

宇宙航空研究開発機構研究開発資料

JAXA Research and Development Memorandum

「ISO 11227 Space systems — Test procedure to evaluate spacecraft material ejecta upon hypervelocity impact
(宇宙システム—超高速衝突に起因する宇宙機材料イジェクタ
評価のための試験手順)」
に基づく試験装置較正及びejecta評価試験

赤星 保浩, 松本 晴久, 北澤 幸人

2016年3月

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

「ISO 11227 Space systems — Test procedure to evaluate
spacecraft material ejecta upon hypervelocity impact
(宇宙システム—超高速衝突に起因する宇宙機材料イジェクタ
評価のための試験手順)」
に基づく試験装置校正及び ejecta 評価試験

赤星 保浩^{*1}, 松本 晴久^{*2}, 北澤 幸人^{*3}

概 要

ejecta(イジェクタ)とはスペースデブリやマイクロメテオロイドが宇宙機表面に超高速衝突する際に二次的に生じるデブリであり、Paint flakes とならんで微小サイズのデブリの重要な発生源と考えられている。国際標準化機構(ISO)は2012年に国際標準文書「ISO 11227 Space systems — Test procedure to evaluate spacecraft material ejecta upon hypervelocity impact」(宇宙システム—超高速衝突に起因する宇宙機材料イジェクタ評価のための試験手順)を発行し、各種宇宙用材料から発生する ejecta の発生評価に関する試験・評価に関する標準的な試験方法を制定した。JAXA の宇宙機設計標準委員会の WG3 (デブリ防護設計標準) 及び WG10 (宇宙環境標準) における標準化活動の一環として、ISO11227 に基づいて国内の装置校正試験及び材料評価試験を試行した。本文書はその実施内容についてまとめたものである。

* 平成 27 年 12 月 16 日受付 (Received December 16, 2015)

^{*1} 国立大学法人九州工業大学 (Kyushu Institute of Technology)

^{*2} 研究開発部門 第一研究ユニット (Research Unit I, Research and Development Directorate)

^{*3} 国立大学法人九州工業大学 / 研究開発部門 第一研究ユニット / 株式会社 IHI (Kyushu Institute of Technology / Research Unit I, Research and Development Directorate / IHI Corporation)

1. はじめに

本書は2012年の制定・発行された国際標準文書「ISO 11227 Space systems — Test procedure to evaluate spacecraft material ejecta upon hypervelocity impact」（宇宙システム—超高速衝突に起因する宇宙機材料イジェクタ評価のための試験手順）に基づいて実施した装置較正試験及び試行した材料評価試験についてまとめたものである。

ISO11227 は宇宙用材料から放出されるイジェクタ（ejecta：宇宙機外表面にデブリやメテオロイドが衝突することによって発生する2次デブリ）の量や拡散分布状況等を評価するための試験・評価方法を規定したものである。

この規格においては、各試験機関で取得したデータの比較を可能とするため、試験装置の較正試験（較正方法）の実施方法も含まれている。

本書は国立研究開発法人宇宙開発研究機構宇宙科学研究所（以下、「ISAS」）所有の2段式軽ガス銃、及び国立大学法人九州工業大学（以下、「九州工大」）の2段式軽ガス銃の較正試験の実施手順と実施結果をまとめ、更に較正済みの九州工大の2段式軽ガス銃を用い、宇宙用材料のイジェクタ評価試験を行ったものである。

2. 適用文書

ISO 11227 Space systems — Test procedure to evaluate spacecraft material ejecta upon hypervelocity impact」（宇宙システム—超高速衝突に起因する宇宙機材料イジェクタ評価のための試験手順） 2012年発行（以下、「適用文書」。）

注）適用文書は国際標準化機構（ISO）が著作権を有するので、そのままの転載はできない。そのため、本書では適用文書制定のために国際合意をとるための審議文書である DIS（Draft International Standard）11227 より該当箇所を転載している。DIS11227 と ISO11227 との間には大きさ差異はなく、文書の editorial な差異のみである。

また、本書の試験は DIS 文書から ISO 文書への移行時に内容の妥当性の審査・確認を行う観点も含め実施した。そのため試験も DIS11227 に従って実施している。

DIS11227 と ISO11227 との間に差異は無いが、本試験実施後、この試験成果をもって ISO11227 が制定されたため、今後の同種試験の実施に際しては、ISO11227 を適用する必要がある。

3. 本書の構成と概略

本書は以下のⅡ章から構成されている。

第 I 章 国内試験装置の校正試験 (Calibration) 結果

- I-1 DIS 11227 で規定されている校正試験 (Calibration)
- I-2 ISAS の 2 段式軽ガス銃の校正試験 (Calibration)
- I-3 九州工大の 2 段式軽ガス銃の校正試験 (Calibration)

第 II 章 模擬ダストの超高速衝突試験の分析結果

- II-1 DIS 11227 で規定されている試験内容
- II-2 DIS 11227 に沿った各種宇宙用材料への評価試験

第 I 章は適用文書 5 章の記述に沿って、校正試験の実施内容と実施結果をまとめたものである。

I-1 は適用文書の第 5 章 (校正試験) の内容とその邦訳をまとめたものである。また、I-2 は ISAS の試験装置の校正試験の実施内容と実施結果を、I-3 は九州工大の校正試験の実施内容と実施結果をまとめたものである。

第 II 章は適用文書の第 6 章の記述に沿って、宇宙用材料に対する ejecta 評価試験の実施内容と実施結果をまとめたものである。

II-1 は適用文書第 6 章に記されている試験実施内容とその邦訳をまとめたものである。II-2 は適用文書の第 6 章に基づき、供試体材料 (3 種類) に対し、適用文書沿った試験・記録を実施し、各供試体につき一回ずつ試験を行い、試験が実施可能であることを確認したものである。(なお、適用文書では各試験から得られるデータの繰り返し性を確認することを要求しており、また、その 7 章において最終的な報告の書式を規定している。)

補足) ISO11227 の改訂予定及び関連文書

適用文書 (ISO11227) は 2012 年に制定されたため、2017 年に SR(Systematic Review)が行われ、内容の見直し・改訂が行われる。

【謝辞】

本研究にあたっては、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所スペースプラズマ共同研究設備 (2 段式軽ガス銃) 及び国立大学法人九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリーの 2 段式軽ガス銃を利用した。関係者に厚く御礼申し上げます。

目 次

第 I 章 国内試験装置の較正試験 (Calibration) 結果

I-1 章 DIS 11227 で規定されている較正試験 (Calibration)

1 Calibration (較正試験)	10
2 Reporting of test results (試験結果の報告)	12
2.1 General (概要)	12
2.2 Report of testing of materials (材料試験の報告)	13
2.2.1 Information on test sample (試験片の情報)	13
2.2.2 Description of test procedures (実験手順の説明)	13
2.2.3 Presentation of test results (実験結果の発表)	14
2.3 Database (データベース)	14
3 Quality assurance (品質保証)	14
3.1 General (概要)	14
3.2 Quality requirements (品質要求事項)	15
3.2.1 Request for HVI testing of materials (超高速衝突試験の材料における要求)	15
3.2.2 Work proposal for HVI testing of materials (超高速衝突試験の材料における研究提案)	15
3.2.3 Calibration (較正試験)	16
3.2.4 Testing, evaluation and reporting (試験, 評価, 報告)	16
3.2.5 Traceability and records (トレーサビリティと記録)	16

I-2 章 ISAS の 2 段式軽ガス銃の較正試験 (Calibration)

概要	20
1 目的	23
2 実験装置	23
2.1 飛翔体加速装置	23
2.2 計測装置	23
2.2.1 顕微鏡システム	23
2.2.2 高速度カメラ	25
3 試験パラメータ	25
4 試験手順	29
4.1 注意事項	29
4.2 試験前の準備	29
4.3 試験後の測定	30
5 解析手順	30
5.1 注意事項	30
5.2 解析方法	30
6 実験結果	30
7 結論	33

I-3 章 九州工大の2段式軽ガス銃の較正試験 (Calibration)

概要	36
1 目的	39
2 実験装置	39
2.1 飛翔体加速装置	39
2.2 計測装置	40
2.2.1 電子天秤	40
2.2.2 顕微鏡システム	40
2.2.3 高速度カメラ	41
3 試験パラメータ	42
4 試験手順	45
4.1 注意事項	46
4.2 試験前の準備	46
4.3 試験後の測定	46
5 解析手順	47
5.1 注意事項	47
5.2 解析方法	47
6 実験結果	47
7 結論	54

第II章 模擬ダストの超高速衝突試験の分析結果

II-1 章 DIS 11227 で規定されている試験内容

1 Experimental procedure (実験手順)	62
1.1 General (概要)	62
1.2 Impact parameters (衝突パラメータ)	62
1.3 Ejecta characterization and evaluation (イジェクタの特性解析および評価)	64
1.4 Analysis of test results (試験結果の解析)	66
2 Reporting of test results (試験結果の報告)	67
2.1 General (概要)	67
2.2 Report of testing of materials (材料試験の報告)	68
2.2.1 Information on test sample (試験片の情報)	68
2.2.2 Description of test procedures (実験手順の説明)	68
2.2.3 Presentation of test results (実験結果の発表)	69
2.3 Database (データベース)	69
3 Quality assurance (品質保証)	69
3.1 General (概要)	69
3.2 Quality requirements (品質要求事項)	70
3.2.1 Request for HVI testing of materials (超高速衝突試験の材料における要求)	70
3.2.2 Work proposal for HVI testing of materials (超高速衝突試験の材料における研究提案)	70

3.2.3 Calibration (較正試験)	71
3.2.4 Testing, evaluation and reporting (試験, 評価, 報告)	71
3.2.5 Traceability and records (トレーサビリティと記録)	71

II-2 章 DIS 11227 に沿った各種宇宙用材料への評価試験

概要	74
1 目的	78
2 実験装置	78
2.1 飛翔体加速装置	78
2.2 計測装置	79
2.2.1 電子天秤	79
2.2.2 顕微鏡システム	80
3 試験パラメータ	80
4 試験手順	85
4.1 注意事項	85
4.2 試験前の準備	85
4.3 試験後の測定	85
5 解析手順	86
5.1 注意事項	86
5.2 解析方法	86
6 実験結果	86
7 結論	91

第 I 章

国内試験装置の校正試験 (Calibration) 結果

I-1 章 DIS 11227 で規定されている校正試験 (Calibration)

I-2 章 ISAS の 2 段式軽ガス銃の校正試験 (Calibration)

I-3 章 九州工大の 2 段式軽ガス銃の校正試験 (Calibration)

第 I — 1 章

DIS 11227 で規定されている校正試験 (Calibration)

[I-1]

ISO/TC 20/SC 14/DIS11227 ” Space systems – Test procedures to evaluate spacecraft material ejecta upon hypervelocity impact”より，以下抜粋．

1 Calibration (較正試験)

Before performing the experimental procedure a calibration of the hypervelocity impact facility shall be made. The purpose of this is to provide a reference data point for the subsequent tests at the facility.

実験手順を行う前に，超高速衝突施設の較正をしなければならない．較正試験の目的は，その施設で後述する試験における参考データ点を与えることである．

A test shot shall be performed using the following projectile parameters :

試験は以下の飛翔体パラメータを使って行うものとする．

- material: aluminium alloy Al 2017 or Al2024 is recommended. The choice is based on de jure standards;
- size and shape: 1 mm +/- 0.1 mm diameter sphere
- impact velocity: 5000 m/s +/- 100 m/s is recommended;
- impact angle of incidence relative to target normal: 0° .
- 材質：アルミ合金 Al 2017 もしくは Al 2024 を推奨．選択は，正当な標準に基づく．
- サイズ・形状：直径 1 mm +/- 0.1 mm の球
- 衝突速度：5000 m/s +/- 100 m/s を推奨
- 垂直なターゲットに対する衝突入射角：0°

The target shall have the following characteristics :

ターゲットは以下の特徴を持つものとする．

- size : 50 mm (+/- 1.5 mm) x 50 mm (+/- 1.5 mm);
- material : fused silica glass, such as Lithosil glass, from Schott AG.
- thickness : 20 mm (+/- 1.5 mm);
- fixing: at the edges onto a mounting plate.
- サイズ：50 mm (+/- 1.5 mm) x 50 mm (+/- 1.5 mm)
- 材質：石英ガラス，例えば Schott AG からの Lithosil glass など．
- 厚さ：20 mm (+/- 1.5 mm)
- 固定方法：取付板の端で固定

Note: The target material is fragile and it is recommended that the target should be in a small box with a window (hole) to prevent mass measurement error of the target after the impact test.

注釈：ターゲットの材質は壊れやすく，衝突試験後のターゲットの質量測定誤差を防ぐため，窓（穴）

[I-1]

のあいた小さなボックスにターゲットを入れることを推奨する。

A witness plate shall be used to collect ejecta particles released from the front side of the target during impact.

ウィットネスプレートは衝突中にターゲット前面から放出されるイジェクタ粒子を捕集するために使われるものとする。

The witness plate shall satisfy the following parameters:

ウィットネスプレートは以下のパラメータを満たすものとする。

- size: 250 mm x 150 mm, a circular hole (diameter 30 mm) will be cut in the center, in order to allow the projectile to go through;
- material: copper is recommended. The choice is based on de jure standards such as JIS H3100 C1100P-1/4H, ASTM B152 C11000, EN CW004A ;
- thickness: 2 mm;
- distance and position (angle) to the target: 50 – 100 mm in front of the target, parallel to the target;
- fixing: by threaded rods and bolts, fixed on the target holding plate (see Annex C).
- サイズ : 250 mm×150 mm, 飛翔体を通過させるために直径 30mm の丸い穴を中央に開ける
- 材質 : 銅を推奨。選択は、JIS H3100 C1100P-1/4H, ASTM B152 C11000, EN CW004A などの正当な標準に基づく。
- 厚さ : 2mm
- ターゲットとの距離と位置 (角度) : ターゲット前方の 50 – 100 mm, ターゲットと平行
- 固定方法 : ターゲット保持板に固定した、ネジ棒とボルトを用いる (Annex C 参照)

The general environment shall satisfy the following parameters:

試験環境は以下のパラメータを満足しなければならない。

- operating temperature: room temperature;
- operating pressure: < 0.1 Pa. (recommended)
- 作動温度 : 室温
- 作動圧 : < 0.1 Pa (推奨)

As a minimum the following parameters shall be measured:

最低限、以下のパラメータは測定されなければならない。

- diameter and depth of impact crater
- size distribution of diameter of craters created by front side ejecta particles within the following ranges:
 - between 0.025 and 0.05 mm (mainly from the ejecta cone);

[I-1]

- between 0.05 and 0.1 mm (mainly from the ejecta cone);
 - between 0.1 and 1 mm (mainly from spall);
 - >1 mm (from spall).
- 衝突痕の直径と深さ
 - 以下の範囲内での前面イジェクタ粒子による衝突痕直径のサイズ分布
 - 0.025 ~ 0.05 mm の間 (主にイジェクタコーン)
 - 0.05 ~ 0.1 mm の間 (主にイジェクタコーン)
 - 0.1 ~ 1 mm の間 (主にスポール)
 - > 1 mm (スポール)

More details for the ejecta characterization are given in section 6.3 and in Annex C.

イジェクタの特性に関する詳細は、6.3 節と Annex C にある。

2 Reporting of test results (試験結果の報告)

2.1 General (概要)

The report shall provide all information relevant to the understanding and correct interpretation of the test activity and test results.

報告書は、試験活動と試験結果についての理解と正確な解釈における適切なすべての情報を提供しなければならない。

The report shall contain:

1. an abstract summarizing the test procedure and findings;
2. an introduction which provides the background information to the test (i.e. reason for testing, use and applicability of results);
3. the objective of the test activity;
4. information on the tested material;
5. a description of the test procedure and test conditions;
6. the calibration report ;
7. presentation of results;
8. discussion of results;
9. conclusions and recommendations;
10. numerical data in a format agreed by the customer;
11. Customer's authorization about the tests.

報告書は以下のことを含んでいなければならない。

1. 実験手順と結果を要約している概要
2. 試験における背景を与える序論 (例えば、試験のための動機、結果の適用性や使用)

[I-1]

3. 試験活動の目的
4. 試験片についての情報
5. 実験手順と実験条件の解説
6. 較正試験報告
7. 結果の提示
8. 結果の考察
9. 結論と提言
10. 顧客によって承諾された形式の数値データ
11. 試験についての顧客の承認

2.2 Report of testing of materials (材料試験の報告)

2.2.1 Information on test sample (試験片の情報)

The report should include the following information on the test material and on the witness plate, as provided by the supplier :

1. supplier's name and code;
2. material standard designation;
3. date of batch manufacturing;
4. specified chemical composition;
5. material and heat treatment specifications;
6. surface treatment, if any;
7. description of other manufacturing processes (e.g. welding, cutting and milling);
8. non-destructive inspection, before the tests
9. safety information and handling notice.

報告書は、仕入先によって与えられる試験片やウィットネスプレートについての以下の情報を含まなくてはならない。

1. 仕入先の名前と郵便番号
2. 材料規格の記号
3. バッチ生産の日付
4. 指定された化学合成品
5. 材料と熱処理の仕様
6. 表面処理 (もしあれば)
7. 他の製造過程の記述 (例えば、溶接、切削、フライス加工)
8. 試験前に非破壊検査
9. 安全対策情報と取扱情報

2.2.2 Description of test procedures (実験手順の説明)

The report shall provide a description of the specimen preparation, test equipment and test procedure. The

[I-1]

information provided shall be in accordance with the requirements specified in the relative sections of this standard.

- Estimated values of precision and bias for the test results shall be included.
- Anomalies and deviations from test procedures shall be reported.

報告書は試料作成，実験機材と実験手順の説明を提供するものとする。提供された情報は，この規格と関連のある節で指定された要件に従っているものとする。

- 実験結果における精度と偏りの評価値は含まれているものとする
- 実験手順からの異常性と偏差は報告されるものとする

2.2.3 Presentation of test results (実験結果の発表)

Test results shall be presented in the report in an appropriate format (e.g. tables, drawings, plots, diagrams and photos) together with a written description.

Units of measure and scales shall be consistent and in agreement with SI units and those are recommended be consistent and in agreement with customer specifications.

実験結果は，まとめられた記述とともに適切な書式（例えば，表，図面，プロット，図，写真）による報告書で提出されるものとする。

寸法やスケールの単位は，一貫性があり，顧客の規格に従っているものとする。

2.3 Database (データベース)

The test results should be provided to standards organisations that maintain spacecraft materials databases such as ECSS-Q70-71A described in Bibliography [8], and made publicly available.

The test results should be provided in an electronic format that can be incorporated into such databases. Annex D gives an example of a material data sheet from ECSS-Q70-71A, Bibliography [8].

実験結果は，参考文献[8]で記載されているような ECSS-Q70-71A など，宇宙機の材料データベースを維持する標準機構に供給され，公的に入手可能であるべきである。

実験結果は，上記のデータベースに組み込まれることができるように電子形式で与えられるべきである。

Annex D は参考文献から材料データシートの例である。

3 Quality assurance (品質保証)

3.1 General (概要)

The test facility shall implement the quality assurance, inspection and quality control procedures herein specified before conducting any test activity. The implementation of the quality assurance, inspection and quality control procedures shall be maintained for the entire duration of the test activity.

The test facility shall establish and implement adequate quality control actions and inspections to provide evidence of conformity to the test requirements.

Quality control actions and inspections for test activities carried out by sub-contractors to the test facility are

[I-1]

entirely under the direct responsibility of the test facility.

試験施設は、試験活動を行う前にここに指定された品質保証、検査、品質管理施策を実施するものとする。

品質管理施策の実施、検査、品質保証は、試験活動の全持続期間において維持されるものとする。

試験施設は、試験要件への準拠している証拠を与えるために十分な品質管理活動と検査を構築し、実施するものとする。

試験施設の副契約者によって行われた試験活動における品質管理活動と検査は、完全に試験施設の直接の責任下である。

3.2 Quality requirements (品質要求事項)

3.2.1 Request for HVI testing of materials (超高速衝突試験の材料における要求)

The customer shall issue a request to a hypervelocity impact facilities to test the materials. The request for testing of materials shall specify:

顧客は、材料を試験するために超高速衝突施設に要求を出すものとする。材料試験における要求は以下を満たすものとする。

- objective of the test activity,
- background and justification to the test activity,
- material to be investigated,
- description of test activity
- deliverables.
- 試験活動の目的
- 試験活動の背景と意義
- 研究される材料
- 試験活動の説明
- 提出書類

3.2.2 Work proposal for HVI testing of materials (超高速衝突試験の材料における研究提案)

The test facility shall issue a work proposal for testing of materials. The work proposal shall specify :

試験施設は、材料試験における研究提案を出すものとする。研究提案は以下を満たすものとする。

- test objective,
- test method and reference to test standards,
- material,
- description of proposed test procedure,
- deliverables,
- work breakdown structure,
- planning and time schedule,

[I-1]

- itemized cost list and payment.
- 実験目的
- 実験方法と試験規格の指示
- 材料
- 提案された実験手順の説明
- 提出書類
- 作業構成明細
- 計画とタイムスケジュール
- 項目別経費リストと支払い

3.2.3 Calibration (較正試験)

In addition to the calibration test specified in Clause 5, the test facility shall carry out and maintain calibration of test equipment throughout the duration of the test activity. Calibration records shall be readily accessible and retrievable for the entire duration of the test activity on customer request.

5章で指定された較正試験に加えて、試験施設は、試験活動期間中の実験機材の較正を行い、維持するものとする。較正の記録は、顧客の要求に応じて試験活動の全期間においてすぐに利用しやすく、検索できるものとする。

3.2.4 Testing, evaluation and reporting (試験, 評価, 報告)

The test facility shall provide evidence that the test activity, evaluation and reporting is carried out in accordance with the requirements listed in Clauses 5, 6 and 7, respectively.

試験施設は、試験活動、評価と報告が、5、6、7章それぞれで記載された要件にしたがって行われるという証拠を与えるものとする。

3.2.5 Traceability and records (トレーサビリティと記録)

Materials shall be durably marked to unequivocally identify manufacturer's code, batch number, material standard designation.

Specimens shall be durably marked to unequivocally identify individual specimens.

The test facility shall maintain test records for the entire duration of the contract.

Test records shall be accessible and retrievable on customer request.

Storage of materials and specimens by the test facility shall be agreed with the customer.

Disposal of materials and specimens shall be authorized by the customer.

材料は、製造コード、バッチナンバー、材料規格の記号をはっきりと確認するために永続的にマークを付けられるものとする。

試料は、個々の試料をはっきりと確認するために永続的にマークを付けられるものとする。

試験施設は、契約期間中における実験記録を維持するものとする。

実験記録は、顧客の要求に応じて利用でき、検索できるものとする。

[I-1]

試験施設による試料および材料の保存は、顧客に同意されるものとする。

試料および材料の処分は、顧客によって許可されるものとする。

第 I - 2 章

ISAS の 2 段式軽ガス銃の校正試験 (Calibration)

[I-2]

概 要

本報告書は ISO/TC20/SC14/DIS11227 に準拠して実施した宇宙航空研究開発機構／宇宙科学研究所(以下, ISAS と記す) の二段式軽ガス銃における, 較正実験の実施手順と実施結果をまとめたものである。実験は DIS11227 の第 5 章に従って実施し, 第 7 章に従って報告をまとめた。表 A に DIS11227 の第 5 章で要求されている実験実施パラメータと本実験で設定したパラメータの比較を, また表 B に DIS11227 の第 7 章で要求されている試験報告の内容と, その内容に対応する本書での該当箇所(項目番号)を示す。なお, DIS11227 の実験パラメータは必須 (shall) 条件ではないが, 可能な限り近いことが要請 (“should”) されており, 本実験の条件も DIS11227 と可能な限り同一とした。

2010 年 4 月 12 日に実験を実施した結果, ISAS の二段式軽ガス銃で ISO/TC20/SC14/DIS11227 に準拠した較正実験の実施が可能であることを確認した。

[I-2]

表 A: DIS11227 の第 5 章で要求されている試験実施パラメータと本実験で設定したパラメータの比較

		DIS11227	This study
Projectile	Material	Aluminum alloy A2017 or A2024	A2017
	Size and shape	1 mm +/- 0.1 mm diameter sphere	Same
	Impact velocity	5 km/s +/- 0.1 km/s	5 km/sec
Target	Material	Fused silica	Synthetic fused silica
	Size	50 x 50 x 20 mm (+/- 1.5 mm)	Same
	Fixing	At the edges onto a mounting plate	Supported by rubber sponge
Witness plate	Material	Copper	Copper (JIS H3100 C1100P-1/4H)
	Size	250 x 150 x 2 mm	180 x 150 x 2 mm
	Hole diameter	30 mm in the centre	Same
	Distance to the target	50 – 100 mm	50 mm, 100 mm
	Position angle to the target	Parallel to the target	Same
	Fixing	Fixed on the target holding plate by threaded rods and bolts	Supported by aluminum plates
	Surface treatment	Not defined	Buffing
General environment	Operating temperature	Room temperature	Same
	Operating pressure	< 0.1 Pa	12 Pa

[I-2]

表 B: 本書（次ページよりの報告文書）と DIS11227 の第 7 章で要求される報告書内容の比較

DIS11227 第 7 章で要求される報告書内容	本書の該当箇所	
1. an abstract summarizing the test procedure and findings; 1. 実験手順と結果を要約している概要	【概要】 1 目的	
2. an introduction which provides the background information to the test (i.e. reason for testing, use and applicability of results); 2. 試験における背景を与える序論(例えば, 試験のための動機, 結果の適用性や使用)	1 目的	
3. the objective of the test activity; 3. 試験活動の目的	1 目的	
4. information on the tested material; 4. 試験片についての情報	3 試験パラメータ	
5. a description of the test procedure and test conditions; 5. 実験手順と実験条件の解説	2 実験装置 2.1 飛翔体加速装置 2.2 計測装置 2.2.1 顕微鏡システム 2.2.2 高速度カメラ 3 試験パラメータ	4 試験手順 4.1 注意事項 4.2 試験前の準備 4.3 試験後の測定 5 解析手順 5.1 注意事項 5.2 解析方法
6. the calibration report ; 6. 較正試験報告	6 実験結果	
7. presentation of results; 7. 結果の提示	6 実験結果	
8. discussion of results; 8. 結果の考察	6 実験結果	
9. conclusions and recommendations; 9. 結論と提言	7 結論	
10. numerical data in a format agreed by the customer; 10. 顧客によって承諾された形式の数値データ	N/A	
11. Customer's authorization about the tests. 11. 試験についての顧客の承認	N/A	

[I-2]

2010年4月12日、ISASに設置されている試験装置にて、ISO/TC20/SC14/DIS11227に準拠した較正実験を行った。以下に、実施内容を記す。

1 目的

九州工業大学で先行して実施した Ejecta 評価試験 (DIS1227 の第 5 章に規程されている較正試験) を、ISAS に設置されている実験設備でも実施可能であることを確認する。

2 実験装置

ISAS で行った Ejecta 試験において使用した実験装置を以下に示す。

2.1 飛翔体加速装置

飛翔体加速装置として、二段式軽ガス銃を使用した。Fig. 1 に本実験で使用した二段式軽ガス銃を示す。二段式軽ガス銃は、火薬を着火させる点火部、火薬によって加速されたピストンで軽ガスを圧縮させるポンプチューブ、最も高圧となる高圧カップリング部、飛翔体を加速させるロンチチューブ、フリーフライト区間であるフライトチューブ、最後にターゲットを設置する試料室から構成されている。

二段式軽ガス銃のロンチチューブは内径 7 mm、長さ 1.5 m、内部には 1 m で 1 回転するらせん状のライフル溝が施されている。ロンチチューブから発射されたサボと飛翔体は、フライトチューブ内で分離し、サボはフライトチューブ内に設置されたサボストッパーに衝突、飛翔体はサボストッパーの中心部に設けられた穴を通過して、飛翔体のみターゲットに衝突する。

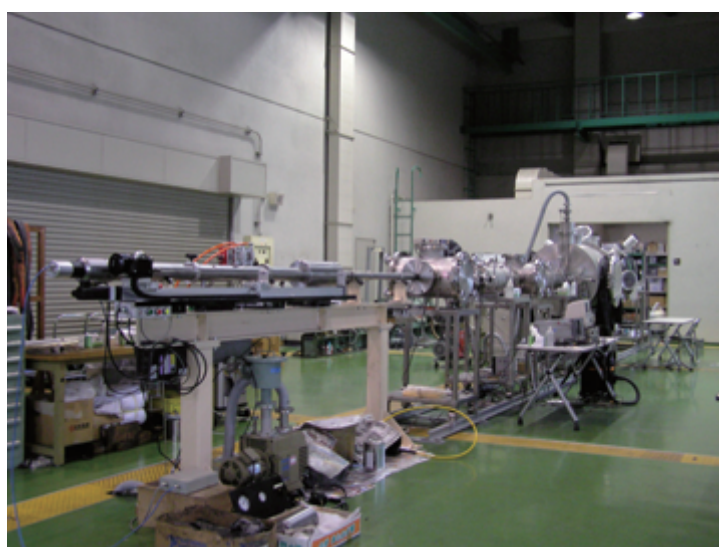


Fig. 1 Two-stage light gas gun at ISAS

2.2 計測装置

2.2.1 顕微鏡システム

ウィットネスプレート上の衝突痕によるサイズ分布を得るために、光学顕微鏡 (Fig. 2) を使用しウ

[I-2]

ウィットネスプレートの拡大画像を取得した。Table 1 に使用した光学顕微鏡の仕様を示す。そのシステムは、光学顕微鏡、横断及び縦走装置、AC サーボモータ、パーソナルコンピュータ、作業台から構成される。顕微鏡システムは、まず X 軸方向に一定間隔で移動し（横行）画像を撮影する。同時にパーソナルコンピュータに画像を保存する。光学顕微鏡がウィットネスプレートの端に到達すると、反対側の端に移動し、Y 軸方向に一定間隔移動し（走行）、上記動作を繰り返す。Fig. 3 にウィットネスプレートの座標を示す。スキャンを行う際に、倍率 125 倍では、実験前の傷と見分けられる最小サイズは直径約 $25\ \mu\text{m}$ であった。倍率 125 倍、X 軸 Y 軸ともに 1 mm の撮影間隔で撮影した場合、1 枚の銅板を撮影し終わるのに約 6 時間かかり、総枚数は 27,331 枚であった。

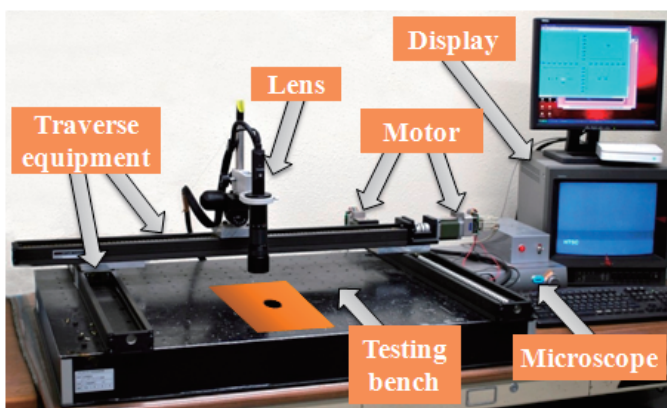


Fig. 2 Microscope system

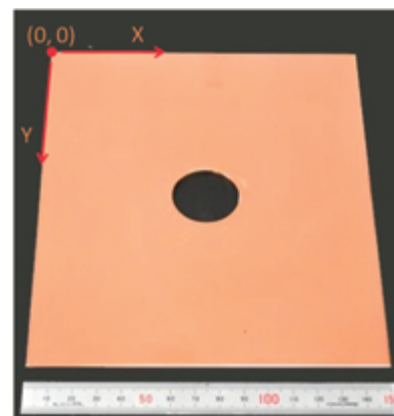


Fig. 3 Coordinate of witness plate

Table 1 Specification of microscope system

Model number (Company)	Zoom lens	VH-Z35 (KEYENCE)
	Traverse equipment	SKR46 (THK)
	Testing bench	HA-1510 (SIGMA KOKI)
Magnification		35 ~ 245
Image size [pixel]		640 x 480
Depth of field [mm]		8.3 ~ 0.3
Observation distance [mm]		54
Operating distance [mm]		740 x 940

[I-2]

2.2.2 高速度カメラ

Ejecta の発生過程を撮影するために、高速度カメラを使用した。Fig. 4, Table 2 に高速度カメラの外観及び仕様をそれぞれ示す。



Fig. 4 High-speed camera

Table 2 Specification of high-speed camera

Product name (Company)	High-speed camera (SHIMADZU)
Model number	HPV-1
Recording method	IS-CCD image sensor
Resolution [pixel]	312 (horizontal) x 260 (vertical)
Frame storage [frame]	100
Lens mount	Nikon F mount
Color, Gradations	Monochrome, 10 bits
Recording speed [fps]	30 to 1,000,000
Exposure time	1/2, 1/4, 1/8, or OFF(3/4) of recording intervals
External trigger input	TTL (positive/negative)
Recording format	10-bit dedicated format, BMP, AVI, JPEG

3 試験パラメータ

試験パラメータを以下に示す。Fig. 5 にターゲット及びウィットネスプレートの構成図を示す。Ejecta 質量は、ターゲットの実験前後の質量差により算出するが、ターゲットが合成石英ガラスの場合、衝突試験によりガラスのエッジがかけ、厳密な Ejecta 質量の算出が困難であるため、ターゲットを Fig. 6

[I-2]

のターゲットホルダーに入れて実験を行った。ウィットネスプレートは、ターゲット前面に放出された Ejecta を捕獲及び衝突ダメージの評価をするために使用する。

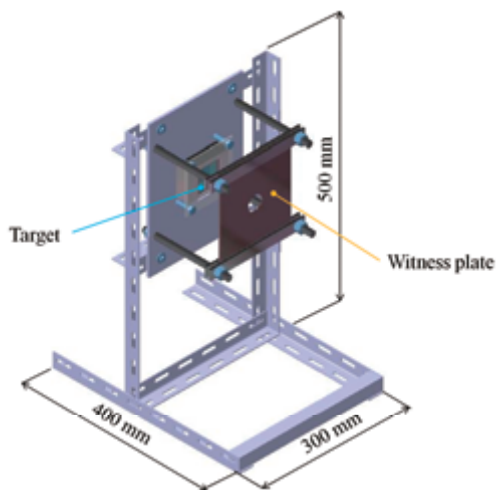


Fig. 5 Setup of target and witness plate

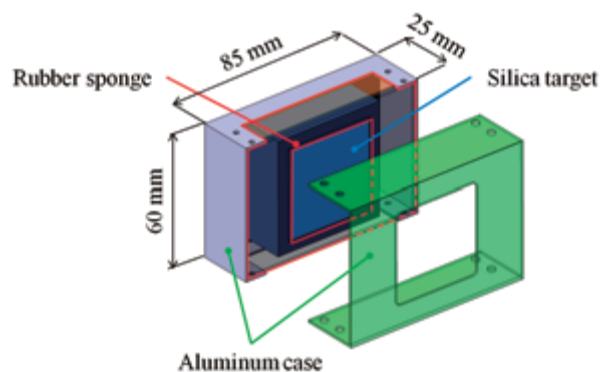


Fig. 6 Target holder

- 飛翔体

規格案では飛翔体材料として A2017 と A2024 を推奨している。本実験では、以下に示すように A2017 球を使用する。

材質：アルミニウム合金 (Al 2017)

サイズ及び形状：直径 1 mm +/- 0.1 mm 球

衝突速度 (推奨値)：5 km/sec +/- 100m/sec

注：本衝突速度は推奨値であり、本実験における衝突速度は較正試験で実施した速度に準ずるものとする。

衝突角度：0° (ターゲット表面法線方向を 0°とする)

- ターゲット

ターゲットには、規格案通り、衝突によってスポールが発生し、よりエジェクタが放出しやすい材料である熔融石英ガラスを使用する。Fig. 7, Table 3 にターゲットに使用した熔融石英ガラスの外観及び仕様をそれぞれ示す。

[I-2]

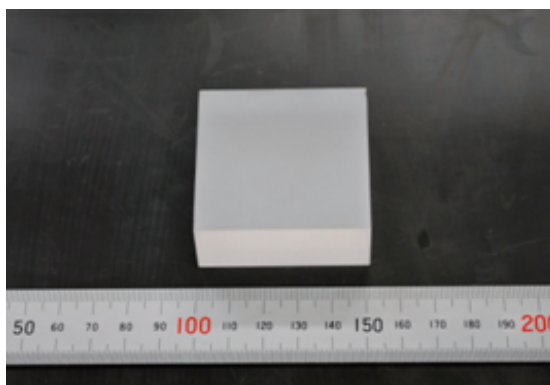


Fig. 7 Target

固定方法：脆性材料の場合はターゲットのエッジにひび割れ及び欠損が発生する可能性があるため、ターゲットの周りをゴムスポンジで覆い、それらをアルミケースの内部に収める (Fig. 6).

Table 3 Specification of target

Target material	Fused Silica
Product name (Company)	LITHOSIL® (SCHOTT)
Grade	QT
Width [mm]	50±1.5
Height [mm]	50±1.5
Thickness [mm]	20±1.0
Mass [g]	110
Density [g/cm³]	2.2
Tensile strength [MPa]	50
Thermal Expansion Coefficient [1/K]	0.51 x 10 ⁻⁶
Thermal Conductivity [W/(m·K)]	1.31
Electrical Resistivity [Ω·m]	1.15 x 10 ¹⁶

[I-2]

- ウィットネスプレート

ウィットネスプレートは、ターゲット前面に放出されたエジェクタを捕獲及び衝突ダメージの評価をするために使用する。規格案 DIS1227 に従って、本実験では銅板を用いる。Fig. 8, Table 4 にウィットネスプレートに使用した銅板の外観及び仕様をそれぞれ示す。

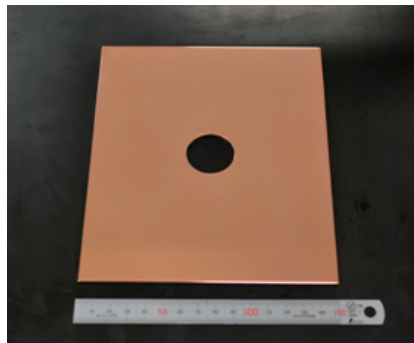


Fig. 8 Witness plate

設置距離：ターゲット前面から 100 mm

設置角度：ターゲットと平行

固定方法: Fig. 5 に示すようにアルミニウム板によりウィットネスプレート上下を挟み固定する。

Table 4 Specification of witness plate

Target material	Copper
Alloy and temper	JIS C 1100P-1/4H
Surface treatment	Buffing
Width [mm]	150
Height [mm]	180
Thickness [mm]	2
Density [g/cm ³]	8.92
Tensile strength [MPa]	215 ~ 275
Vickers hardness [HV]	55 ~ 100
Thermal Expansion Coefficient [1/K]	17.7×10^{-6}
Thermal Conductivity [W/(m·K)]	1.31
Electrical Resistivity [$\Omega \cdot m$]	1.15×10^{16}
Hole diameter [mm]	30

[I-2]

● **試験環境**

規格案に従い、以下を設定

試験温度：室温

試験圧力：可能な限り真空度を高くする。(約 12 Pa)

4 試験手順

ここでは、ターゲット・ウィットネスプレートの設置・計測等の試験手順について記す。飛翔体加速装置の実験手順に関してはここでは省略する。

4.1 注意事項

ウィットネスプレートを扱う際は、ウィットネスプレート表面を傷つけないよう手袋を必ず着用する。解析の際に指紋が付着していると衝突痕を検出できない。

4.2 試験前の準備

- 試験前に飛翔体及びターゲットのパラメータ（質量・サイズ）を測定し Table 5 のデータシートに記入する。
- 測定後、ターゲットをホルダーケースに入れ、ホルダーケース及びターゲットの合計質量を測定する。
- ターゲット及びウィットネスプレートを試料室内に設置する。ウィットネスプレートは、ターゲットの前方 50~100 mm の位置に設置し、ターゲット及びウィットネスプレートの中心を合わせる。

Table 5 Experimental data sheet

	Material	Mass [g]		Size [mm]		
		Before	After	Width	× Height	× Thickness
Target				×		×
Holder case + Target						
Witness plate		Surface treatment		×		×
Projectile		Mass [g]		Diameter [mm]		

[I-2]

4.3 試験後の測定

- 試験後、ターゲット及びウィットネスプレートを取り出し、ホルダーケース及びターゲットの合計質量を測定し、Table 5 に記入する。
- 実験前後の質量差からエジェクタ質量 M_e を算出する。
- ホルダーケースからターゲットを取り出し、衝突痕及びスポール直径を測定し、Table 6 に記入する。

Table 6 Experimental results

Impact velocity [km/sec]		
Ejected mass [mg]		
Diameter [mm]	Impact crater	
	Spall	

5 解析手順

5.1 注意事項

ウィットネスプレートを扱う際は、ウィットネスプレート表面を傷つけないよう手袋を必ず着用する。解析の際に指紋が付着していると衝突痕を検出できない。

5.2 解析方法

- 顕微鏡システムによりウィットネスプレート全面のスキャニングを行う。
- ウィットネスプレートの原点は、ウィットネスプレートの左上端を原点とし、X 軸は原点から左方向を正、Y 軸は原点から下方向を正とした (Fig. 3)。
- スキャニングを行う際に、倍率 125 倍では、実験前の傷と見分けられる最小サイズは直径約 25 μ m であった。直径 10 μ m 以下の衝突痕を識別するのであれば、200 倍以上の倍率が必要である。
- 得られた顕微鏡画像から衝突痕を検出する。
- 検出された衝突痕のサイズ及び座標を取得し、以下のサイズ域に分類する。

<0.010, 0.01~0.025, 0.025~0.05, 0.05~0.075, 0.075~0.1, 0.1~0.15, 0.15~0.2, 0.2~0.3, 0.3~0.4, 0.4~0.5, 0.5~0.75, 0.75~1.0, >1.0 (mm)

6 実験結果

Table 7 及び Table 8 に各実験の結果を示す。また、Fig. 9 に ISAS-02 の実験後のターゲット及びウィットネスプレートを示す。Fig. 10 に、高速度カメラで撮影した ISAS-02 の画像を示す。各実験の Ejecta のサイズ別衝突痕分布図を Fig. 11、衝突痕サイズ別個数分布を Table 9 及び Fig. 12 に示す。

[I-2]

Table 7 Experimental results

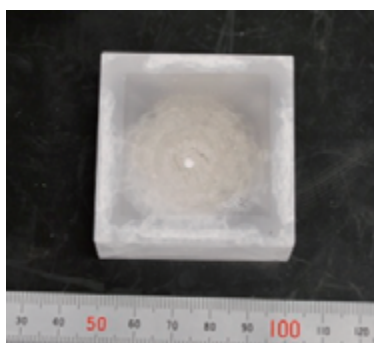
Test number	Projectile material	Alloy and temper	Surface treatment	Distance between T* and WP** [mm]	Impact velocity [km/sec]	Projectile mass [mg]
ISAS-01	A2017	C1100P-1/4H	Buffing	100	4.88	2
ISAS-02					5.18	2

* T: target

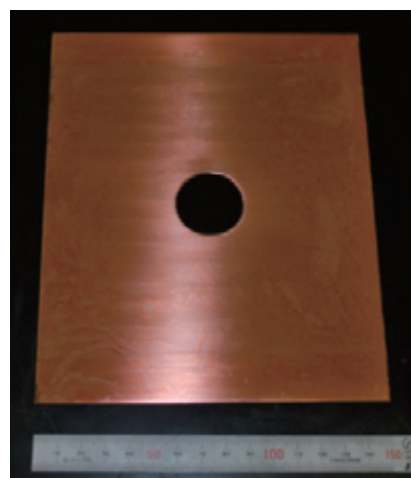
** WP: witness plate

Table 8 Ejecta mass, crater diameter, and spall diameter for each experiment

Test number	Ejecta mass [mg]	Crater diameter [mm]	Spall diameter [mm]	Zenith angles of ejection [deg]
ISAS-01	160.9	2.1	7.9	37
ISAS-02	151.0	2.9	8.0	37



(a) Target



(b) Witness plate

Fig. 9 The target (a) and the witness plate (b) after the test ISAS-02

[I-2]

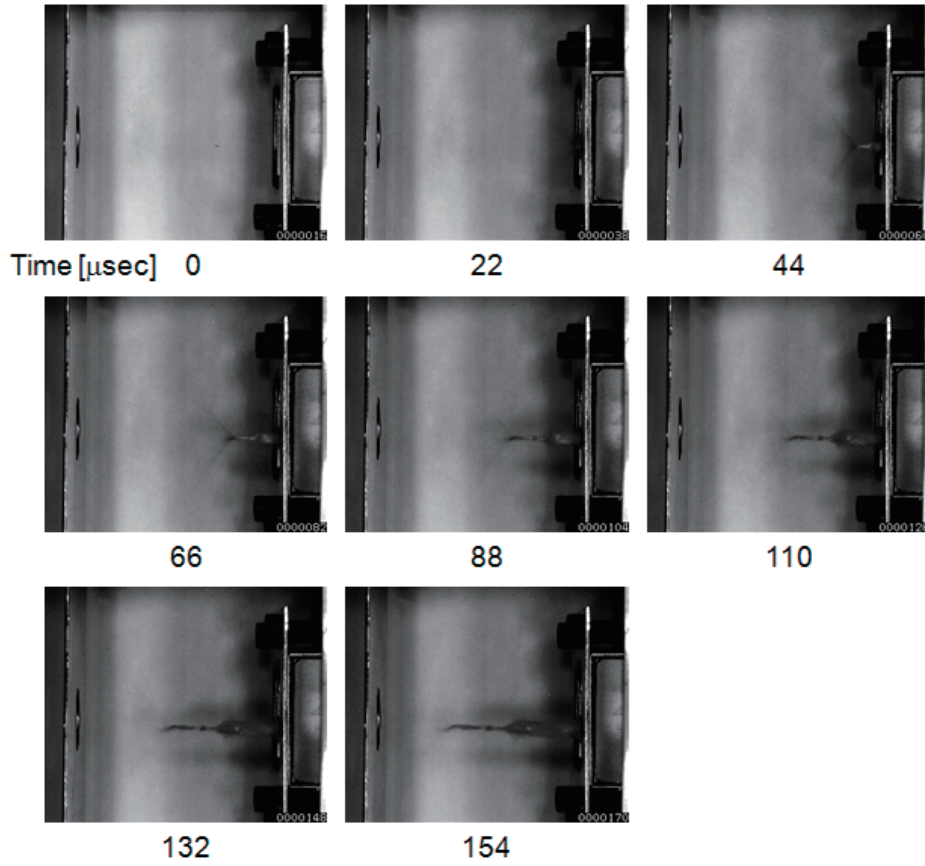


Fig. 10 High-speed camera image of the test ISAS-02. Recording speed : 500 kfps.

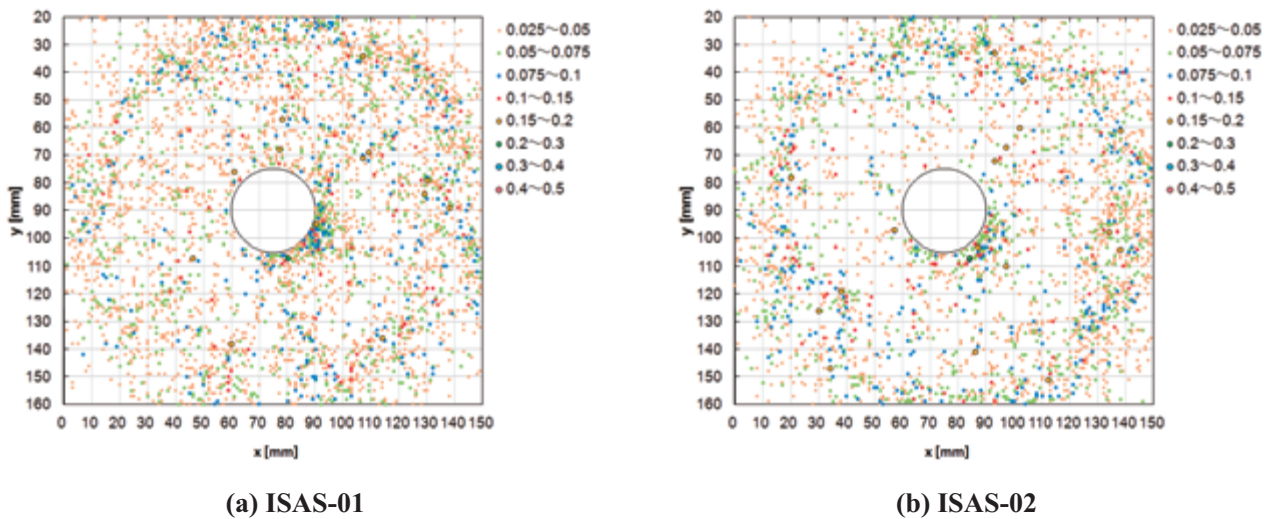


Fig. 11 Size distribution of impact craters

[I-2]

Table 9 The number of crater

Size Test No.	0.025 ~ 0.05 [mm]	0.05 ~ 0.075 [mm]	0.075 ~ 0.1 [mm]	0.1 ~ 0.15 [mm]	0.15 ~ 0.2 [mm]	0.2 ~ 0.3 [mm]
ISAS-01	3286	916	343	91	13	1
ISAS-02	2151	843	349	116	18	1
Size Test No.	0.3 ~ 0.4 [mm]	0.4 ~ 0.5 [mm]	0.5 ~ 0.75 [mm]	0.75 ~ 1.0 [mm]	> 1.0 [mm]	Total number
ISAS-01	0	0	0	0	0	4650
ISAS-02	0	0	0	0	0	3478

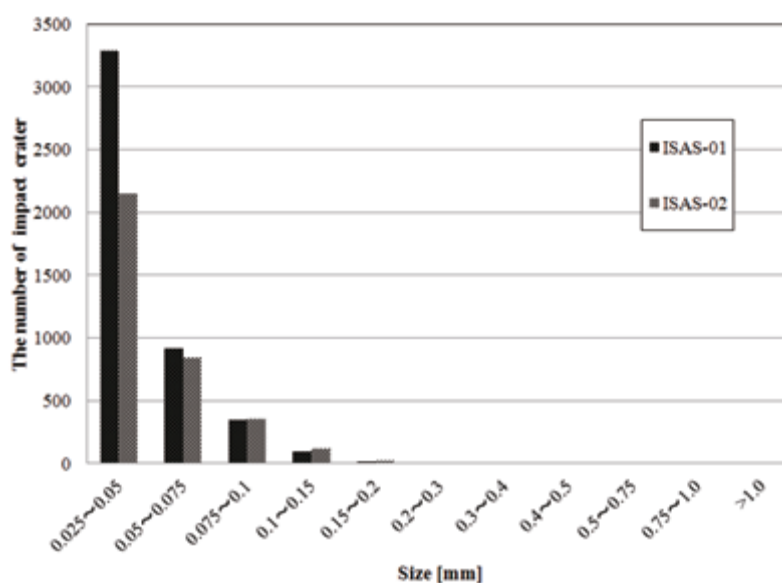


Fig. 12 The number of crater

7 結論

Ejecta 評価試験手順 DIS1227 の第 5 章に規程されている校正試験が、九州工業大学の実験設備以外に、ISAS の実験設備でも実施可能であることを確認できた。校正試験から得られるデータの再現性を確認した。最後にまとめとして、評価試験結果を DIS11227 の Table 1 の書式で整理したものを、以下に示す。

[I-2]

ISAS-01

total amount of ejecta (mg) : M_e		160.9	target mass before impact (mg)		118097.4	target mass after impact (mg)		117936.5
Size distribution of crater diameter, D			0.025 mm to 0.05 mm	0.05 to 0.1 mm	0.1 to 1 mm	>1 mm		
front side	number of craters		3286	1259	105	0		
rear side	number of craters		N/A	N/A	N/A	N/A		
projectile mass		2.0 mg						

ISAS-02

total amount of ejecta (mg) : M_e		151.0	target mass before impact (mg)		118787.0	target mass after impact (mg)		118636.0
Size distribution of crater diameter, D			0.025 mm to 0.05 mm	0.05 to 0.1 mm	0.1 to 1 mm	>1 mm		
front side	number of craters		2151	1192	135	0		
rear side	number of craters		N/A	N/A	N/A	N/A		
projectile mass		2.0 mg						

第 I — 3 章

九州工大の 2 段式軽ガス銃の校正試験 (Calibration)

[I-3]

概 要

本報告書は ISO/TC20/SC14/DIS11227 に準拠して実施した九州工業大学／宇宙環境技術ラボラトリーの二段式軽ガス銃における、較正実験の実施手順と実施結果をまとめたものである。実験は DIS11227 の第 5 章に従って実施し、第 7 章に従って報告をまとめた。表 A に DIS11227 の第 5 章で要求されている実験実施パラメータと本実験で設定したパラメータの比較を、また表 B に DIS11227 の第 7 章で要求されている試験報告の内容と、その内容に対応する本書での該当箇所（項目番号）を示す。なお、DIS11227 の実験パラメータは必須（shall）条件ではないが、可能な限り近いことが要請（“should”）されており、本実験の条件も DIS11227 と可能な限り同一とした。

2009 年度及び 2011 年度に実験を実施した結果、九州工業大学／宇宙環境技術ラボラトリーの二段式軽ガス銃で ISO/TC20/SC14/DIS11227 に準拠した較正実験の実施が可能であることを確認した。

[I-3]

表 A: DIS11227 の第 5 章で要求されている試験実施パラメータと本実験で設定したパラメータの比較

		DIS11227	This study
Projectile	Material	Aluminum alloy A2017 or A2024	A1050 and A2017
	Size and shape	1 mm +/- 0.1 mm diameter sphere	Same
	Impact velocity	5 km/s +/- 0.1 km/s	4 km/sec and 5 km/sec
Target	Material	Fused silica	Synthetic fused silica
	Size	50 x 50 x 20 mm (+/- 1.5 mm)	Same
	Fixing	At the edges onto a mounting plate	Supported by rubber sponge
Witness plate	Material	Copper	Copper (JIS H3100 C1100P-1/4H, C1100P-O)
	Size	250 x 150 x 2 mm	180 x 150 x 2 mm
	Hole diameter	30 mm in the center	Same
	Distance to the target	50 – 100 mm	50 mm, 100 mm
	Position angle to the target	Parallel to the target	Same
	Fixing	Fixed on the target holding plate by threaded rods and bolts	Supported by aluminum plates
	Surface treatment	Not defined	Buffing, Chemical polishing, Nothing
General environment	Operating temperature	Room temperature	Same
	Operating pressure	< 0.1 Pa	~40 Pa

[I-3]

表 B: 本書（次ページよりの報告）と DIS11227 の第 7 章で要求される報告書内容の比較

DIS11227 第 7 章で要求される報告書内容	本書の該当箇所	
1. an abstract summarizing the test procedure and findings; 1. 実験手順と結果を要約している概要	【概要】 1 目的	
2. an introduction which provides the background information to the test (i.e. reason for testing, use and applicability of results); 2. 試験における背景を与える序論(例えば, 試験のための動機, 結果の適用性や使用)	1 目的	
3. the objective of the test activity; 3. 試験活動の目的	1 目的	
4. information on the tested material; 4. 試験片についての情報	3 試験パラメータ	
5. a description of the test procedure and test conditions; 5. 実験手順と実験条件の解説	2 実験装置 2.1 飛翔体加速装置 2.2 計測装置 2.2.1 電子天秤 2.2.2 顕微鏡システム 2.2.3 高速度カメラ 3 試験パラメータ	4 試験手順 4.1 注意事項 4.2 試験前の準備 4.3 試験後の測定 5 解析手順 5.1 注意事項 5.2 解析方法
6. the calibration report ; 6. 較正試験報告	6 実験結果	
7. presentation of results; 7. 結果の提示	6 実験結果	
8. discussion of results; 8. 結果の考察	6 実験結果	
9. conclusions and recommendations; 9. 結論と提言	7 結論	
10. numerical data in a format agreed by the customer; 10. 顧客によって承諾された形式の数値データ	N/A	
11. Customer's authorization about the tests. 11. 試験についての顧客の承認	N/A	

[I-3]

2009 年度及び 2011 年度，九州工業大学／宇宙環境技術ラボラトリーに設置されている試験装置にて，ISO/TC20/SC14/DIS11227 に準拠した校正実験を行った．以下に，実施内容を記す．

1 目的

超高速衝突で射出された飛翔体の衝突によって発生する Ejecta を回収し，解析を行うまでの一連の実験手順及び実験要件について記載している．超高速衝突試験の実験手順は，各国試験施設ごとに異なっているのが一般的であり，相互の試験結果を共通の視点から評価しあうのは困難な場合が多い．そこで，本書の目的としては，実験手順及び実験要件を記載することで，試験施設ごとに取得された試験結果を評価しやすくすることである．特に，Ejecta 評価試験手順 DIS1227 の第 5 章に規程されている，校正試験を実施し，実施可能であることを確認する．また，同文書の改善すべき事項を抽出することを試験目的とする．

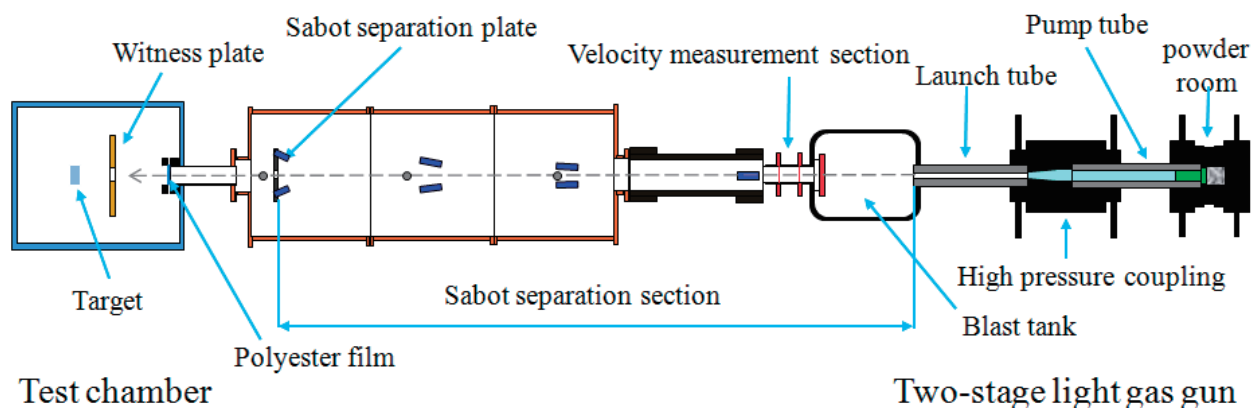
2 実験装置

九州工業大学で行った Ejecta 試験において使用した実験装置を以下に示す．

2.1 飛翔体加速装置

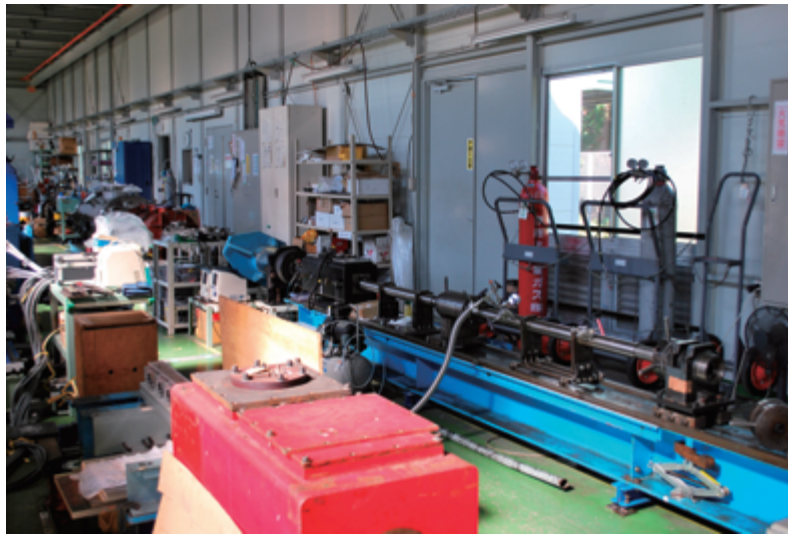
飛翔体加速装置として，二段式軽ガス銃を使用した．Fig. 1 に本実験で使用した二段式軽ガス銃を示す．二段式軽ガス銃は，火薬を着火させる点火部，火薬によって加速されたピストンで軽ガスを圧縮させるポンプチューブ，最も高圧となる高圧カップリング部，飛翔体を加速させるロンチチューブ，後方からのガスを拡散させるブラストタンク，サボを空気抵抗により分離させるサボ分離区間，最後にターゲットを設置する試料室から構成されている．飛翔体の速度計測には，レーザ・カット法を使用した．

二段式軽ガス銃のロンチチューブは内径 5mm 長さ 0.935m (2009 年度)，内径 6mm 長さ 1.2m (2011 年度) である．ロンチチューブより発射されたサボと飛翔体は，空気抵抗によりサボ分離区間で分離し，サボ分離区間に設置されたサボ分離板に衝突，飛翔体はサボ分離板の中心に設けられた穴を通過して，飛翔体のみがターゲットに衝突する．



(a) Schematic view

[I-3]



(b) External view

Fig. 1 Two-stage light gas gun at KIT (Kyushu Institute of Technology)

2.2 計測装置

2.2.1 電子天秤

ターゲット、飛翔体の質量を計測するために電子天秤を使用した。Fig. 2、Table 1 に電子天秤の外観及び仕様をそれぞれ示す。放出される Ejecta 質量が数十 mg 程度であるため、天秤の読取限度 0.1g 以下のものを使用した。



Fig. 2 Electronic balance

Table 1 Specification of electronic balance

Product name (Company)	Electronic balance (Sartorius)
Model number	BP210S
Capacity [g]	210
Resolution [mg]	0.1
Repeatability [mg]	0.1
Linearity [mg]	±0.2
Stabilization time [sec]	2
Sensitivity drift [1/°C]	±2 x 10 ⁻⁶ (+10 ~ 30°C)

2.2.2 顕微鏡システム

ウィットネスプレート上の衝突痕によるサイズ分布を得るために、光学顕微鏡 (Fig. 3) を使用しウィットネスプレートの拡大画像を取得した。Table 2 に使用した光学顕微鏡の仕様を示す。そのシステムは、光学顕微鏡、横断及び縦走装置、AC サーボモータ、パーソナルコンピュータ、作業台から構成さ

[I-3]

れる。顕微鏡システムは、まず X 軸方向に一定間隔で移動し（横行）画像を撮影する。同時にパーソナルコンピュータに画像を保存する。光学顕微鏡がウィットネスプレートの端に到達すると、反対側の端に移動し、 Y 軸方向に一定間隔移動し（走行）、上記動作を繰り返す。Fig. 4 にウィットネスプレートの座標を示す。スキャンを行う際に、倍率 125 倍では、実験前の傷と見分けられる最小サイズは直径約 25 μm であった。倍率 125 倍、X 軸 Y 軸ともに 1 mm の撮影間隔で撮影した場合、1 枚の銅板を撮影し終わるのに約 6 時間かかり、総枚数は 27,331 枚であった。

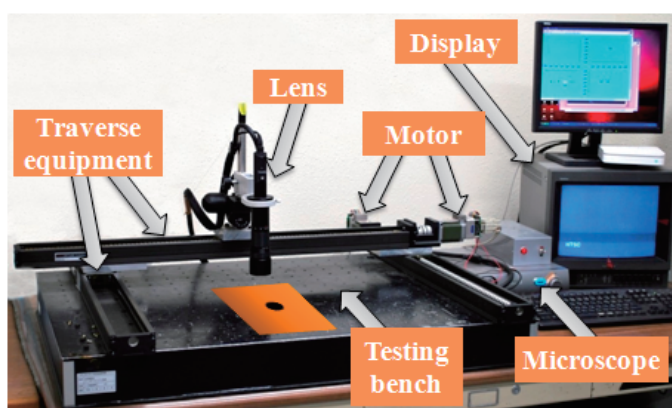


Fig. 3 Microscope system

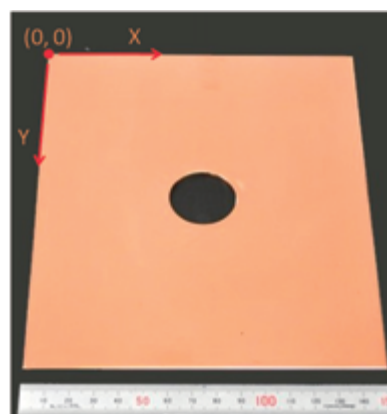


Fig. 4 Coordinate of witness plate

Table 2 Specification of microscope system

Model number (Company)	Zoom lens	VH-Z35 (KEYENCE)
	Traverse equipment	SKR46 (THK)
	Testing bench	HA-1510 (SIGMA KOKI)
Magnification		35 ~ 245
Image size [pixel]		640 x 480
Depth of field [mm]		8.3 ~ 0.3
Observation distance [mm]		54
Operating distance [mm]		740 x 940

2.2.3 高速度カメラ

Ejecta の発生過程を撮影するために、高速度カメラを使用した。Fig. 5, Table 3 に高速度カメラの外観及び仕様をそれぞれ示す。

[I-3]

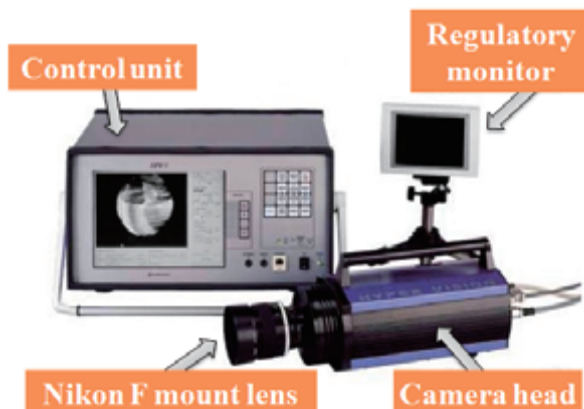


Fig. 5 High-speed camera

Table 3 Specification of high-speed camera

Product name (Company)	High-speed camera (SHIMADZU)
Model number	HPV-1
Recording method	IS-CCD image sensor
Resolution [pixel]	312 (horizontal) x 260 (vertical)
Frame storage [frame]	100
Lens mount	Nikon F mount
Color, Gradations	Monochrome, 10 bits
Recording speed [fps]	30 to 1,000,000
Exposure time	1/2, 1/4, 1/8, or OFF(3/4) of recording intervals
External trigger input	TTL (positive/negative)
Recording format	10-bit dedicated format, BMP, AVI, JPEG

3 試験パラメータ

試験パラメータを以下に示す。Fig. 6 にターゲット及びウィットネスプレートの構成図を示す。Ejecta 質量は、ターゲットの実験前後の質量差により算出するが、ターゲットが合成石英ガラスの場合、衝突試験によりガラスのエッジがかけ、厳密な Ejecta 質量の算出が困難であるため、ターゲットを Fig. 7 のターゲットホルダーに入れて実験を行った。ウィットネスプレートは、ターゲット前面に放出された Ejecta を捕獲及び衝突ダメージの評価をするために使用する。

[I-3]

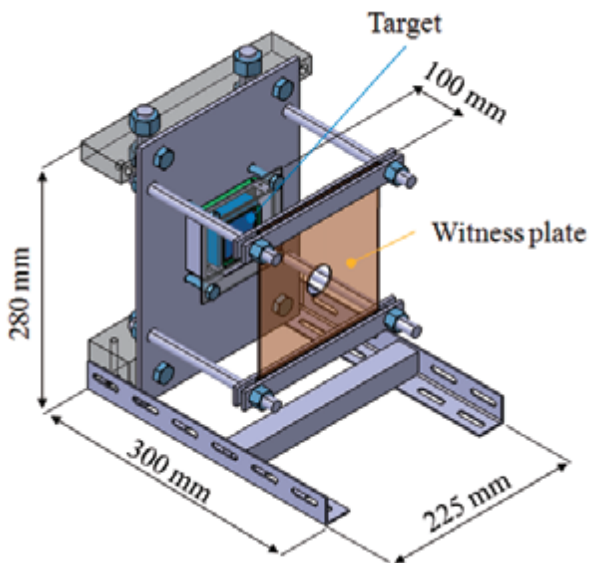


Fig. 6 Setup of target and witness plate

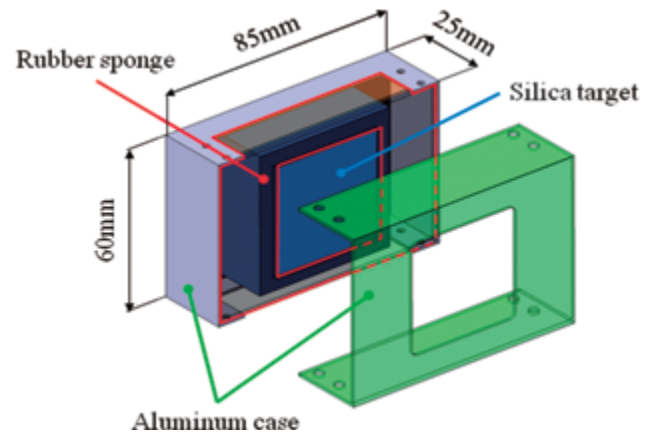


Fig. 7 Target holder

- 飛翔体

規格案では飛翔体材料として A2017 と A2024 を推奨している。本実験では、以下に示すように A1050 球および A2017 球を使用する。

材質：アルミニウム合金 (A1050, A2017)

サイズ及び形状：直径 1 mm +/- 0.1 mm 球

衝突速度(推奨値)：5 km/sec +/-100m/sec

注：本衝突速度は推奨値であり、本実験における衝突速度は校正試験で実施した速度に準ずるものとする。

衝突角度：0° (ターゲット表面法線方向を 0°とする)

- ターゲット

ターゲットには、規格案通り、衝突によってスポールが発生し、よりエジェクタが放出しやすい材料である熔融石英ガラスを使用する。Fig. 8, Table 4 にターゲットに使用した熔融石英ガラスの外観及び仕様をそれぞれ示す。

固定方法：脆性材料の場合はターゲットのエッジにひび割れ及び欠損が発生する可能性があるため、ターゲットの周りをゴムスポンジで覆い、それらをアルミケースの内部に収める (Fig. 7)。

[I-3]

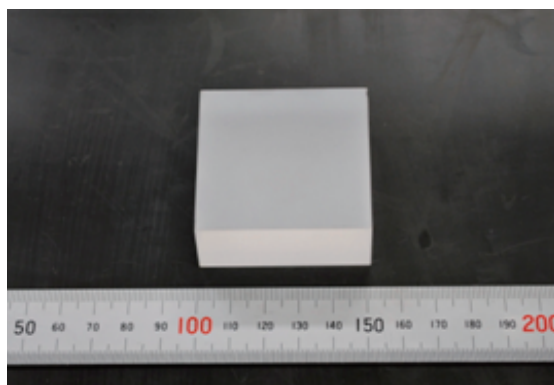


Fig. 8 Target

Table 4 Specification of target

Target material	Fused Silica
Product name (Company)	LITHOSIL® (SCHOTT)
Grade	QT
Width [mm]	50±1.5
Height [mm]	50±1.5
Thickness [mm]	20±1.0
Mass [g]	110
Density [g/cm ³]	2.2
Tensile strength [MPa]	50
Thermal Expansion Coefficient [1/K]	0.51 x 10 ⁻⁶
Thermal Conductivity [W/(m·K)]	1.31
Electrical Resistivity [Ω·m]	1.15 x 10 ¹⁶

- ウィットネスプレート

ウィットネスプレートは、ターゲット前面に放出されたエジェクタを捕獲及び衝突ダメージの評価をするために使用する。規格案 DIS1227 に従って、本実験では銅板を用いる。Fig. 9, Table 5 にウィットネスプレートに使用した銅板の外観及び仕様をそれぞれ示す。

本試験では、ウィットネスプレートの条件に違いを設け、試験結果への影響を調べた。表面処理は、機械研磨、化学研磨、研磨無の三種類、調質は 1/4H 材と O 材の二種類、ターゲットとウィットネスプレートとの距離は 50 mm と 100 mm の二種類で試験を行った。

設置距離：ターゲット前面から 50, 100 mm

設置角度：ターゲットと平行

固定方法: Fig. 6 に示すようにアルミニウム板によりウィットネスプレート上下を挟み固定する。

[I-3]

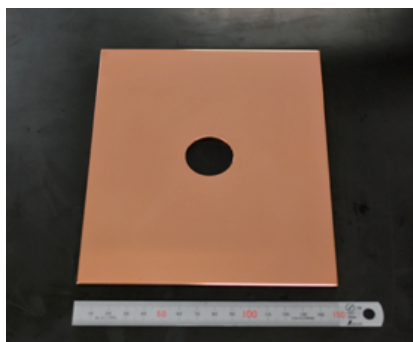


Fig. 9 Witness plate

Table 5 Specification of witness plate

Target material	Copper
Alloy and temper	JIS C 1100P-1/4H
Surface treatment	Buffing, Chemical polishing, Nothing
Width [mm]	150
Height [mm]	180
Thickness [mm]	2
Density [g/cm ³]	8.92
Tensile strength [MPa]	215 ~ 275
Vickers hardness [HV]	55 ~ 100
Thermal Expansion Coefficient [1/K]	17.7×10^{-6}
Thermal Conductivity [W/(m·K)]	1.31
Electrical Resistivity [$\Omega \cdot m$]	1.15×10^{16}
Hole diameter [mm]	30

- 試験環境

規格案に従い、以下を設定

試験温度：室温

試験圧力：可能な限り真空度を高くする。（約 40 Pa）

4 試験手順

ここでは、ターゲット・ウィットネスプレートの設置・計測等の試験手順について記す。飛翔体加速装置の実験手順に関してはここでは省略する。

[I-3]

4.1 注意事項

ウィットネスプレートを扱う際は、ウィットネスプレート表面を傷つけないよう手袋を必ず着用する。解析の際に指紋が付着していると衝突痕を検出できない。

4.2 試験前の準備

- 試験前に飛翔体及びターゲットのパラメータ（質量・サイズ）を測定し Table 6 のデータシートに記入する。
- 測定後、ターゲットをホルダーケースに入れ、ホルダーケース及びターゲットの合計質量を測定する。
- ターゲット及びウィットネスプレートを試料室内に設置する。ウィットネスプレートは、ターゲットの前方 50~100 mm の位置に設置し、ターゲット及びウィットネスプレートの中心を合わせる。

Table 6 Experimental data sheet

	Material	Mass [g]		Size [mm]				
		Before	After	Width	×	Height	×	Thickness
Target					×		×	
Holder case + Target								
Witness plate		Surface treatment			×		×	
Projectile		Mass [g]		Diameter [mm]				

4.3 試験後の測定

- 試験後、ターゲット及びウィットネスプレートを取り出し、ホルダーケース及びターゲットの合計質量を測定し、Table 6 に記入する。
- 実験前後の質量差からエジェクタ質量 M_e を算出する。
- ホルダーケースからターゲットを取り出し、衝突痕及びスポール直径を測定し、Table 7 に記入する。

Table 7 Experimental results

Impact velocity [km/sec]		
Ejected mass [mg]		
Diameter [mm]	Impact crater	
	Spall	

[I-3]

5 解析手順

5.1 注意事項

ウィットネスプレートを扱う際は、ウィットネスプレート表面を傷つけないよう手袋を必ず着用する。解析の際に指紋が付着していると衝突痕を検出できない。

5.2 解析方法

- 顕微鏡システムによりウィットネスプレート全面のスキャニングを行う。
- ウィットネスプレートの原点は、ウィットネスプレートの左上端を原点とし、X軸は原点から左方向を正、Y軸は原点から下方向を正とした (Fig. 4)。
- スキャニングを行う際に、倍率 125 倍では、実験前の傷と見分けられる最小サイズは直径約 25 μ m であった。直径 10 μ m 以下の衝突痕を識別するのであれば、200 倍以上の倍率が必要である。
- 得られた顕微鏡画像から衝突痕を検出する。
- 検出された衝突痕のサイズ及び座標を取得し、以下のサイズ域に分類する。
<0.010, 0.01~0.025, 0.025~0.05, 0.05~0.075, 0.075~0.1, 0.1~0.15, 0.15~0.2, 0.2~0.3, 0.3~0.4, 0.4~0.5, 0.5~0.75, 0.75~1.0, >1.0 (mm)

6 実験結果

Table 8 及び Table 9 に各実験の結果を示す。また、Fig. 10 に No. 09-117 の実験後のターゲット及びウィットネスプレートを示す。ウィットネスプレートの中心 ϕ 30 mm の穴の縁に、Ejecta の衝突痕が確認できる。

Fig. 11 に、高速度カメラで撮影した No. 09-101, No. 09-102 の画像を示す。ターゲットとウィットネスプレートとの距離が短い場合、多くの Ejecta がウィットネスプレートとの中心穴を通過していることがわかる。

Fig. 12 に、顕微鏡システムを用い、125 倍で撮影した No. 09-117 の実験後のウィットネスプレートを示す。赤丸の部分が衝突痕である。スキャニングを行う際に、倍率 125 倍では、実験前の傷と見分けられる最小サイズは直径約 25 μ m であった。また、倍率 125 倍、1 mm の撮影間隔で撮影した場合、顕微鏡システムで画像を撮影し終わるのに約 6 時間かかり、総枚数は、約 27,000 枚であった。

Fig. 12 のようなウィットネスプレート全面の拡大画像を分析して作成した、各実験の Ejecta のサイズ別衝突痕分布図を Fig. 13、衝突痕サイズ別個数分布を Table 10 及び Fig. 14 に示す。

この Table 10 及び Fig. 14 より、ウィットネスプレートの条件が違う場合の衝突痕検出への影響を、衝突速度が約 4 km/sec の試験で比較する。表面処理が異なる、機械研磨、化学研磨、研磨無では、研磨無が衝突痕検出数が少ない結果となった。また、調質が異なる、1/4H 材と O 材では、O 材が、ウィットネスプレートとターゲットの距離が異なる、50 mm と 100 mm では、50 mm が衝突痕検出数が少ない結果となった。表面処理の異なる場合は、銅板の既存の傷と微小な衝突痕との区別が困難であったこと、調質の異なる場合は、柔らかい O 材がわずかではあるが変形し、顕微鏡のピントがずれて撮影していた

[I-3]

箇所があったこと、ターゲットの距離が異なる場合は、距離が近い方がウィットネスプレートの中心穴を多くの Ejecta が通過してしまったこと、等が考えられる。

また、Fig. 13 の、衝突速度が 5 km/sec (No. 09-039) と 4 km/sec (No. 09-039 以外) を比較すると、衝突速度によって Ejecta の飛散の様子が変わることが考えられる。

Table 8 Experimental results

Test number	Projectile material	Alloy and temper	Surface treatment	Distance between T* and WP** [mm]	Impact velocity [km/sec]	Projectile mass [mg]
09-036	A1050	C1100P-1/4H	Buffing	100	4.86	2.0
09-039	A1050	C1100P-1/4H	Buffing	100	4.95	2.1
09-101	A1050	C1100P-1/4H	Chemical polishing	100	4.03	1.9
09-102	A1050	C1100P-1/4H	Buffing	50	3.92	1.9
09-117	A1050	C1100P-1/4H	Buffing	100	3.71	1.9
09-119	A1050	C1100P-O	Buffing	100	4.14	1.8
09-120	A1050	C1100P-1/4H	Nothing	100	4.17	1.9
11-072	A2017	C1100P-1/4H	Buffing	100	4.87	1.7
11-073	A2017	C1100P-1/4H	Buffing	100	4.96	1.7
11-082	A2017	C1100P-1/4H	Buffing	100	4.99	1.7

* T: target

** WP: witness plate

Table 9 Ejecta mass, crater diameter, and spall diameter for each experiment

Test number	Ejecta mass [mg]	Crater diameter [mm]	Spall diameter [mm]	Zenith angle of ejection [deg]
09-036	-	2.6	12.8	-
09-039	-	3.1	13.5	36
09-101	88.5	4.2	8.3	33
09-102	80.4	3.7	9.1	46
09-117	70.2	3.7	8.5	35
09-119	84.9	4.3	9.9	33
09-120	83.2	4.5	10.9	36
11-072	156.6	2.2	10.3	36
11-073	105.6	3.1	10.1	36
11-082	144.5	2.2	11.8	37

[I-3]

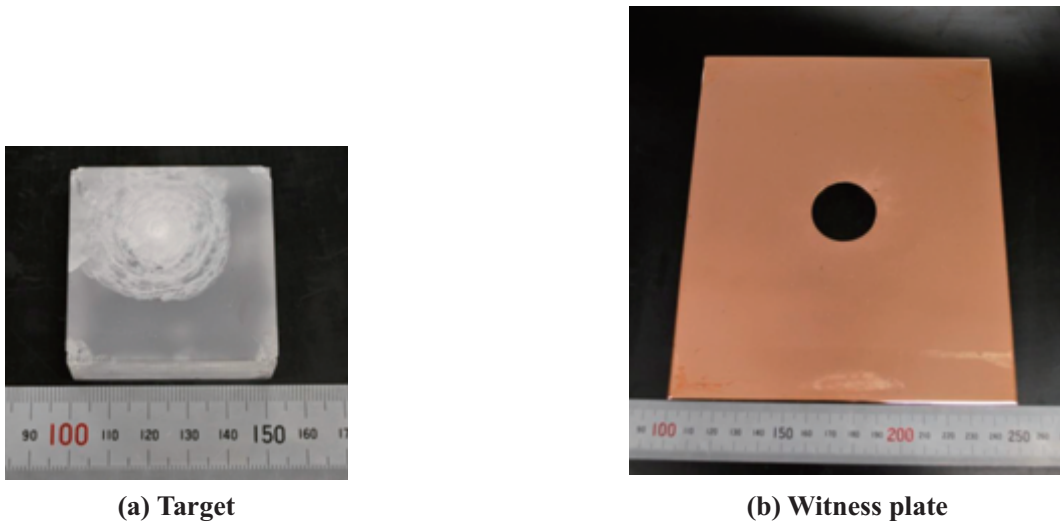
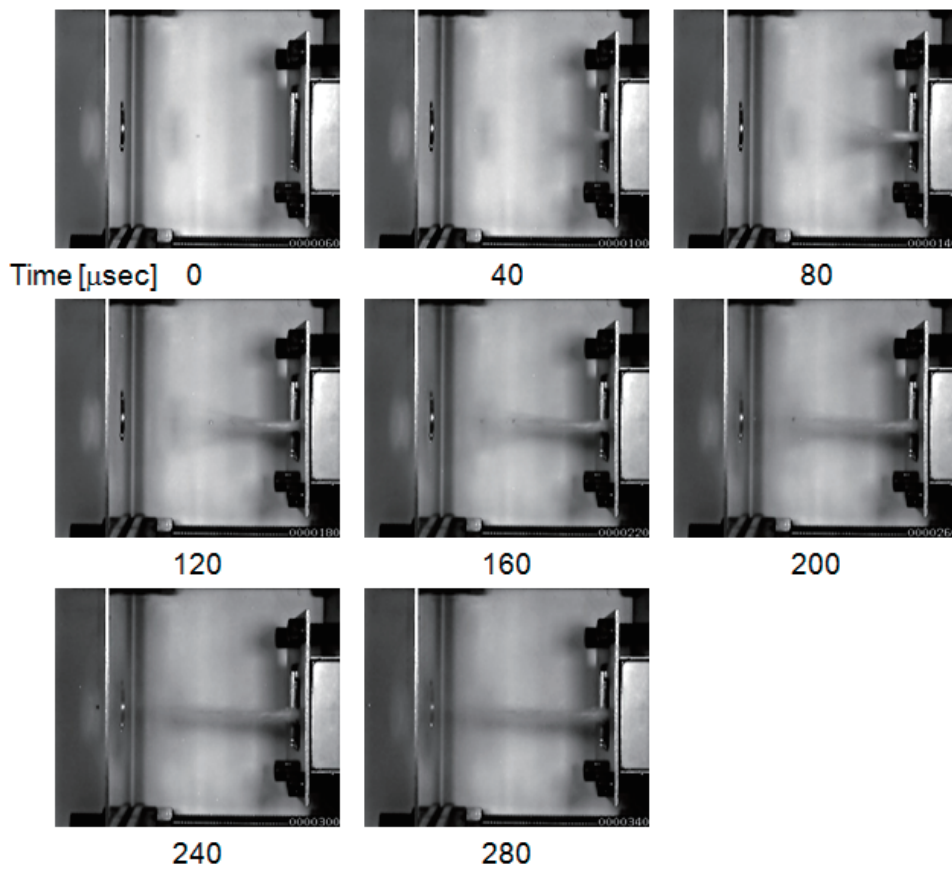
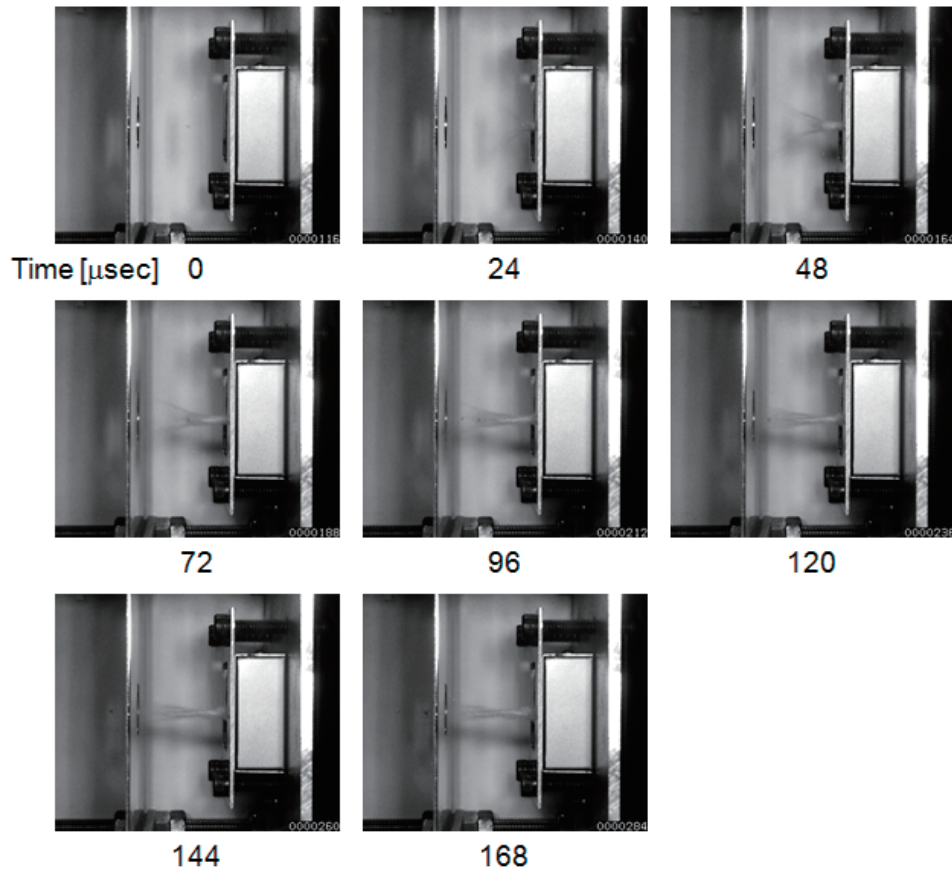


Fig. 10 The target (a) and the witness plate (b) after the test No. 09-117



(a) No. 09-101

[I-3]



(b) No.09-102

Fig. 11 High-speed camera image. Recording speed : 250 kfps

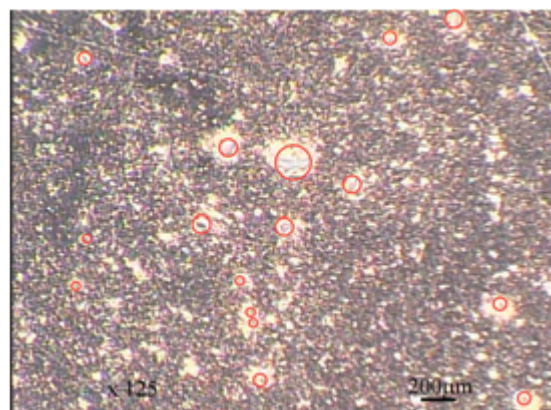
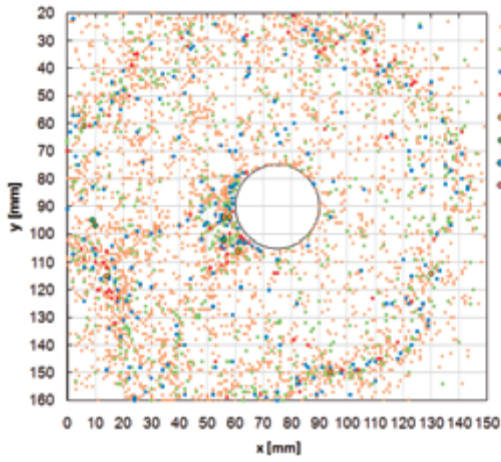
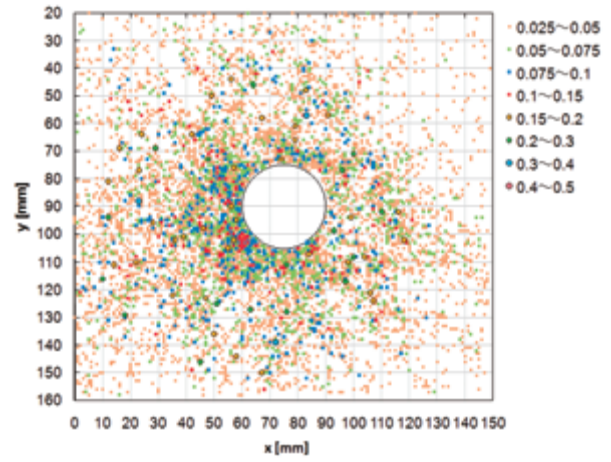


Fig. 12 Micrograph at 125-fold magnification of the test No. 09-117

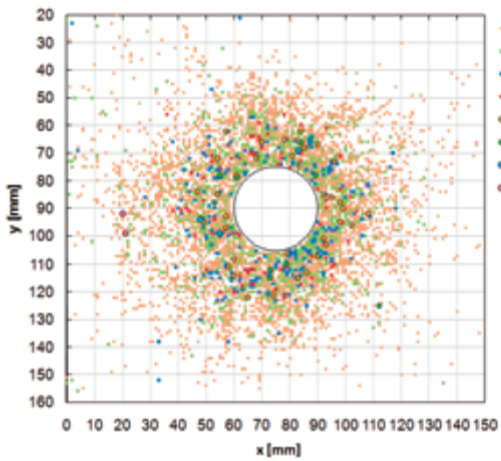
[I-3]



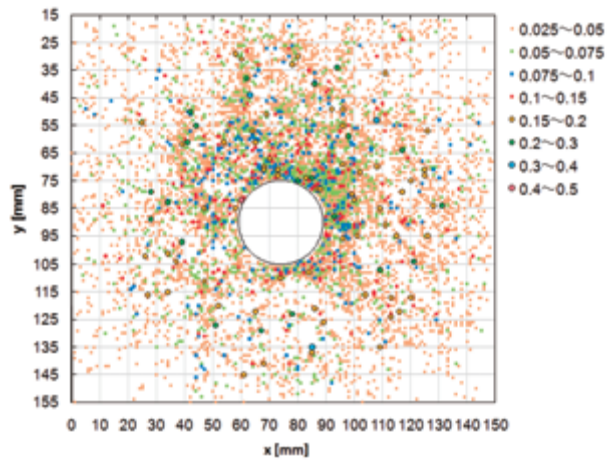
(a) No. 09-039



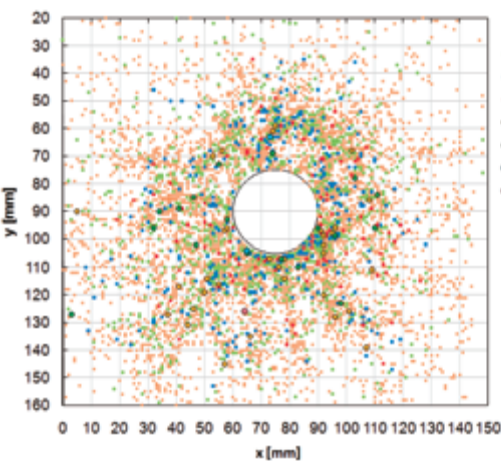
(b) No. 09-101



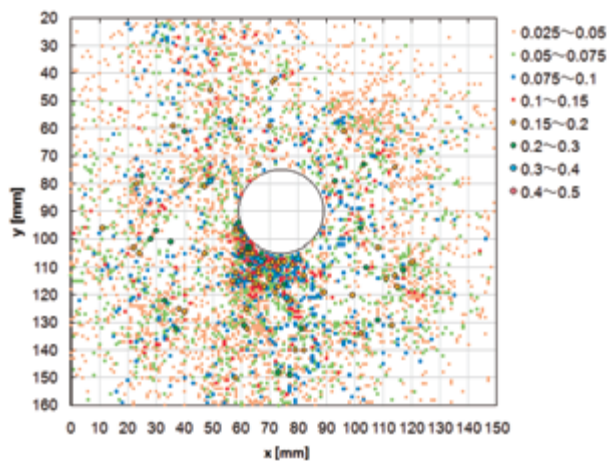
(c) No. 09-102



(d) No. 09-117

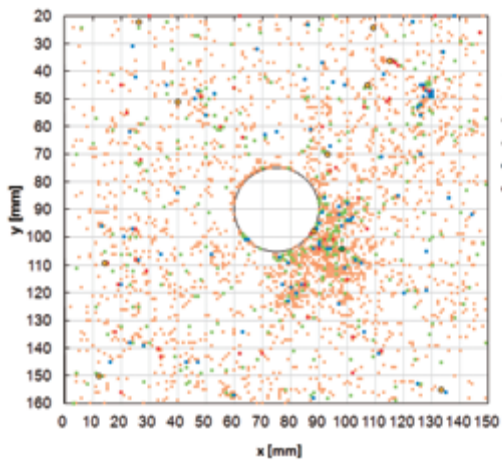


(e) No. 09-119

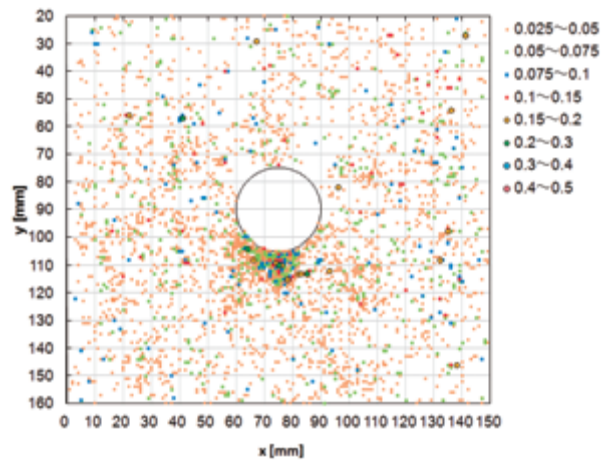


(f) No. 09-120

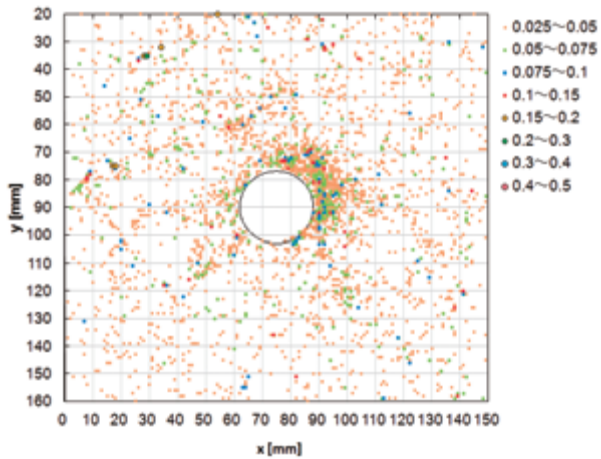
[I-3]



(g) No. 11-072



(h) No. 11-073



(i) No. 11-082

Fig. 13 Size distribution of impact craters

[I-3]

Table 10 The number of crater

Size Test No.	0.025 ~ 0.05 [mm]	0.05 ~ 0.075 [mm]	0.075 ~ 0.1 [mm]	0.1 ~ 0.15 [mm]	0.15 ~ 0.2 [mm]	0.2 ~ 0.3 [mm]
09-039	3721	649	247	71	7	3
09-101	6846	1574	517	159	37	17
09-102	6279	1115	252	79	36	9
09-117	7944	1420	376	196	64	21
09-119	6302	1220	342	105	34	18
09-120	4101	1524	587	214	62	28
11-072	3215	406	104	47	10	1
11-073	3701	611	162	60	17	4
11-082	3557	482	96	43	5	1

Size Test No.	0.3 ~ 0.4 [mm]	0.4 ~ 0.5 [mm]	0.5 ~ 0.75 [mm]	0.75 ~ 1.0 [mm]	> 1.0 [mm]	Total number
09-039	0	0	0	0	0	4698
09-101	3	0	0	0	0	9153
09-102	3	2	0	0	0	7775
09-117	3	1	0	0	0	10025
09-119	2	1	0	0	0	8024
09-120	6	0	0	0	0	6522
11-072	0	0	0	0	0	3783
11-073	0	0	0	0	0	4555
11-082	0	0	0	0	0	4184

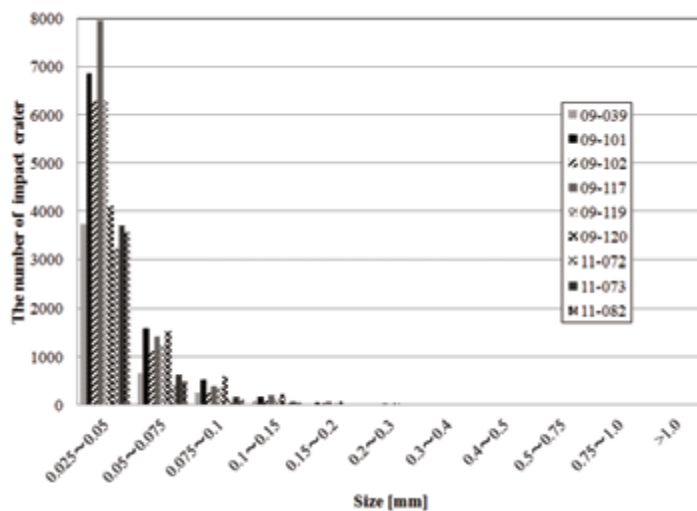


Fig. 14 The number of crater

[I-3]

7 結論

Ejecta 評価試験手順 DIS1227 の第 5 章に規程されている, 較正試験が実施可能であることを確認できた. また, 本試験では, ウィットネスプレートは C1100P-1/4H の機械研磨もしくは化学研磨, ターゲットとの距離が 100 mm が推奨されるといえる. 最後にまとめとして, 評価試験結果を DIS11227 の Table 1 の書式で整理したものを, 以下に示す.

09-101

total amount of ejecta (mg) : M_e		88.5	target mass before impact		118581.5	target mass after impact		118493.0	
			(mg)				(mg)		
Size distribution of crater diameter, D			0.025 mm to 0.05 mm		0.05 to 0.1 mm		0.1 to 1 mm		>1 mm
front side	number of craters		6846	2091		216	0		
rear side	number of craters		N/A	N/A		N/A	N/A		
projectile mass		1.9 mg							

09-102

total amount of ejecta (mg) : M_e		80.4	target mass before impact		118519.3	target mass after impact		118438.9	
			(mg)				(mg)		
Size distribution of crater diameter, D			0.025 mm to 0.05 mm		0.05 to 0.1 mm		0.1 to 1 mm		>1 mm
front side	number of craters		6279	1367		129	0		
rear side	number of craters		N/A	N/A		N/A	N/A		
projectile mass		1.9 mg							

[I-3]

09-117

total amount of ejecta (mg) : M_e		70.2	target mass before impact (mg)		118512.6	target mass after impact (mg)		118442.4
Size distribution of crater diameter, D			0.025 mm to 0.05 mm	0.05 to 0.1 mm		0.1 to 1 mm	>1 mm	
front side	number of craters		7944	1796		285	0	
rear side	number of craters		N/A	N/A		N/A	N/A	
projectile mass		1.9 mg						

09-119

total amount of ejecta (mg) : M_e		84.9	target mass before impact (mg)		119774.8	target mass after impact (mg)		119689.9
Size distribution of crater diameter, D			0.025 mm to 0.05 mm	0.05 to 0.1 mm		0.1 to 1 mm	>1 mm	
front side	number of craters		6302	1562		160	0	
rear side	number of craters		N/A	N/A		N/A	N/A	
projectile mass		1.8 mg						

[I-3]

09-120

total amount of ejecta (mg) : M_e		80.5	target mass before impact (mg)		119906.8	target mass after impact (mg)		119823.6
Size distribution of crater diameter, D			0.025 mm to 0.05 mm	0.05 to 0.1 mm		0.1 to 1 mm	>1 mm	
front side	number of craters		4101	2111		310	0	
rear side	number of craters		N/A	N/A		N/A	N/A	
projectile mass		1.9 mg						

11-072

total amount of ejecta (mg) : M_e		156.6	target mass before impact (mg)		114625.3	target mass after impact (mg)		114468.7
Size distribution of crater diameter, D			0.025 mm to 0.05 mm	0.05 to 0.1 mm		0.1 to 1 mm	>1 mm	
front side	number of craters		3215	510		58	0	
rear side	number of craters		N/A	N/A		N/A	N/A	
projectile mass		1.7 mg						

[I-3]

11-073

total amount of ejecta (mg) : M_e		105.6	target mass before impact (mg)		114554.8	target mass after impact (mg)		114449.2
Size distribution of crater diameter, D			0.025 mm to 0.05 mm	0.05 to 0.1 mm		0.1 to 1 mm	>1 mm	
front side	number of craters		3701	773		81	0	
rear side	number of craters		N/A	N/A		N/A	N/A	
projectile mass		1.7 mg						

11-082

total amount of ejecta (mg) : M_e		144.5	target mass before impact (mg)		115030.6	target mass after impact (mg)		114886.1
Size distribution of crater diameter, D			0.025 mm to 0.05 mm	0.05 to 0.1 mm		0.1 to 1 mm	>1 mm	
front side	number of craters		3557	578		49	0	
rear side	number of craters		N/A	N/A		N/A	N/A	
projectile mass		1.7 mg						

第Ⅱ章

模擬ダストの超高速衝突試験の分析結果

Ⅱ-1 DIS 11227 で規定されている試験内容

Ⅱ-2 DIS 11227 に沿った各種宇宙用材料への評価試験

第Ⅱ－1章

DIS 11227 で規定されている試験内容

[II-1]

ISO/TC 20/SC 14/DIS11227 ” Space systems – Test procedures to evaluate spacecraft material ejecta upon hypervelocity impact”より，以下抜粋．

1 Experimental procedure (実験手順)

1.1 General (概要)

This clause defines an experimental procedure to conduct tests in order to characterize the behaviour of materials upon hypervelocity impact and particularly to evaluate the amount of ejecta.

Test shall be performed at a hypervelocity impact facility that can fully satisfy the experimental procedure. The use of Light Gas Guns or Plasma Guns is acceptable.

この節では，超高速衝突における材料の挙動を特徴付け，特にイジェクタの量を評価するために試験を行うための実験手順を規定している．

試験は，実験手順を十分満たすことのできる超高速衝突施設で行われなければならない．

軽ガス銃もしくはプラズマガンの使用が好ましい．

1.2 Impact parameters (衝突パラメータ)

Each projectile shall satisfy the following parameters :

それぞれの飛翔体は以下のパラメータを満たすものとする．

- material : aluminium alloy Al 2017 or Al 2024 is recommended. The choice is based on de jure standards;
- size and shape : 1 mm +/- 0.1 mm diameter sphere;
- impact velocity : 5000 m/s (or higher) are recommended;
- impact angle of incidence relative to target normal: 0°.
 - 材質：アルミ合金 Al 2017 もしくは Al 2024 を推奨．選択は，正当な標準に基づく．
 - サイズ・形状：直径 1 mm +/- 0.1 mm の球
 - 衝突速度：5000 m/s （もしくはそれ以上）を推奨
 - 垂直なターゲットに対する衝突入射角：0°

The target shall satisfy the following parameters:

ターゲットは以下のパラメータを満たすものとする．

- size : at least 50 mm x 50 mm, in order to avoid edge effects upon impact;
- material : representative of the material to be flown on the spacecraft;
- thickness : representative of the material to be flown. Note that the ejecta process depends on the ratio of target thickness to projectile diameter (t/d). In the case where there is a perforation of the sample under test, it is necessary to evaluate the amount of ejecta from the front side and from the rear side.

[II-1]

- held in place by fixing on the edges only;
- rear side left free to allow ejecta collection if perforation or if rear side spall occurs.
- サイズ：最小 50×50 mm，衝突によるエッジ効果をさけるため
- 材質：宇宙機で使用される代表的な材質
- 厚さ：使用される代表的な厚さ，留意すべきことは，イジェクタ過程は，ターゲット厚さの飛翔体直径に対する比 (t/d) によって決まる．試験後にターゲットに穿孔がある場合，前面と後面からのイジェクタ量を評価する必要がある．
- 端のみを固定することによって適切に支える
- 穿孔やスポールが起こる場合に備えて，イジェクタ捕集を可能にするために後面は拘束しないままにしておく．

Witness plates shall be used to collect ejecta particles released from the front side and the rear side of the target during impact. More details are given in section 6.3 and in Annex C.

ウィットネスプレートは衝突中にターゲット前面と後面から放出されるイジェクタ粒子を捕集するために使われる．詳細は 6.3 節と Annex C にある．

The witness plates shall satisfy the following parameters :

ウィットネスプレートは以下のパラメータを満たすものとする．

- size: 250 mm x 150 mm, a circular hole (diameter 30 mm) will be cut in the center of the front witness plate in order to let the projectile go through.
- material: copper is recommended. The choice is based on de jure standards such as JIS H3100 C1100P-1/4H, ASTM B152 C11000, EN CW004A;
- thickness: 2 mm;
- distance and position (angle) to the target: 50 – 100 mm in front and parallel to the target plane;
- similarly a witness plate will be placed behind the target.
- fixing: by threaded rods and bolts, fixed on the target holding plate (see Annex C).
- サイズ：250 mm×150 mm，飛翔体を通過させるために直径 30mm の丸い穴を中央に開ける
- 材質：銅を推奨．選択は，JIS H3100 C1100P-1/4H, ASTM B152 C11000, EN CW004A などの正当な標準に基づく．
- 厚さ：2mm
- ターゲットとの距離と位置（角度）：ターゲットと平行にターゲット前方の 50 – 100 mm
- 同様にターゲット後方にもウィットネスプレートを置く
- 固定方法：ターゲット保持板に固定した，ネジ棒とボルトを用いる（Annex C 参照）

The general environment shall satisfy the following parameters:

試験環境は以下のパラメータを満足しなければならない．

[II-1]

- operating temperature: room temperature;
- operating pressure: < 0.1 Pa.
- 作動温度：室温
- 作動圧：< 0.1 Pa

1.3 Ejecta characterization and evaluation (イジェクタの特性解析および評価)

To characterize and model the production of ejecta, it is appropriate to choose relevant parameters that are based on the physics of the impact process (see more details in Annexes A and B).

イジェクタ生成をモデル化し特性化するために、衝突物理学に基づいたパラメータを選択することが適切である。(詳細は Annex A, B 参照)

As a minimum, the following parameters shall be measured:

最低限、以下のパラメータは測定されるものとする。

- The total amount of ejecta, M_e , which is obtained by measuring the target mass before and after the test. Of course a part of the material ejecta comes from the projectile itself. This contribution is however small in comparison from material coming from the target (less than 1%). Moreover the material from the projectile can be distinguished from material from the target by observation of projectile remnants inside impact craters formed in the witness plates or fragments recovered within soft catchers.

イジェクタ量 M_e は、試験前後のターゲット質量を測定することによって得られる。当然、イジェクタの材料の一部には飛翔体も含まれる。しかし、これはターゲットから出る材料に比べて非常に少ない(1%未満)。さらに、飛翔体からの材料は、ウィットネスプレートに形成された衝突痕内部の残留物、もしくは軟回収によって得られた破片を調べることにより、ターゲットからの材料と区別することができる。

- The size distribution of craters. On the witness plate used to characterize the ejecta, the size distribution of diameter of craters created by the front side and the rear side ejected particles is determined within the following ranges :

- between 0.025 mm and 0.05 mm (mainly from the ejecta cone);
- between 0.05 and 0.1 mm (mainly from the ejecta cone);
- between 0.1 and 1 mm (mainly from spall);
- >1mm (from spall).

以下の範囲内の前面と後面イジェクタ粒子のサイズ分布

- 0.025 ~ 0.05 mm の間 (主にイジェクタコーン)
- 0.05 ~ 0.1 mm の間 (主にイジェクタコーン)
- 0.1 ~ 1 mm の間 (主にスポール)
- > 1 mm (スポール)

[II-1]

- As an option, the average velocity of the ejecta will be also measured. Presently it is not possible to measure the ejecta velocity within each crater diameter range specified. Only the bulk velocity (of cone and of spall fragments) can be measured using active velocity sensors or high speed video recording.

オプションとして、各サイズ域内のイジェクタの平均速度も測定する。

Annex C describes in more details measurement methods that can be employed in the determination of ejecta parameters.

Annex C は、イジェクタのパラメータの測定で利用されるより詳細な測定方法を記載している。

The fundamental and detailed analysis for test results will be documented in a tabular form, as shown in the Table 1:

試験結果において必須であり詳細な分析は、Table 1 に示すような表形式で記録する。

Table 1. Fundamental Analysis for Test results (xxx : values to be filled in after the tests)

total amount of ejecta (mg) : M_e		target mass before impact (mg)		target mass after impact (mg)	
		Xxx	Xxx	Xxx	Xxx
Size distribution of crater diameter, D		0.025 mm to 0.05 mm	0.05 to 0.1 mm	0.1 to 1 mm	>1 mm
front side	number of particles	Xxx	Xxx	xxx	xxx
	Velocity (optional)	Xxx	Xxx	xxx	xxx
rear side	number of particles	Xxx	Xxx	xxx	xxx
	Velocity (optional)	Xxx	Xxx	xxx	xxx
projectile mass		Xxx			

When using copper witness plates to record the impact craters produced by the ejecta, the size of the fragments (d) can be derived from the size of impact craters (D). However, the crater diameter to projectile diameter ratio D/d depends on the impact velocity (v). A commonly used conversion equation is the following:

イジェクタによる衝突痕を記録するために銅のウィットネスプレートを使う場合、破片のサイズ(d)は衝突痕のサイズ(D)から導き出すことができる。しかし、衝突痕直径と破片直径の比 D/d は、破片の衝突速度(v)に

[II-1]

依存する。一般的に使用される変換式を以下に示す。

$$D/d = 1.28 v^{0.68} \text{ (v in km/s)}$$

Note: Currently as the determination of the velocity of ejecta fragments is still difficult, the determination of particle diameter is therefore still imprecise. The subsequent version of this standard will be amended accordingly to better velocity measurement, when available.

注釈：現在のところ、イジェクタ破片の速度測定は困難であり、それゆえ粒子直径の測定も不明確である。この標準の次版では適宜に、利用可能な場合はより良い速度計測法に修正する。

When the crater diameters will be converted into particle diameters, the results will be given in a table similar to the table 1. Details and rationale are given in Annex C, table 2, and in Bibliography [17-20].

衝突痕直径が粒子直径に変換できる場合、その結果は Table 1 に類似した表で示す。詳細及び原理は Annex C, Table 2, 参考文献 [17-20]を参照しなさい。

As an option, soft or low density material, such as foam or silica aerogel can be used for the intact recovery of ejecta fragments. In this case, fragment sizes can be sieved and measured and their size is the average of maximum and minimum length or the diameter for near-spherical fragments.

The size of ejecta can be also measured by observation of penetration holes formed in thin witness plastic foils. If the particle diameter to foil thickness ratio is large, the size of the particles is roughly the same as the size of the perforation hole. The results will be reported in a format similar to the one shown on the Table 2, Annex C.

オプションとして、発砲体やシリカエアロゲルなどの、柔らかい、もしくは低密度の材料は、イジェクタ破片の損傷無しの回収のために使われる。この場合、破片のサイズをふるいにかけて、測定することができ、その破片のサイズは、最大と最小長さの平均、もしくは球に近い形状の破片直径である。

イジェクタのサイズは薄いウィットネスプラスチックホイルに形成された貫通穴によって測定することもできる。仮に粒子直径とホイル厚さの比が大きい場合、粒子サイズは貫通穴のサイズとおおよそ同じといえる。この結果は、Table 2, Annex C に示したものと類似した形式で報告する。

1.4 Analysis of test results (試験結果の解析)

The applicability of statistical methods to the evaluation of numerical results usually depends on the number of test performed on a specific material for a specific set of test conditions, which should be large enough to constitute a statistically significant sample. Due to the complexity and the cost of hypervelocity impact testing, only a limited number of tests need to be performed on each sample.

数値結果を評価するための統計的手法の適用性は、試験条件の特定の装置の下、特定の材料で行なわれた試験の回数に依存する。それは、統計的に有意なサンプルを構成するのに十分な大きさである。超高速衝突試験は複雑さと費用により、限られた試験回数だけ各々のサンプルで実行する必要がある。

[II-1]

As a minimum, 3 shots must be made at normal incidence.

少なくとも、3回の実験を垂直衝突で行わなければならない。

2 Reporting of test results (試験結果の報告)

2.1 General (概要)

The report shall provide all information relevant to the understanding and correct interpretation of the test activity and test results.

報告書は、試験活動と試験結果についての理解と正確な解釈における適切なすべての情報を提供しなければならない。

The report shall contain:

1. an abstract summarizing the test procedure and findings;
2. an introduction which provides the background information to the test (i.e. reason for testing, use and applicability of results);
3. the objective of the test activity;
4. information on the tested material;
5. a description of the test procedure and test conditions;
6. the calibration report ;
7. presentation of results;
8. discussion of results;
9. conclusions and recommendations;
10. numerical data in a format agreed by the customer;
11. Customer's authorization about the tests.

報告書は以下のことを含んでいなければならない。

1. 実験手順と結果を要約している概要
2. 試験における背景を与える序論 (例えば、試験のための動機、結果の適用性や使用)
3. 試験活動の目的
4. 試験片についての情報
5. 実験手順と実験条件の解説
6. 校正試験報告
7. 結果の提示
8. 結果の考察
9. 結論と提言
10. 顧客によって承諾された形式の数値データ
11. 試験についての顧客の承認

[II-1]

2.2 Report of testing of materials (材料試験の報告)**2.2.1 Information on test sample** (試験片の情報)

The report should include the following information on the test material and on the witness plate, as provided by the supplier :

1. supplier's name and code;
2. material standard designation;
3. date of batch manufacturing;
4. specified chemical composition;
5. material and heat treatment specifications;
6. surface treatment, if any;
7. description of other manufacturing processes (e.g. welding, cutting and milling);
8. non-destructive inspection, before the tests
9. safety information and handling notice.

報告書は、仕入先によって与えられる試験片やウィットネスプレートについての以下の情報を含まなくてはならない。

1. 仕入先の名前と郵便番号
2. 材料規格の記号
3. バッチ生産の日付
4. 指定された化学合成品
5. 材料と熱処理の仕様
6. 表面処理 (もしあれば)
7. 他の製造過程の記述 (例えば、溶接、切削、フライス加工)
8. 試験前に非破壊検査
9. 安全対策情報と取扱情報

2.2.2 Description of test procedures (実験手順の説明)

The report shall provide a description of the specimen preparation, test equipment and test procedure. The information provided shall be in accordance with the requirements specified in the relative sections of this standard.

- Estimated values of precision and bias for the test results shall be included.
- Anomalies and deviations from test procedures shall be reported.

報告書は試料作成、実験機材と実験手順の説明を提供するものとする。提供された情報は、この規格と関連のある節で指定された要件に従っているものとする。

- 実験結果における精度と偏りの評価値は含まれているものとする
- 実験手順からの異常性と偏差は報告されるものとする

[II-1]

2.2.3 Presentation of test results (実験結果の発表)

Test results shall be presented in the report in an appropriate format (e.g. tables, drawings, plots, diagrams and photos) together with a written description.

Units of measure and scales shall be consistent and in agreement with SI units and those are recommended be consistent and in agreement with customer specifications.

実験結果は、まとめられた記述とともに適切な書式（例えば、表、図面、プロット、図、写真）による報告書で提出されるものとする。

寸法やスケールの単位は、一貫性があり、顧客の規格に従っているものとする。

2.3 Database (データベース)

The test results should be provided to standards organisations that maintain spacecraft materials databases such as ECSS-Q70-71A described in Bibliography [8], and made publicly available.

The test results should be provided in an electronic format that can be incorporated into such databases. Annex D gives an example of a material data sheet from ECSS-Q70-71A, Bibliography [8].

実験結果は、参考文献[8]で記載されているような ECSS-Q70-71A など、宇宙機の材料データベースを維持する標準機構に供給され、公的に入手可能であるべきである。

実験結果は、上記のデータベースに組み込まれることができるように電子形式で与えられるべきである。

Annex D は参考文献から材料データシートの例である。

3 Quality assurance (品質保証)

3.1 General (概要)

The test facility shall implement the quality assurance, inspection and quality control procedures herein specified before conducting any test activity. The implementation of the quality assurance, inspection and quality control procedures shall be maintained for the entire duration of the test activity.

The test facility shall establish and implement adequate quality control actions and inspections to provide evidence of conformity to the test requirements.

Quality control actions and inspections for test activities carried out by sub-contractors to the test facility are entirely under the direct responsibility of the test facility.

試験施設は、試験活動を行う前にここに指定された品質保証、検査、品質管理施策を実施するものとする。

品質管理施策の実施、検査、品質保証は、試験活動の全持続期間において維持されるものとする。

試験施設は、試験要件への準拠している証拠を与えるために十分な品質管理活動と検査を構築し、実施するものとする。

試験施設の副契約者によって行われた試験活動における品質管理活動と検査は、完全に試験施設の直接の責任下である。

[II-1]

3.2 Quality requirements (品質要求事項)**3.2.1 Request for HVI testing of materials** (超高速衝突試験の材料における要求)

The customer shall issue a request to a hypervelocity impact facilities to test the materials. The request for testing of materials shall specify :

顧客は、材料を試験するために超高速衝突施設に要求を出すものとする。材料試験における要求は以下を満たすものとする。

- objective of the test activity,
- background and justification to the test activity,
- material to be investigated,
- description of test activity
- deliverables.
- 試験活動の目的
- 試験活動の背景と意義
- 研究される材料
- 試験活動の説明
- 提出書類

3.2.2 Work proposal for HVI testing of materials (超高速衝突試験の材料における研究提案)

The test facility shall issue a work proposal for testing of materials. The work proposal shall specify :

試験施設は、材料試験における研究提案を出すものとする。研究提案は以下を満たすものとする。

- test objective,
- test method and reference to test standards,
- material,
- description of proposed test procedure,
- deliverables,
- work breakdown structure,
- planning and time schedule,
- itemized cost list and payment.
- 実験目的
- 実験方法と試験規格の指示
- 材料
- 提案された実験手順の説明
- 提出書類
- 作業構成明細

[II-1]

- 計画とタイムスケジュール
- 項目別経費リストと支払い

3.2.3 Calibration (校正試験)

In addition to the calibration test specified in Clause 5, the test facility shall carry out and maintain calibration of test equipment throughout the duration of the test activity. Calibration records shall be readily accessible and retrievable for the entire duration of the test activity on customer request.

5章で指定された校正試験に加えて、試験施設は、試験活動期間中の実験機材の校正を行い、維持するものとする。校正の記録は、顧客の要求に応じて試験活動の全期間においてすぐに利用しやすく、検索できるものとする。

3.2.4 Testing, evaluation and reporting (試験, 評価, 報告)

The test facility shall provide evidence that the test activity, evaluation and reporting is carried out in accordance with the requirements listed in Clauses 5, 6 and 7, respectively.

試験施設は、試験活動、評価と報告が、5, 6, 7章それぞれで記載された要件にしたがって行われるという証拠を与えるものとする。

3.2.5 Traceability and records (トレーサビリティと記録)

Materials shall be durably marked to unequivocally identify manufacturer's code, batch number, material standard designation.

Specimens shall be durably marked to unequivocally identify individual specimens.

The test facility shall maintain test records for the entire duration of the contract.

Test records shall be accessible and retrievable on customer request.

Storage of materials and specimens by the test facility shall be agreed with the customer.

Disposal of materials and specimens shall be authorized by the customer.

材料は、製造コード、バッチナンバー、材料規格の記号をはっきりと確認するために永続的にマークを付けられるものとする。

試料は、個々の試料をはっきりと確認するために永続的にマークを付けられるものとする。

試験施設は、契約期間中における実験記録を維持するものとする。

実験記録は、顧客の要求に応じて利用でき、検索できるものとする。

試験施設による試料および材料の保存は、顧客に同意されるものとする。

試料および材料の処分は、顧客によって許可されるものとする。

第Ⅱ—2章

DIS 11227 に沿った各種宇宙用材料への評価試験

[II-2]

概 要

本報告書は ISO/TC20/SC14/DIS11227 に準拠して実施した九州工業大学／宇宙環境技術ラボラトリーの二段式軽ガス銃における、宇宙用材料を用いた実験の実施手順と実施結果をまとめたものである。実験は DIS11227 の第 6 章に従って実施し、第 7 章に従って報告をまとめた。表 A に DIS11227 の第 6 章で要求されている実験実施パラメータと本実験で設定したパラメータの比較を、また表 B に DIS11227 の第 7 章で要求されている試験報告の内容と、その内容に対応する本書での該当箇所（項目番号）を示す。なお、DIS11227 の実験パラメータは必須（shall）条件ではないが、可能な限り近いことが要請（“should”）されており、本実験の条件も DIS11227 と可能な限り同一とした。

2010 年度に実験を実施した結果、九州工業大学／宇宙環境技術ラボラトリーの二段式軽ガス銃で ISO/TC20/SC14/DIS11227 に準拠した宇宙用材料を用いた実験の実施が可能であることを確認した。

[II-2]

表 A: DIS11227 の第 6 章で要求されている試験実施パラメータと本実験で設定したパラメータの比較

		DIS11227	This study
Projectile	Material	Aluminum alloy A2017 or A2024	A2017
	Size and shape	1 mm +/- 0.1 mm diameter sphere	Same
	Impact velocity	5 km/sec (or higher) are recommended	5 km/sec
Target 1	Material	Representative of the material to be flown on the spacecraft	Solar array coupon
	Size	At least 50 mm × 50 mm	100 mm × 100 mm
	Thickness	Not defined	25mm
	Fixing	Held in place by fixing on the edges only Rear side left free to allow ejecta collection if perforation or rear side spall occurs	Supported by aluminum plates cut a circular hole (diameter 40 mm) in the center
Target 2	Material	Representative of the material to be flown on the spacecraft	CFRP aluminum honeycomb
	Size	At least 50 mm × 50 mm	100 mm × 150 mm
	Thickness	Not defined	25mm
	Fixing	Held in place by fixing on the edges only Rear side left free to allow ejecta collection if perforation or rear side spall occurs	Supported by aluminum plates cut a circular hole (diameter 40 mm) in the center
Target 3	Material	Representative of the material to be flown on the spacecraft	Aluminum honeycomb
	Size	At least 50 mm × 50 mm	100 mm × 150 mm
	Thickness	Not defined	25mm

[II-2]

DIS11227 の第 6 章で要求されている試験実施パラメータと本実験で設定したパラメータの比較

Target 3	Fixing	Held in place by fixing on the edges only Rear side left free to allow ejecta collection if perforation or rear side spall occurs	Supported by aluminum plates cut a circular hole (diameter 40 mm) in the center
Witness plate	Material	JIS H3100, C1100P-1/4H, ASTM B152 C11000, EN CW004A	JIS C1100P-1/4H
	Size	250 × 150 × 2 mm	180 × 150 × 2 mm
	Hole diameter	30 mm in the center	Same
	Distance to the target	50 ~ 100 mm	100mm
	Position (angle) to the target	In front and parallel to the target plane; similarly a witness plate while be behind the target	Same
	Fixing	Fixed on the target holding plate by threaded rods and bolts	Supported by aluminum plates
	Surface treatment	Not defined	Buffing
General environment	Operating temperature	Room temperature	Same
	Operating pressure	< 0.1 Pa	< 20 Pa

[II-2]

表 B: 本書(次ページ以降の報告内容)と DIS11227 の第 7 章で要求される報告書内容の比較

DIS11227 第 7 章で要求される報告書内容	本書の該当箇所	
1. an abstract summarizing the test procedure and findings; 1. 実験手順と結果を要約している概要	【概要】 1 目的	
2. an introduction which provides the background information to the test (i.e. reason for testing, use and applicability of results); 2. 試験における背景を与える序論(例えば, 試験のための動機, 結果の適用性や使用)	1 目的	
3. the objective of the test activity; 3. 試験活動の目的	1 目的	
4. information on the tested material; 4. 試験片についての情報	3 試験パラメータ	
5. a description of the test procedure and test conditions; 5. 実験手順と実験条件の解説	2 実験装置 2.1 飛翔体加速装置 2.2 計測装置 2.2.1 電子天秤 2.2.2 顕微鏡システム 3 試験パラメータ	4 試験手順 4.1 注意事項 4.2 試験前の準備 4.3 試験後の測定 5 解析手順 5.1 注意事項 5.2 解析方法
6. the calibration report ; 6. 校正試験報告	JAR2E-092 参照	
7. presentation of results; 7. 結果の提示	6 実験結果	
8. discussion of results; 8. 結果の考察	6 実験結果	
9. conclusions and recommendations; 9. 結論と提言	7 結論	
10. numerical data in a format agreed by the customer; 10. 顧客によって承諾された形式の数値データ	N/A	
11. Customer's authorization about the tests. 11. 試験についての顧客の承認	N/A	

[II-2]

2010 年度，九州工業大学／宇宙環境技術ラボラトリーに設置されている試験装置にて，ISO/TC20/SC14/DIS11227 に準拠した宇宙用材料を用いた実験を行った．以下に，実施内容を記す．

1 目的

超高速衝突で射出された飛翔体の衝突によって発生する Ejecta を回収し，解析を行うまでの一連の実験手順及び実験要件について記載している．超高速衝突試験の実験手順は，各国試験施設ごとに異なっているのが一般的であり，相互の試験結果を共通の視点から評価しあうのは困難な場合が多い．そこで，本書の目的としては，実験手順及び実験要件を記載することで，試験施設ごとに取得された試験結果を評価しやすくすることである．特に，Ejecta 評価試験手順 DIS1227 の第 6 章に規程されている，校正実験後の宇宙用材料を用いた試験を実施し，実施可能であることを確認する．

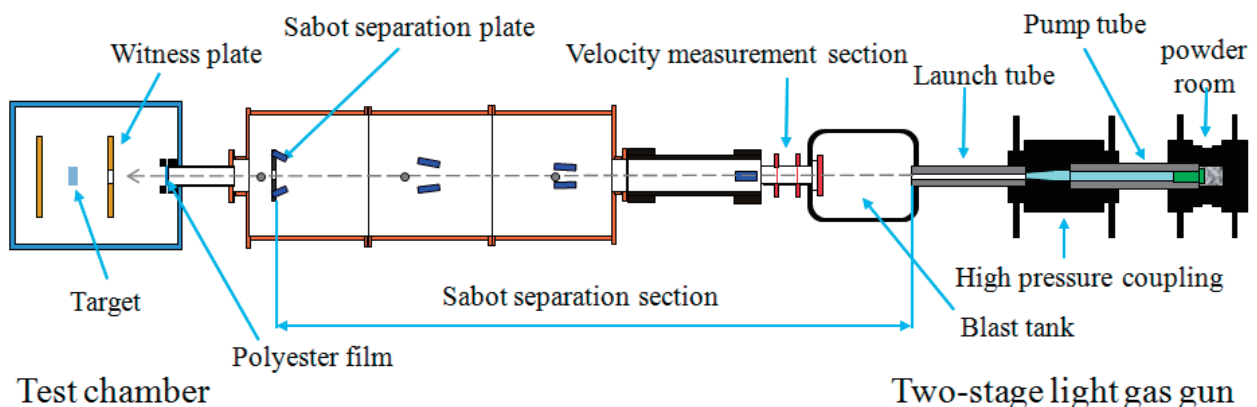
2 実験装置

九州工業大学で行った Ejecta 試験において使用した実験装置を以下に示す．

2.1 飛翔体加速装置

飛翔体加速装置として，二段式軽ガス銃を使用した．Fig. 1 に本実験で使用した二段式軽ガス銃を示す．二段式軽ガス銃は，火薬を着火させる点火部，火薬によって加速されたピストンで軽ガスを圧縮させるポンプチューブ，最も高圧となる高圧カップリング部，飛翔体を加速させるロンチチューブ，後方からのガスを拡散させるブラストタンク，サボを空気抵抗により分離させるサボ分離区間，最後にターゲットを設置する試料室から構成されている．飛翔体の速度計測には，レーザ・カット法を使用した．

二段式軽ガス銃のロンチチューブは内径 6mm 長さ 1.2m である．ロンチチューブより発射されたサボと飛翔体は，空気抵抗によりサボ分離区間で分離し，サボ分離区間に設置されたサボ分離板に衝突，飛翔体はサボ分離板の中心に設けられた穴を通過して，飛翔体のみがターゲットに衝突する．



(a) Schematic view

[II-2]



(b) External view

Fig. 2 Two-stage light gas gun at KIT (Kyushu Institute of Technology)

2.2 計測装置

2.2.1 電子天秤

ターゲット、飛翔体の質量を計測するために電子天秤を使用した。Fig. 2, Table 1 に電子天秤の外観及び仕様をそれぞれ示す。放出される Ejecta 質量が数十 mg 程度であるため、天秤の読取限度 0.1g 以下のものを使用した。



Fig. 2 Electronic balance

Table 2 Specification of electronic balance

Product name (Company)	Electronic balance (Sartorius)
Model number	BP210S
Capacity [g]	210
Resolution [mg]	0.1
Repeatability [mg]	0.1
Linearity [mg]	±0.2
Stabilization time [sec]	2
Sensitivity drift [1/°C]	±2 x 10 ⁻⁶ (+10 ~ 30°C)

[II-2]

2.2.2 顕微鏡システム

ウィットネスプレート上の衝突痕によるサイズ分布を得るために、光学顕微鏡 (Fig. 3) を使用しウィットネスプレートの拡大画像を取得した。Table 2 に使用した光学顕微鏡の仕様を示す。そのシステムは、光学顕微鏡、横断及び縦走装置、AC サーボモータ、パーソナルコンピュータ、作業台から構成される。顕微鏡システムは、まず X 軸方向に一定間隔で移動し (横行) 画像を撮影する。同時にパーソナルコンピュータに画像を保存する。光学顕微鏡がウィットネスプレートの端に到達すると、反対側の端に移動し、Y 軸方向に一定間隔移動し (走行)、上記動作を繰り返す。Fig. 4 にウィットネスプレートの座標を示す。スキャニングを行う際に、倍率 120 倍、X 軸 3.2 mm、Y 軸 2.4 mm の撮影間隔で撮影した場合、1 枚の銅板を撮影し終わるのに約 2 時間かかり、総枚数は 3648 枚であった。画像の上下左右約 0.1 mm ずつ重複して撮影を行った。

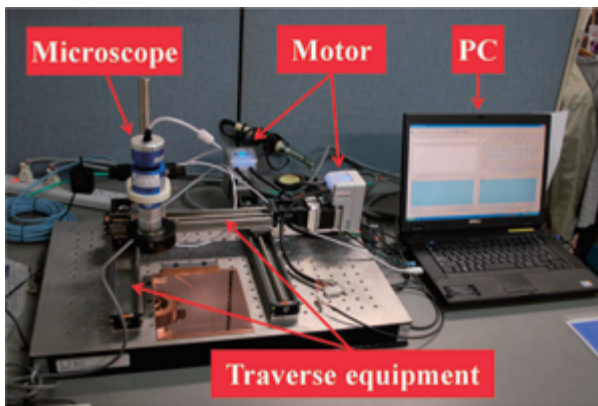


Fig. 3 Microscope system

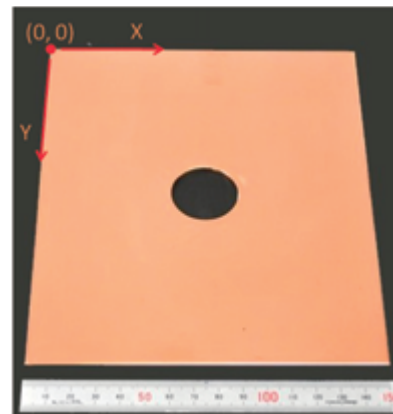


Fig. 4 Coordinate of witness plate

Table 2 Specification of microscope system

Model number (Company)	Microscope	SKM-Z200-A (SAITOH KOUGAKU)
	Traverse equipment	SKR260 (THK)
	Testing bench	FB-46-50 (SIGMA KOKI)
	Motor	CM2-C-56B10A (MUSCLE)
Magnification		60 ~ 360
Image size [pixel]		1600 × 1200
Operating distance [mm]		60
Observation area [mm]		3.3 × 2.5 (× 120)

3 試験パラメータ

試験パラメータを以下に示す。Fig. 5 にターゲット及びウィットネスプレートの構成図を示す。Ejecta 質量は、ターゲットの実験前後の質量差により算出する。ウィットネスプレートは、ターゲット

[II-2]

前面ならびに後方に放出された Ejecta を捕獲及び衝突ダメージの評価をするために使用する。

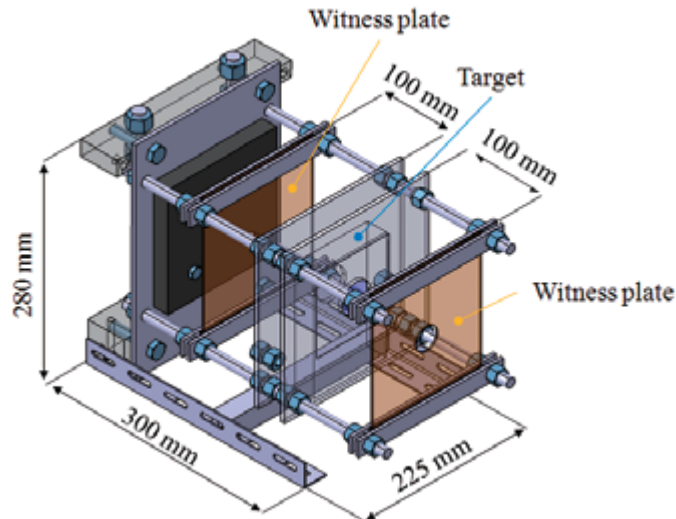


Fig. 5 Setup of target and witness plate

● 飛翔体

規格案では飛翔体材料として A2017 と A2024 を推奨している。本実験では、以下に示すように A2017 球を使用する。

材質：アルミニウム合金 (A2017)

サイズ及び形状：直径 1 mm +/- 0.1 mm 球

衝突速度 (推奨値)：5 km/sec +/- 100m/sec

注：本衝突速度は推奨値であり、本実験における衝突速度は校正試験で実施した速度に準ずるものとする。

衝突角度：0° (ターゲット表面法線方向を 0°とする)

● ターゲット

ターゲットには、太陽電池クーポン、CFRP アルミニウムハニカム、アルミニウムハニカム(3 種類)を使用する。また、試験ごとにターゲットの固定位置を移動させて、同一ターゲットに対して複数回試験を行う。 Fig. 6, Table 3 に太陽電池クーポン、 Fig. 7, Table 4 に CFRP アルミニウムハニカム、 Fig. 8, Table 5 にアルミニウムハニカムの、外観及び仕様をそれぞれ示す。

固定方法： Fig. 5 に示すように中心に $\phi 50$ mm の穴が開いたアルミニウム板により、ターゲットを挟み固定する。

[II-2]

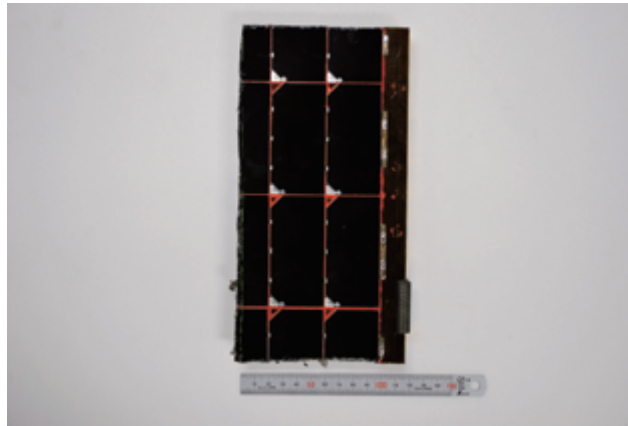


Fig. 6 Solar array coupon

Table 3 Specification sheet of solar array coupon

Laminated constitution		Material and structure	Thickness [mm]	
Cell	Cover glass	CMG	0.100	
	Adhesive	DC93-500	—	
	Solar array cell	Ge	0.155	
Adhesive		Silicon adhesive	—	
Substrate	Polyimide sheet	Kapton film	0.050	
	Face sheet	Cross-ply CFRP	0.276	
	Film adhesive	Epoxy film adhesive	—	
	Honeycomb core	General section : 3/8-5056-.0007P		25.4
		Reinforced section : 1/8-5056-.0007P		
	Film adhesive	Epoxy film adhesive	—	
Face sheet	Cross-ply CFRP	0.276		
Size	100 × 100 mm	Total thickness	26.257	

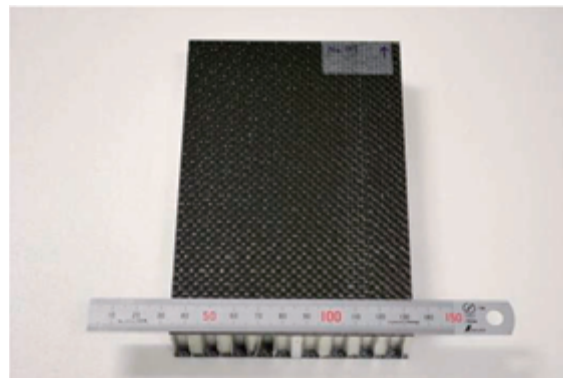


Fig. 7 CFRP aluminum honeycomb

[II-2]

Table 4 Specification sheet of CFRP aluminum honeycomb

Constitution		Material and structure	Thickness [mm]
Face sheet		CFRP	—
Skin		A 2024	0.254
Honeycomb core		1/4-5056-.0007P	25.4
Skin		A 2024	0.254
Face sheet		CFRP	—
Size	100 × 150 mm	Total thickness	25.908

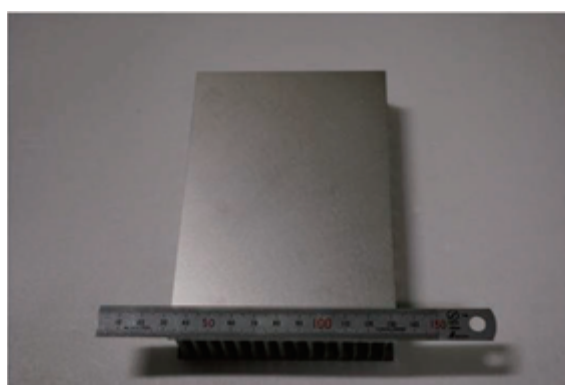


Fig. 8 Aluminum honeycomb

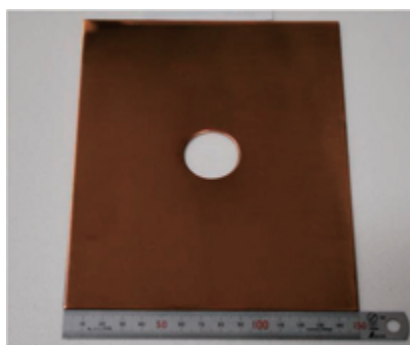
Table 5 Specification sheet of aluminum honeycomb

Constitution		Material and structure	Thickness [mm]
Skin		A 2024	0.254
Honeycomb core		1/4-5056-.0007P	25.4
Skin		A 2024	0.254
Size	100 × 150 mm	Total thickness	25.908

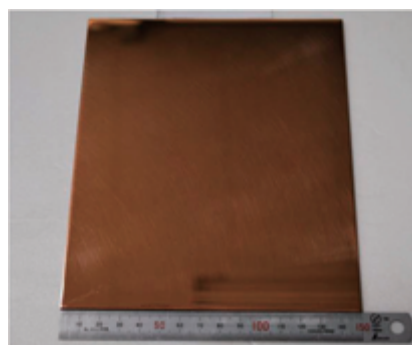
- ウィットネスプレート

ウィットネスプレートは、ターゲット前面ならびに後方に放出されたエジェクタを捕獲及び衝突ダメージの評価をするために使用する。規格案 DIS1227 に従って、本実験では銅板を用いる。Fig. 9, Table 6 にウィットネスプレートに使用した銅板の外観及び仕様を示す。

[II-2]



(a) Front witness plate



(b) Rear witness plate

Fig. 9 Witness plate

設置距離：ターゲット前面及び後面から 100 mm

設置角度：ターゲットと平行

固定方法：Fig. 5 に示すようにアルミニウム板によりウィットネスプレート上下を挟み固定する。

表面処理：機械研磨

Table 6 Specification of witness plate

Target material	Copper
Alloy and temper	JIS C 1100P-1/4H
Surface treatment	Buffing, Chemical polishing, Nothing
Width [mm]	150
Height [mm]	180
Thickness [mm]	2
Density [g/cm ³]	8.92
Tensile strength [MPa]	215 ~ 275
Vickers hardness [HV]	55 ~ 100
Thermal Expansion Coefficient [1/K]	17.7×10^{-6}
Thermal Conductivity [W/(m·K)]	1.31
Electrical Resistivity [$\Omega \cdot m$]	1.15×10^{16}
Hole diameter [mm]	30 (Front witness plate) Nothing (Rear witness plate)

[II-2]

● **試験環境**

規格案に従い、以下を設定

試験温度：室温

試験圧力：可能な限り真空度を高くする。（約 20 Pa）

4 試験手順

ここでは、ターゲット・ウィットネスプレートの設置・計測等の試験手順について記す。飛翔体加速装置の実験手順に関してはここでは省略する。

4.1 注意事項

ウィットネスプレートを扱う際は、ウィットネスプレート表面を傷つけないよう手袋を必ず着用する。解析の際に指紋が付着していると衝突痕を検出できない。

4.2 試験前の準備

- 試験前に飛翔体及びターゲットのパラメータ（質量・サイズ）を測定し Table 8 のデータシートに記入する。
- ターゲット及びウィットネスプレート（顕微鏡システムによりウィットネスプレート全面のスキヤニング済み）を試料室内に設置する。ウィットネスプレートは、ターゲットの前方及び後方から 100 mm の位置に設置し、ターゲット及びウィットネスプレートの中心を合わせる。

Table 8 Experimental data sheet

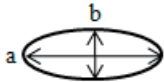
	Material	Mass [g]		Size [mm]				
		Before	After	Width	×	Height	×	Thickness
Target					×		×	
Witness plate		Surface treatment			×		×	
Projectile		Mass [g]		Diameter [mm]				

4.3 試験後の測定

- 試験後、ターゲット及びウィットネスプレートを取り出し、ターゲットの合計質量を測定し、Table 8 に記入する。
- 実験前後の質量差からエジェクタ質量 M_e を算出する。
- ターゲットの前面及び後面の衝突痕を測定し、Table 9 に記入する。

[II-2]

Table 9 Experimental results

Impact velocity [km/sec]	
Ejected mass [mg]	
Operating pressure [Pa]	
	Perforation shape
	Front face Rear face
a (ellipse long axis) [mm]	
b (ellipse short axis) [mm]	

5 解析手順

5.1 注意事項

ウィットネスプレートを扱う際は、ウィットネスプレート表面を傷つけないよう手袋を必ず着用する。解析の際に指紋が付着していると衝突痕を検出できない。

5.2 解析方法

- 顕微鏡システムにより実験前後のウィットネスプレート全面のスキャンニングを行う。
- ウィットネスプレートの原点は、ウィットネスプレートの左上端を原点とし、X軸は原点から左方向を正、Y軸は原点から下方向を正とした (Fig. 4)。
- 得られた実験前後の顕微鏡画像を背景差分する。背景差分は、実験前後の画像を比較し、テンプレートマッチングを行なった後、差分を行い、不要な部分はトリミング処理を行う。
- imageJ というソフトを用いて、pixel と mm の関係を入力、検出する衝突痕の閾値を設定する。その後、衝突痕を検出し、以下のサイズ域に分類する。
<0.010, 0.01~0.025, 0.025~0.05, 0.05~0.075, 0.075~0.1, 0.1~0.15, 0.15~0.2, 0.2~0.3, 0.3~0.4, 0.4~0.5, 0.5~0.75, 0.75~1.0, >1.0 (mm)

6 実験結果

Table 10 に各実験の結果を示す。また、Fig. 10 ~ Fig. 13 に、実験後の太陽電池クーポン、CFRP アルミハニカム、アルミニウムハニカム及び、それぞれの実験で使用したウィットネスプレートを示す。

Table 10 より Ejecta 質量は太陽電池クーポンが最も多く、アルミニウムハニカムが最も少ないことがわかる。これは、太陽電池クーポンの前面が脆性材料のガラスであり、延性材料のアルミニウムハニカムよりも多くの Ejecta が発生したと考えられる。

また、Fig. 10 ~ Fig. 13 それぞれの (1) (a) ターゲット前面を見ると、衝突痕の周辺に小さな粒子が衝突した痕がみてとれる。これは、ガンデブリや、ターゲットから放出した Ejecta がウィットネスプレートに衝突して跳ね返った粒子、等の原因が考えられる。しかし、サボ分離区間と試料室を区切るポリ

[II-2]

エステルフィルムには飛翔体以外のものが通過した痕跡は無く、ガンデブリの可能性は低いと考えられる。また、ターゲット前面には、衝突痕周辺に微粒子が衝突した痕があったが、ターゲット後面には、そのような痕はみられない。ターゲット前方、後方ともにウィットネスプレートを設置しており、ターゲット前面のみ Ejecta がウィットネスプレートに衝突して跳ね返ったとは言い難い。この原因を明確にするために、今後、ターゲット前方にウィットネスプレートを設置しない、ターゲットとウィットネスプレートとの距離を遠くする、ターゲット前方のウィットネスプレートを下半分、もしくは上半分のみにする、などの実験が必要と考えられる。

各実験の Ejecta の衝突痕サイズ別個数分布を Table 11 及び Fig. 14 に示す。

CFRP アルミニウムハニカム後方のウィットネスプレートは、衝突痕が非常に密集して一つ一つの区別し辛く、今回用いた解析技術では衝突痕サイズ別個数分布を作成することが困難であった。

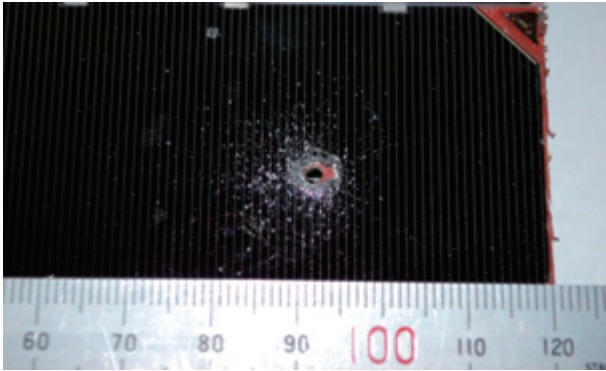
Table 10 Ejecta mass, crater diameter, and spall diameter for each experiment.

Test number	Target	Projectile	Witness plate	Impact velocity [km/sec]	Projectile mass [mg]	Ejecta mass [mg]	Perforation shape [mm]		
								Front face	Rear face
10-077	Solar array coupon (Front)	A2017	C1100P-1/4H Buffing	5.37	1.5	68.8	a*	2.15	10.85 9.35
							b**	1.62	5.11 4.82
10-115	CFRP aluminum honeycomb	A2017	C1100P-1/4H Buffing	4.97	1.6	41.1	a*	2.89	8.53
							b**	2.42	6.83
10-131	Aluminum honeycomb	A2017	C1100P-1/4H Buffing	4.79	1.5	10.3	a*	1.86	7.21
							b**	1.78	6.41
11-015	Solar array coupon (Rear)	A2017	C1100P-1/4H Buffing	4.62	1.3	98.6	a*	2.44	4.41
							b**	1.33	3.37

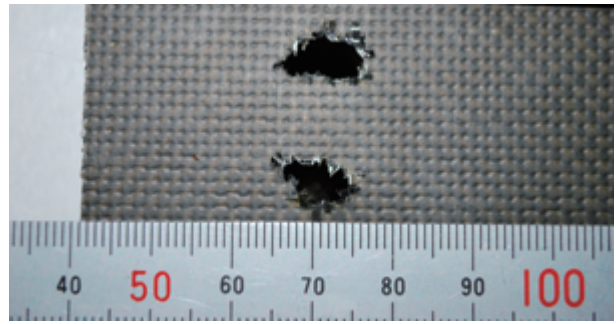
*a [mm] = ellipse long axis

**b [mm] = ellipse short axis

[II-2]

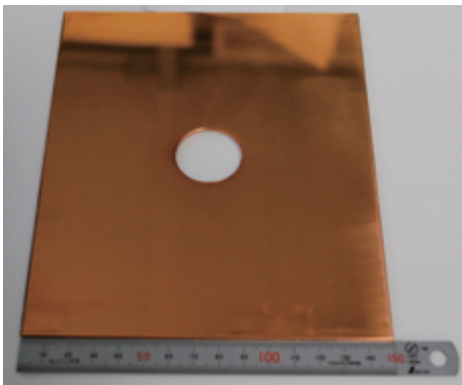


(a) Front face

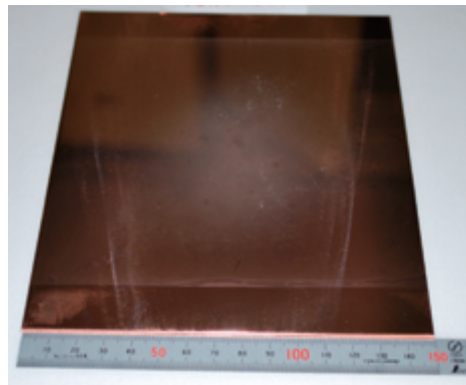


(b) Rear face

(1) Target



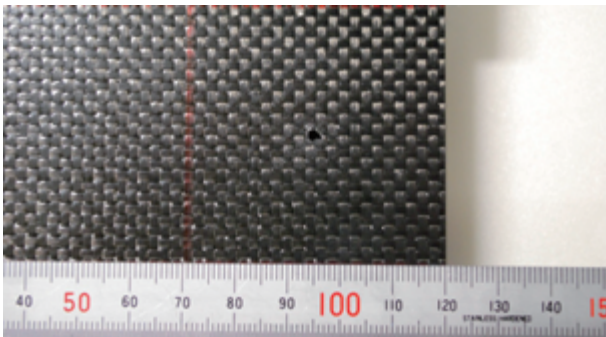
(a) Front



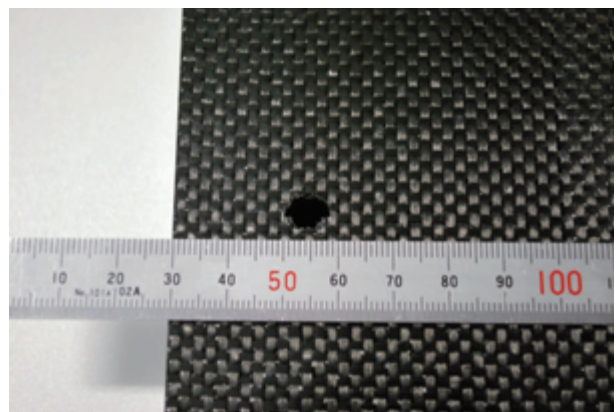
(b) Rear

(2) Witness plate

Fig. 10 Solar array coupon and witness plate after the test (No. 10-077)



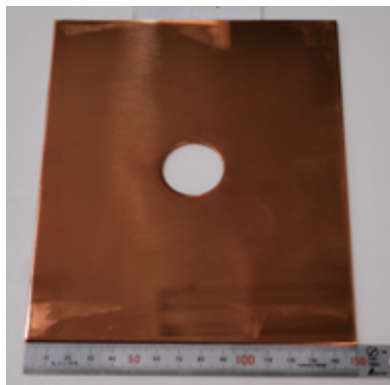
(a) Front face



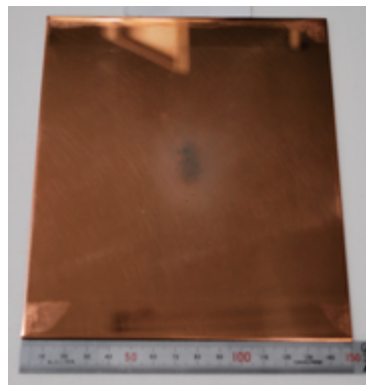
(b) Rear face

(1) Target

[II-2]



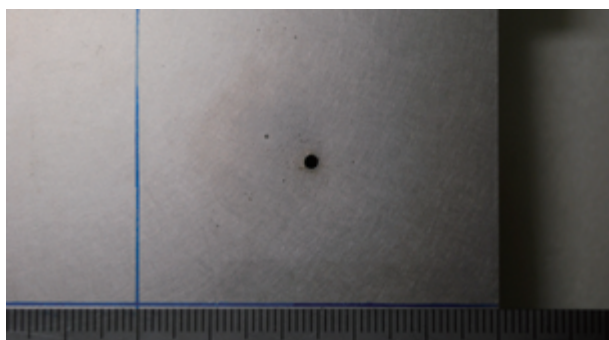
(a) Front



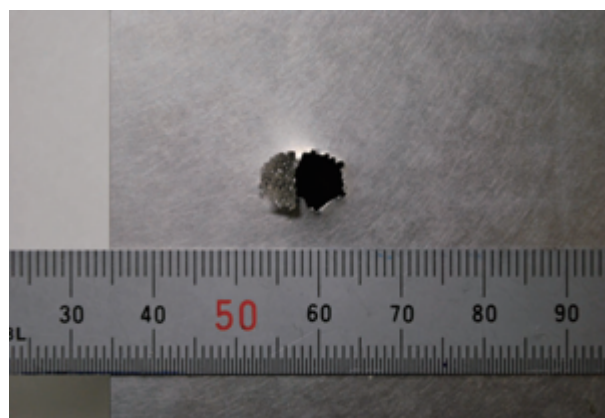
(b) Rear

(2) Witness plate

Fig. 11 CFRP aluminum honeycomb and witness plate after the test (No. 10-115)

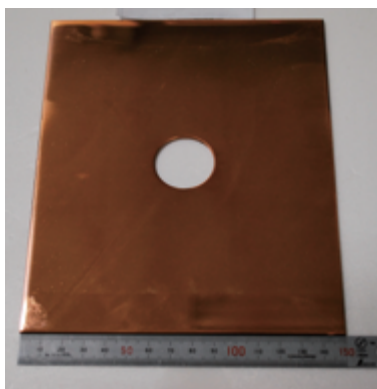


(a) Front face



(b) Rear face

(1) Target



(a) Front

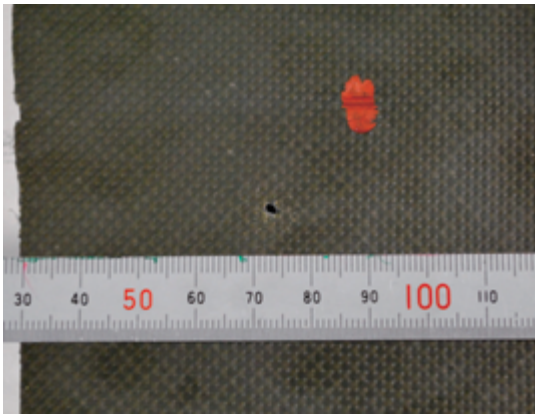


(b) Rear

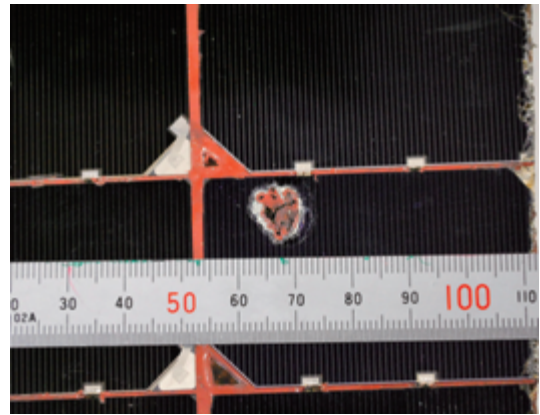
(2) Witness plate

Fig. 12 Aluminum honeycomb and witness plate after the test (No. 10-131)

[II-2]

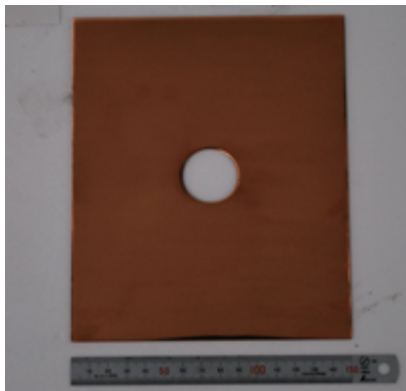


(a) Front face

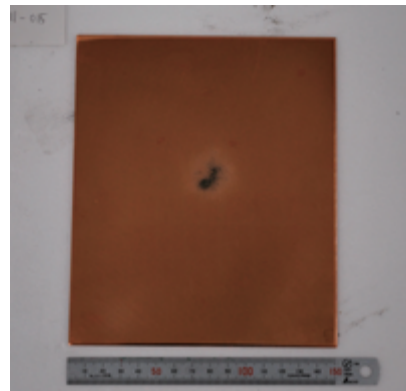


(b) Rear face

(1) Target



(a) Front



(b) Rear

(2) Witness plate

Fig. 13 Solar array coupon and witness plate after the test (No. 11-015)

[添付 II-2]

Table 11 The number of crater

Test No.		Size	0.025 ~ 0.05	0.05 ~ 0.075	0.075 ~ 0.1	0.1 ~ 0.15	0.15 ~ 0.2	0.2 ~ 0.3
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
10-077	Front side		44135	13594	4763	2682	513	157
	Rear side		54004	5533	1209	532	99	26
10-115	Front side		3169	535	128	67	9	2
	Rear side		—	—	—	—	—	—
10-131	Front side		1613	371	179	127	78	54
	Rear side		22326	1531	266	150	59	35

Test No.		Size	0.3 ~ 0.4	0.4 ~ 0.5	0.5 ~ 0.75	0.75 ~ 1.0	> 1.0	Total number
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	
10-077	Front side		6	1	0	0	0	65851
	Rear side		5	1	1	0	0	61410
10-115	Front side		0	0	0	0	0	3910
	Rear side		—	—	—	—	—	—
10-131	Front side		5	0	0	0	0	2427
	Rear side		5	0	2	0	0	24374

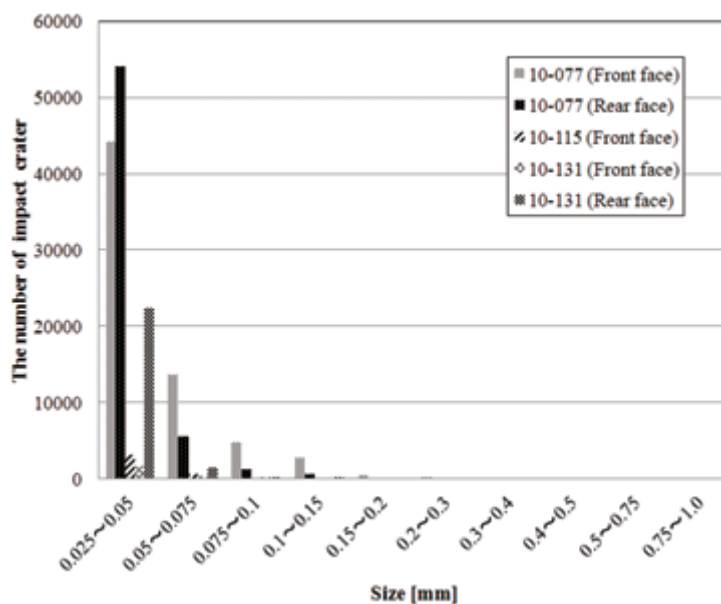


Fig. 14 The number of crater

7 結論

Ejecta 評価試験手順 DIS1227 の第 6 章に規程されている，宇宙用材料を用いた試験が実施可能であることを確認できた．今後は，各試験から得られるデータの繰り返し性を確認する必要がある．最後に

[添付 II-2]

まとめとして、評価試験結果を DIS11227 の Table 1 の書式で整理したものを、以下に示す。

10-077 (Solar array coupon (Front))

total amount of ejecta (mg) : M_e		68.8	target mass before impact (mg)		46697.5	target mass after impact (mg)		46628.7
Size distribution of crater diameter, D			0.025 mm to 0.05 mm	0.05 to 0.1 mm		0.1 to 1 mm	>1 mm	
front side	number of craters		44135	18357		3359	0	
rear side	number of craters		54004	6742		664	0	
projectile mass		1.5 mg						

10-115(CFRP aluminum honeycomb)

total amount of ejecta (mg) : M_e		41.1	target mass before impact (mg)		25997.9	target mass after impact (mg)		25956.8
Size distribution of crater diameter, D			0.025 mm to 0.05 mm	0.05 to 0.1 mm		0.1 to 1 mm	>1 mm	
front side	number of craters		3169	663		78	0	
rear side	number of craters		TBC	TBC		TBC	TBC	
projectile mass		1.6 mg						

[添付 II-2]

10-131(Aluminum honeycomb)

total amount of ejecta (mg) : M_e		10.3	target mass before impact (mg)	33556.8	target mass after impact (mg)	33546.5
Size distribution of crater diameter, D			0.025 mm to 0.05 mm	0.05 to 0.1 mm	0.1 to 1 mm	>1 mm
front side	number of craters		1613	550	264	0
rear side	number of craters		22326	1797	42	0
projectile mass		1.5 mg				

11-015(Solar array coupon (Rear))

total amount of ejecta (mg) : M_e		98.6	target mass before impact (mg)	50111.0	target mass after impact (mg)	50012.4
Size distribution of crater diameter, D			0.025 mm to 0.05 mm	0.05 to 0.1 mm	0.1 to 1 mm	>1 mm
front side	number of craters		TBC*	TBC*	TBC*	TBC*
rear side	number of craters		TBC*	TBC*	TBC*	TBC*
projectile mass		1.3 mg				

注*) 現状では適切な計測 (画像処理) の方法が確立されていない。試験前と試験後のウィットネスプレートと比較の際、両プレートの画像の位置ズレが並行成分の時は計測可能 (処理可能) だが、回転成分が含まれる場合計測困難。これは試験前と試験後の計測が連続して行われない場合に発生する。検査治工具とソフトの専用化が必要。

