

る。

エ 視野等（図－３８、図－３９及び図－４０）

- ① JEMRMSによるペイロード等の受け渡しは、搭乗員がJEM与圧部内のJEMRMSコンソールのTVカメラ、モニタを通して確認しながら遠隔操作で行われる。
- ② 搭乗員の作業面では、作業・操作・表示機器確認に支障がないように十分な照明（特に規定がない限り、白色光で108Lux以上）が確保されている。

（３）共通化

ISS全体の安全に関わるJEMの構成要素（ハードウェア・ソフトウェア・インタフェース）は、ISS構成要素との間で共通化（全く同一であること）、標準化（設計標準、設計基準等を適用すること）が図られている。

この共通化・標準化には、次のとおり、特に直接搭乗員の安全に関わる表示・警告・警報の統一、避難・非常操作・緊急処置等に関わる手順・対応の統一、安全確保の面から重要な保全方法の統一が重点的に含まれている。

①警告・警報等

共通化：音声端末、警告・警報パネル、ラベル、マーキング

標準化：警報のクラス分け

②火災検知／消火システム

共通化：煙センサ、可搬式消火器

③マニピュレータ（ロボティクス）

共通化：親アームの被把持部、把持機構、ハンドコントローラ、ラップトップコンピュータ（ハードウェアのみ）

標準化：ラップトップコンピュータの表示

④その他

共通化：ハッチ、ハンドレール、足部固定具、窓組立 等

標準化：配管・配線等識別用シール、銘板 等

6. 緊急対策

火災・減圧・汚染の発生等の緊急時においても、搭乗員の安全に重大な影響が及ばないようにするため、以下の対策が講じられている。

(1) 緊急警報

JEMではワークステーションラック及びRMSラックの2箇所に設置されているISS共通の警告・警報パネル(図-41)によって、3段階の緊急度に応じ、Emergency(Class1)、Warning(Class2)又はCaution(Class3)が発せられる。

Class1である火災・減圧・汚染に対しては、センサ検知による自動起動又は搭乗員若しくは地上要員による起動が可能であり、各ハザードに固有の警報音と点滅ライトで、警告・警報を発するシステムとなっている。

ア 火災

火災検知区域(RMSラック、実験ラック、空調装置入り口、補給部与圧区循環ファン出口等)毎に煙センサが配置され、火災発生が検知されるとISSの警告・警報システムに通知され、ISS全体に警告・警報が発出される。

また、消火区画は、区域毎に可搬式消火器による二酸化炭素放出のためのポートが設けられ、区画に対応した電源遮断及び循環空気停止を可能としている(注)。

(注) JEMは、不燃性・難燃性材料の使用による燃焼抑止、適切な太さの電線の選定による過熱防止、ハーメチックシールタイプによる電氣的発火防止設計、適切な熱設計・故障検知分離システムの適用による過熱防止設計等により、火災発生のリスクを最小化した設計となっている。

イ 減圧

キャビン内の減圧は、ISS本体により常時監視され、設定圧以下・設定減圧速度以上となると、ISS内に警告・警報が発せられ、急速な減圧時には自動的に真空排気系の遮断弁が遮断される。

ウ 汚染

JEMのキャビン内の空気は、ガスサンプリングラインによりISS本体の

環境監視装置に定期的に送られて分析・監視され、汚染物質、二酸化炭素・酸素分圧の異常等が検知された場合には、ISS内に警告・警報が発せられる。

(2) アクセス

ア 非常設備、防護具

非常設備として、可搬式消火器が与圧部2箇所及び補給部与圧区1箇所に備えられ、また、防護具として可搬式呼吸器が可搬式消火器使用前に装着できるように消火器から91cm以内に設置され、これらの保管場所は容易に識別できるように表示される。

イ 安全上重要な手順書

軌道上で必要となる安全上重要な手順書は、軌道上で搭乗員がアクセスできる電子ファイル媒体、文書として保管・掲示される。

ウ 通路（図-42及び図-43）

搭乗員の移動・作業を容易にするため、通路にハンドレール、フットレストレイント等が設置される。

また、電源喪失時に備えて、非常用電源による非常灯が設置されるほか、ラックの転倒・移動時でも直径81cm以上の通路が確保される構成となっている。

(3) 減圧・再加圧

JEMに火災・汚染等の異常が発生した場合には、ハッチ等を閉鎖して、ISS本体から隔離した後、キャビン空気を排気弁により宇宙空間に排出して減圧し、続いて、均圧弁を開くことにより、ISS本体のキャビン空気を取り込んで、再加圧できるように設計されている。

また、JEMの起動・再起動に際しては、搭乗員がJEM内に移乗する前に、ISS本体側から電力供給系・水ループ・JCP・システムネットワーク・空気調和装置・モジュール間通風換気(IMV)・火災検知系・ガスサンプリングライン・警告・警報パネル等与圧環境の安全の確保に必要な最小限の機能を立ち上げることのできるシステム構成となっている。

7. 安全確保体制

安全・開発保証活動のための体制については、JEMの開発・利用・運用の担当であるJEMプロジェクトチーム等から独立した安全・開発保証部門である「宇宙ステーション安全・信頼性管理室」において、方針・要求事項の設定、その履行状況の評価、必要な勧告が行われている（図-44）。

また、安全上の問題については、開発・運用の責任者まで報告・検討される体制が確立されている。

さらに、NASDAにおいて、JEMの開発・運用に携わる者への安全教育・訓練が実施されるとともに、安全確保に係る事項の周知徹底が図られている。

8. NASDAのJEMの安全対策に対する所見

以上のとおり、JEMの安全設計においてNASDAが実施している安全対策は、「JEMに係る安全評価のための基本指針」に規定する要件を満たし、所用の対策が講じられており、妥当であると考えられる。

なお、ISS/JEM軌道環境等における直径10cm以下1cm以上のスペースデブリに関しては、観測網整備、データベースの構築、防御対策について、航空宇宙技術研究所（NAL）等も含めた国際的連携の下、可能なかぎり研究開発を進めることが望ましい。

また、NASDAは、今後、ISS滞在中に搭乗員が被ばくする宇宙放射線に関して、鉄等の重粒子成分やその2次放射線の影響、臓器線量の評価方法等について放射線医学総合研究所国際宇宙放射線医学研究センター（ISRL）等関係機関と緊密な連携・協力の下、一層の研究を進めていくことが重要である。

表－１ ハザードの被害の度合い

カテゴリ	ハザードの被害の度合い
カストロフィック (致命的)	能力の喪失に至る人間の傷害、致命的な人間の傷害又はスペースシャトル、宇宙ステーション、あるいは主要な地上設備の喪失の原因となり得る状態。
クリティカル (重大)	重度な人間の傷害、もしくは重度の職業上の疾病をもたらす状態。宇宙ステーションエレメント、軌道上の生命維持機能、あるいは緊急システムの喪失の原因となり得る状態。
マージナル (軽微)	安全監視機能、緊急制御機能、又は緊急システムの重大な損傷。応急手当を要する人間の軽度の傷害。打上げ又はサービスビークル、主要な宇宙ステーション エレメント、軌道上の生命維持機能、地上設備、あるいはすべてのクリティカルな地上支援装置の軽度の損傷を伴う状態。

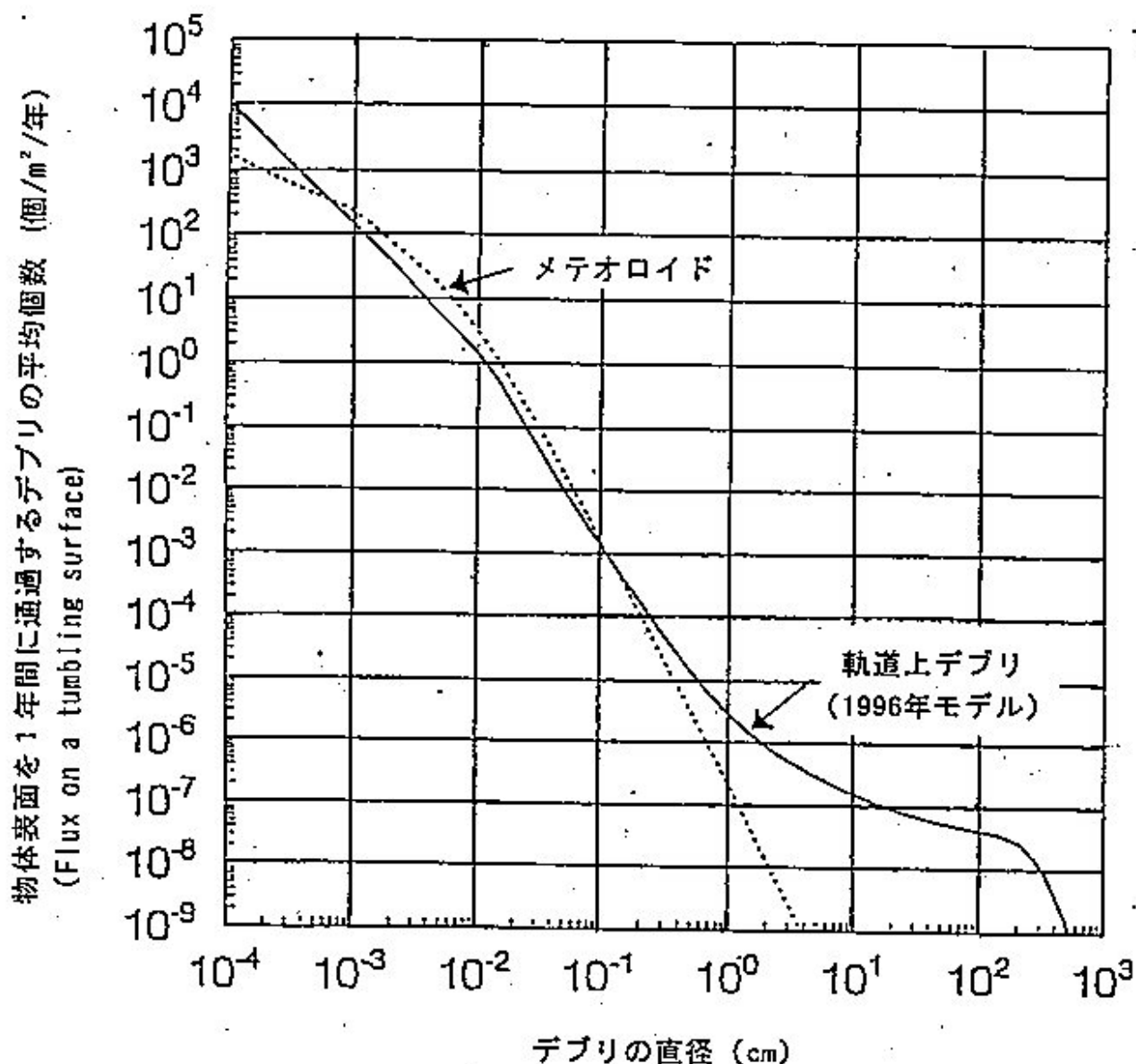
表－２ ハザードの発生頻度

カテゴリ	分類	ハザードの発生頻度
A	Probable	プログラム中に発生する。
B	Infrequent	プログラム中に発生する可能性がある。
C	Remote	可能性はあるが、プログラム中に発生するとは考えられない。
D	Improbable	プログラム中に発生する可能性は極めて小さい。

		被害の度合い		
		カタストロフィック (致命的) Ⅰ	クリティカル (重大) Ⅱ	マージナル (軽微) Ⅲ
発 生 頻 度	A	リスク大		
	B			
	C			
	D			リスク小

A : Probable (時々)
 B : Infrequent (偶に)
 C : Remote (希に)
 D : Improbable (微少)

図 - 1 ハザードの被害の度合い、発生頻度とリスクの関係



出典: IAA-97-IAA 6.5.04
Protecting the Space Station from
Meteoroids and Orbital Debris

G. Gleghorn
Chairman, Committee on International Space Station
Meteoroid/Debris Risk Management,
National Research Council

図-2 宇宙ステーション軌道 (傾斜角 51.6°) において
単位面積を通過するメテオロイド・スペースデブリの
直径と平均個数の分布

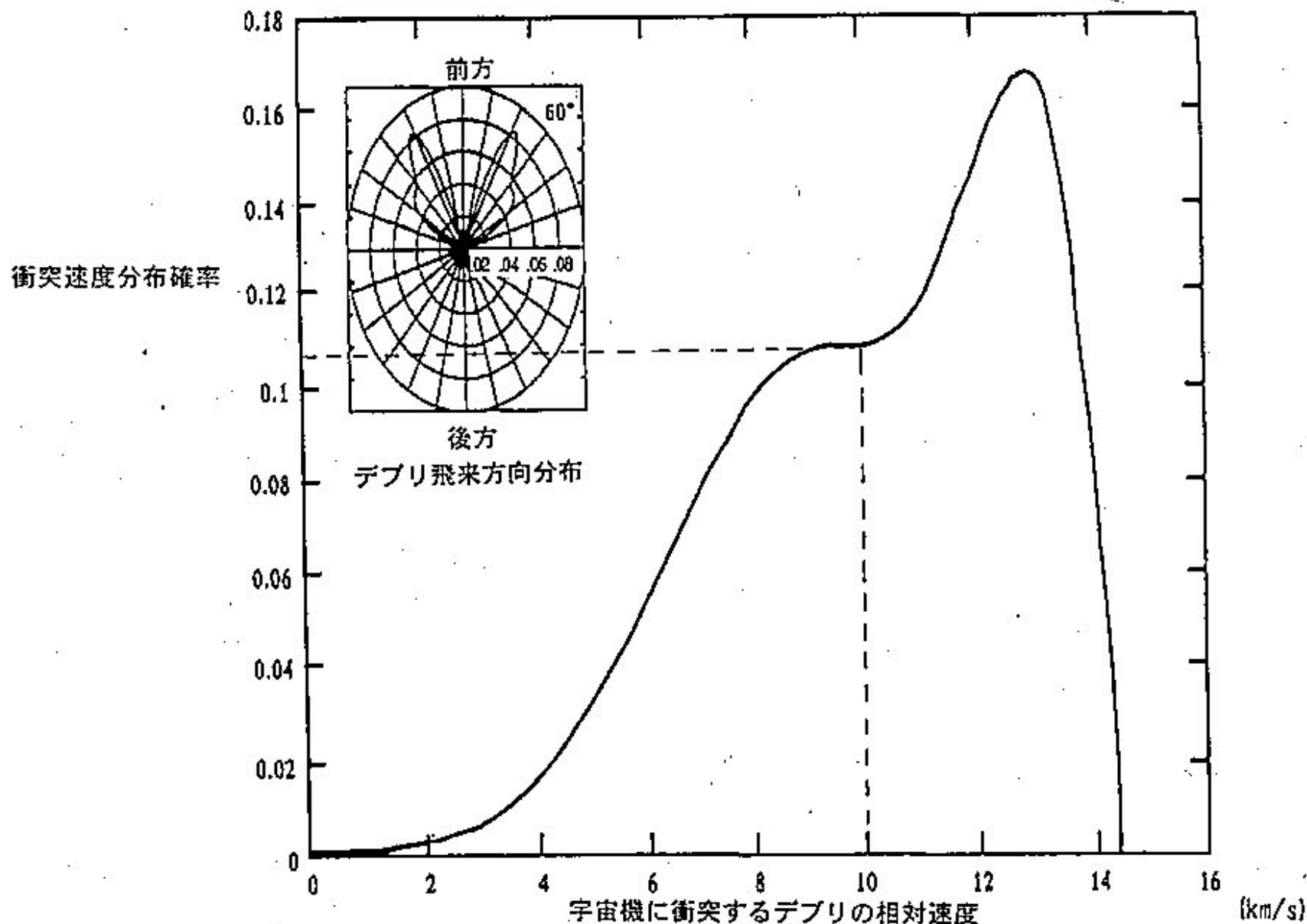


図-3 デブリの衝突速度分布図

デブリが宇宙機に衝突する時、ある相対速度で衝突する確率がどのくらいになるかを表している。たとえば相対速度10km/sで衝突する確率は約0.105(10.5%)であり、右前方60度から衝突する確率は約0.06(6%)である。

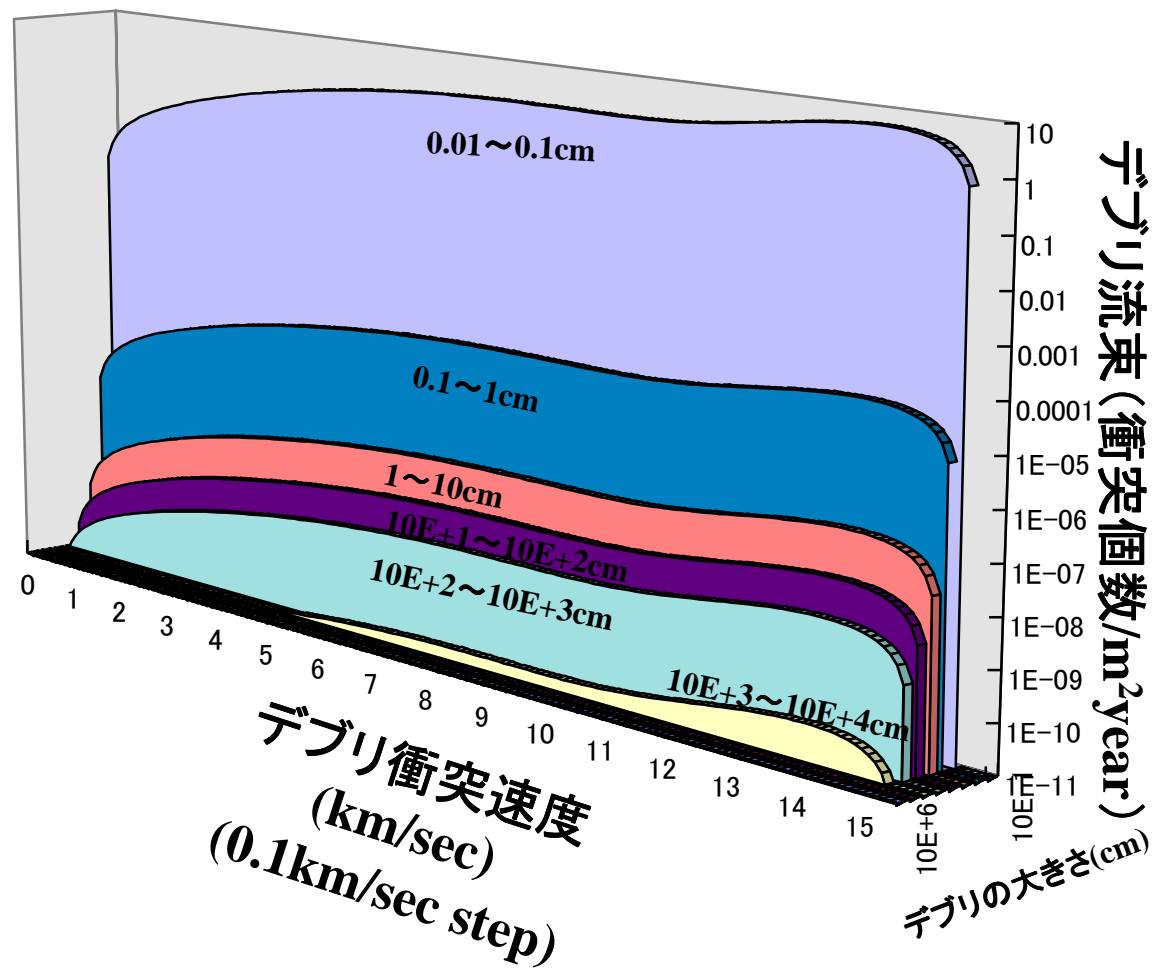


図-4 デブリ衝突分布

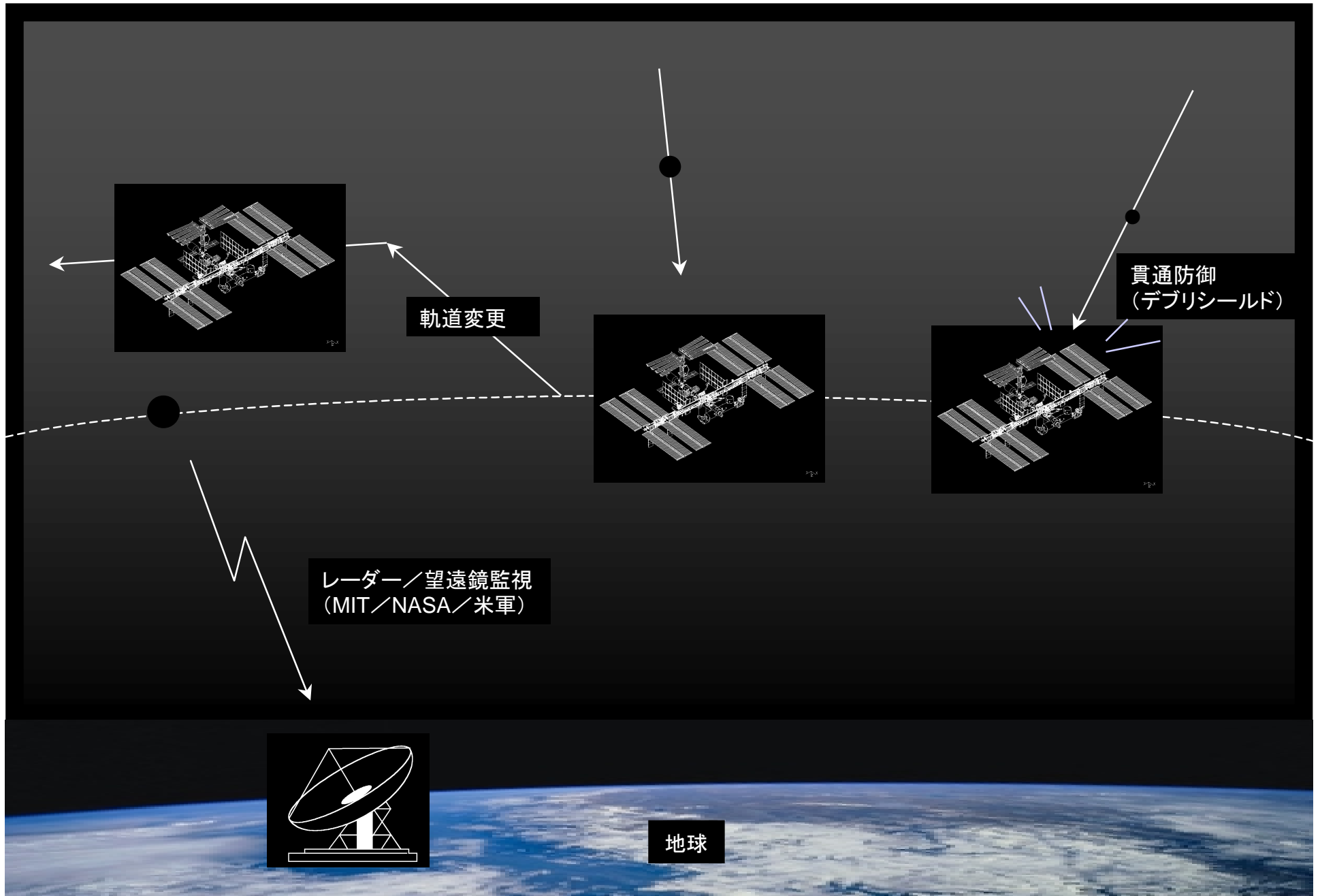
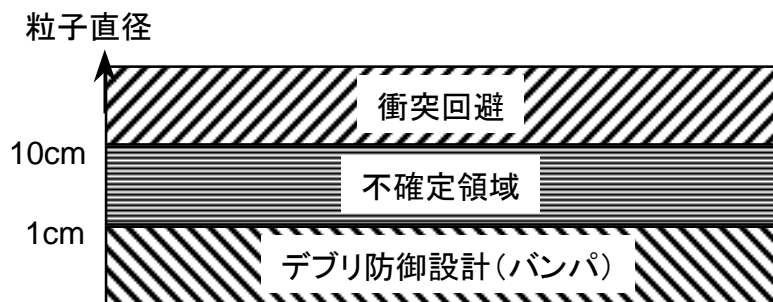
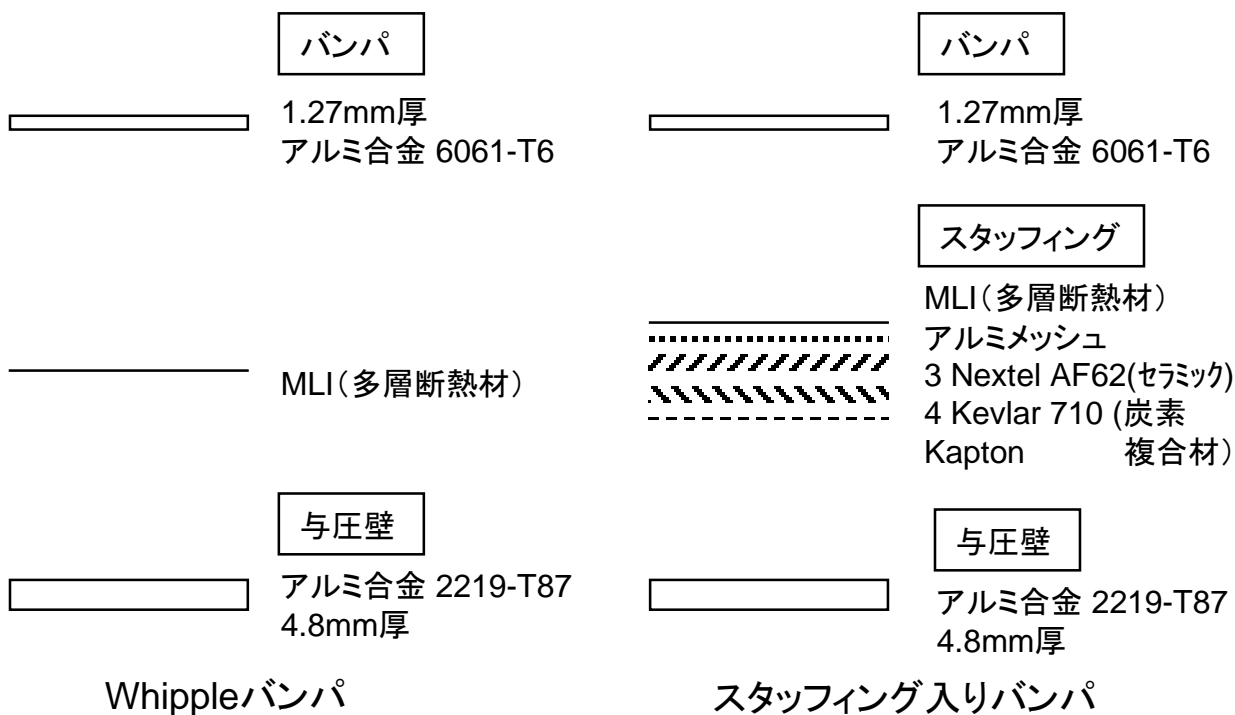


図-5 メテオロイド・デブリ防御方法



デブリ防御設計



Whippleバンパ

スタッフィング入りバンパ

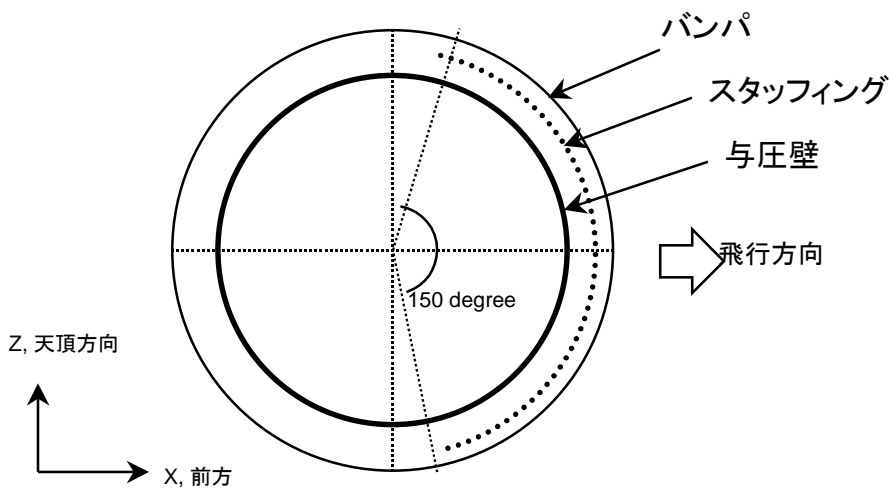


図-6 メテオロイド・デブリ防御設計

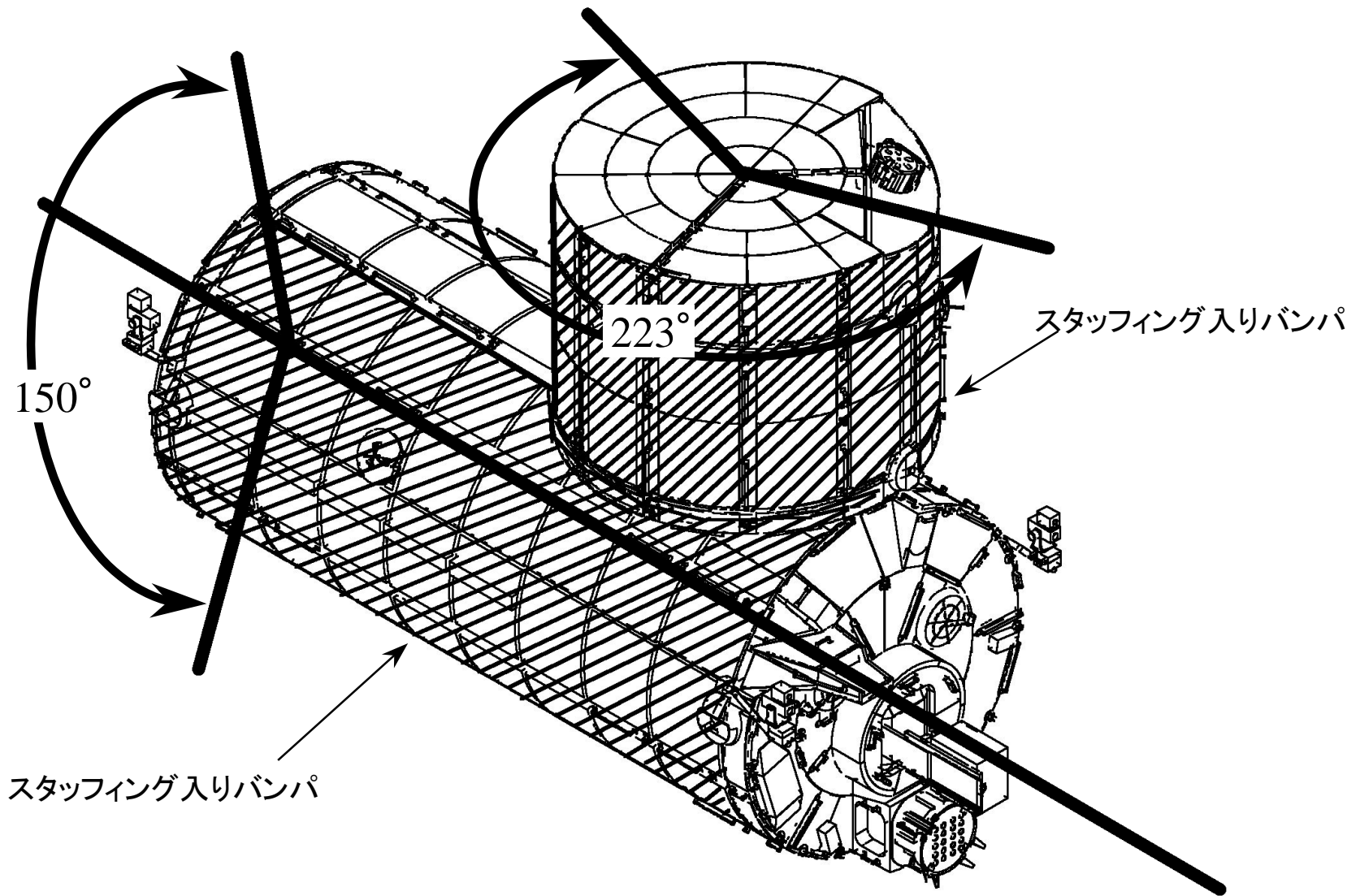
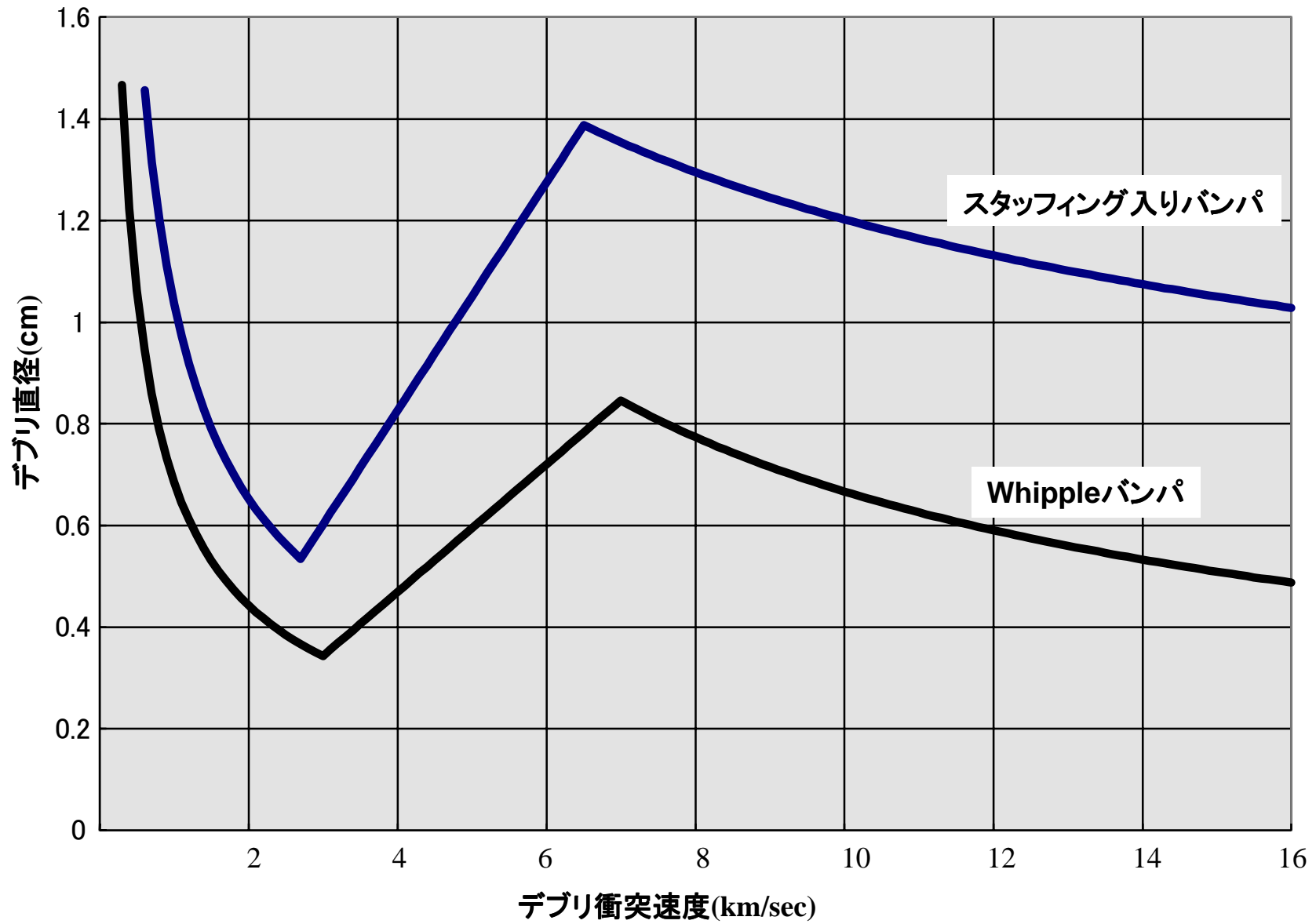
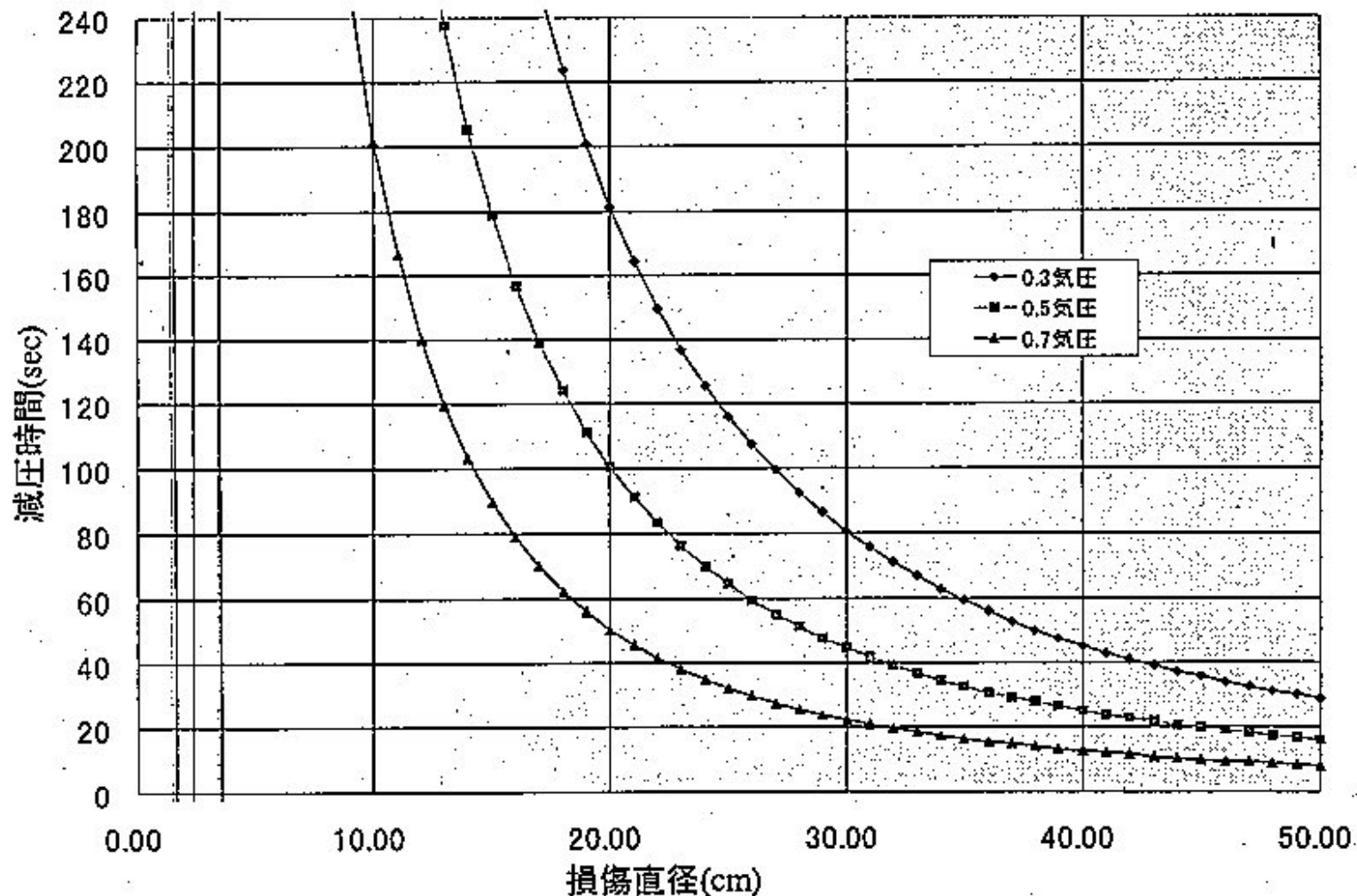


図-7 与圧部／補給部与圧区メテオロイド・デブリシールド



図ー8 JEMバンパ貫通限界曲線 (バリスティックリミットカーブ)

減圧時間計算(圧力比、エア体積:1207m³)



*1 横軸の損傷直径はデブリ貫通面積と同面積の直径を表わすものでデブリ直径とは異なる。

*2 ISS組立完了時 (Assembly Sequence Rev.B対応)のISS全体の容積1207m³とした。減圧中にはISS環境制御装置からのO₂/N₂の供給はないものとした。

*3 理想気体に対しては、 $P_1 \rho_1^\gamma = P_0 \rho_0^\gamma$ なる関係が成り立つことを用いて、密度比: (P_1/ρ_0) の代わりに圧力比: (P_1/P_0) を基準に次式のように書き換えて算出した。

$$t = \frac{V/S_0}{\sqrt{\left(\frac{P_0}{R}\right) \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}}} \left\{ \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} - 1 \right\}$$

図-9 デブリ貫通による与圧モジュール損傷直径と減圧時間