

デブリ防護設計標準(WG3)の 活動状況

宇宙環境G
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

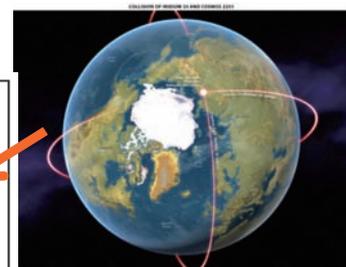
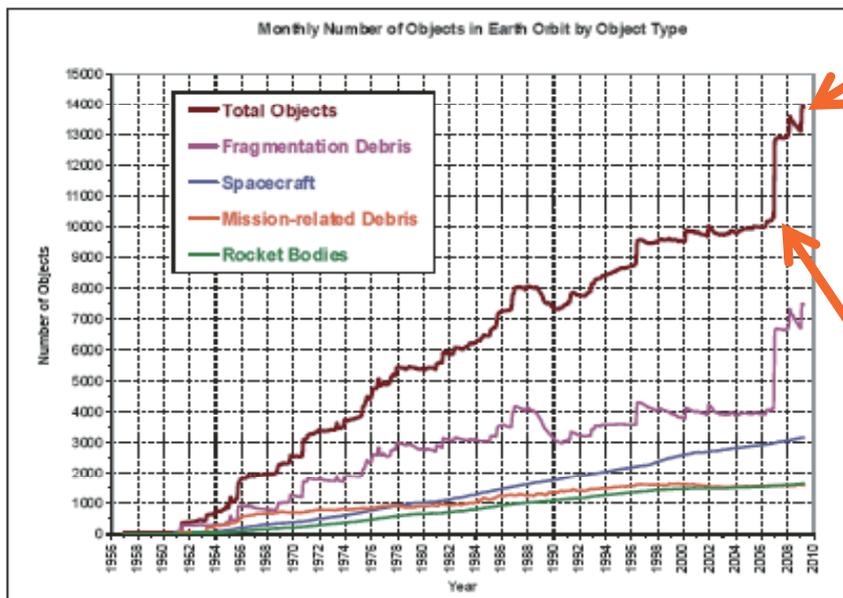
背景(1) 衝突試験の例(電力ハーネス)

- 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。

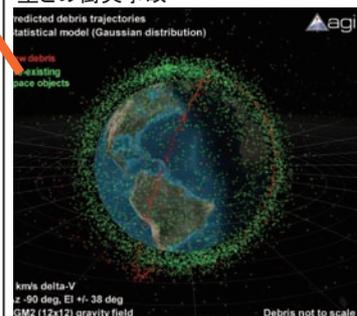


直径0.3mmステンレス、衝突速度4.01km/s

背景(2) マニュアル制定中に起きた事故

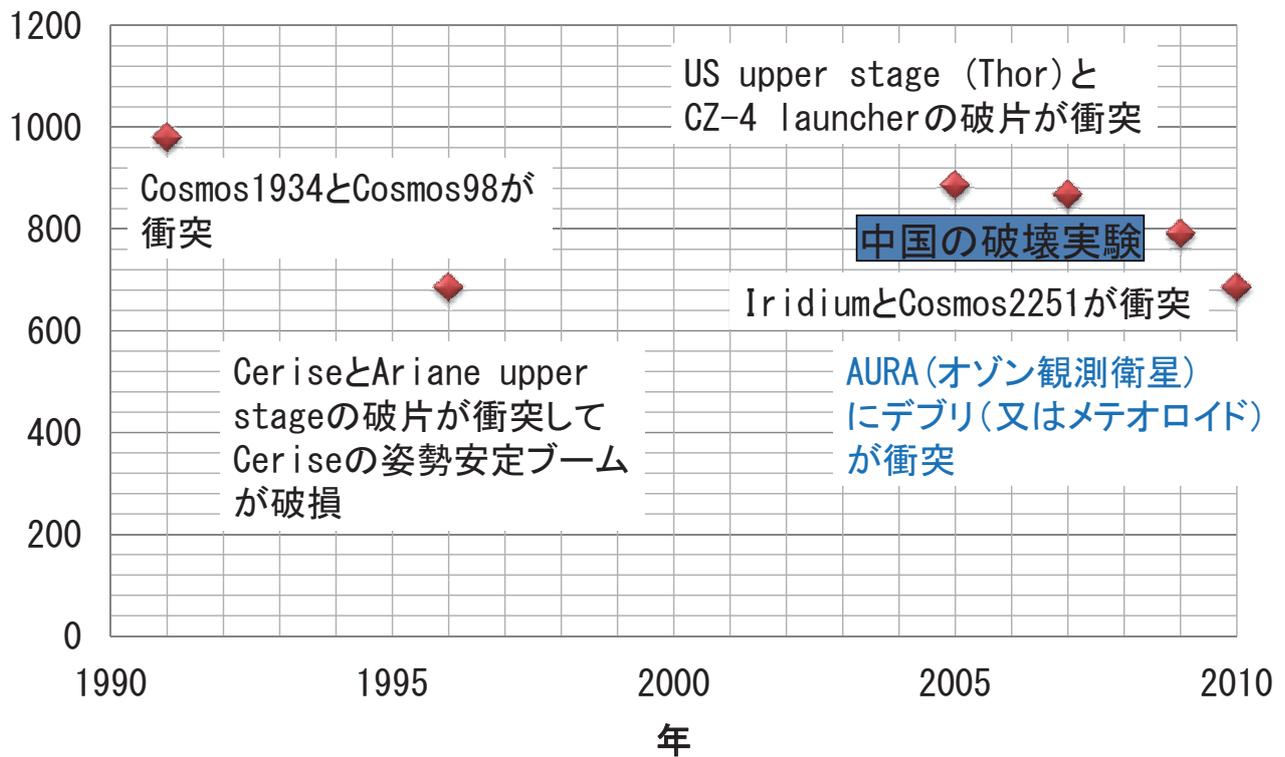


2009. 2. 10 ロシアの軍事通信衛星とイリジウム(Iridium)社の通信衛星との衝突事故



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。

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

WG3活動内容(1) 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きている。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)
 - 熱制御部(MLI)
 - 防護部(アルミプレート)

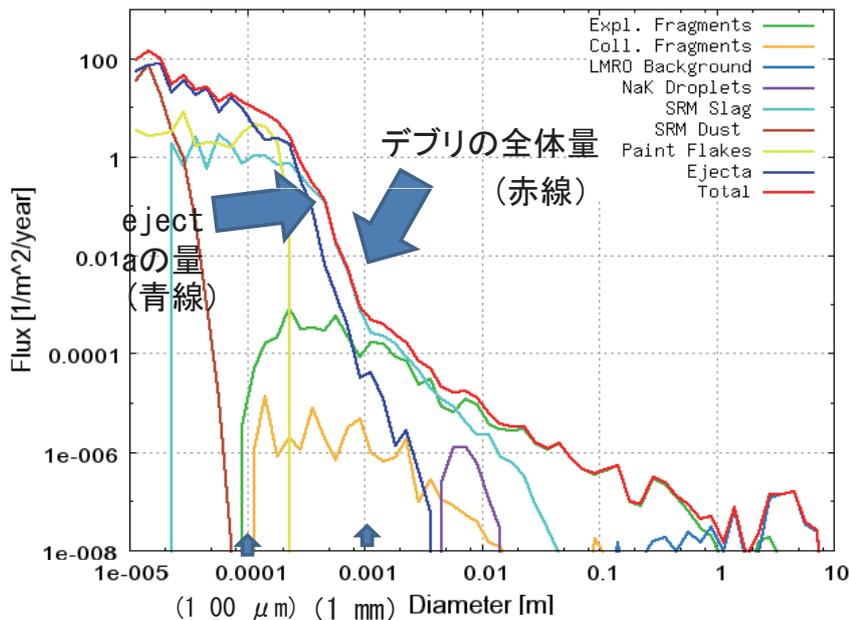
WG3活動内容(2) 数値解析

- 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 $\Phi 0.1\text{mm}$ では持続放電に到る可能性は低いことが分かった。

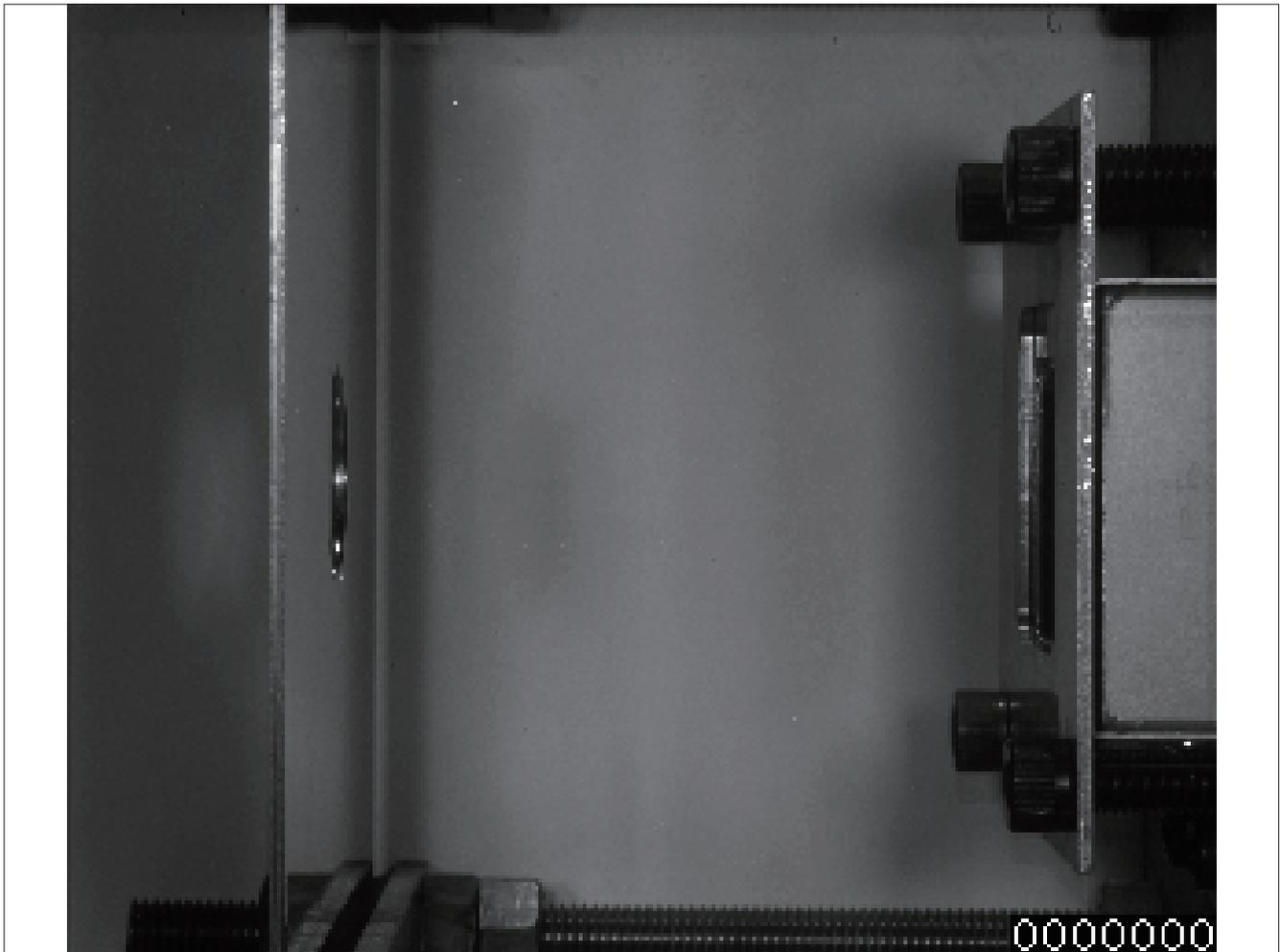
No.	解析内容	プロジェクトイル	衝突速度	初期運動エネルギー
1	三次元 電力ハーネスへの衝突解析	アルミナ $\Phi 0.1\text{mm}$	15km/s	0.21J(1本目露出)
2		石 $\Phi 0.1\text{mm}$	20km/s	0.27J(1本目露出)

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

第3階層

JERG-2-144 スペースデブリ防護設計標準

第4階層

JERG-2-144-HB スペースデブリ防護設計マニュアル

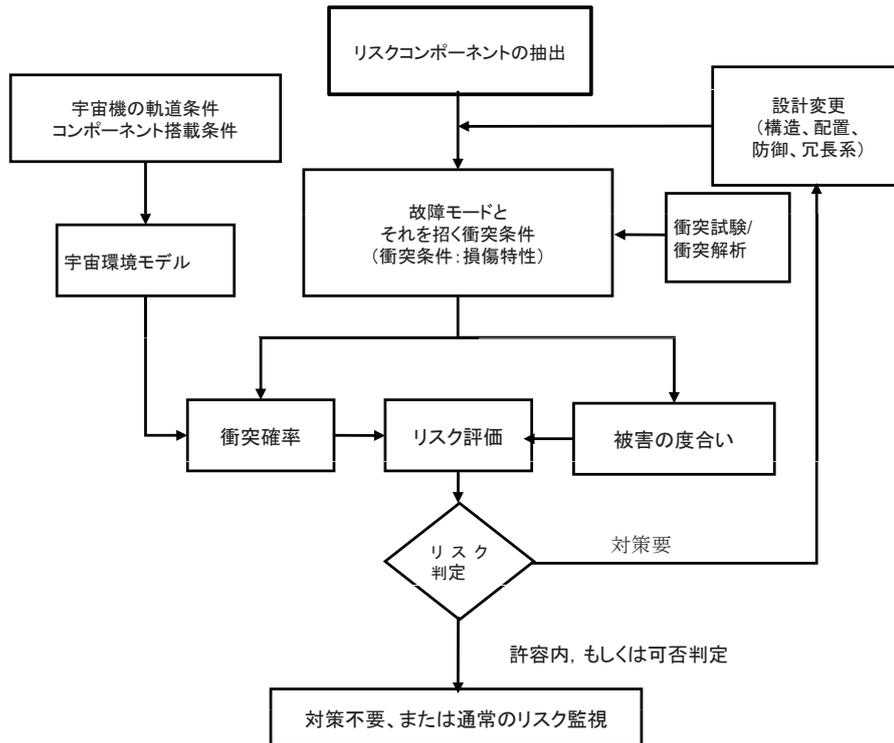
- マニュアル構成

- 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



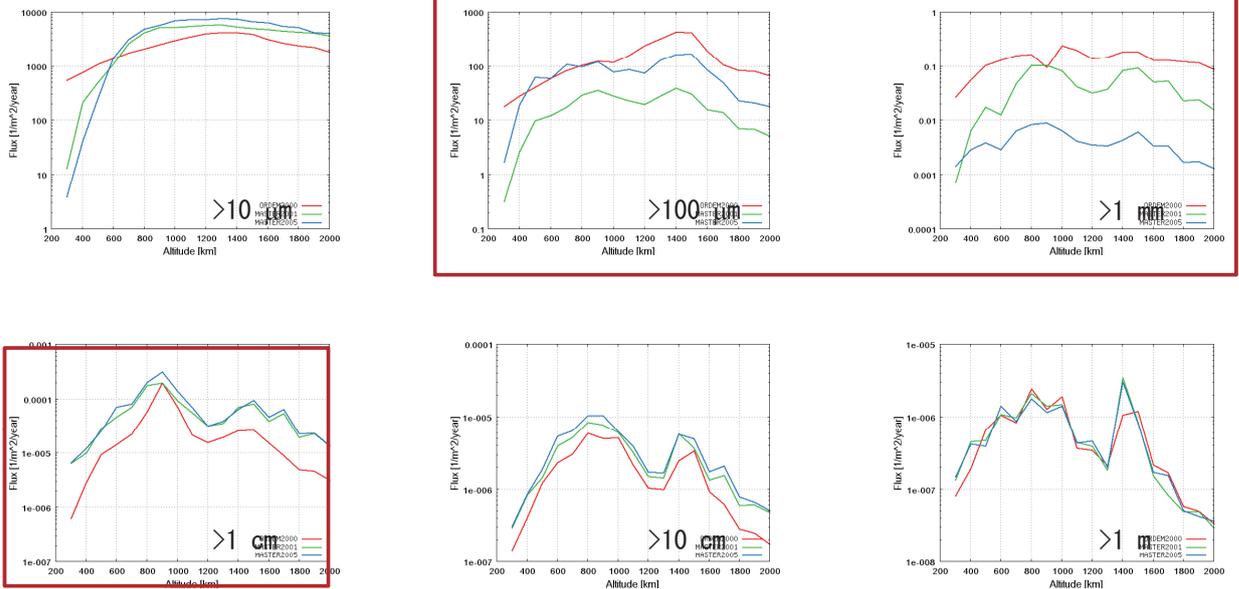
15

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

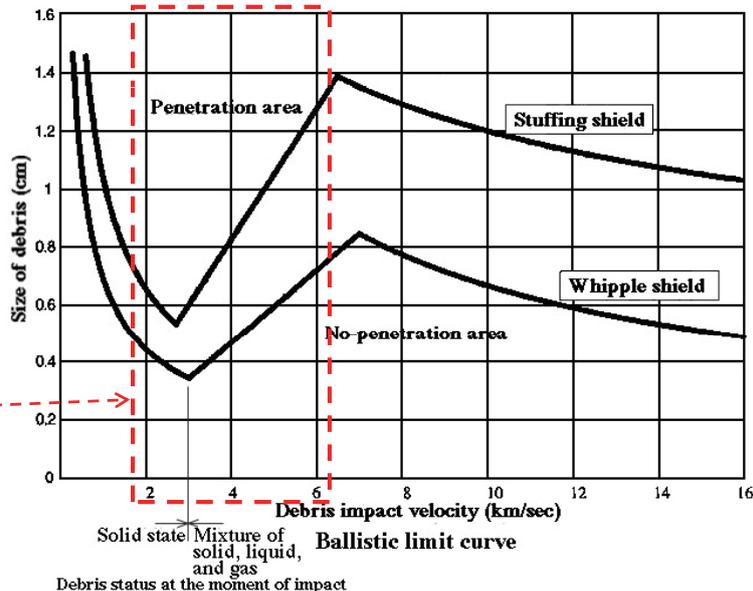
- 代表的なモデルとしては、MASTER、ODEM2000及びSPDAMが存在する。但し、衛星設計で問題となる100 μm～>1cmにおいてモデル間の差が大きい。設計に使用する場合、各モデルの最悪条件を用いることを推奨する。



課題2：損傷の数式化

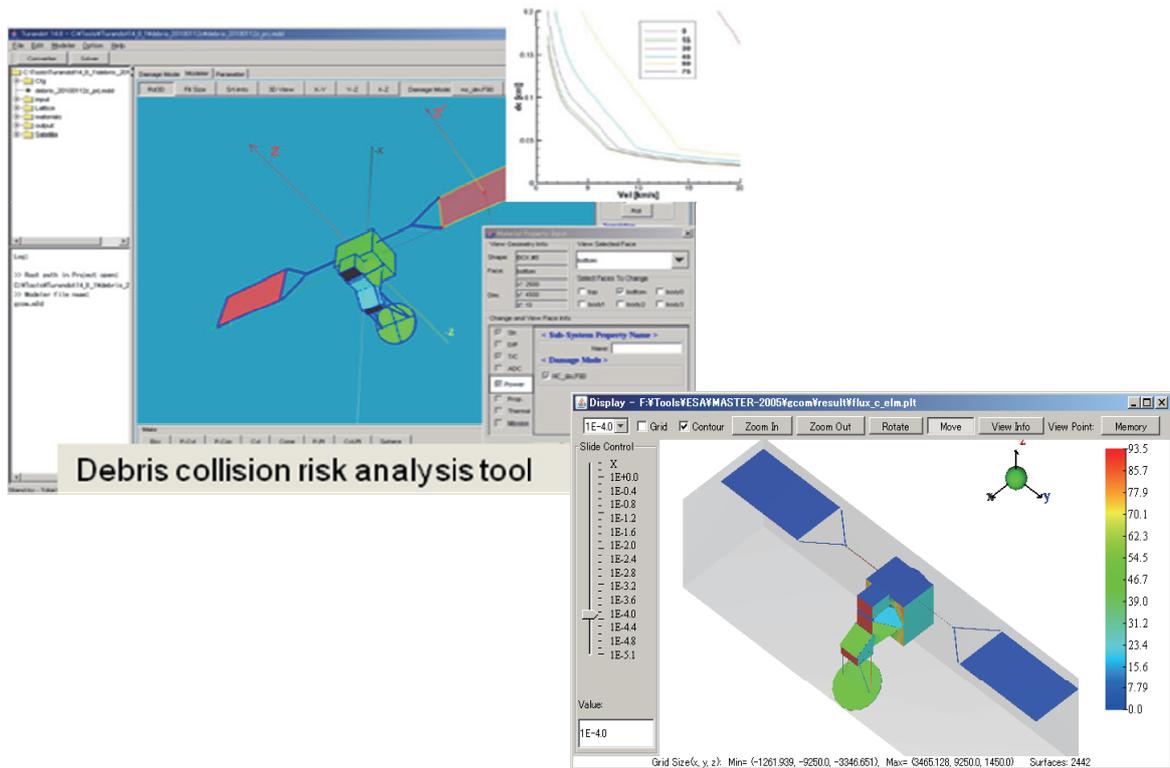
衝突試験には、速度の制約が存在する。数値解析に速度の制約はないため、試験での整合性が確認されたならば、数値解析により弾道限界の曲線を得て数式化する。

試験で確認
できる
領域



Penetration occurs above the penetration curve, and no penetration occurs below the penetration curve. The curves indicate that the stuffing shield protects better.

課題3： 評価ツールの充実



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。