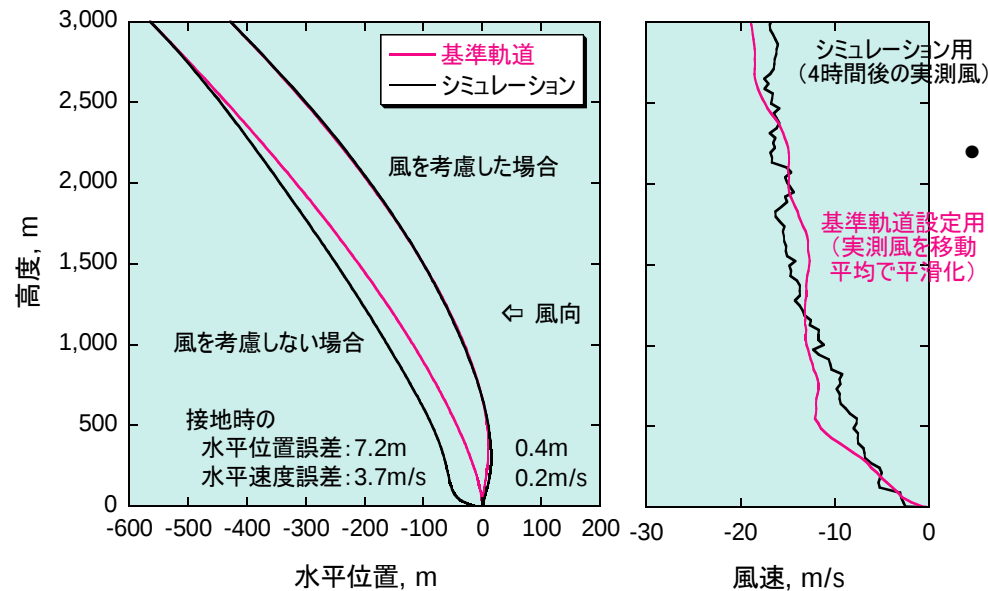


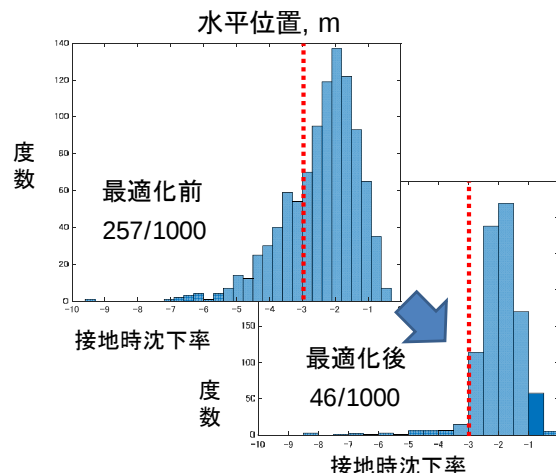
誘導制御技術(1/2)

■ 独自の誘導制御技術により、着陸のロバスト性を高める

1. 風データを用いた基準軌道設定と統計的最適化技術



- ロケット打上げでは打上数時間前に計測した高層風データが用いられているが、この風データで基準軌道を設定することにより、風に対する着陸精度のロバスト性向上の見込みがあることを確認



- モンテカルロ評価を活用した誘導ロジックの統計的最適化を行う

→ 接地時沈下率を3m/s以内に制約することを目標として最適化。最適化前は、制約を満たさない確率が257/1000であったものが、最適化後には46/1000に減少し、機体を喪失する確率を最小化できた

CALLISTO要素技術の研究開発状況(2/4)



誘導制御技術(2/2)

(前ページからのつづき)

2. 実時間経路予測法による帰還誘導

- D-SENDで実証した未来の飛行経路を搭載計算機上で逐次予測し誘導パラメタを決定する手法を活用し、目標点までのピンポイント誘導を実現する。

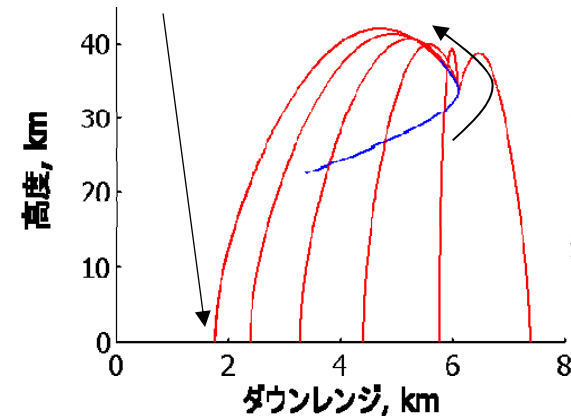
3. 低層風予測技術

- DREAMSの成果である低層風予測技術は、ドップラーライダー等の観測データから風擾乱発生を予測するもので、羽田や成田において強風時の進入判断に利用されている。
- 上記技術により10分後の風擾乱発生を精度よく予測し、さらに着陸の安全性・信頼性を高める。



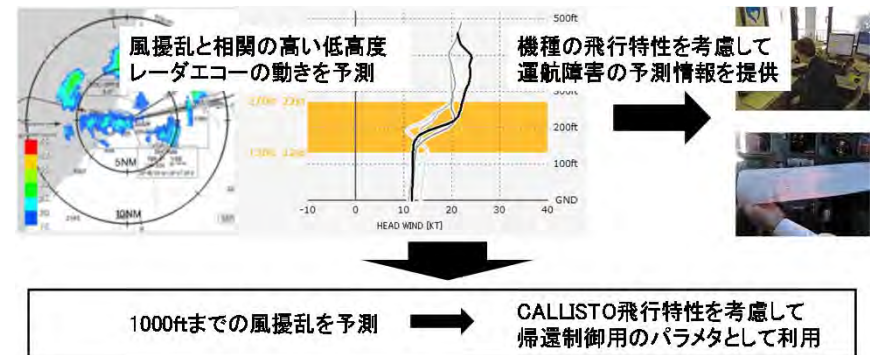
将来的には、高い定時打上げ確率を実現し、かつ、射場の安全を確保した着陸を可能にする。

目標点に一致するようにエンジンカットオフのタイミング等を決定



推力反転中の各時刻で燃焼停止した場合の予測経路(赤線)

帰還誘導の検討例

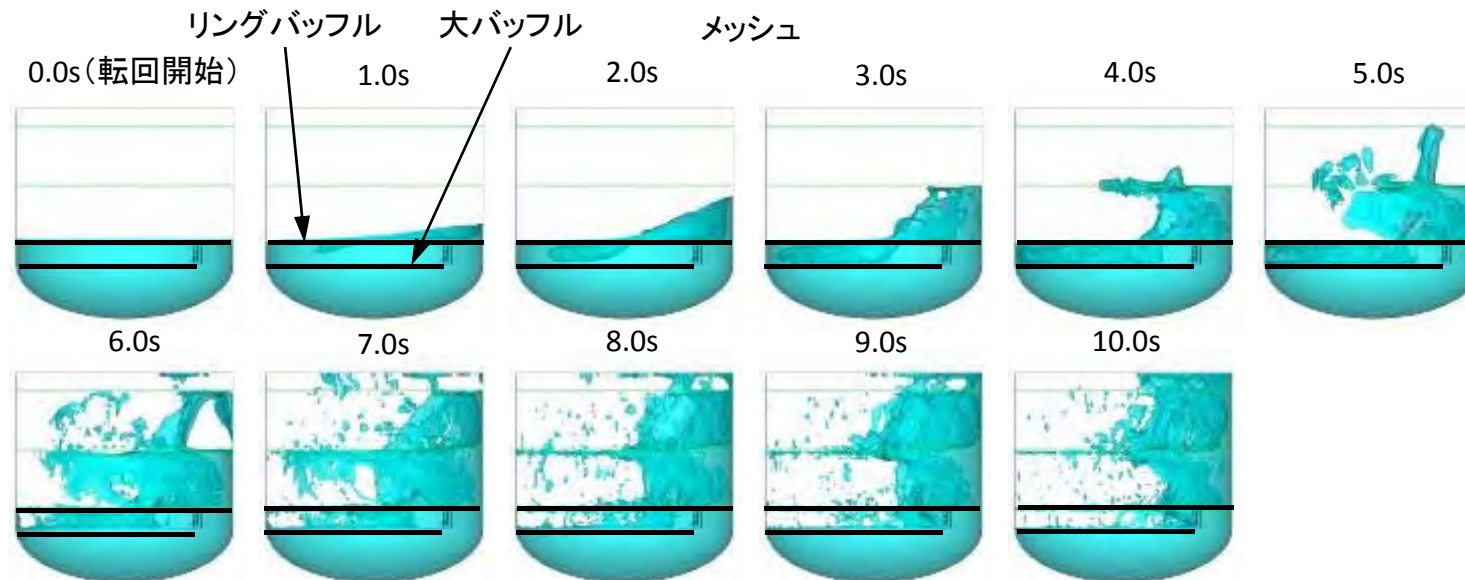


低層風予測技術の適用イメージ

D-SEND: JAXA航空技術部門が実施した低ソニッククboom設計概念実証プロジェクト
DREAMS: JAXA航空技術部門が実施した次世代運航システム研究プロジェクト

推進薬マネジメント技術

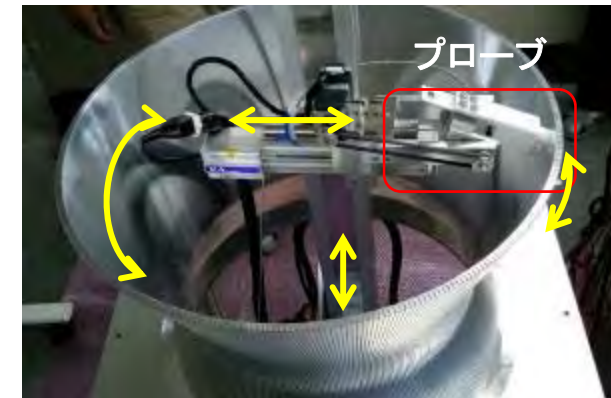
- 数値解析技術を用いて推進薬管理デバイスと呼ばれるタンク内の構造を設計し、大姿勢変更時や低重力下推進薬挙動を抑制する。
- CALLISTOの飛行データにより数値解析技術を検証し、さらなる精度向上を図るとともに、改良した推進薬管理デバイスにより、推進薬保持のためのガスジェット装置の削除などを目指す。



CALLISTOの大姿勢変更時の推進薬挙動のシミュレーション
結果(一貫してタンク底部の液が保持されている)

ヘルスマネジメント技術

- CALLISTOの運用において以下を試行し、再整備費用の削減に向けて、データを蓄積することを検討中
- エンジンを機体に取り付けたままの状態で行後に非破壊検査を実施し、健全性を確認する。
- 飛行中に取得したデータに基づいてエンジンシステムやジンバル電動アクチュエータ等の健全性を確認する。
- ヘルスマネジメント技術等に基づく再使用化でのコストベネフィット評価検討を進める。

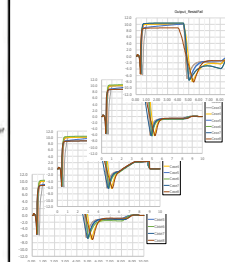
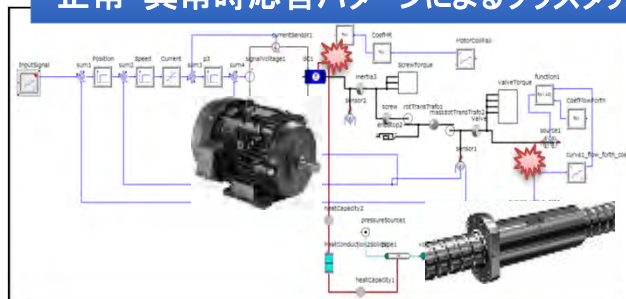


陽電子消滅法の
プローブ(長さ120mm)

エンジン燃焼器の内面をスキャンする非破壊検査装置の試作品

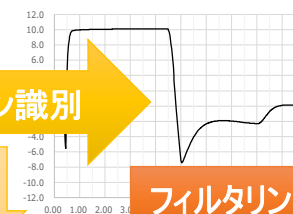
対象システムのモデルとその応答(正常・異常)

正常・異常時応答パターンによるクラスタリング手法(モデルベース)

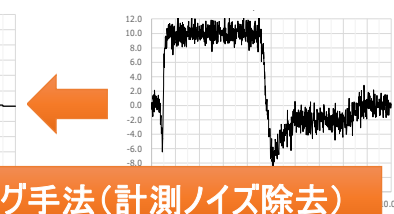


パターン識別

故障識別・予知



フィルタリング手法(計測ノイズ除去)



電動アクチュエータの故障診断・予知の検討例

- 当面はCALLISTOの飛行実験を通して、要素技術の研究開発を進める。
- 第1段再使用化の運用コスト低減評価については、CALLISTOを通して蓄積した運用データに加えて、大型エンジンの長寿命化等、今後の要素研究の状況も踏まえて総合的な評価を実施し、再使用ロケットの取り組み方針を明確にする。

(参考)世界の将来宇宙輸送システムに関する動向(米国1/2)



民間企業および軍が、再使用型ロケット(再使用1段)や再使用型往還機(再使用上段)の開発や運用を進めている。

- Falcon9/Heavy(運用中)
 - SpaceX社は、2015年12月以来、1段を着陸させることに多数回成功し、最近は安定感が増している。
 - Falcon9の最終バージョン(Block5)では、ドローン船に着陸させる場合でも、GTO5.5トンの打上能力を持つ。
 - これまで、10数回中古の1段による打上げを行っているが、大幅な値下げは行っていない模様。ただし、将来的に再使用による価格削減の可能性があるとの情報を発信している。
- New Glenn(開発中)
 - Blue Origin社が開発している1段再使用の大型ロケット。2020年に初飛行を計画
 - 2段式と3段式があるが、2段式ではGTO13トンの打上能力
 - 1段の推進薬はメタン/液体酸素、2/3段は液体水素/酸素
- Vulcan(開発中)
 - ULA社がAtlas5やDelta4の後継機として開発している大型ロケット
 - 1段エンジンは、Blue Origin社のBE-4(メタン)、または、Aerojet Rocketdyne社のAR-1(ケロシン)を比較検討中
 - 1段のエンジン部を空中回収・再使用する技術を研究中



Falcon Heavyのブースタの着陸



New Glennのイメージ



Vulcanのイメージ

(参考)世界の将来宇宙輸送システムに関する動向(米国2/2)



(前ページからの続き)

- Experimental Spaceplane(開発中)
 - DARPA(アメリカ国防高等研究計画局)が2013年に立ち上げた有翼型の再使用1段の実験計画
 - 2020年までに以下の技術目標を達成する計画。10日間で10回の飛行、ペイロードなしでマッハ5~10まで加速、900~3000lbのペイロードを低軌道に打上げ
 - 2017年5月に担当企業としてBoing社を選定。スペースシャトルエンジンの残存部品を使ったAR-22を使用
- Dream Chaser(開発中)
 - Sierra Nevada社が開発を進めている無人往還機。15回以上再使用可能
 - 2019年からISSへの商業補給サービスに用いる計画
 - 当初、有人機として計画されたが、NASAの商業乗員輸送機開発から外れたため、無人機として開発が進められている。
 - 打上げにはAtlas5が用いられる予定だが、他のロケットでも打上げ可能。フィンを折りたたみフェアリング内に搭載される。
- X-37B(運用中)
 - Boeing社が開発し米空軍が運用中の無人再使用型往還機
 - 2010年5月の運用開始以来、長期間(1年以上)の軌道上ミッションを4回行い、地上に帰還
 - 4回の打上げには、Atlas5が用いられたが、5回目は、Falcon9が用いられ、2017年9月からミッションを継続中



©Boeing

Experimental Spaceplane
のイメージ



©Sierra Nevada Corporation

Dream Chaserの試験機



©USAF

4回目のミッションから帰
還したX-37B

(参考)世界の将来宇宙輸送システムに関する動向(欧州1/2)



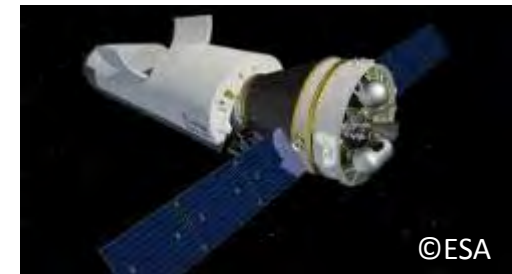
フランス・ドイツは再使用型ロケット(再使用1段)に向けた技術開発、イタリアは再使用型往還機(再使用上段)の開発を進めている。長期的な視点での技術研究も継続

- Prometheus(プロメテウス)エンジン(開発中)
 - ESAプログラムとして、仏CNESが中心となって開発している実証エンジン。再使用可能で、燃料はメタン
 - 担当企業はArianeGroup。2020年に独DLRで燃焼試験を計画
 - 製造技術の革新等により1M€/台の製品費を目指す。
- Adeline(アデリーヌ)(研究中)
 - Airbus Defense and Space社が2015年に発表した第1段エンジン部を回収・再使用する概念
 - 現在は活動を縮小あるいは休止している模様
- Space Rider(開発中)
 - 2015年2月に実験機IXV(Intermediate eXperimental Vehicle)の再突入実験に成功
 - ESAプログラムとして、イタリアが中心となってIXVを発展させたSpace Riderを開発中。2ヶ月以上軌道上に滞在し、微小重力実験や技術実証などを行った後、地球に帰還
 - 開発中のVega-Cロケットにより2020年の打上げを目指す。



©ArianeGroup

Prometheusのイメージ



©ESA

Space Riderのイメージ

(参考)世界の将来宇宙輸送システムに関する動向(欧州2/2)



(前ページからの続き)

- SABREエンジン(開発中)
 - 高速航空機や宇宙輸送システムへの適用を想定し、英 Reaction Engines社が開発している空気利用エンジン
 - 長年SKYLONと呼ばれる単段式の再使用型輸送システムを研究していたが、現在は同社のウェブサイトから消えており、エンジン開発に集中している模様
- SpaceLiner(研究中)
 - 2040～50年頃の実現を目指して、独DLRが研究している二段式・完全再使用型の二地点間旅客輸送機。要素技術研究のための目標コンセプト
 - 2人のパイロットと50人の乗客を乗せ、ヨーロッパとオーストラリアの間を90分で結ぶ。



©Reaction Engines

SABREのイメージ



©DLR

SpaceLinerのイメージ

(参考)世界の将来宇宙輸送システムに関する動向(その他の国)

中国では相次いで宇宙機関や民間企業が垂直着陸型の再使用1段の計画を発表している。インドは、有翼型の再使用1段(フライバックブースター)の研究を継続している。

• 中国

- 2018年4月、CALT(中国運載火箭技術研究院)が、中型ロケット長征8号の1段を再使用する計画を発表
- また、昨年、SALT(上海航天技術研究院)が、小型ロケット長征6号を再使用する計画を発表。いずれも2020年前後の試験飛行を計画
- 民間企業のLink Space社が1段再使用のロケットNew Line 1の計画を公表。2020年の打上げを目指す。

• インド

- インド宇宙研究機関ISROが、完全再使用型二段式システムを目標として技術開発を継続中。1段は有翼型(フライバックブースター)、2段はロケットをパラシュート/エアバッグで回収
- 2016年に技術実証機RLV-TDの飛行実験を実施

• ロシア

- 報道によると、Khrunichev社などが再使用型ロケットの検討を行っている模様であるが詳細は不明



長征6号再使用1段のイメージ



New Line 1の構想



飛行実験前のRLV-TD