

平成17年度「魅力ある大学院教育」イニシアティブ 採択教育プログラム 事業結果報告書

教育プログラムの名称 : フライト実践による航空宇宙フロンティア
（“Flight Test”を通じたプロジェクト実践教育）
機 関 名 : 東北大学
主たる研究科・専攻等 : 工学研究科 航空宇宙工学専攻
取組実施担当者名 : 吉田 和哉
キ ー ワ ー ド : 航空宇宙工学、システム工学、知能機械学・機械システム、飛行実験

1. 研究科・専攻の概要・目的

工学研究科は東北大学の理念である「研究第一主義」と「門戸開放主義」を高く掲げ、独創的研究に基づく「実学主義」を標榜しながら、研究重点大学として常に世界に向かって門戸を開き、先見性と専門性とに裏打ちされた「知的創造の国際拠点」を形成することによって、現代社会が直面している困難な諸問題の解決に立ち向かい、人類と地球の未来に対してその責任を果たすことを目指している。

研究目的として、知的創造の国際的拠点として、真理の探究を通して将来の問題を先見するとともに現在の社会的要請に応え、人類にとって豊かな社会と自然環境を実現するための科学技術の創成と発展に貢献することを掲げている。また、それと同時に、第一線の研究をとおり、優れた教育資源と教育環境の創出を目的としている。

航空宇宙工学専攻では、航空機および宇宙機の構造、推進、飛翔、ならびに飛行制御の原理を理解し、極限状態で航行する航空宇宙機の設計に必要な数値モデルの構築とそれに基づく解析、およびフライト試験等の実践的な機会を通してシステムインテグレーションと問題解決の手法を修得させる教育を行っている。それにより、超音速旅客機、自律無人飛翔体、宇宙ロボット、宇宙探査機などの革新的な宇宙航空機を創出する際に指導的な役割を果たすことができる人材の育成を目指している。

最近の具体的な例では、JAXA（宇宙航空研究開発機構）が進めているわが国の航空宇宙プロジェクトへの貢献として、次世代超音速実験機(NEXST-1)のCFD空力解析に基づく設計および評価、技術試験衛星VII型「おりひめ・ひこぼし」ミッションにおける軌道上ロボット実験への参加による学術的データの取得、小惑星探査機「はやぶさ」におけるタッチダウン・サンプリング時および地球再突入時の力学解析に基づく設計および評価など、具体的・実践的な成果を挙げている。

本専攻に在籍する学生・教員数の博士前期課程 124 名

博士後期課程 39 名 教員数 24 名

（平成18年5月1日現在）

2. 教育プログラムの概要と特色

本教育プログラムでは、航空宇宙機を開発するプロジェクトの中で“Flight Test”という実践的な体験を通じて、システム開発のプロジェクトマネージメントおよびリスク管理の方法と、それに必要な専門的な知識を体系的かつ総合的に学ぶことのできる実践教育の場を提供することにより、魅力ある大学院教育を実現することを目指とする。

“Flight Test”は個々の要素試験とは異なり、必要な技術の全てをインテグレートして初めて実施できるものであり、“Flight Test”なしに航空宇宙技術の完成はありえない。本教育プログラムは、“Flight Test”を通じての実地トレーニングにより、リスク感覚を持ちながら未知の問題に切り込む、プロジェクトリーダーとしての資質を養うことを目的としている。実験での小失敗やシミュレーションと現実の違いを体験することで、個々の専門分野で得た知識の体系化・高度化をはかり、また、グループ間の競争設計や海外との競争を通じて、真のオリジナリティを志向する創造的エンジニアとしての資質を養成する。

上記目的に対し、大学院博士前期（修士）課程において授業科目「航空宇宙フロンティア」（通年4単位、学内外の研修活動を含む）を新設し、(1) 国内外の専門家を非常勤講師として招き、「フライトプロジェクト」の現場における計画の立案から実施までのプロセス、およびプロジェクトマネージメントに関する集中講義、(2) 1チーム5名程度の小グループにより具体的なものづくりを行い、飛翔実験によるデータ収集、空力特性評価、飛行特性等の解析、制御実験などの実践活動、(3) 選抜チームを海外派遣させることによる国際コンテストへの参加、および学生間の共同作業に基づく国際交流など、魅力お

よび特色のある教育を展開する。以上の履修概念を図1に示す。



図1 履修概念図

3. 教育プログラムの実施状況と成果

(1) 教育プログラムの実施状況と成果

平成17年度には、JAXAより特別講師を招き上記(1)の集中講義を行い、またフライト実践教育のためのインフラ整備を行った。平成18年度には、本教育プログラムの中核をなすプロジェクト実践型の授業科目「航空宇宙フロンティア」を開講し、本格的な取り組みを開始した。(表1、2参照)

同科目では、博士前期課程(修士課程)の学生を主な対象とし、提案書の作成から、概念設計、設計審査、詳細設計、ハードウェア開発に至る、プロジェクトの推進に必要な一連のプロセスを受講者全員に実践させる教育を、1年間の通年カリキュラムとして実施した。同科目では、最初の2ヶ月間に集中的な講義を行った後、フライト実践課題として4つの大きなテーマを与えて学生に選択させ、少人数のチームを編成して(1チーム最大7名)、チームごとに思い通りの飛行体を、ゼロから設計・製作し、飛行させ、フライトデータを得て解析するなどの活動を行った、(51名の大学院生が受講)

学生のチーム編成は4月中に行い、特別講義と平行して5月より飛行体の設計・製作を開始した。実践活動に際しては個々のグループに担当教員を割り当て個別の指導を行うとともに、全員参加のもとで3回の中間報告会(7

月、10月、12月)および1月に最終報告会を行った。全体スケジュールとして6月までが設計フェーズ、9月までに機体製作と風洞試験装置(写真1参照)を用いた

表1 「航空宇宙フロンティア」実施要領

- ・通年4単位、航空宇宙工学専攻M1対象※、選択必修
※他専攻、他研究科の学生も、指導教員の許可を得ることを条件に受講を認める。
- ・単位内訳：前期講義&演習(1.5単位)、後期講義&演習(1.5単位)＋実習(1単位)
- ・実施時間・場所：毎週月・火曜、午後4時30分～6時
- ・特別講義は全受講生対象。
- ・中間(最終)報告会では各グループ(チーム)の進捗状況を報告する。全員聴講。
- ・随時、学外の角田滑空場(協力：社団法人 宮城県航空協会)にてフライト実験を行う。
- ・海外のフライトコンペティション参加や、海外大学との共同実験実施(希望者多数の場合は選抜を行う)。

表2 特別講師一覧

- ・宮澤与和氏(JAXA 総合技術研究本部、基盤研究総括)
「無人機飛行実験と飛行制御」
- ・柳原正明氏(JAXA 総合技術研究本部)
「小型自動着陸実験(ALFLEX)、高速飛行実験」
- ・吉田憲司氏(JAXA 航空プログラムグループ 超音速機チーム)
「小型超音速機実験プロジェクト」
- ・野田篤司氏(JAXA システムズエンジニアリング推進室)
「衛星設計入門」
- ・泉耕二氏(JAXA 総合技術研究本部、チーフエンジニア)
「リスクマネジメント」
「流れを読む：日本の空にINNOVATIONを！」
- ・穂積弘毅氏(JAXA 総合技術研究本部、飛行試験技術開発センター主任研究員)、技術指導
- ・Prof. Tianshu Liu (Department of Mechanical and Aeronautical Engineering, Western Michigan University, MI, USA)
“Flight Testing Education at Western Michigan University”
- ・Prof. John P. Sullivan (Director - Center for Advanced Manufacturing, Purdue University, IN, USA)
“UAV - Design, Build, and Test”

性能評価実験等、9月以降適宜フィールドにおいて飛行実験とデータ解析、機体の改良等の作業を実施した。飛行実験のフィールドとして、東北大学の南方約40kmに位置する角田滑空場を使用した(写真2参照)。





写真1 風洞実験の様子



写真2 角田滑空場におけるフライト試験の様子

以下に各チームのフライト実践活動の概要を要約する。

【V-flight：展開翼機の開発】

V-flight チームでは、空中で翼の形状を変化させる展開翼機の実証を目的として、実験用飛翔体を設計・製作し、フライト試験を行った。制約条件は、折り畳まれた状態で直径 85cm、厚さ 20cm の円筒内に収まること、切り離しは上空 250m 以下で行うこととし、切り離し後に翼を展開して安定飛行を確立し、安定した着陸回収を行うことを目指した。(写真3)

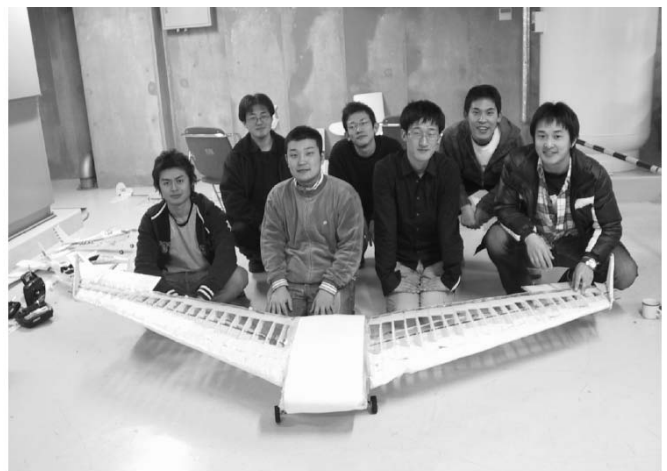


【チーム丸福：モーフィング翼機の開発】(写真4)



モーフィング翼機とは離着陸・旋回・巡航等の飛行ミッションに応じて最適な形状に変形する翼を持った飛翔体であり、従来の機体よりも飛行性能、エネルギー効率の向上が期待されている。チーム丸福では、モーフィング翼機能を搭載したスケール機の開発を行って滑空および動力飛行させ、フライトデータを取得することにより、モーフィング翼技術についての有効性を検証した。

【Powered-1：無尾翼機の開発】(写真5)



チーム Powered-1 では、無尾翼機のスケール機を製作した。無尾翼機の長所は、胴体や尾翼が無いために構体構造が簡単化できること、また濡れ面積の減少により抵抗低減が出来ることなどが挙げられる。一方で尾翼がないために飛行安定性に問題があり、その制御法が大きな課題であった。また、機体のほとんどが翼で構成されているため、機体重心位置の制約条件から構造設計が難しいこと、ペイロードを積む空間が取りにくいことも課題となった。フライト実験では、これら飛行安定性に関する貴重なデータが得られた。

【複葉機チーム】(写真6)



複葉機チームでは、将来の PAV(Personal Air Vehicle)を目指した技術として、機体サイズを小型にできるうえ低速飛行性能に優れた複葉機を開発した。誘導抵抗低減による飛行性能の改善を目的として、上下翼端を結合するアイデアを取り入れ、優れた結合形状を探索するとともに、実際の飛行特性への影響を検証した。

【HMV チーム：飛行船とのハイブリッド機体の開発】(写真7)



HMV チームでは、離陸・着陸距離を短く、巡航速度を低くする飛行形態として Hybrid Mixture Vehicle (HMV)を開発した。固定翼機では対気速度が低い場合、十分な揚力が得られないという弱点があるが、飛行船の浮力によってこれを補うことにより、安定な飛行を実現した。

【ロケットチーム】(写真8)



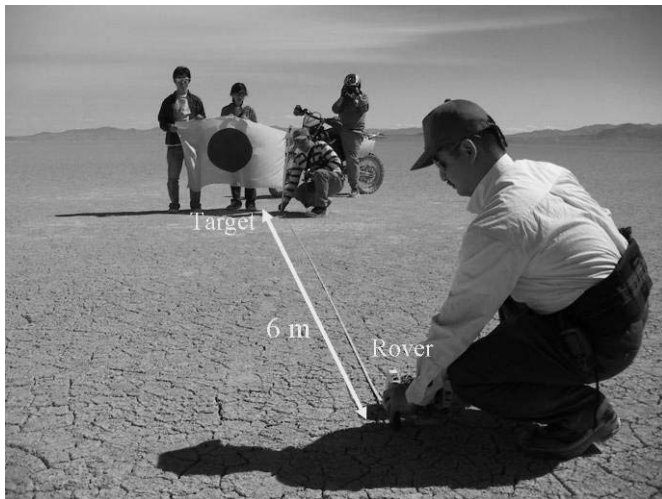
ロケットチームでは、固体燃料モデルロケット用の噴射推進器を用いたロケットの打ち上げと、微小重力環境を作り出すことを目標に開発を行った。打ち上げ後、エンジン燃焼による動力飛行を行い、燃焼終了時に慣性飛行を行う。上空でロケット本体とペイロード部を分離し、ロケット本体は直後にパラシュートで低速落下するが、ペイロード部はしばらく(約3秒間)自由落下した後、時間差でパラシュートを開傘し、安全に回収することを目指した。フライト試験により、自由落下時に0.01Gの微小重力環境が実現できることを確認した。

【探査ロボット・せきぐち一む】

探査ロボットグループでは、米ネバダ州で開催される ARLISS(A Rocket Launch for International Student Satellites)大会に参加することを目標としたフライトモデルの設計・製作を行った。ARLISSは学生が宇宙開発技術の基礎技術を競うコンペティションであり、1050g以下のペイロードをロケットに搭載して高度4000mまで打ち上げ、ロケットから放出後、パラシュート降下する。着地点からゴールめざして自律制御し、ゴールまでの接近距離を競う。

せきぐち一むは二段階パラシュートを搭載した対向二輪型ローバを開発し、GPS計測位置に基づく自律走行によりゴールまで6mの距離まで到達し、見事優勝を果たした。(写真9・次ページ)





【探査ロボット・玄孫チーム】

玄孫（やしゃご）チームも自律走行二輪型ローバを開発し、ARLISS 大会に参加した。パラシュート降下の際に強風に煽られ、ゴールから 7.3km の地点に着地したものの、平均 2.4km/s の速度で走行し、約 3 時間後ゴールからわずか 44m の地点まで到達した。しかしながら、最後はバッテリーが切れて動作を停止、せきぐち一むに次いで第二位の成績となった。（写真 10）



【探査ロボット・C-BOYS】

C-BOYS も米ネバダ州で開催された ARLISS 大会に参加したが、探査ロボットグループの他チームとは異なり、GPS 計測位置に基づきパラシュート降下中に舵を切りながら目標地点まで飛行する「フライバック」ロボットに挑戦した。目標地点までの飛行制御には空気封入式パラグライダーを使用し、高度 4000m から地表までの 15～20 分程度の降下中に飛行制御を行うことを目指した。大会では、強風のため思い通りの飛行制御はできなかったが、飛行データ(GPS 計測値)の取得には成功した。

（写真 11）



以上に述べたように、計 9 チームの全てが、学生の自発的な発想に基づき様々な飛翔機体を製作し、フライト実験を行い、それぞれに有意義な結果を得ることができた。

また、学生による国際的活動の一環として、希望者を選抜して 3 チーム・13 名の学生を、米国ネバダ州にて開催された ARLISS 2006 カムバック・コンペティションに参加させた。その結果、2 チームが好成績にて優勝および準優勝を果たすという、大きな成果を挙げた。なお、ARLISS 2006 に参加した各チームはその後、JAXA 等主催の国際シンポジウム等において、チャレンジの成果について英語にてプレゼンテーションを行うなど、学生を国際的な舞台を経験させることにより実践的な教育を行うという点からも、具体的な成果を挙げることができた。

さらに、有翼飛翔体を開発したグループより希望学生を選抜し、2 チーム・6 名の学生を、米国 Purdue 大学に派遣した。Purdue 大学では、Sullivan 教授の指導を受けている航空宇宙工学科の学生とともに、日本から持ち込んだ機体に改良を加え、日米学生の共同作業としてフライト実験を行った（写真 12 参照）。Purdue 大学にはフライト実験の経験者が多くおり、彼らの適切なアドバイスをに基づき機体改良を施すことにより安定飛行を実現して良質の飛行データを取得するなど、多くの刺激を得た。またフライト実践に関するノウハウを習得するなど、大きな成果を得ることができた。



写真 12 Purdue 大学での日米学生共同フライト実験

平成 18 年度「航空宇宙フロンティア」の授業終了後には、受講学生全員に対して記述式のアンケートを実施した。質問項目は以下のとおりである。

【アンケート質問項目】

1. あなたは、どのような動機および達成目標等を持って、本授業科目およびチームを選択しましたか？
2. 本科目を終了するにあたり、当初の目標はどの程度達成されましたか？ 目標をいくつかブレイクダウンし、それぞれについて達成度を%にて示してください。
3. チームの中で、あなたはどのような役割を担当しましたか？ そして、自分に点数をつけると何点になると思いますか？ その理由も付してください。
4. 本科目で、一番楽しかったこと（うれしかったこと）は何ですか？
5. 本科目で、一番大変だったこと（つらかったこと、苦労したこと）は何ですか？
6. 本科目を通して、あなたは何かを得ることができましたか？ 箇条書きにて、記してください。
7. 同じチームの中で、自分以外に誰の活躍が目立ちましたか？ 氏名と活躍内容を簡潔に記してください（複数人回答可）。
8. 来年度にむけて改善すべきと思う点があれば、箇条

書きにて記してください。

アンケートの分析結果の概要を以下に示す。

- ほとんどの学生が、本授業科目の受講が有意義であったとの感想を述べている。特に、実践的活動を通して、フライトシステム開発の難しさと、ものの作りの楽しさを体験したとの感想が多く得られた。特に、自分が作った機体が空を飛んだことに対する喜びや、感動を挙げた者が多かった。
- 各個人の目標達成度については、当初目標に対して達成できた部分と、達成できなかった部分をはっきりと認識し、達成できなかった部分については、その原因について自己分析している回答が多く得られた。
- プロジェクト遂行の難しさとして、複数のメンバーからなるチームにおける、互いの役割分担、協力関係、コミュニケーションの難しさを挙げた者が多かった。これらの難しさを学生に体験させたことは、重要な成果のひとつであると言える。
- プロジェクト遂行の難しさのもう一つの要因として、スケジュール管理の難しさ、当初計画と実際の開発に要する時間とのズレ、読みの甘さなどに言及する者も多かった。予定通りに個々のスケジュールを達成できないことが、プロジェクト遂行上のリスク要因であることを、多くの受講生が認識したことは、重要な成果のひとつであると言える。
- 授業科目としての負担が大きく、他の授業や研究室での研究活動とバランスを取ることが大変であったとの意見が多く寄せられた。平成 18 年度においては教員側も手探りの部分も多く、事前に負担の度合いを予測することが困難であったが、平成 19 年度以降、特に研究活動とのバランスについては十分に改善可能であると考えられる。
- 実践活動のインフラ整備に関する建設的な意見も寄せられた。この点も順次改善し、教育活動を充実させていくことは十分に可能であると考えられる。

以上を総括して、「フライト実践による航空宇宙フロンティア」プログラムでは、ものを「作って飛ばす」という航空宇宙工学の最も根源的な実践活動に軸足を置いた教育活動を展開することにより、個々の開発目標に対する技術的な達成のみならず、学生に飛ばすことに対する感動を与え、プロジェクト遂行に伴う共同作業の難しさやリスク要因について気づかせ、学ばせることができた

いう点で、大きな成果が得られたと考えられる。また、教育カリキュラムとして、他の授業科目や修士研究とのバランス、実践活動のインフラ整備など、更に改善すべき点を明らかにすることもできた。これらの成果およびフィードバックを踏まえ、平成 19 年度以降、大学院教育を実質化していくにあたり、しっかりとした基礎を築くことができたと考える。

(2) 社会への情報提供

● ホームページによる情報発信

① 本教育プログラムのホームページ

<http://www.astro.mech.tohoku.ac.jp/AerospaceFrontier/>を開設し、プログラムの実施内容について積極的な情報発信を行った。

② 作家・瀬名秀明氏（東北大学特任教授）によるインタビューを企画し、本プログラムの実施内容を、ホームページ・東北大学機械系「瀬名秀明がゆく！」にて広く紹介した。

（シリーズ 10：航空宇宙のフロンティアをめざして）

<http://www.mech.tohoku.ac.jp/sena/series10/vol1/vol1-1.html>

● 学会とのタイアップによる成果報告会の開催

本教育プログラムの平成 17-18 年度成果報告会を、日本航空宇宙学会北部支部 20 周年記念講演会の特別セッションとして、平成 19 年 3 月 9 日(金)仙台国際センターにて実施した。下記 5 件の特別講演、および受講学生によるポスターセッション（実物展示を含む）を実施し、延べ 200 名以上の来場者を得た。

【特別講演講師と講演タイトル(3 月 9 日 8:50-11:45)】

1. 吉田和哉（東北大学）：「フライト実践による航空宇宙フロンティア」について
2. 米本浩一 氏（九工大）：「九州工業大学における学生ロケット実験プロジェクト」
3. 岩田拓也 氏（産総研）：「空中輸送飛行体システムの研究開発－RT&IT 技術が拓く次期航空産業－」
4. 加茂圭介 氏（富士重工）：「航空交通システム変革への技術的取組みについて」
5. Shin Matsumura 氏 (Boeing)："Hypersonics at Boeing Phantom Works"



写真 13 成果報告会（講演会・ポスターセッションの様子）

● 成果報告書（冊子体）の印刷と配布

カラー写真ページを含む成果報告書（冊子体）を編集、1000 部印刷し、上記成果報告会にて配布するとともに、関係者、協力者、有識者等に無料配布した。希望者には、引き続き配布の予定である。

4. 将来展望と課題

(1) 今後の課題と改善のための方策

前項に記したように、平成 18 年度「航空宇宙フロンティア」授業終了後に、全受講生 51 名に対して記述式のアンケートを行い、今後の課題について洗い出しを行った。以下に課題と改善のための方策について整理する。

【課題 1】

「航空宇宙フロンティア」はたいへん魅力的な授業科目であったが、実践的な活動が多く授業としての負担が大きいと感じられた。特に、所属研究室でのゼミや研究活動との両立に苦労した学生が見受けられた。

【方策1】

平成 18 年度は初めての試みであったので、負担の度合いを事前に学生に明示することができなかった。平成 19 年度以降は、スケジュールおよび負担の度合いなどについて、前年の経験に基づき、より適切な学生指導が可能であると考えられる。

また、所属研究室でのゼミや研究活動との両立については、「航空宇宙フロンティア」に導入したプロジェクト実践型の活動が、研究とは独立なものではなく、一部の学生にとっては、学位論文のための研究の主要な構成要素であると位置づけられるよう、研究指導を行う側の意識を変革していくことも重要であると考えられる。

【課題2】

ものづくり、風洞試験、フライト試験などに際して、準備に多くの労力を費やす場合があった。

【方策2】

平成 17-18 年度の 2 年間にわたり、ものづくり、風洞試験、フライト試験などの実践活動に必要なインフラ整備を実施してきた。18 年度終了までには必要な整備は完了したと考えており、19 年度以降については整備された環境での教育プログラムの継続が可能な状況である。また、風洞試験、フライト試験におけるノウハウも得られており、年々ノウハウが蓄積されていくことにより、教育内容（研修テーマ等）も更に洗練され、高度化させることが可能であると考えられる。

(2) 平成 19 年度以降の実施計画

本専攻においては、平成 19 年度以降も、授業科目「航空宇宙フロンティア」を恒常的なものとして、発展的に継続実施する予定であり、同科目を軸としてプロジェクト実践型の教育を充実させていく計画である。（2007 年 4 月現在、平成 19 年度「航空宇宙フロンティア」は既に開講し、50 名の学生が受講中である。）

教育内容を発展させるひとつの具体例として、JAXA（宇宙航空研究開発機構）との包括学術交流協定の締結があげられる。現在、協定の締結に向けて調整を進めているところであるが、協定が締結されれば、JAXA-東北大学間の共同研究として、JAXA が進めるわが国の航空宇宙フライトミッションを、大学での実践的教育研究の対象としてより密接に位置づけることが容易となり、また本専攻の大学院生をインターンシップ研修生として JAXA に派遣し、そこで実践活動に参加させることも容易となることが期待できる。

予算的には、教育インフラとして当初 2 年間で十分な

整備を行うことができたので、今後は消耗品等の恒常的経費が主な支出となると思われる。これは、学内の経常予算等によって充当できる範囲であると予想される。しかしながら、学生による国際的な活動を更にエンカレッジするためには相応の旅費が必要であり、これについてはさまざまな機会を捉えて予算確保に努めていく予定である。

プログラムの内容については、特に上記【方策1】【方策2】に記したことを留意点として継続実施することにより、教育プログラムとしてより洗練され、高度化されたものとしていくことが可能であり、大学院教育の実質化・高度化に資することができると考える。

「魅力ある大学院教育」イニシアティブ委員会における事後評価結果

【総合評価】 ☐ 目的は十分に達成された ☒ 目的はほぼ達成された ☐ 目的はある程度達成された ☐ 目的は十分には達成されていない
〔実施（達成）状況に関するコメント〕 講義とプロジェクトが関連付けられた中で、共同作業を尊重する新しい大学院教育に対する挑戦が、学位論文との関連付けにより、学生の負担増に配慮しつつ進められており、大学院教育の実質化という意味で大きな成果が達成された。 また、教育プログラムの実施状況や実施結果について積極的にホームページ等で学内外に広く公開されており、大学院教育の実質化のモデルケースとしての役割を果たしている。 今後、外部研究機関（JAXA：宇宙航空研究開発機構）との包括的学術交流協定の締結によるインターンシップの導入等、より一層の実質化が期待されるが、プロジェクトと本来の教育プログラムとの関連や学位論文との関連について配慮することにより、学生の負担の軽減が図られれば、より一層の発展が期待できる。
（優れた点） ・ 講義とプロジェクトが関連付けられており、プロジェクトと学位論文の関連付けにより学生の負担に対しても配慮されている。プロジェクト遂行による共同作業を尊重する新しい大学院教育に対する挑戦は評価できる。 （改善を要する点） ・ 博士論文についてもプロジェクトとの関連付け、教員の評価とプロジェクト指導との関連付けを検討する必要がある。 ・ 専門科目との関係、基礎教育とプロジェクト教育の有機的連携、定量的評価を総合的、客観的に見直してみる必要がある。プロジェクト実践型授業科目「航空宇宙フロンティア」を定着させるために、研究活動とのより一層の連携に努力する必要がある。