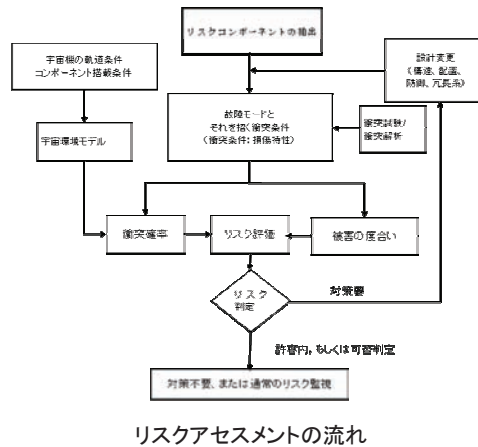


## デブリ防護設計標準 (WG3) の活動状況

### ○松本晴久 (JAXA) , デブリ防護設計標準 WG

平成 17年2月22日に第 1 回のデブリ防護設計標準のWGが開催された。本WGでみどり2号の軌道上不具合の一要因として最後まで残ったサブミリ級の微小なデブリ及びメテオロイドに対する設計防護の議論が開始された。発足当初は、1)IADC PROTECTION MANUAL に何が書いてあるかまとめよう。2)今後どのような基準化を行うべきか、どのような評価試験を行うべきか？3) ADEOS- II を考慮して、露出しているパワーラインがどのようにダメージを受けるか？、オープンが多いのか？、ショートが多いのか？ 調べよう。等基礎データがないため模索状態で作業を進めてきた。メンバーの努力により、平成21年7月8日、スペースデブリ防護設計マニュアルを制定することができた。また、現在は、今年度为目标に、スペースデブリ防護設計標準(仮)の制定を進めている。本報告では、WGのこれまでの活動状況と課題、スペースデブリ防護設計マニュアルの内容、更には今後の計画について述べる。



### 第4回スペースデブリワークショップ

## デブリ防護設計標準 (WG3) の活動状況

### デブリ防護設計WG

松本晴久

# アウトライン

- 背景
- WG3の活動
- スペースデブリ防護設計マニュアルの概要
- 今後課題
- まとめ

## WG3発足の経緯

### [背景]

「ADOS- II の運用異常に係わる原因究明及び今後の対策について」(平成16年7月28日宇宙開発委員会)において(わが国の宇宙開発の中核研究開発機関である機構の責務として)「軌道上等のデータの蓄積及び設計基準の整備」を実施することが求められた。

(1)「設計基準推進委員会」(準備会、以下「委員会」という)の立ち上げ

(2)緊急性を有する5項目についてワーキンググループの立ち上げ

WG1 : 帯電・放電設計基準

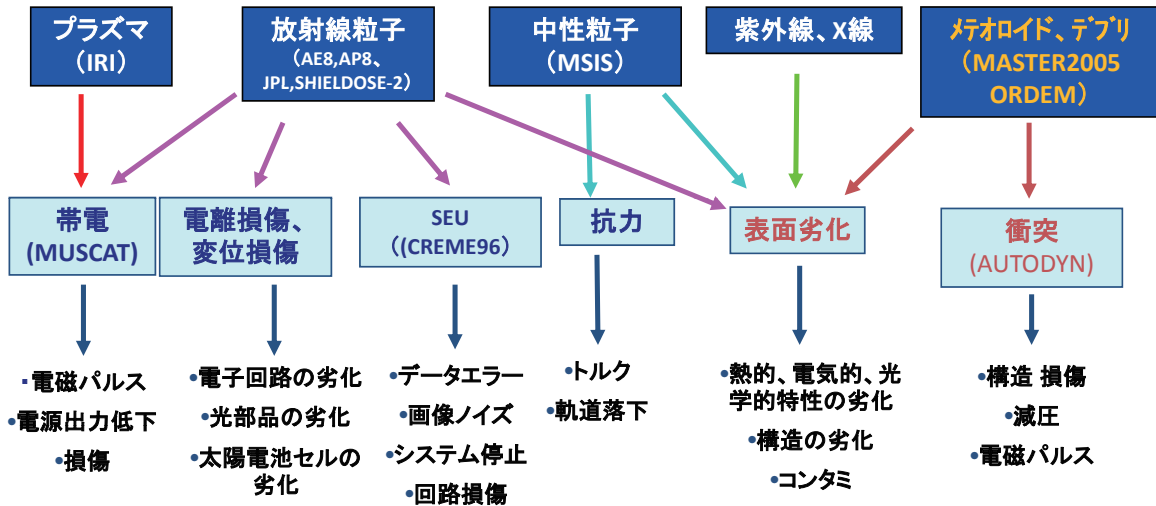
WG2 : ワイヤディレーティング

WG3 : デブリ防護

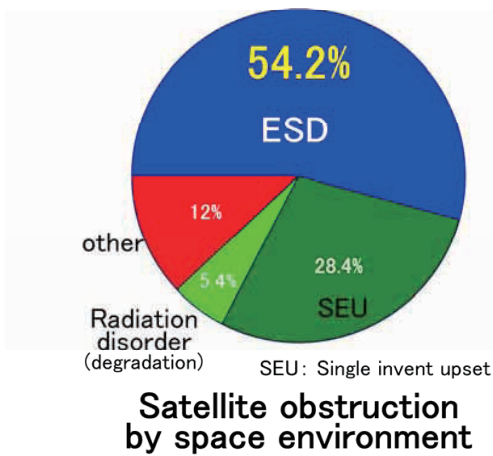
WG4 : 単一故障、故障波及

WG5 : 絶縁

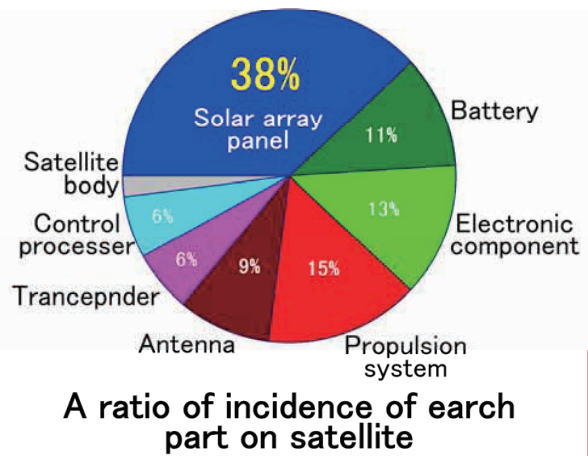
## 宇宙環境によるシステムへの影響 (メカニズムと現象)



## 不具合の原因と発生部位の割合

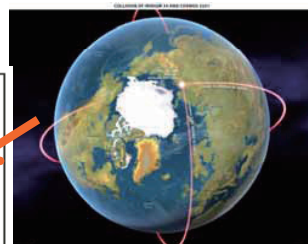
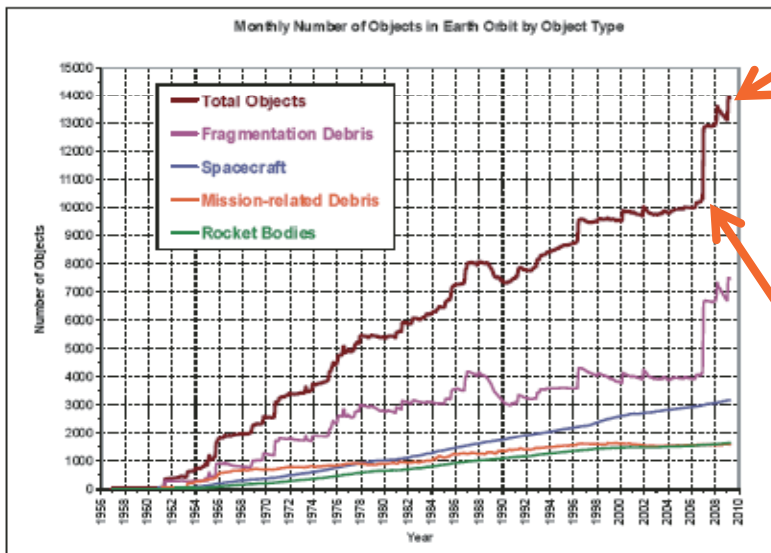


(Total accident no. is 326 /1973-1997, Koons et al.)

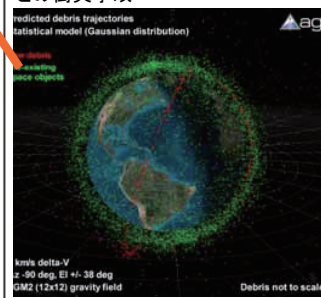


(1998-2004, Frost & Sullivan Co., Ltd.)

# マニュアル制定中に起きた事故

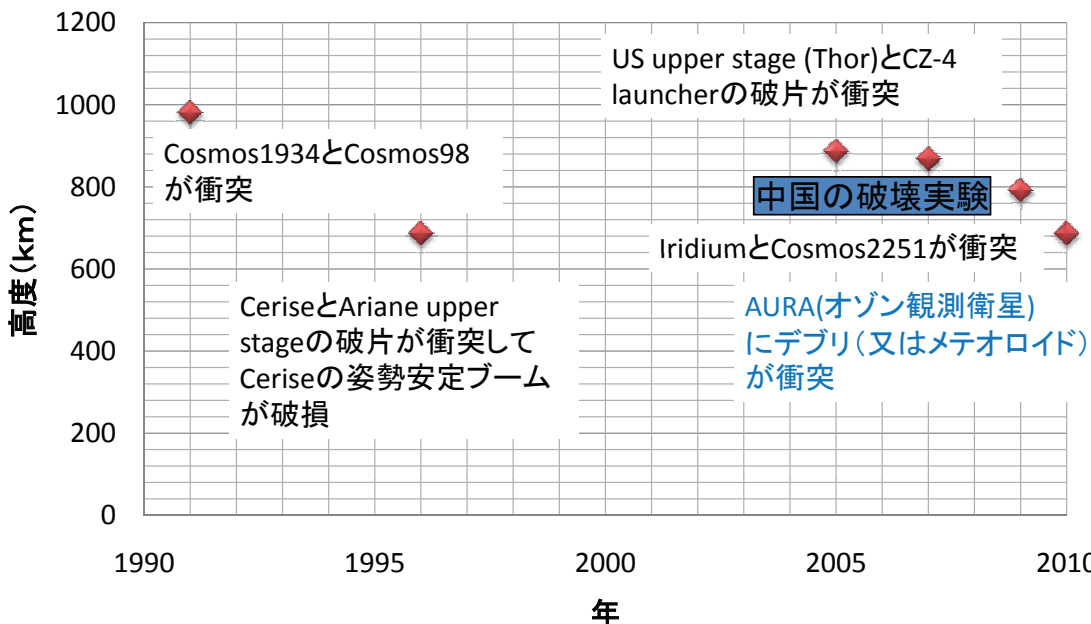


2009.2.10 ロシアの軍事通信衛星とイリジウム(Iridium)社の通信衛星との衝突事故



2007.1.11 ASAT破壊実験

# 低軌道衛星の衝突事故・破壊実験



## 静止軌道での不具合実例

- ①2006.3.29 露静止衛星Express AM11に突然外的圧力が加わり、熱制御システムが減圧、冷却液を噴出。
- ②2006.7.9 欧静止衛星Meteosat-8の故障。軌道が突然変化、東西方向の位置制御スラストの1つが破損、更に外壁が破損して一部の部品が宇宙空間に露出した。

## 衝突デブリサイズとその推定被害の定義

NASAによる衝突デブリサイズとその推定被害の定義

衝突デブリ	0.1～1cm	1～10cm	>10cm
衛星の被る推定被害	ミッション能力の部分的喪失	致命的な損傷	完全な破壊

NRCによる衝突デブリサイズとその推定被害の定義

衝突デブリ	0.1cm以下	0.1～10cm	>10cm
衛星の被る推定被害	表面の劣化、保護されていない機器の損傷	表面の劣化 機器の損傷 衛星の機能喪失	表面の劣化 機器の損傷 衛星の機能喪失

# アウトライン

- 背景
- **WG3の活動**
- スペースデブリ防護設計マニュアルの概要
- 今後の課題
- まとめ

## 初年度の活動

- ① IADC(Inter-Agency Space Debris Coordination Committee)勧告のレビュー  
IADC発行のPROTECTION MANUALに規定されている機器設計と配置のための勧告等デブリを意識した衛星設計に関する勧告の妥当性を識別するとともに、追加すべき事項を整理した。
- ② 試験検討  
ADEOS-IIの運用異常を受けて各プロジェクトで実施されたデブリ試験に関して再評価を行い、設計/評価をおこなうためのデータ不足していることが認識された。設備の確保と優先順位付けを行った上で、試験を実施すべきとの結論を得た。優先すべき評価対象として、電力ハーネス、太陽電池アレイ、MLI(実装状態模擬)がリストアップされた。
- ③ 環境モデルの精度向上のために定期的に軌道上データを取得する必要性が確認された。

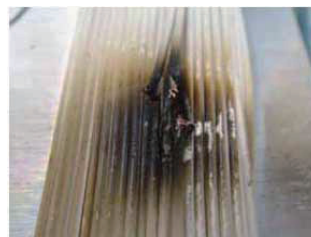
## WG3活動 衝突試験

- 内容
  - 微小粒子が衝突する確率の高い人工宇宙機の表面コンポーネント及び部材を中心に行っている。特にADEOS- II の電力の異常低下の不具合を鑑み、電源系機器においては外部に電源を付加することで衝突による損傷だけでなく、衝突時に発生するプラズマの影響も評価した。
- 実施した対象物
  - 太陽電池パネル
  - 電力ハーネス(タイコレイケム線 55-0112-22-9)
  - 構体系(アルミ/CFRPハニカムサブストレート)(現在実施中)
  - 熱制御部(MLI)
  - 防護部(アルミプレート)

### 衝突試験の例(電力ハーネス)

- 試験サンプル
  - タイコレイケム製 55/0112-22-9
- 試験結果
  - 0.15mmかつ速度4.4km/sのプロジェクトイル(ガラス)において、ハーネス被覆を破るクラックはなし。
  - 0.2mmかつ速度3.81km/sのプロジェクトイル(ガラス)にて、ハーネス被覆を破るクラックが発生。ただし、持続放電などの短絡故障には至らず。
  - 0.3mmかつ速度4.01km/s のプロジェクトイル(SUS)にて、被覆を破りかつ心線の切断および持続放電が発生。隣接するハーネスに焼損痕を形成する。
  - 0.5mmかつ速度4.4km/sのプロジェクトイル(アルミナ)にて、被覆を破りかつ芯線の切断およびアルミ基板への短絡に至る。
- 結論
  - 超高速・高真空領域の0.1mm以下の微小粒子の衝突において、ハーネスの断線や、放電による損傷を受けることはない。但し、微小粒子の条件によっては持続放電が発生し、ハーネスの溶断による開放、もしくはハーネス間の短絡およびサブストレートへの地絡故障に至る。

**0.3mm以上は注意が必要。**



直径0.3mmステンレス、衝突速度4.01km/s

# WG3活動 数値解析

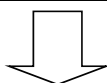
- 衝突試験結果の妥当性を立証すると共に設備上の理由で試験によって得られない高速領域を衝突解析ソフトウェア (Hydrocode) AUTODYN®V6.1を用いて解析している。
- 解析結果の一例
  - ハーネスへの衝突解析の結果と持続放電が生じた衝突試験ケースの結果が良く一致した。従って、解析した下記2ケースであるプロジェクトイルサイズΦ0.1mmでは持続放電に到る可能性は低いことが分かった。

No.	解析内容		プロジェクトイル	衝突速度	初期運動エネルギー
1	三次元	電力ハーネスへの衝突解析	アルミナΦ0.1mm	15km/s	0.21J(1本目露出)
2	三次元		石 Φ0.1mm	20km/s	0.27J(1本目露出)

## デブリに対する防護効果

これまでの作業でφ0.2-1.0mmのデブリに対する影響は、明らかになった。但し、防護対策としての遮蔽材の防護効果が明確化になっていない。防護効果として貫通した際に発生する二次生成物の環境を含め影響を明確化にしていく。なお、以下のような3年計画で解析を実施する。

年度	H22	H23	H24
遮蔽材の厚さと材料依存性の検討	貫通限界の検証		
貫通後の密度と速度の関係	貫通後の様相の検討		
遮蔽材と遮蔽材内側の部材との距離の影響	貫通後の密度と速度と大きさの関係を明確化 遮蔽材との距離による影響検証		



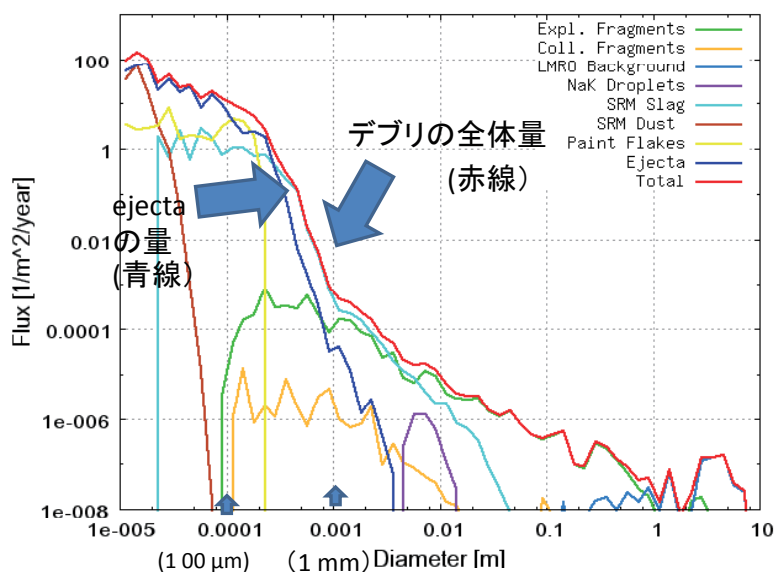
実施成果をJERG-2-144-HB001 スペースデブリ防護設計マニュアルへ反映

成果 (アウトプット)	付録Ⅲに解析結果を記載。	付録Ⅲに解析結果を記載。	7章各コンポーネント/サブシステムのリスクアセスメントに防護効果に対する関する考え方を記載。
-------------	--------------	--------------	--



## デブリの全体量に占めるEJECTAの割合

- EJECTAは大きさ数mm以下の主要要因 -



ESAの解析によるデブリの発生要因推定 (横軸: デブリの直径、縦軸: 衝突頻度)

## アウトライン

- 背景
- WG3の活動
- **スペースデブリ防護設計マニュアルの概要**
- 今後の課題

# 作成文書の体系とマニュアル構成

- 基準文書体系



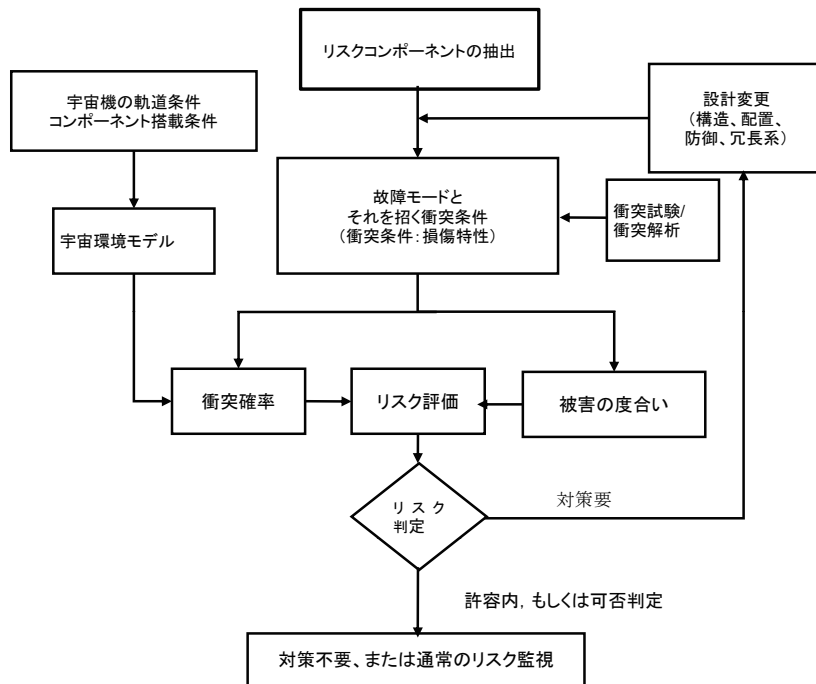
- マニュアル構成

- 一般要求事項
- MMOD耐衝突設計における留意事項
- リスクアセスメントの流れと概要
- 各コンポーネント/サブシステムのリスクアセスメント
- デブリ環境モデル
- 高速度衝突試験
- 高速度衝突解析(数値解析)
- 付録 I ~ VII

## 耐デブリ設計の留意事項

- デブリの(MMOD)環境の把握
  - 防護に関するアプローチは、総合的に考えることが重要。
  - MMODのフラックス、衝突速度、衝突角度分布を評価すること。
- 危険領域の特定
  - 円軌道を周回するほとんどの3軸制御宇宙機の場合、宇宙進行方向(RAM方向)に面している表面が、これに当たり、最もデブリとの衝突頻度が高く、衝突速度も速い。このため、クリティカル機器は、ラム面は避け、機器内部に配置したり、反ラム面、地球方向面、ラム面に対して他の機器の影部分に配置するなどの検討を行う。
- クリティカル機器の特定
  - FMECAを行うことにより、ミッションにクリティカルな機器や影響しやすい機器を特定する。

# リスクアセスメントの流れ



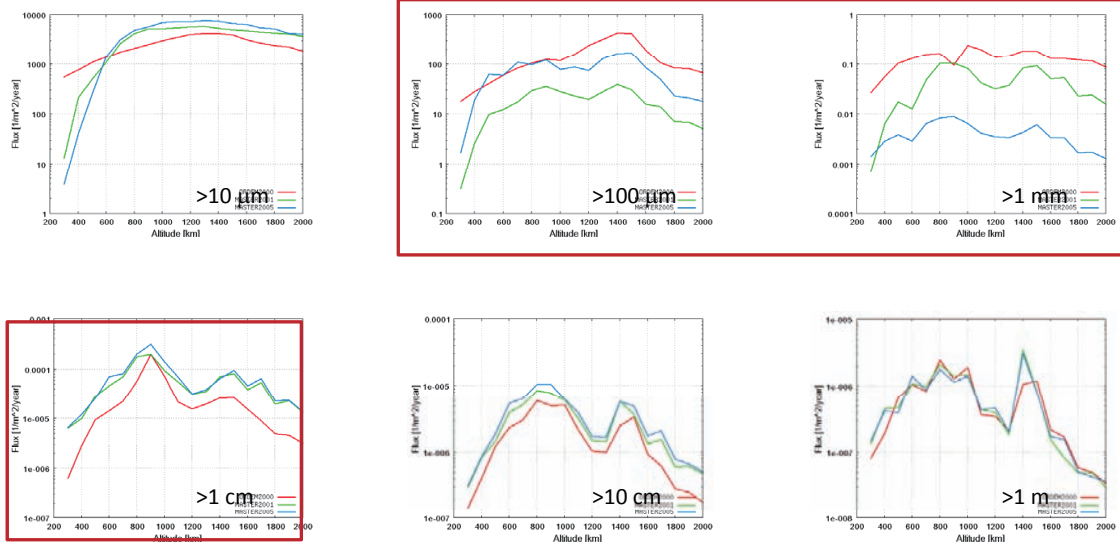
20

## アウトライン

- 背景
- WG3の活動
- マニュアルの概要
- **課題**
- まとめ

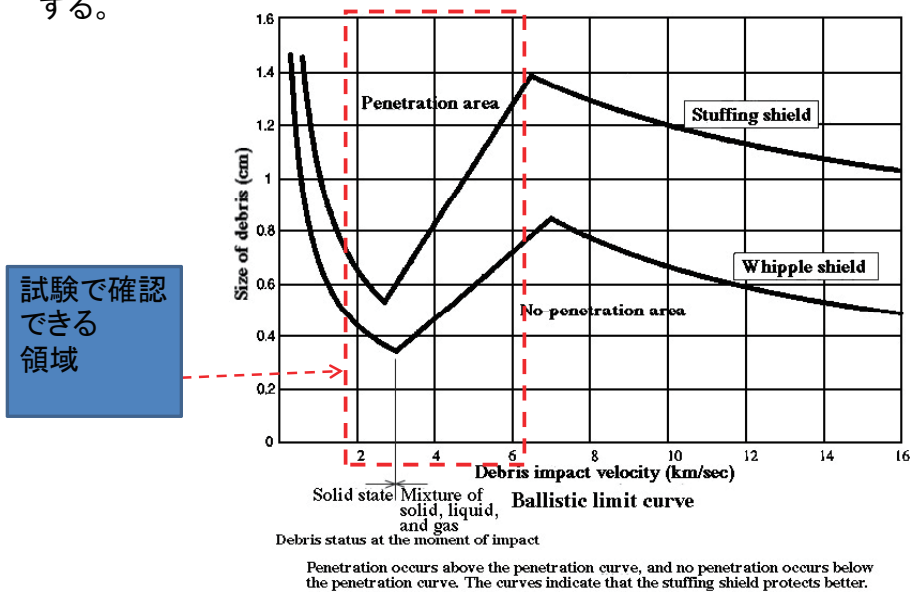
# 課題1：環境モデル

- 代表的なモデルとしては、MASTER、ODEM2000及びSPDAMが存在する。但し、衛星設計で問題となる $100\ \mu\text{m} \sim >1\text{cm}$ においてモデル間の差が大きい。設計に使用する場合、各モデルの最悪条件を用いることを推奨する。



# 課題2：損傷の数式化

衝突試験には、速度の制約が存在する。数値解析に速度の制約はないため、試験での整合性が確認されたならば、数値解析により弾道限界の曲線を得て数式化する。



## まとめ

- WG3の成果としてスペースデブリ防護設計マニュアルを完成した。
- 本マニュアルに基づきリスクの把握をすることが重要である。
- モデルの精度、被害確定精度が不十分であるため、当面は衛星システムと個別対応していく。