

## 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。宇宙服生地の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

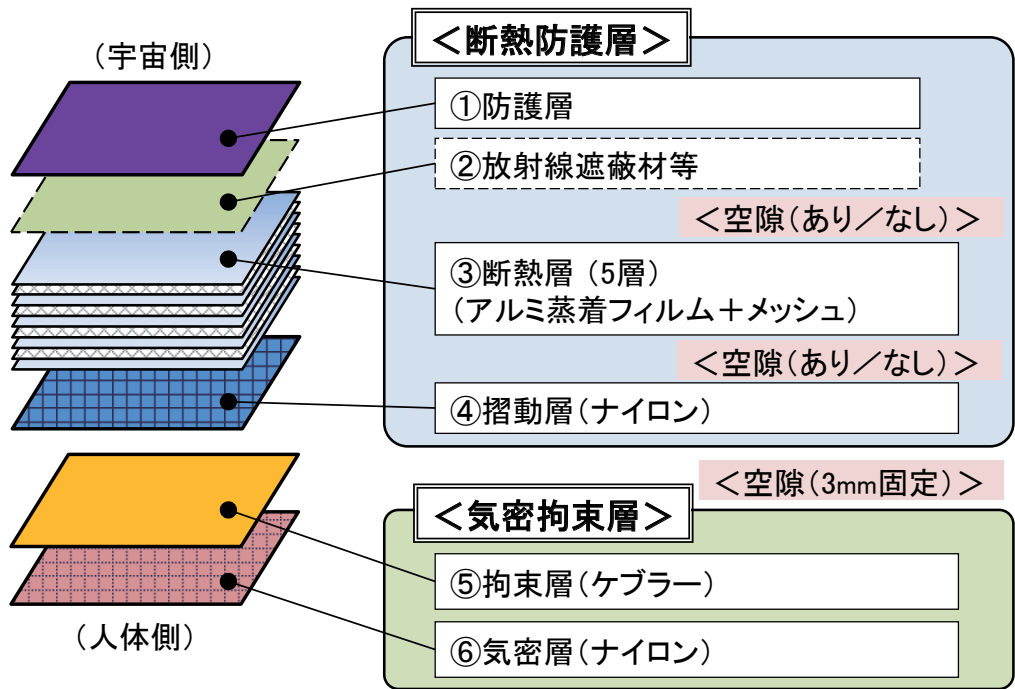
	JAXA宇宙服	(米国宇宙服 EMU)
飛翔体	アルミ球 直径 0.6 mm	アルミ球 直径 0.6 mm
衝突速度	目標 6.8 km/s	6.71 km/s
衝突角度	正面衝突	正面衝突
貫通判断	気密層(最終層)をマイクロ スコープ(50倍)で観察し、 孔がある。  ⇒ 貫通と判断	①Witness plate(アクリル 板)に衝突痕がある。 ②2 psiで気密層に漏洩が ある。  ⇒ 貫通と判断

※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)



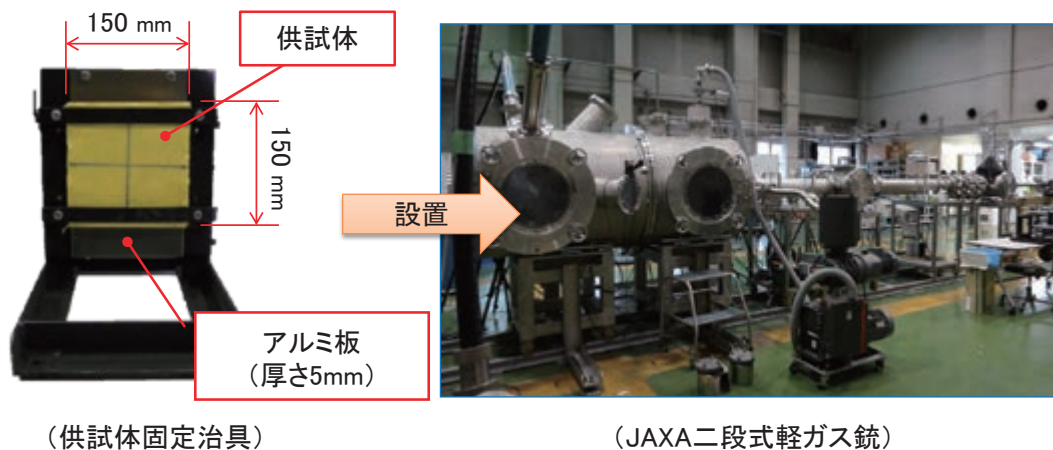
		摺動層	拘束層	気密層
素材		ナイロン織布 (ポリカーボネートコート付)	ケブラー織布	ナイロン織布 (ポリウレタンコート付)
織度 [dtex]		56	670	460
面密度 [g/m <sup>2</sup> ]		149	184	229
厚さ [mm]		0.13	—	—
織密度 [本/inch]	たて	151	34	48
	よこ	112	33	46
織組織等		平織	平織	平織
引張強さ [N/3cm]	たて	600	4440	3410
	よこ	400	5320	3090
引裂強さ [N/10cm]	たて	9	1290	350
	よこ	7	1070	370
分解温度(融点) [°C]		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)	
No. 4 断熱層前後に 空隙あり				← 非貫通
No. 2 断熱層前後に 空隙なし				← 貫通

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
No. 4 断熱層前後に 空隙あり				
No. 2 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



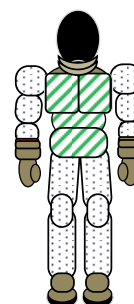
米国宇宙服(EMU)と同等以上の超高速衝突耐性を有する  
以下の構成を断熱防護層の積層構成案に設定する

**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