JAEA-Technology
2013-040

プラズマアーク切断工法による炉内溶融金属等の取出しに向けた技術開発

R&D of the Fuel Debris Removal Technologies by Plasma Arc Cutting Technology

中村 保之　手塚 将志　岩井 紘基　佐野 一哉
Yasuyuki NAKAMURA, Masashi TEZUKA, Hiroki IWAI and Kazuya SANO

敦賀本部
原子炉廃止措置研究開発センター
技術開発部
Technology Development Department
Fugen Decommissioning Engineering Center
Tsuruga Head Office

February 2014
Japan Atomic Energy Agency　日本原子力研究開発機構

JAEA-Technology

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ（http://www.jaea.go.jp）
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構　研究技術情報部　研究技術情報課
〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2014

JAEA-Technology 2013-040

プラズマアーク切断工法による炉内溶融金属等の取出しに向けた技術開発

日本原子力研究開発機構　敦賀本部　原子炉廃止措置研究開発センター
技術開発部
中村　保之、手塚　将志、岩井　紘基、佐野　一哉

(2013 年 10 月 16 日　受理)

東京電力株式会社　福島第一原子力発電所(以下、「1F」という)は炉心溶融に至ったと報告されており、炉内構造物は原形を留めておらず、溶融燃料と混在し複雑狭隘な状態にあると想定される。このような状態の中、溶融再凝固した炉内構造物の取出しに向けて、水中切断が可能なプラズマアーク切断技術（以下、「プラズマ切断」という）について、装置の切断能力を把握するために、切断試験により切断雰囲気(気中、水中)やスタンドオフ等の切断条件が切断能力に及ぼす影響を確認した。

切断試験では、最大出力電流 600A のプラズマ電源を用いてプラズマ出力、プラズマガス及びシールドガスの各流量、スタンドオフ等の試験条件をパラメータとした。また、試験体材質は、1F の炉内構造物に主に使用されている SUS304 及び比較のために汎用炭素鋼である S45C の 2 種類の一般鋼材を用いるとともに、試験体形状は、連続的に切断深さのデータが取得できる矢型形状を用いて、各条件の下で切断性能を確認した。

今回の切断試験を通して基礎的な切断データを取得できたことから、今後は、実機への適用を考慮して切断前の試験体への予熱付与や切断方向等を加味した切断条件下で切断能力を確認するとともに、その確認結果を踏まえ、プラズマアーク切断工法が適用可能な導電体を対象として、1F の燃料被覆管（ジルコニウム合金：Zry-2）と主な炉内構造物（ステンレス鋼：SUS304）との炉内溶融金属を模擬した試験体等を用いて切断データを取得し、切断性能の確認、評価を行う計画である。

原子炉廃止措置研究開発センター：〒914-8510　福井県敦賀市明神町 3 番地

JAEA-Technology 2013-040

R&D of the Fuel Debris Removal Technologies by Plasma Arc Cutting Technology

Yasuyuki NAKAMURA, Masashi TEZUKA, Hiroki IWAI and Kazuya SANO

Technology Development Department,
Fugen Decommissioning Engineering Center, Tsuruga Head Office,
Japan Atomic Energy Agency
Myojin-cho, Tsuruga-shi, Fukui-ken

(Received October 16, 2013)

It was reported that Fukushima Daiichi nuclear power plant (1F) had been lost the function of cooling the reactor by the Tohoku Earthquake. It is assumed that the original shapes of the internal core are not be kept and the inside of the reactor make so narrow in the space, however the fuel debris and the molten internal core will have to be removed for the decommissioning of 1F. The cutting methods for those removal works will have to be selected depending on the situation of the inside of the reactor.

In consideration of above situations, the plasma-arc cutting method, Fugen has much data of underwater cutting for the reactor dismantling and there are experiences of the reactor dismantling in both domestic and international, will be being developed for the fuel debris removal works and so on.

In the fiscal year 2012, in order to confirm the cutting performance of the plasma-arc cutting machine, the cutting tests were carried out to acquire the fundamental data.

In near future, based on these data, it will be planned to confirm that the effect of the pre-heating of metal and the cutting directions and so on to the cutting performance. Moreover, for confirming the applicability to 1F, the specimen, mixed the Zry-2 of the fuel cladding and the SUS304 of the internal core, will be made and the cutting test will be carried out to evaluate the cutting performance.

Keywords: Plasma Cutting, Fukushima-Daiichi NPS, Dismantlement

目　次

1. 緒言 1
2. プラズマアーク切断工法による切断試験 2
2.1 目的 2
2.2 試験期間 2
2.3 試験装置 2
2.4 試験体 3
2.5 試験方法 3
2.6 試験項目 3
2.7 ガソリン切断工法による事前確認試験 4
2.8 試験条件 4
2.9 試験結果及び評価 4
2.10 考察 7
3. 結言 9
参考文献 9
付録　切断試験データシート 19

Contents

1. Introduction 1

2. Plasma-arc Cutting Tests 2

2.1 Objective 2
2.2 Test Periods 2
2.3 Test Devices 2
2.4 Specimen 3
2.5 Method of the Cutting Test 3
2.6 Contents of the Cutting Test 3
2.7 Pre-test by Oxy Gasoline Cutting 4
2.8 Condition of the Cutting Tests 4
2.9 Results of the Cutting Test 4
2.10 Discussion 7

3. Conclusion 9

References 9

Appendix Data sheet of Cutting Tests 19

表リスト

表 1　200A 出力プラズマアーク切断装置 主要仕様 15
表 2　600A 出力プラズマアーク切断装置 主要仕様 15
表 3　電極の融点及び沸点 15
表 4　水中試験用タンク主要仕様 15
表 5　試験体仕様 16
表 6　主な試験条件 16
表 7　ガス流量とノズル径から試算される流速 16
表 8　200A 出力プラズマ切断装置による切断試験結果 17
表 9　600A 出力プラズマ切断装置による切断試験結果 18

図リスト

図 1　プラズマ切断装置 概略構成図 10
図 2　プラズマ切断 概念図 10
図 3　切断トーチの概念図 10
図 4　水中試験用タンク概略図 11
図 5　水中試験用タンク及びプラズマアーク切断装置 外観写真 11
図 6　切断トーチ外観写真(SUPER600) 12
図 7　試験体 概略図 12
図 8　試験体 外観写真 12
図 9　試験体 切断方向 13
図 10　切断雰囲気(水深)による影響 13
図 11　プラズマガスによる影響 13
図 12　シールドガスによる影響 13
図 13　スタンドオフによる影響 14
図 14　損傷トーチ 写真 14
図 15　ノズル径による影響 14

This is a blank page.

1. 緒言

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災により、東京電力株式会社 福島第一原子力発電所(以下、「1F」という)は炉心冷却機能を喪失し炉心溶融に至ったと報告されている。今後、廃止措置を進めるに当たっては、溶融燃料や炉内構造物等を撤去する必要があるが、これらは原形を留めておらず、溶融燃料が炉内構造物等と混在した状態で再凝固した燃料デブリとなっており、複雑狭隘な状況にあると想定される。このような状態においても安全かつ確実に切断撤去作業を進めるためには、切断対象である燃料デブリや溶融した炉内構造物の状況に応じて柔軟に切断技術を選定する必要がある。

原子炉廃止措置研究開発センター（以下、「ふげん」という）は自らの原子炉解体に向けて、国内外の原子炉廃止措置への適用実績があり、水中でも使用可能であるプラズマアーク、アブレイシブウォータージェット(以下、「AWJ」という)及び近年開発が著しくエネルギー変換効率が高いレーザ等の各切断工法について、気中及び水中にて切断試験を実施し技術開発を進めてきた。このため「ふげん」では、これら知見を有する切断工法のうち、熱的切断技術であるプラズマアーク切断工法及び機械的切断技術である AWJ 切断工法について、種々の切断試験を通して、燃料デブリ及び溶融した炉内構造物等の取出し作業に適用可能か確認、評価し、技術開発を進めることとした。本稿では、2012 年度に行ったプラズマアーク切断工法による切断試験結果等を報告する。

プラズマアーク切断工法について、種々の切断条件におけるプラズマアーク切断装置の切断能力を確認するため、気中及び水中で適用可能な試験装置を用意し、試験体は 1F の炉内構造物に主に使用されているステンレス鋼材である SUS304 と比較評価を行うために、汎用炭素鋼材である S45C の 2 種類の一般鋼材を用いて切断試験を実施し、基礎的な切断データとして、プラズマ出力、プラズマ及びシールドガスの流量、スタンドオフ等の切断条件が切断能力に及ぼす影響について確認を行った。

今回の切断試験を通して基礎的な切断データを取得できたことから、今後は、実機への適用を考慮して、切断前の試験体への予熱付与や切断方向等を考慮した切断条件下で切断能力を確認するとともに、その確認結果を踏まえ、プラズマアーク切断工法が適用可能な金属（導電体）を対象として、1F の燃料被覆管（ジルコニウム合金：Zry-2）と主な炉内構造物（ステンレス鋼：SUS304）との炉内溶融金属を模擬した試験体等を用いて切断データを取得し、切断性能の確認、評価を行う計画である。

2. プラズマアーク切断工法による切断試験

2.1 目的

これまでに「ふげん」は、自らの原子炉解体に向けた技術開発の一環として、プラズマアーク切断装置を用いて種々の切断条件を設定して水中切断試験を実施しており、切断板厚に対して切断速度が適切ではない場合はプラズマアークが失火すること、連続的な切断の実現には切断ドロスの排出が重要であること、切断速度及びプラズマガス種類等が切断時に発生する粉じんの発生量並びに水中切断時の気中・水中への移行率に影響を与えること等の多くの知見を有している[1)、2)、3)、4)]。

上記の「ふげん」におけるプラズマアーク切断技術による切断試験実績及び知見を活用し、1F の燃料デブリ及び溶融再凝固した炉内構造物の取出しに向けてプラズマ切断装置を用いて、一般鋼材に対する切断試験を行い、基礎的な切断データを取得し、出力に対する切断可能板厚やスタンドオフ（トーチ先端から切断対象物までの距離）等が切断能力に及ぼす影響を把握することを目的とする。

2.2 試験期間

2013 年 3 月 12 日～2013 年 3 月 27 日（このうち試験は 8 日間）

2.3 試験装置

試験装置は、200A 出力プラズマ電源装置、600A 出力プラズマ電源装置及び切断トーチやガス流量コントロールボックス等のプラズマアーク切断装置一式、水中試験においては水中試験用タンクを使用する。図 1 にプラズマ切断装置の概略構成図を示す。また、図 2 にプラズマ切断の概念図を示す。

(1) プラズマ電源装置

200A 出力プラズマアーク切断装置(以下、「MAX200」)の主要仕様を表 1 に、600A 出力プラズマアーク切断装置(以下、「SUPER600」)の主要仕様を表 2 に示す。装置外観写真を図 5 に示す。

(2)切断トーチ

MAX200 の切断トーチは、炭素鋼(特に薄板)の切断用の設計のため、電極に酸化物の融点が高いハフニウム(Hf)を使用しており、電極の消耗を抑えるために、水冷の銅棒に埋め込み、更に先端をフラット形状としている。フラット部分でのアーク放電位置を中央に安定させるために、プラズマガスを旋回流としている(図 3 (a)旋回流方式)。

一方、SUPER600 の切断トーチは、酸素の不使用及び厚板切断用の設計のため、融点の高いタングステン(W)を使用している。こちらは融点が高くフラット形状にする必要がないため、プラズマガスは軸流としている。旋回流は、プラズマガスが広がりやすいが、軸流は、直進性が高く厚板切断に向いている(図 3 (b)軸流方式)。各電極材質の融点及び沸点を表 3 に示す。

(3) 水中試験用タンク及び試験装置

水中試験用タンクの主要仕様を表 4 に示す。概略図及び外観写真を図 4、5、6 に示す。

2.4 試験体

試験体は、連続的に切断深さのデータを取得するために矢型形状とし、材質は 1F の炉内構造材で主に使用されているステンレス鋼である SUS304 及び、比較のために汎用炭素鋼である S45C の 2 種類の一般鋼材を選定した。試験体仕様を表 5、試験体の概略図を図 7、外観写真を図 8 に示す。

2.5 試験方法

従来「ふげん」で行ってきた切断試験では、切断トーチを垂直に設置してプラズマガスを下方向に噴射して垂直下向きでの切断であったが、今回の切断試験では、垂直下向き切断と比較して切断ドロスの排出が困難と想定される水平横向き切断での切断能力を確認できるよう、切断トーチを図 5 に示す通り水中試験体タンクの側面から接続し、試験体駆動装置により図 9 に示す様に試験体を水平横向きに移動させて切断を実施した。また、今回の試験では、国内最大級であるプラズマ出力 600A の性能を有し、前述の通り MAX200 とはトーチ構造（プラズマ送流方式）が異なる SUPER600 の装置における切断能力を確認するため、気中及び水中にて切断試験を実施した。

2.6 試験項目

本切断試験では、以下の項目について試験を行った。

(1) 切断雰囲気による切断能力影響確認試験

1F の燃料デブリ取出作業は、福島第一原子力発電所廃止措置ロードマップによれば、作業被ばく低減等の観点から圧力容器及び格納容器を水で満たした後に実施する計画とされている。このため、切断時の水中雰囲気が切断能力に及ぼす影響を確認した。また、水深による影響も合わせて確認した。

(2) プラズマガスによる切断能力影響確認試験

プラズマアーク切断工法は、図 2 に示すとおり、導電性のある切断対象物と切断トーチ間に高温のプラズマアークを発生させ、対象物を溶融し、更にプラズマガスで溶融物を除去することで切断を行う工法である。このため、プラズマガスの種類及び流量が切断能力に及ぼす影響を確認した。なお、プラズマガスの種類は、一般的に切断する対象物の材質に応じて使い分けを行うものであり、今回の試験で主に切断対象とするステンレス鋼は、含有しているクロム及びニッケルが酸化することで融点が上昇(SUS304：融点 約 1450℃、酸化クロム：融点 約 2435℃、酸化ニッケル：融点 約 1955℃)するため、プラズマガスに酸素（O_2）は使用せず、アルゴン（Ar）と窒素（N_2）の混合ガスやアルゴン（Ar）と水素（H_2）の混合ガスを使用した。

(3)シールドガスによる切断能力影響確認試験

特に気中におけるシールドガスの役目は、図 2 に示すとおり、プラズマガス噴流の外側に噴射してプラズマアークの周囲を冷却することでサーマルピンチ効果によりプラズマアークが収斂し、エネルギー密度が高くなることで切断能力の向上が図られる。また、水中においては、水中に空洞を形成することによりプラズマガス噴流を保護する役割がある。このため、シールドガスの流量の増減が切断能力に及ぼす影響を確認した。

(4)スタンドオフによる切断能力影響確認試験

切断対象である溶融炉内構造物の表面は平滑ではない可能性が高いことが想定される。このような構造物を切断するためには、切断対象物と切断トーチの距離(スタンドオフ)の変動に対する裕度が求められる。この他、狭隘構造のために切断トーチを近づけることが困難な場合も想定されることから、スタンドオフの増減による切断能力の影響を確認した。

(5) 切断トーチ(ノズル径)による切断能力影響確認試験

プラズマガスの流量を一定とした場合、プラズマガスを噴射させるノズルの径により出口流速や噴射の広がりに影響を及ぼす。このため、切断トーチ部のノズル径が切断能力に及ぼす影響を確認した。

2.7 ガソリン切断工法による事前確認試験

一般的に熱的切断技術は、切断前の切断対象物への入熱（予熱）が切断能力に与える影響が大きい特徴がある。このため、プラズマアーク切断試験へ反映するため、試験に先立ち、プラズマアーク切断工法と同じ熱的切断技術であり、「ふげん」の廃止措置で使用しているガソリン切断工法を用いて、予熱の影響確認を行った。また、ガソリン切断工法は酸化反応熱を利用する切断工法であるため、炭素鋼に対する切断能力が高い半面、原理的には酸化反応性が低いステンレス鋼の切断は困難とされていることから、材質の違いを含めて確認を行った。

その結果、予熱に関しては、板厚 150mm 以上の炭素鋼（S45C）の切断に際しては、試験体に約 2 分以上の予熱を与えることで所定の切断能力が発揮されたことを確認できたことから、プラズマアーク切断試験においては、予熱を考慮した試験方法に反映することとした。なお、板厚 10mm のステンレス鋼（SUS304）の単体切断は予想通り切断できないことを確認した。

2.8 試験条件

主な試験条件を表 6 に示す。

2.9 試験結果及び評価

試験結果一覧を表 8、9 に示す。これまでに「ふげん」が知見を有する MAX200 について、ドロス排出が困難である水平横向き切断における切断能力を確認するとともに、高出力プラズ

マ電源である SUPER600 について、各プラズマ切断条件変更による基礎的な切断データを取得することができた。また、熱的切断技術の特徴である切断前の予熱が切断能力に寄与することに関して、プラズマ切断工法においても踏襲されることを確認した。

なお、カーフ幅は、全体の試験を通して、気中よりも水中の方が狭く、出力に応じて広くなることを確認した。気中において出力 600A で SUS304 を切断した場合、カーフ幅は約 10mm から 20mm 程度と比較的広く、水中では若干狭くなるものの、10mm 以上であった。

各試験の結果を以下に示す。

(1) 切断雰囲気による切断能力影響確認試験

(1)-1 MAX200 を使用した場合

プラズマ切断条件(出力 200A、プラズマガス：Ar+N_2/16+7L/min、シールドガス：Air/80L/min、切断速度：60mm/min、スタンドオフ：5mm、ノズル径：φ4.2mm、切断雰囲気：気中、水中(水深 0.5、2m))において、切断雰囲気(気中、水中)による切断能力への影響確認試験を実施した。

試験結果をグラフ化したものを図 10 に示す。主に以下について確認した。

・気中において、SUS304 を板厚 70mm まで切断可能

・水中(水深 0.5m)において、SUS304 及び S45C を板厚 50mm まで切断可能

・水深 2m において水深 0.5m と同様に SUS304 を板厚 50mm まで切断可能

(2) プラズマガスによる切断能力影響確認試験

(2)-1 MAX200 を使用した場合

プラズマ切断条件(出力 200A、プラズマガス：Ar+N_2/16+7、16+16、7+16、10+22、22+10L/min、シールドガス：Air/80L/min、切断速度：60mm/min、スタンドオフ：5mm、ノズル径：φ4.2mm、切断雰囲気：水中(水深 0.5m))において、プラズマガスによる切断能力への影響確認試験を実施した。

・試験結果をグラフ化したものを図 11(1)に示す。主に以下について確認した。

・プラズマガス Ar+N_2/16+7L/min において、SUS304 を板厚 50mm まで切断可能

・プラズマガス Ar+N_2 / 16+16、7+16、22+10、10+22L/min で SUS304 において、板厚 40mm まで切断可能

(2)-2 SUPER600 を使用した場合

プラズマ切断条件(出力 600A、プラズマガス：Ar+H_2/40+20、60+20、60+30、60+40L/min、シールドガス：Air/40L/min、切断速度：40、50mm/min、スタンドオフ：10mm、ノズル径：φ4.5mm、切断雰囲気：水中(水深 0.5m))において、プラズマガスによる切断能力への影響確認試験を実施した。

試験結果をグラフ化したものを図 11(2)に示す。主に以下について確認した。

・プラズマガス Ar+H_2/40+20、60+30L/min において、SUS304 を板厚 100mm まで切断可能

・プラズマガス Ar+H_2/60+20L/min において SUS304 を板厚 96mm まで切断可能

・プラズマガス Ar+H_2/60+40L/min において SUS304 を板厚 90mm まで切断可能

(3) シールドガスによる切断能力影響確認試験

(3)-1 MAX200 を使用した場合

プラズマ切断条件(出力 200A、プラズマガス : Ar+N_2/16+7L/min、シールドガス : Air/80、160L/min、切断速度 : 60mm/min、スタンドオフ : 5mm、ノズル径 : φ4.2mm、切断雰囲気 : 水中(水深 0.5m))において、シールドガスによる切断能力への影響確認試験を実施した。

試験結果をグラフ化したものを図 12(1)に示す。主に以下について確認した。

・シールドガス流量 80L/min において、SUS304 を板厚 50mm まで切断可能

・シールドガス流量 160L/min において、SUS304 を板厚 40mm まで切断可能

(3)-2 SUPER600 を使用した場合

プラズマ切断条件(出力 600A、プラズマガス : Ar+H_2/60+30L/min、シールドガス : Air/20、40、60、80L/min、切断速度 : 50mm/min、スタンドオフ : 10mm、ノズル径 : φ4.5mm、切断雰囲気 : 水中(水深 0.5m))において、シールドガスによる切断能力への影響確認試験を実施した。なお、MAX200 の試験結果を参考にし、流量は 80L/min 以下とした。

試験結果をグラフ化したものを図 12(2)に示す。主に以下について確認した。

・シールドガス流量 20L/min において、SUS304 を板厚 90mm まで切断可能

・シールドガス流量 40、60、80L/min において、SUS304 を板厚 100mm まで切断可能

(4) スタンドオフによる切断能力影響確認試験

(4)-1 MAX200 を使用した場合

プラズマ切断条件(出力 200A、プラズマガス : Ar+N_2/16+7L/min、シールドガス : Air/80L/min、切断速度 : 60mm/min、スタンドオフ : 5、10、15mm、ノズル径 : φ4.2mm、切断雰囲気 : 水中(水深 0.5m))において、スタンドオフによる切断能力への影響確認試験を実施した。

試験結果をグラフ化したものを図 13(1)に示す。主に以下について確認した。

・スタンドオフ 5mm において、SUS304 を 50mm まで切断可能

・スタンドオフ 10mm において、SUS304 を板厚 40mm まで切断可能

・スタンドオフ 15mm の場合、パイロットアークからメインアークに移行せず切断不可

・スタンドオフ 10mm について再試験を実施した結果、上記と同条件でもメインアークに移行せず切断不可

(4)-2 SUPER600 を使用した場合

プラズマ切断条件(出力 600A、プラズマガス : Ar+H_2/60+30L/min、シールドガス : Air/40L/min、切断速度 : 50mm/min、スタンドオフ : 10mm、ノズル径 : φ4.5mm、切断雰囲気 : 水中(水深 0.5m))において、スタンドオフによる切断能力への影響確認試験を実施した。

試験結果をグラフ化したものを図 13(2)に示す。主に以下について確認した。

・スタンドオフ 5mm において、SUS304 を板厚 100mm まで切断可能であったが、図 14 に示すとおり、表側に噴出したドロスの影響により切断トーチが損傷

・スタンドオフ 10mm において、SUS304 を板厚 100mm まで切断可能であり、切断トーチの損傷なし

(5) 切断トーチ(ノズル径)による切断能力影響確認試験

(5)-1 MAX200 を使用した場合

プラズマ切断条件(出力 200A、プラズマガス：Ar+N_2/7+16L/min、シールドガス：Air/160L/min、切断速度：50mm/min、スタンドオフ：5mm、ノズル径：φ4.2mm、切断雰囲気：水中(水深 0.5m))において、ノズル径による切断能力への影響確認試験を実施した。

試験結果をグラフ化したものを図 15(1)に示す。主に以下について確認した。

・ノズル径φ4.2mm において、SUS304 を板厚 50mm まで切断可能

・ノズル径φ4.8mm において、SUS304 の板厚 50mm を切断不可

(5)-2 SUPER600 を使用した場合

プラズマ切断条件(出力 600A、プラズマガス：Ar+H_2/50+25L/min、シールドガス：Air/40L/min、切断速度：50mm/min、スタンドオフ：10mm、ノズル径：φ4.5、5.5mm、切断雰囲気：水中(水深 0.5m))において、ノズル径による切断能力への影響確認試験を実施した。

試験結果をグラフ化したものを図 15(2)に示す。主に以下について確認した。

・ノズル径φ4.5mm において、SUS304 を板厚 100mm まで切断可能

・ノズル径φ5.5mm において、SUS304 の板厚 100mm を切断不可

2.10 考察

(1) 切断雰囲気による切断能力影響確認試験

水中での切断は、気中と比較して切断板厚が減少するが、これはプラズマ及びシールドガスの放出が水の抵抗により阻害されることが影響していると考えられる。また、事前確認試験により、熱的切断工法による切断は、切断対象物に十分な予熱を与えることが重要であることを確認しているが、試験体が水に接していることから、プラズマアークにより加熱した熱が水を経由して放熱されることにより、試験体の溶融の妨げやドロス凝固の促進により切断能力が低下したと考えられる。なお、空気の熱伝導率が約 0.024W/m･K に対し、水は約 0.58W/m･K であり、一桁以上熱の伝わり方が速い。

これらの結果から､水中切断を行う場合は､気中切断以上に熱量を加える必要があるため、切断トーチのインチング動作による試験体への入射熱付与や試験体への予熱及びドロス排出を促進させるためにプラズマガス及びシールドガスのガス圧を上げることで切断能力向上が期待される。

(2) プラズマガスによる切断能力影響確認試験

同出力(電流)において、プラズマアークの熱量を増加させるためには、アーク電圧をプラズマ電源の定格電圧まで上げた方が良い。プラズマガスである N_2 や H_2 の流量を増加させることでアーク電圧が上がるとされているが、今回の試験の範囲では、アーク電圧が顕著に上昇することはなく、流量が多すぎると切断能力は逆に低下することが分かった。この一つの要因としては、流量が多すぎるとプラズマアークが広がり、エネルギー密度が低下して切断能力が低下していることが考えられる。

これらの結果から、切断能力を向上させるためには、プラズマアークの広がりを抑制しつつ、ガス流量増加によるアーク電圧の上昇及びドロス排出効果を向上させることが重要と考えられる。

(3) シールドガスによる切断能力影響確認試験

シールドガスの目的は、サーマルピンチ効果によりプラズマアークを絞りエネルギー密度の高くすることと、水からプラズマガス噴流を保護することであるため、当初、流量は多い方が切断能力向上に寄与すると想定していたが、流量が多すぎると切断能力は低下した。これは、シールドガスがプラズマガスに混合、更には流れを阻害し、切断能力の低下に繋がったと考えられる。水中切断の場合は、水によりサーマルピンチ効果は促進されると考えられることから、シールドガスは、水からプラズマガス噴流を守るための最低限の流量であれば、十分であると考えられる。

(4) スタンドオフによる切断能力影響確認試験

MAX200 を用いた場合は、スタンドオフ 10mm でメインアークに移行する場合としない場合があったことから、実用上は 5mm 程度で使用する必要があることが分かった。また、SUPER600 を用いた場合は、スタンドオフ 10mm で安定して使用できたことから、プラズマ電源の定格電圧がスタンドオフを左右する一因と考えられる。今回、使用したプラズマ電源の定格電圧は、MAX200 が 150V、SUPER600 が 200V であり、これ以上のアーク電圧になると設定した定電流を維持できず失火する。アーク電圧は、スタンドオフが長くなるとアークを維持させるために上昇するため、定格電圧を超えて失火したと考えられる。

(5) 切断トーチ(ノズル径)による切断能力影響確認試験

プラズマガス及びシールドガスの条件が同じであってもノズルを変更すると切断能力に影響する。表 7 にガス流量とノズル径からノズル出口における流速を試算した。これによると SUPER600 の場合、ノズル径をφ4.5 からφ5.5 に拡大することで流速は、約 78.6m/sec から約 52.6m/sec に低下し、MAX200 の場合、ノズル径をφ4.2mm からφ4.8mm に変更することで 27.7m/sec から 21.2m/sec に低下する。また、ノズル径を太くすることでプラズマアークが拡がり、エネルギー密度は低下すると考えられる。

以上のことから、使用するプラズマ電源(出力)を考慮する必要があるが、ノズル径は細い方が、同流量であれば流速が速く、エネルギー密度も高くなり、切断能力は向上すると考え

られる。しかしながら、ノズル径が細すぎると、ノズル内部の電極と切断対象物間に発生させるプラズマアークがノズルに接触（シリーズアーク）してノズルを損傷させる可能性があることから、これらのバランスを考慮して最適なノズルを選択する必要がある。

(6) その他

今回の試験における主な切断方向は、切断がより困難と考えられる水平横向としており、試験体裏側にドロスが固着し切断不可となるケースが多く見られた。熱的切断の場合、いかにドロスを効率的に排出するかが切断のポイントであり、切断方向がドロス排出にどの程度影響があるか確認する必要がある。

3. 結言

今回の試験では、プラズマアーク切断の一般的な使用条件の下で一般鋼材に対する切断性能を確認したものであり、今後は、切断ヘッドのインチング動作による試験体への入射熱付与や切断方向等を加味した切断条件下で切断能力を確認するとともに、その確認結果を踏まえ、1F を想定した燃料被覆管（Zry-2）と炉内構造物（SUS304）の溶融再凝固を模擬した試験体等を用いて切断データを取得し、切断能力を確認する計画である。

また、1F の炉内は複雑狭隘であると想定され、適正距離よりも長めのスタンドオフを余儀なくされる箇所や表面の凸凹形状等の影響で切断板厚の急変等により失火する場合が想定されるが、このような状況においても当該部を切断取出しするという所期の目的を達成するために、プラズマアークを再発生させて複数回切断することで切り出しが可能であるか確認する計画である。

参考文献

1) 林他、“原子炉圧力管の水中熱的切断時の粉じん挙動試験”、日本原子力学会 2008 年秋の大会予稿集
2) 林他、“原子炉カランドリア管の水中熱的切断時の粉じん挙動試験”、日本原子力学会 2010 年春の年会予稿集
3) 中村他、“「ふげん」原子炉解体技術の検討状況 －熱的及び機械的切断工法による比較評価－”、日本原子力学会 2011 年春の年会予稿集
4) 岩井他、“熱的及び機械的切断工法による原子炉構造材の粉じん挙動評価”、日本原子力学会 2011 年春の年会予稿集

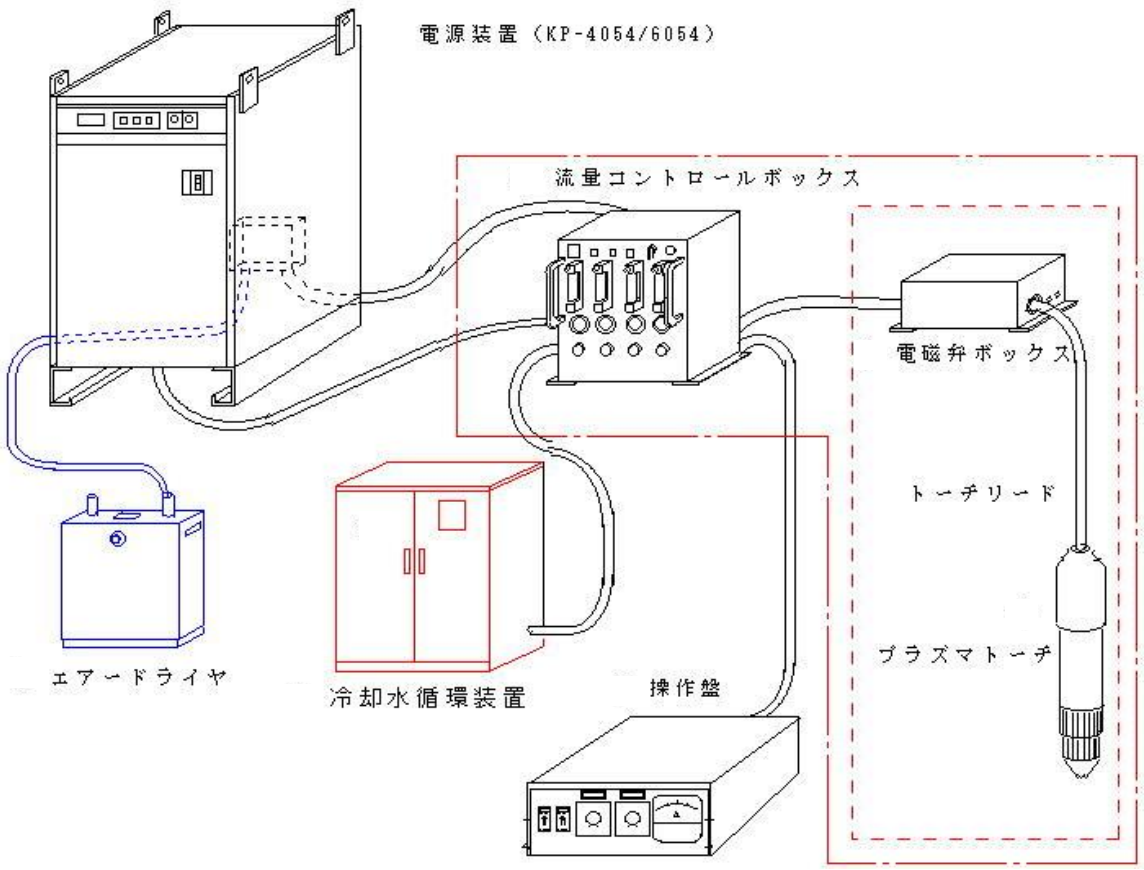


図 1　プラズマ切断装置 概略構成図

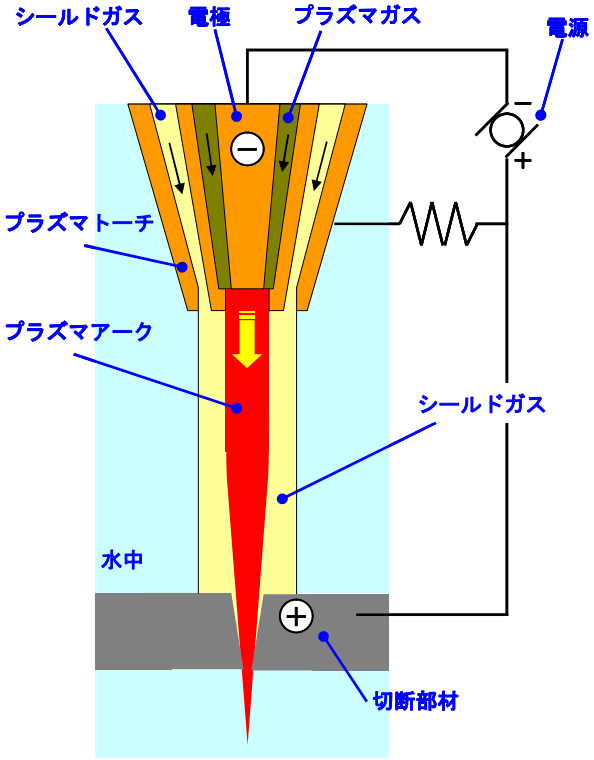


図 2　プラズマ切断 概念図

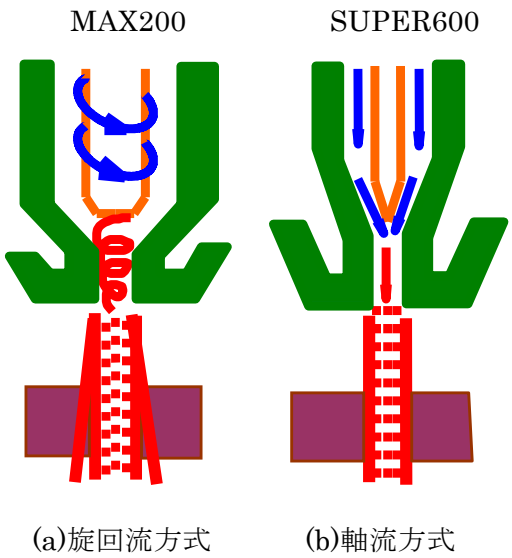


図 3　切断トーチの概念図

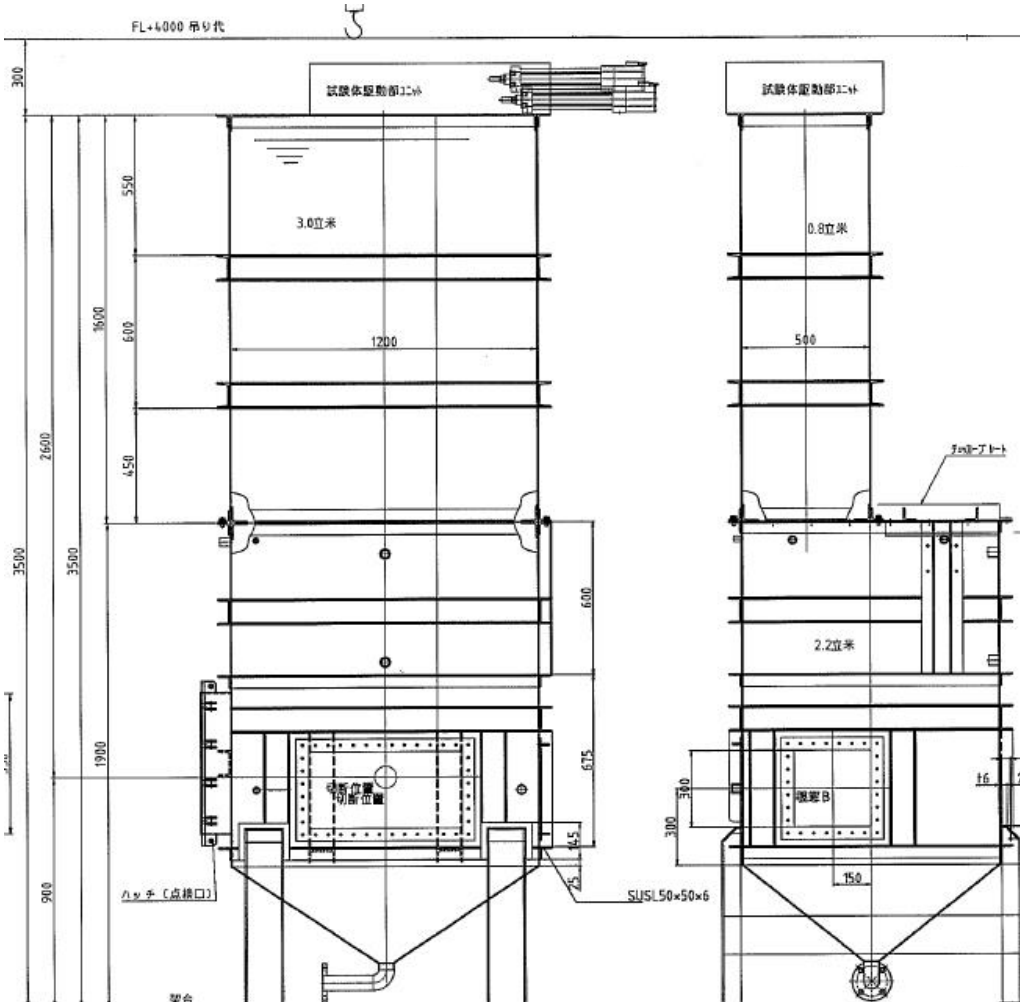


図 4　水中試験用タンク概略図

図 5　水中試験用タンク及びプラズマアーク切断装置 外観写真

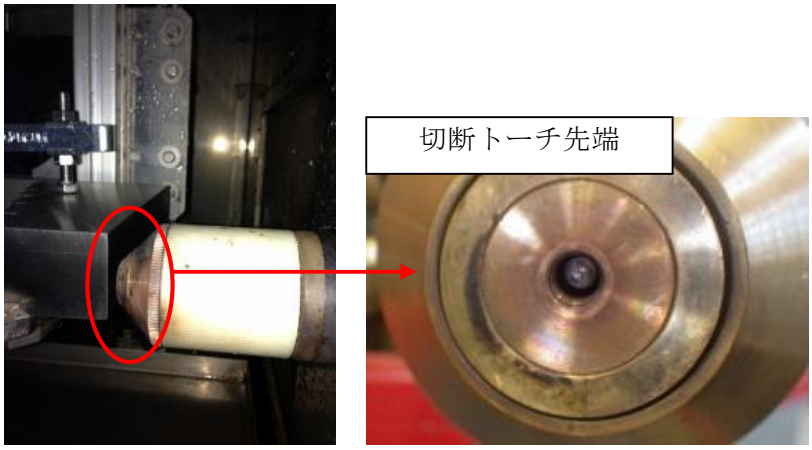


図 6　切断トーチ外観写真(SUPER600)

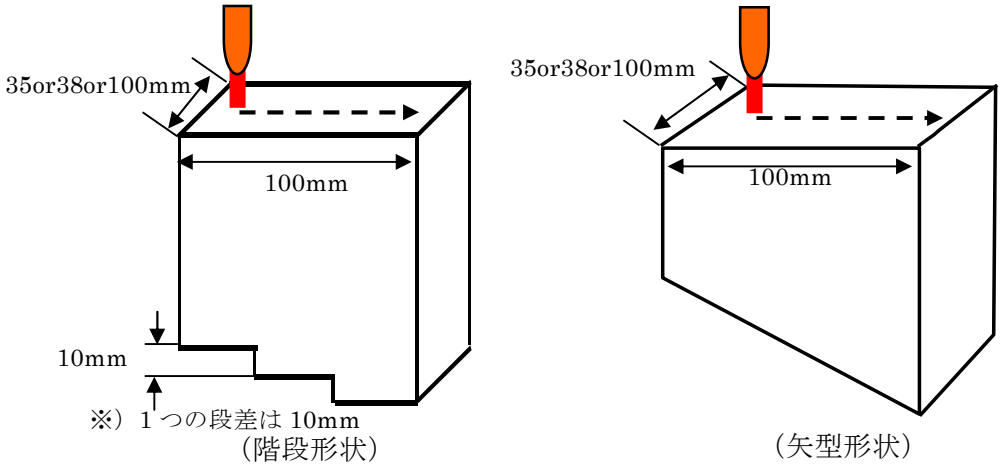
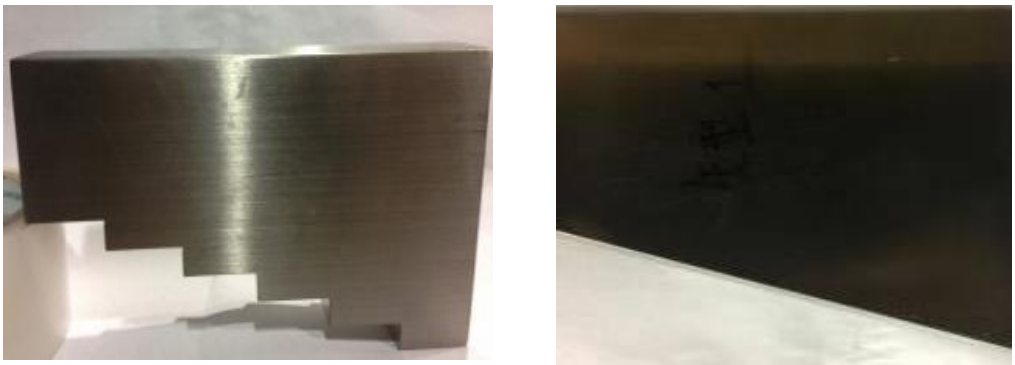


図 7　試験体 概略図



（階段形状）　（矢型形状）

図 8　試験体 外観写真

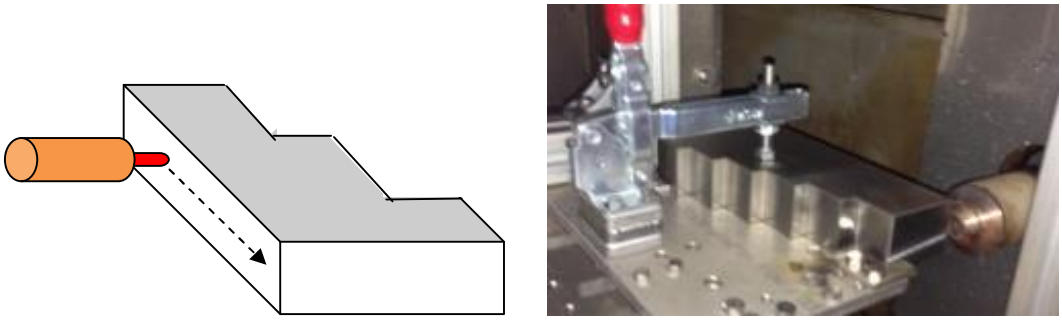
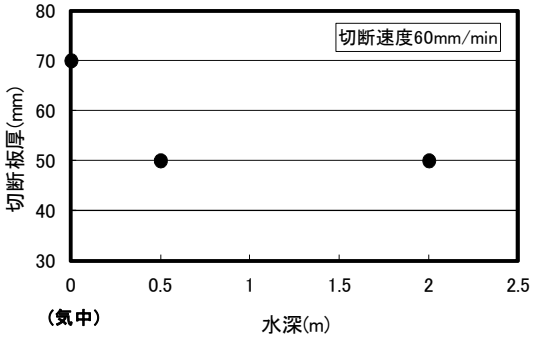
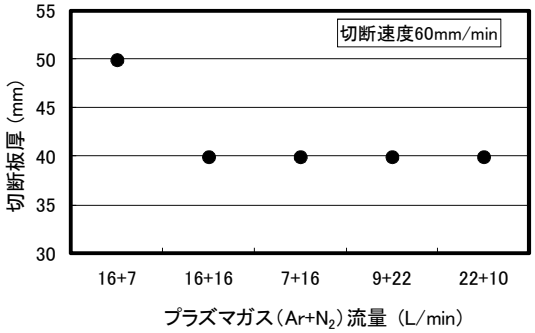


図 9　試験体 切断方向

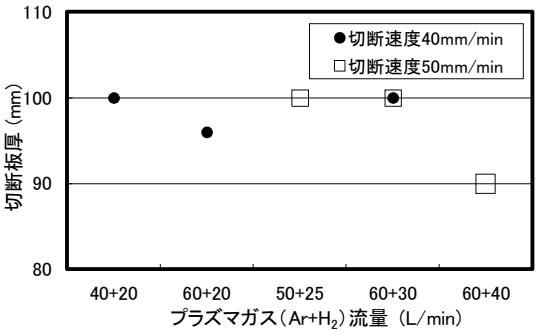


200A 出力プラズマ

図 10　切断雰囲気(水深)による影響

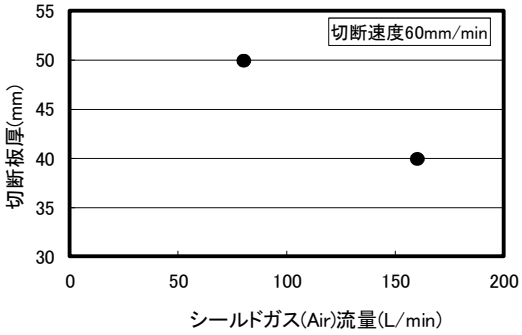


(1) 200A 出力プラズマ

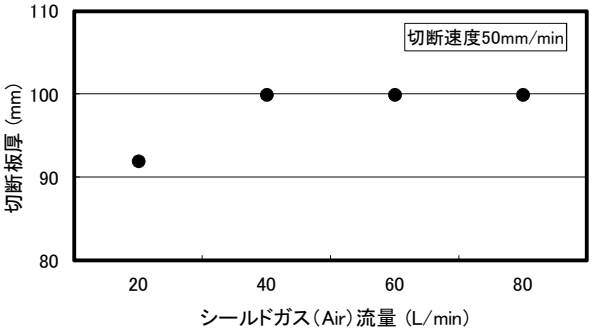


(2) 600A 出力プラズマ

図 11　プラズマガスによる影響

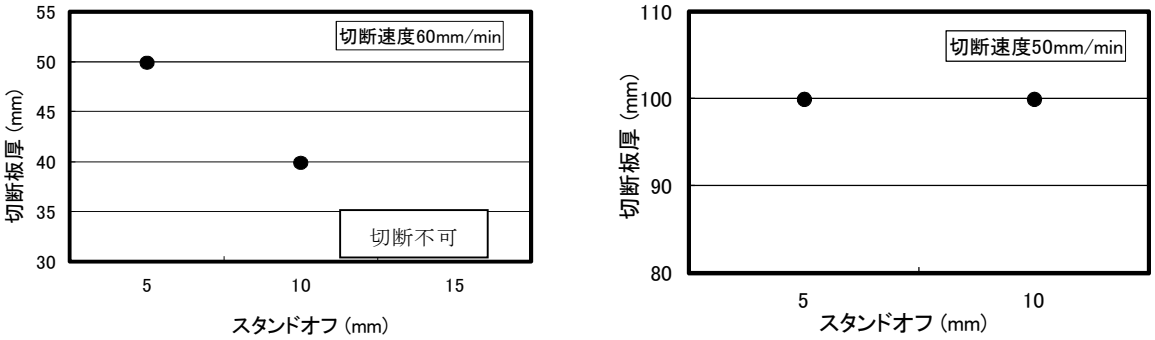


(1) 200A 出力プラズマ



(2) 600A 出力プラズマ

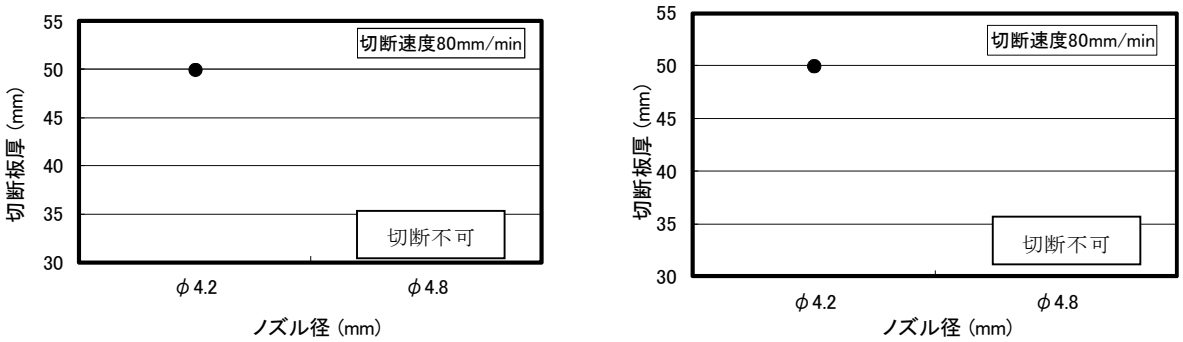
図 12　シールドガスによる影響



(1) 200A 出力プラズマ　　(2) 600A 出力プラズマ

図 13　スタンドオフによる影響

図 14　損傷トーチ 写真



(1) 200A 出力プラズマ　　(2) 600A 出力プラズマ

図 15　ノズル径による影響

表 1　200A 出力プラズマアーク切断装置 主要仕様

装置型番	Hypertherm 社　MAX200	
交流入力	相数	3 相
	入力定格電圧	200V/220V
メイン出力	出力定格電圧	150V
	出力定格電流	200A
	出力電流調整範囲	40～200A
使用ガス	プラズマガス	$Ar+N_2$
	シールドガス	Air、N_2

表 2　600A 出力プラズマアーク切断装置 主要仕様

装置型番	小池酸素工業㈱　SUPER600	
交流入力	相数	3 相
	入力定格電圧	200V/220V
メイン出力	出力定格電圧	200V
	出力定格電流	600A
	出力電流調整範囲	50～600A
使用ガス	プラズマガス	$Ar+H_2$
	シールドガス	Air

表 3　電極の融点及び沸点

電極材質	融点	沸点	酸化物	融点	沸点
Hf	2207	3200	HfO_2	2812	4300
W	3370	5700	WO	1500	2000

表 4　水中試験用タンク主要仕様

最大外形寸法	幅約 1,200mm×奥行約 1,000mm×高さ約 3,500mm
最大水深	約 2.5m
材質	ステンレス鋼
その他	・側面 2 か所に観察窓付 ・タンク底部に排水用ドレン弁あり

表 5　試験体仕様

材質	形状	板厚(mm)
S45C	階段形状	50-100、110-130、200-220
SUS304	階段形状	30-60、30-80、40-70、40-90、50-100、80-100、90-110、110-130、130-150、140-160、170-190、200-220
SUS304	矢型形状	70-120、70-110、80-130、80-140

表 6　主な試験条件

プラズマ出力（A）	200	600
プラズマガス種類 流量(L/min)	$Ar+N_2$/ 7+16, 16+16, 9+22 16+7, 25+16, 22+10	$Ar+H_2$ / 40+20, 50+25, 60+20 60+30, 60+40
シールドガス種類 流量(L/min)	Air / 80, 120, 130, 160, 185	N_2 / 40 Air/20, 40, 60, 80
切断方向	水平横向	水平横向き，垂直下向(気中のみ)
スタンドオフ(mm)	5, 10, 15	
切断雰囲気	気中、水中	
水深（m）	0.5、2.0	0.5
切断速度(mm/min)	30, 50, 60 ,80, 100	15, 20, 30, 40, 50, 60, 100, 300
切断トーチ方式	旋回流方式	軸流方式
ノズル径(mm)	φ4.2，φ4.8	φ4.5，φ5.5

表 7　ガス流量とノズル径から試算される流速

プラズマ電源	SUPER600		MAX200	
流量 (L/min)	75	75	23	23
ノズル径 (mm)	4.5	5.5	4.2	4.8
流速 (m/sec)	78.6	52.6	27.7	21.2

表 8　200A 出力プラズマ切断装置による切断試験結果

試験名称	試験No.	試験体			試験条件											データ採取項目			備考
		材質	形状	板厚(mm)	切断雰囲気	水深	出力電流(A)	ﾉｽﾞﾙ口径φ(mm)	スタンドオフ(mm)	プラズマガス 種類	プラズマガス 流量(L/min)	シールドガス 種類	シールドガス 流量(L/min)	切断方向	切断速度(mm/min)	切断板厚(mm)	切断幅(mm) 表側	切断幅(mm) 裏側	
気中	2	ステンレス鋼	階段状	40-90	気中	-	200	4.2	5	Ar,N_2	16,7	Air	80	水平横	60	70	5	9	
水中切断試験（プラズマ、シールドガス等パラメータ）	3	炭素鋼	階段状	50-100	水中	1	200	4.2	5	Ar,N_2	7,16	Air	160	水平横	50	50	6	-	
	3-2	炭素鋼	階段状	50-100	水中	1	200	4.2	5	Ar,N_2	7,16	Air	160	水平横	30	50	6	-	
	4	ステンレス鋼	階段状	50-100	水中	1	200	4.2	5	Ar,N_2	7,16	Air	160	水平横	50	50	6	8	
	4-2	ステンレス鋼	階段状	50-100	水中	1	200	4.2	5	Ar,N_2	7,16	Air	160	水平横	60	50	6	8	
	4-3	ステンレス鋼	階段状	50-100	水中	1	200	4.2	5	Ar,N_2	7,16	Air	160	水平横	100	50	7	5	
	4-4	ステンレス鋼	階段状	50-100	水中	1	200	4.2	5	Ar,N_2	7,16	Air	160	水平横	80	50	6	5-10	
	4-5	ステンレス鋼	階段状	50-100	水中	1	200	4.2	5	Ar,N_2	25,16	Air	160	水平横	80	-	6	-	
	4-7	ステンレス鋼	階段状	50-100	水中	0.5	200	4.8	5	Ar,N_2	25,16	Air	160	水平横	80	-	7	-	
	4-8	ステンレス鋼	階段状	50-100	水中	0.5	200	4.8	5	Ar,N_2	15,16	Air	160	水平横	80	-	6	-	
	4-9	ステンレス鋼	階段状	50-100	水中	0.5	200	4.8	5	Ar,N_2	7,16	Air	160	水平横	80	-	6	-	
	4-10	ステンレス鋼	階段状	50-100	水中	0.5	200	4.2	5	Ar,N_2	7,16	Air	160	水平横	80	-	6	-	
	4－11	ステンレス鋼	階段状	50-100	水中	0.5	200	4.2	5	Ar,N_2	7,16	Air	160	水平横	60	50	8	10	
	4－12	ステンレス鋼	階段状	50-100	水中	0.5	200	4.2	5	Ar,N_2	0,23	Air	130	水平横	80	-	6	-	
	4－13	ステンレス鋼	階段状	50-100	水中	0.5	200	4.2	5	Ar,N_2	7,16	Air	185	水平横	80	50	6	8	
	4-14	ステンレス鋼	階段状	30-80	水中	0.5	200	4.2	5	Ar,N_2	7,16	Air	120	水平横	60	40	6	7	
	4-15	ステンレス鋼	階段状	40-90	水中	0.5	200	4.2	5	Ar,N_2	7,16	Air	120	水平横	50	50	6	6	
	4-16	ステンレス鋼	階段状	30-80	水中	0.5	200	4.2	5	Ar,N_2	7,16	Air	120	水平横	60	40	6	6	
	4-17	ステンレス鋼	階段状	40-90	水中	0.5	200	4.2	5	Ar,N_2	16,7	Air	160	水平横	60	40	6	7	
	4-18	ステンレス鋼	階段状	40-90	水中	0.5	200	4.2	5	Ar,N_2	16,7	Air	80	水平横	60	50	6	9	
	4-19	ステンレス鋼	階段状	40-90	水中	0.5	200	4.2	5	Ar,N_2	16,16	Air	80	水平横	60	40	6	9	
	4-20	ステンレス鋼	階段状	40-70	水中	0.5	200	4.2	5	Ar,N_2	7,16	Air	80	水平横	60	40	6	6	
	4-21	ステンレス鋼	階段状	40-70	水中	0.5	200	4.2	5	Ar,N_2	9.22	Air	80	水平横	60	40	6	6	
	4-22	ステンレス鋼	階段状	40-70	水中	0.5	200	4.2	5	Ar,N_2	22,10	Air	80	水平横	60	40	6	7	
スタンドオフ	8	ステンレス鋼	階段状	30-60	水中	0.5	200	4.2	10	Ar,N_2	16,7	Air	80	水平横	60	40	8	9	
	8-2	ステンレス鋼	階段状	30-60	水中	0.5	200	4.2	10	Ar,N_2	16,7	Air	160	水平横	60	-	-	-	メインアーク移行せず
	8-3	ステンレス鋼	階段状	30-60	水中	0.5	200	4.2	5	Ar,N_2	16,7	Air	80	水平横	60	50	5	7	
	12	ステンレス鋼	階段状	30-60	水中	0.5	200	4.2	15	Ar,N_2	16,7	Air	80	水平横	60	-	-	-	メインアーク移行せず
水深	17	ステンレス鋼	階段状	30-60	水中	2	200	4.2	5	Ar,N_2	16,7	Air	80	水平横	60	50	5	7	途中失火

表 9　600A 出力プラズマ切断装置による切断試験結果

試験名称	試験No.	試験体			試験条件											データ採取項目						備考
		材質	形状	板厚 (mm)	切断雰囲気	水深 (m)	出力電流 (A)	ﾉｽﾞﾙ口径 φ (mm)	スタンドオフ (mm)	プラズマガス		シールドガス		切断方向	切断速度 (mm/min)	遅延時間 (sec)	切断板厚 (mm)	切断幅(mm)			最大アーク電圧 (V)	
										種類	流量 (L/min)	種類	流量 (L/min)					表側	内側	裏側		
気中切断試験	1	SUS304	階段	200-220	気中	ー	600	4.5	15	Ar,H_2	35,19	N_2	40	垂直下向	30	10	210	16.5-22.5	-	10-19	230	
	2	S50C	階段	200-220	気中	ー	600	4.5	15	Ar,H_2	35,19	N_2	40	垂直下向	45	6	145	11-21	21-29	-	210	
	3	SUS304	階段	170-190	気中	ー	600	4.5	15	Ar,N_2	35,17	N_2	40	垂直下向	40	44	164	20-22	25-28	-	180	
	4	SUS304	階段状	140-160	気中	ー	600	4.5	13	Ar,N_2	35,17	N_2	40	垂直下向	40	12	160	20-21	26-28	11-12	180	
	5	SUS304	階段	220	気中	ー	600	4.5	15	Ar,H_2	35,19	N_2	40	垂直下向	30	10	220	18-19	32-35	8-11	230	
	6	SUS304	階段	110-130	気中	ー	400	4.5	15	Ar,H_2	35,19	N_2	40	垂直下向	100	-	110	10	-	7	140	
	7	SUS304	階段	110-130	気中	ー	400	4.5	15	Ar,H_2	35,19	N_2	40	垂直下向	60	7	130	12	-	10	160	
	8	S50C	階段	110-130	気中	ー	600	4.5	15	Ar,H_2	35,19	N_2	40	垂直下向	45	-	130	17	-	13	-	
	9	SUS304	複雑形状	180-200	気中	ー	600	4.5	15	Ar,H_2	35,19	N_2	40	垂直下向	45	-	190	13	-	12	-	
水中切断試験	18	SUS304	平板	150	水中	0.5	600	4.5	10	Ar,H_2	40,20	Air	40	水平横向	30	10	0	12	-	-	200	
	19	SUS304	階段	140-160	水中	0.5	600	5.5	10	Ar,H_2	50,25	Air	40	水平横向	30	15	0	15	25	-	180	ドロス詰まり気味
	20	SUS304	階段	130-150	水中	0.5	600	5.5	10	Ar,H_2	50,25	Air	40	水平横向	20	20	0	18	-	-	180	24secで失火
	21	SUS304	階段	130-150	水中	0.5	600	5.5	10	Ar,H_2	50,25	Air	40	水平横向	15	15	0	16	-	-	180	
	22	SUS304	階段	90-110	水中	0.5	600	4.5	10	Ar,H_2	40,20	Air	40	水平横向	30	15	0	19	-	-	200	
	23	SUS304	階段	80-100	水中	0.5	600	4.5	10	Ar,H_2	40,20	Air	40	水平横向	30	15	0	-	-	-	190	
	24	SUS304	矢型	70-120	水中	0.5	600	4.5	10	Ar,H_2	40,20	Air	40	水平横向	40	15	0	-	-	-	180	13secで失火
	25	SUS304	矢型	70-120	水中	0.5	600	4.5	10	Ar,H_2	40,20	Air	40	水平横向	40	10	100	11	22	10	190	
	26	SUS304	矢型	80-140	水中	0.5	600	4.5	10	Ar,H_2	40,20	Air	40	水平横向	40	10	100	12	-	10	180	
	27	SUS304	矢型	80-140	水中	0.5	600	4.5	10	Ar,H_2	60,20	Air	40	水平横向	40	10	96	12	-	7	200	
	28	SUS304	階段	90-110	水中	0.5	600	5.5	10	Ar,H_2	50,25	Air	40	水平横向	50	10	0	-	-	-	160	
	29	SUS304	階段	90-110	水中	0.5	600	5.5	10	Ar,H_2	60,30	Air	40	水平横向	40	10	0	-	-	-	160	
	30	SUS304	階段	90-110	水中	0.5	600	4.5	10	Ar,H_2	60,30	Air	40	水平横向	40	10	100	10	22	15	200	途中失火
	31	SUS304	矢型	70-110	水中	0.5	600	4.5	10	Ar,H_2	60,30	Air	40	水平横向	50	10	100	10	21	12	210	完走
	32	SUS304	矢型	80-130	水中	0.5	600	4.5	10	Ar,H_2	60,30	Air	40	水平横向	50	10	100	10	-	12	200	ノズル損傷
	33	SUS304	矢型	80-130	水中	0.5	600	4.5	10	Ar,H_2	60,40	Air	40	水平横向	50	10	90	12	-	12	200	
	34	SUS304	階段	90-110	水中	0.5	600	4.5	10	Ar,H_2	50,25	Air	40	水平横向	50	10	100	11	22	13	200	No.28との比較
	35	SUS304	矢型	80-110	水中	0.5	600	4.5	10	Ar,H_2	60,30	Air	20	水平横向	50	10	92	12	20	10	210	No.31との比較 途中失火
	36	SUS304	矢型	80-110	水中	0.5	600	4.5	10	Ar,H_2	60,30	Air	60	水平横向	50	10	105	14	21	12	200	No.31,35との比較
	37	SUS304	平板	100	水中	0.5	600	4.5	10	Ar,H_2	60,30	Air	40	水平横向	-	14	0	-	-	-	180	インチング 遅延後1mm、3秒経過、1mm動作、失火
	38	SUS304	平板	100	水中	0.5	600	4.5	10	Ar,H_2	60,30	Air	40	水平横向	-	10	0	-	-	-	180	インチング 遅延後連続的に3mm動作、失火
	39	SUS304	矢型	80-120	水中	0.5	600	4.5	10	Ar,H_2	60,30	Air	80	水平横向	50	10	100	12	-	11	200	シールドガス流量増加による効果はほとんどない。
	40	SUS304	矢型	80-120	水中	0.5	600	4.5	5	Ar,H_2	60,30	Air	40	水平横向	50	10	100	9	-	11	200	ノズル損傷

付録　切断試験データシート

①200A 出力プラズマ切断試験
②600A 出力プラズマ切断試験

①200A 出力プラズマ切断試験

試験 No.2

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:16/7	Air:80	4.2

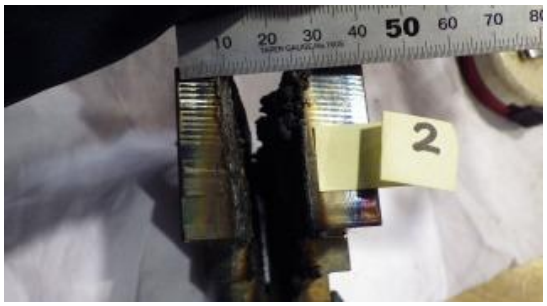
スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	60	-

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	40-90

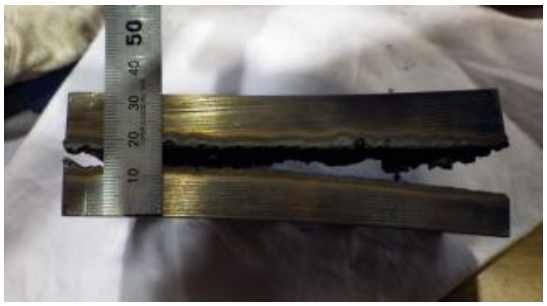
2. 試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
70	118	5	9

3. 切断写真

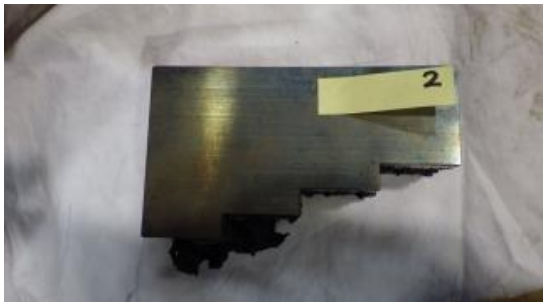


試験体側部



試験体表側

試験体裏側



試験体全体

試験 No.3

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:7/16	Air:160	4.2

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	50	1

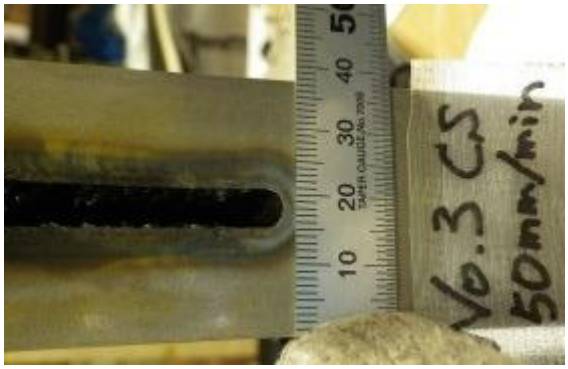
試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	S45C	50-100

2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
50	66	6	-

3．切断写真

試験体側部



試験体表側

試験体裏側

試験体裏側ドロス

試験 No.3-2

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:7/16	Air:160	4.2

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	30	1

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	S45C	50-100

2. 試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
50	64	6	-

3. 切断写真

試験体 表側

試験体 裏側

試験体裏側ドロス

試験 No.4

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:7/16	Air:160	4.2

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	50	1

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	50-100

2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
50	44	6	8

3．切断写真

試験体 側部

試験体 表側

試験体裏側ドロス

試験 No.4-2

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:7/16	Air:160	4.2

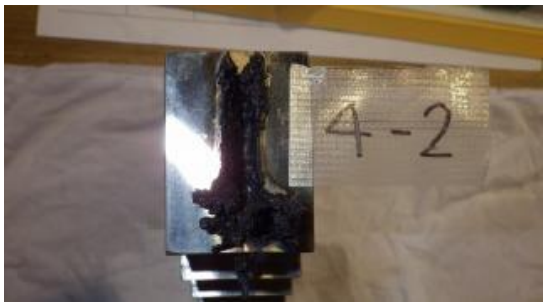
スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	60	1

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	50-100

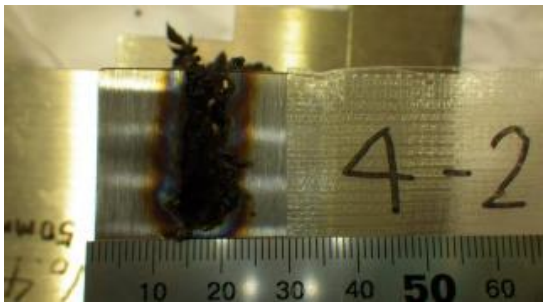
2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
50	29	6	8

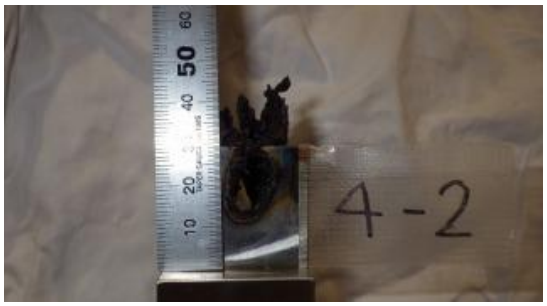
3．切断写真



試験体側部



試験体表側



試験体裏側

試験 No.4-3

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:7/16	Air:160	4.2

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	100	1

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	50-100

2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
50	118	7	5

3．切断写真

試験体 側部

試験体表側

試験体裏側

試験体裏側ドロス

試験 No.4-4

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:7/16	Air:160	4.2

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	80	1

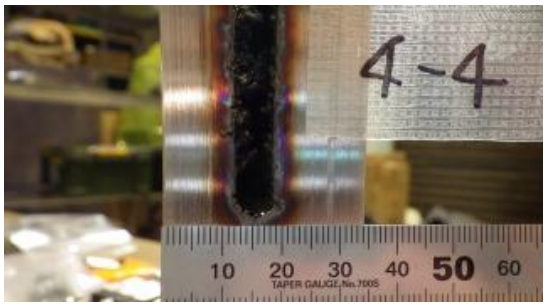
試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	50-100

2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
50	55	6	10

3．切断写真

試験体 側部



試験体 表側

試験体裏側

試験 No.4-5

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:25/16	Air:160	4.2

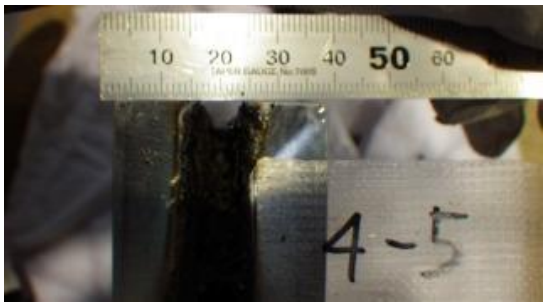
スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	80	1

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	50-100

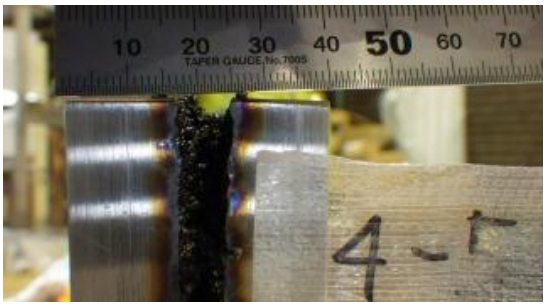
2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
×	55	6	-

3．切断写真



試験体 側部
(ドロス撤去後)



試験体 表面

試験 No.4-7

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:25/16	Air:160	4.8

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	80	1

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	50-100

2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
×	101	7	-

3．切断写真

切断不可であり、切断写真なし。

試験 No.4-8

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:15/16	Air:160	4.8

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	80	0.5

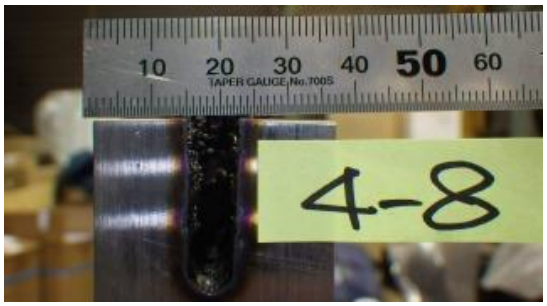
試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	50-100

2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
×	25	6	×

3．切断写真

試験体 側部



試験体 表側

試験 No.4-9

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:7/16	Air:160	4.2

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	80	0.5

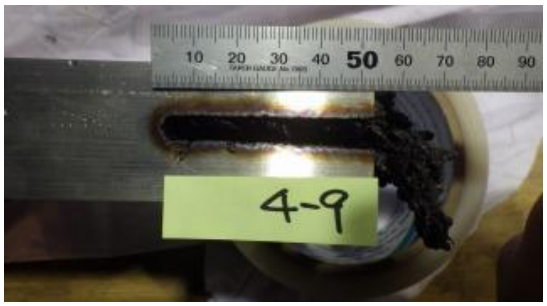
試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	50-100

2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
×	51	6	×

3．切断写真

試験体 側部



試験体 表側

試験体全体

試験 No.4-10

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:7/16	Air:160	4.2

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	80	0.5

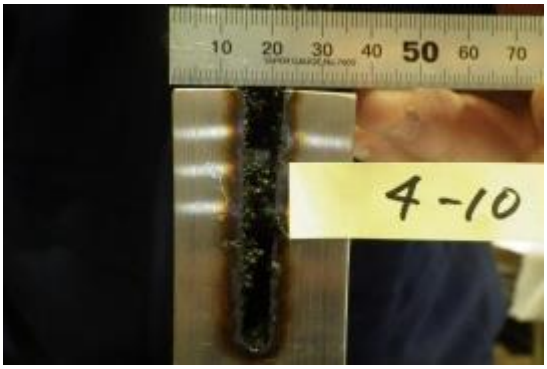
試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	50-100

2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
×	51	6	×

3．切断写真

試験体 側部



試験体 表面

試験 No.4-11

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:7/16	Air:160	4.2

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	60	0.5

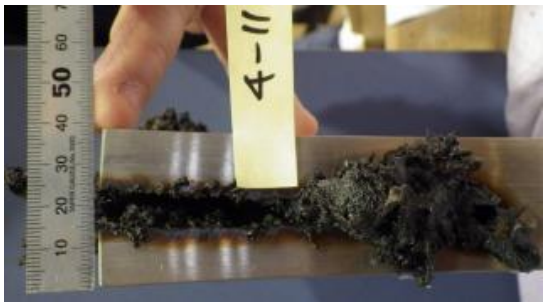
試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	50-100

2. 試験結果

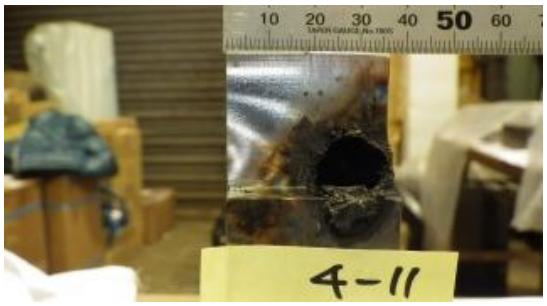
切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
50	95	8	10

3. 切断写真

試験体側部



試験体表側



試験体裏側

試験 No.4-12

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:0/23	Air:130	4.2

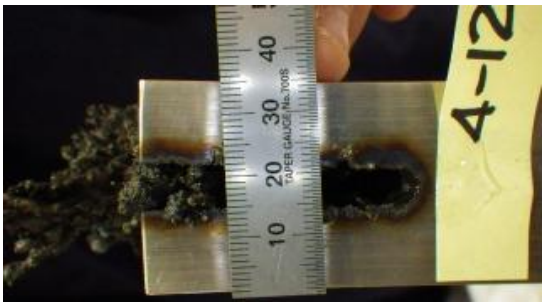
スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	80	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	50-100

2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
×	45	6	×

3．切断写真



試験体 表側

試験 No.4-13

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:7/16	Air:185	4.2

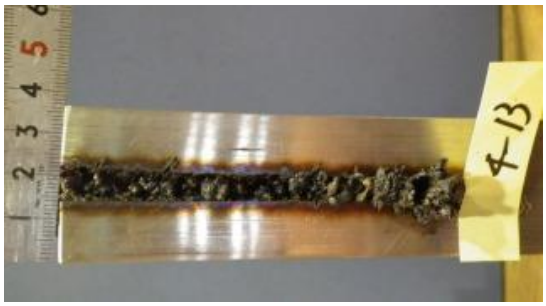
スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	80	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	50-100

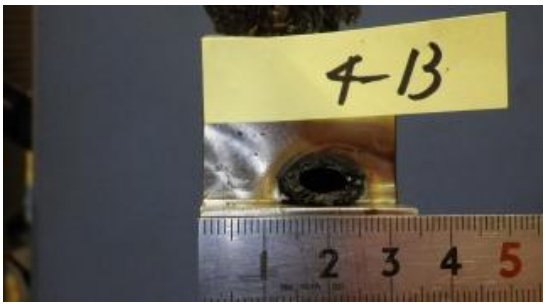
2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
50	107	6	8

3．切断写真



試験体表側



試験体裏側
ドロス除去後

試験 No.4-14

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:7/16	Air:120	4.2

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	60	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	30-80

2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
40	120	6	7

3．切断写真

試験体裏側

試験体側面

試験 No.4-15

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:7/16	Air:120	4.2

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	50	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	40-90

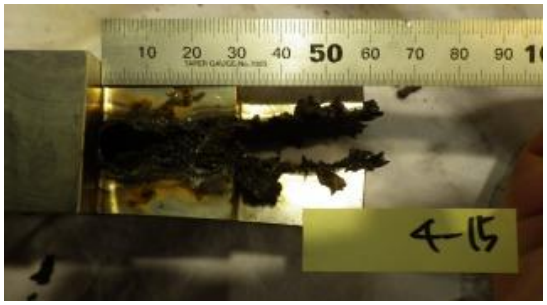
2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
50	82	6	6

3．切断写真

試験体側部

試験体表側



試験体裏側
ドロス除去後

試験 No.4-16

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:7/16	Air:120	4.2

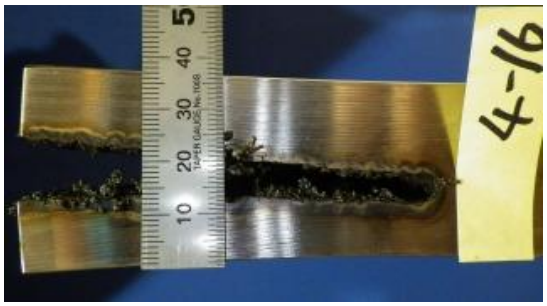
スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	60	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	30-80

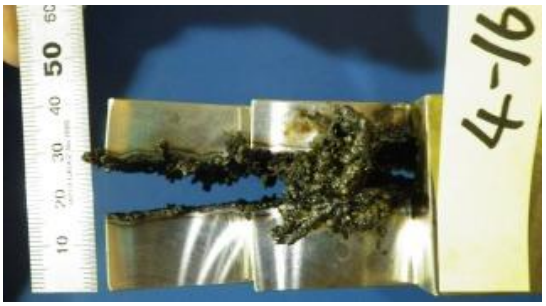
2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
40	81	6	6

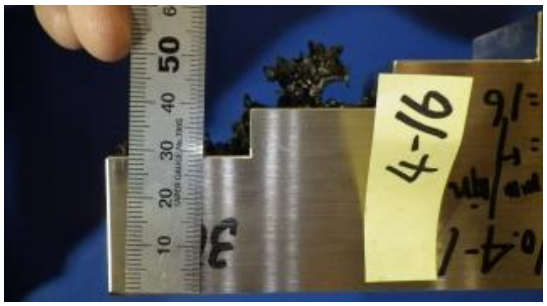
3．切断写真



試験体表側



試験体裏側



試験体全体

試験 No.4-17

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:16/7	Air:160	4.2

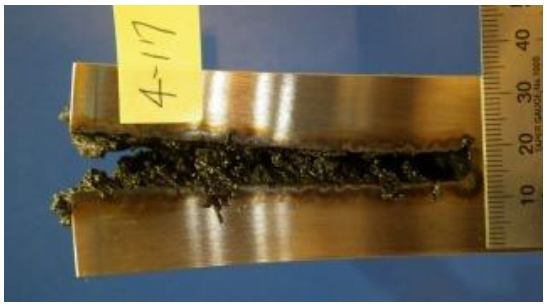
スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	60	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	40-90

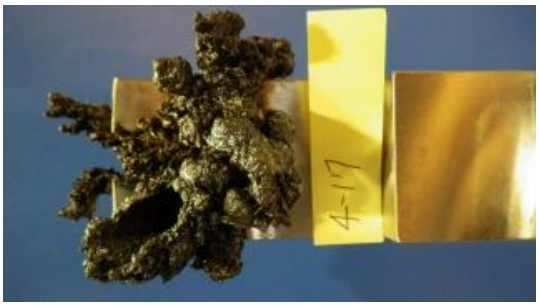
2. 試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
40	75	6	7

3. 切断写真



試験体表側



試験体裏側

試験体全体

試験 No.4-18

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:16/7	Air:80	4.2

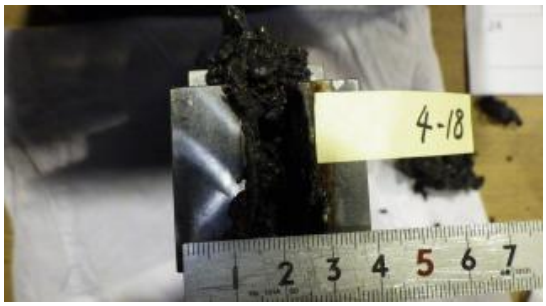
スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	60	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	40-90

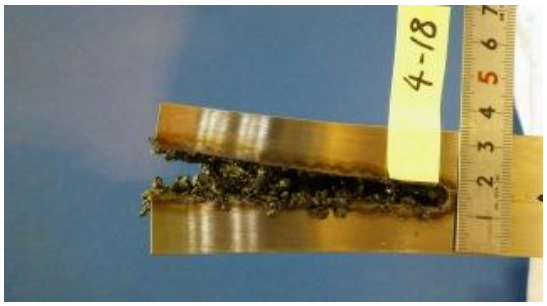
2. 試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
50	81	6	9

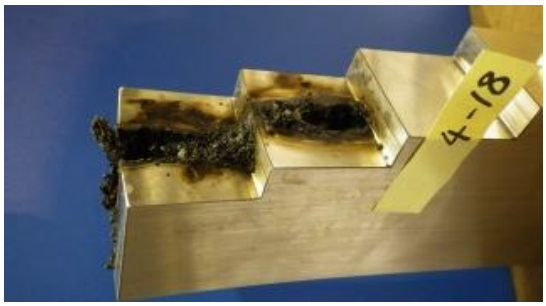
3. 切断写真



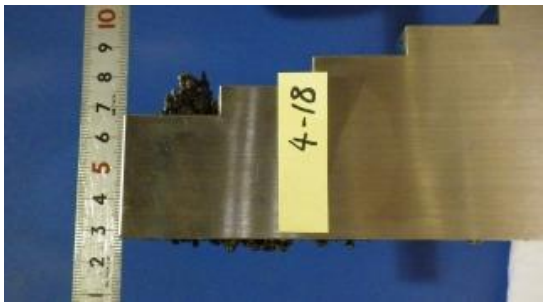
試験体側部



試験体表側



試験体裏側



試験体全体

試験 No.4-19

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:16/16	Air:80	4.2

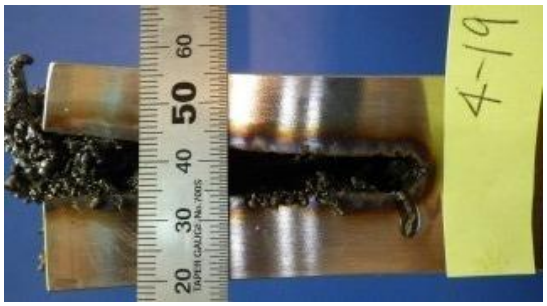
スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	60	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	40-90

2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
40	64	6	9

3．切断写真



試験体表側

試験体裏側

試験体全体

試験 No.4-20

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:7/16	Air:80	4.2

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	60	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	40-70

2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
40	68	6	6

3．切断写真

試験体側部

試験体表側

試験体裏側

試験 No.4-21

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:9/22	Air:80	4.2

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	60	0.5

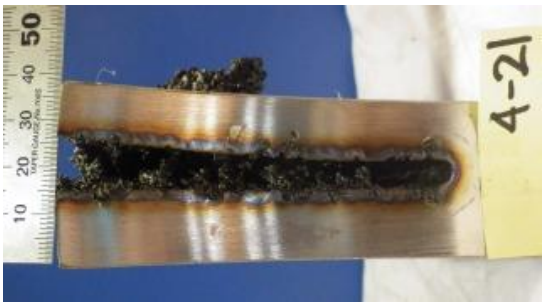
試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	40-70

2．試験結果

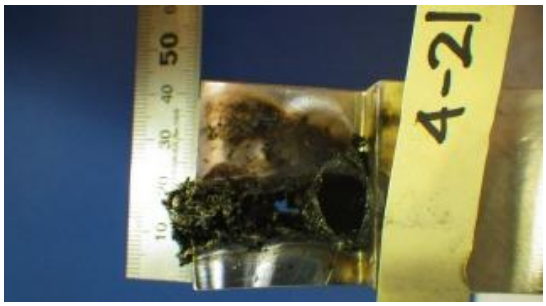
切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
40	83	6	6

3．切断写真

試験体側部



試験体表側



試験体裏側

試験 No.4-22

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:22/10	Air:80	4.2

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	60	0.5

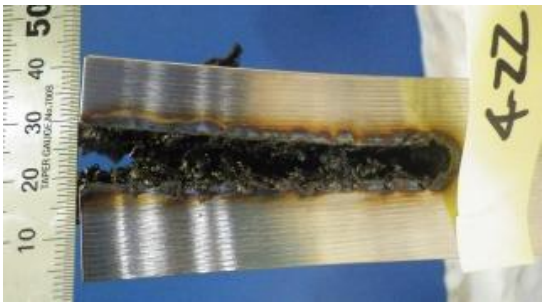
試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	40-70

2．試験結果

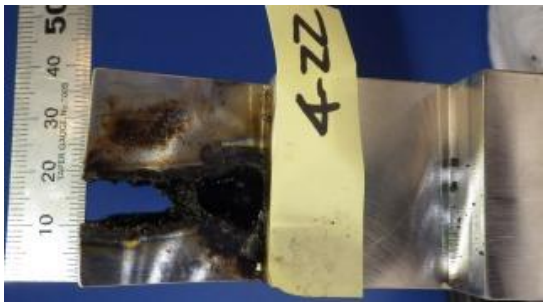
切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
40	67	6	7

3．切断写真

試験体側部



試験体表側



試験体裏側

試験体全体

試験 No.8

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:16/7	Air:80	4.2

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
10	水平横	60	0.5

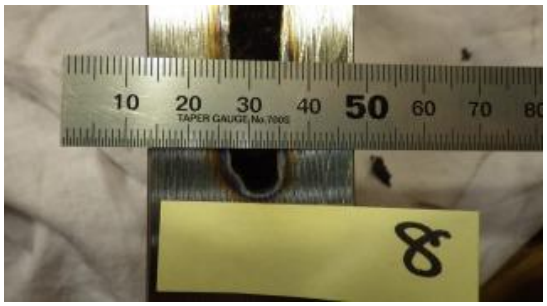
試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	30-60

2. 試験結果

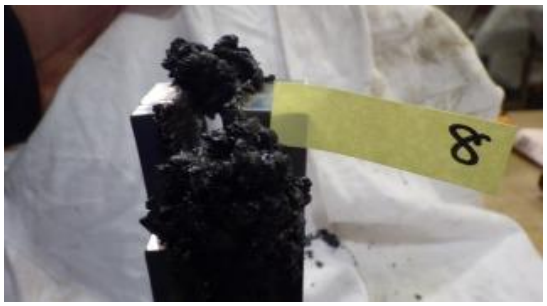
切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
40	83	8	9

3. 切断写真

試験体側部



試験体表側



試験体裏側

試験体全体

試験 No.8-2

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:16/7	Air:160	4.2

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
10	水平横	-	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	30-60

2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
-	-	-	-

3．切断写真

メインアークに移行しなかったため、切断写真なし。

試験 No.8-3

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:16/7		4.2

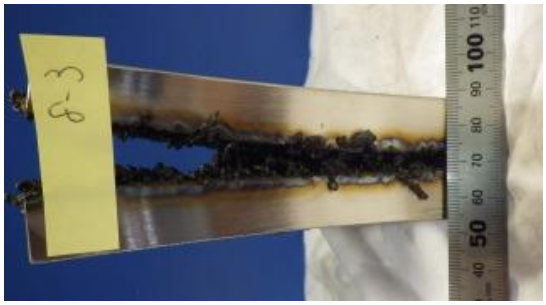
スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	60	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	30-60

2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
50	115	5	7

3．切断写真



試験体表側

試験体裏側

試験体全体

試験 No.12

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:16/7	Air:80	4.2

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
15	水平横	-	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	30-60

2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
-	-	-	-

3．切断写真

メインアークに移行しなかったため、切断写真なし。

試験 No.17

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
200	Ar/N_2:16/7	Air:80	4.2

スタンドオフ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	水深(m)
5	水平横	60	2

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	30-60

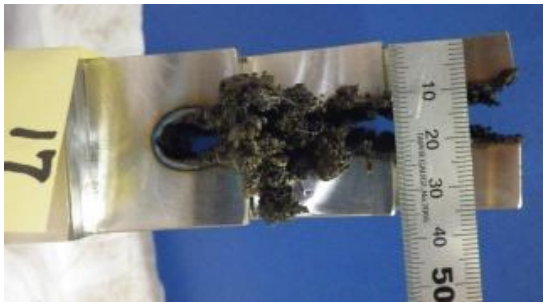
2．試験結果

切断板厚(mm)	切断長(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)
50	79	5	7

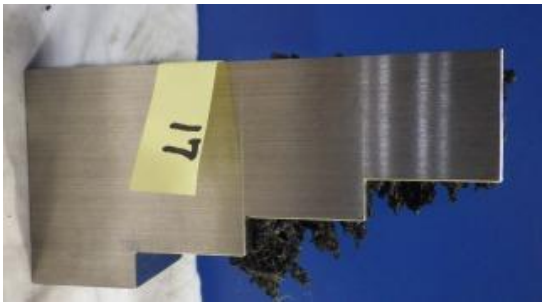
3．切断写真

試験体側部

試験体表側



試験体裏側



試験体全体

②600A 出力プラズマ切断試験

試験 No.1

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:35/19	N_2:40	4.5

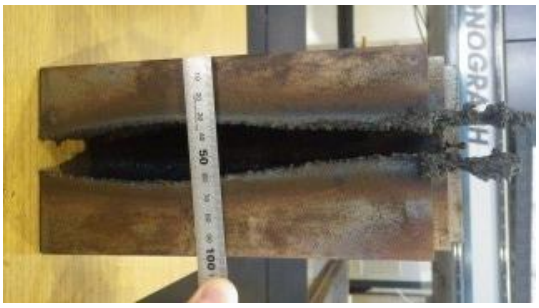
ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
15	垂直下	30	10	-

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	200-220

2．試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
210	16.5-22.5	10-19	230

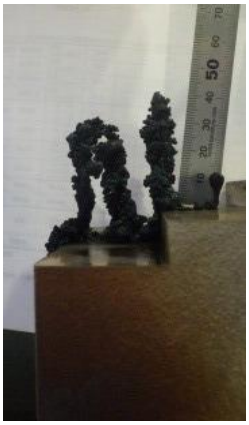
３．切断写真



試験体 側部

試験体 表側

試験体 裏側



試験体 裏側ドロス

試験 No.2

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:35/19	N_2:40	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
15	垂直下	45	6	-

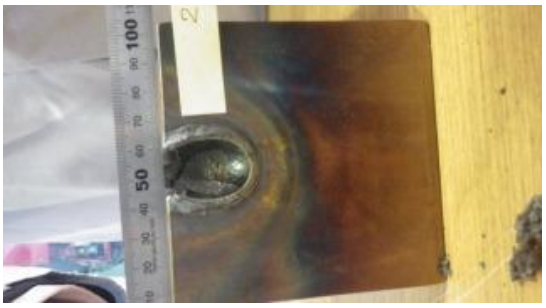
試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	S50C	200-220

2. 試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
145	11-21	-	210

3.切断写真

試験体 側部



試験体 表側

試験 No.3

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/N_2:35/17	N_2:40	4.5

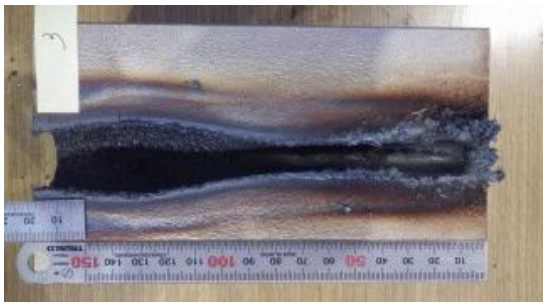
ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
15	垂直下	40	0	-

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	170-190

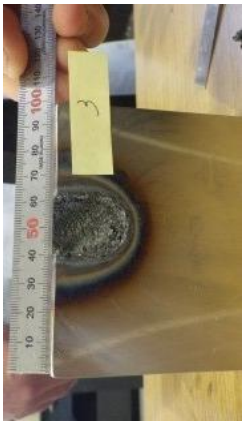
2. 試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
164	22	-	180

3. 切断写真



試験体 側部



試験体 表側

試験 No.4

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/N_2:35/17	N_2:40	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
15	垂直下	40	12	-

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	140-160

2. 試験結果

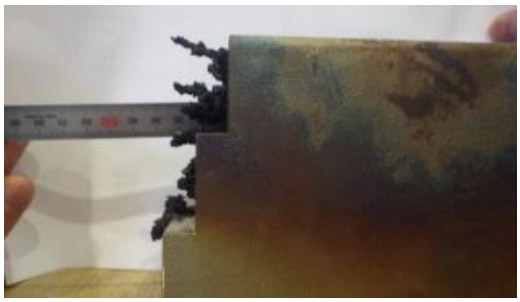
切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
160	21	12	180

3. 切断写真

試験体 側部

試験体表側

試験体裏側



試験体裏側 ドロス

試験 No.5

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:35/19	N_2:40	4.5

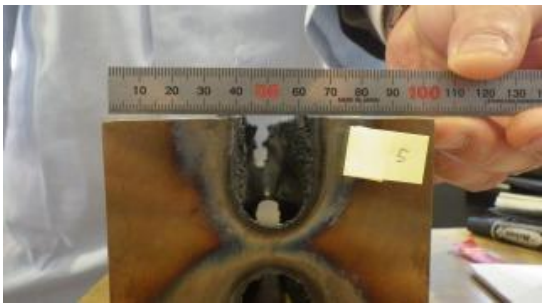
ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
15	垂直下	30	10	-

試験体形状	材質	板厚(mm)
平板	SUS304	220

2．試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
220	19	11	230

3．切断写真



試験体表側

試験体裏側

試験 No.6

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
400	Ar/H_2:35/19	N_2:40	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
15	垂直下	100	-	-

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	110-130

2．試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
110	10	7	140

３．切断写真

試験体 側部

試験体 表面

試験体裏面

試験 No.7

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
400	Ar/H_2:35/19	N_2:40	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
15	垂直下	60	7	-

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	110-130

2．試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
130	12	10	160

３．切断写真

試験体 側部

試験体 表側

試験体 裏側

試験体裏側ドロス

試験 No.8

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:35/19	N_2:40	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
15	垂直下	45	-	-

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	S50C	110-130

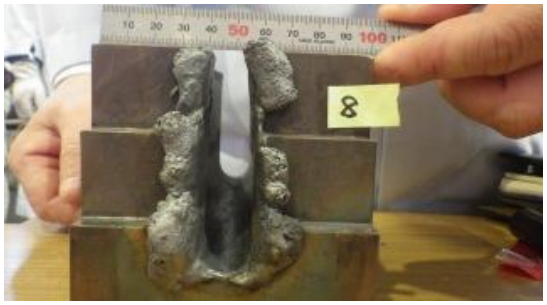
2. 試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
130	17	13	-

3. 切断写真

試験体 側部

試験体 表側



試験体 裏側

試験体裏側ドロス

試験 No.9

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:35/19	N_2:40	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
15	垂直下	45	-	-

試験体形状	材質	板厚(mm)
複雑形状	SUS304	180-200

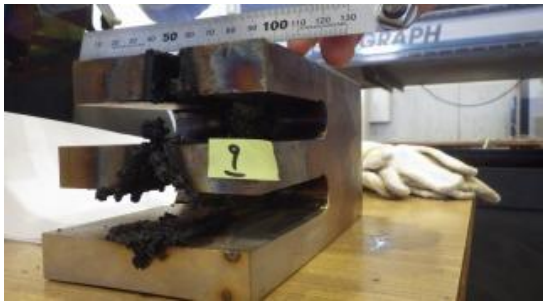
2. 試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
190	13	12	-

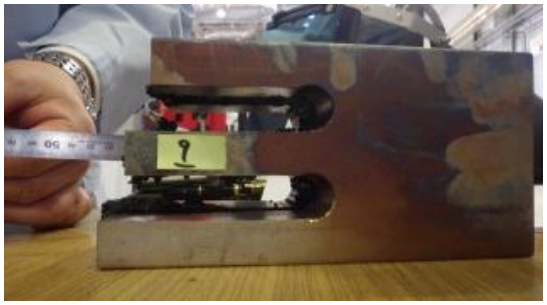
3. 切断写真

試験体側部

試験体表側



試験体裏側



試験体裏側ドロス

試験 No.18

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:40/20	Air:40	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	30	10	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
平板	SUS304	150

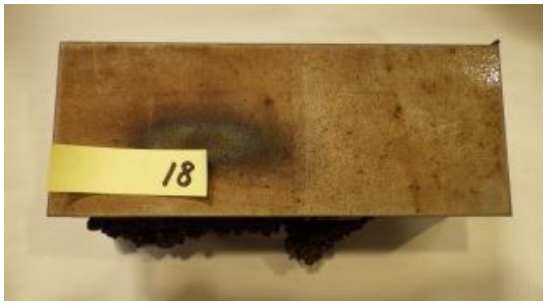
2. 試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
0	12	-	200

3. 切断写真

試験体表側

試験体側面



試験体裏側

試験体裏側ドロス

試験 No.19

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:50/25	Air:40	5.5

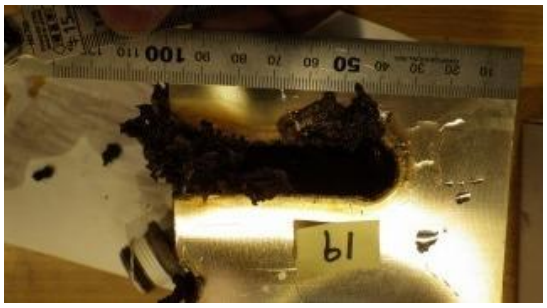
ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	30	15	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
矢型	SUS304	140-160

2. 試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
0	15	-	180

3. 切断写真



試験体表側

試験体側面

試験体表側ドロス

試験 No.20

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:40/20	Air:40	5.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	20	20	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	130-150

2．試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
0	18	-	180

3．切断写真

試験体側部

試験 No.21

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:40/20	Air:40	5.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	15	15	0.5

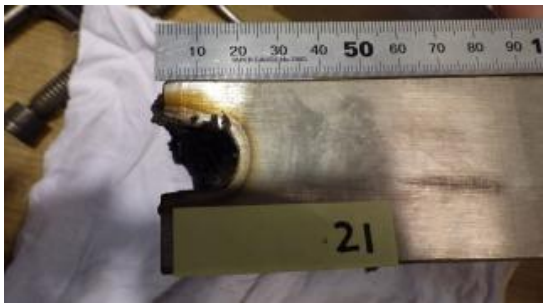
試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	130-150

2. 試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
0	16	-	180

3. 切断写真

試験体側部



試験体表側

試験 No.22

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:40/20	Air:40	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	30	15	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	90-110

2. 試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
0	19	-	200

3. 切断写真

試験体側部

試験体表側

試験 No.23

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:40/20	Air:40	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	30	15	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	80-100

2．試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
0	-	-	190

3．切断写真

切断途中失火のため、切断写真なし。

試験 No.24

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:40/20	Air:40	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	40	15	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
矢型	SUS304	70-120

2．試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
0	-	-	180

3．切断写真

切断途中失火のため、切断写真なし。

試験 No.25

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:40/20	Air:40	4.5

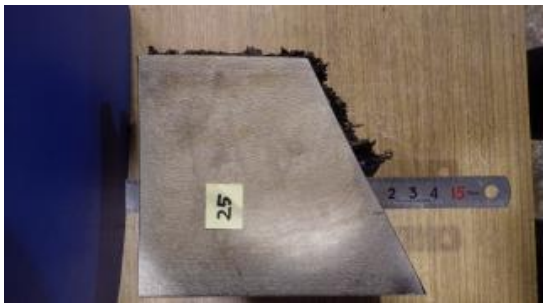
ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	40	10	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
矢型	SUS304	70-120

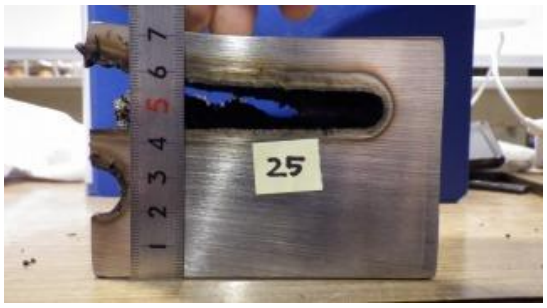
2. 試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
100	11	10	190

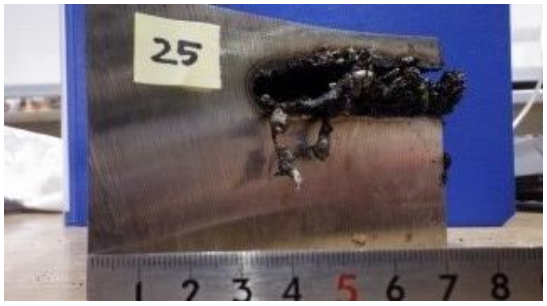
3. 切断写真



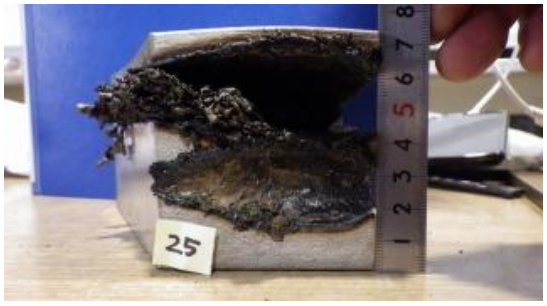
試験体側部



試験体裏側



試験体裏側



試験体裏側ドロス

試験 No.26

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:40/20	Air:40	4.5

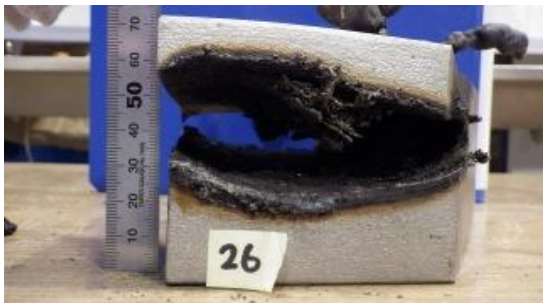
ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	40	10	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
矢型	SUS304	80-140

2. 試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
100	12	10	180

3. 切断写真



試験体側部

試験体裏側

試験体裏側

試験体裏側ドロス 2

試験 No.27

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:40/20	Air:40	4.5

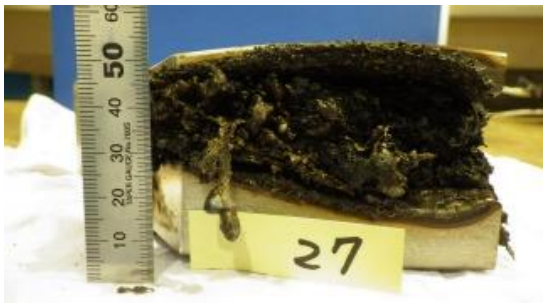
ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	40	10	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
矢型	SUS304	80-140

2. 試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
96	12	7	200

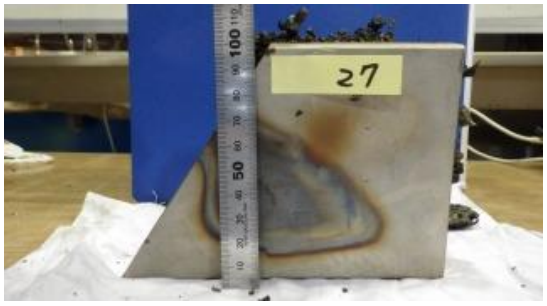
3. 切断写真



試験体側部

試験体表側

試験体裏側



試験体裏側ドロス

試験 No.28

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:50/25	Air:40	5.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	50	10	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	90-110

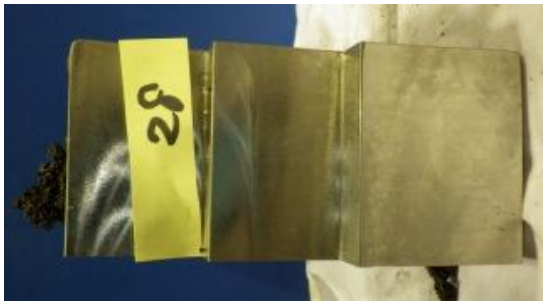
2. 試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
0	-	-	160

3. 切断写真

試験体側部

試験体表側



試験体裏側

試験 No.29

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:60/30	Air:40	5.5

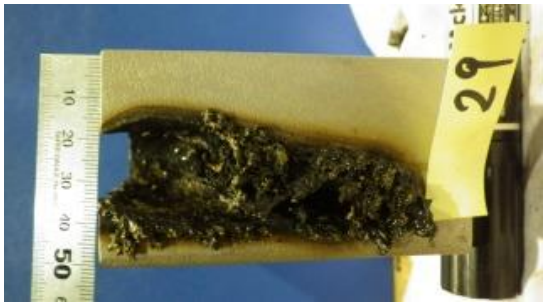
ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	40	10	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	90-110

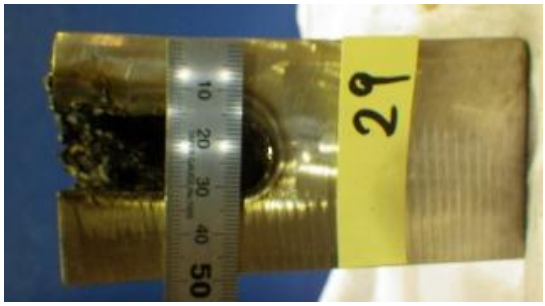
2. 試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
0	-	-	160

3. 切断写真



試験体側部



試験体表側

試験体裏側

試験 No.30

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:60/30	Air:40	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	40	10	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	90-110

2. 試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
100	10	15	200

3. 切断写真

試験体側部

試験体表側

試験体裏側

試験体裏側ドロス

試験 No.31

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:60/30	Air:40	4.5

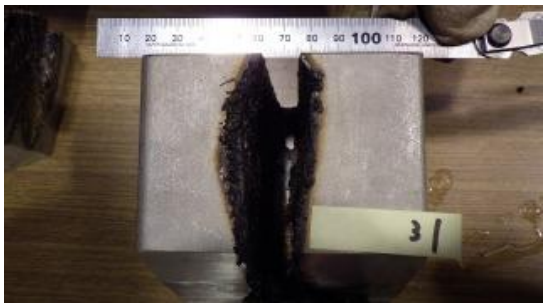
ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	50	10	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
矢型	SUS304	70-110

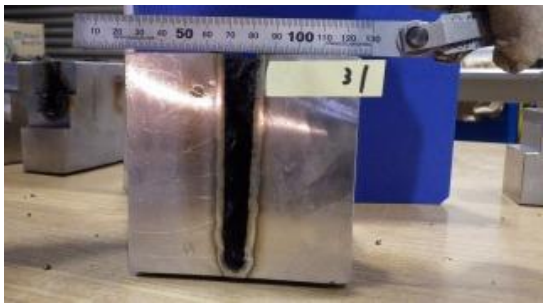
2. 試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
100	10	12	210

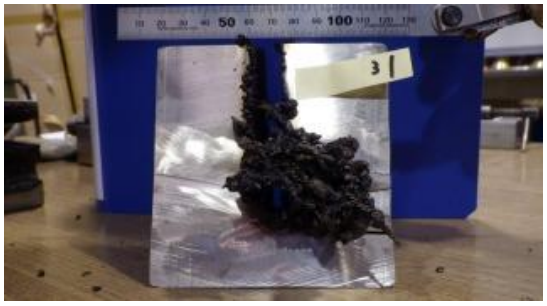
3. 切断写真



試験体側部



試験体表側



試験体裏側

試験体裏側ドロス

試験 No.32

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:60/30	Air:40	4.5

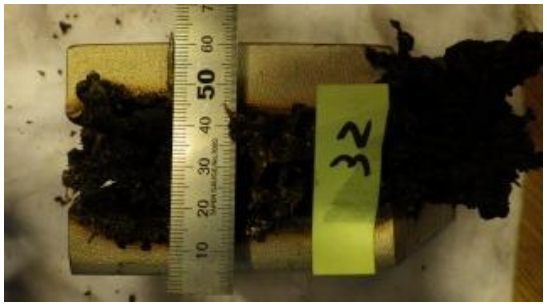
ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	50	10	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
矢型	SUS304	80-130

2．試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
100	10	12	200

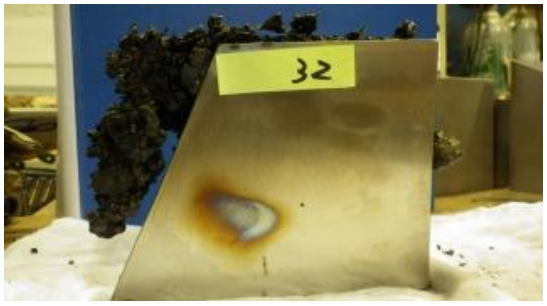
3．切断写真



試験体側部

試験体表側

試験体裏側



試験体裏側ドロス

試験 No.33

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:60/40	Air:40	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	50	10	0.5

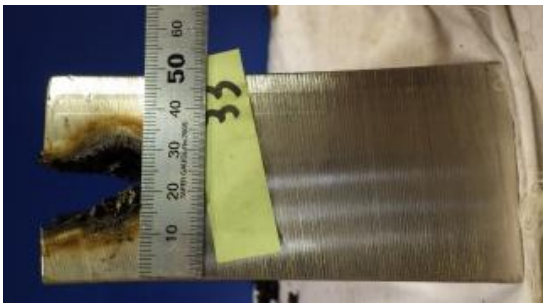
試験体形状	材質	板厚(mm)
矢型	SUS304	80-130

2．試験結果

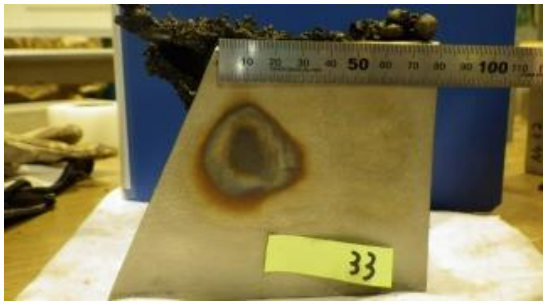
切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
90	12	12	200

3．切断写真

試験体側部



試験体裏側
（ドロス除去後）



試験体裏側ドロス

試験 No.34

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:50/25	Air:40	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	50	10	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
階段状	SUS304	90-110

2. 試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
100	11	13	200

3. 切断写真

試験体側部

試験体表側

試験体裏側

試験体裏側ドロス

試験 No.35

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:60/30	Air:40	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	50	10	0.5

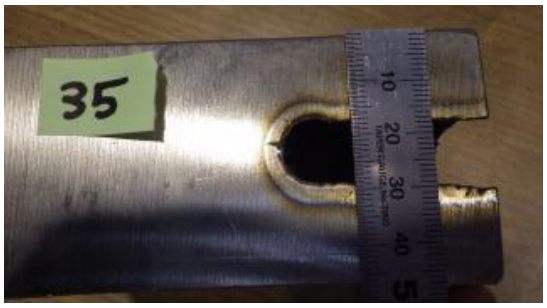
試験体形状	材質	板厚(mm)
矢型	SUS304	80-110

2．試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
92	12	10	210

3．切断写真

試験体側部
ドロス除去後



試験体表側

試験体裏側
ドロス除去後

試験体裏側ドロス

試験 No.36

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:60/30	Air:60	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	50	14	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
矢型	SUS304	80-110

2. 試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
105	14	12	200

3. 切断写真

試験体側部

試験体表側

試験体裏側

試験体裏側ドロス

試験 No.37

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:60/30	Air:40	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	-	10	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
平板	SUS304	100

2．試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
-	-	-	180

3．切断写真

試験体側部

試験 No.38

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:60/30	Air:40	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	-	10	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
平板	SUS304	100

2．試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
-	-	-	180

3．切断写真

試験体側部

試験 No.39

1. 試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:60/30	Air:80	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
10	水平横	50	10	0.5

試験体形状	材質	板厚(mm)
矢型	SUS304	80-120

2. 試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
100	12	11	200

3. 切断写真

試験体側部

試験体表側

試験体裏側

試験 No.40

1．試験条件

出力電流(A)	プラズマガス(L/min)	シールドガス(L/min)	ノズル径(mm)
600	Ar/H_2:60/30	Air:40	4.5

ｽﾀﾝﾄﾞｵﾌ(mm)	切断方向	切断速度(mm/min)	遅延時間(sec)	水深(m)
5	水平横	50	10	0.5

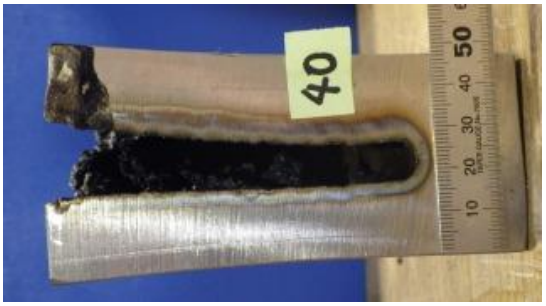
試験体形状	材質	板厚(mm)
矢型	SUS304	80-120

2．試験結果

切断板厚(mm)	カーフ幅(表側)	カーフ幅(裏側)	最大アーク電圧(V)
100	9	11	200

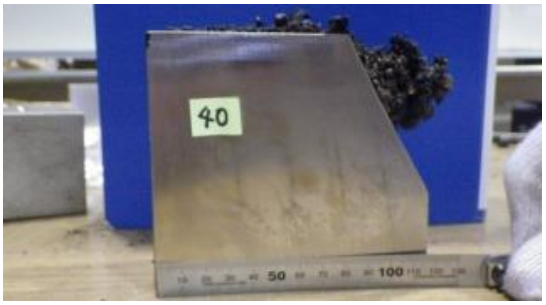
3．切断写真

試験体側部



試験体表側

試験体裏側



試験体裏側ドロス

国際単位系（SI）

表１．SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表２．基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立法メートル	m^3
速さ，速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s^2
波数	毎メートル	m^{-1}
密度，質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m^2
比体積	立方メートル毎キログラム	m^3/kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m^2
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度[a]，濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
質量濃度	キログラム毎立法メートル	kg/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率[b]	（数字の）　1	1
比透磁率[b]	（数字の）　1	1

(a) 量濃度（amount concentration）は臨床化学の分野では物質濃度（substance concentration）ともよばれる。
(b) これらは無次元量あるいは次元１をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の１は通常は表記しない。

表３．固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン[b]	rad	1 [b]	m/m
立体角	ステラジアン[b]	sr[c]	1 [b]	m^2/m^2
周波数	ヘルツ[d]	Hz		s^{-1}
力	ニュートン	N		$m\ kg\ s^{-2}$
圧力，応力	パスカル	Pa	N/m^2	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
仕事率，工率，放射束	ワット	W	J/s	$m^2\ kg\ s^{-3}$
電荷，電気量	クーロン	C		s A
電位差（電圧），起電力	ボルト	V	W/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	$kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度[e]	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr[c]	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	$m^{-2}\ cd$
放射性核種の放射能[f]	ベクレル[d]	Bq		s^{-1}
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト[g]	Sv	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
酸素活性	カタール	kat		$s^{-1}\ mol$

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b)ラジアンとステラジアンは数字の１に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の１は明示されない。
(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f)放射性核種の放射能（activity referred to a radionuclide）は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
(g)単位シーベルト（PV,2002,70,205）についてはCIPM勧告2（CI-2002）を参照。

表４．単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	$m^{-1}\ kg\ s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg\ s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m\ m^{-1}\ s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m\ m^{-1}\ s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	$kg\ s^{-3}$
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}$
比熱容量，比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2\ s^{-2}\ K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	$m\ kg\ s^{-3}\ K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m^3	$m^{-3}\ sA$
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
電束密度，電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2\ kg\ s^{-2}\ mol^{-1}$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}\ mol^{-1}$
照射線量（X 線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1}\ sA$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2\ s^{-3}$
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=m^2\ kg\ s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2\ sr)$	$m^2\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=kg\ s^{-3}$
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m^3	$m^{-3}\ s^{-1}\ mol$

表５．SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	ヨタ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^{6}	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^{3}	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表６．SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L, l	$1L=11=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	$1t=10^3$ kg

表７．SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

表８．SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	$1\ bar=0.1MPa=100kPa=10^5Pa$
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	$1\ Å=0.1nm=100pm=10^{-10}m$
海里	M	1 M=1852m
バーン	b	$1\ b=100fm^2=(10^{-12}cm)2=10^{-28}m^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	dB	

表９．固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	$1\ erg=10^{-7}\ J$
ダイン	dyn	$1\ dyn=10^{-5}N$
ポアズ	P	$1\ P=1\ dyn\ s\ cm^{-2}=0.1Pa\ s$
ストークス	St	$1\ St\ =1cm^2\ s^{-1}=10^{-4}m^2\ s^{-1}$
スチルブ	sb	$1\ sb\ =1cd\ cm^{-2}=10^4cd\ m^{-2}$
フォト	ph	$1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}\ 10^4lx$
ガル	Gal	$1\ Gal\ =1cm\ s^{-2}=10^{-2}ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1\ Mx = 1G\ cm^2=10^{-8}Wb$
ガウス	G	$1\ G\ =1Mx\ cm^{-2}\ =10^{-4}T$
エルステッド[c]	Oe	$1\ Oe \triangleq (10^3/4\pi)A\ m^{-1}$

(c) ３元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≙ 」は対応関係を示すものである。

表10．SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R = 2.58\times10^{-4}C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$
ガンマ	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フェルミ		1フェルミ=1 fm=10-15m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー）4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	μ	$1\ \mu\ =1\mu m=10^{-6}m$

（第8版，2006年改訂）

この印刷物は再生紙を使用しています