

ロケット・宇宙機モデリングラボラトリーシンポジウム

平成25年9月20日(金) 武田先端知ビル

・有人安全性評価技術の研究 ・接触摩擦モデリングの研究

東京大学 社会連携講座特任教授

酒井信介



有人安全性グループ							
月日	研究会名	参加者数					
		東大	他大学	JAXA	企業	学生	合計
2013/4/16(火)	Smith先生講演会	5	1	1	0	12	19
2013/6/17(月)	第1回研究会(キックオフミーティング)	6	7	4	1	7	25
2013/8/1(木)	第2回研究会	4	1	5	1	8	19

推進薬熱流動現象グループ							
月日	研究会名	参加者数					
		東大	他大学	JAXA	企業	学生	合計
2013/4/9(火)	第1回研究会(キックオフミーティング)	5	2	5	8	3	23
2013/6/18(火)	第2回研究会	5	7	10	10	3	35

反応性熱流動現象グループ							
月日	研究会名	参加者数					
		東大	他大学	JAXA	企業	学生	合計
2013/5/31(金)	第1回研究会(キックオフミーティング)	4	6	12	13	0	35
2013/7/25(木)	第2回研究会	4	3	9	8	1	25

接触・摩擦現象グループ							
月日	研究会名	参加者数					
		東大	他大学	JAXA	企業	学生	合計
2013/7/9(火)	第1回研究会(キックオフミーティング)	6	1	10	4	2	23





有人安全性評価技術の研究

【研究の目的】

我が国独自の有人ロケットシステムの構築のために必要となる安全技術として、安全要求、安全性評価手法、安全性実現手段の観点から、検討を進める。

【研究の出口】

- 安全要求 : 我が国独自の有人ロケット安全要求(1次案)の明確化
- 安全性評価手法 : クリティカルハザードに対する定量的リスク評価技術、及び安全要求/システム仕様へフィードバックを行う評価プロセスの強化
- 安全性実現手段 : 確実に緊急脱出装置を発動させる為の検知すべき物理量の識別と異常検知・アボート判定ロジック(案)の設定

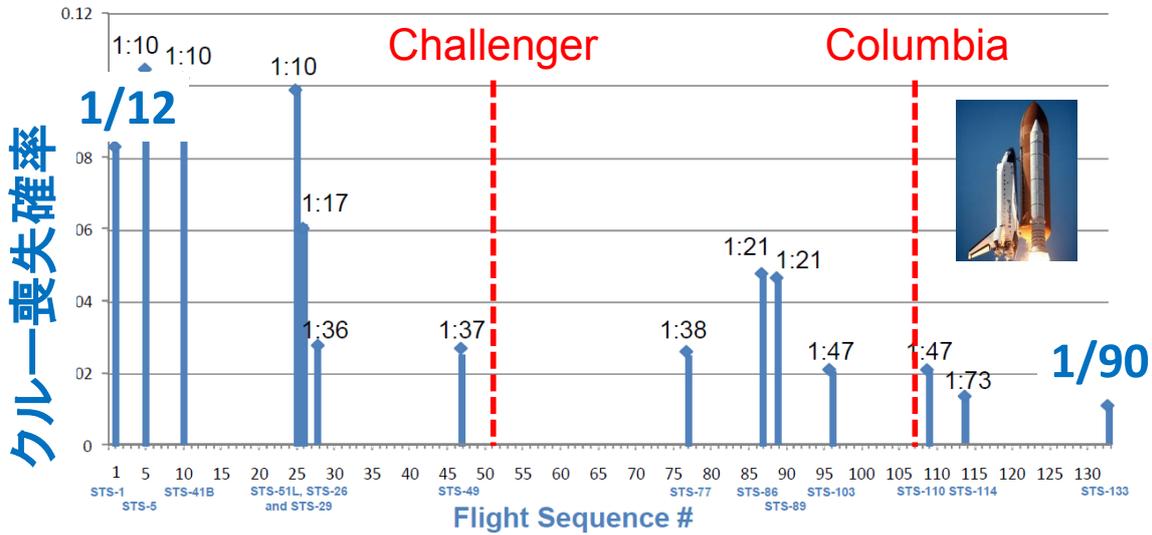


高い安全性の確保

安全性の定量的表現



確率論的リスク評価



Teri L Hamlin et al. "Shuttle Risk Progression: Use of the Shuttle Probabilistic Risk Assessment (PRA) to Show Reliability Growth", 2011.



安全性実現手段

無人ロケット
異常時には、以下により安全確保
地上安全: 指令破壊

有人ロケット
異常時には、以下により安全確保
クルー安全: 故障許容、救命システム(LAS, ゴンドラ)
地上安全: 指令破壊

故障許容(冗長化)

救命システム: LAS

救命システム: ゴンドラ

クルー回収



LASによる救命成功
Pad Fire (Soyuz T-10-1, 1983)



全クルー死亡
SRB Explosion (STS, 1986)

課題

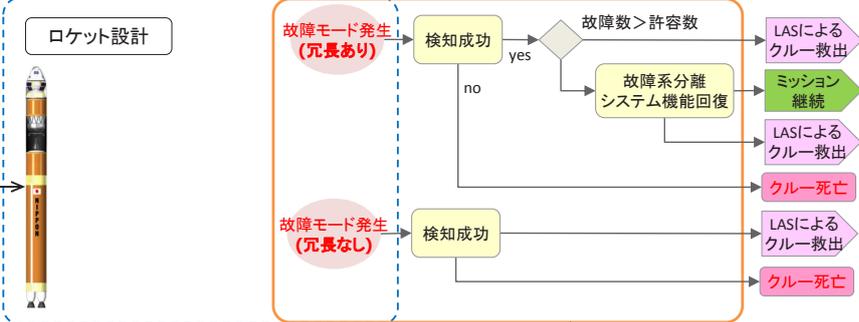
1. 安全性の透明性→定量的表現→クルー喪失確率算出のための定量的リスク評価 (NASAのAres計画など)
2. 不確定性の排除による過剰安全性の排除 →シミュレーション評価の高精度化 (Apollo計画では過剰な安全要求-例:爆発威力-)



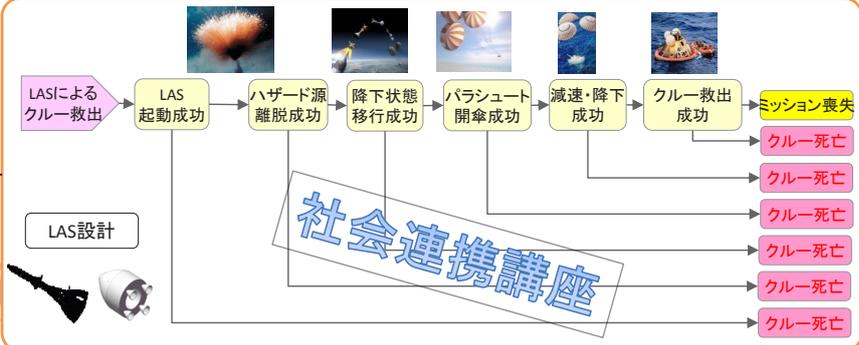
クルー喪失確率評価シナリオ

各研究テーマの関係性を以下に示す。

高信頼性ロケット 安全性実現手段(冗長化/故障許容)

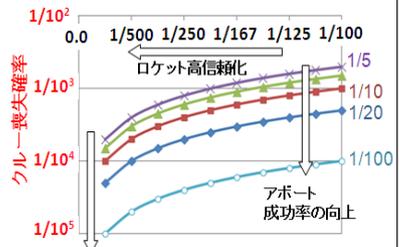


緊急離脱システム(アボート)



[凡例]
 — 研究スコープ
 - - - - - その他

ロケット信頼度



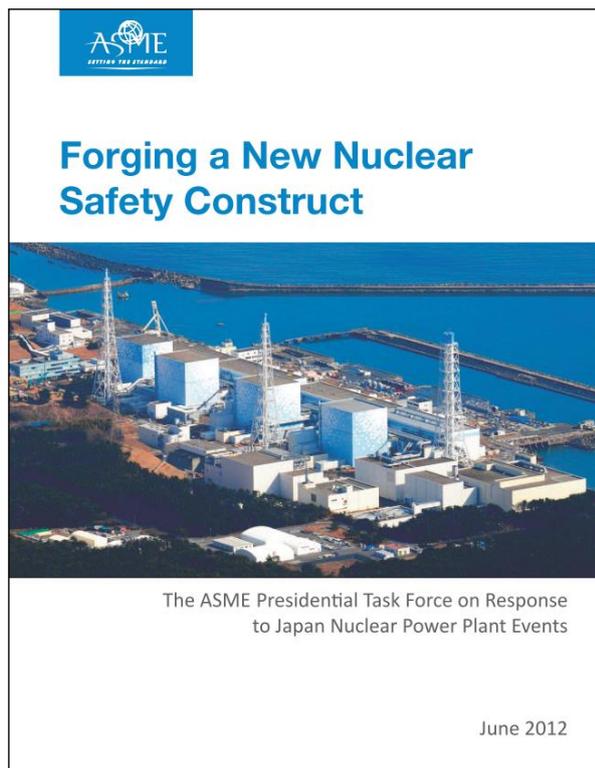
アボート成功確率

課題 推進にあたってのポイント

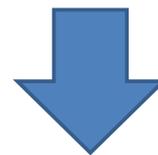
- 決定論と確率論の長短の理解
- 統計リテラシーによるリスク評価の推進



課題1 -米国文化から学ぶこと-



Lessons learnt
from Fukushima
Accident



All Risk Approach

決定論と確率論の長短の理解

考慮すべき事項	決定論的アプローチ	確率論的アプローチ
事象解析の範囲	<ul style="list-style-type: none"> 事前に定義された事象 設計規準事象は限界事象内と考える 	<ul style="list-style-type: none"> 事前に規定した規則に拘束されることはない
含まれる失敗シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> 最悪の単一事象を想定 	<ul style="list-style-type: none"> 確率論的に考え得る事故の数に制限はかない
共通要因故障	<ul style="list-style-type: none"> 特別な要求事項を課すことにより防止できると仮定 	<ul style="list-style-type: none"> 経験に基づき考え得る全ての機器を確率的に検討対象とする
人為的活動	<ul style="list-style-type: none"> 手順化しておけば有効に機能すると仮定 	<ul style="list-style-type: none"> 人為的活動につきプラス面、マイナス面の両方について確率論的に考慮
不確実性への対応	<ul style="list-style-type: none"> 限界状態の仮定に依存すると仮定 	<ul style="list-style-type: none"> 実態に近い平均を評価した上で、その周りの不確実性を確率的に評価



毎日新聞 2010年4月27日

【第3種郵便物認可】

日本原子力研究開発機構(原子力機構)は27日、高速増殖炉「もんじゅ」(福井県敦賀市、運転停止中)で、原子炉補助建物地下1階にある2次系ナトリウム漏えい検出器が故障し、部品を交換したと発表した。ナトリウム漏れや環境への影響はないが、故障原因については、調査中である。

原子力機構によると、もんじゅは5月上旬の運転再開がずれ込む可能性がある。原子力機構は、もんじゅの運転再開がずれ込む可能性がある。原子力機構は、もんじゅの運転再開がずれ込む可能性がある。

もんじゅは、5月上旬の運転再開がずれ込む可能性がある。原子力機構は、もんじゅの運転再開がずれ込む可能性がある。

毎日新聞 2010

もんじゅ 検出器故障

5月再開ずれ込みも

日本原子力研究開発機構(原子力機構)は27日、高速増殖炉「もんじゅ」(福井県敦賀市、運転停止中)で、原子炉補助建物地下1階にある2次系ナトリウム漏えい検出器が故障し、部品を交換したと発表した。ナトリウム漏れや環境への影響はないが、故障原因については、調査中である。

原子力機構によると、もんじゅは5月上旬の運転再開がずれ込む可能性がある。原子力機構は、もんじゅの運転再開がずれ込む可能性がある。



一個の機器の故障＝システムの故障
としてしまうと何が起きるのか



直列系の信頼度

$$R_S = \prod_{i=1}^n R_i$$

$$F_S = 1 - R_S = 1 - \prod_{i=1}^n R_i$$

仮に $R_i=0.999, n=614$ のとき

$$R_S = 0.999^{614} = 0.541$$

$$F_S = 1 - 0.999^{614} = 0.459$$

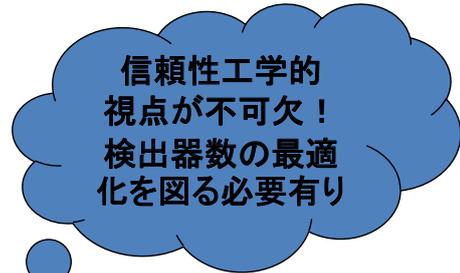
個々の機器の信頼度が0.999であったとしても、システム信頼度は0.541まで低下!



安定した継続運転は困難とい
うことになるのではないかと?



検出器を増やすと漏洩検知の可能性は高
くなるものの、システム信頼度は著しく低下

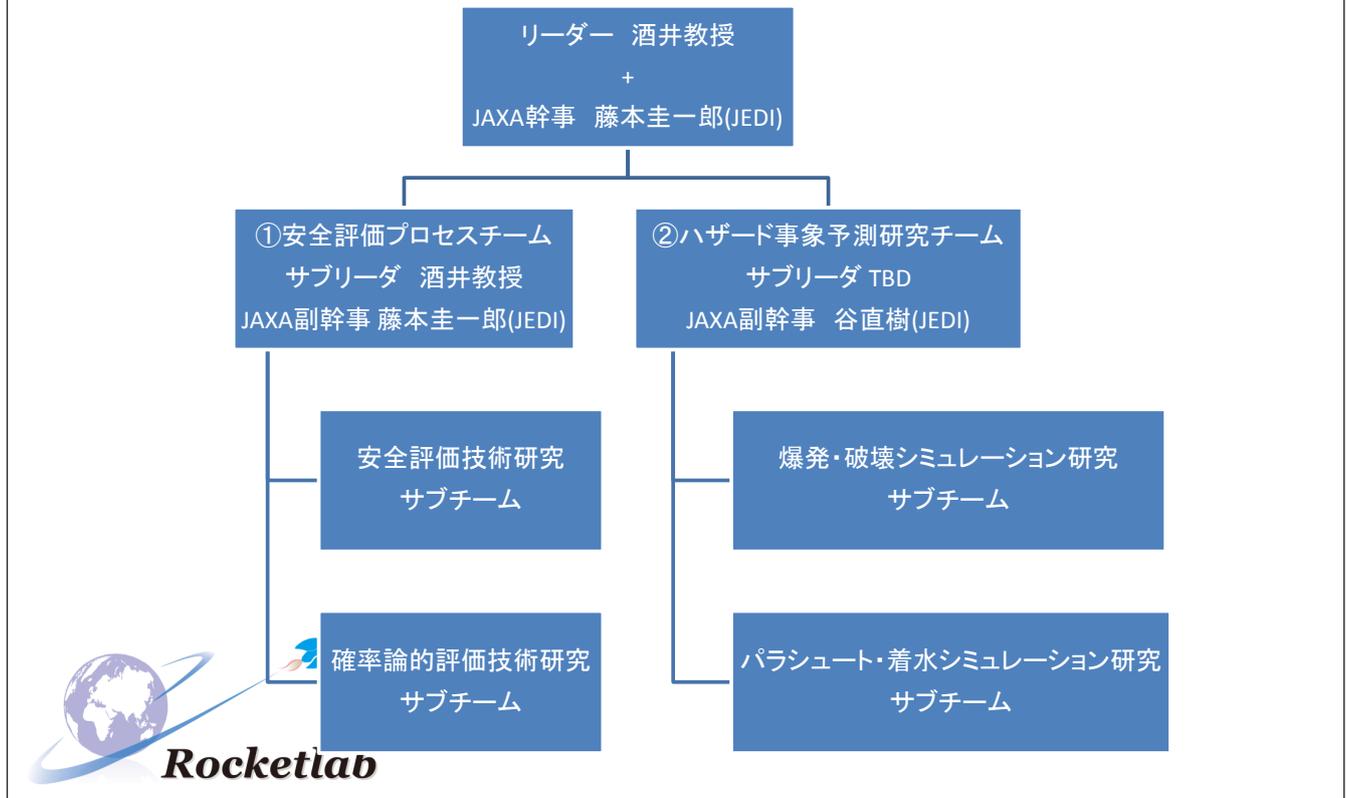


リスク評価導入上の手順

- 日本の風土の特殊性を考慮した上で、理解の得られる導入手順を考える
- 日常的なリスクマネジメントの導入
- エキスパートパネルの組織構成
- 損傷確率データ整備、規格・基準・ガイドライン整備、人材育成
- 統計リテラシーによる透明性の確保



社会連携講座研究体制



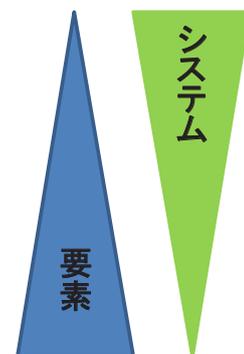
接触・摩擦モデリングの研究

【研究の目的】

宇宙機器の所定の性能実現にあたって、課題となる接触・摩擦にかかわる現象のモデリングを行うとともに解析手法を検討する。

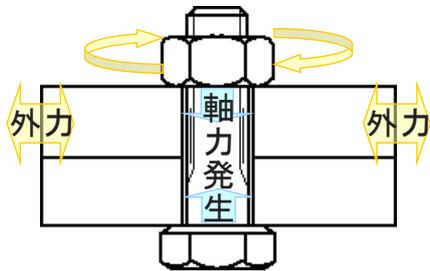
【想定される解析課題】

- 柔軟構造物、展開構造物の高精度予測
- 擾乱解析
- 保持解析(分離)衝撃力の予測
- 機構要素の解析
 - (1) 寿命解析
 - (2) 加速寿命試験法
 - (3) ロストルクの予測、性能計算

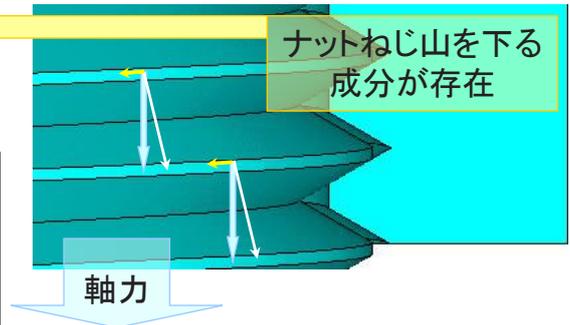


ボルト・ナット締結体はゆるむ！

ボルト締付け時の荷重成分



締結体に外力 (軸直角方向) が作用し、つりあいが崩れると急速にゆるむ。



ねじ締結体は様々な分野で用いられているが、メンテナンスの容易さの反面、**ゆるみ**の問題を抱えている。

ゆるみ防止のために様々な**ゆるみ止め部品**が使用されている。

問題点

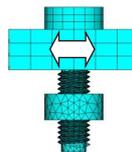
ゆるみ止め性能についての評価はあまり行われていない。



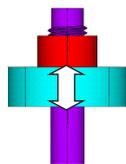
ボルト締結体の研究

メカニズムの解明

- ・軸直角方向外力
／完全座面すべり
- ・軸直角方向外力
／微小座面すべり



- ・軸方向外力

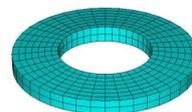
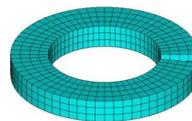
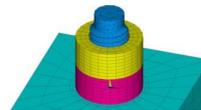


- ・共同研究
(JR東日本、東京ガス、サンデン、荏原製作所、日本発条、コマツ、スズキ)



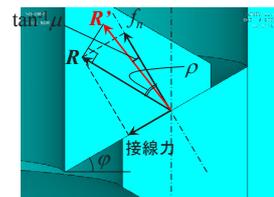
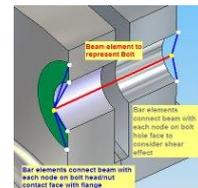
ゆるみ止め部品の評価

- ・ダブルナット
- ・平座金
- ・フランジナット
- ・ピストンナット (建機メーカー)
- ・ばね座金
- ・皿ばね座金



締結体の力学モデル

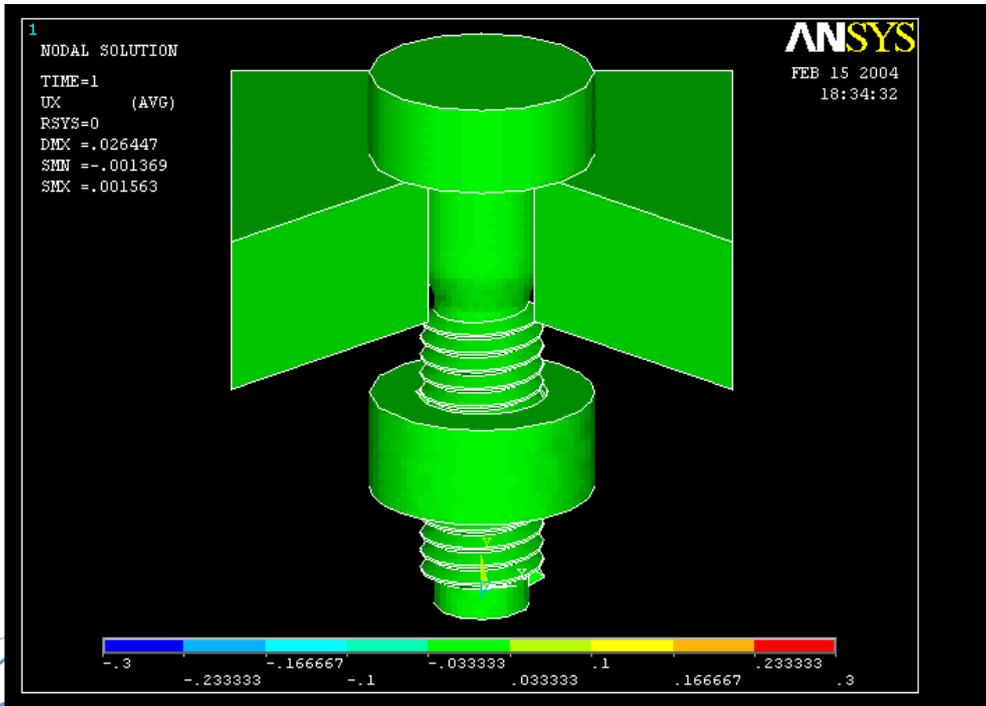
- ・ビーム要素を用いた簡易モデル化調査
(日本機械学会研究分科会ねじ締結WG)



- ・ボルト締結体挙動の解析的モデルの開発
→簡易モデル化への応用

ボルトゆるみ回転の様子

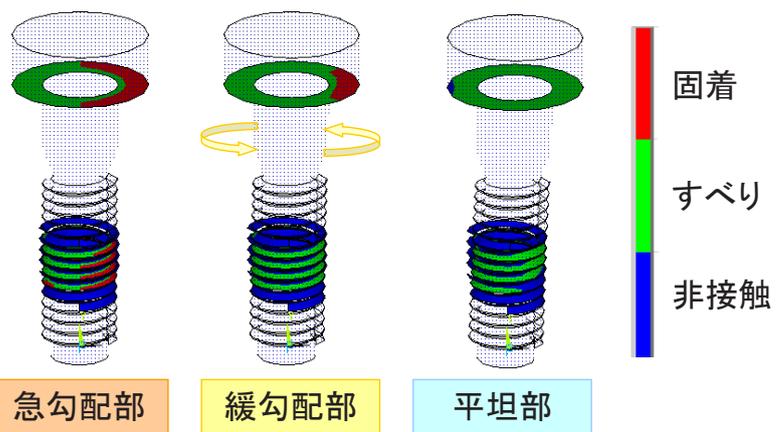
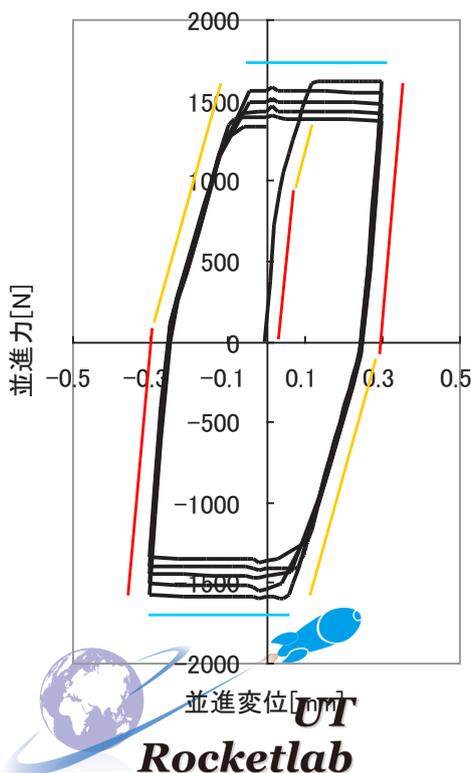
並進方向変位コンター図(変位は5倍に拡大)



周期が進むにつれて、ボルト頭の手前と奥とで並進変位に差が生じる。

可動板に作用する並進力と並進変位の関係

ねじ面、座面における接触状態



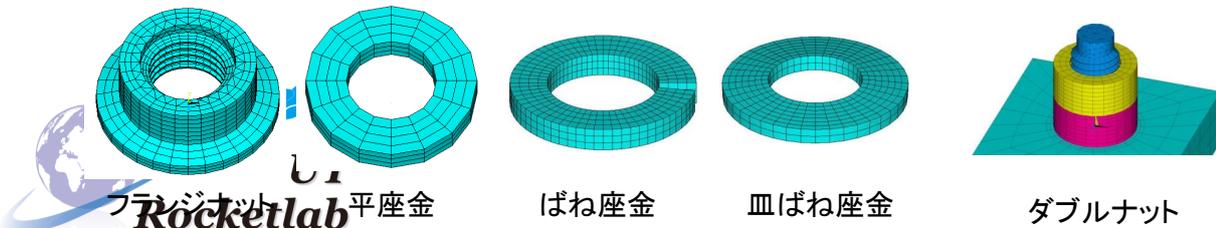
- 急勾配部** ボルト座面、ねじ面の一部が固着。並進力によりボルトに曲げが発生。
- 緩勾配部** ねじ面のすべりが開始。ボルトにねじれが発生。
- 平坦部** ボルト座面に並進方向のすべりが発生。



ゆるみ止め部品の性能評価

	座金	フランジナット	ダブルナット	ばね座金	ナイロンナット	細目	ピッチ数増加	皿ばね座金	塑性締め
座面すべりに対する効果	×	△	◎	△	△	○	△	△	○
微小座面すべりに対する効果	×	○	◎	△	○	○	○	△	○
備考		等価摩擦直径が少し大きい	軸力低下により座面すべりが生じる(全くゆるまない)	負の効果、安易に採用すべきでない。若干の軸力補償はある	高温になると効果なし	ゆるみの速度が遅くなる効果。進行を止めることはできない。	ピッチ数増加による剛性増加の効果	軸力補償の効果はあるが、ばね力によりゆるみ回転は促進	軸力のバラつき低減、ゆるみの観点からデメリットなし。

<http://www.fml.t.u-tokyo.ac.jp/~izumi/Bolt/> 参照



32/48

研究課題候補:リアクションホイール

- 円盤の回転速度や回転方向の変更で、人工衛星の姿勢を維持・変化させる装置
- 宇宙機器における最高度の潤滑
- 真空、微小重力下で数千rpmでの作動要求
- 低摩擦トルクを実現するために極微量の合成炭化水素油
- 長寿命化のため、コットンベースフェノール保持器に油含浸→オイルリザーバ
- 保持器不安定現象(リテーナインスタビリティ)の防止が必須

