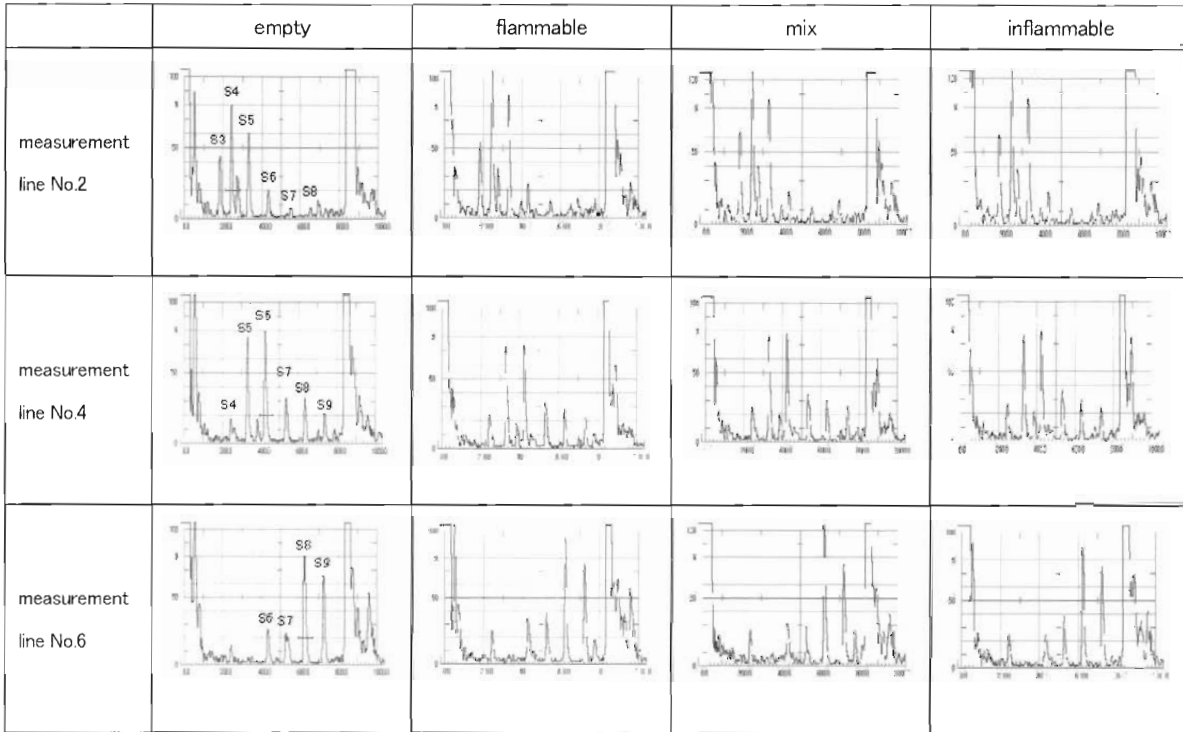


Fig.22 Result of Measurement of Side Panel (bottom to up)

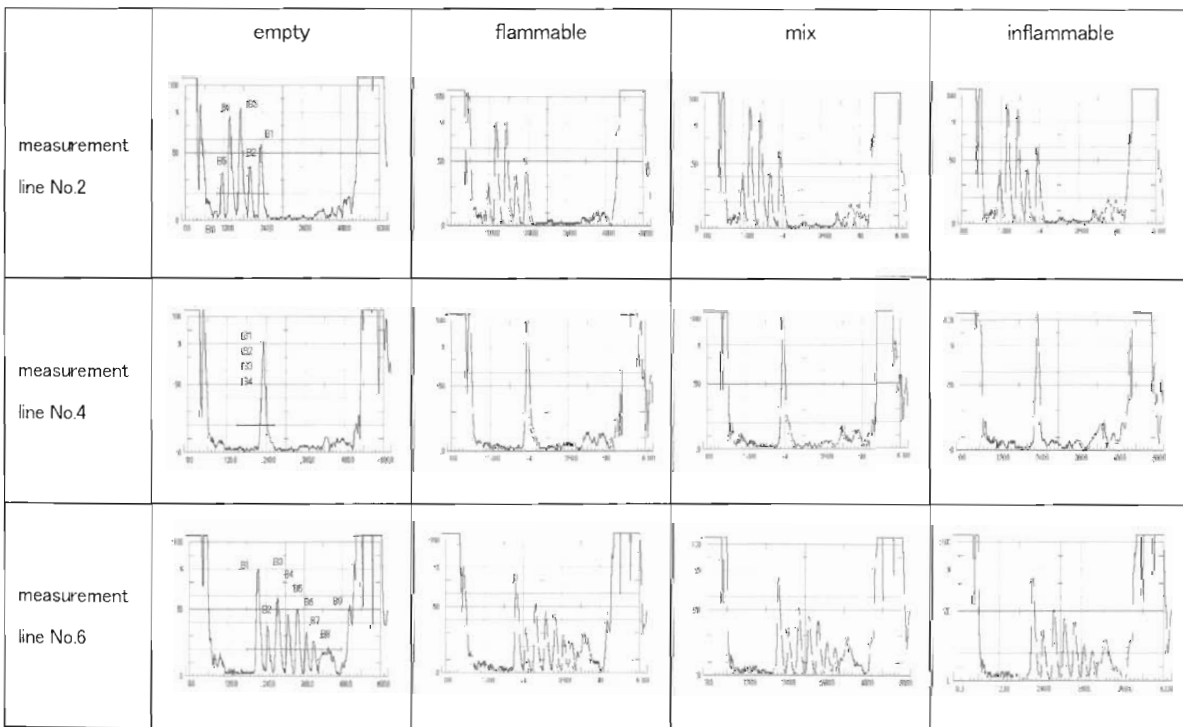


Fig.23 Result of Measurement of Bottom Plate

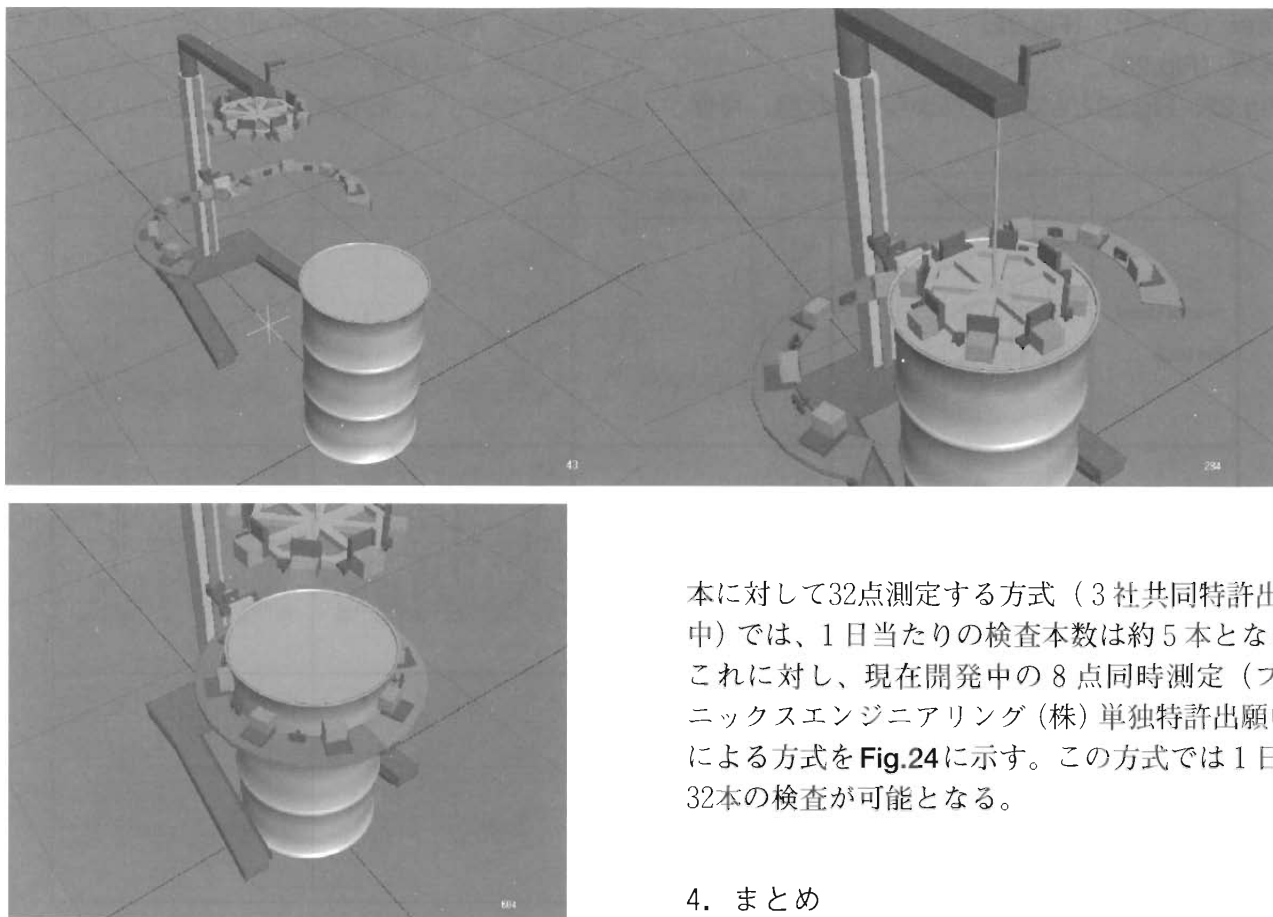


Fig.24 Auto Measuring Instrument(8ch.)

また、この測定時に金属の内面への直接接触についても接触と非接触での測定を実施したが、波形には全く変化が見られなかった。

(11) ドラム缶内面腐食の外面からの探査方法の  
処理能力

本稿で紹介した検査方法、すなわちドラム缶1

本に対して32点測定する方式（3社共同特許出願中）では、1日当たりの検査本数は約5本となる。これに対し、現在開発中の8点同時測定（フェニックスエンジニアリング（株）単独特許出願中）による方式をFig.24に示す。この方式では1日約32本の検査が可能となる。

4. まとめ

従来目視によるしかないと思われていた、低レベル放射性廃棄物ドラム缶の内面腐食による減肉について、外面からの超音波探査による手法が有効であることが確認できた。この論文発表を機に、関係諸機関並びに電力各社のご協力をいただいで、実際に保管されているドラム缶のデータを採取し、実際の運用に向けて着実に研究を進め、安全で安定した原子力発電に微力ながら寄与していきたいと願うものである。

## 軽水炉プラントにおける廃止措置の最近の取組みについて

堀川義彦\*

### *Recent Activities on Decommissioning of Light Water Reactors in Japan*

Yoshihiko HORIKAWA\*

わが国の商業用原子力プラントの廃止措置については、現在、日本原子力発電(株)東海発電所及び日本原子力研究開発機構原子炉廃止措置研究開発センターで解体・撤去作業が進められてる。また、国外においては、米国、独国などの主要国の商業用発電所では30基を超える軽水炉プラントで廃止措置に着手または終了するなど廃止措置を安全に実施している。

こうした中、わが国の原子力発電の大多数を占める軽水炉プラントについては、国内外の廃止措置実績を踏まえて、今後実施に向けての準備が進められこととなるが、ここでは、社会に信頼され、かつ最新知見をもとにした適切な廃止措置の確立に向けた国内軽水炉プラントの廃止措置についての最近の取組みについてまとめた。

In Japan, there are now two power reactors under decommissioning, which are Tokai GCR of The Japan Atomic Power Company and Fugen of Japan Atomic Energy Agency.

In main countries such as the US and Germany, there are more than 30 commercial power reactors which have either completed or been undergoing decommissioning safely.

Based on these experiences in domestic and foreign countries, preparations for future decommissioning of LWRs in Japan are under way toward establishing socially-reliable and reasonable decommissioning technologies.

This paper introduces current preparatory activities for future decommissioning of LWRs in Japan.

#### 1. はじめに

わが国の商業用原子力プラントの廃止措置については、昭和57年の原子力委員会「原子力開発長期計画」において、「運転を終了した原子力発電所は解体撤去し跡地を原子力発電所用地として、社会の理解を得つつ引き続き有効利用する」ことを基本方針とされた。昭和60年には通産省（現、経済

産業省）総合エネルギー調査会「原子力部会」において、商業用原子力発電所の廃止措置の標準工程が策定され、これに基づき、昭和63年には解体引当金制度が創設された。また、発電所から発生する低レベル放射性廃棄物の処理処分の制度整備が進んだことから、平成12年度からは解体引当金に、解体廃棄物の処理処分費用の追加も行われている。平成17年には、原子炉等規制法の改正により、

\*：関西電力株式会社 原子力事業本部 (Nuclear Power Division., The Kansai Electric Power Co., Inc.)

廃止措置規制が届出制から認可制に変更された。

一方、廃止措置の制度整備に併せて、今日に至るまで、国内関係機関、事業者及びメーカーにおいて、廃止措置技術の研究開発・実用化が行われ、日本原子力研究所 動力炉 (JPDR) の解体実地試験が行われるとともに、日本原子力発電 (株) 東海発電所では平成13年から、日本原子力研究開発機構 原子炉廃止措置研究開発センター (旧ふげん発電所) では平成20年から廃止措置工事が行われている。また、国外においては、米国、独国などの主要国の商業用発電所では30基を超える軽水炉プラントで廃止措置に着手または終了するなど廃止措置を安全に実施している。

さらに、廃止措置を取り巻く環境は大きく変化しており、最近では、わが国において重点的に取り組むべきエネルギー革新技術の一つとして、先進的な原子力発電技術の開発推進が取り上げられる中で、その普及を支える技術として放射性廃棄物処理処分技術 (再処理による資源有効活用も含む) や廃止措置技術開発の推進も指摘されている。

このような中、社会に信頼され、かつ、最新知見をもとにした適切な廃止措置の確立に向けた国内軽水炉プラントの廃止措置についての最近の取り組みについて述べる。

## 2. 廃止措置を取り巻く環境の変化

東海炉の廃止措置に向けて、廃止措置技術の検証や低レベル放射性廃棄物処理処分制度のあり方について検討の必要性が叫ばれた平成8年当時、(財)原子力発電技術機構 (NUPEC) での廃止措置技術確証試験が実施中であり、また、低レベル廃棄物についても発電所均一・均質固化体を対象とした埋設処分が行われている状況であった。それから約10年を経た今日に至るまで、廃止措置技術の確証試験が所定の目的を達成するとともに、低レベル廃棄物処分についても、雑固体を対象とした埋設処分の実施や炉内構造物等の比較的放射能レベルの高い廃棄物を対象とした余裕深度処分の制度整備、あるいはクリアランス制度の創設など、廃止措置を実施するにあたって必要な制度が整備されてきた。

この10年で廃止措置を取り巻く環境は次の4点で大きく変化しているといえる。これらが今後の廃止措置の取り組みに及ぼす影響は、次の通りである (Fig. 1)。

- ①海外での実績・知見の蓄積→教訓反映・合理的な技術の国内反映
- ②法改正→廃止措置の合理的な安全確保、費用

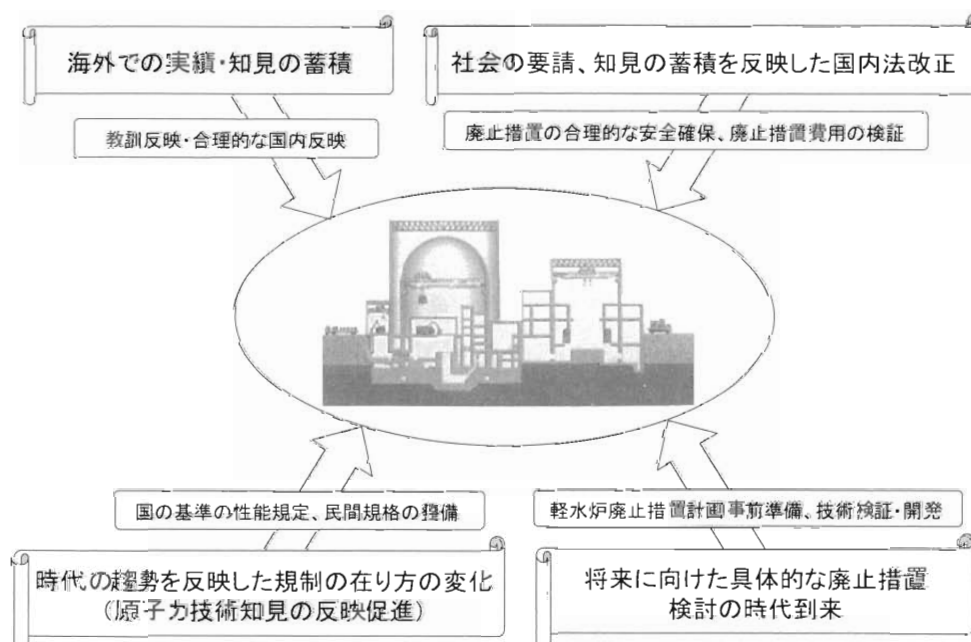


Fig.1 Elements to be considered for Decommissioning Planning

制度の検証

- ③規制の在り方（原子力技術知見の反映促進）  
→国の基準の性能規定、民間規格の整備
- ④軽水炉の高経年化→将来に向けた具体的な廃止措置検討の必要性

軽水炉プラントの廃止措置に向けて、これらに対する取り組みについて、上記4項目を中心に以下の通りにまとめた。

3. 海外における廃止措置状況

3.1 主要国の商業用軽水炉における廃止措置状況

海外では、これまで建設・運転してきた原子力発電所のうち、初期に建設されたいくつかのプラントではすでに運転を停止し、またその後建設されたプラントのなかでも政策変更や経済性を理由に運転停止に至ったものなど、現在では約100基以上が存在する。

このうち、米国や独国等の主要国軽水炉プラントでは、すでに施設解体に着手、あるいは解体が終了したプラントが30基以上存在している (Fig. 2)。

3.2 廃止措置方式・技術の特徴 (トレンド)

米国、独国や仏国など主要国における廃止措置を取り巻く社会環境の変化や、廃止措置知見・経験を踏まえた廃止措置技術採用の傾向については、以下の通りである (Fig. 3)。

①廃止措置方式

- 米国：密閉管理方式→即時解体方式へ（処分費用の高騰）
- 独国：即時解体/安全貯蔵後解体→即時解体（人材・記録の活用、残存設備の活用）
- 仏国：安全貯蔵期間の短縮(50年→25年以内)（記録・情報の散逸懸念、要員活用、同一世代での債務履行）

②系統除染

- CORD法：EPRI開発、DF高、二次廃棄物量大
- DFD法：シーメンス社開発、DF低、二次廃棄物小

③解体順序

- [高放射能レベルから低放射能レベルへ]  
処分費高騰に対応するために、処分場への早期搬出
- [低放射能レベルから高放射能レベルへ]  
作業員の習熟度向上、技術力養成
- [放射能レベルに依らない同時期解体]  
工程短縮、処理処分工程との切り離し

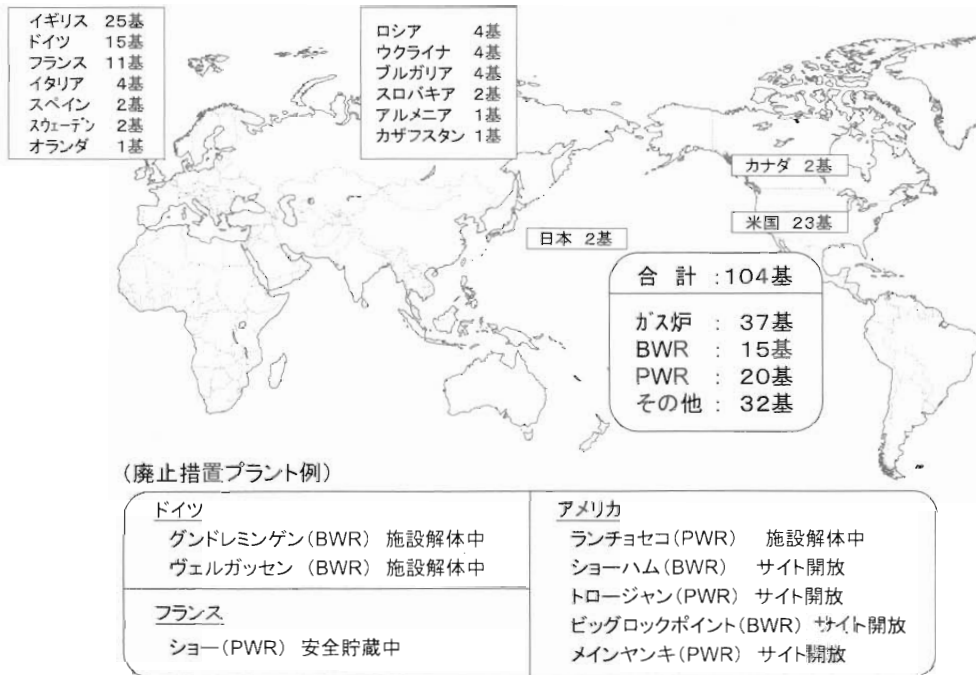


Fig.2 Numbers of Decommissioning Power Reactors in the World

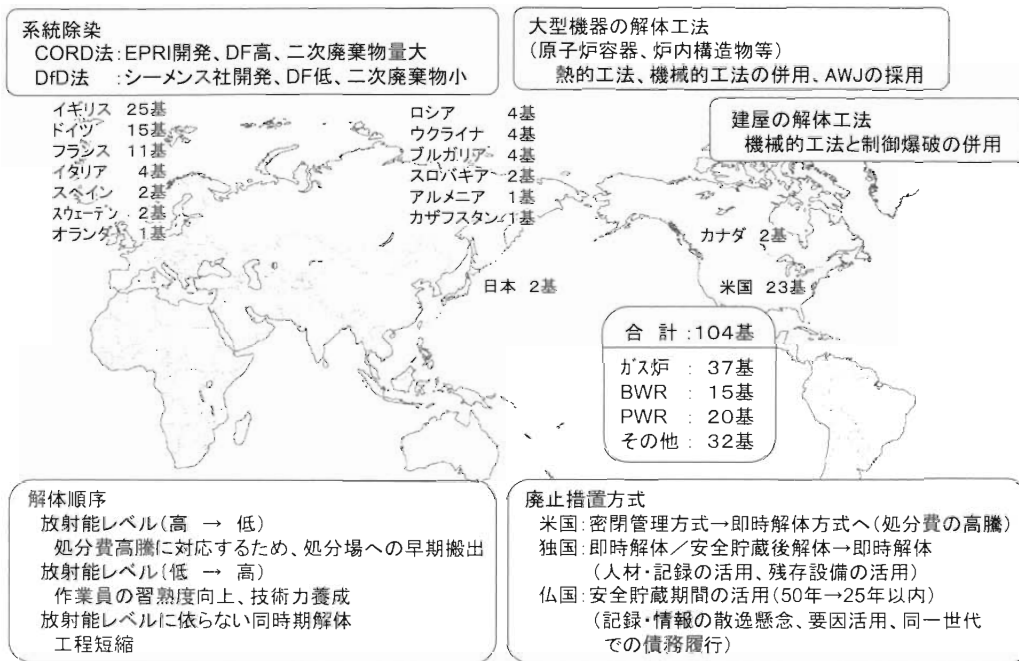


Fig.3 Characteristics Comparison of Decommissioning Methods

- ④大型機器 (原子炉容器、炉内構造物等) の解体工法  
熱的工法→機械的工法の併用、AWJの採用
- ⑤建屋の解体工法  
機械的工法と制御爆破の併用

わが国の軽水炉プラントの廃止措置を実施するにあたっては、JPDRでの廃止措置実地試験技術やNUPECで確証された廃止措置技術のみならず、前述したように海外で実際に適用された技術、今後採用される可能性の高い技術や、また実機での廃止措置経験に基づく教訓について、国内での適用性の検証を行い、より合理的な技術の採用に向けて取り組む必要がある。

#### 4. 国内軽水炉の廃止措置の取組み

##### 4.1 原子炉発電施設解体引当金の検証

###### 4.1.1 引当金の見直しの考え方と検証

原子炉発電施設解体引当金については、昭和63年度に解体費用の引当金制度が整備され、平成12年度には解体放射性廃棄物処理処分費用が追加された。このときの引当金見直しの基となった平成11年5月の総合エネルギー調査会原子力部会中間

報告において引当金の見直しの考え方が示されており、「現時点では予期できない外的要因により、費用算定の根拠となる制度、経済状況、技術等が変化して費用算定に変動が生ぜざるを得ない状況に至ることがないとは言えないが、そのような場合には、その時点で再検討することが適当である。」とされている (Fig. 4)。

平成19年 総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会 原子力発電投資環境整備小委員会では、この考え方に沿って、クリアランス制度や廃止措置に関する安全規制が整備されたことなどを踏まえた最新知見に基づき、積み立ての過不足の検証が行われた。

過不足検証の項目および結果は、次の通りである (Fig. 5)。

- ①原子炉等規制法の改正 (平成17年) によって、クリアランス制度が整備されたことに伴う変更項目
  - ・クリアランスレベル変更に伴う処理処分費用の変更
  - ・クリアランス対象物の測定費用の追加
- ②原子炉等規制法の改正 (平成17年) によって、廃止措置規制が見直されたことに伴う変更項目

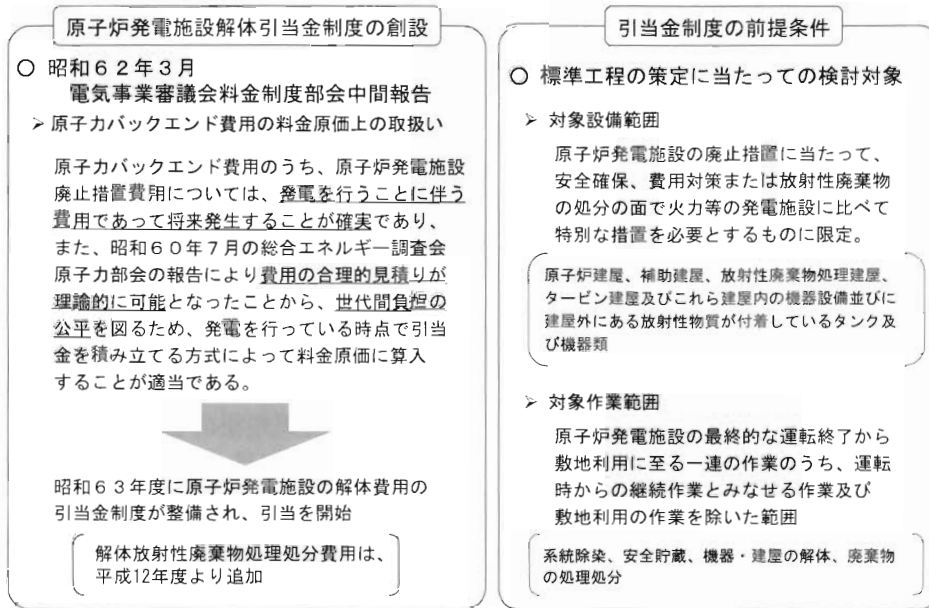


Fig.4 Allowance System for Future Decommissioning

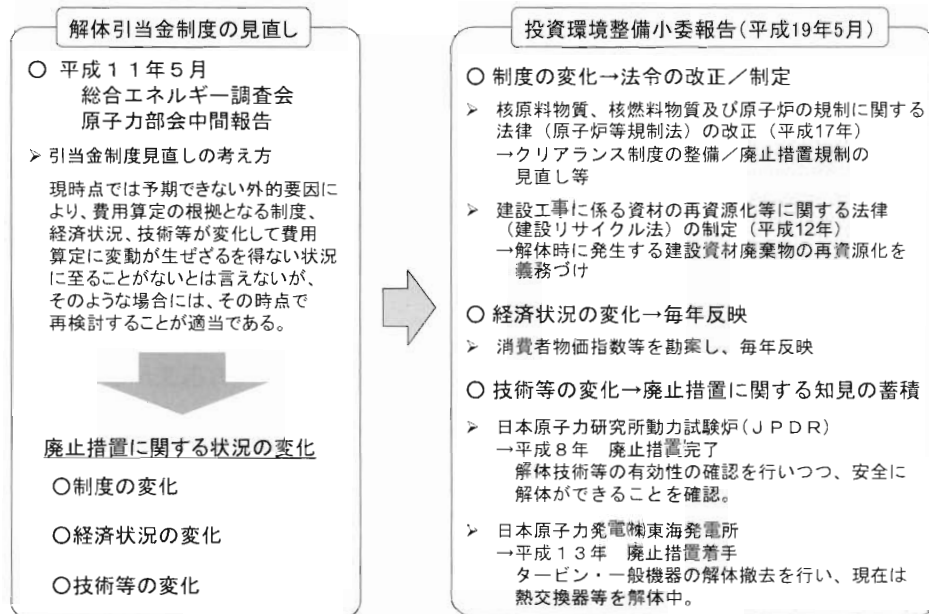


Fig.5 Assurance of Decommissioning Allowance-Revision of Cost Estimates

- ・ 廃止措置期間変更に伴う施設維持費用の変更
- ・ 安全貯蔵期間中の監視体制合理化に伴う管理費用の変更
- ③ 建設リサイクル法の制定(平成12年)によって、解体等に伴い発生する建設資材廃棄物の再資源化が義務付けされたことに伴う変更項目
- ・ 再資源化に伴うクリアランスレベル以下の

廃棄物処分費用の変更

報告書では、炉型別(i)沸騰水型原子炉(BWR)、(ii)加圧水型原子炉(PWR)の2種類)及び電気出力別(i)小規模(50万kW級)、(ii)中規模(80万kW級)、(iii)大規模(110万kW級)の3種類の6通りのモデルプラント毎の廃止措置費用の過不足額としてそれぞれ算定されるとともに、



各区分に該当する我が国原子力発電施設の基数をこれに乗じて合算することにより、制度の変化に伴う廃止措置費用の過不足額が約3,290億円と算定されている。

なお、110万kW級大規模モデルプラントでの各炉型の廃止措置費用(平成16年度価格)は、過不足額を含め、PWR/597億円、BWR/659億円である。

#### 4.1.2 今後の廃止措置費用の見直し

今後の廃止措置については、①法令の改正等による制度の変化、②経済状況の変化、③廃止措置に関する知見の蓄積による技術等の変化、などの要因により費用算定に影響が及ぶ場合が考えられる。このうち、②経済状況の変化、については毎年見直しされているが、その他の2項目については、法令の改正等による制度の変化があった場合や、廃止措置に関する知見の蓄積により廃止措置の内容がより明確になっていくこと等、技術等の変化が生じた場合には、必要に応じて見直しを行うこととされている。

#### 4.1.3 今後の課題

原子力発電所のリプレースを円滑に進めていくためには、将来にわたって、適切に廃止措置に係

る費用負担の平準化が図れることが重要である。

わが国における商業用原子力発電施設の廃止措置は東海発電所において実施中であり、原子炉本体等の主要設備の解体は今後実施されるほか、敦賀1号機等の廃止措置計画が具体化してくること等、廃止措置の内容がより明確になっていくことを踏まえて、今後も適時適切に廃止措置に係る費用を見直していくことが必要である。

#### 4.2 廃止措置に関する民間規格の整備

##### 4.2.1 民間規格の目的

平成14年3月 国の「規制改革3ヵ年計画」に基づき、また同年7月 経済産業省 原子力安全・保安部会においても報告書「原子力発電施設の技術基準の性能規定化と民間規格の活用に向けて」が出された。これまでの国の基準は、細部にまで規定を明記していたが、同報告書が出されて以降は、国の基準を性能規定化するとともに民間規格を活用していく方針である (Fig. 6)。

##### 4.2.2 現在の取組み状況

わが国では原子力発電所の廃止措置に関する経験が少ないため、廃止措置の計画と実施に係る総合的な民間規格を準備する必要がある。

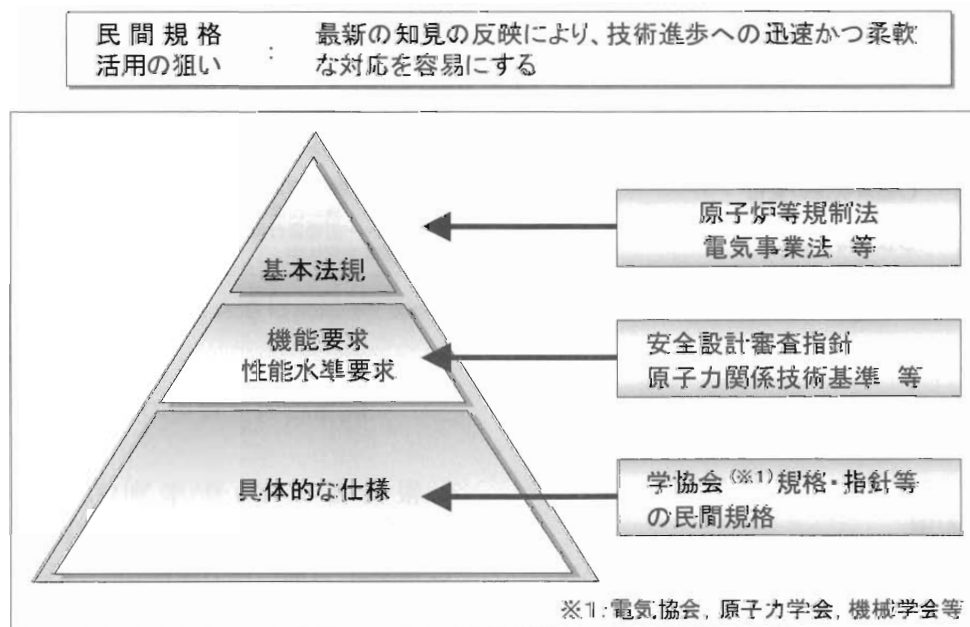


Fig.6 Utilization of Civil Standards to allow for Flexibility of Safety Management -General Scheme-

この一環として、原子力施設に相応しい安全で合理的な廃止措置として、具体的な廃止措置の実施にあたっては原子力施設の特徴を考慮して、予め廃止措置計画を立案し、その計画に基づいて実施していく必要があることから、日本原子力学会において、2006年7月に商業用発電炉を含む原子力施設の廃止措置を対象として、日本原子力学会の標準「原子力施設の廃止措置の計画と実施；2006」が制定された。この標準は、廃止措置に関する基本的考え方、法令の基準を踏まえ安全確保を前提に技術的視点に立った廃止措置計画を立案するための技術的要求事項を規定するとともに、廃止措置計画に基づいて実施する一連の廃止措置作業に必要な手引きを規定している (Fig. 7)。

今後は、廃止措置の「計画段階」、「実施段階」、「最終確認」等それぞれの段階における具体的な下部規定類の制定・整備が必要である。

#### 4.3 将来の廃止措置に向けた取り組み

わが国初の商業用原子力発電所である東海発電所は、1998年に32年間の営業運転を終了して、現在廃止措置中である。また、敦賀発電所1号機についても、平成22年に運転終了を公表している。他の発電所についても、国内初期建設プラントでは営業運転期間がおおよそ40年を迎えることから、炉型の違いや、政策・規制・技術開発の全体的な整合性を見直し、海外廃止措置経験の蓄積の反映など、さらに検討を進め、時代の要求に即し

た軽水炉廃止措置の策定（アクションプラン、技術開発・検証等）が望まれる (Fig. 8)。

ここでは、廃止措置に向けた準備と取り組みについて述べる。

##### 4.3.1 廃止措置ロードマップの策定

わが国の軽水炉廃止措置を安全・確実かつ合理的に実施するための諸課題について整理し、課題解決のための道筋を示すとともに、関係機関の今後の検討・研究の指標と活用されるべく、(財)原子力発電技術機構(\*)の「廃止措置技術総合調査委員会（委員長：石樽顕吉 東京大学名誉教授）」において、軽水炉廃止措置実施に向けたロードマップが取りまとめられている。

ここでは、廃止措置全般の課題を整理するため、IAEA廃止措置国際会議におけるセッション分類を参考に、全体を7つの分野に分割するとともに、課題を網羅的に取り上げられるよう配慮されている。各分野についての課題、目標、課題解決のためのアクション項目を検討し、17項目に整理されている。それぞれの分野の主な課題に対する現状とアクションプランの概要は、Table 1のとおりである。

(\*)：本年3月で解散し、現在、(財)エネルギー総合工学研究所が事業を継承。

##### 4.3.2 廃止措置技術課題とその取り組み

平成9年の総合エネルギー調査会原子力部会報

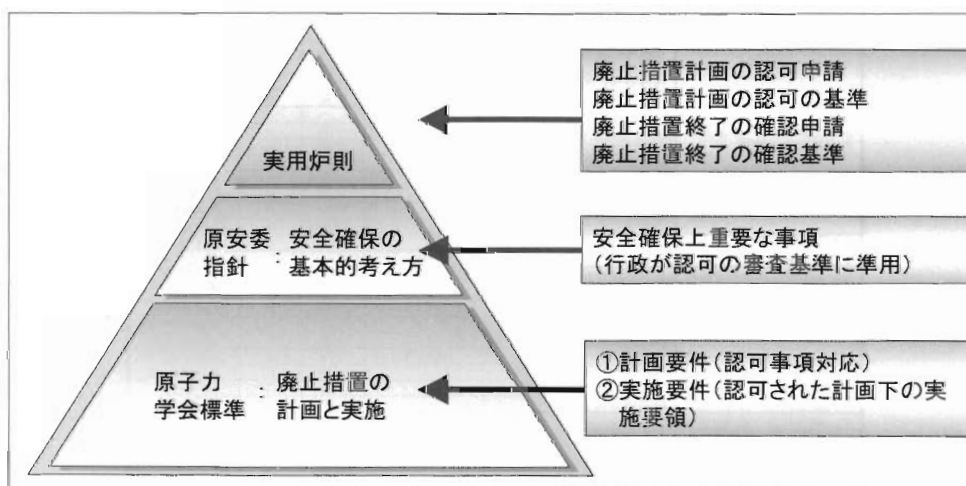


Fig.7 Utilization of Civil Standards to allow for Flexibility of Safety Management  
-Civil Standard for Decommissioning-

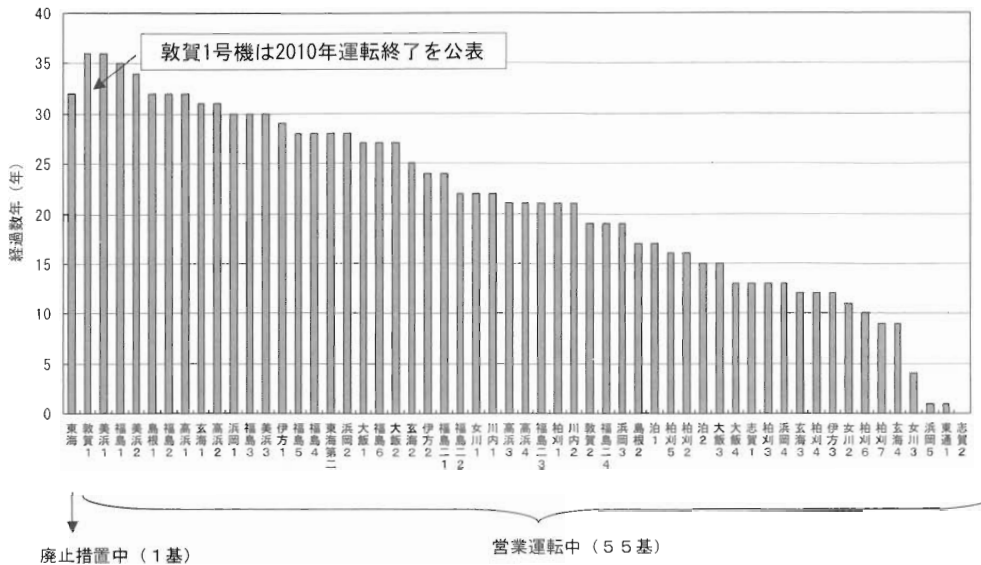


Fig.8 Aging Power Reactors in Japan

Table 1 List of Preparatory Activities and Priorities for Future Decommissioning of LWRs

No./課題	課題解決のためのアクション項目	区分	重要度	担当機関
<b>1. 廃止措置全般情報</b>				
1.1 国内外の廃止措置 DBの整理	国内の既存DBの整理(RANDEC/JAEA 他)	短期	B	事業者
	DBの統合様式検討と条件整備	短期	B	事業者
	DBの集約と統合	中期	B	国/事業者
1.2 国内外の主要廃止措置状況の整理	最新情報の収集	短期	A	研究機関/企業/事業者
	成功事例・教訓のリスト化	中期	A	事業者
	廃止措置決定判断の要因整理	短期	A	事業者
1.3 国内情報の統合と発信	発信対象の検討と発信形態の整理	短期	A	事業者
<b>2. 政策と方針</b>				
2.1 我が国の廃止措置政策の見直し	安全貯蔵範囲/期間、先行解体範囲等の柔軟性	短期	A	国/事業者
	ツインプラントの廃止措置方針	中期	A	事業者
	SF 搬出を含む標準工程	短期	A	事業者/国
	リプレースの廃止措置方針	中期	A	事業者/国
	サイト解放基準と検証方法	中期	A	事業者/国
2.2 廃止措置における技術継承と記録保存	標準工程の適用指針(シナリオ見直し)	中期	A	国/事業者
	技術継承、人材育成のあり方	中期	B	事業者/企業/国
	記録保存のあり方	中期	A	事業者/企業/国
<b>3. 計画と実施 (廃止措置計画)</b>				
3.1 計画立案段階の整備	インベントリー/物量評価	短期	A	事業者
	解体廃棄物の処分方針	中期	B	事業者
	既設・新增設備の計画	短期	A	事業者/国
	設備機能維持の期間と範囲	短期	A	事業者/国
	安全評価の方法	短期	A	事業者/国
3.2 計画立案の手順の整理	廃止措置資金管理の整理見直し	中期	B	事業者
	廃止措置各作業の実施時期の最適化	短期	B	事業者/企業
	既存計画支援ツールの整理と改良	中期	A	事業者/国
3.3 廃止措置計画の具体例と立案手引きの作成	廃止措置計画書審査指針の作成	短期	A	国
	軽水炉共通廃止措置計画立案手引きの作成	中期	A	事業者
<b>4. 規制・基準</b>				
4.1 廃止措置関連基準・指針・手引きの整備	基準・指針・手引き項目抽出と学協会分類	短期	A	事業者/研究機関/企業
	廃止措置用の基準・指針・手引き(表2参照)	短中期	A	事業者/国
4.2 廃止措置段階の規制対応	リスク変化の工事管理への反映	短期	A	国/事業者/企業
	廃止措置時保安規定(品質保証を含む)	短期	A	事業者
	各段階の設備維持管理基準	短期	A	事業者/国
	現地検査官の廃止措置時検査指針	短期	A	国
	民間基準の規制当局エンドース	中期	A	国/事業者
	規制指図書事項の整理と分析	中期	A	事業者/国
<b>5. 技術・工法</b>				
5.1 主要な解体・除染技術の実績動向の把握	RPV等鋼構造物切断法	中期	A	事業者/企業/国
	BSW等コンクリート解体法	中期	A	事業者/企業/国
	解体前/解体後除染法	短期	B	事業者/企業
	金属/コンクリート再利用方法	中期	A	事業者/企業
	残存放射能測定法	中期	B	事業者/企業
	廃止措置用局所換気設備	中期	B	事業者/企業
	大型改造工事の適用技術整理	短期	A	事業者/企業
5.2 技術選定指針作成	技術選定手引き作成(表3参照)	短中期	A	事業者/企業
<b>6. 廃棄物管理</b>				
6.1 合理的な廃棄物処理処分技術選定	ニーズに合った処理処分技術選定	中期	A	事業者/企業
	混合廃棄物等の取扱い基準	中期	A	事業者/国
6.2 解体物再利用の促進	集中処理場計画検討	中期	B	事業者
	CL 検証と NR 検証の運用合理化検討	短期	A	事業者/企業
	放射性金属/コンクリートの再利用方法	短期	A	事業者/企業
	クリアランス以下のコンクリート再利用方法	短期	A	事業者/企業
6.3 廃棄物情報管理システムの整備	国の再利用促進策の検討	中期	B	事業者/国/他
	廃棄物情報の分類整理	短期	A	事業者
	廃棄物情報管理システムの作成	中期	B	事業者
<b>7. 地域社会・経済への影響</b>				
7.1 地域住民・自治体・企業との協調連携	利害関係者との関係に関する海外事例調査	短期	B	事業者/自治体/国
	地元とのコミュニケーション方法の検討	短期	A	国
	地元企業と連携した再利用	短期	A	事業者/企業
	産廃、リサイクル物、NR 対象物の受入	中期	A	事業者/企業
7.2 廃止措置の安定確保	廃止措置必要従事者と標準化検討	中期	B	事業者/企業

1) 重要度の比較的高い項目を掲載。  
 2) 重要度: A (重要度 大)、B (重要度 中)

告では、「既存の解体技術を用いて、安全を確保しつつ、原子力発電所を解体することは概ね可能」であるものの、「商業用解体詳細設計においては、①エンジニアリング技術、②解体技術の高度化、③合理的な放射能測定技術、の実証等が必要」と述べられている (Fig. 9)。一方、その後、東海炉での廃止措置工事やふげん炉での廃止措置技術開発、あるいは運転中プラントでの重要機器取替え実績、および前述した海外プラントでの廃止措置実績等、技術改善が図られており、多くの知見・経験が積み重ねられている。

このような状況を踏まえ、軽水炉プラントの具体的かつ合理的な廃止措置計画に向けて、次の技術についての実証・検証および工法のレビューに取り組んでいるところである (Fig. 10、Table 2)。

- ①廃止措置エンジニアリング
- ②放射化放射能インベントリー評価
- ③除染技術
- ④解体技術 (原子炉容器、生体しゃへいなど)
- ⑤工事管理・安全管理技術
- ⑥換気、ろ過システム

#### 4.4 立地地域の協力

わが国のエネルギー供給の中心的役割を果たしている原子力発電は、立地地域の住民・自治体の信頼および理解に支えられており、事業者として

も安全確保を第一に原子力発電所の安全・安定運転に努めている。また、プラントの廃止措置跡地についても、原子力施設として有効利用することがわが国の基本方針である。このような背景を踏まえると、これまでのわが国の原子炉廃止措置の事例は、茨城県、福井県で実績があるものの、多くの発電用原子炉を占める軽水炉の廃止措置について立地地域の理解および協力を得ておくことは、その後の原子力施設としての跡地利用を円滑に進めるためにも重要なことである。

#### 5. まとめ

- ・将来に向けた具体的かつ合理的な廃止措置検討が必要
- ・原子力発電所のリプレースを円滑に進めるため、適切な廃止措置に係る費用負担の平準化が重要であり、敦賀1号機等の廃止措置計画が具体化してくる等、廃止措置の内容がより明確になっていくことを踏まえて、今後も適時適切に廃止措置に係る費用の見直しが必要
- ・廃止措置に関する民間規格の整備を推進し、最新の科学的知見を反映し、技術進歩への迅速かつ柔軟な対応を容易にすることが必要
- ・合理的な廃止措置を実施するために、海外プラントでの廃止措置実績を含めて、国内外の

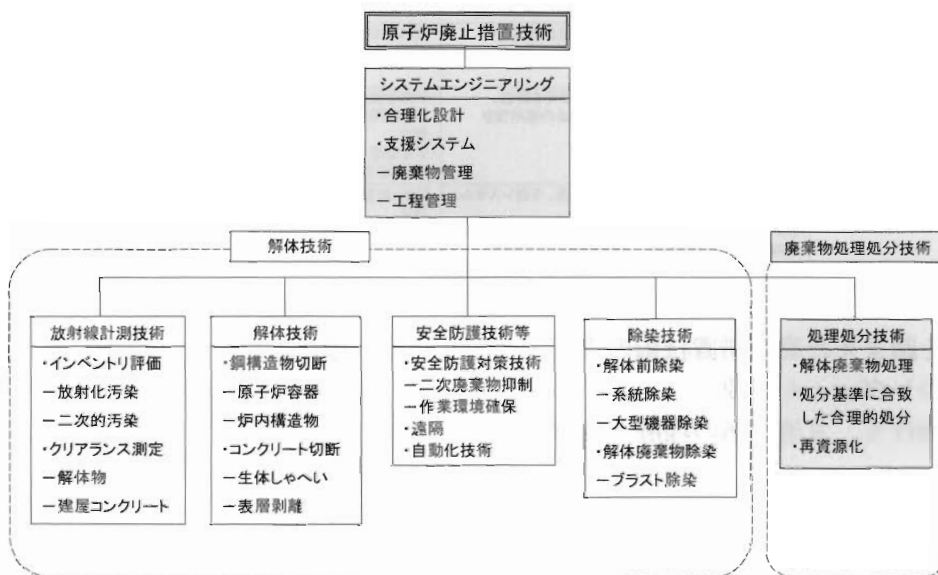


Fig.9 Preparations for Future Decommissioning of LWRs(1)  
 ・Necessary Technologies and System Engineering-

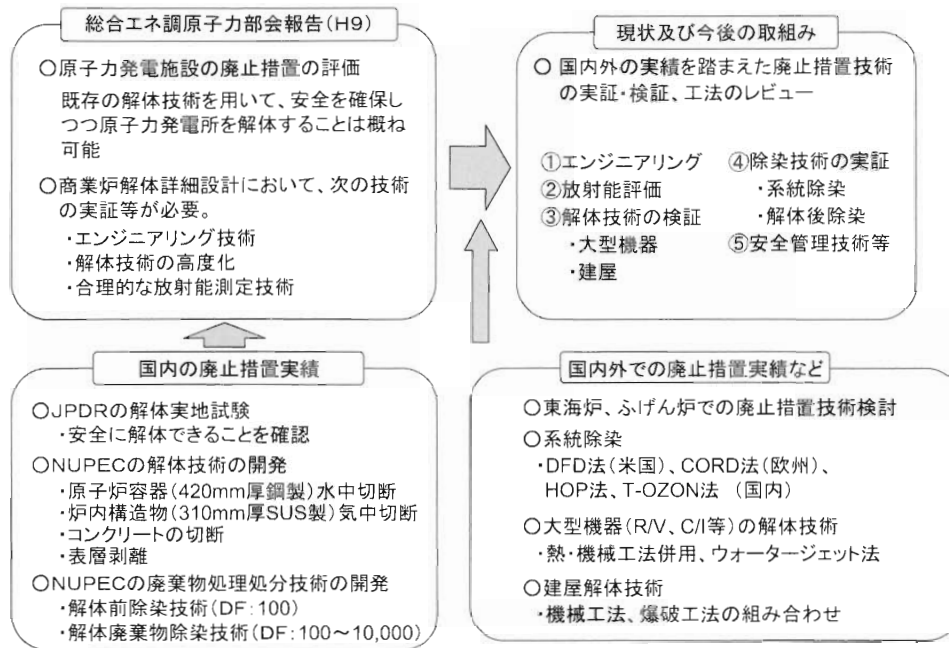


Fig.10 Preparations for Future Decommissioning of LWRs(2)  
-Demonstration and Verification of Technologies-

Table 2 Demonstration and Verification of Technologies

項目	概要	期待される成果	備考
廃止措置エンジニアリング技術	・既存のデコミエンジニアリング支援ツール等を活用して国内廃止措置業務に必要な機能分析と開発。 ・作業被ばく、解体廃棄物の物量、費用等の管理データを蓄積。	・軽水炉用のデコミエンジニアリング手法を確立。	合理的な廃止措置計画の立案、工事の安全・確実な管理、工程管理の最適化に活用。
放射化放射能インベントリー評価	・解析コードによる放射化放射能評価結果との比較により、解析コードを検証。	・軽水炉の放射化放射能の評価技術を確立。	放射化放射能の事前調査の合理化、レベル区分に応じた最適な工事工法の選択に活用。
除染技術	・系統除染範囲判断の前提となる雰囲気線量当量率の検討及び、当該結果に基づく対象範囲の検討 ・海外での除染実績等を参考に、除染係数や処理時間等の性能、設備仕様、消耗品費、2次廃棄物処理等を検討	・軽水炉の合理的な除染範囲、除染技術の確立。	除染効果による被ばく低減、解体放射性廃棄物量低減・処分区分の合理化に活用。
解体技術	・原子炉容器等の海外での解体実績を参考に、解体装置の、切断能力、切断精度、作業能率、遠隔操作性等を検証。	・軽水炉の遠隔解体技術の確立。	廃止措置工事設計、作業被ばく低減に活用。
工事管理・安全管理データ	・解体工事手順、放射線安全管理対策等を評価。 ・海外実績を参考に、Cold & Dark 方法の適用性を評価。	・解体手順、工事機材配置、解体物の識別等の合理的な工事技術の確立。 ・安全管理(作業安全、放射線管理、廃棄物)要領の最適化。	廃止措置工事設計、管理の効率化に活用。
換気、ろ過システム	・海外実績を参考に、局所・移動型換気、ろ過システムの適応性を評価。 ・ヒューム、ダスト等の挙動把握し、システムの実効性を検証。	・局所・移動型換気・ろ過システムの確立。	廃止措置工事設計、作業被ばく低減に活用。

実績・教訓を踏まえた廃止措置技術の実証・検証、工法のレビューが必要  
・廃止措置に向けて、立地地域の理解・協力の獲得が必要

参考文献

1) 石樽顕吉、堀川義彦、石倉武、“軽水炉廃止措置実施に向けたロードマップ その1 概要”、

日本原子力学会「2008年 秋の大会」予稿集。  
2) 石倉武、堀川義彦、“軽水炉廃止措置実施に向けたロードマップ”、原子力eye、Vol.54、No.6、pp34、2008。  
3) 総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会 原子力発電投資環境整備小委員会、報告書(平成19年5月)、第5回資料(平成19年2月8日)。

## 韓国における低中レベル放射性廃棄物処分施設の立地経緯及び 現在の建設状況について

坂井章浩\*、菊池三郎\*\*、圓山全勝\*\*

### *Siting History and Current Construction Status of Disposal Facility for Low and Intermediate Level Radioactive Waste in Korea*

Akihiro SAKAI\*, Saburo KIKUCHI\*\*, Masakatsu MARUYAMA\*\*

韓国では、4つの候補地の住民投票を経て、2005年12月に慶州市の海沿いでWolsong（月城）の原子力発電所に近接するサイトが低中レベル放射性廃棄物処分施設の建設地に決定され、それ以降、処分の実施機関である韓国水力原子力株式会社（Korea Hydro & Nuclear Power Co.,Ltd:KHNP）により、許可手続き等、処分施設建設のための準備が進められている。放射性廃棄物の処分予定総本数は80万本（200Lドラム缶換算）で、そのうち第1フェーズとして10万本を地表からの深さで約80mから130mに設置した6基のサイロ型処分施設に処分する計画となっている。本報告は、主に、本年7月に低中レベル放射性廃棄物処分施設建設サイトを訪問した際に得られた情報を基に、韓国の低中レベル放射性廃棄物処分場の立地に至るまでの経緯、処分施設の設計の概要及び現在の建設状況について報告する。

Korean government decided disposal site for low and intermediate level radioactive waste (LILW), which is located at coastal area near the Wolsong nuclear power plants in Gyeongju city in December, 2005, based on the result of votes of residents in four candidate sites. Since then, Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd (KHNP), which is the management company of the LILW disposal facility, has carried out the preparation for construction of disposal facility and its licensing process.

At the first phase, 100 thousand drums in 200 liter are planned to be disposed of in the rock cavern type disposal facility located at the depth from 80m to 130m below the sea level, and finally 800 thousand drums in 200 liter are planned to be disposed of in the site.

This report shows the history of siting for the LILW disposal, the outline of design of disposal facility and current status of its construction, based on the information which was obtained mainly during our visit to the disposal site in Korea.

\* : 日本原子力研究開発機構 バックエンド推進部門 理設事業推進部 設計技術課 (Design and Engineering Section, Low-level Radioactive Waste Disposal Project Department, Nuclear Cycle Backend Directorate, Japan Atomic Energy Agency.)

\*\* : 財団法人 原子力研究バックエンド推進センター (Radioactive Waste Management and Nuclear Facility Decommissioning Technology Center)



1. はじめに

韓国では、2005年に4つの候補サイトの住民投票において最も賛成票の割合が多かった慶州市を低中レベル処分施設の建設地に決定し、2006年以降、処分施設の建設へ向けた工程が進められている。

本年7月23日に低中レベル放射性廃棄物(以下、「低中レベル廃棄物」という。)処分施設建設地を訪問し、処分の実施機関である韓国水力原子力株式会社(Korea Hydro & Nuclear Power Co.,Ltd: KHNP)の方々から低中レベル廃棄物の処分施設の立地及び建設に係る情報を聞かせていただいた。本報告では、その情報と既存の文献等を基に、韓国における低中レベル廃棄物処分施設の建設に至るまでの経緯、処分施設の概要、現在の建設状況について取りまとめた。

2. 韓国における原子力発電及び放射性廃棄物について

韓国では、4ヶ所のサイトにおいて20基の原子力発電所(CANDU炉4基、PWR16基)が稼働中である。原子力発電所の発電量は韓国の総発電量の40%を占めており、稼働率は90%である。また、現在、6基の発電所が建設中であり、2基の立地も計画されている。

韓国においては、放射性廃棄物は低中レベル廃棄物と高レベル放射性廃棄物(以下、「高レベル廃棄物」という。)の二種類に分類されている。高レベル廃棄物は主に使用済核燃料であり、低中レベル廃棄物は、高レベル廃棄物以外の廃棄物となっている。

発電所サイトにおける低中レベル廃棄物の総保管量は、Table 1に示すように2007年12月現在で約76,000本である。これに対し、総保管能力は約10万本であり、保管容量が逼迫しているサイトもある。ウルチン(Ulchin、蔚珍)サイトでは、保管量が満杯になる時期が2008年と予測されており、この事情が国の放射性廃棄物管理プログラム(1998年)において、2008年までに低中レベル廃棄物の処分場を設置する方針が示された主な理由となっている<sup>1)</sup>。

Table 1 The Volume of Low and Intermediate Radioactive Waste stored at NPP Sites

NPP Site	Storage Capacity (drums)	Cumulative Amount (drums)	Year of Saturation
Kori	50,200	37,977	2014
Yonggwang	23,300	18,246	2012
Ulchin	17,400	13,506	2008
Wolsong	9,000	6,752	2009
TOTAL	99,900	76,481	-

As of Dec., 2007

Fig.1に韓国における低中レベル廃棄物の発生量の推定結果を示す。これによれば、2020年で総廃棄物量は約196,000本と推定されており、そのうち、160,000本が発電所から発生する廃棄物で、残りの36,000本は、韓国原子力研究所(Korea Atomic Energy Institute:KAERI)、燃料加工会社(Korea Nuclear Fuel Co., Ltd:KNFC)、RIユーザーからの廃棄物となっている。

高レベル廃棄物は、現在、各発電所サイトのプールで貯蔵中である。韓国原子力委員会(Atomic Energy Commission:AEC)は、2016年までは各発電所サイトで保管することとし、2016年以降の管理については、サイト内貯蔵、サイト外貯蔵、処分などのオプションから、公衆のコンセンサスを得て決定するとの考えを2004年に示している。

3. 低中レベル廃棄物の管理体制

(1) 韓国における放射性廃棄物管理の基本原則<sup>1), 2)</sup>

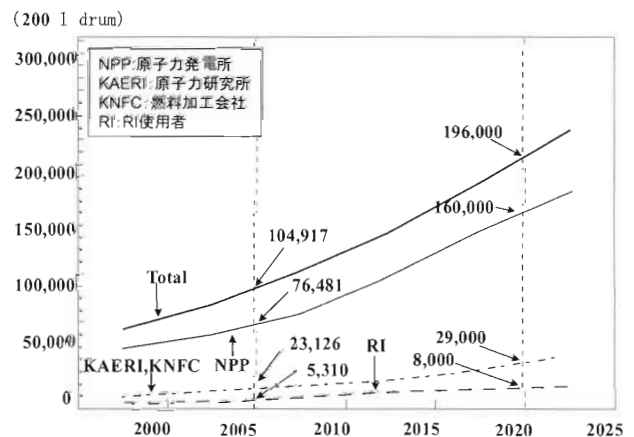


Fig.1 Prospect of Cumulative Volume of LILW in Korea



韓国における放射性廃棄物管理の基本原則は1998年に定められた。その主な内容は以下の通りである。

- ・ 政府が廃棄物管理に責任を持つこと
- ・ 安全性を最優先すること
- ・ 廃棄物の発生量を最小限に抑えること
- ・ 発生者が費用負担の責任を負うこと
- ・ 処分サイト選定プロセスに透明性を持たせること

(2) 韓国における低中レベル廃棄物管理体制<sup>1), 2)</sup>

韓国における低中レベル廃棄物処分の実施及び規制体系をFig.2に示す。低中レベル放射性廃棄物処分の実施機関は韓国水力原子力株式会社である。韓国水力原子力株式会社は、2001年に韓国電力公社(Korea Electric Power Corporation:KEPCO)の発電部門が6つの子会社として独立した会社の一つで、韓国電力公社の資本が100%となっている。親会社の韓国電力公社は、以前、国有会社であったが、現在では株式の一部を民間が保有している。

放射性廃棄物管理の全ての重要な政策は、国家総理(首相に相当)の諮問機関である韓国原子力委員会において策定されるとともに見直しがなされる。低中レベル廃棄物処分施設の建設・操業に当たっては、国家総理の指示の下、産業資源部(部は日本の省に相当)(Ministry of Commerce, Industry and Energy: MOCIE)が放射性廃棄物管理者の指定、監督、実施計画の認可等を、また、科学技術部(Ministry of Science and Technology: MOST)が安全規制を、それぞれ担っている。なお、実際

の安全規制活動は、科学技術部から委託を受けた韓国原子力安全技術院(Korea Institute of Nuclear Safety:KINS)が行っている。

4. 低中レベル廃棄物処分施設立地に係る経緯について<sup>1), 3)</sup>

韓国における低中レベル廃棄物処分施設のサイト選定は1986年から続けられてきたが、住民の反対運動等により幾度にわたり頓挫した。当初は科学技術部と韓国原子力研究所が立地活動を担当したが、1997年からは産業資源部と韓国電力公社が立地活動を担当することとし、2003年からは事業者主体の立地活動から地方自治体の応募による立地活動に切り替えたが、候補サイトの住民の反対運動等に遭い、処分サイトの決定に至らなかった。

このため、政府は、2004年に、それまでの経験を基に低中レベル廃棄物処分施設のサイト選定の方法を次のように修正した。

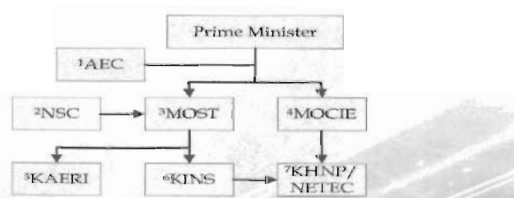
2004年12月、韓国原子力委員会により、それまで同一サイトで考えられてきた使用済燃料の中間貯蔵を低中レベル廃棄物処分施設のサイトとは別にすることが示された。

次に、国民の信頼を得るため、また、原子力委員会の上記の決定を保証するために2005年3月に特別法が制定された。特別法には、

- ・ 施設の誘致は、低中レベル廃棄物処分施設に限定されたものであること
- ・ 決定されたサイトには、使用済燃料に関連する施設の建設を禁止すること
- ・ 住民投票を義務づけること
- ・ 地方自治体には誘致による支援金を3,000億ウォン(3億ドル)支払うこと
- ・ 操業期間中、年間85億ウォン(850万ドル)の搬入手数料を支払うこと
- ・ 実施主体である韓国水力原子力株式会社の本社を立地サイトに移転すること

が示された。

更に、政府は、サイト選定手順の民主性及び透明性を担保するために、地方議会の同意を得た上で地方自治体の首長から誘致の応募を受けることとした。また、専門家から成るサイト選定委員会を設立し、サイト選定の手順に透明性を持たせて



1. AEC (Atomic Energy Committee)
2. NSC (Nuclear Safety Commission)
3. MOST (Ministry of Science and Technology)
4. MOCIE (Ministry of Commerce, Industry and Energy)
5. KAERI (Korea Atomic Energy Research Institute)
6. KINS (Korea Institute of Nuclear Safety)
7. KHNP-NETEC (Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd. - Nuclear Environment Technology Institute)

Fig.2 Framework of Organization related to LILW Disposal in Korea

進めることとした。

処分場の立地サイトには、特別法に示された資金の支援等に加えて、陽子加速器施設も設置することとした。

この改められた方法に基づき、2005年8月までに処分サイトの公募が行われ、4つの自治体が処分サイトの誘致に応募した。応募があった各サイトについて、立地可能性調査が行われた。処分サイトとして適さない要件は、破碎帯、石灰岩、活断層のある地域であり、環境(生態)保護地域、国立公園などのある地域も、処分サイトとして適さない要件として考慮された<sup>1)</sup>。

4つの候補地は、どれも処分サイトとして可能であると判断され、2005年11月に各自治体で住民投票が行われた。その結果、賛成率が89.5%(投票率70.8%)で4つの地域で最も高かった慶州市に処分場を建設することが決定された。

### 5. 処分施設建設地及び周辺環境について

Fig.3に処分施設サイト周辺の鳥瞰図を示す。処分サイトは、慶州市街地から車で約40分の距離にある陽北面奉吉里(ヤンプク面ポンギル里)と

いう海沿いの地域に位置しており、処分施設建設地(操業坑道及び建設坑道の入口)は、海岸線から陸に向かって車で約5分登った地点(標高約30m)にある。

Fig.3に示すように、処分サイトに近接して4基のCANDU炉が稼働中であり(ウォルソン(Wolsong:月城)サイト)、さらに2基のPWRを建設中である(シンウォルソン(Shin-Wolsong:新月城)サイト)。

処分サイトの敷地面積は、約2 km<sup>2</sup>である。処分施設から海までの途中に河川等はなく、処分施設周辺の地下水は直接海に流入することであった。

処分施設を設置する地層は花崗岩であり、花崗岩の周囲は、白亜紀の砂岩や泥岩の堆積岩が広く分布している。花崗岩の表層は、風化によりなだらかな傾斜となっている<sup>1)</sup>。

### 6. 処分施設の設計概要、建設状況について

#### (1) 施設建設までの計画

2006年以降、処分施設建設に向けてサイト調査、環境影響評価、施設設計が行われてきている。

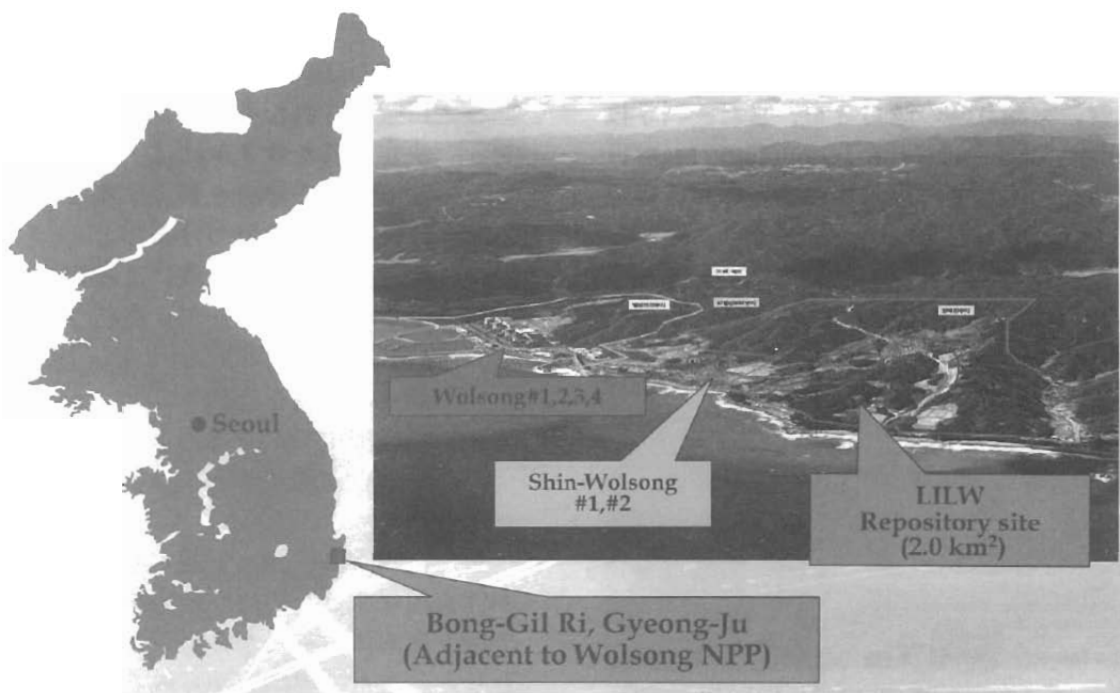


Fig.3 Location and Bird's eye view of LILW disposal site

2007年7月には実施計画が産業資源部により認可され、2007年7月からは整地作業等を実施してきている。Table 2に処分施設誘致から建設までの主要なスケジュールを示す。

## (2) 埋設対象廃棄物

処分する廃棄物は、全体で約80万本（200Lドラム缶換算）が計画されている。処分は段階的に行われるようになっており、第1フェーズでは、約10万本の処分が計画されている。原子力発電所の他、研究所、病院、産業等の施設から発生する低中レベル廃棄物も対象となっている。

処分場における各核種の濃度上限値は、科学技術部の告示（Notice 2008-65）により定められている。Table 3に濃度上限値を示す。

主な処分対象廃棄物は、可燃物、雑固体、フィルタ、使用済樹脂、廃液の固化体等が想定されている。可燃物は焼却せずそのままドラム缶等の容

Table 2 Milestone of Construction of LILW Disposal Facility at First phase

- Nov. 2005 : Final Candidate Site Selection('05.11. 3)
- Jan. 2006 : Legal Designation('06. 1. 2)
- Feb. 2006 : Start Site Characterization Research and Environmental Impact Assessment
- Jul. 2007 : Approval of Project Implementation Plan('07. 7.12)
- Jul. 2007 : Start Site Grading('07. 7.18)
- (Jul. 2008) Obtain Construction Permit and Operation License
- (Aug. 2008) Start Facilities Construction
- (Dec. 2009) Completion

※（）内は、予定

Table 3 Radioactivity Concentration Upper Limit of Nuclides in a Waste Package for LILW Disposal Facility shown by Notice of MOST

Nuclides	Upper Limit (Bq/g)	Nuclides	Upper Limit (Bq/g)
H-3	1.11E+6	Nb-94	1.11E+2
C-14	2.22E+5	Tc-99	1.11E+3
Co-60	3.70E+7	I-129	3.70E+1
Ni-59	7.40E+4	Cs-137	1.11E+6
Ni-63	1.11E+7	TRU nuclides	3.70E+3
Sr-90	7.40E+4		

器に封入することとし、不燃物は圧縮している。不燃物については、従来はさらにセメント充填・固化していたが、現在は行っていないとのことであった。液体廃棄物は、濃縮・固化化することとし、現在は濃縮廃液を乾燥後パラフィンにより固化化しているとのことであった。

処分対象の廃棄物容器は200Lドラム缶の他に300Lドラム缶、1.4m<sup>3</sup>のコンテナ等が考えられている。

## (3) 処分施設の構造

第1フェーズの処分施設は、コンクリートピット型の浅地中処分施設も検討されたが、地方自治体の代表者や専門家等で構成された委員会の意見に基づいて、地下空洞型処分施設が選択された<sup>1)</sup>。

Fig.4及びFig.5に第1フェーズの処分施設の平面敷設図及び断面図を示す。第1フェーズの処分施設は、6基のサイロ、操業坑道、建設坑道、アクセス立抗から構成される。サイロの大きさは、直径約30m、高さ50mであり、廃棄体の収納本数は、1基当たり約16,700本である。サイロの底面は、海面下約130mに位置するよう設計されている。(サイロの上面は、海面下約80m)

建設坑道及び操業坑道はトラックや重機がすれ違えるように、幅約8m及び高さ7.5mの馬蹄形の坑道が設計されている。建設坑道の長さは全長約2,000m、操業坑道の長さは全長約1,400mで、建設坑道はサイロの底部、操業坑道はサイロの上部にそれぞれ接続する設計となっている。アクセス立抗は、直径約9m、深さは約200mで、エレベータによる人の処分場へのアクセスと換気の役目を持っている。地上には廃棄体の検査施設や操作室等の各施設が建設される。

## (4) 廃棄物の埋設手順等の処分施設の操業

廃棄物は、各原子力サイトから専用船で輸送される計画である。専用船は、多重の遮蔽が考慮された構造で設計されており、また、GPSで航路を把握できるように管理される計画である。

廃棄物は、処分サイト近傍の港で降ろされた後、トラックでサイト内の受入検査施設に運び込まれる。受入検査施設で検査が行われた後、200Lドラム缶が10数本程度入る船型の金属製廃棄物収



Fig.4 Design Layout of LILW Facility at First Phase

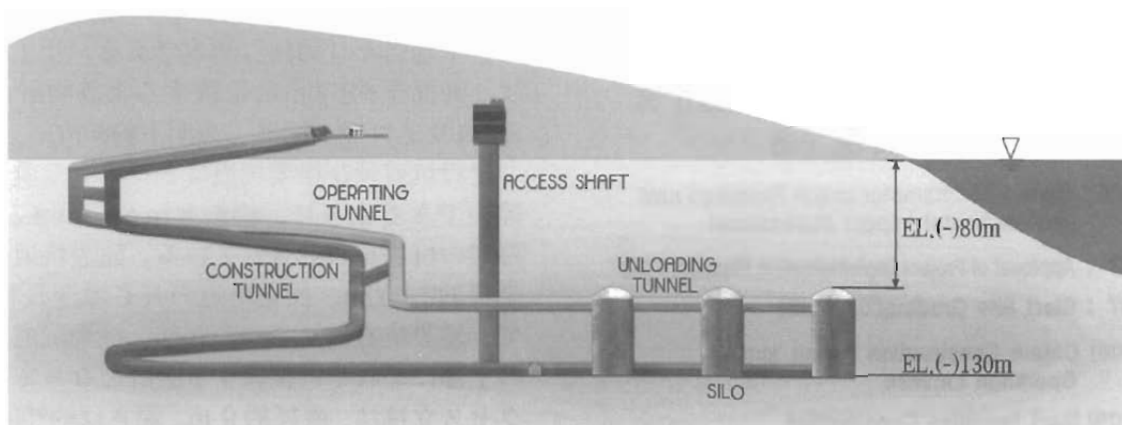


Fig.5 Vertical View of Design Layout of LILW Disposal Facility at First Phase

納容器に収納される。廃棄物収納容器は輸送用トラックに積込まれ、操業坑道を通してサイロまで輸送される。その後、サイロ上面に設置されたクレーンにより、廃棄物収納容器をサイロ内に定置し積上げることとなっている。

サイロの充填及び閉鎖の概念を Fig.6 に示す。廃棄物収納容器の周囲は碎石で充填され、建設坑道の接続部に近いサイロの下方はベントナイトを混合した碎石で充填され、建設坑道との接続部分はコンクリートプラグで閉鎖される概念となっ

ている。

処分施設は、廃棄物容器、コンクリート構造物及び周辺の岩盤（花崗岩）による3重構造のバリアにより安全性を保つ概念とのことであった。

#### (5) 線量基準及び環境モニタリング

科学技術部の告示（Notice 2008-63）において、処分場閉鎖後における公衆への線量基準は $100 \mu \text{Sv/y}$ と示されているが、設計目標値は $10 \mu \text{Sv/y}$ としたとのことであった。なお、同告示では、予

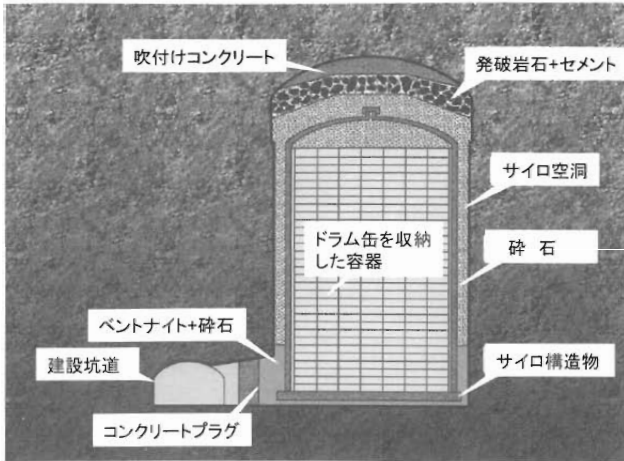


Fig.6 Conceptual Structure of Disposal Silo

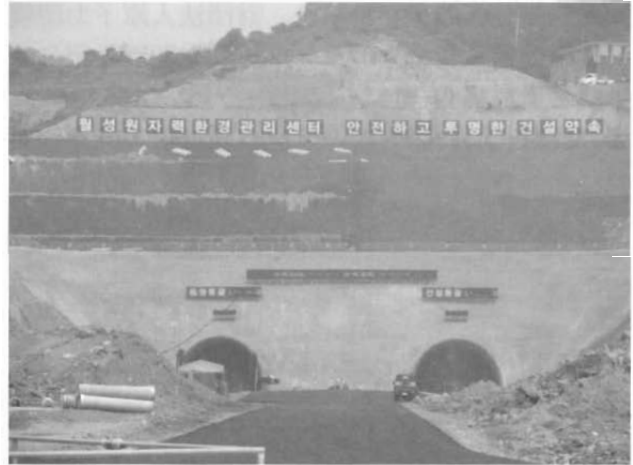


Fig.7 Entrance of Construction Tunnel and Operation Tunnel under Construction

期せぬ自然事象及び人為的な事象に対して、個人へのリスク基準で $10^{-6}/y$ とすることも示されている。

環境モニタリングは、処分施設の敷地境界及び周辺に6つのモニタリング孔を設置し、処分施設閉鎖後300年間行われる。

#### (6) 現在の建設状況及び今後の計画

現在、処分施設の建設は、建設坑道と操業坑道の入口の建設、廃棄物受入検査施設等の地上施設に係る建設場所の整地、立坑に係る地上の掘削位置の決定等がなされている状況で、本格的な建設作業はこれからである。Fig.7及びFig.8に現在の処分施設の建設状況を写した写真を示す。

今後、本格的な建設作業は、Table 2に示すとおり、政府の許可を受けた後に行うこととしている。計画では、本年(2008年)7月に科学技術部の建設及び運転に係る許可を受け、8月から本格的な建設を開始することになっているが、遅れ気味とのことであった。また、第1フェーズの処分施設の完成は、2009年12月を予定しているが、これについても遅れる可能性があるとのことであった。

#### 7. 終わりに

現在建設中の韓国の低中レベル廃棄物処分施設を訪問し、処分施設立地までの経緯、処分施設の概要及び処分施設の建設計画に関する情報を取り



Fig.8 Surface Structures Site under Grading

まとめた。本報は、訪問期間が短期間であったこと及び処分施設の建設が初期段階であったことから、概要的な報告に止まることとなったが、処分施設設計、周辺公衆に対する被ばく線量評価方法、安全基準、技術基準等の詳細な情報については、今後国内における研究施設等廃棄物の処分を検討する上で参考になると考えられることから、引き続き調査していきたいと考えている。最後に韓国の低中レベル廃棄物処分施設への訪問及び情報の取りまとめについてご協力いただいたRANDECの鈴木康夫氏に感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) Song, Myung Jae, 韓国の低中レベル放射性廃

棄物処分へのアプローチ、財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター創立30周年記念公演会資料集89-114 (2006).

2) 文部科学省、諸外国の低レベル放射性廃棄物処

分の現状 (その2)、50-58 (2007).

3) Korea Hydro & Nuclear Power Co., LTD, "Low and intermediate level radwaste disposal facility, built by our decision".



## 「ふげん」原子炉本体解体に向けたAWJ切断技術の適用性試験

中村保之\*、岩井紘基\*、佐野一哉\*、森下喜嗣\*  
丸山信一郎\*\*、手塚慎一\*\*、大鐘大介\*\*、高島雄次\*\*\*

### *Experimental Study on the Applicability of the Abrasive Water Jet for Dismantling the Reactor Core of Fugen*

Yasuyuki NAKAMURA\*, Hiroki IWAI\*, Kazuya SANO\*, Yoshitsugu MORISHITA\*  
Shinichiro MARUYAMA\*\*, Shinichi TEZUKA\*\*, Daisuke OGANÉ\*\*, Yuji TAKASHIMA\*\*\*

新型転換炉「ふげん」(原子炉廃止措置研究開発センター)の原子炉本体は、圧力管とカランドリア管からなる二重管構造の特徴を有している。原子炉本体解体の検討にあたっては、二重管同時切断技術として、アブレイシブウォータージェット(AWJ)切断技術を候補にあげ、その適用性を試験によって確認した。試験では、AWJの課題となる二次廃棄物量の低減と水中における切断監視技術の確立を目的として、最適な研掃材供給量、切断への研掃材再利用の可能性並びに、音及び振動による切断監視技術の適用の可能性を確認した。

The advanced thermal reactor (Fugen) at Fugen Decommissioning Engineering Center is characterized by its tube-cluster structures. As a part of the study of dismantling, we are studying the abrasive water jet (AWJ) technique that could be used for the dismantling of double-tubes (pressure tube and calandria tube) as one of possible methods. As the results of the tests, we confirmed the possibility of abrasive recycle for reducing the volume of secondary wastes and the applicability of cutting monitoring technique in the water.

#### 1. はじめに

新型転換炉「ふげん」(原子炉廃止措置研究開発センター)は、熱出力557MWt、電気出力165MWeの重水減速沸騰軽水冷却圧力管型原子炉である。「ふげん」は、安定した稼働率で約25年間運転を継続し、2003年3月に運転を終了した。現在は、2008年2月に認可を取得した廃止措置計画に基づ

き、施設の解体作業を進めている<sup>1)</sup>。

「ふげん」の原子炉は、224本の圧力管とカランドリア管がそれぞれ同心上に配置された二重管構造である。このため原子炉内は、複雑で狭隘な構造となっている。

原子炉の解体にあたっては、切断時の解体撤去物、放射性粉じん等の粒子状放射性物質による被ばく低減対策、圧力管等の材質にジルコニウム合

\* : 日本原子力研究開発機構 原子炉廃止措置研究開発センター (Japan Atomic Energy Agency, Fugen Decommissioning Engineering Center)

\*\* : 三井住友建設株式会社 技術研究所 (Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd., Technical Research Institute)

\*\*\* : 日進機工株式会社 (Nissin Kiko Co., Ltd.)



金を使用していることから、発火防止対策等を考慮し、水中での遠隔解体を予定している。

以上のことから、水中で遠隔解体が可能な解体工法を選定する必要がある。また、狭隘構造である二重管を合理的に解体するために、圧力管の内側からアクセスが可能であり、二重管を同時に切断可能な工法が望ましい。原子力機構では、これらの条件を満たすアブレイシブウォータージェット（以下、「AWJ」という。）切断工法を解体工法の一候補として、原子炉解体への適用性を検討している。

本報告では、二重管構造である圧力管、カランドリア管等を試験体として、AWJ切断工法の課題の一つである研掃材使用量を低減するための試験結果と水中切断により濁水した状態における目視以外の切断状況監視方法の検討結果について述べる。

## 2. 「ふげん」原子炉本体解体におけるAWJ切断の課題

「ふげん」の原子炉は、Fig.1に示すとおり、二

重管構造である224本の圧力管とカランドリア管を内蔵していることから、解体の際には切断数が多くなり、解体工期の長期化に繋がるため、合理的な解体方法を検討する必要がある。このため、管内から圧力管とカランドリア管を同時に切断して解体する工法を想定し、内管である圧力管内に挿入可能な世界最小クラスの小型AWJ切断装置を開発して適用性を確認する試験を行っている。これまでの試験結果から、小型AWJ切断装置により二重管を実用レベルで同時切断できることを確認している<sup>2)</sup>。

しかしながら、AWJに使用される研掃材が二次廃棄物となるため、処分コストの観点から研掃材の使用量をできる限り低減させる必要がある。また、AWJによる切断は、水中で遠隔により行う事を計画しており、切断が良好に行われている事をモニタリングする必要があるが、切断時に発生する切断粉や研掃材による濁水によって切断状況を目視で確認することが困難となることから、代替となる方法を検討しておく必要がある。

このため、研掃材使用量の低減を目的として、最適な研掃材使用量を明らかにするための切断性

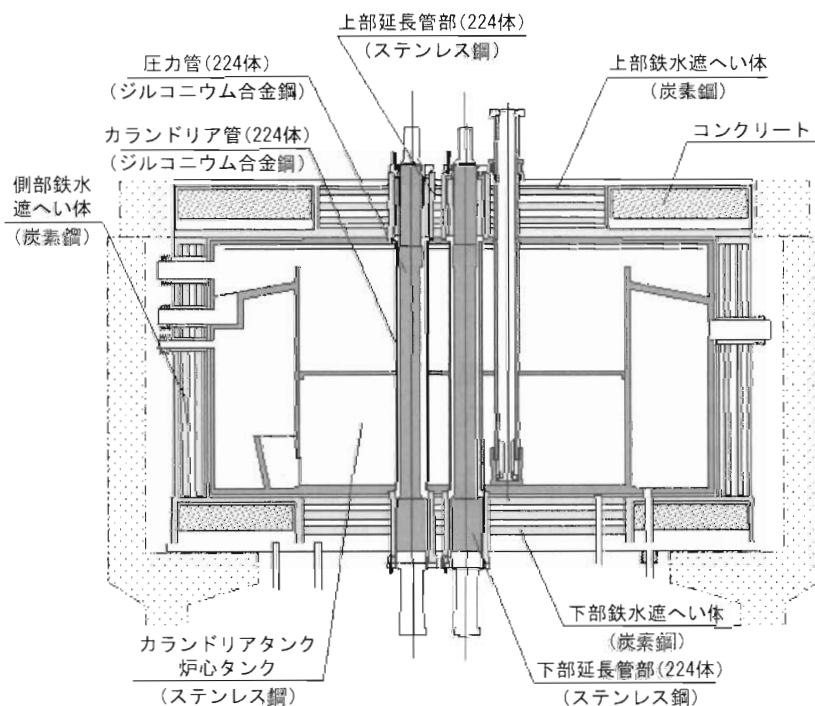


Fig.1 Structure of the Reactor Core

能把握試験や使用済研掃材の再利用可能性を検討する試験を行うとともに、切断状態の監視に適用できるかどうかの検討に資するために切断時の音響や振動を測定する試験を実施した。

### 3. 小型AWJ装置の切断性能把握試験

#### (1) 目的

開発した小型AWJ切断装置を用いて研掃材供給量と切断限界速度の関係を把握し、研掃材使用量を最適化するために切断試験を行った。

#### (2) 機器構成

試験に用いた機器構成をFig.2に、機器仕様をTable 1に示す。試験機器は、超高压ポンプ、研掃材供給装置及びAWJ水中切断試験装置（小型AWJカッティングヘッド付）で構成した。

超高压ポンプは、最高使用圧力245MPaのプランジャー式ポンプであり、研掃材供給装置は、研掃材供給量を微調整するためにロータリー方式のものを採用した。また、AWJについては、取扱いの容易さ等から現在主流となっているインジェク

ション・ジェット方式（カッティングヘッド内で研掃材を高圧水と混合させる方式）とした。

#### (3) 試験体

本試験では、Fig.3に示す圧力管集合体の切断想定箇所と同じ材質・寸法の二重管模擬試験体を使用した。Table 2に試験体（Zr合金材及びSUS材）の仕様を示す。

#### (4) 方法

小型AWJカッティングヘッドを用いて、二重管模擬試験体（Zr合金材及びSUS材）を水中環境下で管内側より切断した。切断イメージをFig.4に、試験状況をFig.5に示す。試験では、研掃材供給量と切断速度を可変パラメーターとして、研掃材供給量に対する切断速度の限界点を把握した。切断手順は以下の通りである。

- ①切断試験装置内に固定した試験体の管内の切断位置に小型AWJカッティングヘッドを設置し、水槽内に水を張る。
- ②高压ポンプを起動後、小型AWJカッティング

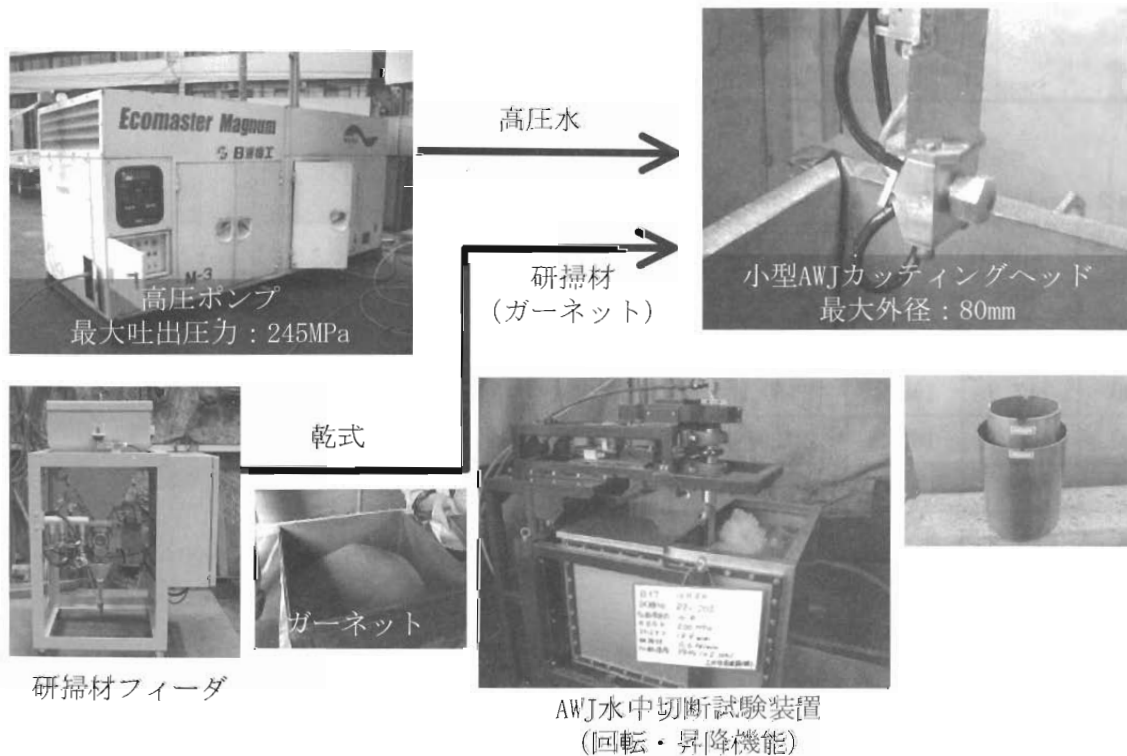


Fig.2 Apparatus for AWJ Cutting Test

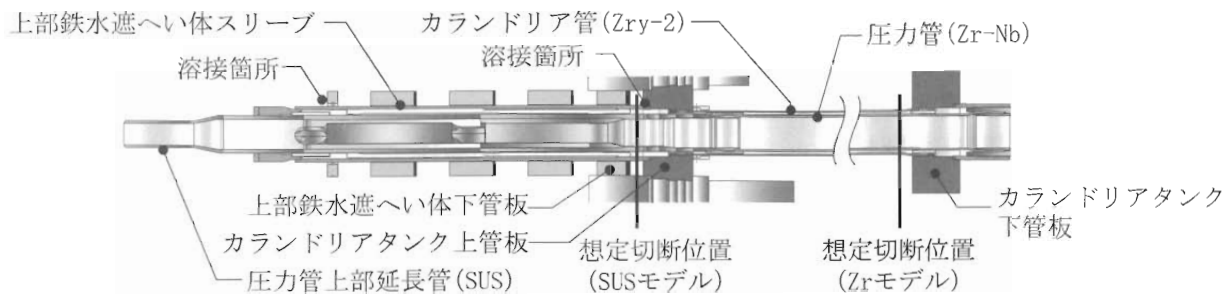


Fig.3 The assumed in-tube Cutting Parts of Pressure Tube Assembly

Table 1 Specification of the AWJ Cutting Apparatus

超高压ポンプ	外形：L3800×W1800×H1600 性能：最大吐出圧力 245MPa 吐出流量 18.2L/min
AWJ水中切断装置	外形：L1742×W1000×H550 水槽：0.2m <sup>3</sup> 回転機能：0～0.5rpm (0.1kw防水モーター) 昇降機能：0～30mm/min (0.2kw防水モーター)
研掃材フィーダー	吐出方法：ローター回転制御 供給量：0～3.6kg/min
小型AWJカッティングヘッド	対応寸法：φ80mm挿入可 最大吐出圧力 300MPa

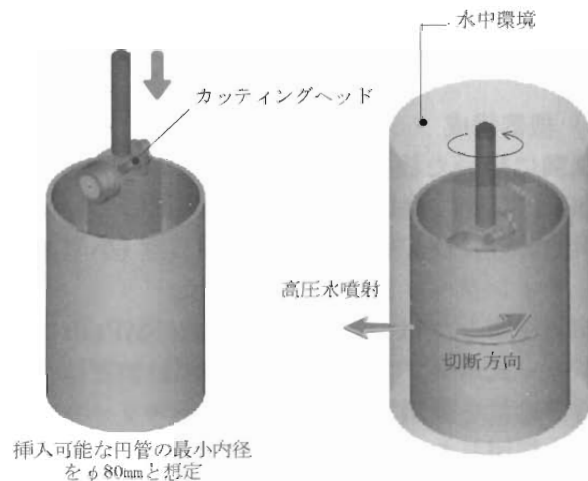


Fig.4 Double-tube Cutting from Inside of Tube

Table 2 Specification of Double-tube Specimens

試験体仕様	Zr合金材		SUS材	
	内管	外管	内管	外管
材質	Zr-Nb	Zry-2	SUS304	SUS304
内径 (mm)	117.8	156.4	95.0	170.0
外径 (mm)	126.4	160.2	127.0	190.0
厚さ (mm)	4.3	1.9	16.0	10.0
高さ (mm)	250.0	207.0	200.0	200.0

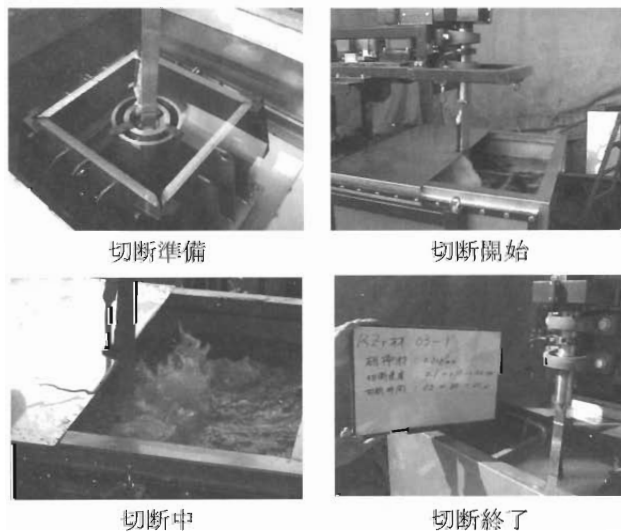


Fig.5 Complexion of the Test

ヘッドから高圧水を噴射し、200MPaまで昇圧する。

③研掃材供給装置を起動後、設定した量の研掃材を小型AWJカッティングヘッドに供給し

て高圧水と混合し、試験体へ噴射する。

④内管、外管の双方をピアッシング（貫通）させた後、小型AWJカッティングヘッドを設定した切断速度（回転速度）で移動させ二重管

を同時に切断する。

- ⑤切断終了後に切断の良否状況を目視により確認する。

(5) 結果

Zr合金材及びSUS材の二重管模擬試験体について、切断速度と研掃材供給量に対する切断良否をFig.6に示す。研掃材供給量が1.8kg/min程度以下の範囲では、Zr合金材及びSUS材ともに、研掃材供給量の増加とともに、切断速度を大きくすることが可能であった。また、切断限界速度は、Zr合金材試験体で0.3~0.4rpm（外管切断換算で150~200mm/min）、SUS材試験体で0.1~0.2rpm（外管切断換算で60~120mm/min）であることが分かった。

小型AWJ切断装置の性能は、解体期間を考慮すると、双方の切断において実用レベルであると言える。切断線の状況をFig.7に示す。部材の切断

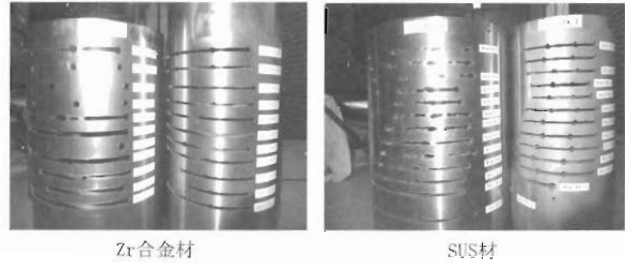


Fig.7 Cutting Results of Double-tube

線は、全ての位置でバリがなく良好であったが、内管のカーブ幅が細くなると、外管に切断不良を生じさせる傾向にあることが分かった。

(6) 切断性能の予測

切断試験で得られた研掃材供給量と切断速度の関係を予測するために、高圧水によって加速された研掃材の持つエネルギーが切断に寄与するとして考察を行った。

圧力Pの加圧水により生成される研掃材供給前の水噴流（流量Q、比重 $\gamma$ ）の運動量が、混合後の研掃材（供給量W）と高圧水の運動量に保存され、かつ高圧水の一部（ $\alpha Q$ ； $0 < \alpha \leq 1$ ）が研掃材の加速に寄与する<sup>3)</sup>と仮定すると、研掃材の運動エネルギーEは以下のように表現できる。

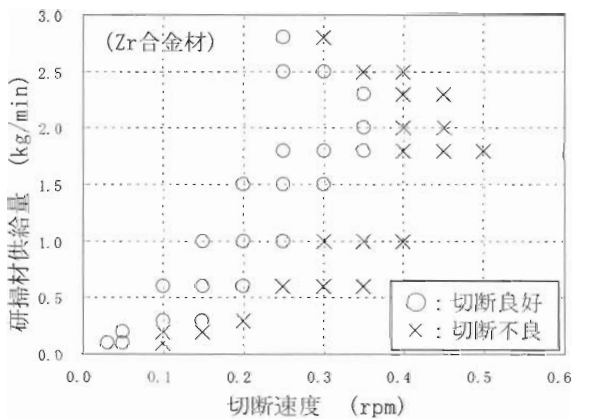
$$E = (WP) / \{ \gamma (1 + W / (\alpha \gamma Q)) \}^2 \dots (1)$$

また、試験体の切断に必要なエネルギーE<sub>c</sub>は、E<sub>c</sub> =  $\epsilon_c v t b$ （ $\epsilon_c$ ：単位体積当たりの切断に必要なエネルギー、v：切断速度、b：カーブ幅、t：板厚）であることから、E=E<sub>c</sub>として、カーブ幅bと板厚tを一定とすると、(1)式は切断速度vに比例し、以下のように表現できる。

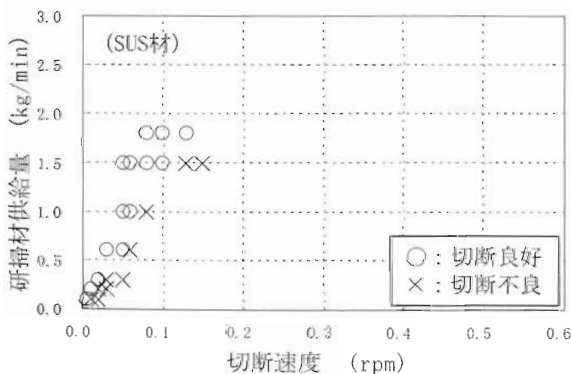
$$v \propto (WP) / \{ \gamma (1 + W / (\alpha \gamma Q)) \}^2 \dots (2)$$

試験によって得られた切断可否の境界に(2)式を最小二乗近似によりフィッティングさせると、Fig.8に示すように、研掃材供給量の増加とともに切断速度が極大となり、その後、低下する傾向を概ね再現することができた。

以上のことから、小型AWJ切断装置により二重管模擬試験体（Zr合金材及びSUS材）を同時に切断する際の速度限界は、研掃材と高圧水の運動量保存を適切に考慮することで予測が可能であることが分かった。また、(1)式から研掃材の加速に寄与する水の割合が大きくなると研掃材の運動エネルギーE



切断環境：水中、吐出圧力200MPa、スタンドオフ18.9mm



切断環境：水中、吐出圧力200MPa、スタンドオフ7.5mm

Fig.6 Relationship between Cutting Velocity and Abrasive Supply Rate

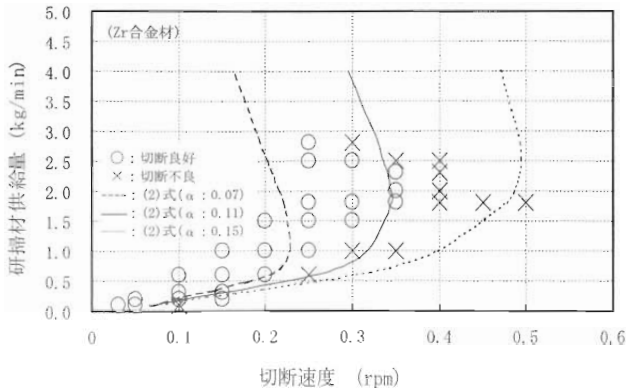


Fig.8 Cutting Threshold Velocity  
(Test Piece: The Double-tube made of Zr Material)

が大きくなることから、高圧水に対する研掃材の混合効率が切断性能に関係していることが示唆される。

#### 4. 使用済研掃材の再利用可能性の検討

##### (1) 目的

AWJ切断工法は、切断に用いる研掃材が二次廃棄物となり、廃棄物量を増加させるという課題がある。そのため、二次廃棄物量の低減を目的として、使用済研掃材の再利用の可能性を検討する試験を実施した。

##### (2) 方法

二重管模擬試験体の切断後に使用済研掃材であるガーネットを回収し、乾燥させた後にこれを再使用して3章の試験で用いた同じ二重管模擬試験体を用いて、使用済研掃材の供給量と切断限界速

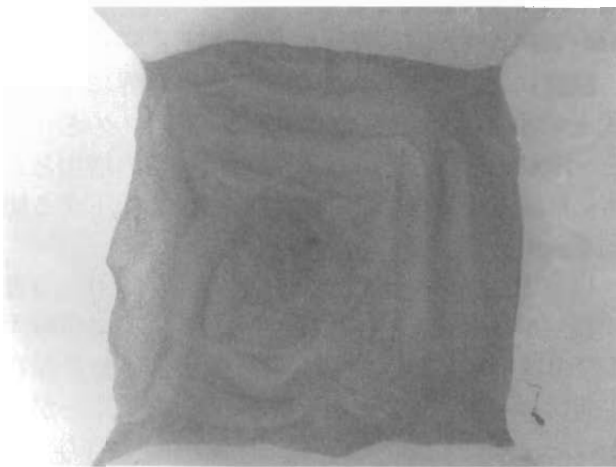


Fig.9 External View of the Used Garnet

度の関係を把握する試験を実施した。Fig.9に乾燥後の使用済ガーネットの外観を示す。

##### (3) 結果

試験で得られた切断速度と研掃材供給量との関係における切断良否状況をFig.10に示す。Zr合金材及びSUS材の双方に関して、1回程度の切断に用いた研掃材は未使用材と比較するとほぼ同等の切断性能であった。

切断前後のガーネットの粒度分布をFig.11に、SEMによる観察結果をFig.12に示す。未使用材のガーネットの粒径が、300~600 $\mu$ mに集中するのに対し、1回の切断に供したガーネットの粒径は、150~300 $\mu$ mに微細化していることが分かった。また、2回目の切断後は、150 $\mu$ m未満の粒径の割合が増加しており、粒子が更に細かくなっていることが分かった。今後、粒径が切断性能に及ぼす影響を確認し、再利用可能な粒径や切断可能回数等を明らかにしていく。

#### 5. 音響及び振動による切断監視技術の検討

##### (1) 目的

炉内構造物を水中においてAWJで切断した場合

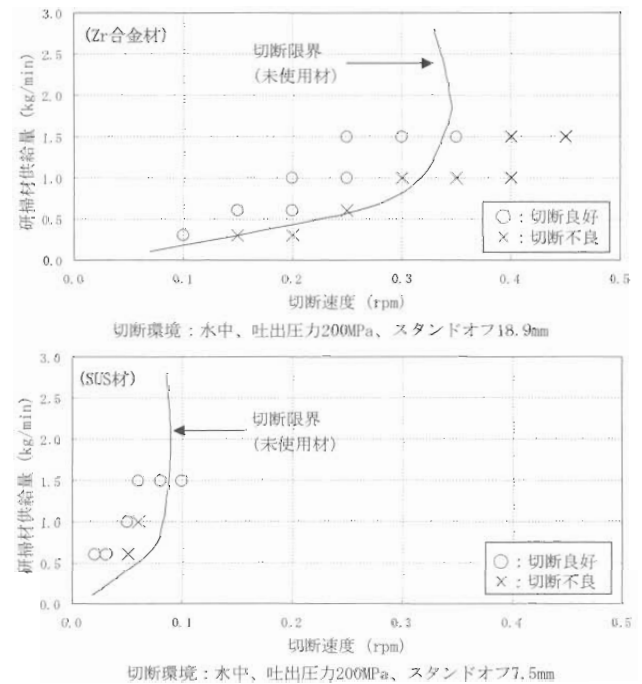


Fig.10 Relationship between Cutting Velocity and Used Abrasive Supply Rate

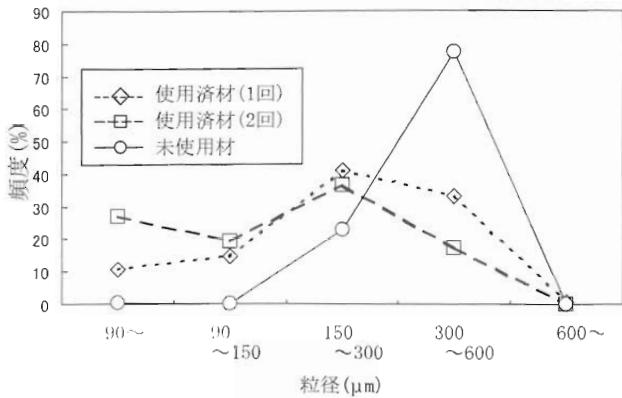
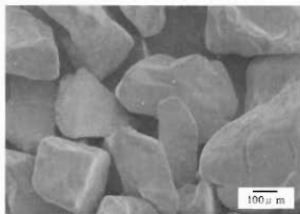
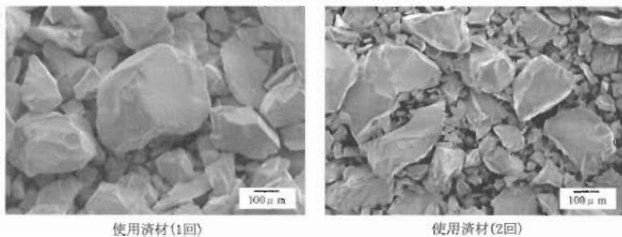


Fig.11 Grain Size Distribution of the Garnet Before and After Cutting



未使用材



使用済材(1回)

使用済材(2回)

Fig.12 SEM Observations of the Abrasive Garnet

合、切断粉や研掃材で水が濁り水中カメラ等での目視による切断状況の確認が難しいと考えられるため、代替手法の検討を行った。

ここでは、切断時に発生する水中音や切断対象物の振動を捉えることにより、切断状況の判別が可能であるかどうかを試験によって検討した。

## (2) システム構成

試験で用いた音響振動解析システムの構成を Fig.13 に、仕様を Table 3 に示す。水中音響の測定には、0.1Hz~180kHz の可聴周波数帯域を検出可能な水中マイクロホンを、また、振動の測定には、0.5Hz~20kHz の計測帯域を有する加速度センサーを用いた。

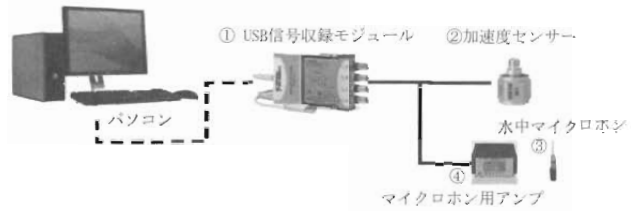


Fig.13 Measuring System of the Frequency Characteristics of the Sound and the Vibration

Table 3 Specifications of Hardware for Measuring the Sound and the Vibration

No	機器名	仕様	数量
①	USB信号収録モジュール	NIUSB-9233 4ch AI、24bit、50kHz	1
②	加速度センサー	B&K社製 4518-001 感度：10.2mV/ms <sup>-2</sup> 応答範囲：0.5Hz-20kHz	1
③	水中マイクロホン	B&K社製 8103 感度：-211dB re 1V/μpa±2dB 応答範囲：0.1Hz-180kHz	1
④	マイクロホン用アンプ	B&K社製 269x	1

## (3) 水中切断音の周波数計測

### a) 方法

水中で二重管模擬試験体 (SUS材) を切断した際に発生する切断音 (周波数特性) を水中マイクロホンにより計測し、周波数特性の変化と切断状態の相関を把握した。水中マイクロホンは、切断位置と同等の水深が300~400mm、切断位置からの水平距離が400mmの位置に設置した。試験の状況を Fig.14 に示す。開始から終了までの一連の作業における切断音の周波数特性を計測し、主に管貫通時と切断移動時 (切断が良好な場合と不良の場合) の周波数特性の変化を確認した。

### b) 結果

計測された切断音の周波数特性の時間変化を Fig.15 に示す。また、各切断工程における切断音

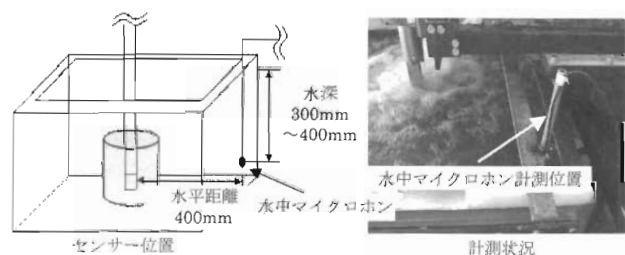


Fig.14 Test for Measuring Sounds generated during the Cutting in Water



の周波数特性をTable 4に示す。内管及び外管ともに良好に切断できている場合の切断音は、200～400Hz帯域の周波数強度が大きくなるのに対し、外管が切断できていない場合には、同じ周波数帯域の強度が小さくなることを確認した。このことから、特定周波数帯域の音の強弱の変化を読み取ることで、切断状況の監視が可能であると考えられる。

(4) 切断母材振動の周波数計測

a) 方法

切断時の母材(外管)振動の周波数特性を計測し、周波数特性の変化と切断状態の相関を把握した。加速度センサーは、二重管模擬試験体外管の外面に、切断箇所より軸方向で270mm上方の位置に垂直に取付けた。試験状況をFig.16に示す。開始から終了までの一連の切断作業における母材振動の周波数特性について計測を行い、主に管貫通時と切断移動時(切断が良好な場合と不良の場合)

Table 4 Frequency Characteristics of Cutting Sounds in Water at each Cutting Process

切断工程	周波数特性の変化(相対レベル)
内管貫通まで	100Hz帯域の強度レベル上昇 (-20dB～-35dB)
	100Hz帯域の強度レベル上昇 (-20dB～-35dB)
外管貫通まで	400Hz帯域の強度レベル上昇 (-20dB～-35dB)
	400Hz帯域の強度レベル上昇 (-20dB～-35dB)
切断移動中 切断良好時	200～400Hz帯域の強度レベル上昇 (-20dB～-35dB)
切断移動中 切断不良時	200～400Hz帯域の強度レベル下降 (-35dB～-65dB)

の周波数特性の変化を確認した。

b) 結果

計測された切断中の母材(外管)振動の周波数特性の時間変化をFig.17に示す。また、各切断工程における振動の周波数特性をTable 5に示す。内管及び外管ともに良好に切断できている場合の外管の振動は、800Hz帯域の周波数強度が大きくなるのに対し、外管が切断できていない場合には、0～1000Hzの間の幅広い周波数帯域で強度が大きくなることを確認した。このことから、特定周波数帯域の振動の強弱の変化を読み取ることで、切断状況の監視が可能であると考えられる。

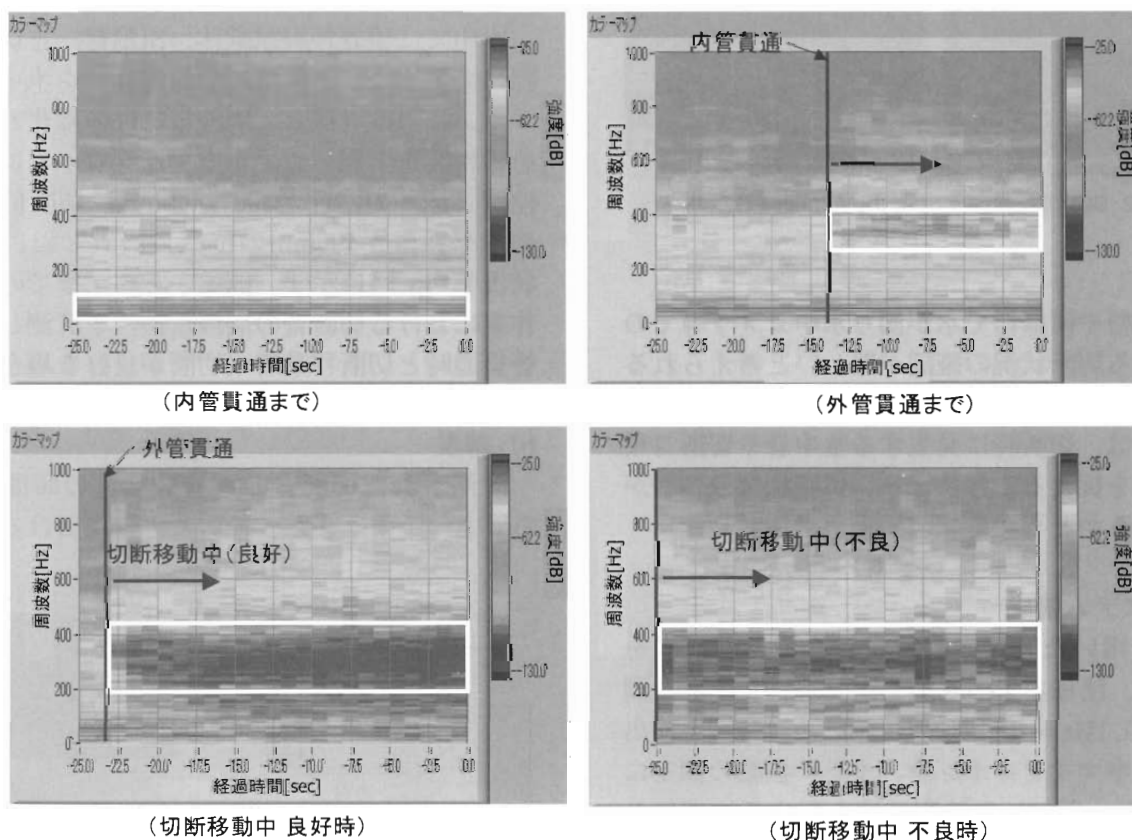


Fig.15 Changes in the Frequency Characteristics of Cutting Sounds in Water (Abrasive Supply 1.0kg/min)



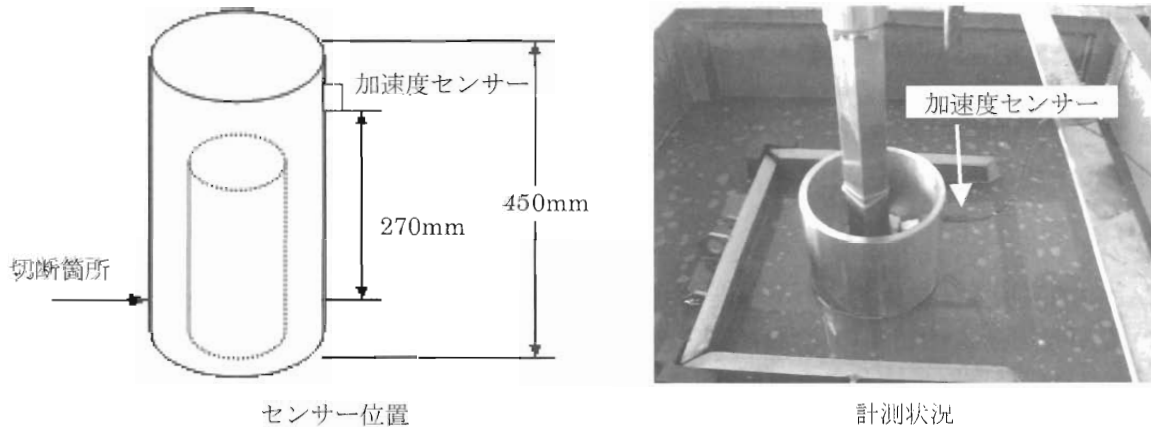


Fig.16 Test for Measuring Vibrations Generated During Cutting

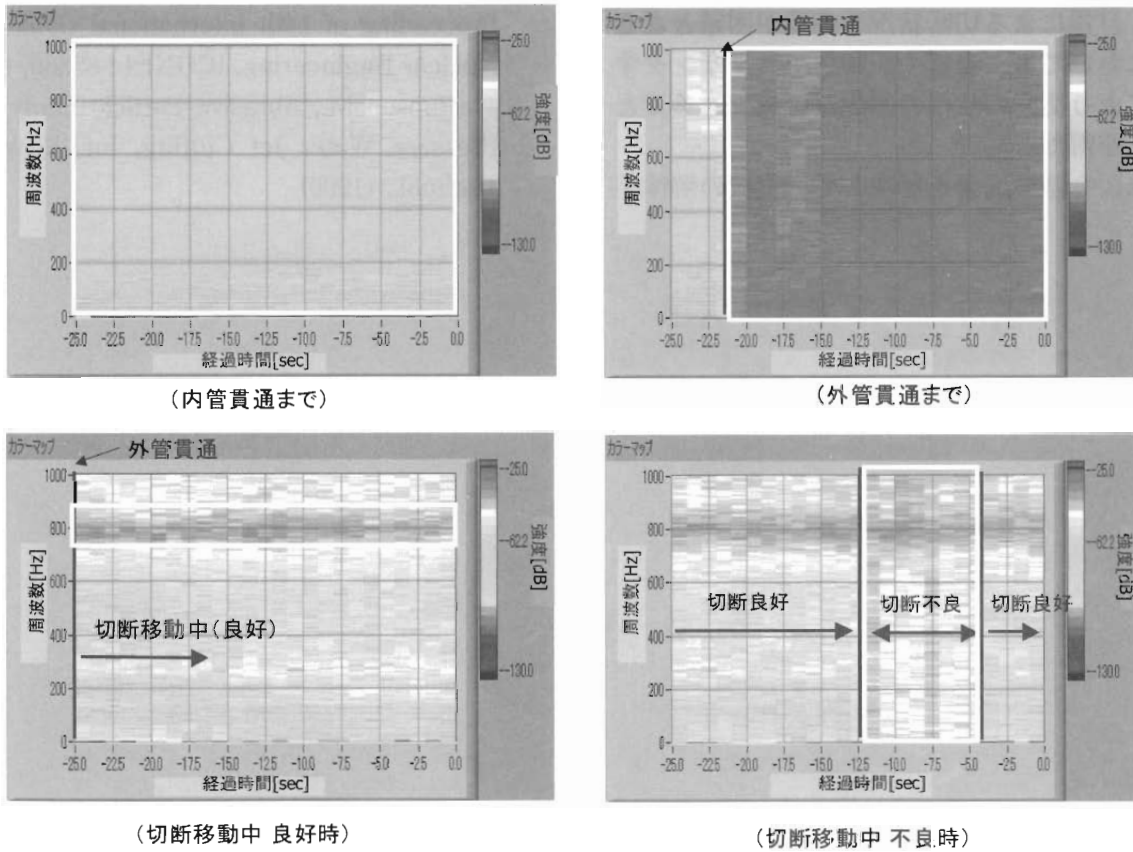


Fig.17 Changes in the Frequency Characteristics of Cutting Vibrations (Abrasive Supply Rate 1.0kg/min)

Table 5 Frequency Characteristics of Vibrations generated by the Base Materials at each Cutting Process

切断工程	周波数特性の変化 (相対レベル)
内管貫通まで	特徴なし
外管貫通まで	0~1,000Hz 帯域の強度レベル上昇 (-20dB~-35dB)
切断移動中 切断良好時	800Hz帯域の強度レベル上昇 (-20dB~-35dB)
切断移動中 切断不良時	0~1,000Hz 帯域の強度レベル上昇 (-20dB~-65dB)

また、切断良好時に計測された800Hz帯域の振動は、使用した試験体の固有振動数と概ね一致することから、切断対象物の材質や長さ等の条件を考慮することで、切断良好時に強度が大きくなる周波数帯域の予測が可能であると考えられる。

## 6. おわりに

「ふげん」の原子炉本体解体工法の1つとして検討しているAWJ切断工法適用の場合にAWJを適用するに当たり、二次廃棄物となる研掃材の使用量を低減するため、研掃材使用量の最適な条件を明らかにするとともに、1回の切断に供した使用済研掃材が未使用研掃材と同等の切断性能を有していることを確認した。

また、目視による切断状況の確認が困難となる濁水中においても、音響や振動をモニタリングすることにより切断の状況の確認が可能であることの見通しを得た。

今後は、今回の成果を反映して、実機の解体手

順や二次廃棄物量の検討を行っていく。また、音響及び振動による切断監視技術については、実機への適用を視野に入れ、更なるデータの蓄積を図っていく。

## 参考文献

- 1) Kazuya Sano, et al, "Decommissioning Program for ATR-FUGEN Nuclear Power Station", The 16th Pacific Basin Nuclear Conference, (2008).
- 2) Yasuyuki Nakamura, et al, "Applicability Examination and Evaluation of Reactor Dismantlement Technology in FUGEN -Examination of Double-tubes Cutting by abrasive Water Jet-", Proceeding of 14th International Conference of Nuclear Engineering, ICONE14-89380, (2006).
- 3) Simpson M., Abrasive Particle Study in High Pressure Water Jet Cutting, Int. J. Water Jet Technol., (1990).

# **RANDEC's Capability**

**Radioactive Waste Management and Nuclear Facility Decommissioning Technology Center (RANDEC) has contributed to the establishment of decommissioning technology, and promoted the investigation on radwaste treatment and disposal business including selection of disposal places for radwaste from RI facilities, institutes etc.**

**The capability and service of RANDEC are ;**

**to implement decommissioning research, development and investigation.**



**to provide technical information on decommissioning.**



**to train for decommissioning.**



**to investigate radwaste treatment and disposal business including site selection of disposal place for radwaste from RI facilities, institutes etc.**



**to inform and enlighten the public about decommissioning and radwaste treatment and disposal business.**

© デコミッションング技報 第38号

発行日 : 平成20年11月14日

編集・発行者：財団法人 原子力研究バックエンド  
推進センター

〒319-1107 茨城県那珂郡東海村豊白一丁目3-37  
Tel. 029-283-3010  
Fax. 029-287-0022

ホームページ： <http://www.randec.or.jp>  
E-mail : [decomi@randec.or.jp](mailto:decomi@randec.or.jp)