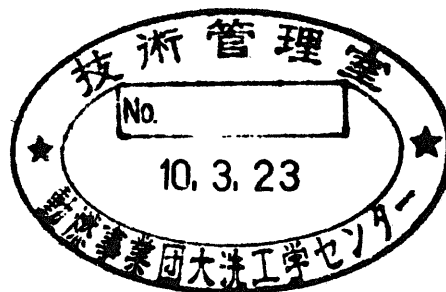


核燃料施設の デコミッショニング技術開発

1998年1月



動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター
システム開発推進部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-machi, O-arai-machi,
Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken 311-1393, Japan.

© 動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation)1998

目 次

1. はじめに	1
2. 放射線測定技術.....	2
3. 除染技術	3
4. 解体技術	5
5. 遠隔操作技術	6
6. あとがき	7
7. 参考文献	8
図 表	9
付 録	
核燃料施設のデコミッショニング技術開発 OHP集	19

核燃料施設のデコミッショニング技術開発

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

環境技術課 谷本健一

1. はじめに

核燃料施設のデコミッショニング技術は、測定・除染・解体・遠隔操作等の各要素技術とデータベースを組み合わせ、解体工法、費用、工期、作業者の放射線被ばく線量、廃棄物発生予測等を評価しシステム化を図る必要がある。この評価に際しては、解体・撤去対象物の汚染形態等が多種多様で有ることから、個々のケース毎に最適な手順、方法、作業管理を幅広く検討する必要がある。特に核燃料施設のデコミッショニングに際しての特徴は、施設が核燃料物質であるプルトニウム等の超ウラン核種、あるいは ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 等の核分裂生成物を取り扱っていることである。従って、①除染・解体作業時のより嚴重な内部被ばく対策、②放射能の包蔵性管理、③二次廃棄物の低減化対策を講ずる必要がある。デコミッショニング対象物の形態、材質、汚染履歴等も多種多様であるために、除染・解体手法は広い適用性が要求される。また汚染核種の多くは長半減期であることから、①減衰効果によるデコミッショニング作業時の被ばく低減が望めない、②核種の包蔵性維持のために、施設閉鎖後も運転時と同様な管理体制が要求される。③グローブボックス、塔槽類等の機器設備やオフガス設備等の耐用年数は、例えば100年以上は有していないこと等の理由から、基本的には施設・設備の閉鎖あるいは停止後速やかに廃止措置するのが望ましい。これらの核燃料施設の特徴を考慮して、効果的にデコミッショニングを行うために、放射線測定、除染、解体、遠隔操作に係わる要素技術の開発を進めている。^{1,2)}

核燃料施設のデコミッショニングに係わる技術開発体系を図-1に示す。各々の要素技術は、試験を通してその機能・性能を確認するとともに、重要な技術につい

てはシミュレーションを作成し、技術の汎用化、最適化を図っている。また、これらの要素技術を、今後実施される核燃料施設のデコミッショニングの計画策定に反映するために、既存技術も含めて、その機能・性能、費用、発生する二次廃棄物等の情報をデータベース化している。以下に、これらの要素技術の開発状況について述べる。

2. 放射線測定技術^{2,3)}

デコミッショニング作業時の放射線測定に係わる各所での要求、つまり①デコミッショニング計画策定時における、作業者の放射線防護の確保を図るための、放射能インベントリーや放射能分布を定量的に推定する技術、②対象物の解体作業時における、最も合理的な作業を実施するための、汚染又は内蔵する放射能を測定評価する技術、③廃棄物の処理・処分時における、必要な処理プロセスを含め、最終処分に至る主要なステップにおいて、測定技術を駆使して放射性核種の存在量を把握する技術を開発する必要がある。

測定技術の中で、デコミッショニング作業の事前調査や作業段階（除染等）を、合理的に進めていく上で必要な技術は、遠隔から迅速に線源位置を特定し、かつ定量化する測定技術が必要となる。そこで対象物の前に設置したシンチレーション検出器と、走査機構及びI T Vカメラから成る検出部をコンピュータで制御し、広範囲の中から迅速に線源部位を映像化して特定することが可能な「放射線映像化装置(R I D)」を開発した。R I Dの測定原理は、図-2に示すように指向性を持つγ線検出器及び距離計を測定対象物に対して走査し、得られた放射線計測情報及び距離情報を、コンピュータで10段階に色分割した1,500～9,000画素(プロット)で構成される放射性物質分布画像(評価画像)を作成し、それをT V画面上で合成して映像化するものである。

これまでに、Cs等の高エネルギー核種とAm等の低エネルギー核種の計測に、それぞれ対応できる2種類のR I Dを開発し、このR I Dを核燃料施設や原子炉施

設に適用して、その性能を確証した。一例として、 ^{137}Cs 等を主要核種とする核燃料施設や ^{60}Co 等を主要核種とする原子炉施設において、高線量下で線源位置を明確化する能力を有することが確認できた。図-3に核燃料施設を、図-4に原子炉施設の測定例を示す。この成果は、空間線量率を低減するための遮へい作業や、除染作業を効率よく行うための情報として提供することが出来た。

これらの知見に基づき、さらに、核燃料施設のホットセル内の汚染分布を、広く計測可能な「セルポート型R I D」を開発した(図-5)。この装置は、図-6に示すように、廃棄物搬出用ポートを汚染防止用P V Cを用いて養生し、この汚染防止用P V C内に検出部本体を挿入して、検出部がセル内のほぼ中心になるように取り付けて、セル内の汚染分布を測定するものである。データ処理部は、サービスエリアに設置した。測定の目的は、セル内の空間線量当量率を効率よく低減させる作業を行うために、セルポート型R I Dで汚染箇所を明確にすることである。測定では、図-7に示すように試験機器、試験で発生した廃棄物、計器、試験治具等にカウンターのピークが現れ汚染箇所が特定できた。測定結果は、セル内の空間線量当量率に寄与する汚染部を明確にすることができ、セル内空間線量当量率を低下させる作業に十分反映できるデータが得られた。

3. 除染技術^{4,5,6)}

除染技術は、汚染形態に応じて適切に適用することが効果的である。除染対象別適用性としては、①化学・電気化学除染は主に金属に対する除染技術であり、②物理除染は金属や非金属に広く適用できる技術である。また、除染技術は、対象となる汚染形態から、一次除染と徹底除染の二つのグループに分類される。①一次除染は、被ばく低減と汚染拡大の防止のために、ルーズな汚染を対象とするものであり、②徹底除染は、除染対象物の線量をバックグラウンドレベルまで下げることが目的とする。除染に際しては、汚染形態や対象物の性状に合わせた最適な除染技術要素を適用して、有効に適用させることにより、二次廃棄物を含む廃

棄物の発生量が最も少ないシステムを選定する必要がある。

これまでに、一次除染としての「高圧ドライアイスブラスト除染装置」や徹底除染としての「電解研磨除染装置」を開発し、セル内機器の解体作業時や核燃料施設から発生する放射性廃棄物の除染作業に使っている。一例として、高圧ドライアイスブラスト除染装置(図-8)では、噴射圧力約10kgf/cm²、フィードレート30%、ノズル間距離50~100mm、ノズル角30度の条件で、単純形状物に対して最大10²のDFを得た(図-9)。電解研磨除染装置(図-10)では、電解液5 vol%硫酸を用いて、電流密度10~40A/dm²、電解時間1分~30分の条件で、単純形状物に対して最大10³のDFを得た(表-1)。

これらの成果を踏まえて、レーザー光による除染技術の開発を実施している。レーザー光を除染に適用する利点は、①蒸散又は溶融作用を用いることにより除染が可能なこと、②乾式のプロセスのため二次廃棄物量が低減できること、③多間接ミラーやファイバー等を用いてレーザー光を伝送することにより、遠隔除染が可能なことにある。そこで、レーザー光を放射性廃棄物の除染に適用することを目的に、今までの成果から得られている徹底除染領域である10μm以上の除去深さを得るレーザーの選定と、再付着を減少させるシールドガスの選定のために、波長やパルス幅の異なるCO₂レーザー、YAGレーザー、KrFレーザーを用い、SUS板、SS板、アクリル板及び鉛ガラスを試験片とし、レーザーのエネルギー密度をパラメータに、試験片表面層の除去試験を実施した。

試験装置は、図-11に示すようにレーザー発信器、シリンドリカルレンズ、シールドガスの噴射及び吸引を行うノズル、試験片を取り付けて平行に移動する移動ステージで構成される。移動ステージ上に試験片を取り付け、シリンドリカルレンズでラインフォーカスさせたレーザー光を照射すると同時に、シールドガスをノズルより噴射及び吸引回収し、移動ステージ上の試験片を移動させながら表面層を除去した。レーザー照射後、試験片表面層の除去深さ及び再付着物の高さは、表面荒さ計で測定した。試験では、蒸散物又は溶融物の再付着防止を図るため、Heガ

ス、N₂ガス、Arガス及びエアの中から、最も再付着が減少するシールドガスを選定し、選定したシールドガスで試験片表面層の除去試験を実施した。各種レーザーの除染技術への適用性は、除去深さより適切なレーザーとレーザーのエネルギー密度から選定した。

試験の結果、デコミッショニング等で対象となる金属材料には、YAGレーザーが有効である。グローブボックスやセル窓等の非金属材料には、CO₂レーザーが有効であることが確認できた(図-12)。今後、除染効率の向上や複雑形状物への適用性についても試験を実施していく。

4. 解体技術^{7,8)}

デコミッショニングに適用する解体技術は、①剪断や切削等による機械式切断と、②ガスやアーク熱などによる熱的切断の2種類に大別される。熱的切断技術は、切断能力及び自在性に優れたものが多いが、材質により適用する機種が異なり、①ガス切断のようにSS材には適するがSUS材には適さないものや、②プラズマアーク法のように導電性のある材質のみに適用可能なものなどがある。これらは、主に金属を対象とした切断技術であるが、デコミッショニングを考えた場合、耐火レンガやコンクリートのような非金属の解体についても技術を確立する必要がある。

金属ばかりでなく非金属の解体も可能であり、材質に対する適用性が広いという特徴を有する熱的切断技術としては、プラズマジェット法やレーザー法を用いた切断及び破碎等があり、デコミッショニング技術として特に有望である(図-13)。このために、核燃料施設で使用されている様々な設備機器の解体作業に適用するため、金属、非金属の両部材に対して切断が行える「プラズマジェット切断技術」の開発を進めている(図-14)。

これまでに開発したプラズマジェットトーチは、ノズル先端でプラズマ流が拡散し、3,000~8,000Kの高温プラズマがノズル先端部に接触し、接触した部分が

短時間で溶融するなどの課題があった。課題解決に当たっては、プラズマ流の挙動を明確にする必要があるが、高温、高速のプラズマを実測定することは非常に困難である。そこでプラズマ流の挙動を解析するコードを作成し、シミュレーションによりノズル部の耐久性を向上させ、かつ緊縮したプラズマ流が得られる条件を抽出した。

プラズマ流のシミュレーションは、流体方程式で一般に取り扱われる運動量保存の法則、質量保存の法則、状態方程式とプラズマの運動により発生する電場及び磁場を考慮したマクスウェルの方程式を、陽解法流体粒子法を用いて差分化しコード化した。本プラズマ流解析コードは、計算結果として中性原子、イオン、電子の各速度分布及び密度分布からプラズマの温度分布を計算し出力することが出来る。本コードを用いた試算では、ノズル屈曲部での流動を精密にシミュレートできるようにメッシュ径をR、Z軸方向に0.1mmに設定し、プラズマ流の緊縮性に最も影響を与えるトーチのノズル部のノズル径と拘束部長さの比(ノズル拘束比)を1.0、2.0、3.0、4.0、5.0に変化させ、緊縮したプラズマ流が得られ、かつノズル先端部の熱負担が小さくなる条件を考察した。

計算結果を図-15に示す。この結果、プラズマ流が緊縮性を保ちつつ、ノズル先端部への熱負担を低減し、高温で出射できる条件はノズル拘束比が3程度であり、図-16に示すように実験結果とよく一致した。

今後は、本コードを用いてプラズマ流の挙動に影響する諸因子の効果を明らかにしていくとともに、冷却性等を考慮したプラズマトーチの寿命延長の検討、施設解体撤去作業への適用性評価等を行っていく。

5. 遠隔操作技術⁹⁾

高線量の汚染エリアにおいて、大型で複雑な機器や構造物の解体及び撤去作業を安全かつ効果的に行うためには、適切な遠隔操作技術が必要である。遠隔操作技術の開発に当たっては、①遠隔操作システムは、解体撤去すべき機器に自らが

把持して、切断等の作業を行う作業ツールと、これを目的地まで搬送するロボットで構成する。②作業ツールは、カッタ、ドリル等の治工具を装着し、自らが対象物に把持して、遠隔操作で切断解体等の作業を行う、③ロボットは、作業ツールを切断・解体対象物の目的地まで搬送する役目に限定する。このことによりロボットを小型化し、狭隘な環境においても作業が可能となる。

このような開発概念を基に、「メタルソー切断ツール」と「プラズマ切断ツール」の二つの作業ツールを試作開発した。メタルソー切断ツールは、図-17に示すように、電動モータで駆動する切断刃(メタルソー)と、電動シリンダーによる送り機構から成り、口径20A～50Aの配管に対して、回転するメタルソーを配管の径方向に送り、移動させることによって切断する。切断速度は0.3mm/secであり、乾式での切断が可能である。

プラズマ切断ツールは、図-18に示すように小型のエアープラズマと電動モータによる回転機構からなり、配管表面とプラズマトーチのスタンドオフを一定に保ちつつ、プラズマトーチを周方向に回転させながら切断する。本ツールは、口径40A～100Aの配管を、10～50mm/secの速度で切断可能である。作業ツールはオートツールチェンジャーによってロボットでの取り扱いを可能としている。

今後は、施設の解体等において、これらの作業ツールと搬送用ロボットを組み合わせた遠隔操作技術の実証を図っていく。

6. あとがき

核燃料施設のデコミッションングのための要素技術の開発状況を紹介した。今後は、これらの要素技術の更なる高度化と、エンジニアリング技術開発を進めるとともに、開発した技術を現有施設の設備更新や解体撤去に用いることにより、実作業への適用性を評価していく。

7. 参考文献

- (1)谷本健一、菅谷敏克、他3名：大洗工学センターにおける核燃料サイクル施設のデコミッショニング技術に関する研究開発、動燃技報 No. 84、1992.12.
- (2)谷本健一、照沼誠一：核燃料サイクル施設のデコミッショニング技術に関する研究開発、デコミッショニング技報第11号、1994.11.
- (3)塩月正雄、菅谷敏克、他3名：放射線映像化装置の実用化研究、日本原子力学会「1990年会」、K 24、1990.4.
- (4)福井康太、堂野前 寧、他3名：高圧ドライアイスプラストシステムによる廃棄物処理の効率化、日本原子力学会「1994春の年会」、A 4、1994.3.
- (5)堂野前 寧、原光 男、他1名：TRU廃棄物の希硫酸を用いた電解除染、日本原子力学会「1993春の年会」、J 38、1998.3.
- (6)福井康太、根本正信、他1名：レーザー光による放射性廃棄物の除染法の開発、日本原子力学会「1996春の年会」、N 27、1996.3.
- (7)福井康太、根本正信：解体用プラズマジエットトーチの開発、日本原子力学会「1995春の年会」、L 25、1995.3.
- (8)福井康太、根本正信、他1名：解析的手法によるプラズマジエットトーチ形状の最適化、日本原子力学会「1996秋の大会」、L 23、1996.9.
- (9)谷本健一：核燃料サイクル施設のデコミッショニング技術に関する研究開発、PNC TN9450 97-002、1996.12.

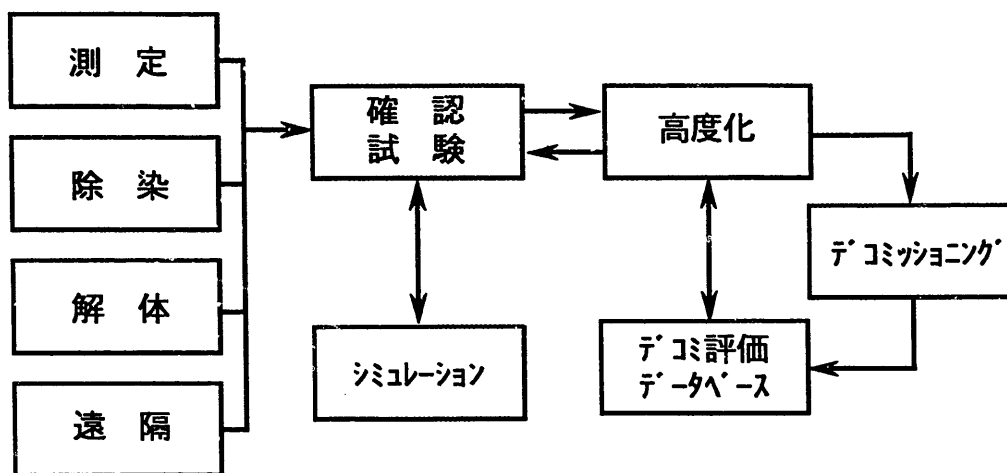


図-1 核燃料施設のデコミ技術開発体系

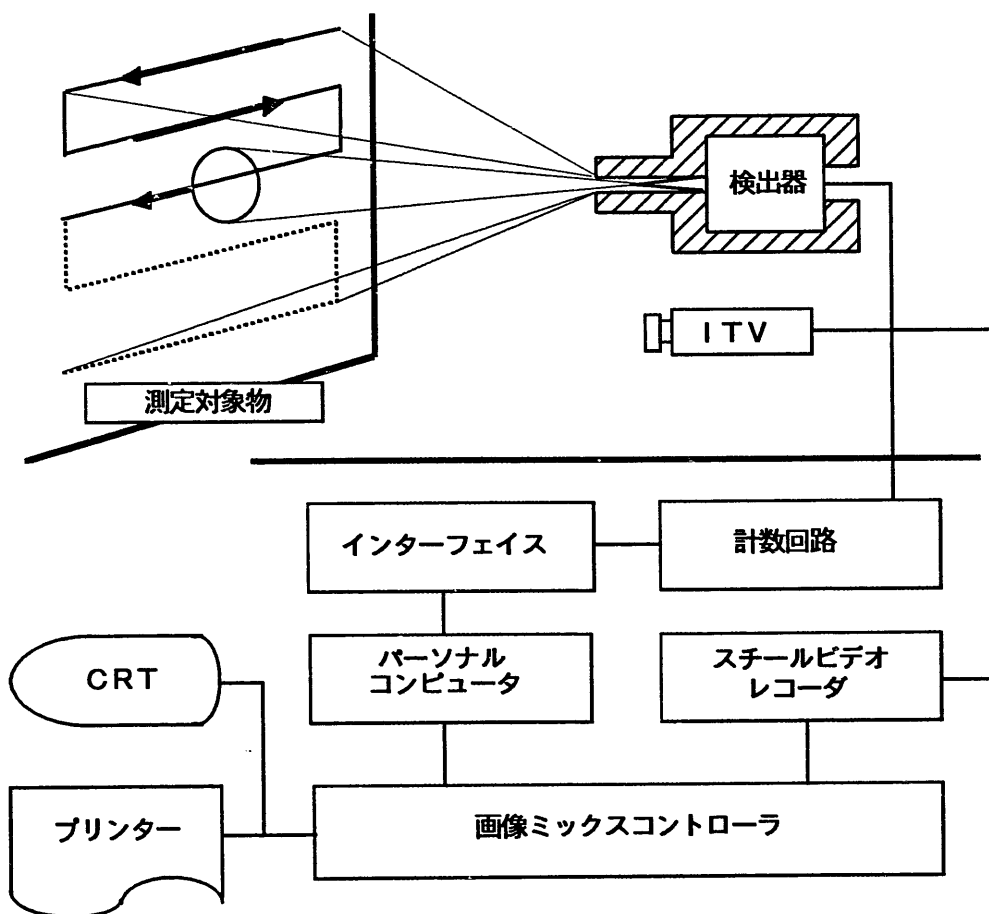


図-2 放射線映像化装置の構成



図-3 核燃料施設への適用例 (^{137}Cs)

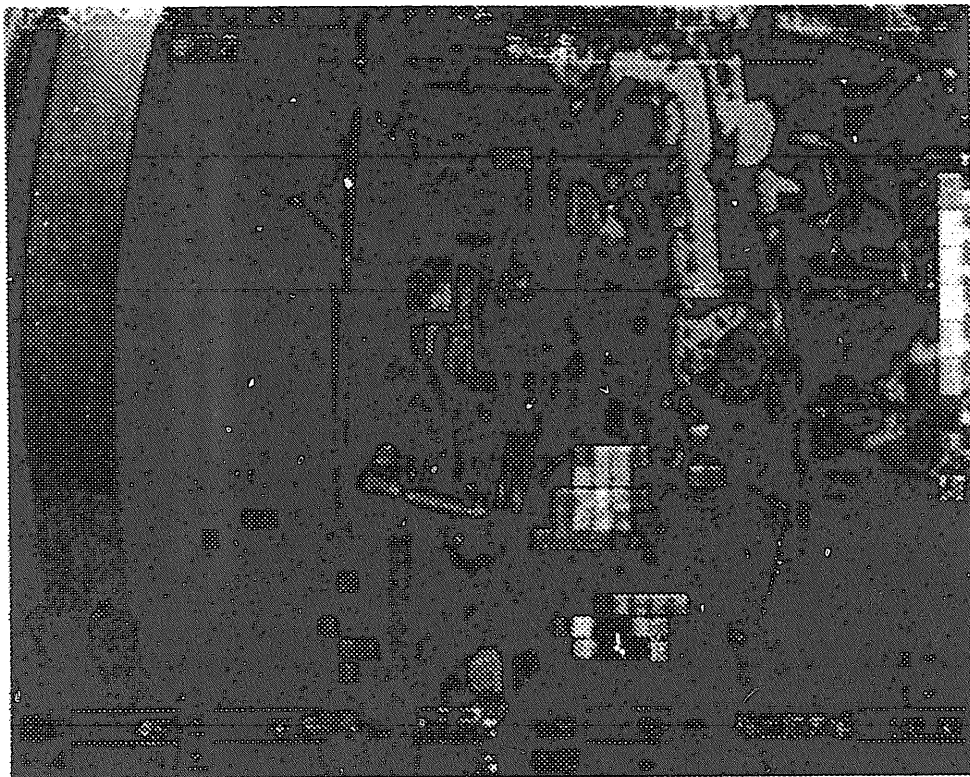


図-4 原子炉施設への適用例 (^{60}Co)

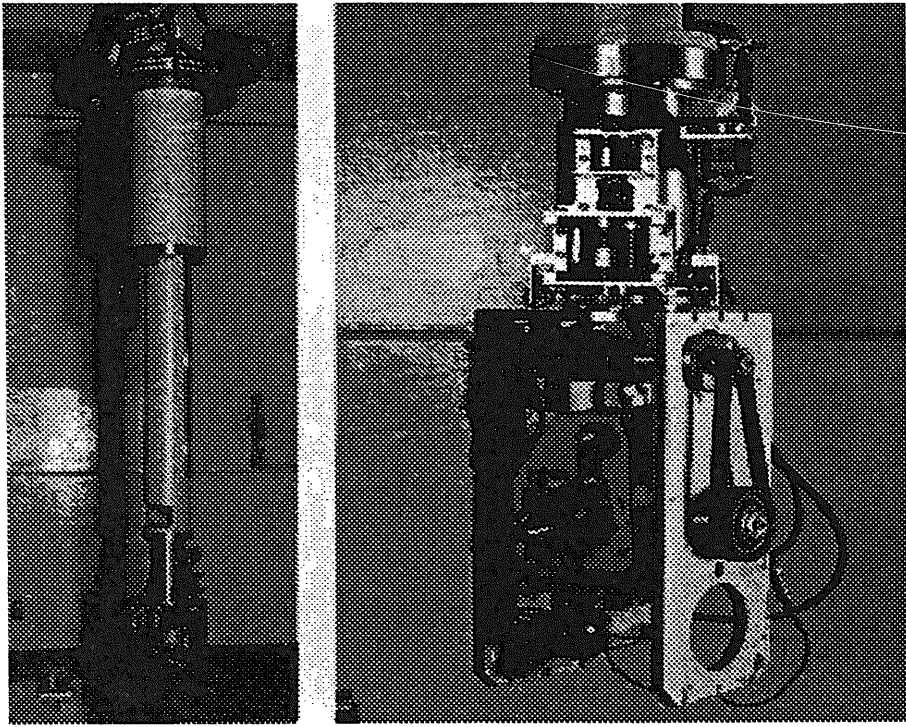


図-5 セルポート型RID

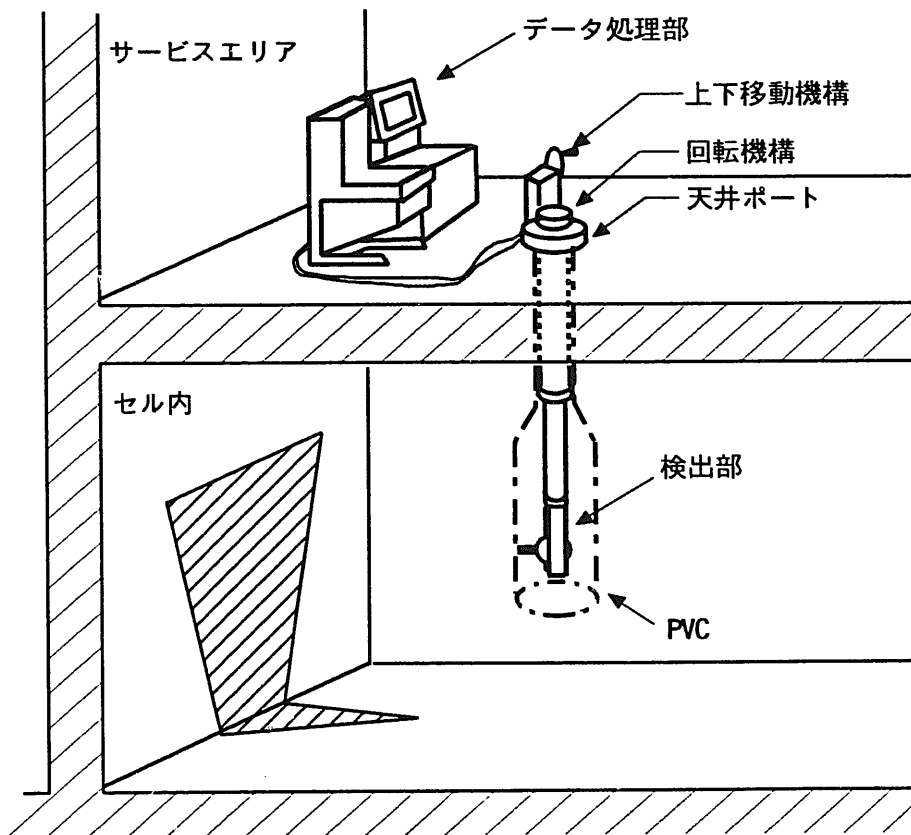


図-6 セルポート型RIDによる測定

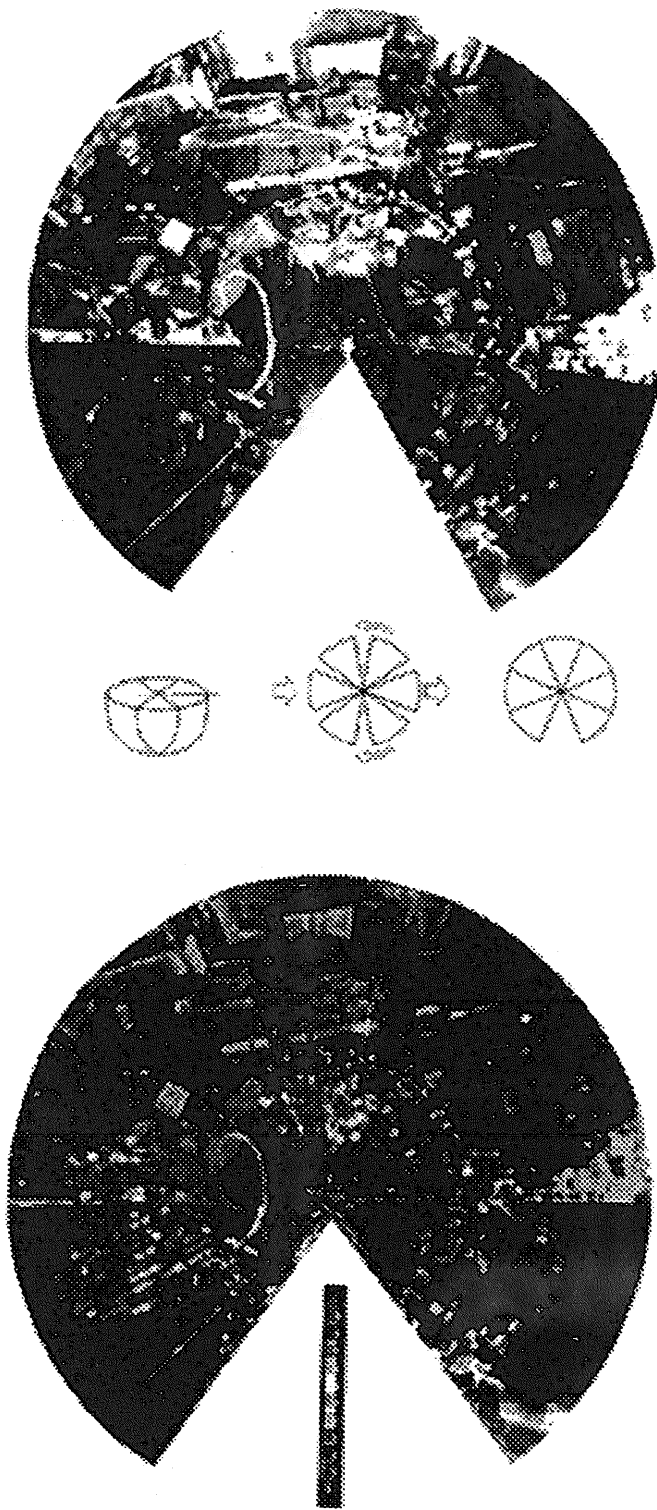


図-7 セル内汚染箇所 の測定例



図-8 高圧ドライアイス[®]ラスタ除染装置

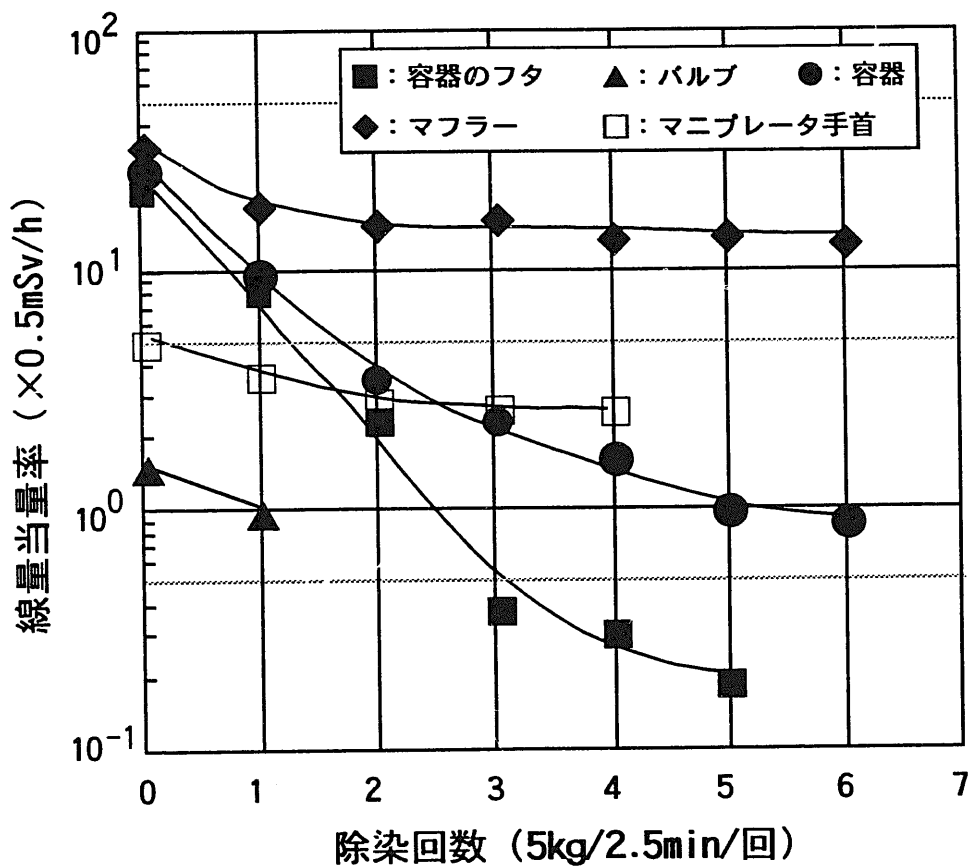


図-9 高圧ドライアイス[®]ラスタ除染性能

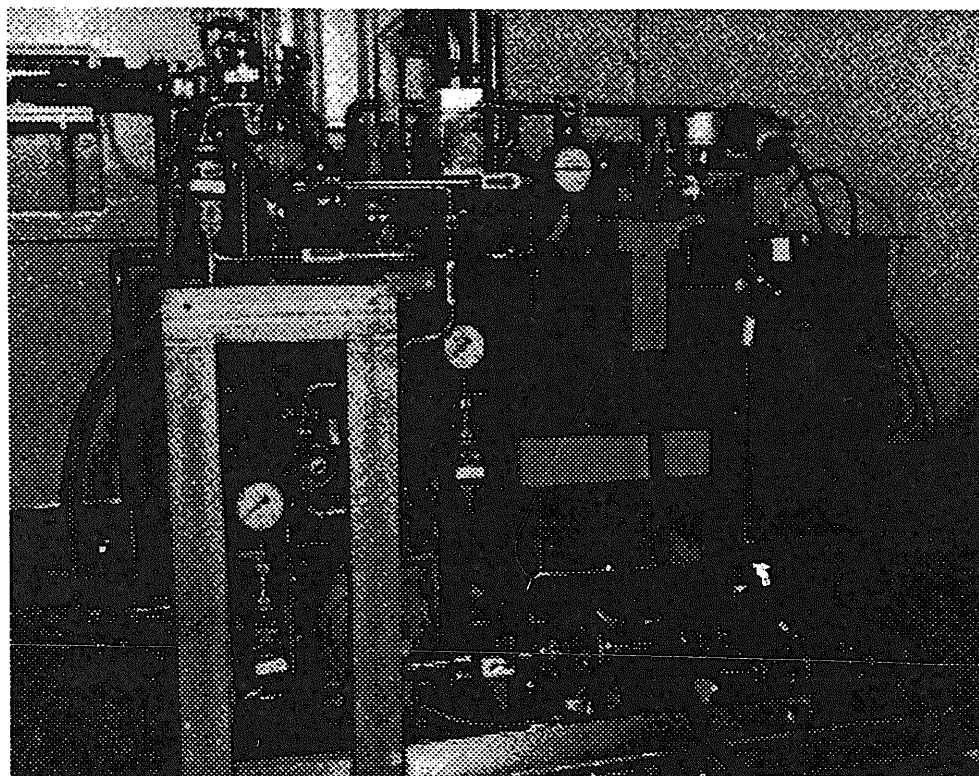


図-10 電解研磨除染装置

表-1 電解研磨除染性能

対象	材質	S U S		S S	A I
	形状	平板	アングル 溶接物	バルブ	パイプ
	電流密度(A/dm ³)	10~40	10~30	10	1~3
	時間 (min)	~5	~10	120	60
	A R T (μm)	~25	0.8~130	10~100	1
	D F	~>1700	~>120	10	60

電解液：5vol%硫酸

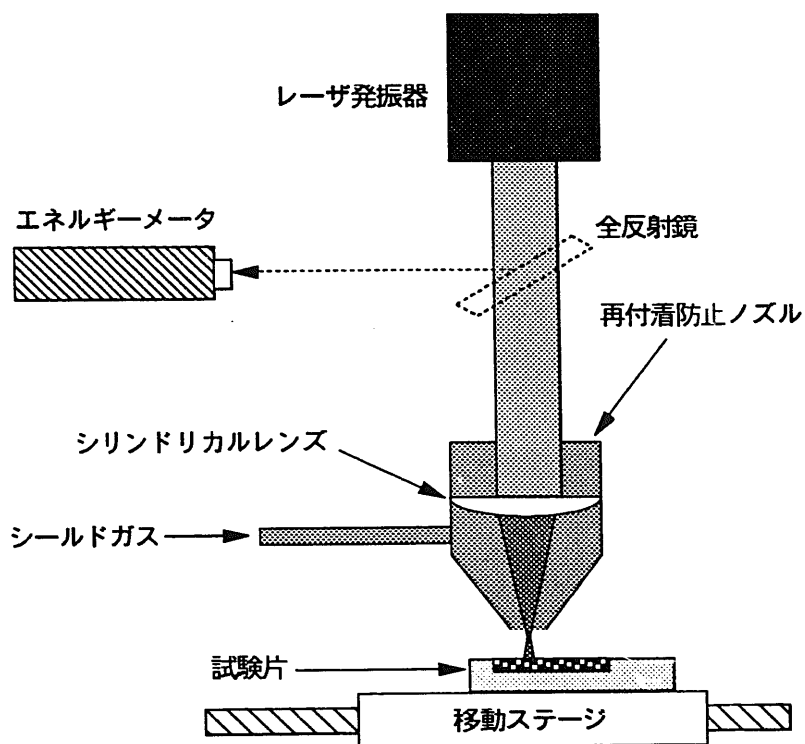


図-11 レーザによる除染試験

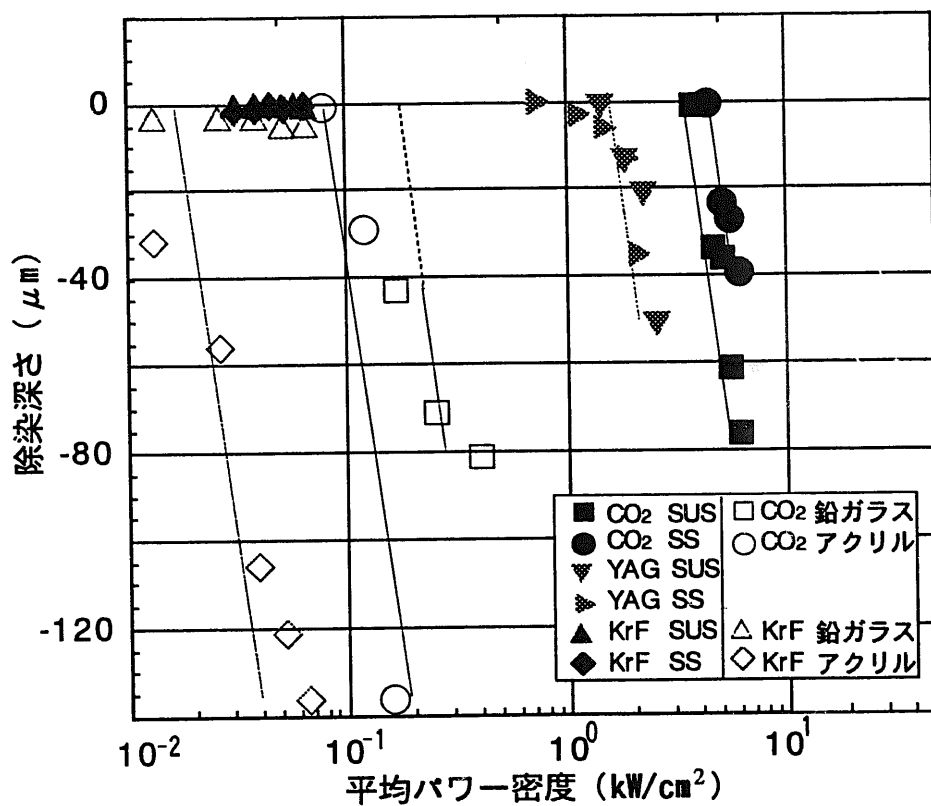


図-12 レーザによる除去性能

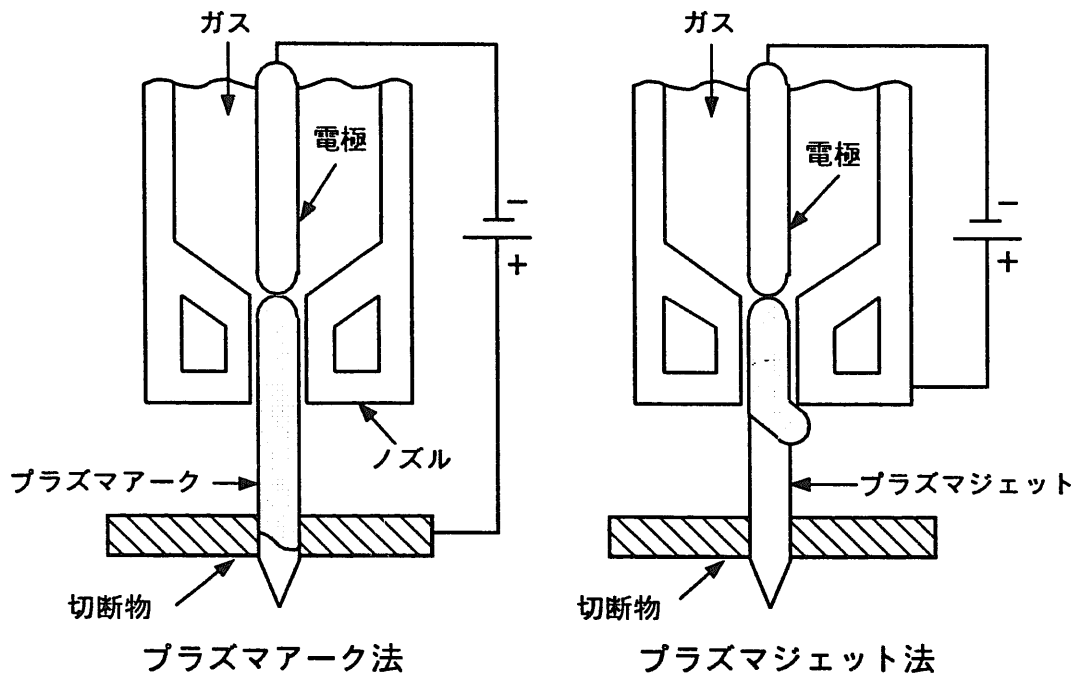


図-13 プラズマ切断技術

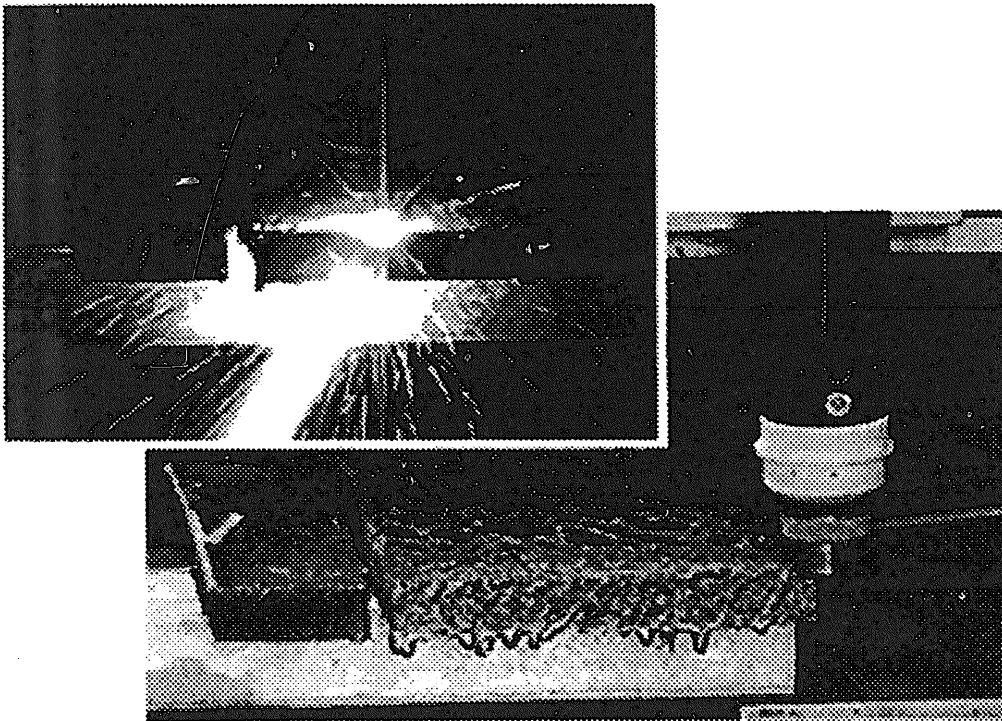


図-14 プラズマジェット切断

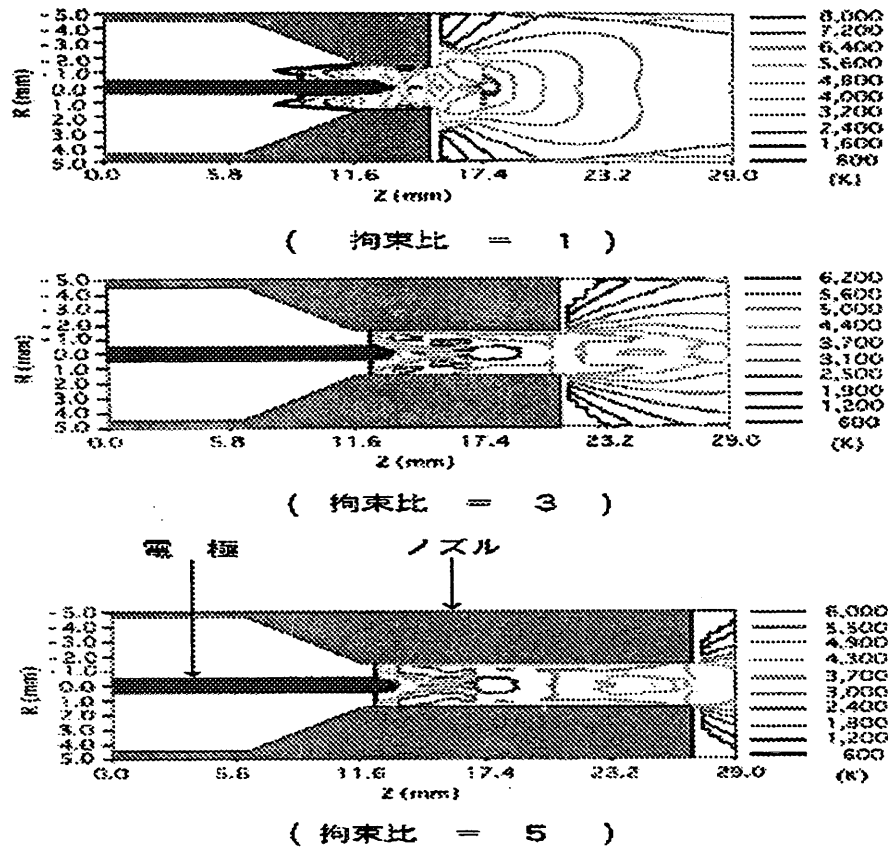


図-15 プラズマ流のシミュレーション結果

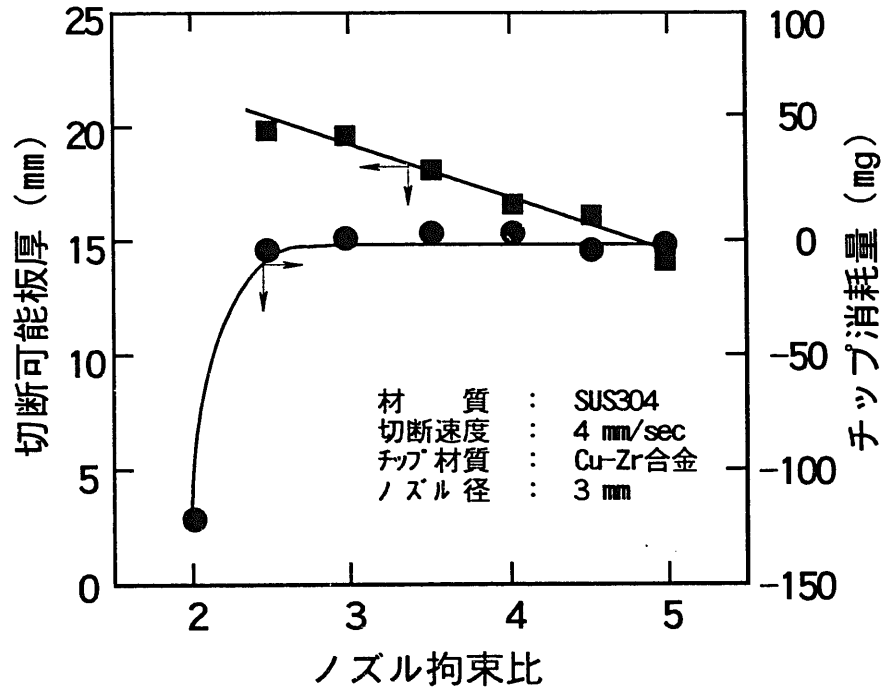


図-16 プラズマジェットによる切断性能

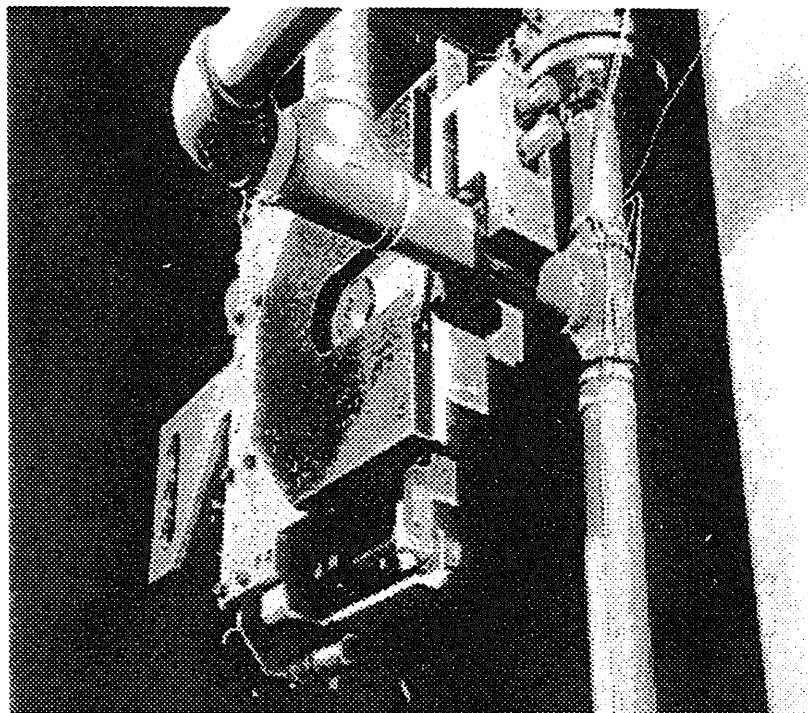


図-17 メタルソー切断ツール

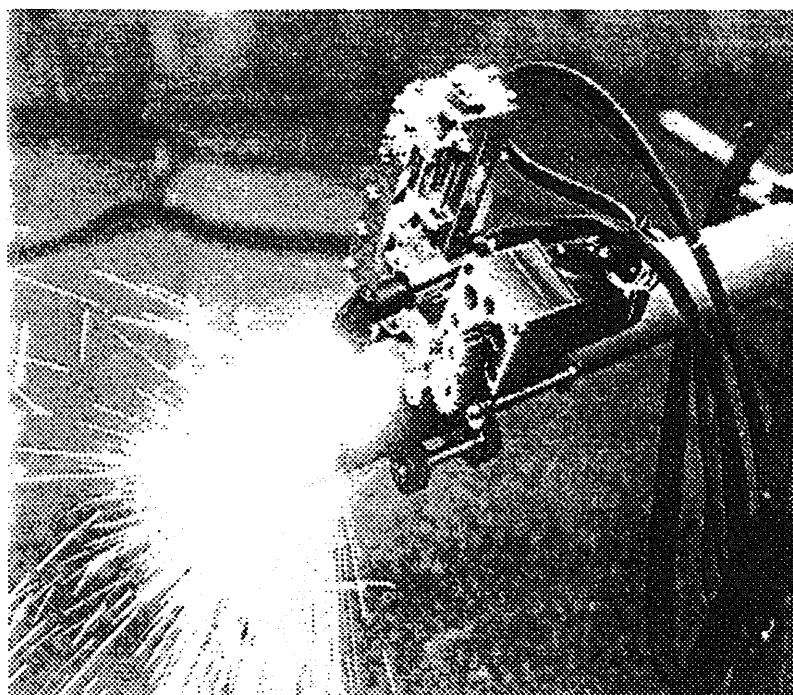


図-18 プラズマ切断ツール

核燃料施設のデコミッショニング技術開発

O H P 集

第9回 原子力施設デコミッションング技術講座

核燃料施設のデコミッションング技術

TANIMOTO/OEC/PNC

第9回 デコミ技術講座

核燃料施設のデコミッションングに際しての特長 (1/2)

(1) 超ウラン核種、核分裂生成物を取扱う

- 嚴重な内部被ばく対策
- 放射能の包蔵性管理
- 二次廃棄物の低減化対策

OEC/PNC

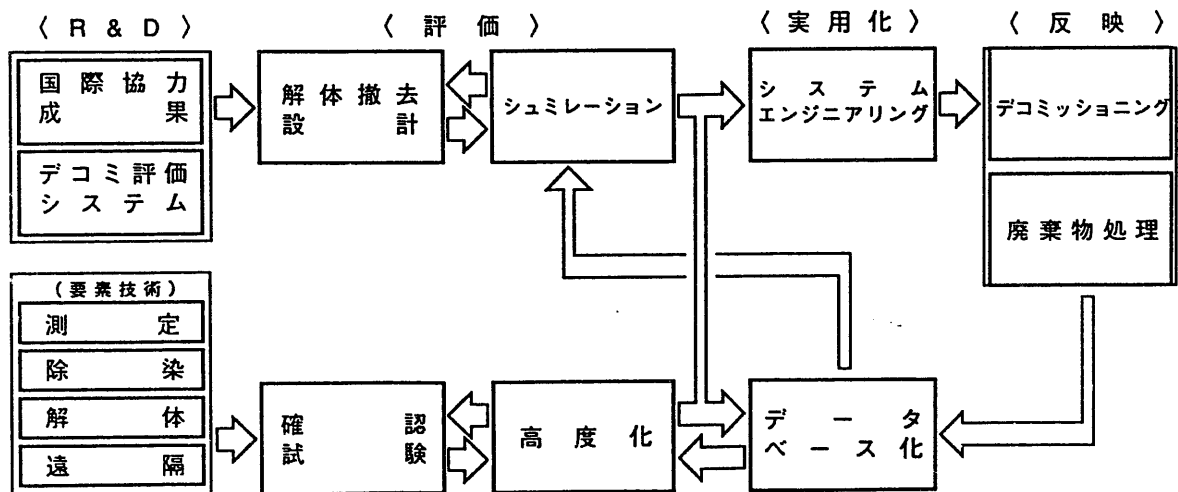
核燃料施設のデコミッショニングに際しての特長 (2/2)

(2) 汚染核種の多くは長半減期

- デコミ作業時の被ばく低減化が望めない
- 施設閉鎖後も運転時と同様な管理を要求

(3) デコミ廃棄物の形態、材質、汚染履歴が多種多様

- 除染・解体手法は広い適用性が要求



デコミッショニング技術開発体系

測定技術のニーズ

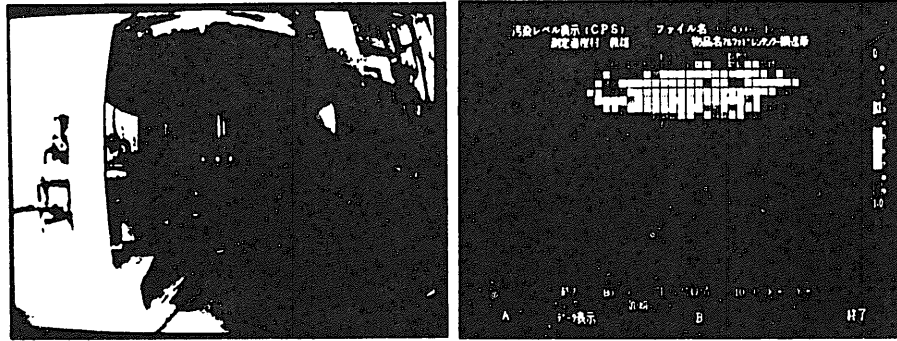
- **デコミッショニング計画時**
対象物中の放射能分布の情報収集
- **解体作業時**
汚染又は内蔵する放射能の測定評価
- **廃棄物の処理処分時**
放射性核種の存在量の把握

OEC/PNC

測定技術の開発

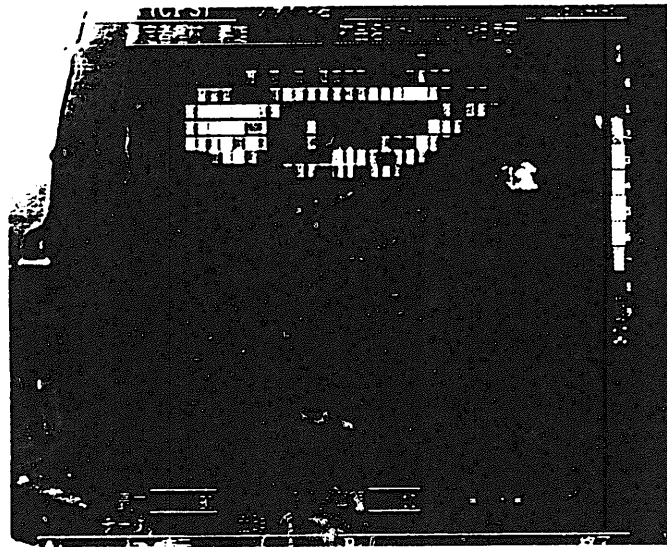
- 目的** : **遠隔から線源位置の特定**
- 方策** : **放射線映像化装置(RID)**
- 課題** : **線源位置を特定する能力向上**
定量化手法の開発

OEC/PNC



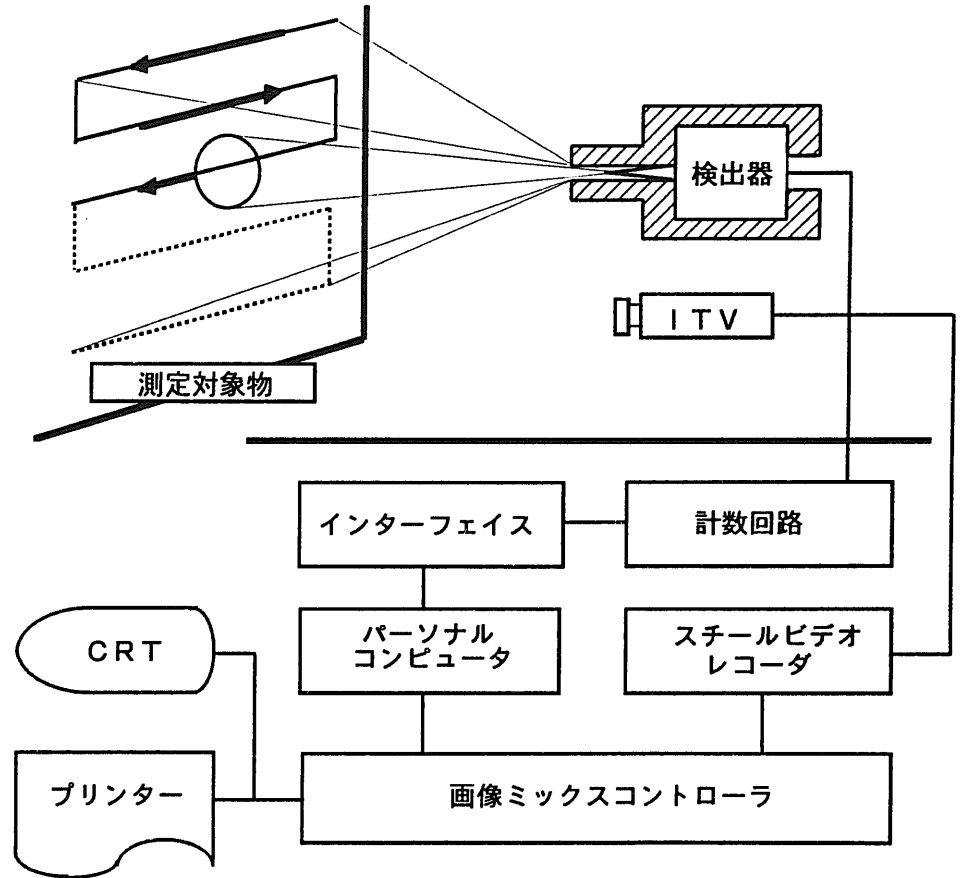
TV画像

評価画像



合成画像

放射線映像化装置による処理画像

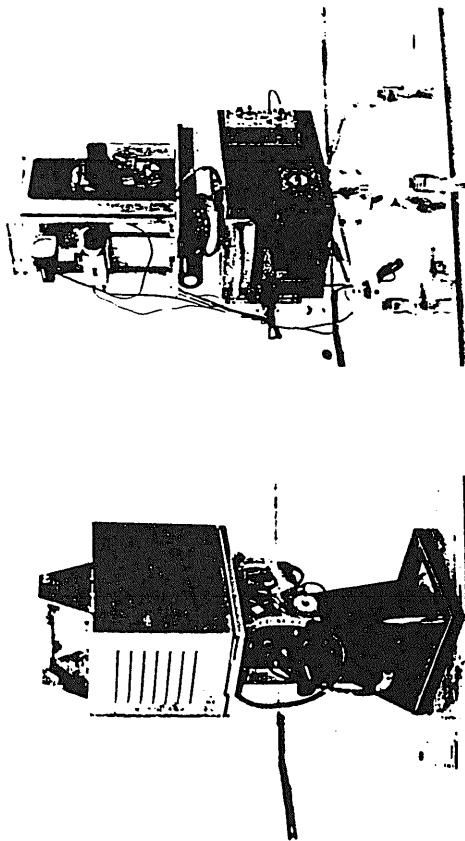


放射線映像化装置の原理

RIDの種類と特長

- RID1号機：200KeV以上を対象
- RID2号機：低エネルギー核種を対象
- RID3号機：セル内汚染分布の測定を対象

OEC/PNC



1号機

2号機

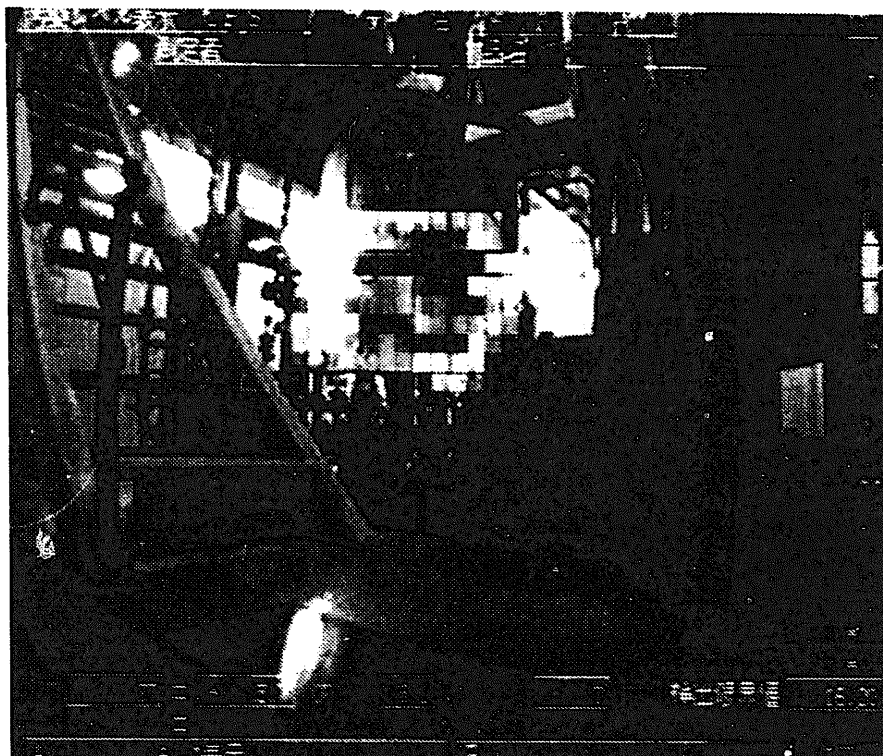
検出部



データ処理部

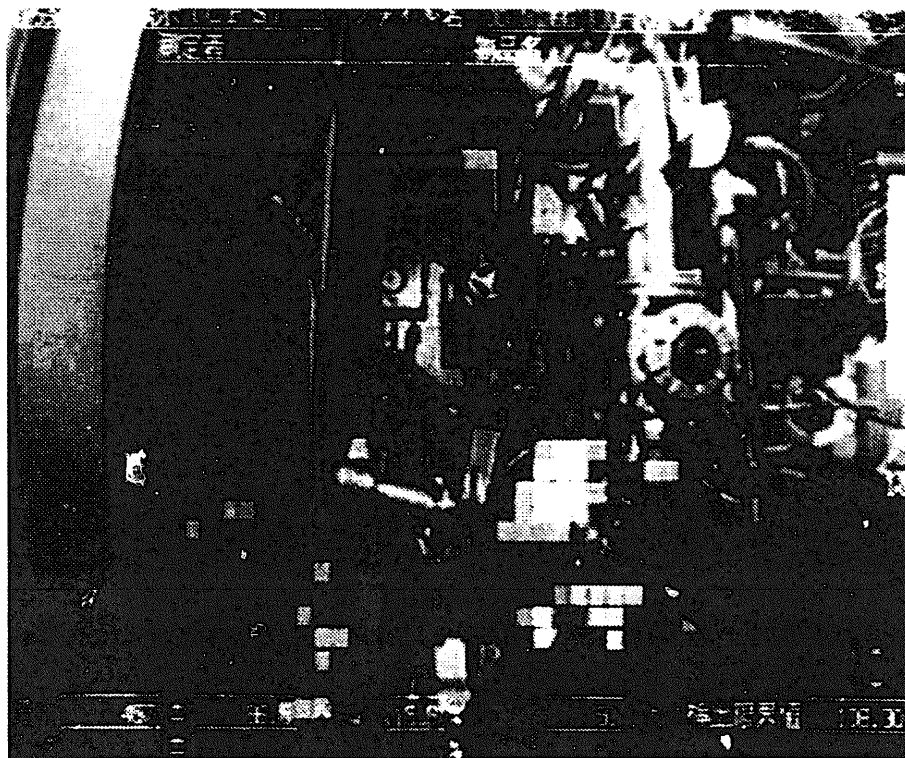
放射線映像化装置

OEC/PNC



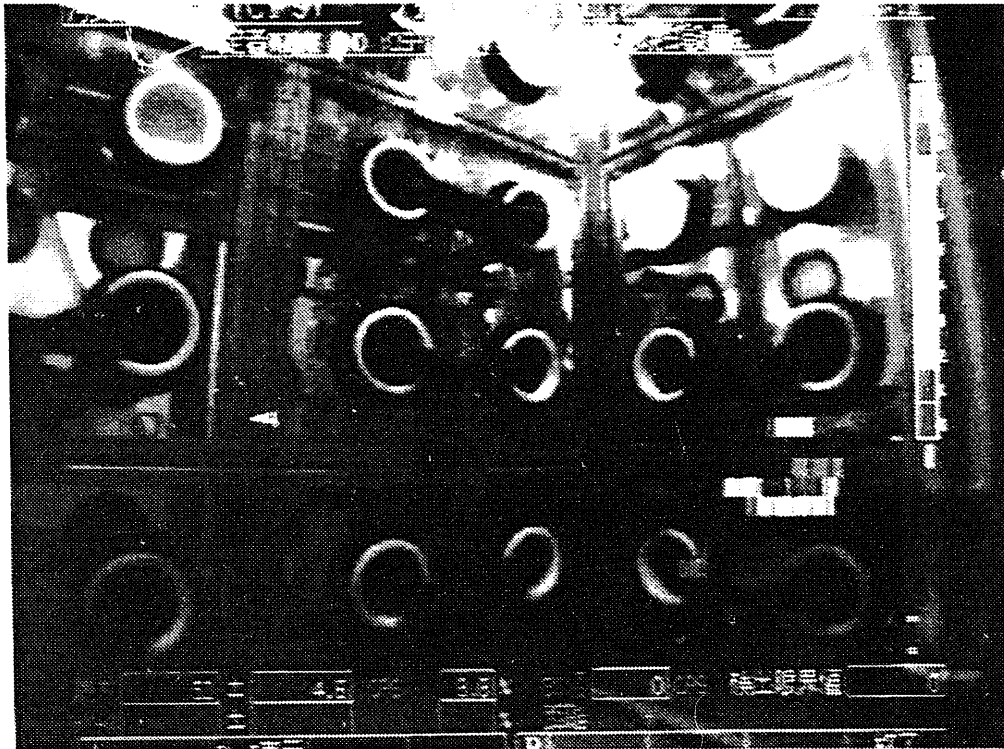
核燃料施設の測定例 (^{137}Cs)

OEC/PNC



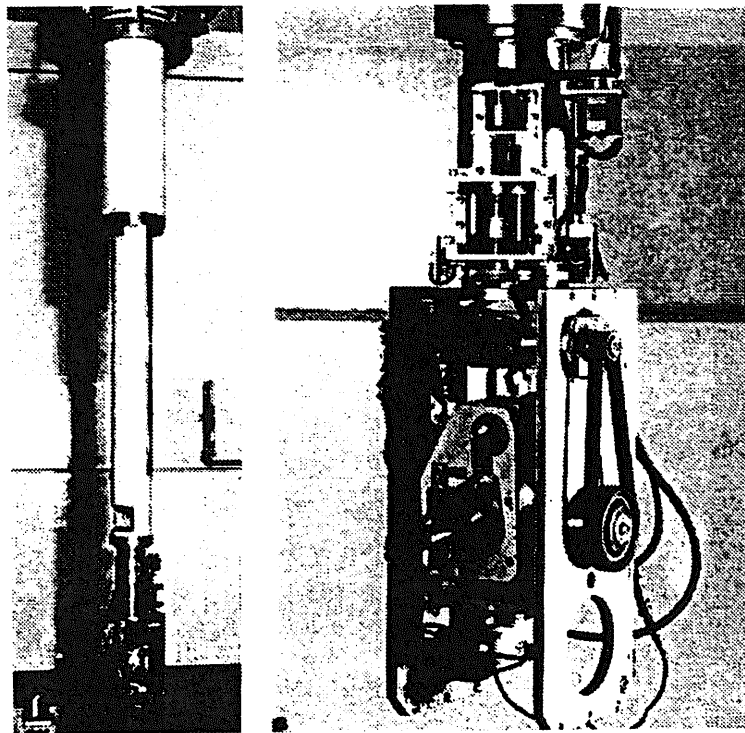
原子炉施設の測定例 (^{60}Co)

OEC/PNC



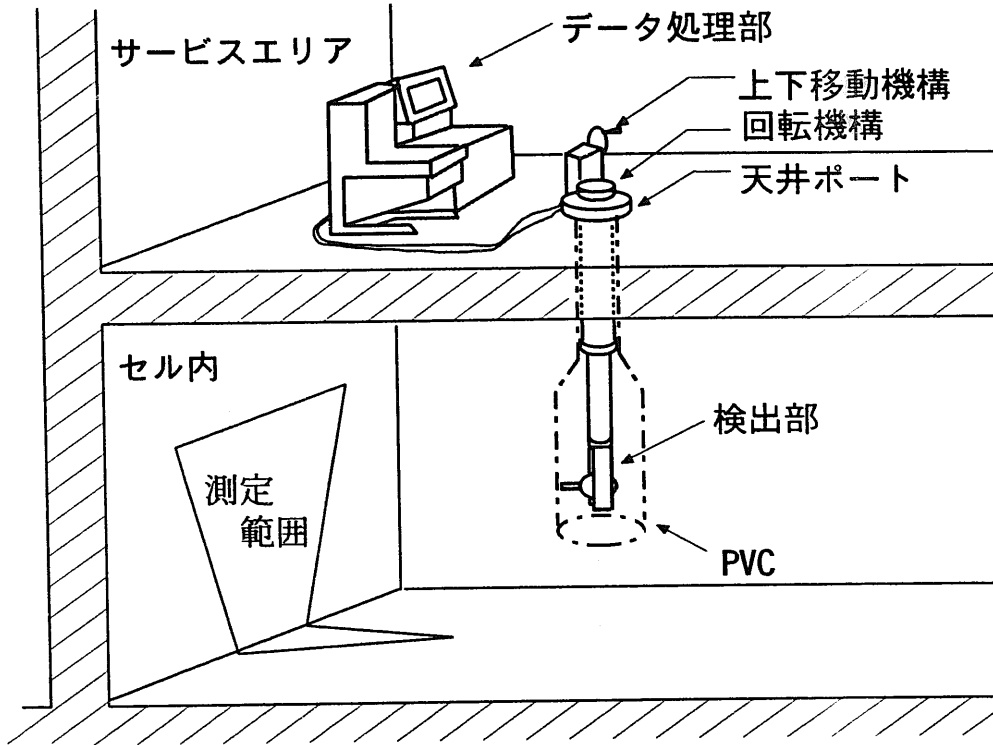
グローブボックスの測定例 (4A m)

OEC/PNC



放射線映像化装置 (3号機)

OEC/PNC

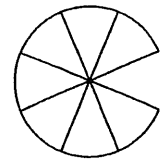


セル内測定のご概念

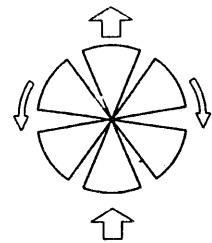
OEC/PNC



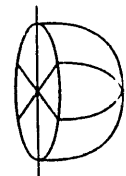
評価結果



測定結果

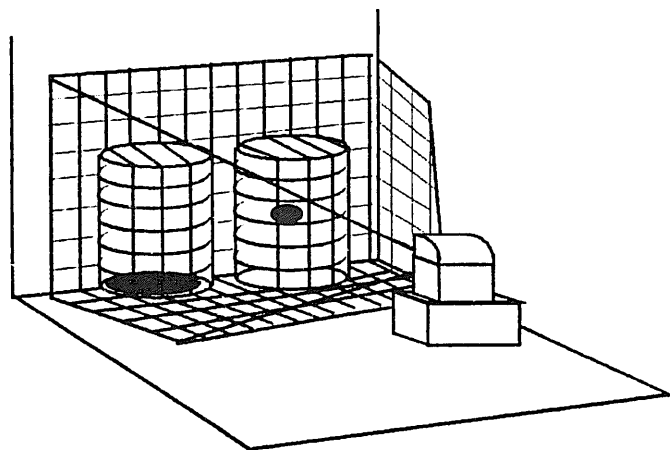


走査過程

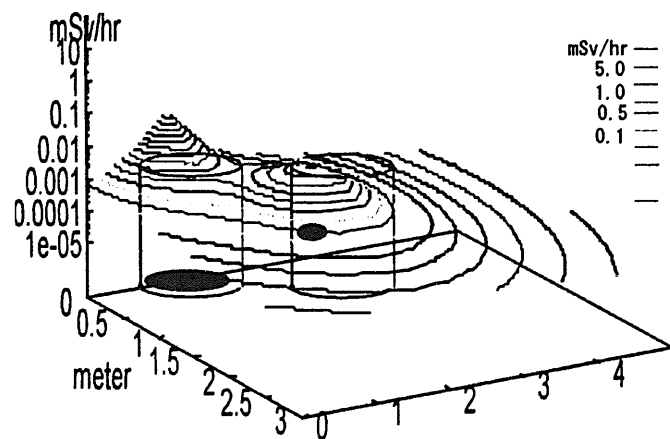


セル内の測定例 (背景画像)

OEC/PNC



放射線測定図: 計数・距離を測定

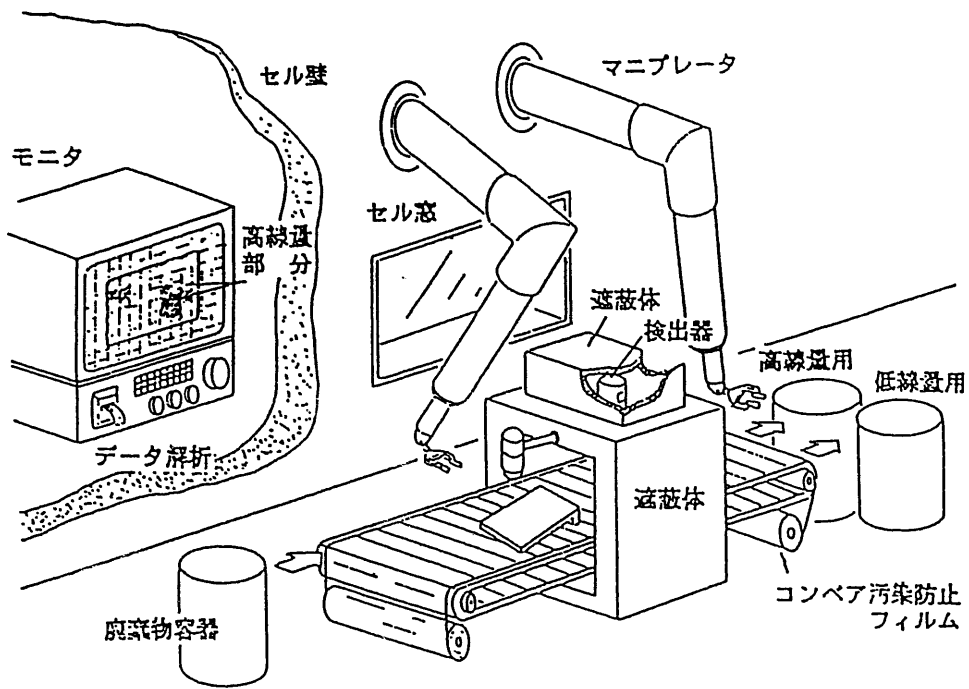


評価図: 施設内の各位置での線量を表示

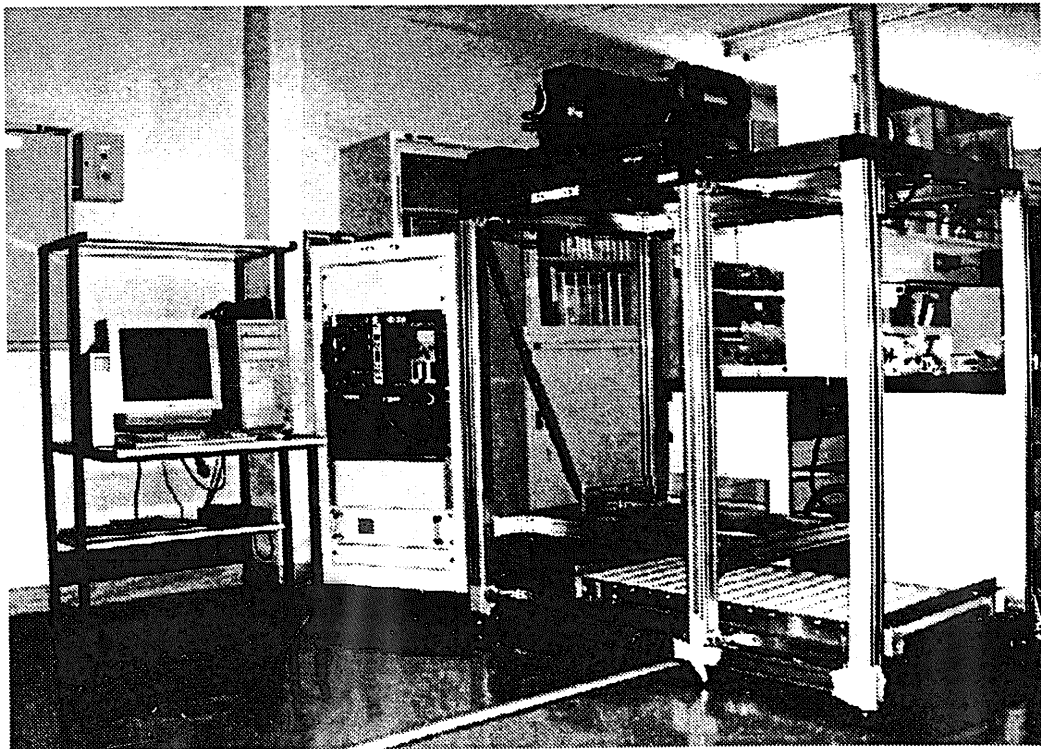
定量測定手法の概念



セル内の測定例 (^{137}Cs)



廃棄物仕分装置の概念



廃棄物仕分試験装置

除染技術のニーズ

- 高汚染廃棄物の低線量化
- 環境の放射線量当量率の低減化
- 徹底除染による非TRU化

OEC/PNC

除染技術の開発

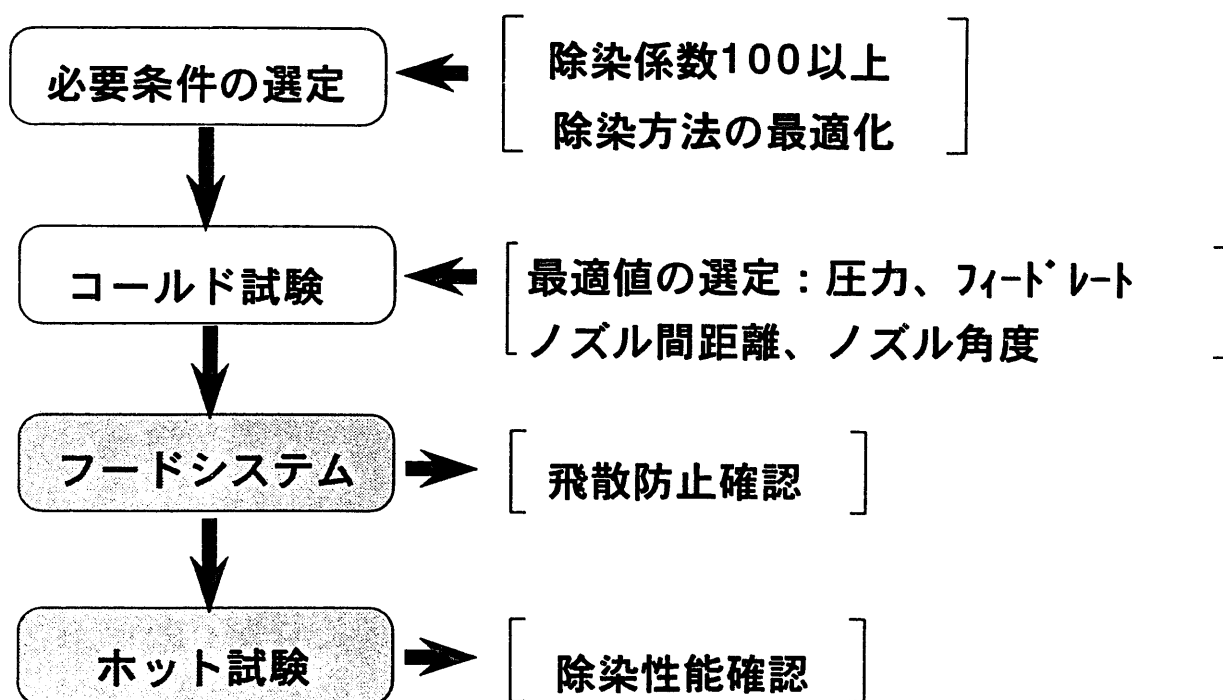
- 目的 : 放射性廃棄物の低減
- 方策 : アイスブラスト除染装置
電解除染装置
レーザー除染装置
- 課題 : 二次廃棄物の低減
最適な除染条件の決定

OEC/PNC

高圧ドライアイスブラスト除染装置の開発

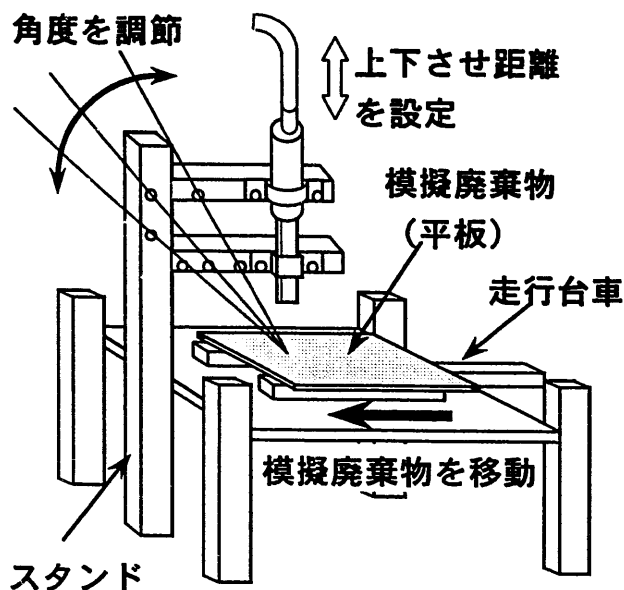
- 除染性能の向上
一次除染 : DF 100程度
- 剥離汚染物の飛散防止
- 方策 : 高圧ドライアイスブラスト
除染フードシステム

OEC/PNC

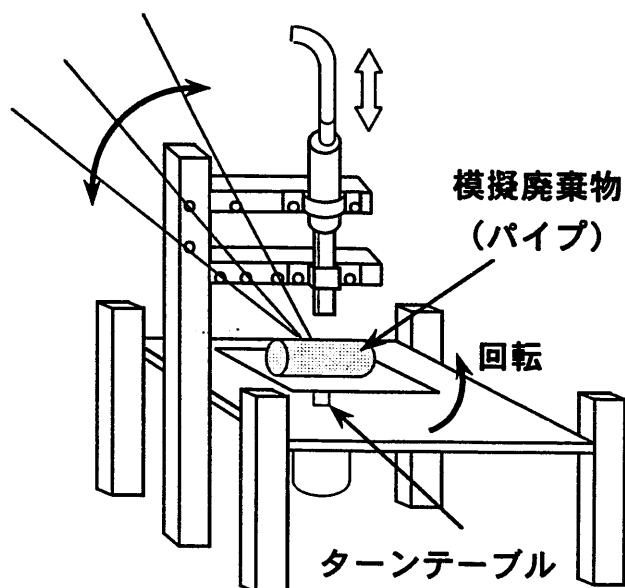


試 験 フ ロ ー

OEC/PNC



平板の場合



パイプ、アングル形状の場合

除染条件選定試験方法

OEC/PNC

除染条件選定試験条件

1. 平板の試験条件

圧 力 : 9, 12, 15 kgf/cm²

フィードレート : 30, 40, 50 %

距 離 : 50, 100, 200 mm

角 度 : 0, 30, 45, 60 deg.

塗 料 : ラバマリン塗装、塗膜厚 180 μm

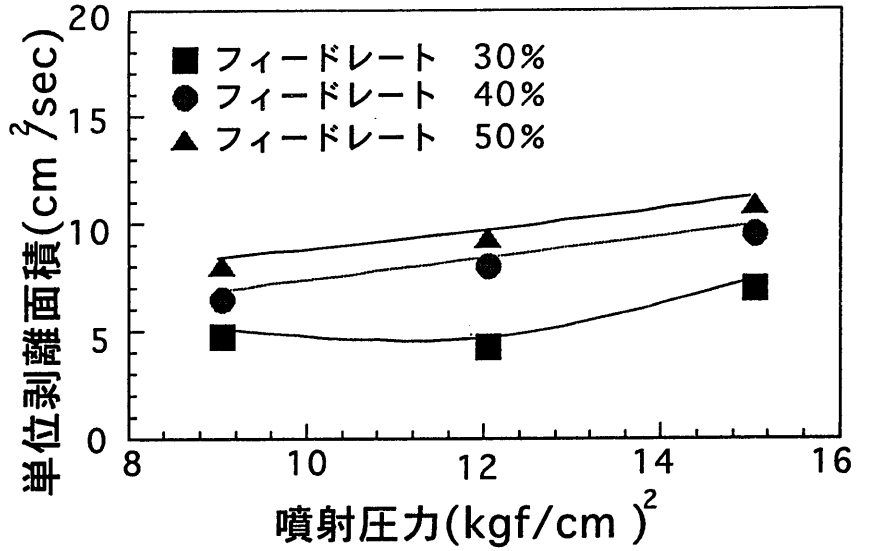
2. 廃棄物形状別の試験条件

形 状 : パイプ(34φ×200L)、アングル(30×30×200L)

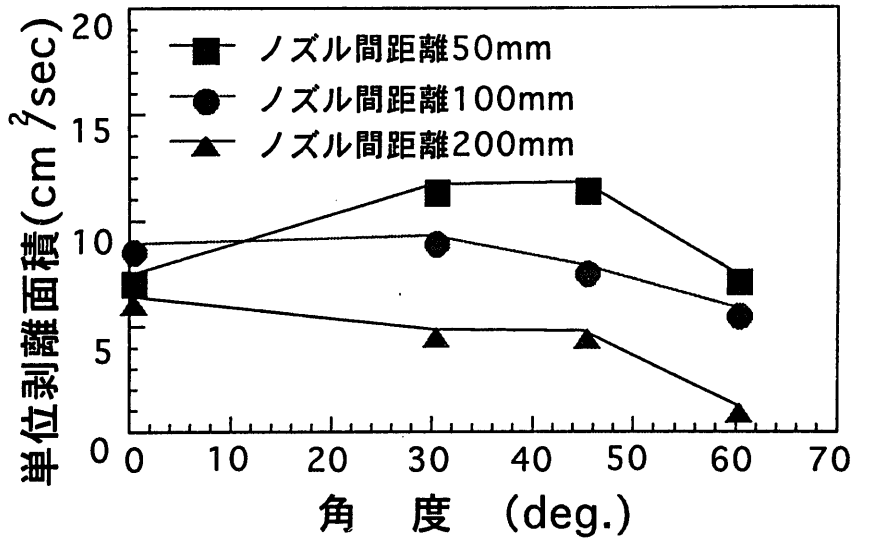
圧 力 : 15kgf/cm² フィードレート : 30%

距 離 : 50~100mm 角 度 : 0~60 deg.

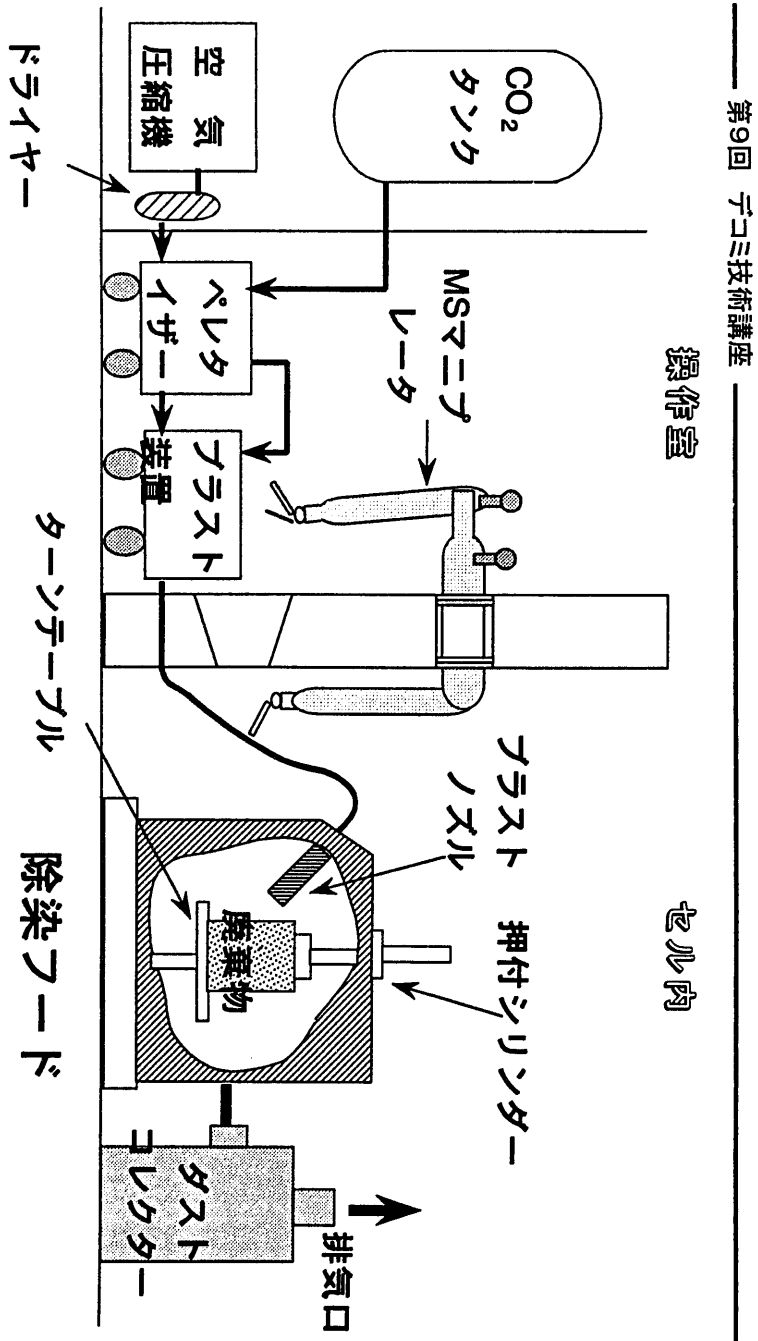
OEC/PNC



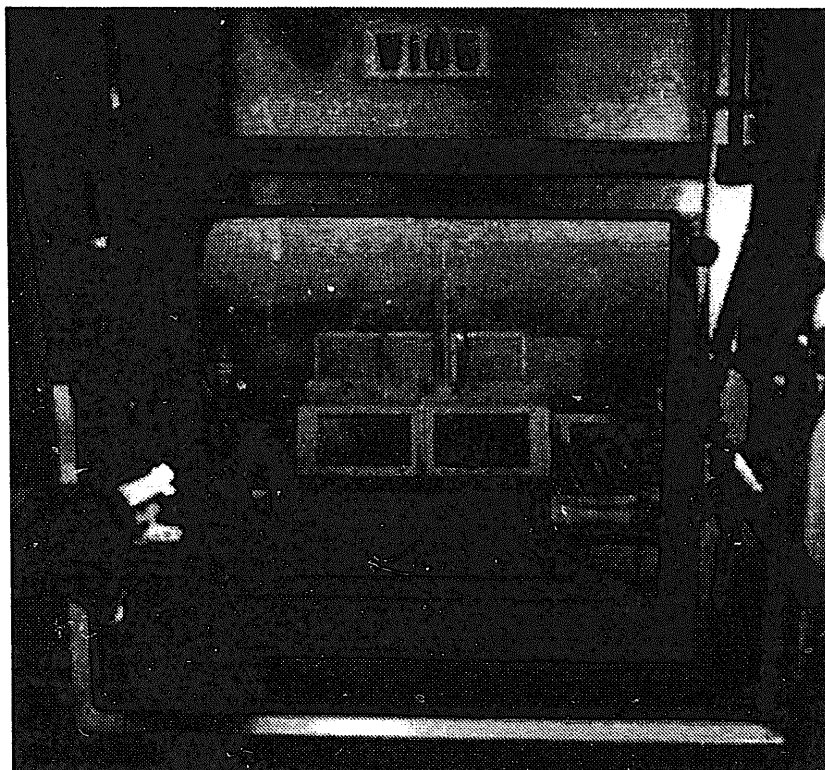
最適除染条件 (圧力、フィードレート)



最適除染条件 (ノズル間距離、角度)



高圧超音波洗浄装置の概念



セル内に配置した除染装置

OEC/PNC

実廃棄物除染試験条件

1. 噴射条件

- 噴射圧力 : 9 kgf/cm² (セルの条件)
- フィードレートを : ~30%
- ノズル間距離 : 100 mm
- ドライアイス噴射量 : 5 kg/2.5min (1回当たり)

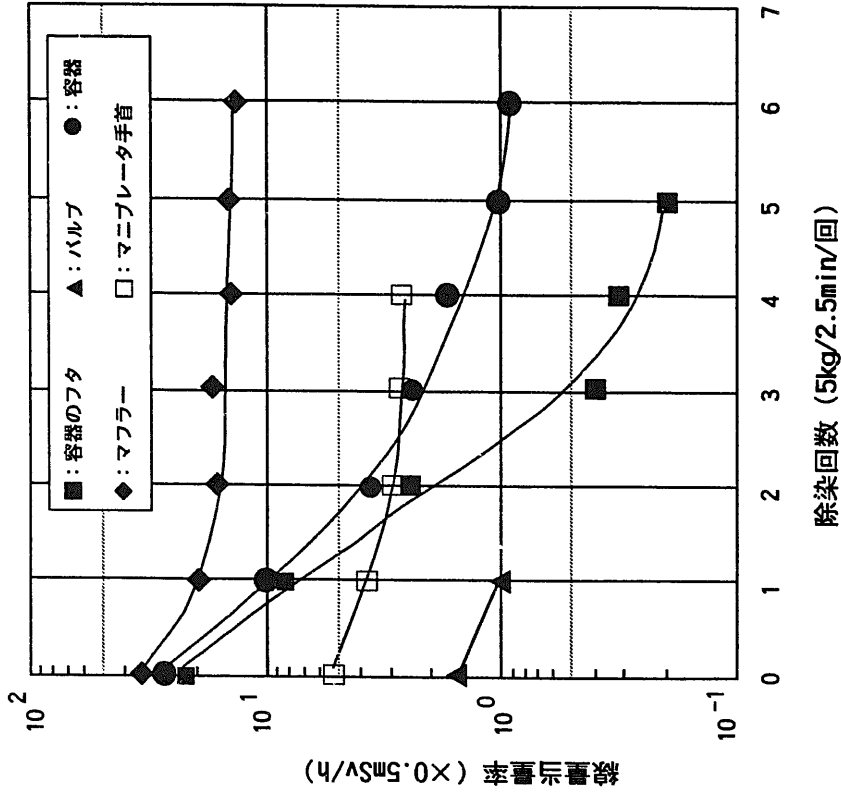
2. 除染対象物

- 容器類、マニプレータ手首、単管、バルブ
 - スパナ、T字板等
- 合計12体

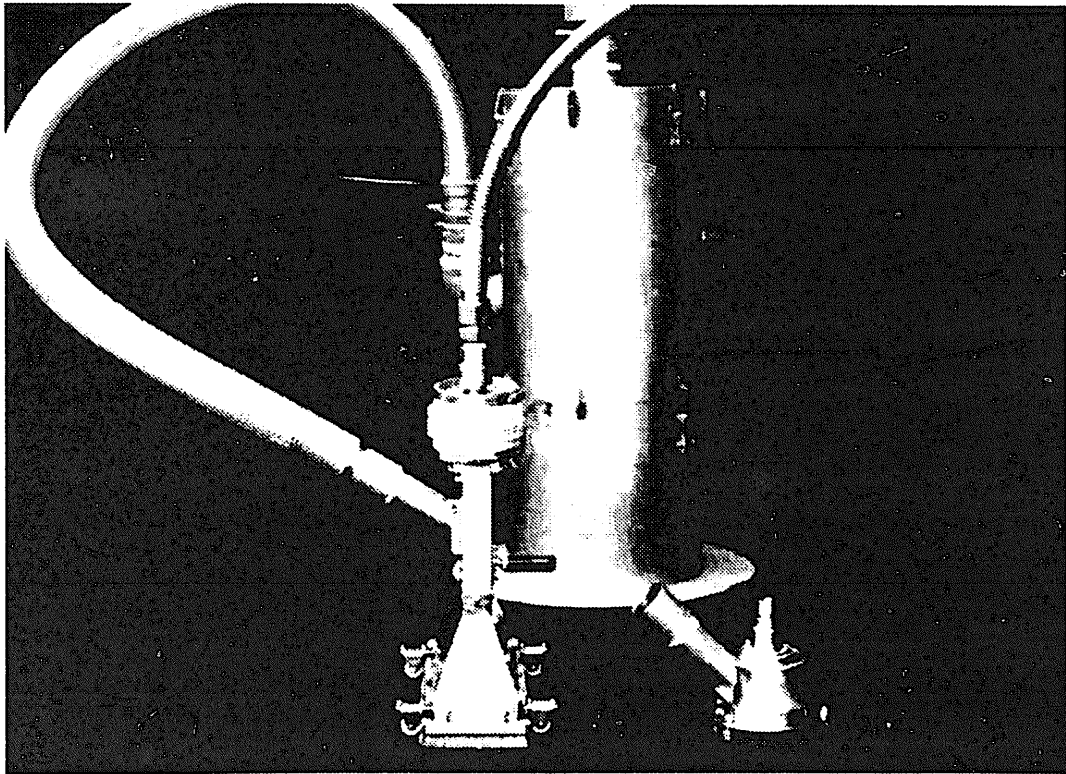
3. 飛散防止確認箇所

- 除染フードシステム周辺

OEC/PNC



実廃棄物除染結果



吸引ブラスト除染装置

レーザー除染技術の開発

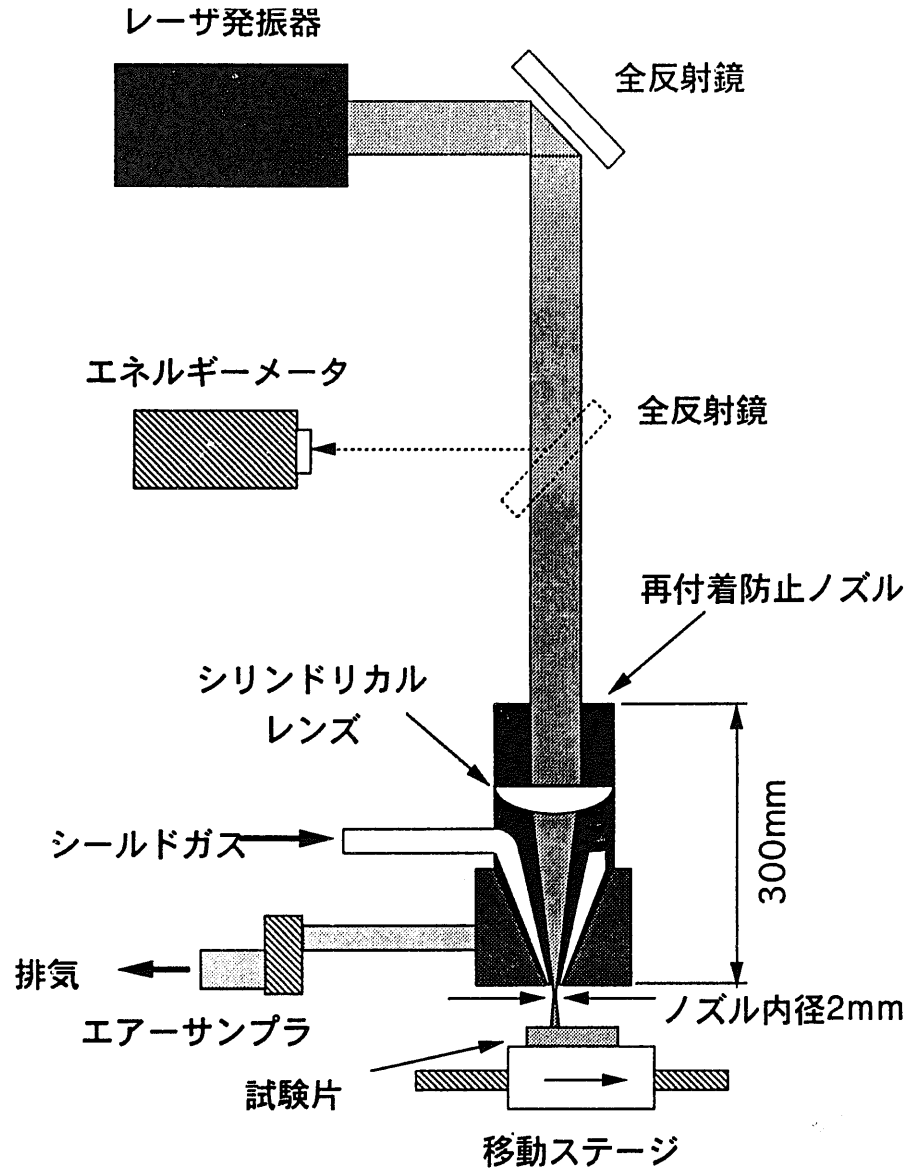
- 溶融作用の利用による徹底除染
- 乾式プロセスのため二次廃棄物低減
- 多間接ミラー、
ファイバーの利用により遠隔除染

OEC/PNC

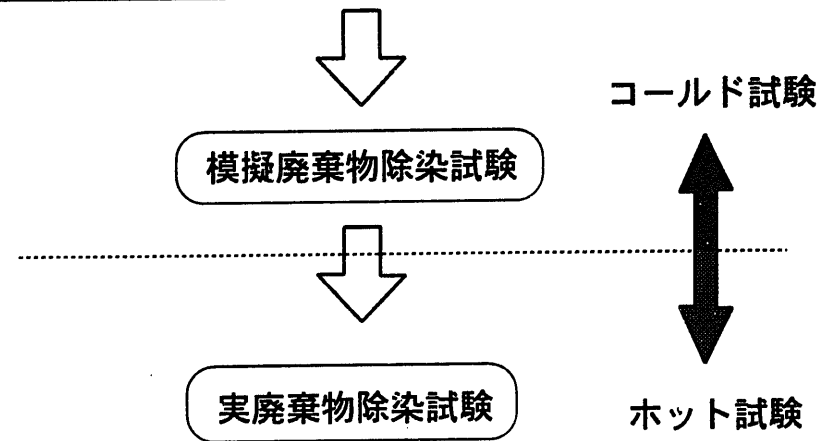
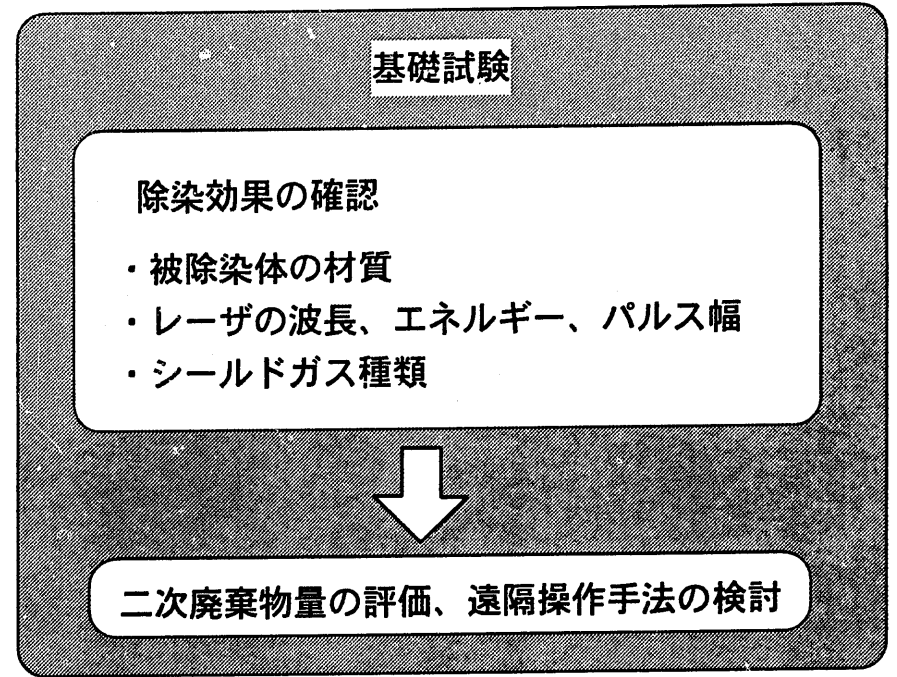
レーザー除染法の原理

	蒸散法	溶融法
原理	<p>レーザー光 (短パルスレーザー) 吸引 蒸気 除染対象物</p>	<p>レーザー光 (高出力レーザー) ガスジェット ヒューム 除染対象物</p>
2次廃棄物	微粒子 吸引しフィルタ等で回収	ヒューム 吸引しフィルタ等で回収
特徴	小型のレーザー利用	高出力レーザー利用
目標 : 除去深さ10 μm以上		

OEC/PNC



レーザー除染試験装置の概念

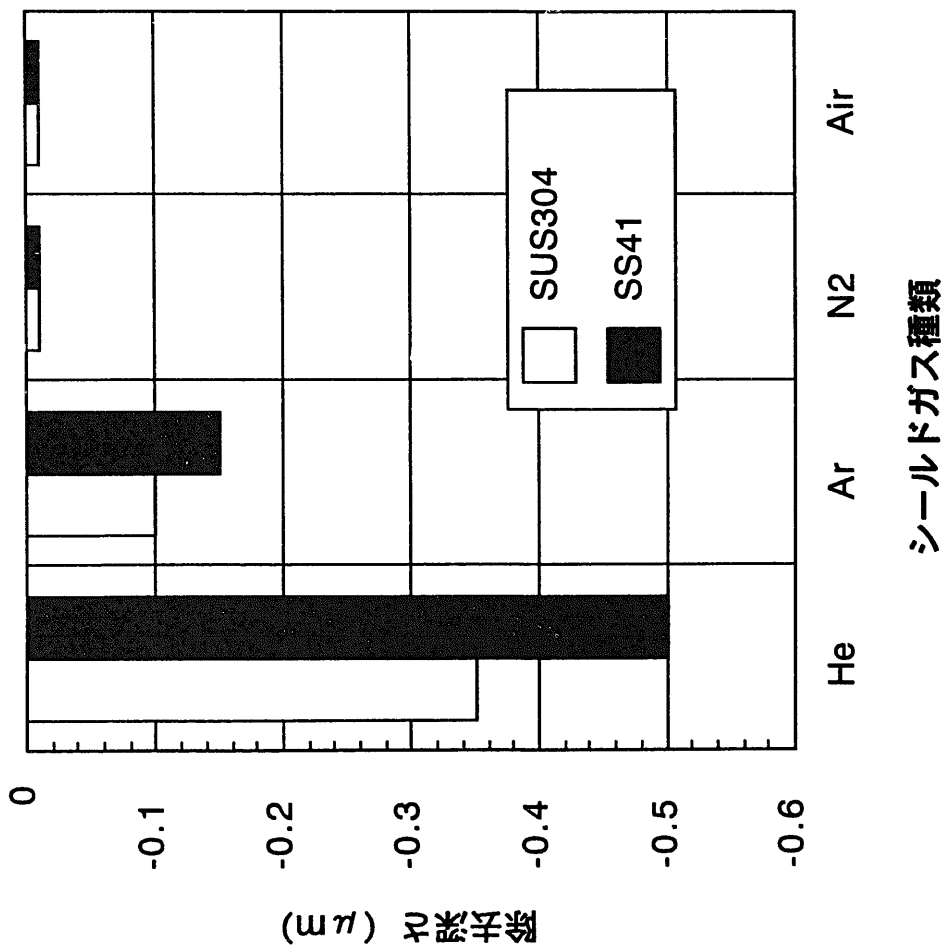


試験フロー

レーザー除染試験条件

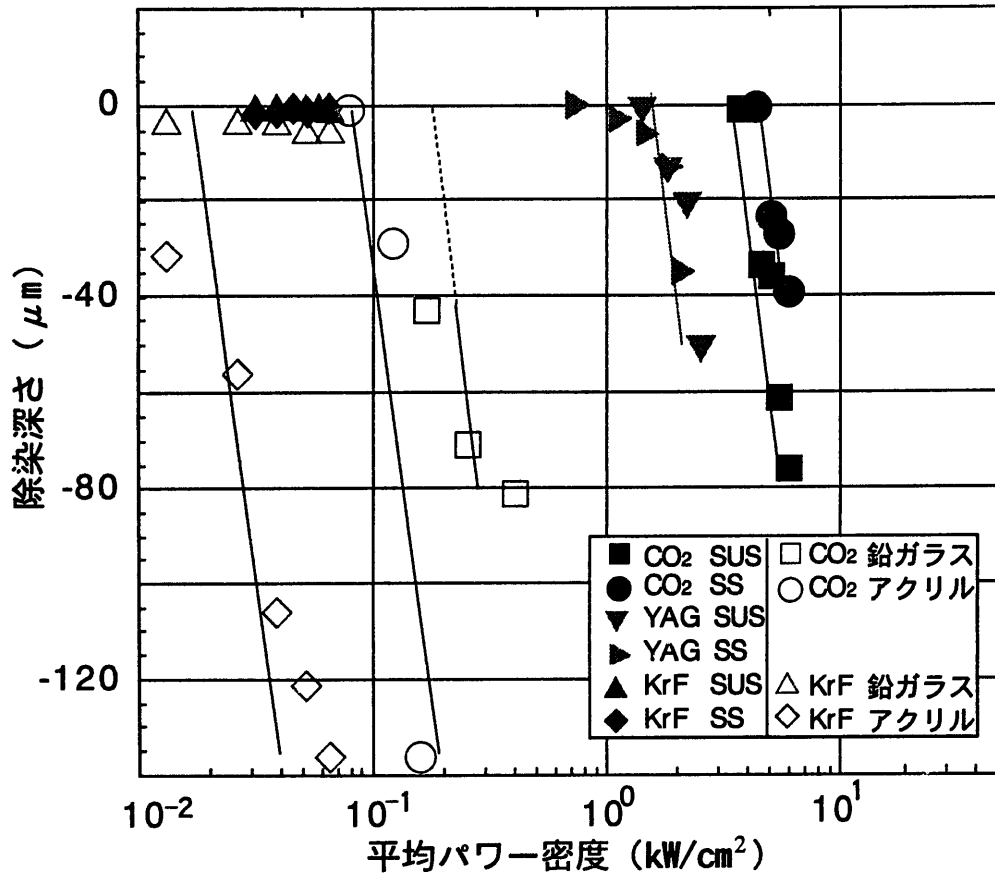
	CO ₂ レーザー (波長：10.6 μm)	YAGレーザー (波長：1.06 μm)	KrFレーザー (波長：0.248 μm)
原理	溶融法	溶融法	蒸散法
パワー密度	3.6~6.0(kW/cm ²)	0.8~2.5(kW/cm ²)	0.02~0.07(kW/cm ²)
パルス幅	5msec	5msec	15nsec
繰返し速度	10Hz	10Hz	10Hz
試験片送り速度	1.0mm/sec	1.0mm/sec	0.25mm/sec
シールドガス	He 流量：10 ℓ/min	He, Ar, N ₂ , Air 流量：10 ℓ/min	He 流量：10 ℓ/min
試験片	SUS304、SS41、アクリル、鉛ガラス		

OEC/PNC

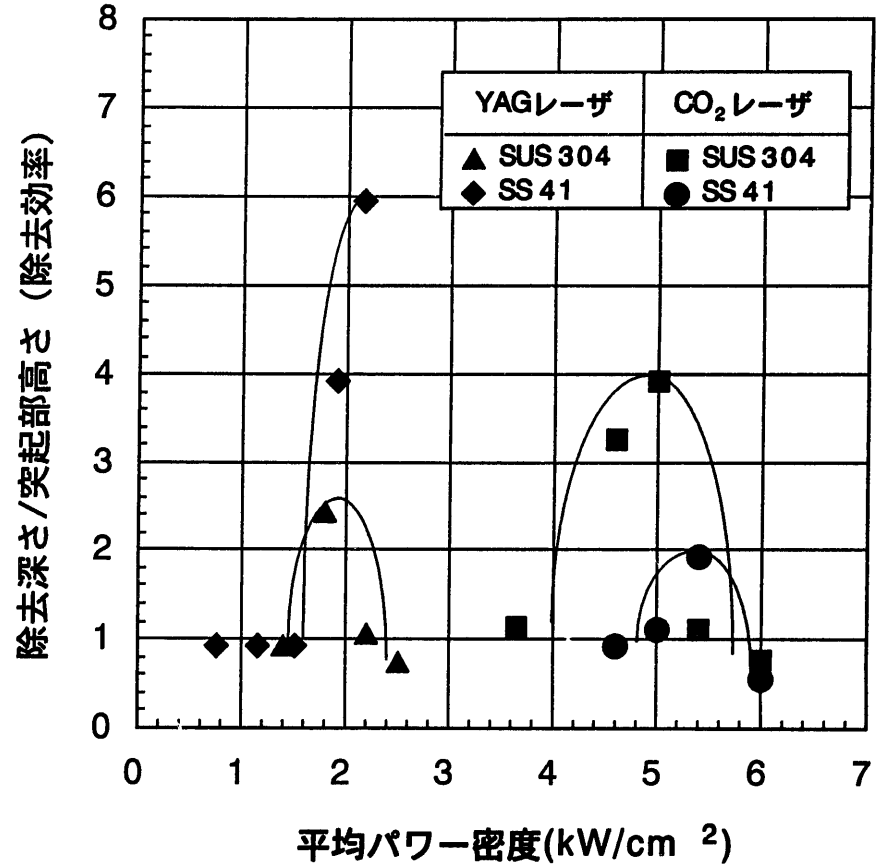


除去深さのシールドガス依存性

OEC/PNC



試験片表面除去性能



パワー密度に対する除去効率

切断技術のニーズ

- 多種多様な形状物の切断
- 金属及び非金属の切断
- 遠隔操作装置への適用

OEC/PNC

切断技術の開発

- 目的** : 対象機器等を安全に解体
- 方策** : 機械式切断装置
熱的切断装置
- 課題** : 解体対象物への適用性
遠隔操作装置への適用性

OEC/PNC

プラズマジェットーチの開発

目的

- ・ 金属・非金属の切断が可能なツールの開発

目標

- ・ 切断性能 金属:20mm 耐火物:100mm
- ・ プラズマアークーチと同程度の寸法、重量、耐久性

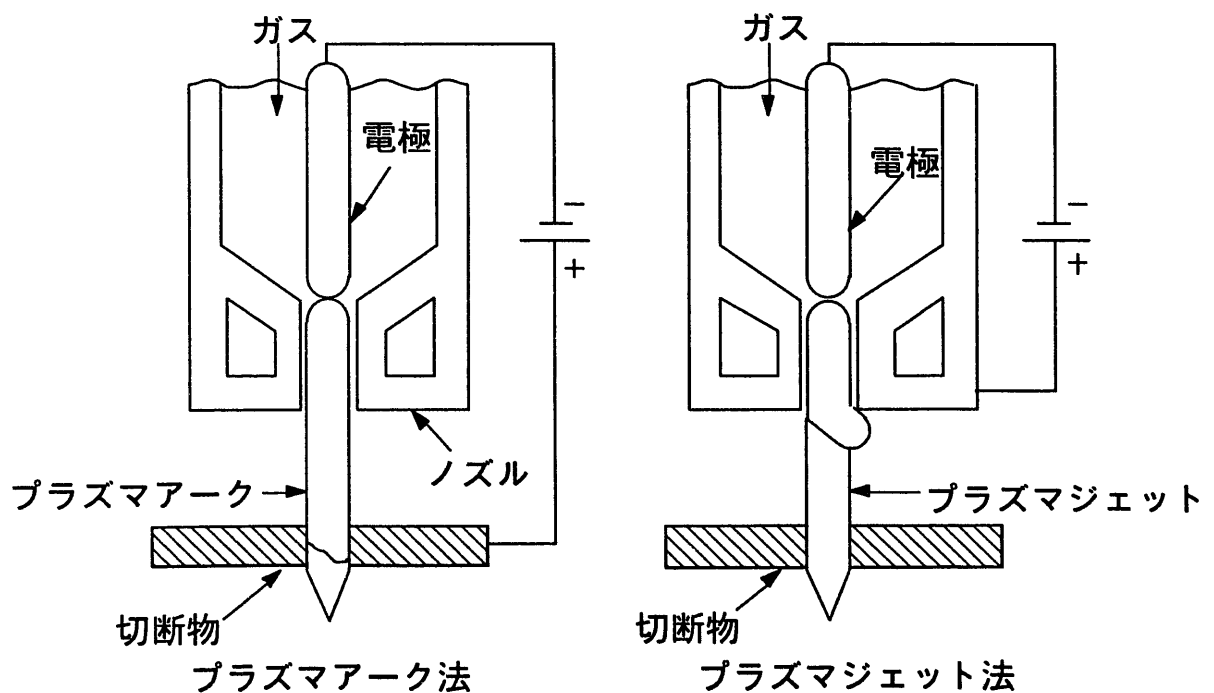
課題

- ・ プラズマが拡散、短時間でノズル先端部が溶融

解決策

- ・ プラズマ流解析コードによるプラズマ挙動の解明

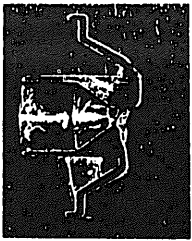
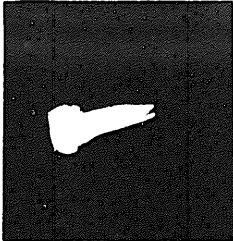
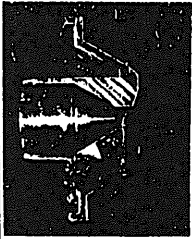
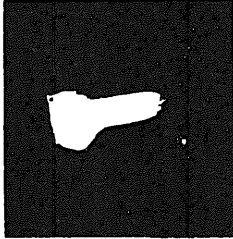
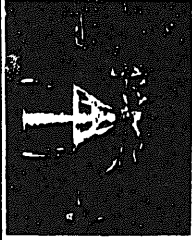
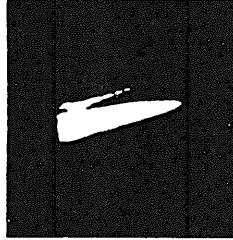
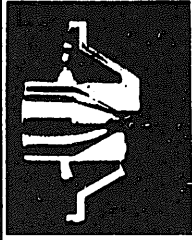
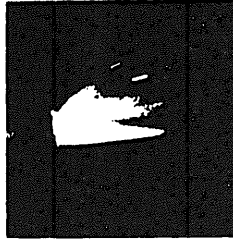
OEC/PNC



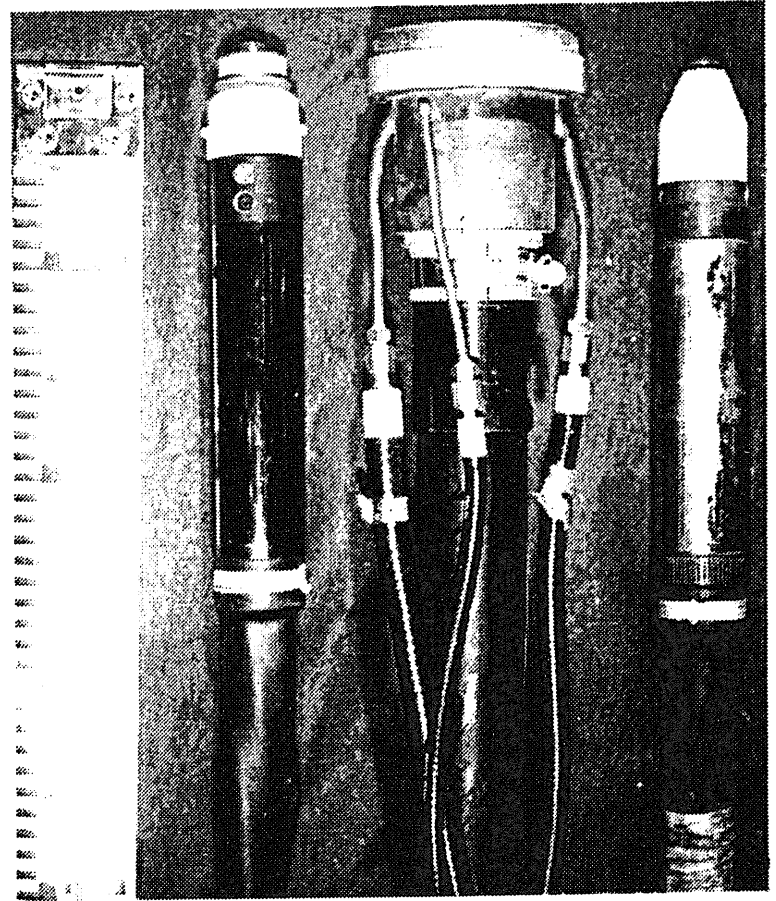
プラズマ切断技術の原理

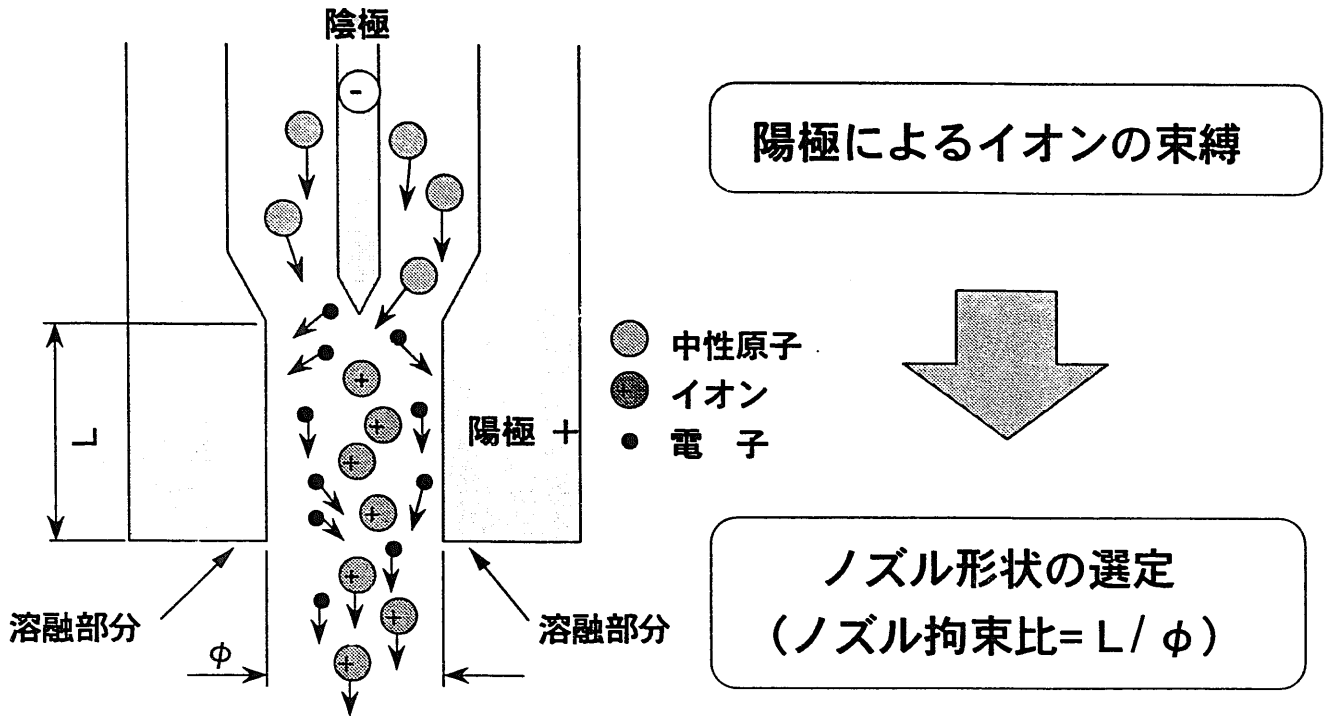
OEC/PNC

材質による効果

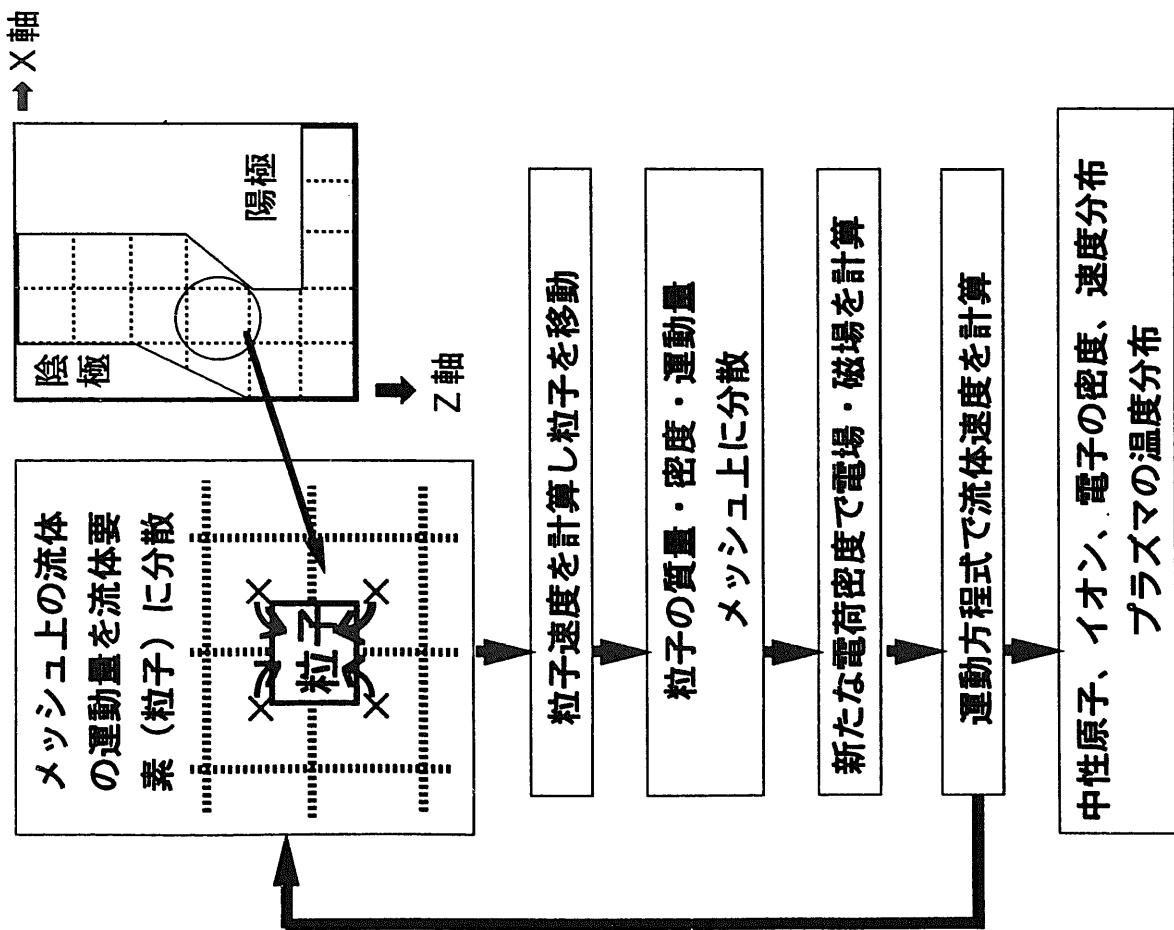
材 質	消耗量/時間 (mg) (min)	チップ半割	ジェット形状
Cu	1636 / 24		
Cu-Zr 合 金	2095 / 30		
Cu-Be 合 金	1222 / 5		
インコネル 600	1073 / 0.5		

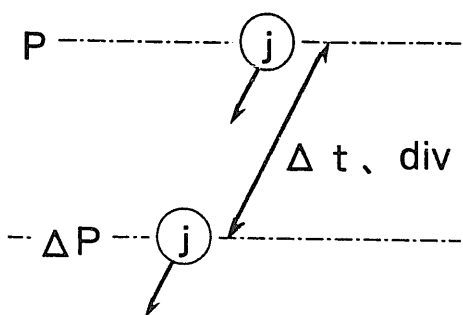
プラズマアークとプラズマジェットトーチ





プラズマ流の緊縮効果・耐久性向上検討





運動量保存の法則 (運動方程式)

$$m_j n_j \left[\frac{\partial v_j}{\partial t} + (v_j \cdot \nabla) v_j \right] = q_j n_j (E + v_j B) - \nabla p_j - m_j n_j v_j (v_j - v_i)$$

連続の式 (質量保存の法則)

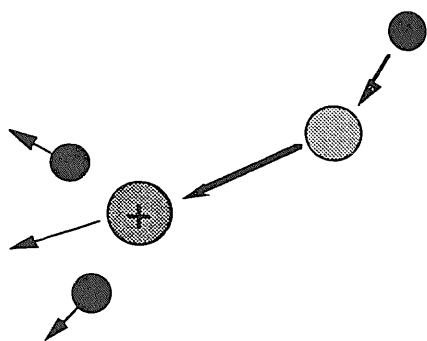
$$\frac{\partial n_j}{\partial t} + \nabla \cdot (n_j v_j) = v_g n_j$$

状態方程式 $p_j (m_j n_j)^{-\gamma_j} = \text{const}$

$$p_j = n k_B T_j \quad \gamma_j = (2 + N) / N$$

Maxwellの方程式

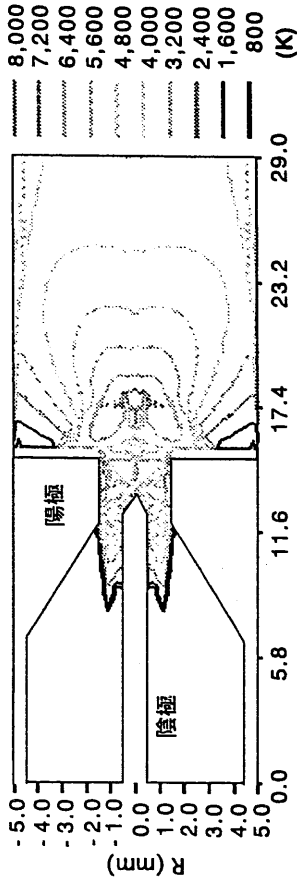
$$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t} \quad \nabla \times B = \mu_0 j + \frac{1}{c^2} \frac{\partial E}{\partial t}$$



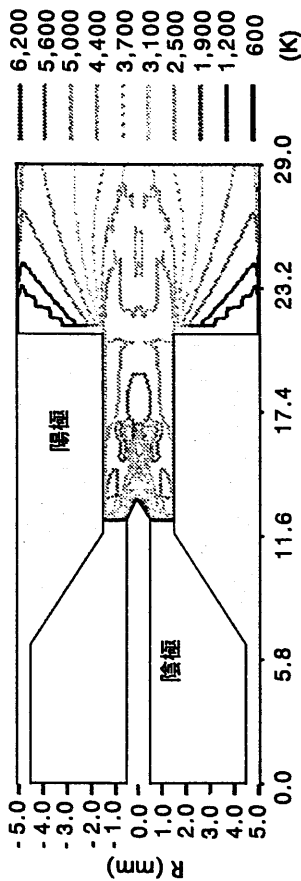
プラズマ流の定式化

計算条件

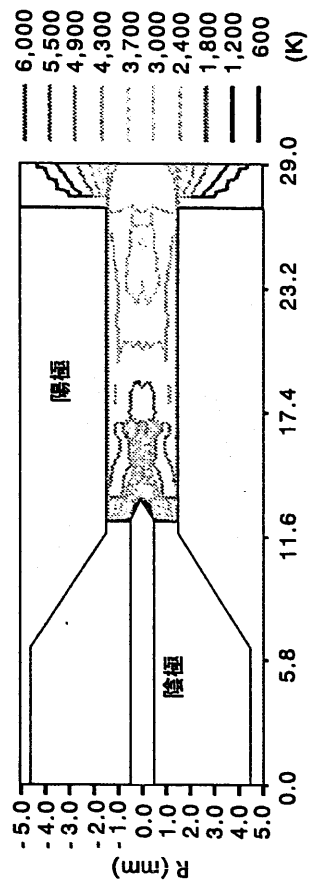
ノズル拘束比	1.0、2.0、3.0、4.0、5.0
メッシュサイズ	X軸方向=0.1mm、z軸方向=0.1mm
作動ガス成分	アルゴン：窒素=2：1
作動ガス	圧力=3.5kg/cm ² 、流速=70m/sec
発振機電源	電流=250A、電圧=65V



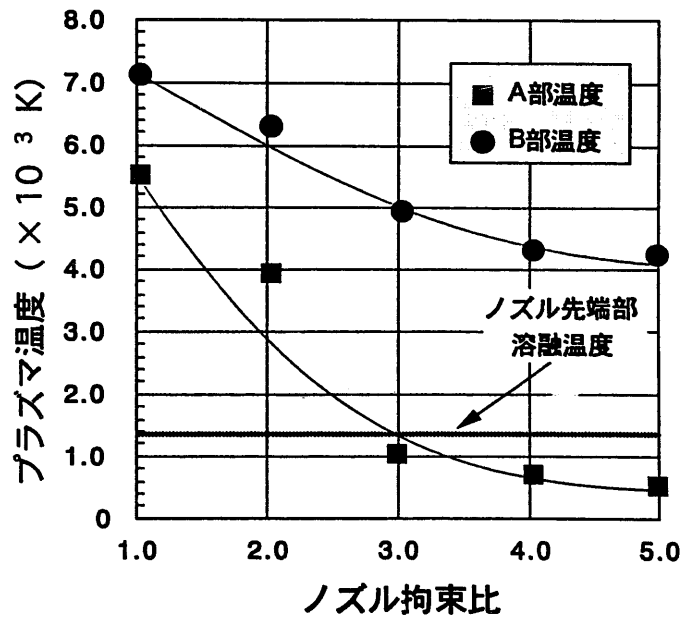
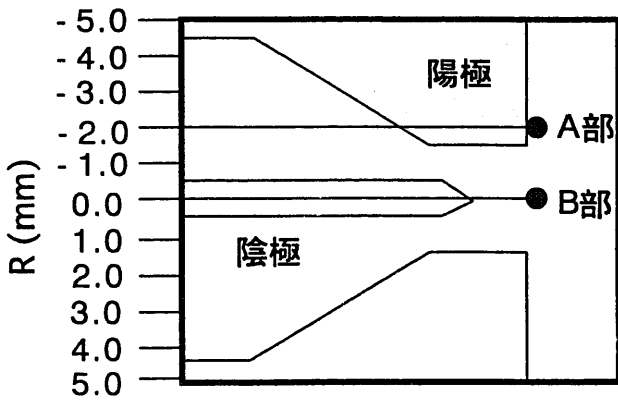
プラズマの温度分布 (ノズル拘束比 1.0)



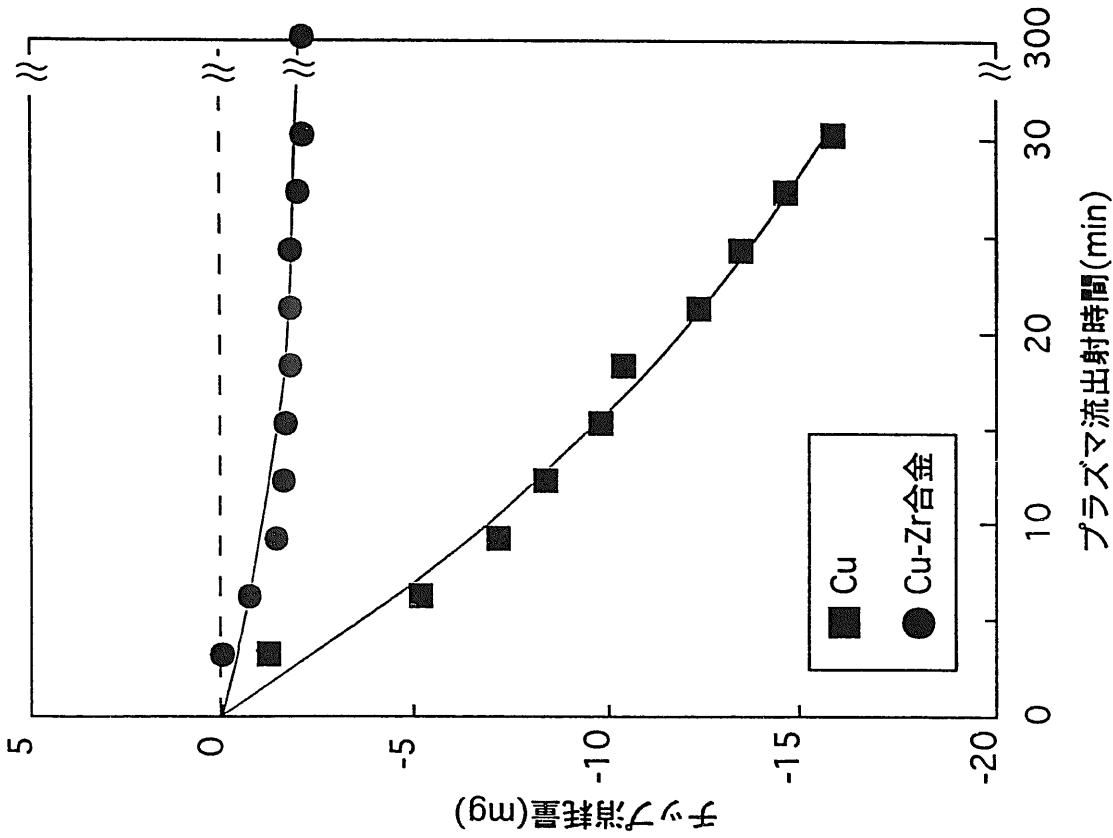
プラズマの温度分布 (ノズル拘束比 3.0)



プラズマの温度分布 (ノズル拘束比 5.0)



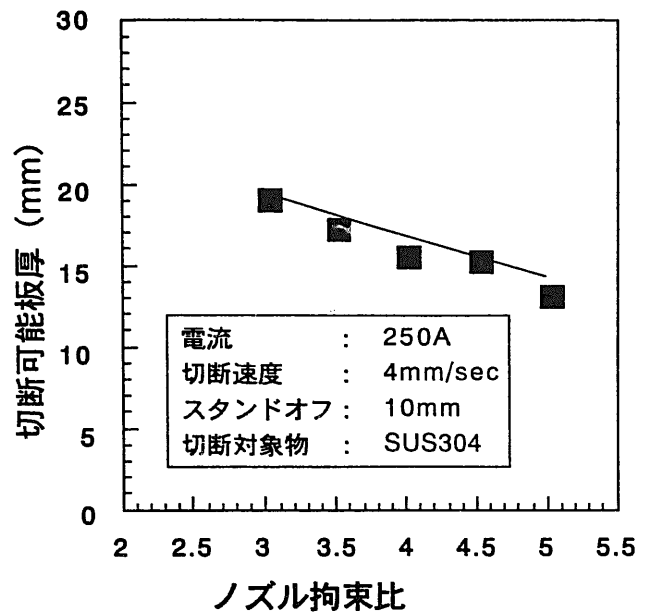
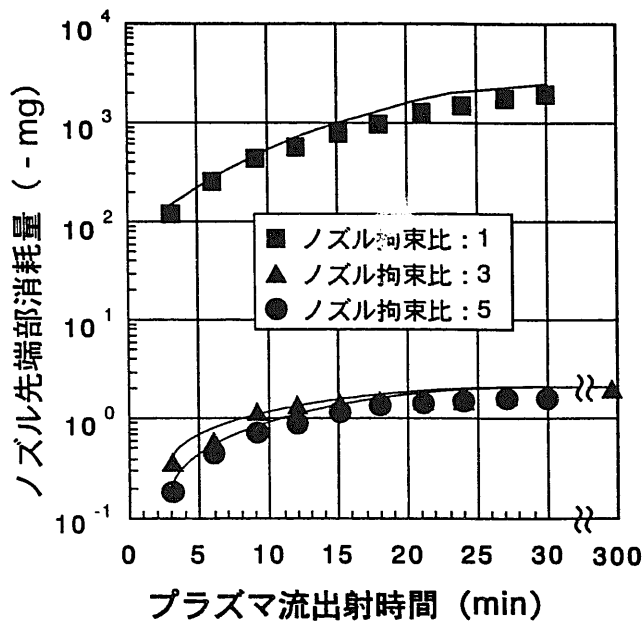
ノズル先端部のプラズマ温度



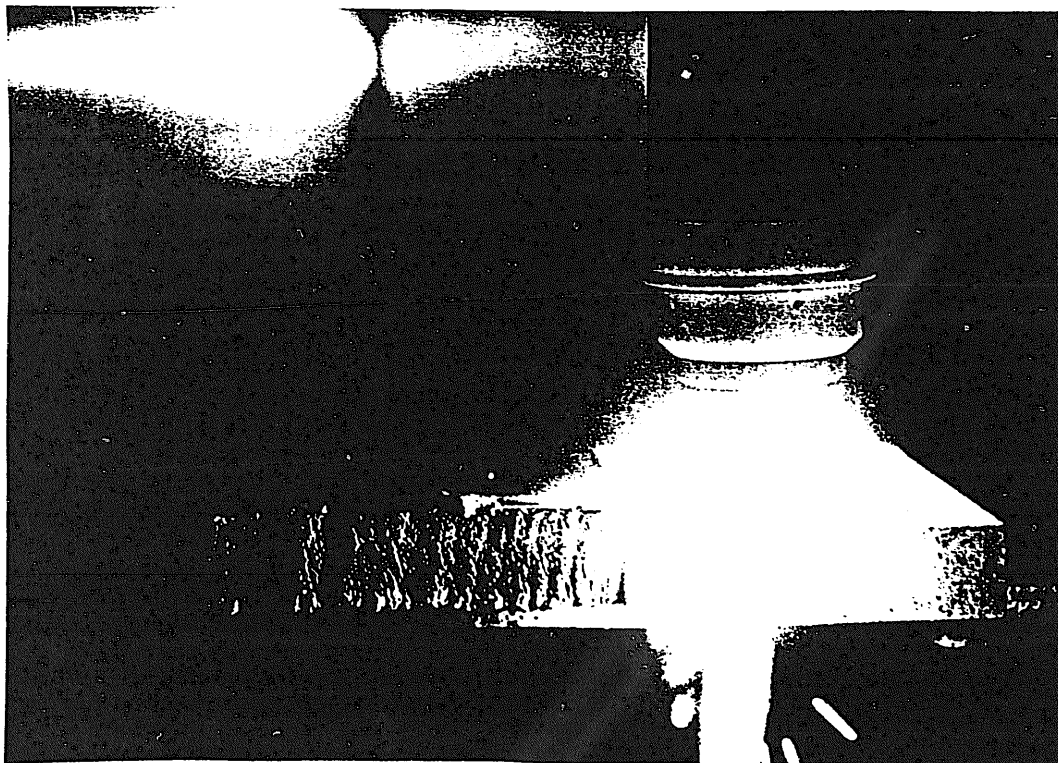
チップ消費量の比較

プラズマ流の緊縮性

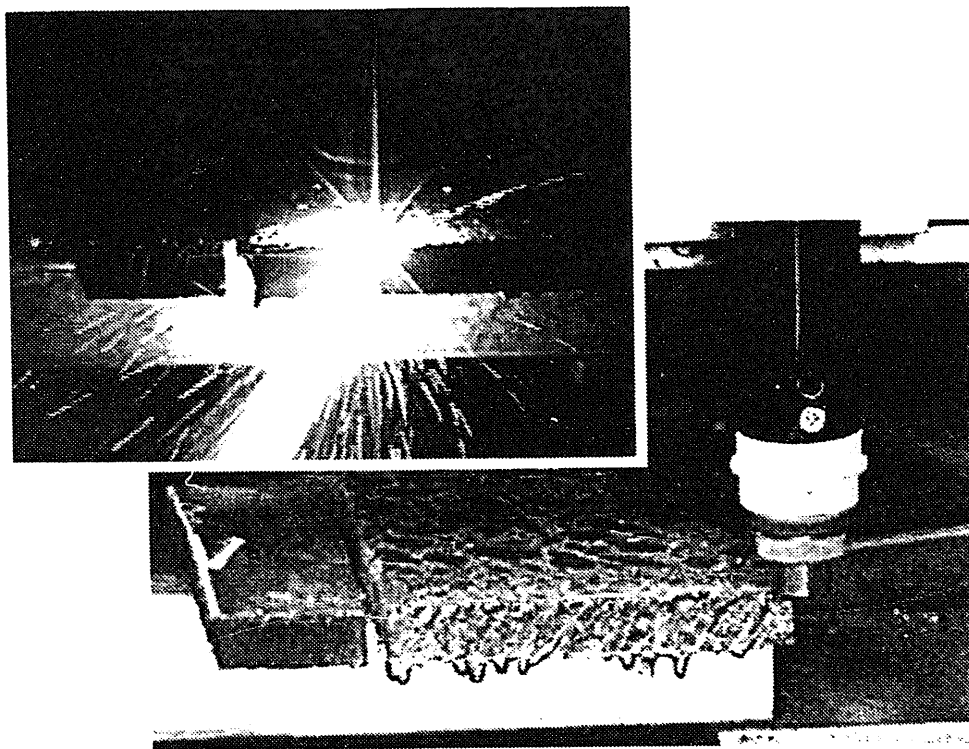
ノズル拘束比	ノズル径(mm)	拘束部長さ(mm)	プラズマ流形状
1	3	3	
3	3	9	
5	3	15	



ノズル先端部耐久性及び切断性能



金属及び非金属の切断状況 (SUS、耐火レンガ)

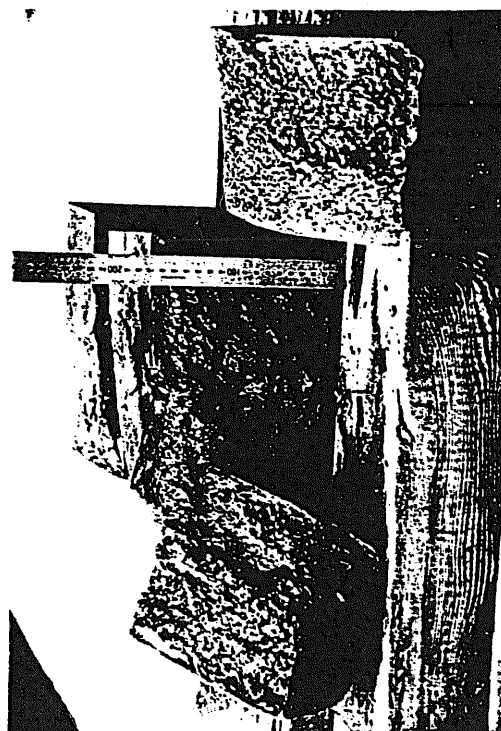


金属及び非金属の切断状況 (SS、重コン)

OEC/PNC



耐火レンガへの熱衝撃



破砕した耐火レンガ

OEC/PNC

遠隔操作技術のニーズ

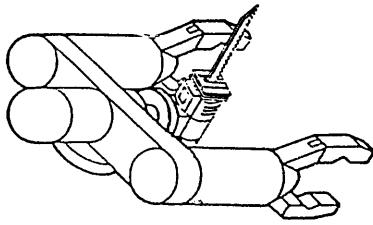
- 作業者の安全性確保
- 作業スペースの制限
- デコミ対象設備、機器の複雑な配置など

OEC/PNC

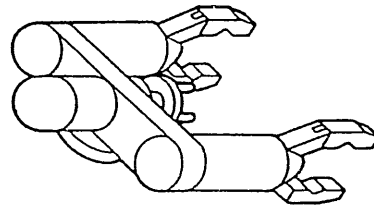
遠隔操作技術の開発

- 目的** : 安全な作業と合理化
- 方策** : 解体治工具(各種作業ツール)
ロボットによる搬送と着脱
治工具の軽量化と性能
- 課題** : ロボットの制御方式

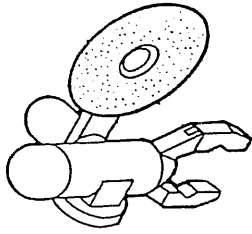
OEC/PNC



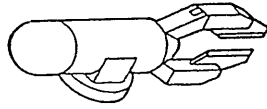
レーザー治具



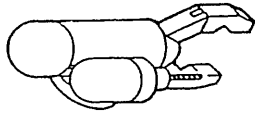
バルブ回転治具



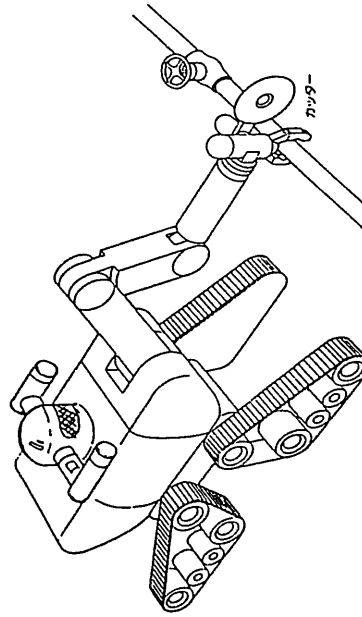
切断治具



カッター治具

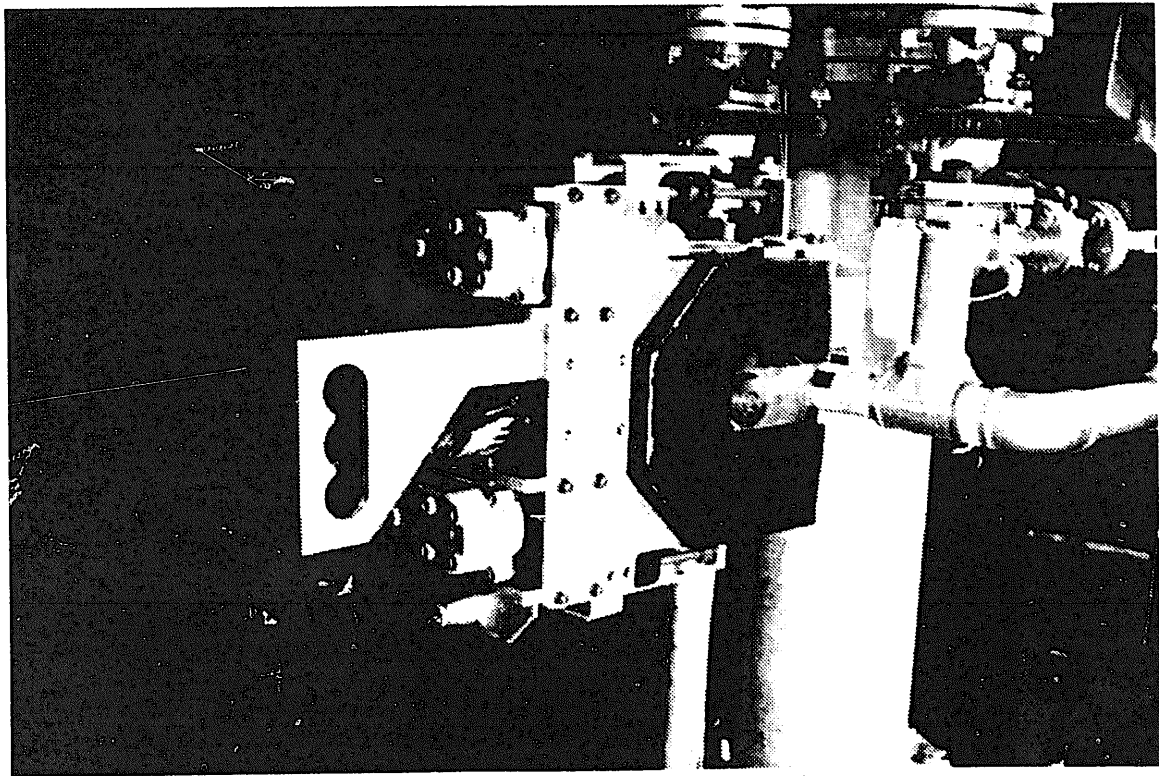


穴あけ治具

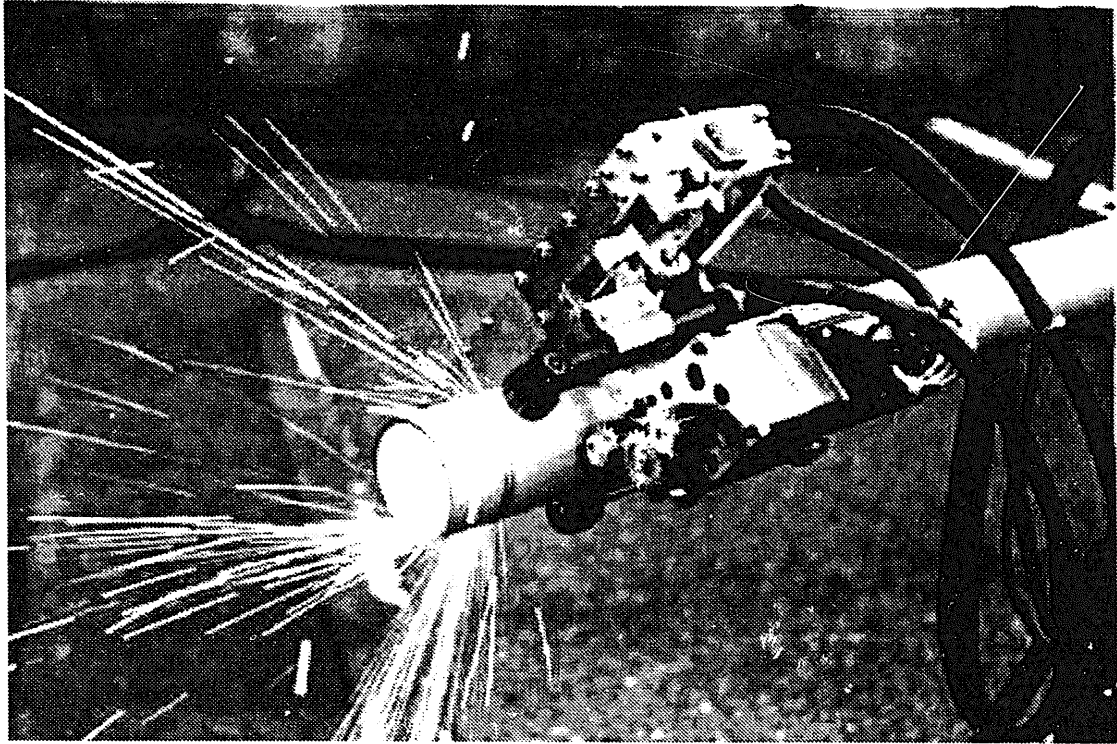


解体用ロボット

作業ツールの概念

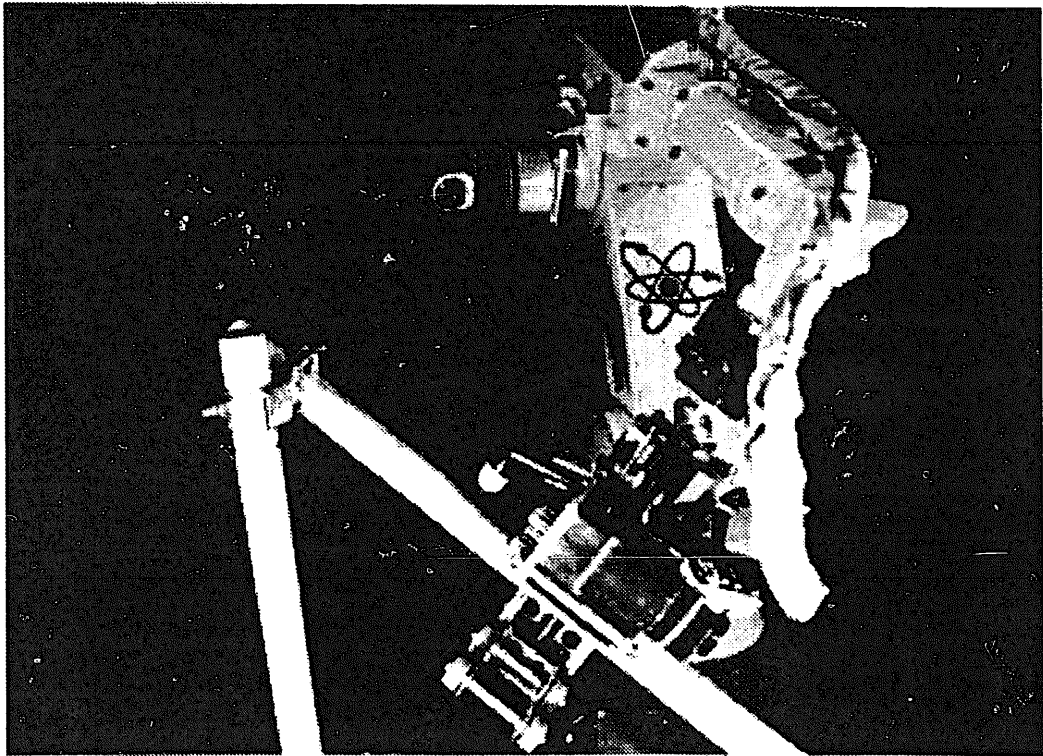


メタルソーツール



プラズマツール

OEC/PNC



A T C によるツールの着脱状況

OEC/PNC

今後の課題

- 測定技術 : 定量測定技術
- 除染技術 : 徹底除染技術(再利用)
- 解体技術 : 金属・非金属の切断技術
- 遠隔技術 : ツール操作用制御技術

OEC/PNC

将来展望

- シミュレーション技術の開発
- デコミ用レーザーツールの開発
- 再利用技術の開発
- デコミ作業用ロボットの開発

OEC/PNC