171. JPDR 解体計画における炉内構造物切断のためのプラズマアーク切断技術の開発

柳原 敏*, 氏原紀雄**, 田中 貢*

(1987年 4月16日 受理)

Development of Plasma Arc Cutting Technique for Dismantlement of Reactor Internals in JPDR Decommissioning Program

By Satoshi YANAGIHARA,
Norio UJIHARA and Mitsugu TANAKA

The decommissioning program for JPDR has been conducted by JAERI since 1981 under contact with the Science and Technology Agency of Japan. The development of cutting tools for dismantling the JPDR is one of the important items in the program. An underwater plasma arc cutting technique was selected for dismantling the JPDR core internals. The study was concentrated on improving the cutting ability in water. Various cutting tests were conducted changing the parameters such as arc current, supply gas and cutting speed to evaluate the most effective cutting condition. Through the study, it has been achieved to be able to cut a 130 mm thick stainless steel plate in water. In addition, the amount and the characteristics of by-products were measured during the cutting tests for the safety evaluation of the dismantling activities. Final cutting tests and checkout of whole plasma arc cutting system were conducted using a mockup water pool and test pieces simulating the JPDR core internals. It was proved from the tests that the cutting system developed in the program will be applicable for the JPDR core internals dismantlement.

KEYWORDS: JPDR reactor, core internals, reactor decommissioning, underwater plasma arc cutting, by-products, dross, kerf width, torch speed, supply gas, arc current, cutting tools, cutting, reactor dismantling, safety, working conditions

1. はじめに

我が国では、早ければ昭和70年代には運転を終了する商業用発電炉が出現するものと考えられており、これらの原子炉は何らかの形で廃止措置を受ける必要がある。通産省の総合エネルギー調査会原子力部会の報告書**によれば、我が国においては、運転を終了した商業用発電炉は、使用済燃料を取り出し、配管系を除染した後、5～10年間の密閉管理を経て解体撤去するのが、作業員の被曝低減、解体費用の低減、敷地の有効利用等の観点から最も合理的であるとされている。

ところで、日本原子力研究所(原研)の動力試験炉 JPDR[†] (Japan Power Demonstration Reactor) は、1963年10月の運転開始以来約13年を経て1976年3月に運転を終了した。原研では、原子力委員会の「原子力

開発長期利用計画」の方針に沿って、JPDR を用いて我が国初の動力炉の解体撤去を実施することとし、将来の商業用発電炉の廃止措置にも適用できる解体技術の開発を1981年より進めてきた^①。これらの技術開発は1986年3月までにほぼ終了し、同年12月から実施された JPDR の解体(以下、解体実地試験)に適用され、その有用性が評価されることになっている。

上述した原研における原子炉解体技術の開発の1つに、原子炉施設を解体する工法の開発がある。原子炉施設は一般の建築物とは異なり、場所によっては高度に放射化したり、あるいは放射性物質によって汚染して

* 日本原子力研究所 (Japan At. Energy Res. Inst.)

** 東京電力㈱ (The Tokyo Electric Power Co., Inc.)

** 「商業用原子力発電施設の廃止措置のあり方」, (1985年7月).

いる。このため、作業員が近づいて在来工法によって解体することができない部分もあり、その最も代表的なものが原子炉压力容器である。中でも炉内構造物は著しく放射化しており、炉内構造物の解体撤去に当っては作業員の放射線被曝の低減に十分配慮しなければならない。

また、炉内構造物の解体においては狭隘な原子炉压力容器内で厚さ100mm以上のステンレス鋼製の炉内構造物を切断しなければならず、切断装置には通常必要とされる以上の切断能力と操作性が要求されることになる。すなわち、炉内構造物を解体するための切断装置には、作業員の被曝低減のため、遠隔操作による水中切断が可能なこと、また小型で操作性に優れていることが必要である。

そこで、原研ではJPDRの炉内構造物を解体するための切断装置として、遠隔操作型的水中プラズマアーク切断装置を選択し、開発を進めてきた。

本報は、このプラズマアーク切断装置の切断性能などに関するデータおよびJPDRの原子炉压力容器を原寸大で模擬した水槽中で実施した総合機能試験(モックアップ試験)のデータ等をまとめたものである。

なお、本研究は科学技術庁からの電源開発特別会計による委託研究として原研が実施した。

I. JPDR 解体計画の概要

1. JPDR の概要

JPDRは熱出力45 MWtで設計、建設され、1963年10月26日、日本で最初の“原子力の灯”をともしたBWR型動力試験炉である。その後、本試験炉を用いて種々の試験が行われるとともに原子力発電所の運転員の養成が行われ、1972年には熱出力を2倍の90 MWtに増大する改良が行われた。1976年に運転を終了し、1982年には解体届を科学技術庁に提出した。JPDRの総運転時間は約17,000 h、総熱出力量は約21,500 MWd、総発電量は7,170 MWdである。Table 1に、JPDRの概要を示す。

2. JPDR 解体計画

原研では1976年にJPDRが運転を終了した後、その廃止措置を検討してきた。その結果、1981年から原子炉の解体に必要な技術開発を開始し、1986年からは開発した技術を適用してJPDRの解体実地試験を実施することとした。さらに、本解体実地試験では、将来行われる我が国の商用炉の廃止措置方式と同じく機器および建屋をすべて解体撤去すること、また高放射化または高度に放射能汚染した機器の解体は遠隔操作で行

Table 1 Brief description of JPDR

Location	Tokai Research Establishment of JAERI, Tokai-mura, Ibaraki-ken
Reactor Type	Direct-cycle, forced circulation BWR
Power Output	90 MWt
Reactor Pressure Vessel Material	Carbon steel with stainless steel cladding
Dimensions	
Inside height	8 m
Inside diameter	3 m
Biological Shield	
Material	Reinforced concrete
Thickness	1.5~3 m
Reactor Containment	
Material	Steel
Dimensions	
Height	38.1 m
Diameter	15.2 m
Operating History	
Initial criticality	August 1962
Initial power generation	October 1962
Final reactor shutdown	March 1976
Total reactor thermal output	Approx. 21,500 MWd

い作業員の被曝低減に努めることとした²⁾。

解体実地試験の工程をFig. 1に示す。図に示されるように、JPDRの解体実地試験は、放射能レベルの高い炉内構造物、原子炉压力容器、生体遮蔽体等を含む原子炉格納容器建屋の解体がクリティカルパスとなっている。1986年3月におけるJPDRの内蔵放射能量は約4,600 Ciと算定されており、その大部分が原子炉格納容器内に存在している。なお、施設はすべて地下1 mまで解体撤去した後埋め戻し、整地して解体を終了する予定である。

III. プラズマアーク切断装置 および試験方法

1. プラズマアーク切断装置

プラズマアーク切断はアークの熱的ピンチ効果(アーク柱を周囲から拘束・冷却するとアーク柱が緊縮すると同時にプラズマ温度が上昇する現象)を利用し、10,000~20,000℃以上の集中高温プラズマ流を形成させて金属を溶断する方法である。本技術は、鋼板はもちろんガス切断が不可能なステンレス鋼、Al合金に対しても高速で変形の少ない切断が可能な工法として広く用いられているが、一般に切断は気中で行われ、現

Fig. 1 JPDR dismantlement schedule

在のところその切断厚さは最大 100mm 程度である。原子炉の解体に対しては、エルクリバー炉において、水中切断用に改良したプラズマアーク切断装置が原子炉圧力容器の熱遮蔽体の切断に適用するため開発されたが、その切断厚さは 30mm 以下であった⁽³⁾。

原研において開発したプラズマアーク切断装置の概略とトーチの詳細を Fig. 2 に、その性能を Table 2 に示す。本装置は、電源部、トーチ、ガスおよび冷却水供給部より構成されている。電源部は 250 V 電源を並列に 4 台接続しており、150~1,000 A の電流を任意に発生することが可能である。またトーチは、電流に応じて最大切断能力が出るよう、200 A トーチ(使用電流範囲 150~250 A)、500 A トーチ(使用電流範囲 150~750 A)、1,000 A トーチ(使用電流範囲 150~1,000 A) の 3 種類を製作した。

2. 試験方法

JPDR の炉内構造物のうち最大の板厚(110mm)を持つステンレス鋼製の炉心スプレイブロックを水中切断することができることを目的に装置の開発を行なった。また、装置は運転条件により性能が異なるため、種々のパラメータを変えて最適切断条件を評価するとともに、炉内での使用を考慮して、作業の安全性を評価する上で必要な基礎データを取得した。切断性能の評価上、主に考慮したパラメータは、切断電流、動作

Table 2 Characteristics of underwater plasma arc cutting device

Cutting current	150~1,000 A
Cutting voltage	280 V
Supply gases	Ar, H ₂ , N ₂
Maximum water depth for use	11 m
Moving capability	
Horizontal	2 m
Vertical	11 m
Rotation	360° (horizontal) 105° (vertical)

ガスの種類と流量、トーチ移動速度と移動方向である。また、作業の安全性を評価することを目的に取得したデータは、ドロスの発生量、気中・水中浮遊物の発生量、発生ガス量、これら副次生成物の特性である。これらの評価試験は水槽中で行い、水深 2~3 m の切断を通常の条件とした。

上記試験に続いて、JPDR の原子炉圧力容器を実寸大で模擬した水槽を用いて模擬炉内構造物の遠隔切断試験を行い、装置の遠隔操作性、切断性能、作業性を総合的に確認した。本モックアップ試験では、次表に示す炉内構造物の模擬試験体を製作し、これらを JPDR の模擬原子炉圧力容器内に実際と同じ状態で設置して、プラズマアーク切断装置とトーチ駆動装置から構

(a) Plasma arc cutting system

(b) 500 A torch

Fig. 2 Plasma arc cutting system and 500 A torch

← Fig. 3 Schematic of mock-up test devices for underwater plasma arc cutting

成される切断システムで水中遠隔切断した。

模擬試験体	選定理由
(1) 炉心サポート	円筒形状の部分切断
(2) 炉心サポートラグ	狭隙部の切断
(3) 炉心スプレイブロック	最大切断板厚
(4) 炉内計装管	パイプの切断
(5) 上部グリッド	丸棒の切断
(6) バッファプレート	平板を通してボルト、丸棒の切断

本試験の概要をFig. 3に示す。なお、上記試験体の切断はパラメータ試験により評価した最適切断条件で実施した。

IV. 試験結果および考察

1. 切断性能試験

前述したように、JPDRの炉内構造物の撤去に当っては最大110mmまでの種々の板厚のステンレス鋼を水中切断しなければならない。プラズマアークによる切断可能板厚を増すためには、基本的にはプラズマアーク切断トーチに供給する切断電流を増加させる必要がある。しかし、板厚に対して切断電流が大きすぎると切断部が完全に熔融飛散し、アークが消滅して連続切断が不可能になるので、各板厚に対して最適な切断電流条件が存在する。そこで、製作した3種類のトーチについて、最適切断条件(トーチの移動速度、動作ガスの種類等)を評価した。

(1) 切断電流の影響

上述の3種類のトーチを用いて切断電流を変え、水中におけるステンレス鋼の切断可能な板厚を求めた。また切断能力は、切断対象物の設置姿勢(水平あるいは垂直など)やトーチの移動方向(切断方向)によって影響を受けるため、これらの影響についても調べた。

Fig. 4に、ステンレス鋼をトーチ移動速度50 mm/min で水中切断した場合の試験結果を示す。切断対象物の姿勢および切断方向によって切断能力は変化し、切断電流が増大するほど切断可能な板厚も増加している。切断対象物の姿勢および切断方向の影響についてみると、板厚が厚くなるほど切断能力の差が顕著になっている。また、トーチを水平に移動して水平板を切断した場合が最も切断能力が優れ、トーチを上方より下方へ移動して垂直板を切断する場合が切断能力が最も劣っている。これは、前者の場合がアークが発生する切断部から溶融した金属(ドロス)を最も除去し易い条件であること、後者の場合がドロスを最も除去し難い条件であることによるものと考えられる。

Fig. 4 Relation between plate thickness to be cut and arc current in underwater cutting tests

さらに、1,000 A トーチを用いれば最大130mm 板厚のステンレス鋼を水中切断することが可能であるが、1,000 A トーチを500 A 以下の切断電流で用いた場合

には、その能力は切断電流に対応した他のトーチを用いた場合よりも劣っている。これは各トーチの寸法が異なり、大電流用のトーチほど大きな電極を使用しているため、発生するアークの電流密度(A/cm²)が小さくなるためと考えられる。

(2) 動作ガスの影響

プラズマアーク切断の能力を増加させる条件としては、上述した切断電流のほかに、プラズマアークのエネルギー密度を増加させるために働く動作ガスの組成と流量が挙げられる。動作ガスとしては、一般に冷却能力の優れた水素(H₂)および不活性ガスであるアルゴン(Ar)、窒素(N₂)等の混合ガスが用いられており、その混合比によって切断性能が異なることが知られている⁽⁴⁾。

そこで、まず Ar+H₂ と Ar+N₂ の混合ガスを用いた場合の切断性能を、150~750 A の切断電流により評価した。この結果、Ar+H₂ 混合ガスを用いる方が Ar+N₂ 混合ガスを用いる場合よりも切断能力が優れており、750 A の切断電流においては、Ar+H₂ 混合ガスの場合、ステンレス鋼の切断板厚は110mmで

Fig. 5 Relation between hydrogen content in supply gas and plate thickness to be cut, changing gas flow rate and arc current in underwater cutting tests

あるのに対し, Ar+ N_2 混合ガスの場合は90mmであった。そこで, 本技術開発においては Ar+ H_2 混合ガスを主に用いることとし, Ar と H_2 の混合比, ガス流量, 切断電流を変化させて切断可能板厚を求め, 各切断電流値に対する最適切断条件を評価した。

Fig. 5 に, ステンレス鋼を水中で切断した場合の試験結果を示す。切断電流が750 A の場合には, 最も流量の少ない30 l/min の場合が切断能力が最も小さく, 500 A の場合には, 80 l/min の方が30 l/min の場合よりも切断能力が小さい。すなわち, 切断電流に応じて動作ガスの最適流量が存在することを示している。また, 一般に H_2 の混合割合が大きくなるほど切断能力は向上する傾向があるが, 動作ガスの流量が少ない場合には, 60%まで H_2 の混合割合を増加させると切断能力が低下する場合もあることを示している。さらに本試験より, 切断電流が100 A 増すごとに, ステンレス鋼の場合, 10~20mm 切断板厚が増加することもわかった。

(3) トーチ移動速度の影響

切断対象物を溶断するための入熱量はトーチの移動速度に影響される。すなわち, トーチの移動速度を遅くすれば, 切断対象物に多くの熱が与えられ, 切断可能な板厚は厚くなる。しかし, 切断電流に対してトーチの移動速度が遅く, 切断部の金属が溶融してなくなるような場合にはアークが不安定になり, アークの消滅が起こり易く, 切断が効率よく行えないことがある。また, 後述するように, 切断対象物の溶融量が増えると副次生成物の発生量が増加し, 作業環境も悪くなる。したがって, トーチ移動速度にも最適条件が存在することになるが, ここではまず, 各切断電流におけるトーチ移動速度と切断可能板厚との関係を求めた。

Fig. 6 に, ステンレス鋼を種々のトーチ移動速度で水中切断した場合の試験結果を示す。切断トーチの種類によらず, トーチ移動速度を遅くすることによって切断可能な板厚を厚くすることができ, 1,000 A の場合最大130mmのステンレス鋼の切断が可能である。なお, 炉内構造物は種々の厚さを持った部品で構成されているため, それらの厚さに応じた速度で切断する必要がある。

(4) カーフ幅の測定

切断時の副次生成物の発生量は, 切断対象物の溶断溝幅(カーフ幅)によって決まる。そこで, 切断電流と動作ガスの種類を変えて切断試験を行い, 切断片の上面および下面の双方のカーフ幅を測定した。

Fig. 6 Plate thickness as a function of torch speed in underwater cutting tests

ステンレス鋼の水中切断における切断電流によるカーフ幅の変化をFig. 7 に示す。切断電流が増加するほどカーフ幅は増加しており, カーフ幅の大きさは切断電流, すなわち入熱量に支配されている。また, 切断片の下面のカーフ幅は上面よりも小さい。さらに, Ar+ N_2 混合ガスを用いた場合は, Ar+ H_2 混合ガスを用いた場合より上面と下面のカーフ幅の差が大きい。

Fig. 7 Relation between kerf width and arc current changing gas composition in underwater cutting tests

い。これは、 N_2 に比して H_2 の冷却能力が優れているため、 $Ar+H_2$ 混合ガスによるプラズマアーク柱が $Ar+N_2$ 混合ガスによるプラズマアーク柱より細くなり(サーマルピンチ効果)、エネルギー密度が高くなって、切断能力が優れていることを示している。

2. 副次生成物の発生量評価試験

プラズマアーク切断は切断対象物を溶断するため、放射化した炉内構造物を対象にする場合には、放射性の微粒子が気中や水中に浮遊するとともに、大きな固化体(ドロス)は原子炉圧力容器の底部に堆積する。これらの副次生成物は作業環境を悪化させるため、放射性廃棄物として速やかに処理されなければならない。そこで、プラズマアーク切断時の副次生成物の発生量と性状を測定し、得られたデータを水、空気の浄化装置およびドロス回収装置の設計ならびに作業者の被曝量、廃棄物の発生量の評価に用いた。

以下に、試験から得られた副次生成物の発生量等を述べる。

(1) ドロス

ドロスは一たん熔融して除去された切断対象物の一部が水中で固化したものである。このため、ドロスは切断対象物への入熱量、すなわち切断電流が大きいほど発生量が多くなるものと考えられる。

Fig. 8(a)に、ステンレス鋼を水中切断した場合のドロスの発生量を示す。図中のドロスの発生量は、単位切断面積(切断長さ×切断厚さ)当りのドロス重量であ

Fig. 8 Weight of dross as a function of arc current (a) and cut plate thickness (b) in underwater cutting tests

る。ドロスの発生量は動作ガスの種類によって大きな差異はなく、切断電流によって大きく変化する。

Fig. 8(b)に、切断板厚に対するドロスの発生量を示す。試験では切断電流を750 A と一定にして、切断速度を変えることにより切断可能板厚を増加させた。切断速度が遅くなるほど、すなわち切断板厚が増加するほどドロスの発生量は増大する。

切断する板厚を厚くするためには切断電流を増すか、トーチ移動速度を遅くする必要があるが、以上のことより、そのような場合にはドロス発生量が増すためドロスの回収に留意する必要がある。

ドロスの性状について以下に述べる。Photo. 1は、ステンレス鋼の切断時に得られたドロスの写真である。ステンレス鋼を水中切断した場合のドロスは表面に凹凸があり、形状は多種多様である。また、内部に中空を有する粒子が多く見かけ比重は2~3である。

Photo. 1 Appearance of collected dross in stainless steel cutting test

Fig. 9に、50, 80, 100 mm 板厚のステンレス鋼(SUS 304)を1,000 A トーチで水中切断した場合のドロスの粒径分布を示す。ドロスの粒径分布は切断板厚によらずほぼ一定であり、1,000~4,000 μm の粒子が最も多く生成されている。これらのドロスおよび気中・水中浮遊物の組成分析の結果をTable 3に示す。ドロスの組成は切断されたステンレス鋼の組成とほぼ同じである。

(2) 気中・水中浮遊物

気中・水中浮遊物の発生量を、切断電流および切断板厚を変数として測定した。ステンレス鋼を水中切断した場合の測定結果をFig.10に示す。本図にはドロス発生量も参考のために示してあり、縦軸の気中・水中浮遊物およびドロスの発生量はFig. 8と同じく単位切断面積当りの発生量である。水中浮遊物の発生量はド

Fig. 9 Measured particle size distribution of dross produced in underwater cutting tests

Table 3 Nuclide compositions of by-products in underwater cutting tests(%) (Test plate: SUS 304)

	Fe	C	Ni	Cr	Mn	Si	P	S	O
Dross	71.4~72.1	0.04~0.05	8.26~8.90	17.92~18.07	0.78~1.16	0.43~0.50	0.030~0.031	0.04~0.06	—
By-products in water	53.6~57.2	<0.1	1.7~2.2	4.0~5.8	2.9~3.7	0.2~0.4	<0.01	<0.01	~30
By-products in air	44.1~55.0	<0.1	1.4~2.1	7.77~8.8	6.6~7.6	2.0~3.2	<0.01	<0.01	~30
Test plate (SUS 304)	~70	0.07	8.48	18.61	1.75	0.84	0.04	0.02	—

Fig. 10 Weight of by-products and dross as a function of current and cut plate thickness in underwater cutting tests

ロス発生量の約1/100, また気中浮遊物の発生量は水中浮遊物の発生量の約1/100である。また, 気中・水中浮遊物の発生量はドロスの場合(Fig. 8 (b))と同様に切断電流, 切断板厚, トーチ移動速度によって異なっている。

ステンレス鋼を水中切断した場合の気中・水中浮遊物の粒径分布を Fig. 11 に示す。水中浮遊物は2~10 μm の粒径を持つ粒子が大部分を占め, 切断板厚, すなわちトーチ移動速度によらず, ほぼ一定の粒径分布である。これに対して, 気中浮遊物は水中浮遊物よりも約1桁小さい粒径分布を持ち, 切断板厚によりその分布が異なっている。気中・水中浮遊物の組成は(Table 3), 切断されたステンレス鋼の元素組成と比較して Mn が比較的大きな割合を示し, Fe, Ni, Cr の割合は小さい。これは, Mn の蒸気圧が他の元素に比べて高いことによるものと考えられる。また, 気中・水中浮遊物は約30%の酸素を含んでおり, これはプラズマアーク溶断時の高温によって試験片(ステンレス鋼)が酸化したためである。

Fig. 11 Measured particle size distribution of by-products in water and air in underwater cutting tests

(3) 発生ガス

プラズマアーク切断では動作ガスの一部として H_2 ガスを用いている。また、溶断時には切断部とその周辺が非常に高温になるため、高温の切断対象物が酸化したり、水の熱分解により H_2 ガスが発生する。これらの H_2 ガスが圧力容器上部などに局部的に滞留して濃度の高い部分が生じた場合には、水素燃焼の可能性もあり危険である。したがって、切断時の H_2 ガス発生量をあらかじめ評価し、その対策を講じておく必要がある。

Fig. 12に、切断電流1,000 A の条件においてステンレス鋼を水中切断した場合の単位切断面積当りの発生ガス量(動作ガスを含む)と組成を示す。切断板厚が増すとガスの発生量は増加し、また発生ガス中に占める H_2 ガスの割合も増加している。これは、切断板厚を増すためには Torch 速度を遅くする必要があり、このため、切断に要する時間が長くなって動作ガスの使用量が増加すること、また入熱量も増えて切断対象物の酸化量や水の熱分解量が増加したことによるものである。

3. モックアップ試験

炉内構造物は高度に放射化しており、また原子炉格納容器のサービスフロアから約10 m 離れた原子炉圧力容器底部に設置されているものもある。このため、作業員が接近して直接撤去することは不可能であ

Fig. 12 Released gas volume and composition

り、遠隔操作による作業が必要である。そこで、遠隔操作が可能な Torch 駆動装置を製作し、これまで述べたプラズマアーク切断装置を遠隔操作化して、これらの装置の総合機能試験(モックアップ試験)を実施した。

試験により、前述した炉内構造物の切断撤去に問題がないこと、また切断を効率よく実施するためには、プラズマアークを発生する Torch 先端を切断対象物の

Photo. 2 Post-test appearance and location of test components in JPDR

切断位置に精度よく設置することが最も重要であることが判明した。Photo. 2に模擬試験体の切断後の外観を示す。

本節では、モックアップ試験のうち、遠隔操作技術の中で特に問題となるトーチの位置決め精度の評価と各炉内構造物の切断に要した人工数の実測値について述べる。

(1) トーチの位置決め精度の評価

原子炉圧力容器内には多くの構造物が設置されている。これらの構造物をプラズマアークにより切断する場合、アークを発生させるためのトーチ先端と切断対象物との距離(スタンドオフ)を10~17mmに保つ必要があることが実験から得られている。また狭隙部の切断には、トーチを構造物に接触することなく精度よく動かす必要がある。そこで、モックアップ試験では気中でトーチを遠隔操作により動かして位置決めを行なった後、切断予定位置からのトーチ先端のズレを測定してトーチ設置精度の評価を行なった。測定結果をFig. 13に示す。

切断予定点へのトーチの移動は炉内計装管を除いて3 mm以内の精度で行われた。炉内計装管の場合は、切断予定位置が基準点から上方に約1 m離れているた

Fig. 13 Evaluation of torch positioning accuracy

め、軸方向のトーチの移動誤差が大きくなったためと考えられ、その位置決め誤差は約15 mmであった。なお試験により、プラズマアーク切断装置の遠隔操作により、炉内構造物をすべて切断撤去できることが確認

Fig. 14 Manpower and cutting time during dismantlement of core internals in mock-up tests

された。

(2) 人工数の評価

各炉内構造物の切断撤去に要する人工数(作業員数×作業時間)を評価した。前節に述べた6種類の炉内構造物の切断撤去に要する人工数と実切断時間をFig. 14に示す。実切断時間とは、実際に炉内構造物を切断するためにトーチに通電した時間である。

また人工数は、切断操作前に行う無通電のトーチによるトーチ動作の確認作業と実際の切断操作に分けて評価した。最初に行なった上部グリッドの切断には10人の作業員を要したが、その他の炉内構造物については6名の作業員で切断を行なった。なお、1回の切断時間は長くて5 min以内と極めて短いため、人工数は切断時間よりもむしろ切断回数に比例して増加する傾向にある(最も切断回数の多い炉心サポートで約80人・時間である)。したがって、本プラズマアーク切断装置による切断撤去作業においては、できるだけ切断回数を減らすこと、すなわち、1回の切断でできるだけ長く連続的に切断することが人工数の節減の面から重要である。

これらのデータは、JPDR 解体実地試験計画の策定に反映された。

V. まとめ

原研では、原子力委員会の「原子力開発長期利用計画」の方針に沿って、JPDR を用いて我が国初の発電炉の解体撤去を実施することとし、将来の商業用発電炉の廃止措置にも適用できる解体技術の開発を進めてきた。プラズマアーク切断技術は、原子炉の最も高放

射化した部分である炉内構造物の切断撤去に適用する工法として原研が開発を進めてきた解体技術であり、JPDR の解体実地試験に用いられることになっている。

本プラズマアーク切断技術の開発の成果は、以下の通りである。

- (1) 原研では、従来厚さ100mm程度のステンレス鋼の気中切断に用いられたプラズマアーク切断装置を改良し、最大1,000 Aの切断電流を用いて厚さ130mmまでのステンレス鋼を水中で切断することのできる切断装置を開発した。
- (2) プラズマアーク切断装置で、種々の板厚の炉内構造物を効率よく切断撤去するためには、板厚に応じて切断電流を変える必要がある。そこで、各切断電流に対して、動作ガスの種類、流量、トーチ移動速度を変えて切断試験を行い、最適切断条件を求めた(Figs. 4～7)。
- (3) 炉内構造物は高度に放射化しているため、プラズマアーク切断時に発生する副次生成物は、作業環境の雰囲気線量率および放射性廃棄物量を増加させるとともに、水素燃焼の危険性を増すことになる。そこで、プラズマアークによる切断時の副次生成物の発生量および性状を測定し、それらの回収、処理システムの設計に反映した。測定により、ステンレス鋼を水中切断した場合、ドロスの発生量は切断電流によって大きく変わることを(Fig. 8)、水中浮遊物の発生量はドロスの約1/100、気中浮遊物の発生量は水中浮遊物の約1/100であること(Fig. 10)が明らかになった。また、おの

おのの副次生成物の粒径は、ほとんどの粒子がドロースでは1,000~4,000 μm , 気中浮遊物では0.1~4 μm , 水中浮遊物では2~10 μm であることが明らかになった(Fig. 9)。

- (4) 炉内構造物は高度に放射化しており、また原子炉格納容器のサービフロアから約10 m離れた圧力容器底部に設置されているものもあるもので、その切断撤去は遠隔操作で行われる必要がある。そこで、プラズマアーク切断装置を遠隔操作化し、JPDRの原子炉圧力容器を原寸で模擬した水槽中に設置した6個の模擬炉内構造物を遠隔切断する総合機能試験(モックアップ試験)を行なった。この結果、炉内構造物の切断撤去は特に問題なく遠隔操作で行えることが明らかになった。
- (5) 炉内構造物切断撤去作業に要する人工数を測定した。人工数は必要な切断回数に大きく依存し、最も切断回数の多い炉心サポートで約80人・時間であった(Fig. 14)。これらのデータは、JPDR解体実地試験計画の策定に反映された。

本プラズマアーク切断技術の開発においては、日本原子力研究所動力試験炉部の横田光雄原子炉解体第1課長を初め、多くの方々のご協力ならびにご助言を賜りました。特に、第2係の上田明則係長、熊谷典夫氏および計画管理課清水義弘課長代理からは実験の実施に当り多大なご援助を頂きました。これらの各氏に心から謝意を表します。

—参考文献—

- (1) ISHIKAWA, M., KIKUYAMA, T.: Decommissioning plan and present status of technical development in JPDR, *Int. Nuclear Reactor Decommissioning Planning Conf.*, July 16~18, 1985, Bethesda, Maryland, USA.
- (2) ISHIKAWA, M., et al.: Decommissioning program of the Japan Power Demonstration Reactor by JAERI, *Int. Low-Intermediate and High Level Waste Management Decontamination and Decommissioning Mtg.*, Sep. 14~18, 1986, Niagara Falls, USA.
- (3) WODTKE, C.H., et al.: *Welding J.*, 20, 226 (1976).
- (4) 西口公之, 松山欽一: 溶接誌, 46[9], 617 (1977).

○原研RI・原子炉研修所○ 研修生募集

○第20回専門課程 保健物理(A)(B)コース

目的 原子力施設における放射線管理に必要な知識と技術を体系的に研修することにより、大規模放射線施設の放射線管理技術者を養成する。

期間 Aコース 5月10日(火)~7月8日(金)

Bコース 5月10日(火)~6月17日(金)

受講料 Aコース 300,000円, Bコース 200,000円

締切 4月8日(金), 定員 A, Bコース 各24名

○基礎課程

目的 RI・放射線の利用あるいは安全管理に従事しようとする研究者、技術者を主な対象とし、RI・放射線に関する一般知識と安全取扱い方法および利用のための基礎技術を講義・実習を通して習得させる。

期間 (215回) 5月9日(月)~6月1日(水)

(216回) 6月27日(月)~7月20日(水)

受講料 各83,000円(定員 各32名)

締切 (215回) 4月9日, (216回) 5月14日

○第174回専門課程 放射線管理コース

目的 RIの利用と管理などに関係する研究者・技術者を対象とし、放射線管理に必要な専門知識と技術を習得させる。とくに非密封RIの取扱いに特色があり、これらを含めたRI・放射線管理の実務に関する技術を、比較的短い期間で講義と実習から得られるようカリキュラムを編成している。

期間 9月26日(月)~10月7日(金)

受講料 61,000円(定員16名), 締切 8月27日(土)

申込先 (〒113) 東京都文京区本駒込2-28-49

原研 RI・原子炉研修所 (03-944-4311~3)

◇昭和63年度研修スケジュール(研修部門)◇

コース	日程(申込締切)
基礎課程(215~219回)	5月9日~, 6月27日~ 7月25日~, 10月17日~ 11月14日~(各18日間) (開催の1ヶ月前)
専門課程	
(171回)ラジオアイソトープ	6月6~23日(5月7日)
(172回)液体シンチレーション測定	8月18~26日(7月16日)
(173回)RIの生物科学への利用	8月29日~9月9日(7月23日)
(174回)放射線管理	9月26日~10月7日(8月27日)
(175回)放射線化学	10月25日~11月2日(9月24日)
(176回)オートラジオグラフィ	12月12~22日(11月12日)
(177回)原子力実験セミナー	64年3月27~31日(—)
指定講習	
(14回)第1種作業環境測定士	1月19~20日(先着順)
(35~39回)第1種放射線取扱主任者	63年4月18日~, 64年1月9日~(—) 2月13日~, 2月20日~ 3月13日~(各5日間)
国際コース	
(4回)原子力基礎実験	1月23日~3月15日(—)