

## 国際的學生ロケット打上げの挑戦で実践した技術伝承と知識創出の術

松本 剛明<sup>1,\*†</sup>, 米本 浩一<sup>1</sup>, 鳴海 智博<sup>2</sup>, 宮本 信太郎<sup>3</sup>,  
伊多倉 京士朗<sup>1</sup>, 佐々木 岳<sup>1</sup>, 山崎 裕司<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州工業大学大学院機械知能工学専攻,  
〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1

<sup>2</sup>東京理科大学理工学部電気工学科,  
〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641

<sup>3</sup>IHI エアロスペース,  
〒370-2398 群馬県富岡市藤木 900 番地

### 概要

本論文は、九州工業大学宇宙クラブがフランスでの国際ロケット打上競技会に参加する中で培った、世代を超えての技術伝承と教員との連携のベストプラクティスの報告である。大学の宇宙工学活動では、他の学生プロジェクトと同様に参加メンバーが毎年の様に入れ替わるため、技術をいかに蓄積し伝承するかが課題であり、また悩みでもある。著者らが参加する競技会の開催地は外国であったため、参加経費の都合上、修士課程 1 年生のみがプロジェクトの中心となり作業を行い、また派遣の対象になっていることから、それまで培ったノウハウや経験の伝承の問題が特に大きかった。そこで著者らは、技術開発のサイクルに指導教員、修士 2 年生、修士 1 年生および学部 4 年生が適切な役割を理解して参加し、毎年獲得した技術や派遣経験の蓄積と、それを次の開発へ反映させる仕組みを作り実践してきた。それは、マイスター制度的なプロジェクト組織と、知識伝承の場としてのプロジェクト会議にある。マイスター制度的プロジェクト組織とは、学生の技術力の成長に合わせて学びの役割が変わるという仕掛けである。プロジェクトに初めて参加する学部 4 年生は、技術見習いとして活動の様子を 1 年間見習って学ぶ。次に修士 1 年生になると、プロジェクトの中心的立場でマネジメントも含めて実際にものづくりをして学ぶ。そして修士 2 年生になると、実作業からは離れてアドバイザーとして助言することを通して学ぶ。継続的な技術の積み上げのために、修士 1 年生の設計案や作業結果に対して、既知の課題は修士 2 年生がそれまでに培った経験から具体的指示を与え、未知の課題は教員が大いに助言する。一方プロジェクト会議の役割は、知識の伝承にある。伝承すべき知識には、明文化できる形式知と明文化が困難あるいは未了の暗黙知とがある。技術を年々高度化するには、暗黙知と形式知を相互変換し伝承し、新たな形式知と暗黙知を創造することが極めて重要である。このため、著者らは毎週開催するプロジェクト会議を形式知の伝承と創造および暗黙知の表出の場とした。これにより、創出された形式知（設計や試験結果）に教員や修士 2 年生の経験という暗黙知が加えられる。マイスター制度的プロジェクト組織と技術伝承のプロジェクト会議という 2 つの取り組みにより、九州工業大学宇宙クラブは、フランスでの国際ロケット競技会に 7 年間挑戦し続け、大会最高賞を 2 回受賞するまで技術を高めることができた。

\* Corresponding author. Assistant Professor, Member UNISEC.

† E-mail: [matsumoto@mech.kyutech.ac.jp](mailto:matsumoto@mech.kyutech.ac.jp)

Received Jun 5, Revised September 10, Accepted September 22, 2014.

## Knowledge Management Practiced in Challenging International Student Rocket Launch Campaign

Takaaki MATSUMOTO<sup>1,\*</sup>†, Koichi YONEMOTO<sup>1</sup>, Tomohiro NARUMI<sup>2</sup>, Shintaro MIYAMOTO<sup>3</sup>,  
Kyoshiro ITAKURA<sup>1</sup>, Gaku SASAKI<sup>1</sup> and Hiroshi YAMASAKI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical and Control Engineering, Kyushu Institute of Technology,  
1-1 Sensui, Tobata-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka 804-8550, Japan

<sup>2</sup>Tokyo University of Science, Department of Electrical Engineering,  
2641 Yamazaki, Noda-shi, Chiba 278-8510, Japan

<sup>3</sup>IHI Aerospace Co., Ltd.,  
1900, Fujiki, Tomioka-shi, Gunma 370-2398, Japan

### SUMMARY

This paper is a report on the best practice of the knowledge management (capturing, developing, sharing and effectively using of organizational technology) of the student generation and collaboration with teachers of the Kyushu Institute of Technology (Kyutech) Space Club, which have been acquired through the challenge to international rocket launch campaign in France. One of the most important worried problems in the university space engineering activity is the organizational knowledge management, because skilled students graduate and freshmen join every year. Since the rocket launch campaign the authors participated in is held abroad, and mainly the first year master's course students work and visit France due to the budget reason, the transfer problem of the know-how achieved and technology gained are not small. Therefore the authors have developed and practiced a development scheme that the teachers, the master's course students of first and second year, and undergraduate students of fourth year participate in the project to play their roles in a definite manner how to transfer their achieved experience and technologies to the next generation. The keys of the scheme are the project organization similar to the "Meister" system and the project meeting where knowledge taken over from the current generation to the next. The Meister like project organization is a system to let the member students play their role of study as the level of engineering they achieved. At first, the study role the newcomers (undergraduate students of fourth year) is to help design, manufacturing and management as the apprentices by observing the club activities throughout the year. Next year their study role turned out to design, manufacturing, operation of their own rocket by themselves. When they become second year master's course student, their study role is to be the skilled advisors away from the actual work. In order to keep the sustainability of knowledge management, they give practical advises to the first year master's course students on design, manufacturing and project management based on their experience. The teachers give advices on the unknown subject and new technical issues as well. On the other hand, the project meeting plays a role of the management of knowledge. There are two kinds of knowledge, such as explicit and tacit, the former of which can be documented and the latter of which is not able to be codified in words. In order to make the advancement of these knowledge, it is of much importance to exchange and transfer the explicit and tacit knowledge mutually, and to create new explicit and tacit knowledge. The authors held the project meeting as a place, where the member students share their explicit knowledge and concretize the tacit knowledge. The teachers and the second year master's course students add new tacit knowledge to the explicit knowledge (design and test results) newly achieved. Thanks to the Meister like organization and the project meeting as a place of knowledge management, Kyushu Institute of Technology Space Club won the highest prizes of technology 2 times in challenging the international student rocket launch campaign in France for 7 years.

**KEY WORDS:** Student rocket project; Meister like organization; Project management; Knowledge management; Explicit and Tacit knowledge

## 1. はじめに

学生の宇宙工学活動では、参加メンバーが毎年入れ替わるため、技術をいかに蓄積し伝承するかが重要である。技術伝承が上手くできなければ、毎年同じような課題の発見と解決に時間を費やすこととなり、年々技術を積み重ねて高度なものづくりをしていくことは難しい。特に著者らの活動では、競技会の開催地が外国（フランス）であるため、参加経費の都合上修士1年生のみが作業をする事となっており、1年で作業者が完全に入れ替わるという課題がある。

著者らは、2006年から2012年まで、フランスで開催される国際ロケット打上げ競技会 C'Space に参加してきた(図1) [1][2][3]。C'Space とは、フランス国立宇宙研究センター (CNES, Centre National d'Etudes Spatiales) と NPO 法人 Planète Sciences により開催される、国際的な宇宙工学競技会である(図2) [4]。C'Space にはロケット部門、ミニロケット部門および Can-Sat 部門がある。会場は Bordeaux にほど近い Biscarrosse に位置するフランス軍のミサイル実験場である。2012年の大会では、ロケット部門にはフランス、日本、オーストラリア、ロシア、ドイツなどから20チームが参加した [5]。C'Space は競技会であるが、高度や速度などを競う性格のものではなく、参加者や参加団体がそれぞれ独自のミッションを設定しその独創性と達成度を競うものである。よって、大会結果に順位などは存在しない。ただし CNES が毎年1参加団体にのみ技術賞を授与しており、事実上の大会最高賞と見なすこともできる。



図1 九州工業大学宇宙クラブの挑戦



図2 C'Space のウェブサイト [4]

著者らは C'Space への毎年の挑戦において、技術開発のサイクルに指導教員、修士 2 年生、修士 1 年生および学部 4 年生が適切な役割を理解して参加し、毎年の技術の蓄積と、それを次の開発へ反映させる仕組みを作り実践してきた。それは、マイスター制度的なプロジェクト組織と、知識伝承を織り込んだプロジェクト会議にある。この 2 つは、毎年作業をするメンバーが未経験者ばかりであるという課題を補いつつ、継続的なレベルアップを図るための開発手法であった。つまり、独自の開発プロセスによって、毎年学生が変わる中で宇宙工学の実践的な知識をいかに蓄積し伝承するかを扱ってきた。

経営学者の野中郁次郎は、知識を形式知と暗黙知に分類している [6]。形式知 (Explicit Knowledge) とは明文化できる知識であり、客観的、理性的な言語知である。形式知は理論やマニュアル、データベースとして存在し、特定の文脈に依存しないデジタルなものである。一方、暗黙知 (Tacit Knowledge) とは、明文化が困難な主観的、身体的な経験知であり、思考のスキルや行動のスキルとして存在するアナログなものである。野中は、西洋が形式知を重視する一方、東洋は暗黙知を重視する文化を持っていること、日本企業は暗黙知と形式知をうまく連動させる経営を行っていることを指摘している。また、知識の創造は暗黙知と形式知の相互変換運動であると述べている。なお、組織的に知識をどのように創造すべきかについては、野中らの SECI モデルに詳しい [7]。

技術伝承では、形式知と暗黙知の双方をどのように創造し伝承するかが課題である。特に、学生の宇宙工学活動で技術を年々高度化するには、暗黙知を形式知に変換すること、学生の内部に蓄積した暗黙知を卒業時に失わないことが非常に重要であると考えられる。具体的には、1 年の活動や作業を通して得られた様々な暗黙知を、書類や図面などの形式知へ変換しなければならない。また書類や図面にするのが難しい暗黙知は、暗黙知を持つ学生と引き継ぐ学生の協働により暗黙知を継承する必要がある。また、形式知から新たな暗黙知を創造することが極めて重要である。

本論文は、九州工業大学宇宙クラブがフランスでの国際ロケット打上競技会 C'Space に参加する中で培った、世代を超えた技術伝承と教員との連携のベストプラクティスについて報告する。特に、自律誘導ロケットの開発での 3 つの具体例を通して、学生による宇宙開発の実践知のあり方の一例について述べる。本論文の構成は以下の通りである。第 1 章は、本論文の背景と目的を述べた。第 2 章では、著者らが開発し高度化してきたロケットの概要を述べる。第 3 章はプロジェクト組織構成について述べる。第 4 章では、プロジェクト会議のあり方について、特にその価値、原則、実践の側面から説明する。第 5 章では、自律誘導ロケットの開発で技術伝承と高度化が成功した例を 3 つ取り上げる。第 6 章はまとめと今後の予定について述べる。

## 2. 九州工業大学宇宙クラブのロケットとその成果

本章では、九州工業大学宇宙クラブが開発したロケットの概要と成果について述べる。

### 2.1. 自律誘導ロケット NINJA

九州工業大学宇宙クラブが開発した自律誘導ロケット NINJA は、打ち上げ後上空でパラフォイルを展開し、GPS を利用して目的地点へ誘導制御され到達することを目的とする (図 3) [1,2,3]。2009 年に開発された NINJA-9 は、誘導制御飛行には成功しなかったものの、その目的と設計のオリジナリティに対して CNES からの大会最高賞 (Prix Technique CNES) を受賞した (図 4)。



図3 NINJA のコンセプト



図4 NINJA-9 の飛行

## 2.2. 超音速ロケット SAKURA

九州工業大学宇宙クラブは、自律誘導ロケットの他に超音速ロケット SAKURA を開発している [2]. このロケットは、その名の通り超音速飛行を目的としたロケットである. 頂点到達後はパラシュートで回収される. 超音速ロケット SAKURA は 2010 年に開発され, 最高速度マッハ 1.07 を達成し, 2010 年の大会最高賞を受賞した (図 5, 6). この受賞は 2009 年から 2 年連続である.



図5 SAKURA の飛行

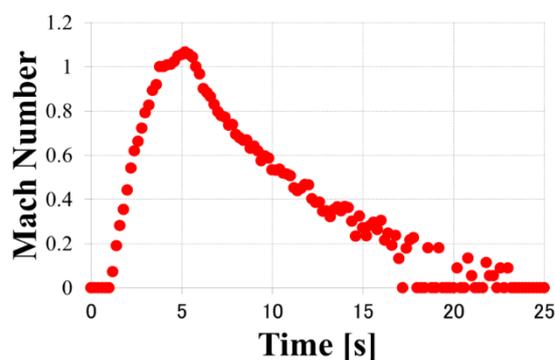


図6 SAKURA の対気速度履歴

## 3. マイスター制度的プロジェクト組織

プロジェクトのメンバーは、作業員である修士 1 年生, 教員, 修士 2 年生, および次年度の参加者である学部 4 年生である. 修士 1 年生には 1 名の統括を置く. それ以外の修士 1 年生は, 構造班, アビオニクス班, 回収班のいずれかに所属し開発を進める. 統括は性能管理と各グループの調整及び, 全体のスケジュール管理を行う. 学部 4 年生は手を動かさないが, プロジェクト会議に 1 年間参加し続けて活動の様子を見続けることにより, 現在の設計 (形式知) や次年度どのように開発すべきか (暗黙知) を肌で学び, 次年度それを活かすこととなる. 学生の立場で考えれば, 学部 4 年では見習いによる学び, 修士 1 年生ではものづくりによる学び, 修士 2 年生では助言をすることによる学びとなり,

3つの異なる学びがある (図7).

この制度は、作業するメンバーが修士1年生のみという環境の中で、いかに技術伝承を行うかを追求したものである。マイスター制度的という言葉はドイツのマイスター制度へのアナロジーであるが、見習工が熟練工になり、さらに成長してマイスターの称号を得たら、次の見習工を育てる義務を伴うものであることを含んでいる。

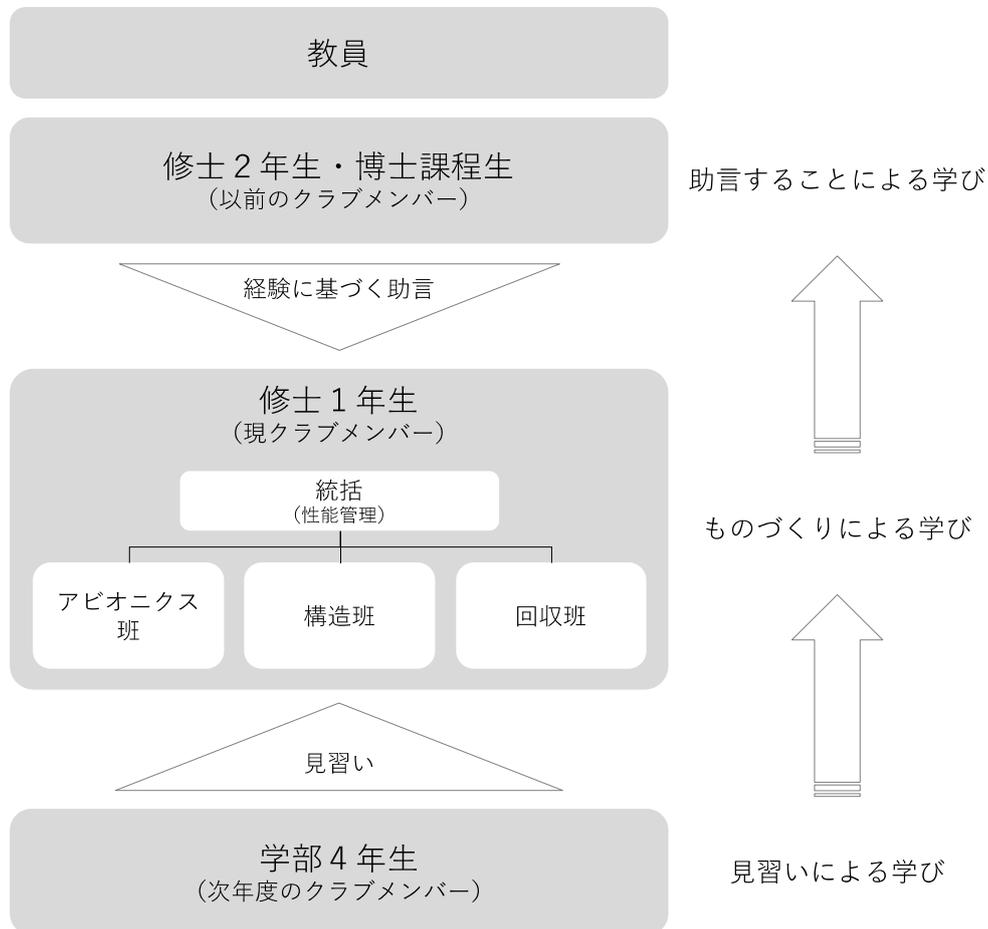


図7 マイスター制度的プロジェクト組織

プロジェクトは学生のみでも一定の技術の蓄積が行われる可能性もあるが、毎年メンバーが入れ替わる状況では毎年同じような技術の開発に陥る可能性も高い。そのような中で技術を継続的に向上させるには、教員と修士2年生の力が不可欠である。ロケットの個別のコンポーネントの開発サイクルは短ければ1週間だが、ロケット全体のPDCA (Plan-Do-Check-Act) サイクルは1年である。参加学生は長周期のロケット開発全体のPDCA サイクルを回すには経験が圧倒的に不足しているため、この部分で教員と修士2年生が支援する。PDCA サイクルのうち、Plan と Check において教員と修士2年生が助言することで、技術のスパイラルアップが実現できる (図8)。

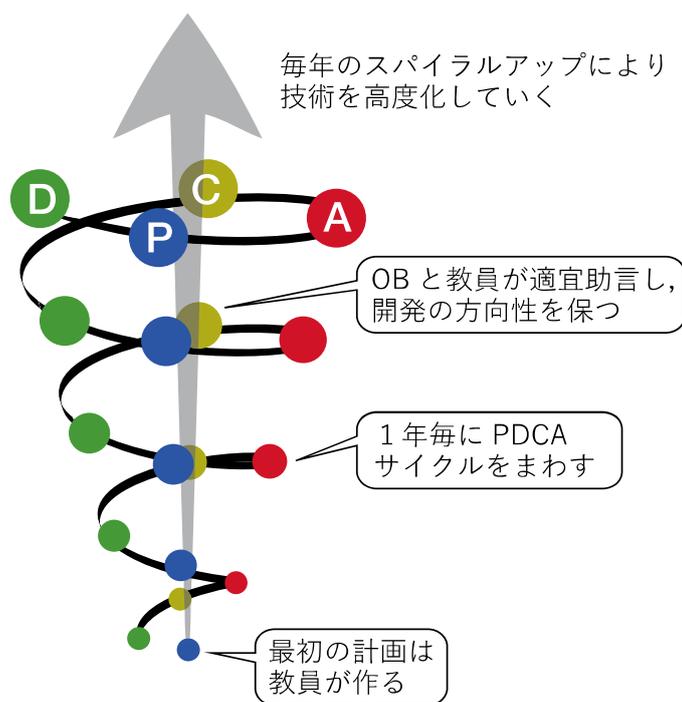


図8 PDCAによる技術のスパイラルアップ

#### 4. プロジェクト会議

著者らは、プロジェクト会議を本プロジェクトの形式知の伝承と創造および暗黙知の表出の場とした。本章では、その価値、原則、実践について述べる。

##### 4.1. 価値

組織やプロジェクトは、単に技術的課題を集団で解決するという以上の価値を持つべきである。単に技術的課題を解くことや個人の宇宙工学への興味を満足させることだけが目的ならば、メンバー間のつながりや教員の関わりは無機的なものとなりがちだけでなく、ステークホルダーへの社会的責任も不十分となる。よって、プロジェクトは技術開発を超えた具体的な“善い”目的(Common Good)を持つべきである。これにより、またこれによってのみ、組織は持続的かつ健全に育つことができる。この点は、企業が策定する企業理念に近い。著者らは、本プロジェクトおよびその実践の場であるプロジェクト会議の持つべき価値について、以下のように考えている。

- 学生自身によるプロジェクトマネジメントとそれによる成長
- 宇宙工学での実践的な暗黙知の獲得と形式知への変換
- 技術の積み上げによる挑戦課題の高度化

つまり、学生自身が過去の成果を自分のものにしなが、問題を解決して技術を組織の中に積み上げ、個人として成長していく。このサイクルを教員と修士2年生が支援して繰り返し、実践的な知識を増やしていく。そして、個人や単年度では解決し得ない複雑で高度な課題を解決する。これらを本プロジェクトの価値として目的化する。

##### 4.2. 原則

プロジェクト会議の原則は、改善、開発のリズムづけ、そして見える化である。

改善：

本プロジェクトでは、「継続すべきこと、やめるべきこと（改善すべきこと）、挑戦すべきこと」の共有を重視して開発を行ってきた。この視点は、ソフトウェア開発におけるアジャイル開発のフレームワークであるKPT(Keep, Problem, Tryで物事を分ける考え方)を用いると理解しやすい(図9)。KPT

フレームワークはソフトウェア開発手法研究者の Alistar Cockburn によって提案され、IT 産業においてプロジェクトファシリテーションで用いられている手法であるが、他業界での知名度や応用例は少ない [8]。しかし、物事の振り返りには簡単かつ有用であると考えられる。KPT フレームワークは PDCA サイクルの Check と Act に相当する手法である。

KPT フレームワークにおいて、Keep は上手く行ったこと、継続すべきことである。Problem は不満点や問題点であるが、現在発生している問題（発生型 Problem）と、現状では不具合はないがより高みを目指したとき現状維持が好ましくないという問題（設定型 Problem）がある。特に後者は認識を一段高いレベルに置く必要がある点で、教員や修士 2 年生の視線が重要となる。Try は次に挑戦したいことであり、Keep を強化する方策や、Problem を解決する方策、または全く新しい工夫である。KPT フレームワークは何度も実行することが非常に重要であり、振り返りごとに Keep の欄に“良い”知識が蓄積される。

KPT フレームワークは小規模な会議体に良く適するため、本プロジェクトでは直接 KPT フレームワークを用いたわけではない。しかし、毎年メンバーが変わる中で技術を高めていくために、何を継承し何を改善すべきかに焦点を絞りその方策をメンバーが考えるという体制をとって開発を進めてきた。

テーマ：（例：次期自律誘導ロケットのアビオニクス開発）	
<b>Keep</b> ・ やって良かったこと ・ 次回も継続すべきこと	<b>Try</b> ・ 課題の解決策 ・ 新たにチャレンジすること
<b>Problem</b> ・ 発生または設定された問題 ・ 今後起こりそうな問題 （解決策は書かない）	

図 9 KPT フレームワーク[8]

リズム：

1 年というプロジェクトのスパンでは、開発のスピードを保つことが重要である。よってプロジェクト会議を毎週行い、リズムを作り出す。メンバーは前週の段階で次週の予定を述べているため、毎週進捗を報告するべく改善作業を試すこととなる。しかしプロジェクト会議は大人数の会議であり、教員対メンバーあるいは修士 2 年生対メンバーという縦のコミュニケーションが主なものとなるため、メンバー間の連携が起こりにくい。よって、細かな問題点の解決やチーム間で話しあう必要がある課題は、プロジェクト会議の前に自前に整理する必要がある。そのため、必要なメンバーのみの会議を奨励し、教員不在の方が捗る案件を処理させている。

見える化：

見える化には 4 つの対象があり、それぞれ問題、進捗、予定、反省である。問題の見える化は、包み隠さず課題を皆に見せることである。この作業では、図面や試作品などの現物を重視する。進捗の見える化は、目標に対してどの程度仕事が完了しているか、残りのタスクは具体的に何かという情報を共有するものであり、終わったもののみを進捗率に計上する（作業中のものは、どれほど完成が近くても 0%の進捗となる）。予定の見える化は、それぞれの班の進捗がお互いにどのような及ぼす可能性があるかを調整する。反省の見える化は、プロジェクトの終了時点で行う最も大切な見える化である。

#### 4.3. 実践

本プロジェクトにおいては、週 1 回のプロジェクト会議がその実践の場として機能する（図 10）。会議では、基本的に各班が 1 周間の間に進捗した設計や作業結果を報告する。その報告に対して、未知の課題は主に教員が助言し、既知の課題は修士 2 年生が具体的な指示を与える。これにより、創出さ

れた形式知（設計や試験結果）に教員や修士2年生の経験という暗黙知が加えられる。



図10 プロジェクト会議の様子

図11にプロジェクト会議を含む本論文での技術創出のサイクルを示す。このサイクルは、野中らの提唱するSECIモデル [7]に基づく分析である。SECIモデルには、共同化、表出化、連結化および内面化のプロセスがある。共同化（Socialization）は複数人で暗黙知を共有し、新たな暗黙知を獲得するプロセスである。本例では、各員の共同作業と非公式のミーティングに相当する。表出化（Externalization）は暗黙知を形式知に変換するプロセスであり、本例ではプロジェクト会議の設計資料作成に相当する。連結化（Combination）は複数の形式知を組み合わせて体系的な形式知を創造するプロセスである。本例ではプロジェクト会議の議論に相当し、修士2年生や教員の助言による重要なプロセスである。内面化（Internalization）は個人が形式知を実体験し、暗黙知を体得するプロセスである。本例では各員の実作業に相当する。プロジェクト会議では、主に表出化と連結化が行われるが、表出化は技術伝承に、連結化は技術の高度化に不可欠である。

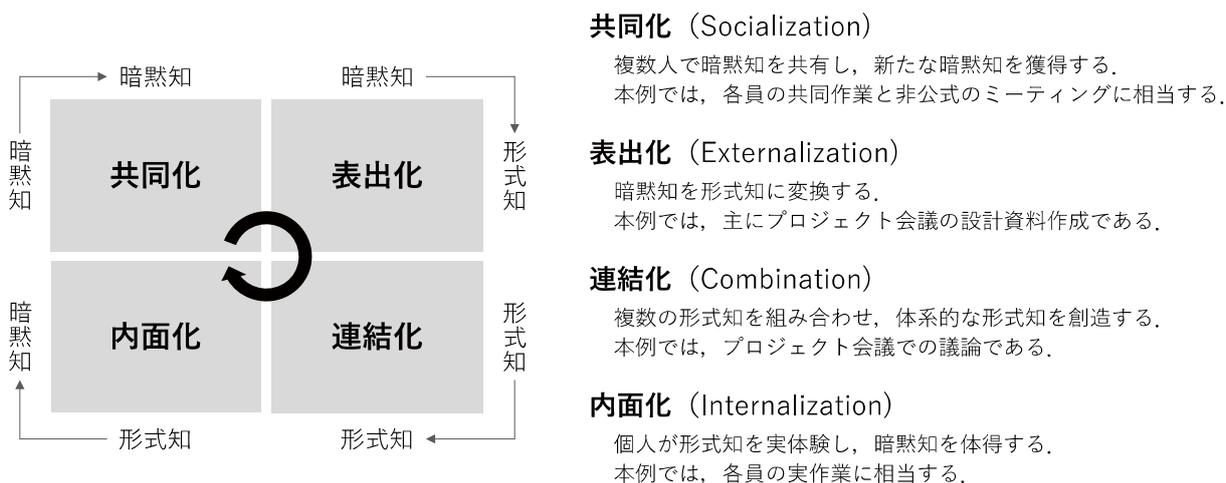


図11 プロジェクト会議を含む技術創出のサイクル（SECIモデル [7]）

プロジェクト会議の実践で重要となるのは、作業の見える化である。以下では、進捗、予定、反省の見える化の実践手法を述べる。

進捗の見える化：

毎週の進捗を進捗率で評価する。ただし、進捗率そのものの厳密性は求めない。重要なのは数%の差ではなく、どのグループの何の作業に問題が発生しているかを皆が把握することにある。図 12 はある週のアビオニクス班の全体進捗報告を開発資料より抜粋し再構成したものであるが、ソフトウェアと試験が難航していることがわかる。そこで図 13（開発資料より抜粋し再構成）のようにソフトウェアの個々の開発状況を見ると、冗長系の開発に課題があることがわかる。進捗率の見える化により、教員や修士 2 年生は開発が難航している箇所やその技術的解決策についてアドバイスできる。

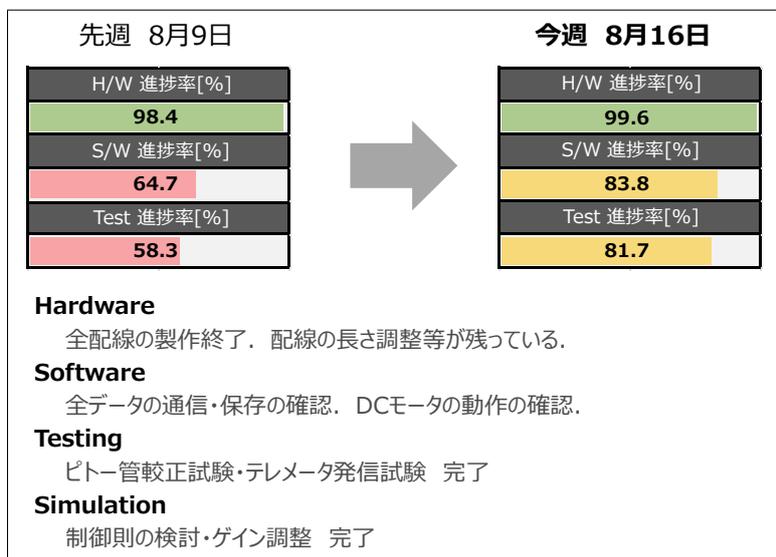


図 12 全体進捗の把握（アビオニクスの例）

プログラム	進捗率 [%]
制御	90
主通信	100
副通信	87
冗長	40
センサ	93
データベース	93
<b>合計</b>	<b>83.8</b>

図 13 個別のタスクの把握（ソフトウェアの例）

予定の見える化：

各グループの予定と残りの作業を把握する。図 14 は開発終了に近いある時点（8 月 16 日）でのアビオニクス班の今後のスケジュールである。打ち消し線のついていないタスクは完了を示しており、幾つかは完了しているものの全体としては未了のタスクが多い。よってアビオニクス班は図 15 のように計画を変更して提案したが、打ち上げまでの余裕が少ない。これは前述した各班の進捗状況だけではわからない未来に関する情報である。予定に関して大きな問題が予想される場合、メンバーだけでなく教員や修士 2 年生が対応策を提案する。この場合は全体計画の修正を行うとともに、他の班が作業を分担できないか、アビオニクス班の一般的なタスクを減らせないか、他のリソースを確保できないかなどを全体で検討する。問題を回避し、また最小限に抑えるには常にリソースの再配分が必要であり、全員が進捗状況に加えて各班の予定を把握するべく、予定の見える化が必要である。



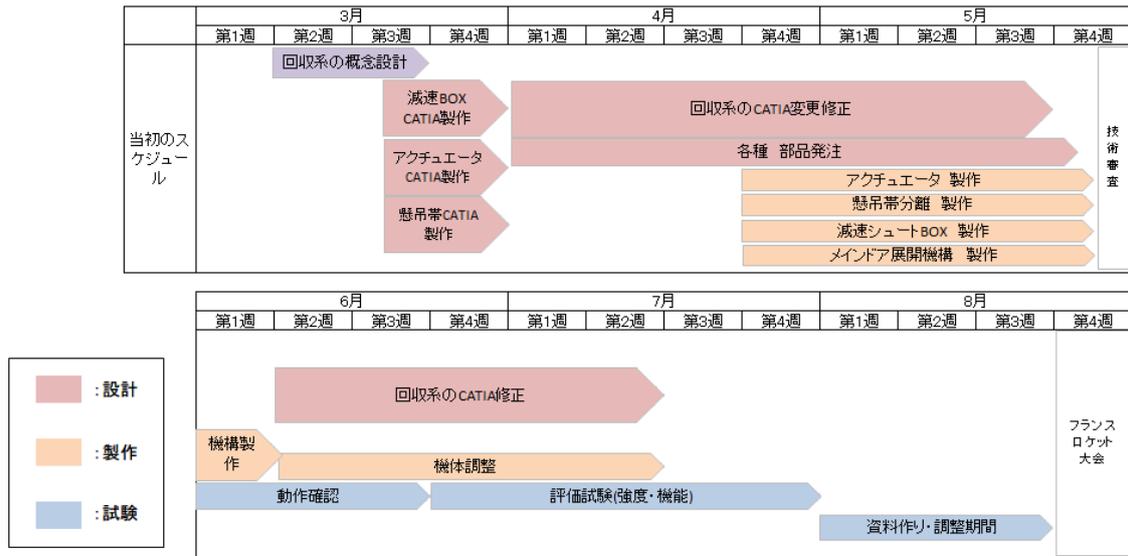


図 16 プロジェクトの当初の作業計画

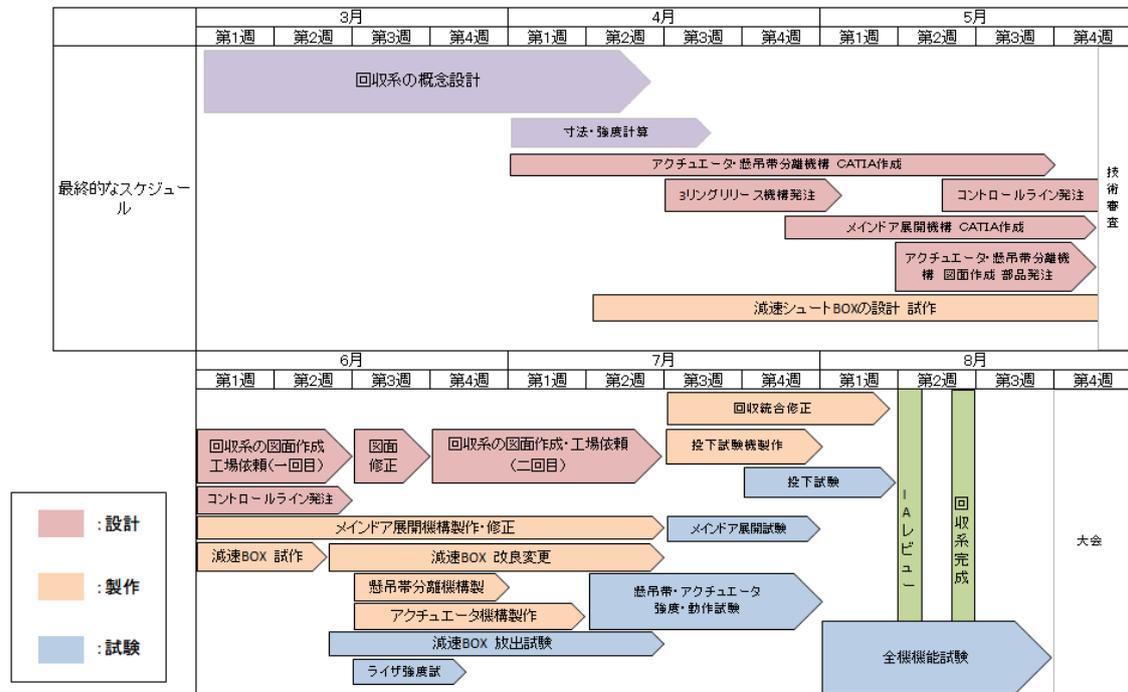


図 17 プロジェクトの実際の作業履歴

### 5. ケーススタディ

本章では、前章にて述べたプロジェクト会議の価値、原則、実践がどのように適応されて、具体的な課題がどのように解決されたかを示す。

#### 5.1. 2010 年度での改善 (NINJA-10 のケース)

九州工業大学宇宙クラブが 2009 年に開発したロケット NINJA-9 では、ロケットが無事打ち上がりパラフォイルの放出も成功した。しかし、パラフォイルが放出された後に開傘する間に、機体のフィンに絡まった (図 18)。それによりコントロールラインがねじれ、ハーフブレーキ解除が行えず、誘導制御が不能となるという課題があった。



図 18 NINJA-9 におけるパラフォイルのフィンへの絡まり

2010 年に開発された機体 NINJA-10 では、この経験と反省を活かすことが重要であった。具体的には、修士 2 年生から次の問題提起があった。

- 今回成功したパラフォイル放出ドアの開放機構はそのまま継承すること (Keep)
- パラフォイルが放出後にフィンに絡まったため、パラフォイルを安全に開傘する仕組みを新たに考えるべきこと (発生型 Problem)
- もし新たな手法でパラフォイルが無事に開傘しても、ハーフブレーキが解除できないと制御を開始できないことから、ハーフブレーキ解除機構を二重化すべきこと (設定型 Problem)

#### 5.1.1. パラフォイル放出時のラインの絡まりの解決

修士 2 年生からパラフォイルが放出時にフィンに絡まることを指摘された参加学生は、パラフォイルをバッグに入れる着想を得た (図 19, 20)。これによりパラフォイルが放出直後に展開し始めることがなくなり、フィンに絡まる可能性は小さくなる。



図 19 2009 年度のパラフォイル  
(直接折りたたまれている)



図 20 2010 年度のパラフォイル  
(バッグに収納されている)

### 5.1.2. ハーフブレーキ解除機構の二重化

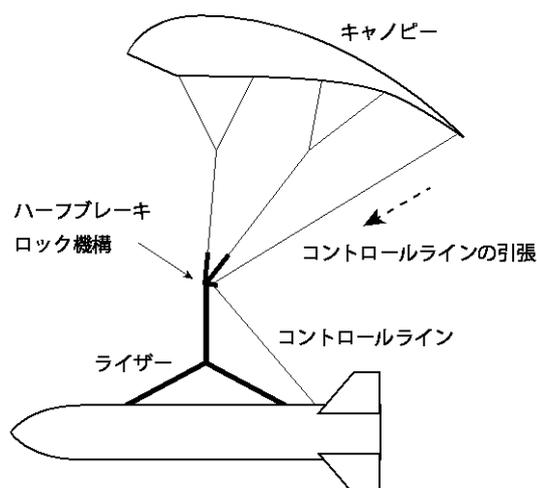


図 21 パラフォイルによる飛行

ハーフブレーキとは、パラフォイルのキャンピーの左右後縁にあるコントロールライン（図 21）両方を互いに限界値の半分程度まで引っ張った状態である。自律誘導制御ロケット NINJA のパラフォイルは、ハーフブレーキ状態で開傘される。ハーフブレーキにより、後縁回りの流れが剥離し揚力係数が抑えられ、開傘時の空力荷重が小さくなる。開傘後一定時間が経過し機体の揺動が収まるとハーフブレーキは解除され、誘導制御飛行が開始される。

もしハーフブレーキが解除されなければコントロールラインはロックされたままであり、誘導制御を行うことができない。従来はこの手順はこれまでさほど重視されていなかったが、パラフォイルを絡まらず開傘させてもハーフブレーキ解除に失敗すれば実験目的が達成できない。よってハーフブレーキ解除用のモータを増設し、この手順を二重化して信頼性を向上させた（図 22, 23）。

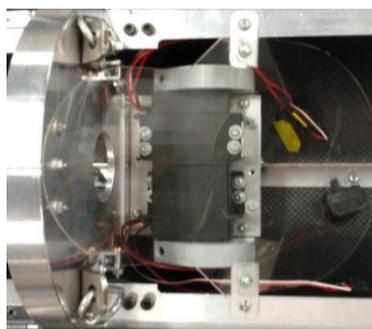


図 22 2009 年度のハーフブレーキ解除機構

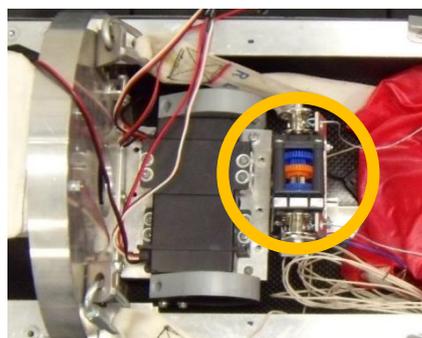


図 23 2010 年度のハーフブレーキ解除機構

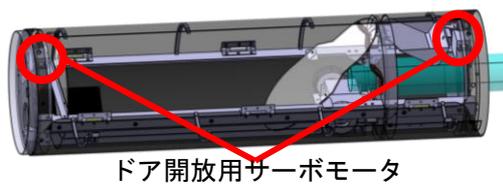
## 5.2. 2011 年度での改善（NINJA-S のケース）

NINJA-10 は、NINJA-9 の課題を解決していたが、天候不良により打ち上げされなかった。しかし超音速ロケット SAKURA が打ち上げられ、マッハ 1.07 の飛行を達成した。NINJA-10 は実験されなかったものの、担当学生は試験を重ねる中で NINJA-10 の課題を発見していた。それは、NINJA-9 から継承したパラフォイルドアにあった。また、超音速ロケット SAKURA が大きな成功を収めたため、その成果を取り込むことも課題であった。具体的には以下の通りである。

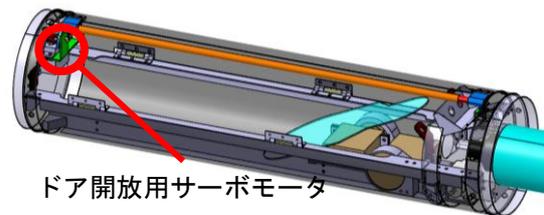
- パラフォイル放出ドアの開放機構の信頼性を向上させること（設定型 Problem）
- 超音速ロケット SAKURA の成功を自律誘導ロケット NINJA に取り込むこと（設定型 Problem）

### 5.2.1. パラシュートドア開放機構の信頼性向上

NINJA-10 のパラフォイルドアはバネ蝶番で留まっており、上端と下端に位置する 2 つのモータが同時に動くことで金具が外れドアが開く。しかし片方のモータが故障すればもちろん、2 つのモータの動作タイミングが何らかの原因でずれても金具がこじれてドアが開かなくなる恐れがある。つまり、モータ 2 つの構造はモータ 1 つの場合よりもリスクが大きい。このことに修士 2 年生が気づき、参加学生に改善を指示した。その結果、2011 年に開発された NINJA-S ではドア開放用モータがドアの上端に 1 つだけになり、リンクを動かすことで下端の金具を動かす形に改善された。新たな機構では必ず金具は同時に外れる上、故障のリスクは半減した (図 24, 25)。



ドア開放用サーボモータ



ドア開放用サーボモータ

図 24 2010 年度のパラフォイルドア開放機構

図 25 2011 年度のパラフォイルドア開放機構

### 5.2.2. 滑空時間の増加

2010 年度に開発された NINJA-10 は滑空時間が 334 秒と見積もられていたが、2011 年度の NINJA-S ではそれを倍増以上にさせる計画が現学生から提案された。これは、前年度に成功した超音速ロケット SAKURA のコンセプトを一部取り入れることで実現されるものである。NINJA-S では胴体直径が 30 [mm] 減少し、エンジン以外の質量も 1.11 [kg] 減少した。さらにエンジンは一回り大きい物を使用することで、トータルインパルスが約 77% 増加した。現実的な問題として、小径化と軽量化を追求した超音速ロケットの構造様式を自律誘導ロケットにそのまま転用することは困難である。この設計は、先輩の挑戦を継承し発展させたいという参加学生の強い意思により実現されたものである。小径化で空力抵抗を減らし軽量化で運動能力を高め、更に大出力エンジンを採用したことで、結果的に滞空時間は 129% 向上した。トータルインパルスの向上分を大きく上回る滞空時間と最高到達高度を考えれば、設計は成功したと考えられる (表 1)。

表 1 2010 年 (NINJA-10) と 2011 年 (NINJA-S) の機体諸元比較

		NINJA-10	NINJA-S	変化
全長	[mm]	1773	1800	+27 [mm] (+1.5%)
胴体直径	[mm]	182	152	-30 [mm] (-16%)
乾燥質量	[kg]	10.88	9.77	-1.11 [kg] (-10%)
トータルインパルス	[Ns]	2063 (Pro54)	3660 (Pro75)	+1579 [Ns] (+77%)
最高到達高度 (計算値)	[m]	686	1715	+1029 [m] (+150%)
パラフォイルでの 滑空飛行時間 (計算値)	[s]	334	764	+430 [s] (+129%)

### 5.3. 2012年度の改善 (NINJA la dernière ケース)

2011年に行われた大会において、ロケット (NINJA-S) はパラフォイルをフィンに絡まずに展開させることができた。しかし、コントロールラインが機体に絡まり、誘導飛行を行うことができなかった (図 26)。



図 26 NINJA-S のパラフォイルのコントロールラインの機体への絡まり

コントロールラインが機体に絡まるという問題は、コントロールライン展開時のパラフォイルの開傘時の衝撃が大きく、その力で機体が大きく揺動するためである。また、かねてより教員と過去の参加学生から指摘されてきた、アビオニクスベイの配線の取り回しの問題への解決策がメンバーより発案され、実行に移された。2012年に開発された NINJA la dernière (フランス語で“最後の忍者”の意) では、主に以下の点を前年度から改善した。

- パラフォイル開傘時のライン絡まりの低減 (発生型 Problem)
- アビオニクスベイの配線取り回しの改善 (発生型 Problem)

#### 5.3.1. パラフォイル開傘時のライン絡まりの低減

パラフォイルの開傘に伴う機体の揺動を無くすことは不可能である。これまでのパラフォイルの開傘では、バッグからパラフォイルが放出されると直ちに展開し、パラフォイルの開傘の衝撃で水平になっている機体に対して回転運動が発生する (図 27)。

2012年の NINJA la dernière では、パラフォイル開傘時は機体を下向きに保ち、揺動が収まった後に機体を水平にしてハーフブレーキを解除する技術を採用した。この手順では、機体がパラフォイルを開傘させる時は下を向いているため、揺動が小さい。その後、懸吊帯を分離して機体姿勢を水平にする。この動きはパラフォイル開傘よりも衝撃が小さいため、機体が大きく揺動することはない (図 28)。

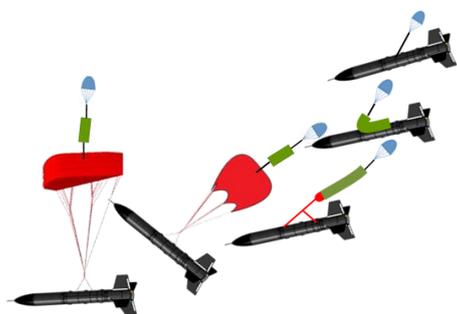


図 27 2011年度のパラフォイル開傘手順



図 28 2012年度のパラフォイル開傘手順

### 5.3.2. アビオニクスを整備性向上

本プロジェクトの開発するロケットは分散処理系を採用している。これは、機能の粒度を小さくすることで個々のコンピュータの開発負担を軽減し、かつ実際の航空宇宙機に近い設計思想を規模の小さいロケットでも採用したいと考えたからである。この狙いはある程度実現されたが、実際のロケットは配線が複雑になるという副次的な課題が発生した(図 29)。その結果、過去のアビオニクスは整備性が低く、配線に起因する接触不良等の問題が起りやすかった。このため 2012 年度は配線専任のメンバーを置き、CAD 上で配線を作りこんだ。さらに、配線量そのものを減らすため底面基板を採用した。この結果アビオニクスベイスの整備性が大きく向上し、配線に起因する問題も減少した(図 30)。

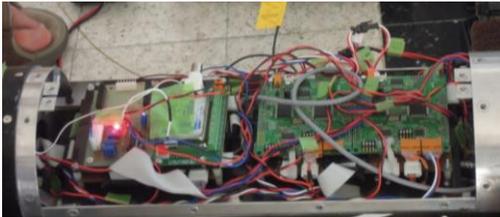


図 29 2011 年度のアビオニクスベイスの配線

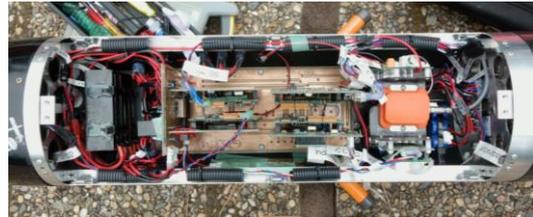


図 30 2012 年度のアビオニクスベイスの配線

### 5.4. 開発の総括

これまでの開発を総括すると、表 2 のようになる。2006 年度から 2008 年度にかけては、ホビー用の小型のパラフォイルを用いて開発を行っていた。しかし機体規模に対してパラフォイルの大きさが不足しており、十分な誘導飛行を行えなかった。よって、2009 年度より藤倉航装株式会社に依頼し本格的なパラフォイルを用いた開発を開始した。しかし大型のパラフォイルをロケットから安定に開傘させることは難しく、2009 年度～2011 年度まで成功しなかった。だが、最終年度となった 2012 年度の NINJA la dernière では、ハーフブレーキ解除時の過大操作および過大な制御ゲインによる翼型の崩れにより誘導制御には失敗したが、これまで失敗していたパラフォイルの開傘とコントロールラインの操作に成功した。この間、作業する学生は毎年完全に入れ替わりかつ毎年新規に設計開発を行っている。本論文が紹介する手法は初年度より少しずつ改善され実行されてきたが、表 2 の結果は各世代で技術が伝承され、一歩ずつ技術の進捗があったことを示していると考えられる。なお、2012 年度に達成できなかったパラフォイルによる自律誘導制御飛行は、著者らが進めている有翼ロケットプロジェクトに統合され、引き続き技術開発と飛行実験計画が進んでいる。

表2 開発の総括

	2006~2008 年度	2009 年度	2010 年度	2011 年度	2012 年度
ロケット名	-	NINJA-9	NINJA-10	NINJA-S	NINJA la dernière
ロケットの 打上げと回収	一部成功	成功	打上中止 (天候不良)	成功	成功
パラフォイル 開傘	一部成功	失敗 (フィンへの絡まり)	-	成功	成功
コントロール ラインの操作	失敗	失敗	-	失敗 (ピトー管への絡まり)	成功
誘導制御	失敗	失敗	-	失敗	失敗 (ハーフブレーキ解除時の過大操作および過大な制御ゲインによる翼型の崩れ)
備考	<ul style="list-style-type: none"> <li>パラフォイルの大きさの不足</li> <li>テレメータ不動作</li> <li>動翼によるロール制御</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ホビー用でなく,本格的なパラフォイルの採用</li> <li>大会最高賞受賞</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>パラフォイルライザーの絡まり対策</li> <li>同時開発の超音速ロケット SAKURA がマッハ 1.07 を記録, 大会最高賞</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大推力エンジンによる滑空時間の大幅増加</li> <li>ハーフブレーキ解除機構二重化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>パラフォイル開傘手順の改善</li> <li>ロール制御廃止</li> <li>配線設計を徹底</li> </ul>

## 6. おわりに

本論文では,九州工業大学宇宙クラブがフランスでの国際ロケット打上競技会に参加する中で培った,世代を超えた技術伝承と教員との連携のベストプラクティスについて報告した.著者らは,技術開発のサイクルに指導教員,修士2年生,修士1年生および学部4年生が適切な役割を理解して参加し,毎年獲得した技術や派遣経験の蓄積と,それを次の開発へ反映させる仕組みを作り実践した.それは,マイスター制度的なプロジェクト組織と,知識伝承の場としてのプロジェクト会議にある.マイスター制度的プロジェクト組織とは,学生の技術力の成長に合わせて学びの役割が変わるという仕掛けである.プロジェクトに初めて参加する学部4年生は,技術見習いとして活動の様子を1年間見習って学ぶ.次に修士1年生になると,プロジェクトの中心的立場でマネジメントも含めて実際にものでづくりをして学ぶ.そして修士2年生になると,実作業からは離れ,アドバイザーとして助言することで学ぶ.一方プロジェクト会議の役割は,知識の伝承にある.伝承すべき知識には,明文化できる形式知と明文化が困難あるいは未了の暗黙知とがある.著者らは毎週開催するプロジェクト会議を形式知の伝承と創造および暗黙知の表出の場とした.これにより,創出された形式知(設計や試験結果)に教員や修士2年生の経験という暗黙知が加えられる.マイスター制度的プロジェクト組織と技術伝承のプロジェクト会議という2つの取り組みにより,九州工業大学宇宙クラブは,フランスでの国際ロケット競技会に挑戦した7年間で,大会最高賞を2回受賞するまで技術を高めることができた.

## 参考文献

- [1] Naoki Tsuji, Yusuke Inoue, Shogo Miyata, Yuki Muranaka, Yoshiki Jimba, Daichi Watanabe, Kota Ishitsu, Tatsuya Senobu, Kiyoshi Hirano, Tomohiro Yano, Keita Fukuda, Shinichi Sagara and Koichi Yonemoto, *Launch Campaign of KIT Student's Experimental Rocket "Ninja-09" in France*, CD-ROM Proceedings of the 2009 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology, No. 106, 2009.

- [2] Keita Fukuda, Koichiro Abe, Hiroshi Kamoda, Hirotaka Goto, Ken Nishihara, Akihito Shigetomi, Susumu Fujii, Shintaro Miyamoto, Tomohiro Narumi, Takaaki Matsumoto, Shinichi Sagara, Yasuhiro Akahoshi and Koichi Yonemoto, *Flight Test Result of Kyutech Student's Experimental Rockets "Ninja-10" and "Sakura" in France*, CD-ROM Proceedings of the 28th International Symposium on Space Technology and Science, 2011-g-33, 2011.
- [3] Eiji Kato, Hiroshi Ogawa, Akira Todaka, Kei Hiraoka, Atsutoshi Hiramatsu, Yuki Mizumoto, Wataru Hirata, Ryuki Nakamura, Akira Tsuruta, Shunsuke Iwai and Hiroshi Ohtsu, Takaaki Matsumoto, Koichi Yonemoto, *Development and Flight Test of a Small Rocket that Glides Using Parafoil*, CD-ROM Proceedings of the 2012 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology, No. 391, 2012.
- [4] C'Space 2013 ウェブサイト, <http://cnes.cborg.fr/cspace/2013/en/>
- [5] C'Space 2012 ウェブサイト, <http://www.planete-sciences.org/espace/-C-Space-2012->
- [6] 野中郁次郎, 「知識創造の経営」, 日本経済新聞社, 1990年.
- [7] 野中郁次郎, 竹内弘高, 梅本勝博, 「知識創造企業」, 東洋経済新聞社, 1996年.
- [8] Alistar Cockburn, *Crystal Clear: A Human-Powered Methodology for Small Teams*, Addison-Wesley, 2004.