

## H3

## 超高速衝突耐性を持つ宇宙服積層構成の評価 Hypervelocity Impact Protective Lay-up Evaluation for Spacesuit

○川瀬 暁, 青木 伊知郎, 和田 理男, 金子 祐樹, 山口 孝夫 (JAXA)  
○Satoru KAWASE, Ichiro AOKI, Yoshio WADA, Yuki KANEKO,  
Takao YAMAGUCHI (JAXA)

JAXA 有人宇宙ミッション本部では、将来の有人宇宙活動に必要な要素技術の一つとして、船外活動用の宇宙服を研究している。宇宙服の重要な役割は、宇宙環境から人体を保護して安全を確保することである。特に、超高速で飛来する微小隕石やスペースデブリ(MMOD:Micro-Meteoroid and Orbital Debris)に対する防護機能は、宇宙服の安全性を決定する重要な要素である。宇宙服生地積層構成を設定するために、複数の候補生地について超高速衝突試験を実施し、耐性を評価した。対象は、高強度繊維織布を最外層とし、宇宙服内外を断熱する蒸着フィルム等を積層した生地で、層間の一部に空隙を設けた。二段式軽ガス銃を用いて、直径 0.6mm のアルミ球を秒速 6.8km で正面衝突させ、貫通有無をマイクロスコープで観察した。その結果、宇宙服生地として有効な超高速衝突耐性を持つ積層構成を得た。



## 超高速衝突耐性を持つ宇宙服積層構成の評価

JAXA有人宇宙ミッション本部

○川瀬 暁、青木 伊知郎、和田 理男、金子 祐樹、山口 孝夫

2014年12月19日

第6回 スペースデブリワークショップ

### JAXA次世代先端宇宙服



- 将来の有人宇宙活動に向けて JAXAが研究する [船外活動服](#)
- スーツ本体を目的の異なる3つのASSYで構成  
([冷却下着](#)・[気密拘束層](#)・[断熱防護層](#))
- ジョイント部以外は繊維生地(軽量・コンパクト)



次世代先端宇宙服(スーツ本体)の構成

## 試験の目的



断熱防護層の積層構成案を設定するため

— 積層候補の超高速衝突耐性を米国宇宙服(EMU)と比較

<積層候補>

- 防護層...芳香族ポリエステル織布  
(糸の太さ 1110dtex または 1670dtex)
- 断熱層...アルミ蒸着ポリエステルフィルム+ポリエステルメッシュ
- 摺動層...ナイロン織布
- 放射線遮蔽材...タングステンシート(基材:不織布)

EMU : Extravehicular Mobility Unit

dtex : 糸の太さの単位。糸の長さ10kmあたりの質量(グラム)を示す。

2

## 試験条件



EMUの貫通限界の試験条件※にもとづき、試験条件を設定

JAXA宇宙服と米国宇宙服(EMU)の試験条件

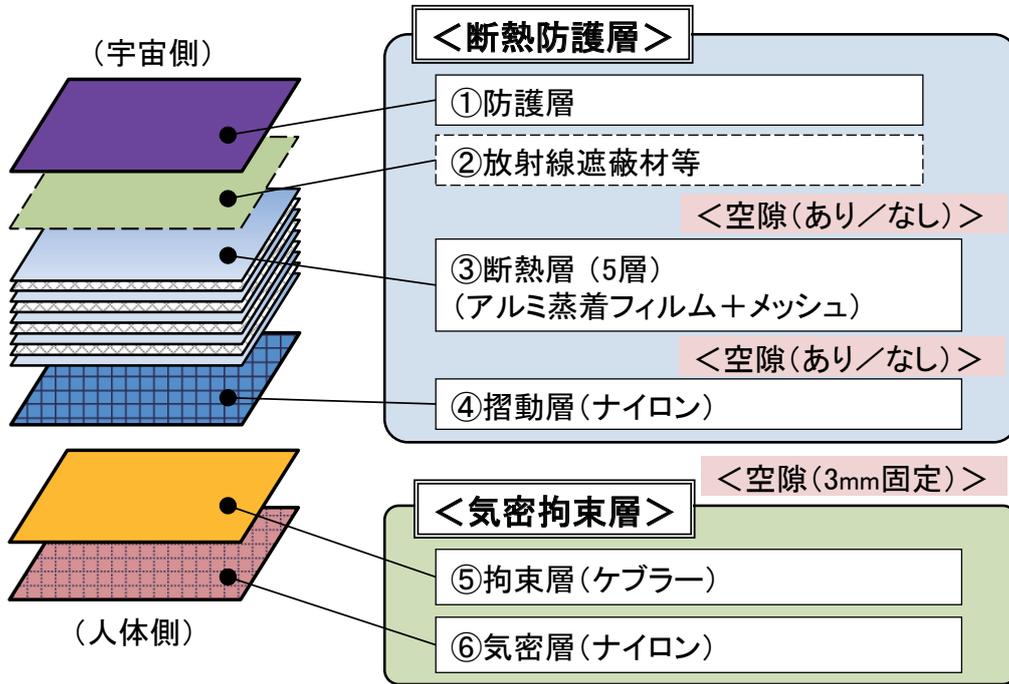
	JAXA宇宙服	(米国宇宙服 EMU)
飛翔体	アルミ球 直径 0.6 mm	アルミ球 直径 0.6 mm
衝突速度	目標 6.8 km/s	6.71 km/s
衝突角度	正面衝突	正面衝突
貫通判断	気密層(最終層)をマイクロ スコープ(50倍)で観察し、 孔がある。  ⇒ 貫通と判断	①Witness plate(アクリル 板)に衝突痕がある。 ②2 psiで気密層に漏洩が ある。  ⇒ 貫通と判断

※Thomas D.Chase et.al. Extravehicular Mobility Unit Penetration Probability from Micrometeoroids and Orbital Debris – Revised Analytical Model and Potential Space Suit Improvements,2007,HVIS 07-138

3



## 積層構成



4



## 供試体

No	断熱防護層						気密拘束層		
	①防護層	②放射線遮蔽材等	空隙	③断熱層	空隙	④摺動層	空隙	⑤拘束層	⑥気密層
1	1110dtex	なし	なし	5層	なし	(ポリカーボネートコート付) ナイロン織布	3mm	ケブラー織布	(ポリウレタンコート付) ナイロン織布
2	1670dtex	なし	なし		なし				
3	1110dtex	なし	3mm		3mm				
4	1670dtex	なし	3mm		3mm				
5	1110dtex	防護層と同一	なし		なし				
6	1110dtex	タングステンシート	なし		なし				

防護層: 芳香族ポリエステル織布

5

## 各層の物性(1/2)



		防護層		放射線 遮蔽材	断熱層	
素材		芳香族ポリエステル		タングステン シート	アルミ蒸着付 ポリエステル フィルム	ポリエステル メッシュ
織度 [dtex]		1110	1670	—	—	84
面密度 [g/m <sup>2</sup> ]		276	503	867	—	56 /枚
厚さ [mm]		0.46	0.74	0.35	0.009 /枚	0.31 /枚
織密度 [本/inch]	たて	30	37	—	—	15メッシュ/inch
	よこ	30	37	—	—	18メッシュ/inch
織組織等		平織	平織	不織布	フィルム	ネット
引張強さ [N/3cm]	たて	7750	11300	370	—	—
	よこ	8790	14900	340	—	—
引裂強さ [N/10cm]	たて	1820	4860	3	—	—
	よこ	2200	5370	4	—	—
分解温度(融点) [°C]		450 以上		—	260 (PET) 660 (アルミ)	260
比熱 [J/(kg·K)]		1420 @100°C		—	1250 (PET)	1250

6

## 各層の物性(2/2)



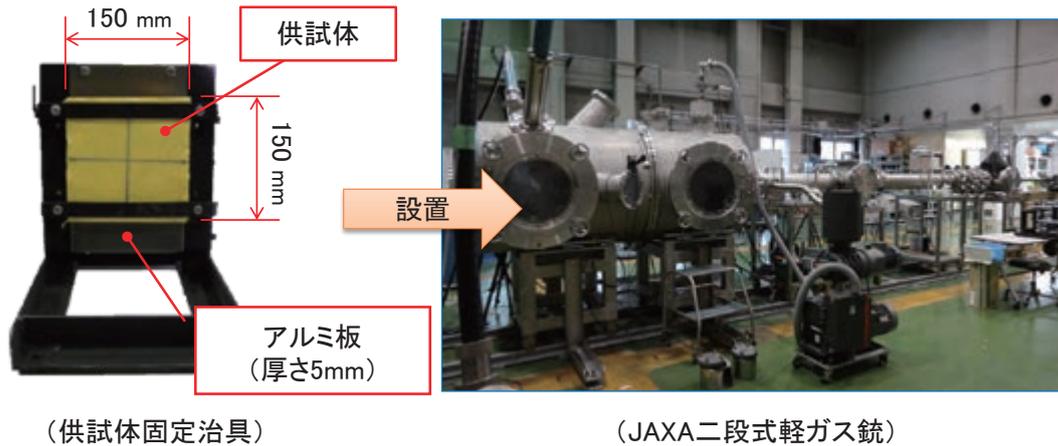
		摺動層	拘束層	気密層
素材		ナイロン織布 (ポリカーボネートコート付)	ケブラー織布	ナイロン織布 (ポリウレタンコート付)
織度 [dtex]		56	670	460
面密度 [g/m <sup>2</sup> ]		149	184	229
厚さ [mm]		0.13	—	—
織密度 [本/inch]	たて	151	34	48
	よこ	112	33	46
織組織等		平織	平織	平織
引張強さ [N/3cm]	たて	600	4440	3410
	よこ	400	5320	3090
引裂強さ [N/10cm]	たて	9	1290	350
	よこ	7	1070	370
分解温度(融点) [°C]		265 (ナイロン) 250 (PC)	427-482	265 (ナイロン)
比熱 [J/(kg·K)]		1675 @25°C (ナイロン)	2010 @100°C	1675 @25°C (ナイロン)

7

## 試験コンフィギュレーション



- 150mm角に裁断し積層した供試体を背面にアルミ板を取付けた供試体固定治具に固定
- 空隙は、層間の端面に平ゴム(厚さ3mm)を挿入



8

## 試験結果



No.	衝突速度 [km/s]	衝突エネルギー		貫通 非貫通	備考
		[J]	対EMU*		
1	6.89	7.24	105%	貫通	防護層:1110dtex
2	6.79	7.03	102%	貫通	防護層:1670dtex
3	6.86	7.18	104%	貫通	防護層:1110dtex 断熱層前後に空隙あり
4	6.85	7.17	104%	非貫通	防護層:1670dtex 断熱層前後に空隙あり
5	6.83	7.12	104%	貫通	防護層:1110dtex×2層
6	7.03	7.53	110%	非貫通	防護層:1110dtex 放射線遮蔽材あり

対EMU：EMUの貫通限界における衝突エネルギー6.87J(直径0.6mmアルミ球、速度6.71km/s)を100とした相対比。

9

## 試験後の供試体（11～13層）



	第11層	第12層	第13層 (裏面)	
<b>No. 4</b> 断熱層前後に 空隙あり				← <b>非貫通</b>
<b>No. 2</b> 断熱層前後に 空隙なし				← <b>貫通</b>

撮影時の倍率：50倍

10

## 試験後の供試体（5～8層）



	第5層	第6層	第7層	第8層
<b>No. 4</b> 断熱層前後に 空隙あり				
<b>No. 2</b> 断熱層前後に 空隙なし				

撮影時の倍率：50倍

11

## 試験後の供試体 (1~4層)



	第1層	第2層	第3層	第4層
<b>No. 4</b> 断熱層前後に 空隙あり				
<b>No. 2</b> 断熱層前後に 空隙なし				

撮影時の倍率: 50倍

12

## 結論



米国宇宙服(EMU)と同等以上の超高速衝突耐性を有する  
 以下の構成を断熱防護層の積層構成案に設定する

**芳香族ポリエステル織布(1670dtex)を防護層とし、  
 断熱層の前後に空隙を有する積層構成**

ただし、放射線遮蔽が特に必要な胴周りや股間部等には  
 以下の積層構成案を設定する

**芳香族ポリエステル織布(1110dtex)を防護層とし、  
 第2層に放射線遮蔽材を有する積層構成**

-  防護層: 芳香族ポリエステル1110dtex  
 第2層: 放射線遮蔽材あり
-  防護層: 芳香族ポリエステル1670dtex  
 放射線遮蔽材なし



13