

社会連携講座の成果と 今後への期待

JAXA研究開発部門
第三研究ユニット長
嶋英志

1

目次

1. 宇宙開発の特性と数値シミュレーションの狙い
2. 東大-JAXA社会連携講座の狙いと成果
3. 成果活用と今後の連携への期待

2

目次

1. 宇宙開発の特性と数値シミュレーションの狙い
2. 東大-JAXA社会連携講座の狙いと成果
3. 成果活用と今後の連携への期待

3

ロケットの打ち上げ・・・

「成功率95% = 20回に1回は失敗」という世界・・・



4

なぜ宇宙開発は難しいか？

- 巨大なエネルギー
高温, 高圧, 高速
- 過酷な環境
真空・極低温
- 軽量構造
静止衛星の重量は打ち上げ時の約1/100
- 少ない実証機会
- 修理困難

5

液体ロケットエンジンの大きなエネルギーと繊細な構造

- 発生するエネルギーは中規模発電所のガスタービン1基分(900MW)

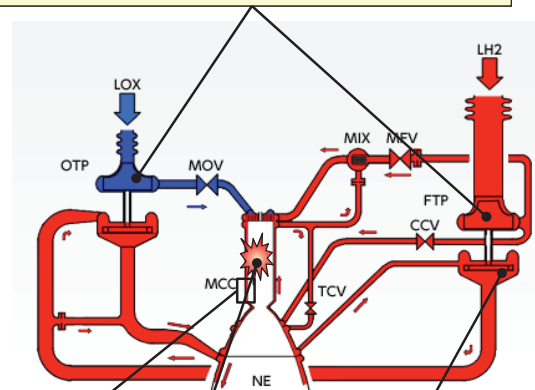
- 6秒でフルパワーに到達



- エンジンの構造と特徴

極低温、大流量の流体制御

液体水素 毎秒530L(ドラム缶2.5本)
液体酸素 毎秒180L(ドラム缶1本)



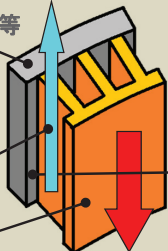
高温・高圧に耐える燃焼室

3300℃の燃焼ガスと
マイナス253℃の液体水素が
0.6mmの壁を隔てて同居

液体水素 (-253℃)

銅合金(最薄部 0.6mm)

Ni合金等



燃焼ガス
(3300℃、
120気圧)

ターボポンプ
(40000rpm、
24000馬力)

6

新しい液体ロケットエンジン開発プロセス



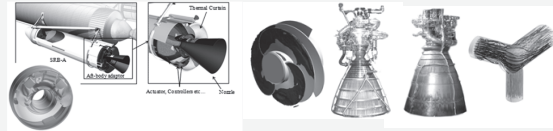
目次

1. 宇宙開発の特性と数値シミュレーションの狙い
2. 東大-JAXA社会連携講座の狙いと成果
3. 成果活用と今後の連携への期待

講座設置前のJAXA数値シミュレーションの状況と問題点

講座設置以前の状況(約10年前)

- 事故・不具合の原因究明に利用されている
- エンジンの設計開発で利用されつつある



例1) H-IIA/F6の事故原因究明 例2) LE-7A, LE-5Bの改良開発

問題点

- エンジン特有の現象を捉える物理モデルがなく参考情報程度
- 燃焼試験と同等に扱われるほど信頼に足る精度がない
- 開発後期での適用が多く、コスト低減・信頼性向上への貢献度が低い

解決策

1.数値シミュレーションに組み込む物理・数学モデルの開発

- 対策: 東京大学社会連携講座

2. 数値シミュレーションを活用した設計解析ツールの開発

- 対策: 情報化事業「ロケットエンジン設計解析ツールの高度化」(JAXA)

3.数値シミュレーションを直接組み込んだ設計開発プロセスの構築

- 対策: 高信頼性開発プロセスと次期主力エンジンLE-X (JAXA)

9

東大-JAXA社会連携講座設置の目的

- 問題点
 - － JAXAには、必要な物理数学モデルの開発能力がない
 - － 宇宙応用に関し、国内においては研究分野として未成熟で、共同研究できる大学等がない
- 社会連携講座の必要性
 - － JAXAとの共同運営による方向性の決定
 - － 専任教員により先端的な研究を集中して実施
 - － 機械工学、化学工学など多分野で成熟した技術を宇宙分野に導入
 - － 若手研究者、技術者の育成
 - － ALL-JAPAN研究体制の構築、国内研究分野としての確立
- 東大設置の必要性
 - － ベースとなる高い研究レベル
 - － ALL-JAPAN体制構築における地理的地位的アドバンテージ
 - － 受け皿となる航空宇宙工学科の存在

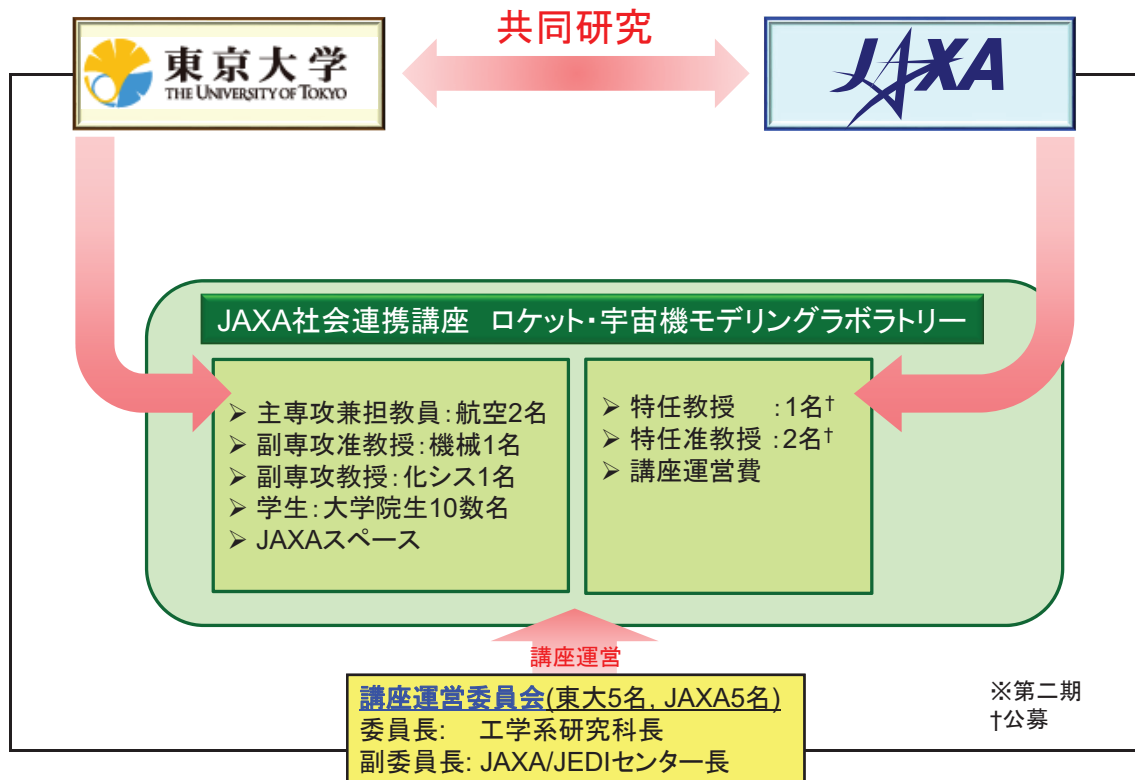


東京大学-JAXA社会連携講座の設置:

- ロケット・宇宙機の設計解析の基盤技術力の強化
- ロケット・宇宙機シミュレーションの物理・数学モデルの開発
- 日本のロケット・宇宙機シミュレーションを世界トップレベルへ

10

社会連携講座の組織体制※



11

第一期講座の成果; JAXAプロジェクトの課題解決

- 設計開発段階での数値シミュレーション技術の活用とそれによるリスク低減
→ 不具合対応以外での数値シミュレーション技術の利用拡大
- エンジンだけでなく衛星・探査機用スラスタ等の不具合対応にも利用が拡大
→ スラスタ開発メーカーとの共同研究等により, メーカーでの産業利用にも進展見込み

講座での物理・数学モデル開発



12

第二期講座(FY2012～2018)で目指したこと

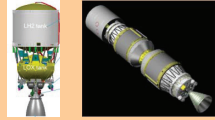
新たな価値を創造するロケット・宇宙機の開発

次期JAXAミッション ～3U解析技術活用によるブレークスルーの実現～

H3/再使用ロケット



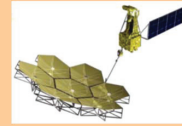
ロケット上段推進系
・軌道間輸送機



次世代宇宙機化学推進系

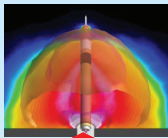


大型展開構造物



ロケット・宇宙機設計解析技術 ～次期JAXAミッションを支える設計解析技術の構築～

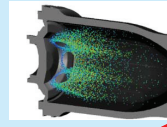
安全性評価技術



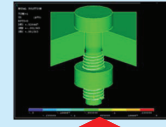
推進薬管理解析技術



宇宙機スラスタ
性能解析技術



接触・摩擦解析技術



ロケット・宇宙機物理・数学モデル ～3U設計解析技術開発を支える物理・数学モデル構築～

安全性評価



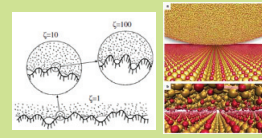
推進薬熱流動



反応性熱流動



接触・摩擦



13

第二期講座の目標と結果

目標1. ロケット・宇宙機数値シミュレーション技術の基盤技術力強化

達成

- 講座で開発された物理数学モデルがJAXAの数値シミュレーション技術に反映され、数値シミュレーション技術の適用範囲拡大と信頼性向上を実現
- JAXA職員の物理及びモデリングに関する知識が飛躍的に向上した
- 我が国のロケット・宇宙機モデリングに関する研究中核拠点が構築された

目標2. ロケット・宇宙機シミュレーションの物理・数学モデルの開発 ～世界最高レベルのモデルを1つでも開発～

達成

- 複数の世界初/最高レベルの物理・数学モデル構築に成功
 - ◆ 化学反応高速時間積分法 Morii, Y., et al., *Journal of Computational Physics*, 2016
 - ◆ 高速時間積分法+化学種バンドル法 Terashima, H., et al., *Combustion and Flames*, 2017
 - ◆ スラスタ燃焼解析手法 Tani, H., et al., *Proceedings of the Combustion Institute*, 2015
 - ◆ スラスタ燃焼詳細化学反応機構 Kanno, N., et al., *Journal of Physical Chemistry A*, 2015
 - ◆ スラスタ性能予測理論モデル Inoue, C., et al., *ALAA Journal*, 2017 (submitted)
 - ◆ 乗員安全人体障害評価モデル 今泉俊介, *日本機械学会論文集*, 2016

目標3. 日本のロケット・宇宙機シミュレーションを世界トップクラスへ

達成

- 欧米に匹敵もしくはそれを上回るシミュレーション技術に進化
 - ◆ ロケット燃焼解析(メタン/酸素)の国際ベンチマークで欧米機関に対する解析技術レベルの圧倒的優位を確認(No.1の結果)
 - ◆ 極低温タンク内熱流動解析のベンチマークでも優位を確認
 - ◆ NASA、AFRL(米国空軍)、DLR、CNESからの共同研究等の打診

14

講座のアウトカム 産官学それぞれへの波及効果

① 大学

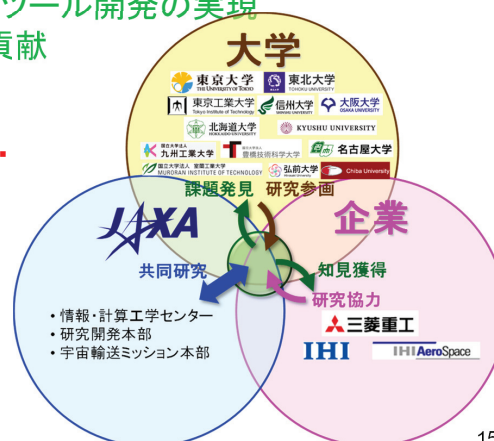
- ロケット宇宙機研究開発に関わる若手研究者・技術者の育成
- ロケットエンジンシミュレーション分野の育成
 - ALL Japan体制の構築による国内研究の活性化
 - 国内のロケット産業コミュニティ内での情報共有と技術知見が向上
- 社会連携講座の模範を提示

② JAXA

- ロケット宇宙機研究開発に関わる若手研究者・技術者の育成
- 現象理解と基礎物理モデルに基づく設計解析ツール開発の実現
- 現行プロジェクト課題への講座成果の適用と貢献

③ 企業

- ロケット宇宙機研究開発に関わる若手研究者・技術者の育成
- 現象理解に基づく設計解析技術の向上
- 実エンジン開発への適用と信頼性向上



15

目次

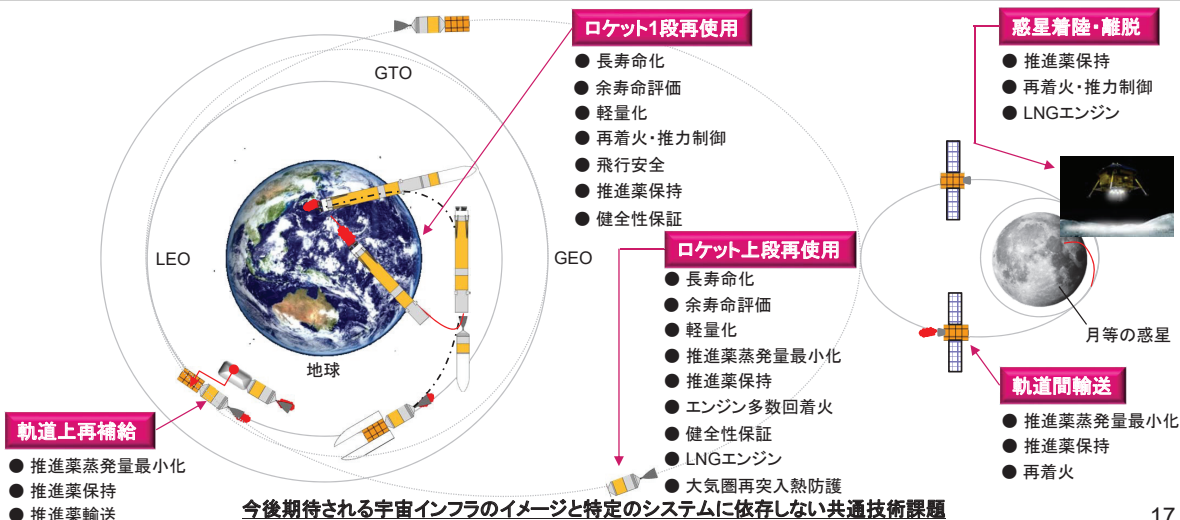
1. 宇宙開発の特性と数値シミュレーションの狙い
2. 東大-JAXA社会連携講座の狙いと成果
3. 成果活用と今後の連携への期待

今期講座成果の活用: 宇宙機ライフサイクル革新

宇宙開発の環境が著しく変化(民間企業参入による宇宙産業の活性化・技術革新、宇宙新興国の台頭等)している昨今において、宇宙輸送システムには高頻度・大量輸送や超低コスト化等のパラダイムシフトが求められている。

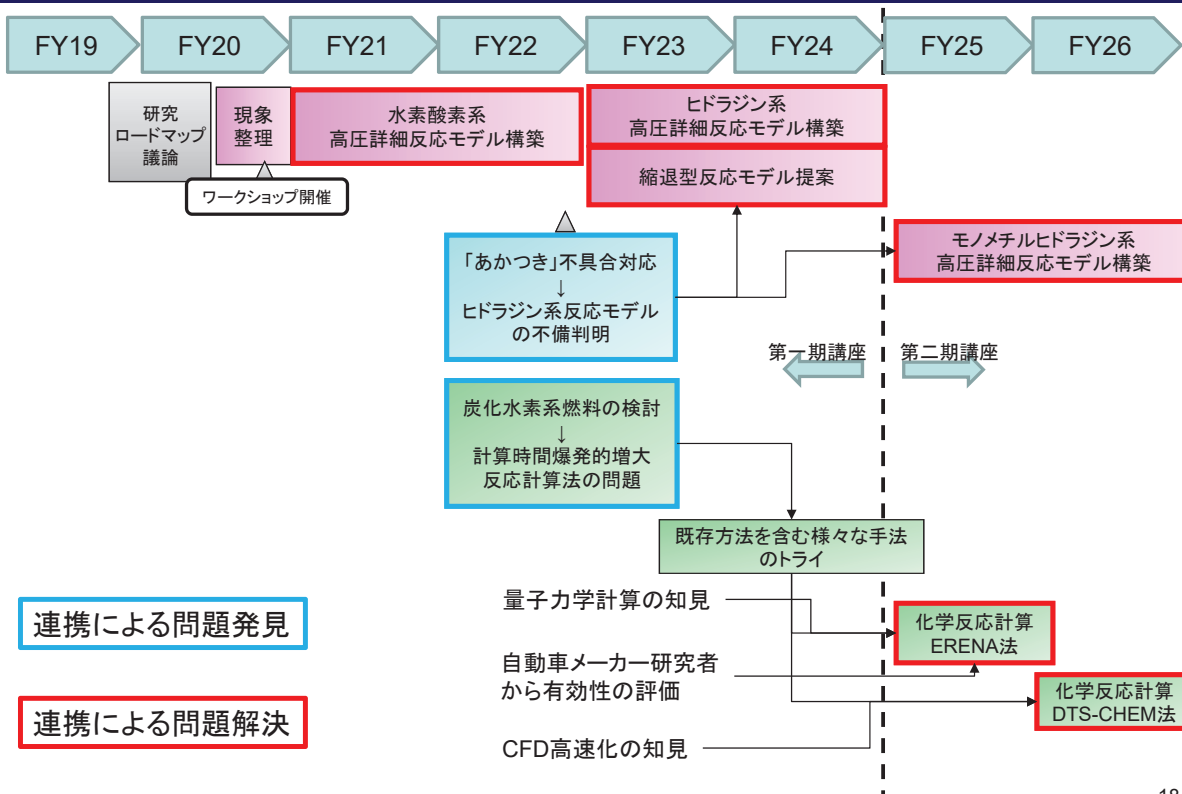
宇宙輸送機の再使用化や長寿命化などライフサイクルを変革する必要がある

従来設計開発思想やプロセスからの脱却と、それを実現するための数値シミュレーション技術とその基盤となる物理数学モデルの確立が必須である。



17

燃焼解析技術構築に見る連携の効果



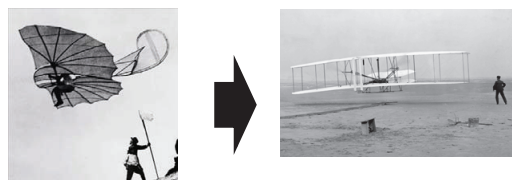
18

新しい結合から生まれるイノベーション

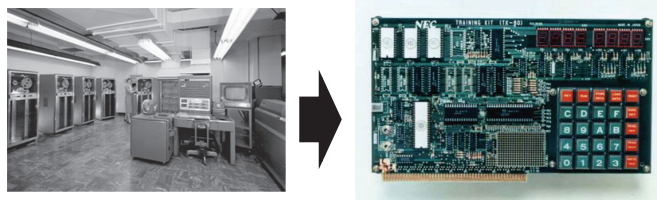
Neue Kombination (新結合), Joseph Alois Schumpeter

- $\alpha + \beta \rightarrow ?$
 α に β を加える. $\Rightarrow \alpha$ を β で革新する.

- グライダー+エンジン→航空機



- コンピュータ+集積回路→マイコン

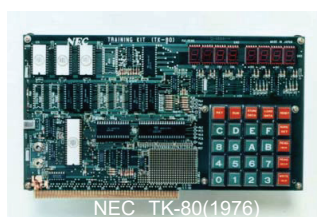


+ β によるイノベーションだけでは大きな価値を生まない

- グライダー+エンジン→航空機



- コンピュータ+集積回路→マイコン



Apple II(1977)



任天堂 ファミコン
(1983)



イノベーションの構造分析と今後の連携への期待

- 旅客輸送+グライダー+エンジン → 旅客機
- ゲーム+コンピュータ+集積回路 → ゲームマシン
- これらは、 $\alpha +$ を見出すことで大きな社会的インパクトを実現した。
- 一方、「宇宙+ β 」の効果で社会連携講座は大きな成果を上げた。
- ゲームがコンピュータメーカーの異分野であったのと同様、 $\alpha +$ はJAXAだけでは探せない。
- 今後、 $\alpha +$ 宇宙+ β で大きな社会インパクトを実現するためにも連携を進めていきたい。

さいごに

- ・社会連携講座によってJAXAの技術力・プロジェクト課題対応能力は大幅に向上した。
- ・長期にわたる取り組みによる、分野研究レベル・若手研究者能力の引き上げで、講座期間内に留まらない成果創出が可能になった。
- ・大きな成果は連携による課題発見・解決から生まれている。社会連携講座としての活動は今年度で一旦終わるが、このシンポを契機として、引き続き新たな協力を進めてゆきたい。