

# 次世代先端宇宙服 超高速衝突耐性を持つ生地条件の評価

○川瀬暁，佐藤俊則，青木伊知郎，和田理男，金子祐樹，山口孝夫  
(宇宙航空研究開発機構)

## 1. はじめに

宇宙航空研究開発機構(JAXA)有人ミッション本部では、将来の有人探査活動に向けた要素技術の蓄積を目的とした、次世代先端宇宙服の研究を行っている。本宇宙服のスーツ部分は目的が異なる3つのユニット(冷却下着・気密拘束層・断熱防護層)で構成される。そのうち、断熱防護層はクルーを宇宙環境から保護するためのものであり、断熱機能とMMOD(Micro-Meteoroid and Orbital Debris)等からの防護機能のほか、軽量化と可撓性(動きやすさ)が要求される。

筆者らは、断熱防護層に関する平成24年度までの超高速衝突試験と素材物性の評価から、以下を明らかにした。

- 1) 層間に空隙(隣合う生地が接触しない空間)を設けると、MMOD耐性が向上する。
- 2) 評価した高強度繊維織布のなかでは、PAR織布<sup>1</sup>が防護層として有望である。
- 3) 評価した織布のなかでは、糸が太い織布のMMOD耐性が高い。

本稿では、上記を踏まえて設定した試験ケースと米国宇宙服(EMU)<sup>2</sup>とのMMOD耐性を比較検討し、本宇宙服の断熱防護層積層案を設定した結果を、報告する。

## 2. 試験方法

超高速衝突試験は、JAXA宇宙科学研究所が所有する二段式軽ガス銃を用いて行った。試験条件はEMUの貫通限界の条件にもとづき、設定した(表1)。

供試体は、150mm角に裁断した各層の素材を、試験ケースごとに積層し(図1、表2)、供試体固定治具(JAXA未踏技術センター所有品、図2)を用いて、二段式ガス銃の真空チャンバ内に設置した。空隙は、供試体の端部2か所に、スペーサ(厚さ3mm)を挿入して設けた。飛翔体の貫通有無は、飛翔体を衝突させた後、気密層の表面をマイクロスコープ(50倍)で観察して判定した。

表1 試験条件

	JAXAの試験	(EMUの試験) <sup>3</sup>
飛翔体	アルミ球 直径 0.6mm	アルミ球 直径 0.6mm
衝突速度	目標 6.8km/s	6.71km/s
衝突角度	正面衝突	正面衝突
貫通判断	気密層をマイクロスコープ(50倍)で観察し、孔を認めた場合。	①Witness plateに衝突痕がある場合。 ②気密層が2psi(約14kPa)で漏洩する場合。

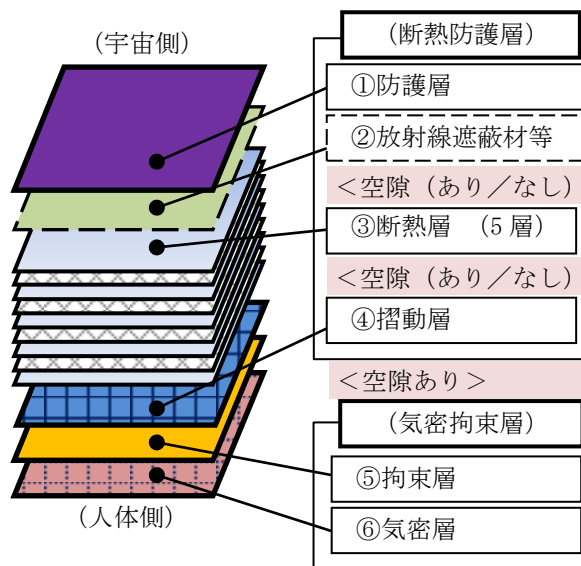


図1 積層構造(模式図)

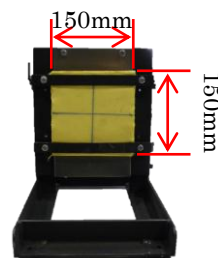


図2 供試体固定治具

<sup>1</sup> PAR : Polyarylate

<sup>2</sup> EMU : Extravehicular Mobility Unit (参考文献1)

<sup>3</sup> EMUの試験条件 : 参考文献2

### 3. 試験ケース

試験ケースは下記のとおり、設定した（表 3）。

- 平成 24 年度の試験で、防護層としての有効性を確認した、PAR 織布(1110dtex)を防護層とする積層構成（試験ケース 1、試験ケース 4）。試験ケース 4 は、試験ケース 1 を試験した結果、衝突速度が設定よりも大きかったために行った再試験である。
- PAR 織布(1110dtex)よりも MMOD 耐性が勝る PAR 織布（1670dtex）を防護層とする、積層構成（試験ケース 3）。
- 断熱層の前後に空隙を設け、MMOD 耐性を向上させた積層構成（試験ケース 6、試験ケース 7）
- 宇宙放射線から宇宙飛行士を防護する目的で、防護層(PAR 織布 1110dtex)と断熱層との間に、タングステンシートを追加した積層構成（試験ケース 2）。
- 防護層と断熱層との間に層を追加したことによる、MMOD 耐性への影響を評価するための積層構成（試験ケース 5）。

### 4. 試験結果および評価

試験の結果を表 4 に示す。

- (a) 平成 24 年度の試験結果から、軽量化及び可撓性の観点から望ましいとされた PAR 織布（1110dtex）を防護層とする構成は、試験の結果、“貫通”した。このことから、MMOD 耐性は EMU よりも劣ることがわかった（試験ケース 4）。

また、断熱層の前後に空隙を追加しても、MMOD 耐性は十分でなく、試験の結果は“貫通”した（試験ケース 7）。

上記から、EMU 以上の MMOD 耐性を得るためには、防護層の織布の糸を太くする必要があることがわかった。

- (b) (a)の試験ケースよりも糸が太い PAR 織布（1670dtex）を採用したとした構成でも、試験の結果は“貫通”し、MMOD 耐性は EMU よりも劣ることがわかった（試験ケース 3）。
- (c) (b)の試験ケースよりも MMOD 耐性を向上させた、断熱層の前後に空隙を追加した構成の試験結果は、“非貫通”で、EMU と同等以上の MMOD 耐性が得られた（試験ケース 6）。
- (d) PAR 織布(1110dtex)と断熱防護層との間に、放射線遮蔽材（タングステンシート）を追加した、試験の結果は、“非貫通”であり、EMU と同等以上の MMOD 耐性が得られた（試験ケース 2）。
- 一方、PAR 織布(1110dtex)と断熱防護層との間に、他の素材(PAR 織布)を追加した積層構成の試験結果は、“貫通”した。このことから、タングステンシートには、MMOD 耐性を向上させる一定効果があると考えられる（試験ケース 5）。

表 2 供試体（各層）の特性

	断熱防護層					摺動層
	防護層		放射線遮蔽材	断熱層		
品名	PAR 織布		タングステンシート	アルミ蒸着 ポリエステル	ポリエステル メッシュ	ナイロン® 織布
織度 [dtex]	1110	1670	(不織布)	—	84	56
織密度 [本/inch]	30×30	37×37	—	—	—	151×112
面密度 [g/m <sup>2</sup> ]	276	503	867	—	56 枚	149
厚さ [mm]	0.46	0.74	0.35	0.009/枚	0.31/枚	0.13
	気密拘束層					/
	拘束層		気密層			
品名	ケブラー 織布		ナイロン® 織布			
織度 [dtex]	670		460			
織密度 [本/inch]	34×33		48×46			
面密度 [g/m <sup>2</sup> ]	184		229			
厚さ [mm]	—		—			

表 3 試験ケース（積層構成）

No	断熱防護層						空隙	気密拘束層		備考
	防護層	放射線遮蔽材等	空隙	断熱層	空隙	摺動層		拘束層	気密層	
1	PAR 織布 1110dtex	なし	なし	5 層	なし	ナイロン 織布	3 mm	ケ ブ ラ ー 織 布	ナ イ ロ ン 織 布	
2	PAR 織布 1110dtex	タングステン シート	なし		なし					
3	PAR 織布 1670dtex	なし	なし		なし					
4	PAR 織布 1110dtex	なし	なし		なし					No.1 と同じ 構成（再試験）
5	PAR 織布 1110dtex	PAR 織布 1110dtex	なし		なし					
6	PAR 織布 1670dtex	なし	3mm		3mm					
7	PAR 織布 1110dtex	なし	3mm		3mm					

表 4 試験結果

No	衝突速度 [km/s]	衝突エネルギー		貫通／非貫通
		[J]	対 EMU <sup>※</sup>	
1	7.08	7.65	111 %	貫通
2	7.03	7.53	110 %	非貫通
3	6.79	7.03	102 %	貫通
4	6.89	7.24	105 %	貫通
5	6.83	7.12	104 %	貫通
6	6.85	7.17	104 %	非貫通
7	6.86	7.18	104 %	貫通

※ EMU の貫通限界の試験条件：直径 0.6 mm アルミ球、速度 6.71 km/s (衝突エネルギー 6.87 J) を 100 とした相対比

## 5. 結論

複数の試験ケースについて、超高速衝突試験を行い、EMU の MMOD 耐性を比較した結果、EMU と同等以上の耐性を有する構成は以下であった。

(a) PAR 織布(1670dtex)を防護層とし、断熱層の前後に空隙を確保した積層構成。

(b) PAR 織布(1110dtex)を防護層とし、これと断熱層との間に放射線遮蔽材を有する積層構成。

なお、(a)の構成で適切な空隙を確保するためには、縫製加工に工夫が必要である。また、PAR 織布(1110dtex)に比べ質量が増すことや、可撓性を損うなどのデメリットへの対応が必要である。

今後は、上記を断熱防護層の積層最終案に設定し、次世代先端宇宙服の研究を進める。

## 謝辞

本試験の実施にあたり、長谷川直氏、東出真澄氏（宇宙航空研究開発機構）に数々の助言と協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) Kenneth S. Thomas. et al.: US Spacesuits, Springer. p.231-294, 2006.
- 2) Thomas D.Chase. et al. : Extravehicular Mobility Unit Penetration Probability from Micrometeoroids and Orbital Debris – Revised Analytical Model and Potential Space Suit Improvements, HVIS 07-138. p.1-21, 2007.