UNISEC Space Takumi Journal

for Practical Study of Problem Finding and Solving in Space Systems

Vol.1, No.1, 31 March 2011

UNISEC
University Space Engineering Consortium

［目次］

巻頭言

工学の創造的方法を普遍化する挑戦的な試み―日本発の世界標準 Space Takumi に期待する―	松永三郎	1

寄稿文

本ジャーナルへの期待：実践的宇宙開発活動の学術的基盤の整備に向けて	中須賀真一	4
宇宙工学成果を正当に評価する「スペースタクミ」への期待	黒木聖司	7
UNISEC Space Takumi Journal 発刊に寄せて	永田晴紀	8
「UNISEC Space Takumi Journal for Practical Study of Problem Finding and Solving in Space Systems」に期待すること	宮崎康行	9
UNISEC Space Takumi Journal への期待：宇宙教育理念の明確化・手法の体系化と成果の定量化	秋山演亮	10

特別寄稿

大学・高専における超小型衛星・小型ロケットの実践的研究活動と新しいシステム工学への期待	中須賀真一	11

Copyright © 2011 UNISEC

UNISEC Space Takumi Journal for Practical Study of Problem Finding and Solving in Space Systems
Unisec Space Takumi J. Vol.1, No.1, pp.1-3, 2011

【巻頭言】

工学の創造的方法を普遍化する挑戦的な試み
ー 日本発の世界標準 Space Takumi に期待する ー

松永 三郎
東京工業大学 機械宇宙システム専攻 准教授／UNISEC Journal 委員会取りまとめ／UNISEC 副理事長

宇宙システムのような巨大複雑システムの統合技術は、人を簡単に寄せ付けない作業環境下で、時間的にも空間的にも大規模複雑なシステムを実現する技術であり、高信頼性、頑健かつ再構成可能な巨大複雑システムを合理的かつ効率的に実現する総合技術である。これらは、ミッション企画、概念検討、解析、設計、開発、試験、輸送、運用、管理に渡るすべての項目を統合的に捉え、きわめて多数の厳しい制約条件を満たしつつ、厳格に定義された多様かつ高機能な要求を実現するための統合設計・管理方法が要求される。要素研究や要素開発技術の高度化を図りつつ、それぞれの要素関係を定義して、高度な機能を実現するためのシステム設計を体得して、部品点数にして数百万点をはるかに超える巨大複雑システムを恒常的に開発生産して、多数のシステムからなるシステムを不具合なく信頼性を確保しながら構築する知恵を身に付けることは、世界を牽引するための必須課題である。

さて、日本では、古来から工業技術が身近に親しまれ尊敬されてきており、大工職人や工芸家など技術者集団に対し、尊敬の念を込めた「匠（タクミ）」と呼称されてきている。さらに、腕は立つが頑固な職人という狭いイメージを超えて、棟梁や名人などをも凌駕した巨匠という最上位な呼び方や、「たくみ」な工夫、意匠、などさまざまな意味を内蔵している。これは世界的にも稀な価値観であり、国土が狭く天災の多い日本で住むためには技術力の獲得維持向上が必須であり、常に創意工夫を行う国民性によるものであるかもしれない。

このような技術や工学への敬意を持つ価値観を世界に発信することを目指し、統合宇宙システム技術を体得した人材を、宇宙システム分野での巨匠という意味で、Space Takumi と呼びたい。スペースタクミを育成し、宇宙を現場として新しい問題を発掘し解決していくことを奨励して、その総合知識を効果的に蓄積するために、この度、NPO 大学宇宙工学コンソーシアム UNISEC が創刊する新しい学術雑誌である、UNISEC Space Takumi Journal for Practical Study of Problem Finding and Solving in Space Systems を発刊することを心から喜びたい。

ところで、学術論文を書くという行為の大きな流れを誤解を恐れず端的に表現すれば下記の作業に集約されると思われる。

１）自分との相互作用
　a) 自分の頭にひらめいた発想（アイデア、想念、観念、妄想など）を
　b) 対象を通して、理論的にまとめ上げて言語化・符合化する
２）対象（自分、他者、環境、など）との相互作用
　c) 発想の価値を体験的に検証する（理論・実験・実証）

ここでは、自分、他者、取り巻く環境とは何か、その区別の本質は何かなどの根本的な問いかけは哲学にまかせ、ここでは素朴な共通理解が成立していると仮定している。
一方、他人の書いた論文を読んで理解する行為の流れは、上記と対照的な下記に集約されると考えられる。

１’）自分との相互作用
　a’) 自分の頭の中に整理消化された想念として定着させるために
　b’) 対象を通して、言語化・符号化された文章を理論的に解読する

Copyright © 2011 UNISEC

b) その際に、理論的にまとめ上げて言語化・符合化する
２’）対象（自分、他者、環境、など）との相互作用
c’) 発想の価値を検証してきた実証行為を再現する

論文を通した相互理解のための行為は、他人の想念 a)を知るために、他人が c)を根拠に作成した b)を経由し、それを自分において、b’)を経由して、再現された c’)を根拠に、自分の想念へ同一視する過程 a’)=a)を経て理解できる（したつもりになる）と考えられる。即ち、記号的には、次のように表現される。

論文を書く行為： a => b <=> c => b
論文を読む行為： b’ <=> c’ => b => a’ = a
論文を通した相互理解： 他人：a => b <=> c => b => b’ <=> c’ => b => a’ = a：自分

この上記の２）や２’）の対象との相互作用 c)、c’)のありように問題の難しさがあり、相互作用の段階としてモノつくりを対象とした一つの切り口として、下記が考えられる。

３）検証のための相互作用の段階	相互作用エネルギー（労力）
a) 頭の中の想念における相互作用	小
b) 言葉や数式などで記述された言語・符号との相互作用	中
c) モノとの相互作用	大（$E = mc^2$）

ここで、区別のしやすさを優先してモノと記述している。上記の c) モノとの相互作用においては、モノの規模と性質（質量 m、サイズ、要素数、複雑度、統合度、完成度、信頼性、安全性など）に応じて、その相互作用を行うに必要なエネルギー（労力）は大きくなると思われる。このモノの価値を規定するには、モノつくりの過程（実現のための方法論）、モノ自体の存在、モノ自体の動作などを評価することが本質となる。この評価過程も、モノの規模と性質に大きく依存する。そのため、モノが主体ではなく、モノに付随する情報など数学を駆使する解析研究などに代表される理論的枠組みに乗りやすい学問領域においては、結果的に論文を書く行為、読む行為、そして、論文を通した相互理解が簡単とは言わないがやりやすいと考えられる。

さて、宇宙システムは、たとえ規模が小さくても、複雑度、統合度が非常に高度になるために、システムの実現には大変な努力と時間を要しており、その全体像を把握することは非常に困難とされている。さらにもっとハードルを上げていることは、地球の大きさを超えた遠隔地を非常に早い速度で移動している物体（モノと情報）を対象としているために、完成品が実際に現場で稼働している様を目の前で観察することがほとんどできないし、故障してもその原因をわずかなテレメトリーデータから推測するしかできないことである。したがって、我々が日々格闘している宇宙システムの研究開発に関して、学術論文としてまとめ上げようとすると、c)自体の相互作用エネルギーが極めて大きいために、論文として書き上げることに関して多大な困難を伴うことになる。しかも、相互理解のために必要なエネルギーも莫大なものとなり、その論文を他人が理解することも困難になるという大きなジレンマを抱えこんでいる。

UNISEC Space Takumi Journal for Practical Study of Problem Finding and Solving in Space Systems は上記に述べたジレンマに真正面から向かい合うために創刊した。宇宙システムの本質とは何か、従来のお金のかかった非常に手堅い信頼性・安全性を確保した開発方法の実績や知見を受け継ぎつつ、熟慮された解析・統合技術を援用した迅速かつ効果的な開発方法とは何か、それらを実践するためにはどうすればよいのか、どう評価するのか、など様々な課題を取り扱い、工学の創造的方法を普遍化することを目指したい。

さらに、審査方法に工夫を凝らしていることにも特徴がある。即ち、専門家による厳正なレビューを基本とするのが学術論文の価値を高める王道の一つであるが、本ジャーナルでは、レビュー過程に

Copyright © 2011 UNISEC

おいて、２段階方式を取っており、第１段階で最低限の質があるかどうかのスクリーニングを極めて短期間で行うこと、そして、第２段階では、第１段階を通過した論文に関して、複数審査員による合議制審査を行う。その過程で常に審査方法を再検討して、同時に審査員の育成を図る。第２段階においては、審査員間の多様な価値基準から生じる意見の相違を調整しつつ、時間をかけすぎない効果的な実践を要請されるが、これはまさに宇宙システム工学の実践である。実践的な宇宙システム工学においては、専門家のみならず、レビューの方法自体を育成・構築する必要があり、その過程自体が挑戦的な実験である。

さて、まえがきが非常に長くなったが、この創刊号準備号では、UNISEC に深いかかわりのある方々から、本ジャーナルへの期待を寄稿していただいた。CubeSat などの超小型衛星の開発・打ち上げ・運用を実践されている UNISEC 理事長で東大教授である中須賀先生、創価大学教授の黒木先生、日本大学教授の宮崎先生、ハイブリッドロケットの開発に尽力されている北海道大学教授の永田先生、そして、CanSat やハイブリッドロケットなどを用いた宇宙教育を開拓している和歌山大学の秋山先生である。さらに、中須賀先生には UNISEC の経緯とジャーナルへのいきさつについて特別寄稿を頂戴している。これらの寄稿からは、本ジャーナルへの熱い期待に満ち溢れている。

UNISEC Space Takumi Journal が、自ら常に高みを目指した要求仕様を設定し、様々な拘束条件による矛盾を飲み込んで、高度に妥協・解決して、血のたぎるような熱気のあるジャーナルになることを心から期待している。

Copyright © 2011 UNISEC

UNISEC Space Takumi Journal for Practical Study of Problem Finding and Solving in Space Systems
Unisec Space Takumi J. Vol.1, No.1, pp.4-6, 2011

【寄稿】

本ジャーナルへの期待：
実践的宇宙開発活動の学術的基盤の整備に向けて

中須賀 真一 [1,*,†]
[1] 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻,
〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

1. 大学・高専の実践的宇宙開発活動が学問分野として育つ「土俵」の整備

日本における大学・高専の実践的宇宙開発活動の経緯は後の特別寄稿に述べるが、そこに現れるように、政府主導の中・大型衛星や大型ロケットとはその成り立ちを異にする超小型衛星や小型ロケットは、おそらく従来の宇宙開発では見られなかった新しい境界条件・問題・課題を内在しており、また、その結果、異なるシステムズ・エンジニアリングや信頼性の考え方が存在する、あるいは必要であると思われる。実際、超小型衛星や小型ロケットの開発者は、宇宙開発の標準的な方法論を教科書で勉強するものの、さまざまな開発活動の中で、ほとんどは無意識のうちに自分たちなりのシステムズ・エンジニアリングを身につけ、適用し、その結果を打ち上げ実験や軌道上運用の成功・失敗の中で肌で感じてきたであろう。しかし、それらの分析、つまり、「どのような手法を適用したらどういう結果だったか、またそれはなぜなのか」の解析が不十分であったり公開されてはいなかったりするために、この莫大な経験が共有されず、その結果、汎用的な方法論に昇華するまでには至っていないのが現状である。

超小型衛星や小型ロケットの個別の要素技術、たとえば、超小型衛星における姿勢制御や材料、ロケットにおける燃焼方式など個別の分野では、それぞれの学術コミュニティ（制御、材料、燃焼など）の中での発表や交流を通し、一つの学問としての「道筋」つまり、新しいアイデアが出てきたら、それを理論的につめ、シミュレーションや実験をし、その結果を発表し、周りの人が評価・議論して、その成果が次にフィードバックされるというサイクルが行われ、その活動の中で学術分野の中の一技術として成熟していく。しかし、ここで対象とするような実践的宇宙開発活動特有のシステムズ・エンジニアリングや設計論、アーキテクチャ論などについては、そのような「土俵」が現在はないのである。

その「土俵」の整備こそが、本ジャーナルの大きな目的である。つまり、そのような大学・高専をはじめとした、実践的宇宙開発活動におけるさまざまな取り組みを自ら分析し公開することにより、この莫大な経験の宝庫を皆で共有し有効活用できる学術的基盤を作ること、そしてジャーナルを通した議論により、新しいシステムズ・エンジニアリング・設計論・方法論・信頼性工学などを形作っていくことにあるのだ。

2. ジャーナル上に発表し議論すべき内容の例

多くの大学・高専では、予算がなかったり、開発期間が短かったり、また学生がどんどん入れ替わって技術のトランスファーが困難だったりなど、さまざまな境界条件の中での精一杯の工夫をしたと思われる。その工夫をぜひ皆に知らせてほしい。失敗はつらいし恥ずかしいが、なぜ失敗したかの自己分析とその失敗から得たことをぜひ正直に述べてほしい。自己分析をし、正直に述べることで一番育つのは自分自身なのである。新しい開発手法を試してうまくいった、いかなかったの経験は、自分だけにとどめないでほしい。信頼性などの新しい考え方が見つかったら、自分で試す時間はなくても発表して、誰かが試すチャンスを与えてあげてほしい。そして、とても大変だった開発がなぜか心地よい経験であった、そのような良いエネルギーが回ったプロジェクトや組織はその理由をぜひ考えて

* Corresponding author.
† E-mail: nakasuka@space.t.u-tokyo.ac.jp.

Copyright © 2011 UNISEC

みてほしい。そのような経験は、同様の問題を抱えた、あるいは同様の試みをしようとする他の開発者に必ずや大きな情報をもたらすに違いない。そして、誰かがその貴重な経験や知見を発表したら、それを元にみなで議論して、お互いの知見を高め合うようにしよう。

ここで大事なことは、ただ経験を開発物語として述べるだけでなく、きちんと解析をすること、つまり、実施したことがどうしてその結果を生んだのか、他にやり方はなかったのか、何が一番大事だったのか、をしっかりと解析し、それぞれの一プロジェクトだけの固有のものではない、のちのちまで使える汎用的な知見にまでできるだけ高めた上で報告することである。それがこの分野を「学問」として成熟させる条件である。そして、それを読んだ開発者の間で活発な議論が起こり、超小型衛星や小型ロケットにふさわしい設計論・システムズ・エンジニアリング・信頼性工学などが皆の共有の財産として醸成していくことを期待したい。

保守的で新しい設計論・方法論を試しにくい現状の宇宙開発の現場に対し、さまざまな、時には無謀とも言える挑戦の中で、また予算や活動時間の制約が非常に厳しいような境界条件の中で生まれた新しい開発手法、アーキテクチャは、もしかしたら従来の宇宙開発における設計論・方法論を変える力まで持ち得るかもしれない。それを皆で作り上げていくのも楽しいことではないだろうか。

3. 超小型衛星特有の信頼性工学（ジャーナル上で議論したいテーマの一例）

2010 年には著者は内閣府の最先端研究開発支援プログラムからの研究資金を得て、「日本発の『ほどよし信頼性工学』を導入した超小型衛星による新しい宇宙開発・利用パラダイムの構築」というテーマでの超小型衛星の研究・開発・利用コミュニティを構築する活動をスタートさせた。ここでは、①超小型衛星に適合した信頼性の概念を「ほどよし信頼性工学」という名前で理論体系化する、②要素技術を世界トップレベルに開発し国内に超小型衛星用機器のプールを作る、③超小型衛星用試験方法をはじめ開発プロセスを刷新して短工期を目指す、④以上を統合して実施するオールジャパンの大学・中小企業を巻き込んだ組織作りを実施する、という４つの目標を掲げている。４年と１ヶ月の期間の中で、上記の各テーマでの研究開発を進めるとともに、それを実証する場と利用を開拓する呼び水として５機の超小型衛星の開発・打ち上げをする予定である。

その中で、低コスト・短期開発のまま、ある程度の信頼性を獲得するための戦略として打ち出しているコンセプトが「ほどよし信頼性工学」である。図は衛星開発を通して東京大学が得た性能（信頼度含む）とコスト（手間を含む）の関係を表す概念グラフであり、暗黙知として経験者が持っている感覚である。高い性能を目指すと当然コストは増大するが、その変化はリニアではなく、非線形的である。あるレベルまでは経験・ノウハウの蓄積により、少ない追加コストで性能向上できる。しかし、あるレベルからは、性能を上げるために必要な追加コストが、うなぎのぼり的に増大する。

この理由は、高信頼性を実現するためには高度な機器や複雑な冗長系が必要となり、それが部品点数の増大・それに対応する人員の増大を生み、インターフェース数や人員数の増大が試験の数や文書の増大を生み、さらにそれらを管理する人の増大を生むという「コスト爆発の連鎖」が起こるからである。国の衛星の場合は超高信頼度要求が設定されるため、如何に莫大なコストがかかろうとその点を目指さざるを得ない。一方、超小型衛星は、図 1 中の〇で囲ったようなコスト爆発の手前に設計点を置ける自由度を持っているため、低コストで「ほどほどの信頼度」を実現することができる。これが「信頼度を設定できる自由度」を持つメリットである。

多くの超小型・小型衛星の開発成功者がこのような暗黙知を持っている。もう一つ重要なことは、このほどよい信頼性を目指した結果、逆に高い信頼性を獲得するという面白い現象が起こっている。それがなぜかを解明することも「ほどよし信頼性工学」の目標である。

一つのヒントとしては、達成される信頼度 P_r は信頼度設計値 P_o だけではなく、「設計された信頼度がどのくらいの確率で実現できるかの確実度 P_a 」の関数でもあることである。式で模式的に書くと、$P_r = P_o \times P_a$ のようになるであろう。この P_a は実は P_o の関数であり、通常は P_o が１に近づくほど完璧なロジックの構築・製造・インテグレーションが要求されるため、P_a は下がってしまう。信頼度設計にはこの P_a も考慮に入れ、P_o ではなく P_r が適度な値になることを考えないといけないのである。それが、十分な信頼度設計をしたはずの 600 億円の大型衛星でも壊れてしまう大きな理由の一つであり、シンプルで冗長系を持たない超小型衛星でも、ある程度の信頼度を達成できる理由である。超小型衛星経験者はそれを肌で感じている。シンプル・イズ・ベストであることを。

Copyright © 2011 UNISEC

以上の二点の議論から言えることは、コストと信頼度、信頼度設計値とその実現の確実性の関係という暗黙知をできるだけ正確にモデル化し、それを基に最適な信頼度設定値を選ぶことが非常に大事だということである。超小型衛星にふさわしい信頼性工学と、それを実現するシステムズ・エンジニアリングがどうも存在するようである。本ジャーナル上で議論しその真偽を明らかにしていきたいと考える。

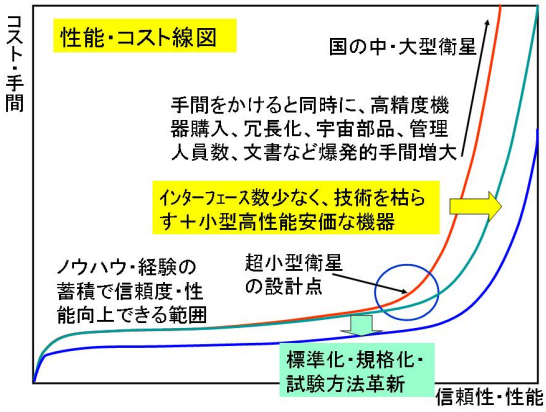

図 1　信頼性・性能とコスト・手間の関係の概念図

Copyright © 2011 UNISEC

UNISEC Space Takumi Journal for Practical Study of Problem Finding and Solving in Space Systems
Unisec Space Takumi J. Vol.1, No.1, pp.7-7, 2011

【寄稿】

宇宙工学成果を正当に評価する「スペースタクミ」への期待

黒木 聖司[1]
[1]創価大学　名誉教授

いままで工学成果は異常に低く評価されアカデミックなものではないとされてきた。その理由は大学の成り立ちと大きな関係がある。「スペースタクミ」が刊行され新しく正しい評価法が確立されることを期待したい。

中世ヨーロッパで、キリスト教の聖職者たちが集まり同業者組合を結成した。カトリックの公用語であるラテン語で、同業者組合を UNIVERSITAS とよぶ。これが UNIVERSITY の始まりである。中世ヨーロッパでは同業者組合が最盛期を迎えていた。商工業者の同業者組合（ギルド）は職業に伴う特権と義務を父が子に伝えることで存続した。一方聖職者は妻帯を許されないので他人の子供を弟子としたため、職業訓練所的なかつ学校的な存在となった。「中世の大学は神学だけ」と言われるが、神学が哲学を生み出し、哲学は物理学を生み出した。このようにして理学までは UNIVERSITY の中に許容された。しかし物理学から生まれた工学は、工業と深い結びつきがあるため、他の工業同業者組合に属するものとされ、欧米の UNIVERSITY には長いこと工学が含まれなかった。欧米の工業大学では UNIVERSITY の名称がつかないものが多い。同じ理由でシステムや実践は商品や手法と考えられたため長いことアカデミックの世界のものではないと信じられてきた。

明治政府は１９世紀末に UNIVERSITY を手本とした「大学」を創立した。明治政府によばれたヘンリーダイアーは日本で工学を学問として確立することを目指し、理論より実践を重視した教育を目指した。ダイヤーの意欲と明治政府の意気込みが結実し、明治末期に大学での工学教育が世界でもっとも盛んだったのは日本である。これは世界史の奇跡といわれる。

戦後日本の奇跡の復興をとげた源泉は、日本での工学教育であると知られ、その成功例が欧米の大学に逆輸入され大学内に工学部が作られたことは記憶に新しい。

２１世紀になっても、実学を学術論文として扱わないのは時代遅れである。大学での工学教育を始めたのが１９世紀の日本であったように、実学をアカデミズムに取り組むことを日本から始めたい。

宇宙開発分野では、衛星システムやコンポーネント、スケジューリング、安全確保の方法論など多くの実践分野の内にもアーカイブ（後世に残すべき記録）となる得るものがたくさん存在する。このような事例の内、失敗法とそれをどのように解決したかの記述はアーカイブとなる。このような観点に立ちコンポーネント、スケジューリング、ほどよし信頼性など多くの分野での失敗法と克服法をこのジャーナルに掲載されることを期待する。

Email address:seiji4k@gmail.com
http://kuro.t.soka.ac.jp/

Copyright © 2011 UNISEC

UNISEC Space Takumi Journal for Practical Study of Problem Finding and Solving in Space Systems
Unisec Space Takumi J. Vol.1, No.1, pp.8-8, 2011

【寄稿】

UNISEC Space Takumi Journal 発刊に寄せて

永田　晴紀
北海道大学　大学院　工学院　機械宇宙工学専攻
宇宙環境システム工学研究室
〒060-8628　札幌市北区北十三条西８丁目

NPO 法人 大学宇宙工学コンソーシアム（UNISEC）では、宇宙工学関連プロジェクトに携わる大学生・高専生の修練の場として、毎年「自己評価プログラム」という事業を実施している。目的は、プロジェクトの成功および失敗が結果として明確に表れるという宇宙関連ミッションの厳しさに耐えて成果を残すことができる工学者を育成することである。参加者はチームを組み、超小型衛星や超小型ロケット等、宇宙工学に関連するプロジェクトに取り組み、年度内に実現を目指すミッションを決める。目標とするミッションは明確であることが求められる。これにより、成功か失敗かが誰が見ても明らかとなる。正しいタイミングで、正しく動作し、目指す結果が得られたか否か。評価基準が明確であるため、事業を評価するための審査者を必要としない。「自己評価プログラム」という名称は、評価基準を事前に設定するのも、評価をするのも、共に参加者自身であることに起因している。

自己評価プログラムを通じて、参加者は、宇宙関連プロジェクトの立案、機器の開発、運用、更には結果の解析までを一貫して行う。これにより得られる実践的な知見は、プロジェクト実施者の財産であるのみならず、宇宙工学の進展に寄与する、より普遍的な価値を含み得る。一般的に、学術的に価値が有ると判断される知識や知見は、論文という形式を通じて研究者コミュニティに共有される。一方で、実践的な工学プロジェクトを通じて得られる知見そのものを学術的価値として認め、掲載論文を採択するジャーナルは、著者の知る範囲では存在しない。これは、自己評価プログラムのような実践的工学研究活動が研究業績として評価されないという点で研究者にとって不幸であることは言うまでも無いが、普遍的価値を含み得る知見を共有する機会が奪われているという点で、工学研究者コミュニティ全体にとっても不幸なことである。実践的な工学研究に対する社会的評価が低いという現状を改善する必要がある。

従来のジャーナルがこれまで積極的に評価してこなかった、実践的工学プロジェクトを通じて得られる知見そのものを学術的価値として評価し、工学研究者全体の財産とする。そのためには、実践的な工学研究を実施する側と評価する側の双方に努力が必要となる。工学分野における学術的価値は有用性と普遍性にある。冒頭で述べた自己評価プログラムでは、ミッションが成功すれば目標達成であったが、実践的工学研究を学問体系の一つとして新たに確立するためには、更なる一歩が求められる。個別の宇宙工学関連プロジェクトから、宇宙工学の進展に寄与する、より普遍的な価値を導き出すことが必要である。評価する側は、従来の常識に捉われることなく、新たに構築される学問分野における普遍的価値とは何かを見極めることが求められる。両者の努力が実を結ぶ場として、UNISEC Space Takumi Journal が発展していくことを期待したい。

Copyright © 2011 UNISEC

UNISEC Space Takumi Journal for Practical Study of Problem Finding and Solving in Space Systems
Unisec Space Takumi J. Vol.1, No.1, pp.9-9, 2011

【寄稿】

「UNISEC Space Takumi Journal for Practical Study of Problem Finding and Solving in Space Systems」に期待すること

宮崎　康行
日本大学理工学部航空宇宙工学科　宇宙構造物システム研究室
〒274-8501　千葉県船橋市習志野台 7-24-1

それまでの「宇宙工学に関する研究を宇宙実証する機会がほとんどない」という状況を打破すべく、2001 年に UNISEC が発足しました。それ以来、2003 年の東大・東工大による世界初の Cubesat 打ち上げ成功をはじめ、UNISEC 参加大学は、超小型衛星やハイブリッドロケットをはじめ、「実際につくって上げて、ミッションを成功させる」という「実践的な宇宙工学」というものを実現してきました。そして、その活動が認められ、国の予算のもとで超小型衛星等に関する複数の大型プロジェクトが走るまでに至りました。また、UNISEC 関係大学からベンチャー企業も誕生しています。海外でも、欧米やアジアの多くの大学が Cubesat や数十 kg 級の衛星の開発、あるいは打ち上げを行っており、ベンチャー企業も多数生まれています。

このような状況の中で、我々は次の段階に踏み込む時期に来ていると感じています。すなわち、これまでの「つくって上げて、成功させる」という段階から、「開発過程や打ち上げ結果等を整理し、より普遍的な学術的成果に昇華させる」という段階へのステップアップです。もちろん、それはそれぞれの衛星プロジェクトで既に行われていることだとは思いますが、それを一か所に集め、「ここにアクセスすれば、実践的な宇宙工学の研究・開発に関する情報が得られる、議論ができる」という場をつくることが、今後の宇宙工学の発展には必要であると感じます。

また、「つくって上げて、成功させる」という「実践的な宇宙工学」の研究・開発における日本の存在感を示し、国際協力等を実現／発展させるためには、そのような場を日本が率先して提供することが、重要なカードになると思います。

是非、「Space Takumi」には、そういった場の一つになってほしいと思います。

「Space Takumi」がそういった場になるには、実践的な宇宙工学活動を、どうやって「普遍的な学術的成果」に昇華させるのか、あるいは、そもそも、何をもって「普遍的な学術的成果」とするのかを、ジャーナル発行者・投稿者・購読者全員で考え、一つの新しい学問体系を作り上げてゆく必要があります。

これまでにも、例えば超小型衛星開発に関するジャーナルは海外で発行されています。しかし、必ずしもそれらのジャーナルが成功しているとは言えない状況にあるかと思います。また、従来の学術誌の枠組みの中で、いわゆる「特集号」として“開発もの”が扱われることもありますが、学術論文というよりはトピックス的な扱いのものが多いのも事実です。これらは、「実践的な宇宙工学」というものが「普遍的な学術的成果」として認められていない、あるいは、そういった成果と認められるレベルにまで投稿論文の内容が深められていないからだと感じています。

しかし、現実にこれだけ衛星やロケットの開発を大学等の学術機関が行っていて、成功する場合もあれば失敗する場合もあることを考えると、そこには何等かの普遍的・学術的な真理が存在し、それを明らかにしてゆくことが社会への大きな貢献になると強く感じます。

そこで、「Space Takumi」には、査読プロセスにおける著者と査読者との議論の中で投稿論文をより内容の深いものに仕上げてゆき、その中で、社会に主張すべき学術的成果を見出していってほしいと思います。そして、それにより、「実践的な宇宙工学」を「普遍的な学術的成果」にまで高め、一つの学問体系を作り出すことに挑戦してほしいと期待しています。

Copyright © 2011 UNISEC

UNISEC Space Takumi Journal for Practical Study of Problem Finding and Solving in Space Systems
Unisec Space Takumi J. Vol.1, No.1, pp.10-10, 2011

【寄稿】

UNISEC Space Takumi Journal への期待：宇宙教育理念の明確化・手法の体系化と成果の定量化

秋山 演亮
和歌山大学 宇宙教育研究所 所長／特任教員

NPO 法人 UNISEC（大学宇宙工学コンソーシアム）には多くの大学・研究室・個人が様々な目的のために参画しているが、その一つが「宇宙教育」であることには多くの会員が賛同する所であろう。しかし UNISEC が求める「宇宙教育」は、これまで主に工学・理学の教員によって進められていたこともあり、いわゆる「教育学」的な位置づけは明確化されていない。またその目的や効果に関する定量的な評価も進んでいない。今回、本ジャーナルが発刊されることにより、実践的な教育手法としての「宇宙教育」が体系化され、より広く深く世界に浸透することを強く期待したい。

UNISEC における宇宙教育には、2 つのルートを見ることが出来る。一つには宇宙開発の現場と乖離した現状に対する問題意識から発した、宇宙技術の OJT としての宇宙教育[1, 2]である。もう一つは宇宙を一つのツールとして考え、我が国が必要とする Animal Spirit[3]を有した人材育成手法として捉える宇宙教育[4]である。

この２つの宇宙教育は、従来の教育機関で行われてきた教育とは異なる多くの類似点を持った手法を採用しており、育成すべき人材像にも多くの共通点がある。いずれも個々の専門知識を単なる知識に留まらせず、それらを有機的に組み合わせ活用する統合力が求められている。また社会での応用を可能とするために、実験の目的を理解し、その為に必要な計測器機を実践的に組み立て、利用できることを必要としている。従来のような個々の専門科目に関する知識や技術の修得のみを目的とした知識伝達型の座学や、理論や法則の確認等結果があらかじめ想定された予定調和的な実験を中心とした教育ではなく、これらの知識や技術を組み合わせ、社会の求めるより実践的・複雑な工学基礎力を、OJT 的に育成する手法が採用されている。本ジャーナルにおいてはまず、このような従来教育との手法の違いと期待される成果の定量評価を明らかにすることを強く望みたい。

また OJT 的な手法を利用する宇宙教育に於いては、缶サットやモデルロケット・ハイブリッドロケット等のサウンディングロケット、あるいはバルーンサットやキューブサットのような「学生チームにより取り組むべき課題」が教育教材として広く利用されている。学生はこれらの製作・運用に携わることにより、工学基礎力を育成する。またその製作・運用に当たっては、プロジェクトの運営のノウハウである「ハードスキル」、およびステークホルダー及びプロジェクトメンバーとの良好な関係性を築くために必要な「ソフトスキル」が重要な手法となる。これが、本ジャーナルで期待されるもう一つの論点である。現在、各地で実施されている様々な教育教材、およびハードスキル・ソフトスキルを磨くための教育手法に関して、活発な議論がされることを、強く望みたい。

「世界（の過半数である）100 カ国で缶サット教育の実現を目指す」というのは長らく UNISEC 事務局長を務められた川島さんの御提案だが、UNISEC が育て広げた宇宙教育は我が国のみならず、世界の宇宙開発を大きく変える可能性を秘めていると筆者は考える。今後、我々の教育手法が本ジャーナルによりさらに深く議論され、世界に広がっていくことを心より期待する。

---

1 川島レイ『上がれ！空き缶衛星』(2004)
2 川島レイ『キューブサット物語』(2005)
3 ジョン=メイナード=ケインズ『雇用・利子および貨幣の一般理論』(1936)
4 秋山演亮『まかせられる人材育成とは？　宇宙教材を利用したプロジェクトマネジメント教育』(2009) 知能メカトロニクスワークショップ講演論文集 pp184-187

Copyright © 2011 UNISEC

UNISEC Space Takumi Journal for Practical Study of Problem Finding and Solving in Space Systems
Unisec Space Takumi J. Vol.1, No.1, pp.11-15, 2011

【特別寄稿】

大学・高専における超小型衛星・小型ロケットの実践的研究活動と新しいシステム工学への期待

中須賀 真一[1,2]
[1] 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻,
〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

1. はじめに

1999 年以降、いくつかの日本の大学・高専では超小型人工衛星やハイブリッドロケットなどを題材に、それぞれの身の丈にあった「物作り」「プロジェクトマネジメント」を土台とした学生の実践的な宇宙工学教育プロジェクトを進めてきた。

小型ロケットの世界では、1990 年代末から北大、首都大を中心にハイブリッドロケットと呼ばれる、学生でも安全に関発できるロケットの研究開発が進められ、実際に高度数 km までを含む小規模な打ち上げ実験も頻繁に行われるようになった。2005 年以降は衛星の研究者とのコラボレーションもさかんとなり、CanSat 等のハイブリッドロケットによる打ち上げ・落下実験がおこなわれるようになった。さらに安全な無火薬式の推進機構や、モデルロケットのさらなる高度化などロケット技術にもバラエティが生まれてきている。実験規模が拡大するに従い、安全性を確保した中で如何にとチャレンジングな実験を行うかというロケット特有の問題も取りざたされるようになってきた。

超小型衛星の世界では、東大、東工大などをはじめとして、1999 年よりアメリカと共同で、CanSat と呼ばれる超小型衛星モデルをロケットで打ち上げて落下中に実験を行うプロジェクトを進め、その経験と知見をもとに 2003 年には世界最小衛星 CubeSat の開発と打ち上げに成功した。当時、「大学の、しかも学生が作る衛星なんて宇宙で動くはずがない」と揶揄されたことに奮起した学生の作った衛星は 7 年を超えて軌道上で元気に活動し、一つの「ショック」を宇宙開発の世界に与えてきた。そして、東大・東工大の成功に刺激を受けた多くの大学・高専は、1 kg の CubeSat から 50kg のマイクロサットまでさまざまな衛星の開発にチャレンジし、一部の衛星は実際に打ち上げ運用に成功している。一方で、フルサクセスを実現できなかった衛星も多く、それらの対比は、超小型衛星における適切なるシステムエンジニアリングは何かという問題を提起してきた。

教育目的から始まった超小型衛星プロジェクトは、やがて、実用衛星への試みとなり、50kg 以下の宇宙科学衛星、地球観測衛星へと発展し、宇宙開発・利用の一翼を担うツールにまで成長してきたと言える。低コストで短期開発の超小型衛星は、これまで中・大型衛星中心の宇宙開発利用の「しきい」を根本的にさげ、新しいプレーヤーによる新しい宇宙利用を呼び込む可能性を有している。しかし、そこでは大学流の「失敗しても勉強になる」という甘えは許されず、超小型衛星の持つ低コスト・短期開発の利点を保ったままでの信頼性向上を如何に実現できるかという、さらに難しい課題を提示している。

本序論では、このジャーナルの創刊に向けての背景として、特に筆者の専門分野である超小型衛星に話を絞って、開発の歴史と将来、そこで培われたシステム論を簡単に紹介し、最後に本ジャーナル創刊のいきさつを述べよう。

2. 超小型衛星の教育・人材育成への貢献

超小型衛星は教育・人材育成に画期的な機会を提供してくれている。１年から２年程度の短期間で宇宙プロジェクトの１サイクル、つまり、アイデアの創出から衛星の基本アイデアの検討、設計、製作、地上試験、そのフィードバック、打上げ、運用、結果解析のすべてを経験させることで、たとえ

[1] Corresponding author.
[2] E-mail: nakasuka@space.t.u-tokyo.ac.jp.

Copyr11ight © 2011 UNISEC

ば、それぞれの段階で何に気をつけないといけないか、何が大事で何は大事でないかを体感させることができる。いいかげんな設計や製作、試験は必ずあとになってしっぺがえしが来るのである。また、工学においては、実際に設計し製作したものが、現実の環境の中でどのように動作するかを確認し、その結果を考察して初めて教育が完了する。紙の上の設計を教官が採点するだけでは、学生も納得しないし、本当の意味での「評価」にはならない。現実からの厳しいフィードバックこそが最高の教官である。設計図の上では、常に物は「動くはず」である。しかし、現実はなかなか計算通りにはいかない。その厳しさを知って次に反映することが大事である。失敗するとものすごく悔しい、だから今度は絶対失敗しないぞ、という思いが学生を成長させ、技術を発展させるのである。失敗は小さなプロジェクトのうちにたくさん経験しておくべきである。何百億円もかかる大きなプロジェクトでは、「失敗した、でも勉強になった」、という甘えは許されないからである。

もう一つ大事な教育は、宇宙開発にとって極めて重要な資質であるプロジェクトマネジメント力やチームワークの素養の実践的な鍛錬である。学生は試行錯誤しながら、お金・人・時間の管理の仕方、効果的なミーティングの仕方、ドキュメントの残し方・利用の仕方を学んでいく。講義で「こうやるべきだ」と教えるだけでは身につかない。実践が何よりも大事である。私の経験でも、プロジェクト進行を通して、そのような能力が明らかに高くなっていくのが目に見えるのである。

このような教育・人材育成を第一のミッションとして設立されたのが、大学・高専学生の実践的宇宙開発活動を支援するコミュニティ「NPO 法人大学宇宙工学コンソーシアム（UNISEC: University Space Engineering Consortium）」である。2002 年にそれまでのハイブリッドロケット研究会と大学衛星コンソーシアム UNISAT が合体して設立され、2003 年に NPO 法人の認可を受け、あっという間に 38 大学、55 研究室、655 名の会員・学生を擁する大きな組織に成長した(2011 年 2 月現在)。UNISEC 活動の中で、他の大学・高専の活動を目の当たりにして刺激を受け、ライバル心を持って競争のように開発に励んだことが、このような実践的宇宙開発活動を飛躍的に成長させたことは間違いない。UNISEC はお金はさほどない。しかし、そこに何か学生の活動を鼓舞する要素があるのだ。これは、教育論・組織論としても興味深いテーマの一つである。

3. 東京大学における超小型衛星開発の経緯

一例として私の大学での超小型衛星開発の歴史を述べよう。東京大学は、まずジュース缶サイズの衛星 CANSAT を毎年開発し、アメリカの砂漠でロケットで 4kmまで打ち上げ落下中にさまざまな実験をする試みを 1999 年から行っていた。その実験で衛星作りの技術力を蓄積し、2000 年から、実際に宇宙に打ち上げる 10cm 立方、1kg 衛星 CubeSat の開発を開始した。東大 CubeSat の 1 号機はサイフォーと呼ばれ、世界最小の超小型衛星の軌道上実証を大きな目的としている。秋葉原で買ってきた安価な民生部品を利用し、2 年という短期で開発した衛星が宇宙環境で実際にどのように動作するか、寿命はどうか、などを確認し、今後の超小型衛星開発への土台を作ることが重要なミッションである。また、小型 CMOS カメラによる地球の撮像とダウンリンクの機能も搭載した。この衛星は、2003 年 6 月にロシアのロケットで打ち上げられ、数カ月ですべての軌道上実験を着実にこなし、200 枚を超える地球の写真を地上に届けてくれている。

CubeSat の２号機はサイファイブと呼ばれ、2005 年 10 月にやはりロシアのロケットで打ち上げられたが、この衛星には当時宇宙機関が開発した放射線に強い新しい太陽電池を搭載し、軌道上で実験・実証している。新しく開発された宇宙技術を中・大型衛星で実証するには何年もまたねばならないことが多いが、それを迅速に宇宙実証するのに、頻繁に打ちあがる超小型衛星を利用することは非常に効果的であり、それを実証したわけである。

３号機の PRISM はより実用的なミッションを実施しようと、30m の地上分解能のリモートセンシングを目指した。2009 年 1 月、JAXA の H-IIA の相乗り衛星として打ち上げられ、、雲や地上のリモートセンシング画像の取得に成功し、画像解析の結果、30m の地上分解能が獲得できたことも実証された。そして、現在は、さらに高機能の位置天文衛星 Nano-JASMINE を国立天文台・京都大学・信州大学と共同で開発中である。1980 年代に 500 億円以上をかけてヨーロッパが作った 1。2 トン衛星ヒッパルカスとほぼ同じ機能を、35kg、コストも数百分の一の衛星でどこまで実現できるかの挑戦をしている。2011 年夏以降、ウクライナのロケットによりブラジルでの打ち上げを予定している。

Copyright © 2011 UNISEC

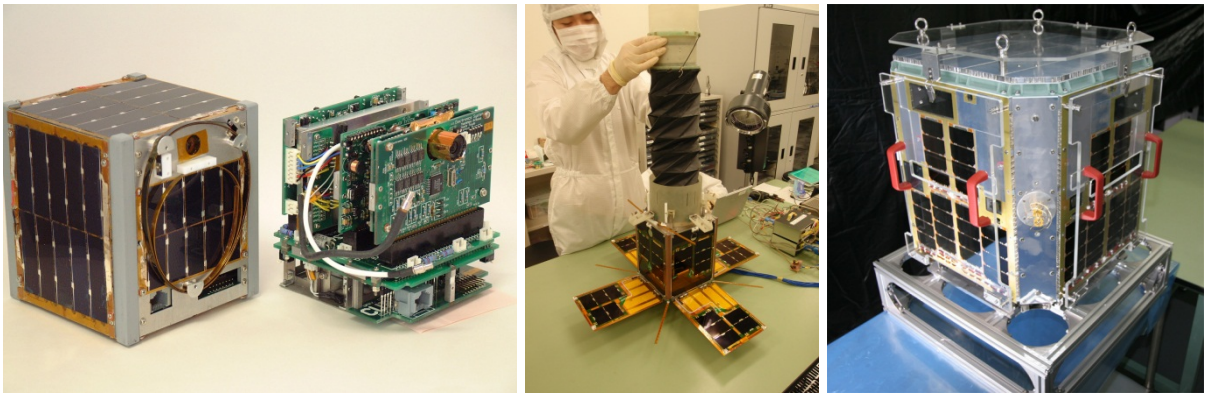

図 1　東京大学が開発した衛星群（左から XI-IV、PRISM、Nano-JASMINE の フライトモデル)

4.　他大学衛星の開発概況

2002 年打ち上げの千葉工業大学の「鯨生態観測衛星」や、東京大学、東京工業大学が 2003 年に打ち上げた CubeSat を皮切りに、東京大学、東京工業大学がそれぞれ 3 機、千葉工大、北海道工業大学、日本大学、東北大学、香川大学、都立産業高専、鹿児島大学、早稲田大学、創価大学、UNISEC がそれぞれ 1 機の衛星の開発・打ち上げに成功し、現在でも 10 を越える大学・高専での衛星作りが進んでいる。工業高校でも授業の一環として開発を進めようとしており、筆者のところにも相談に来ている。

もともとは学生の宇宙工学・もの作り・プロジェクトマネジメント教育が重要な目的であったが、教育目的にとどまらず、いくつかの大学では実用に向けた挑戦が始まっている。先に述べた東大での PRISM、Nano-JASMINE はまさにそうである。他大学でも、たとえば東京工業大学の CUTE-1。7＋APD（2006 年打ち上げ）では、低エネルギーのガンマ線バーストの全球分布を観測するなど宇宙科学への応用面でも目覚しい成果をあげ、東北大の SPRITE-SAT は雷の科学的現象を観測する科学衛星として打ち上げられた。また、UNISEC という大学コミュニティ内で進められたプロジェクト UNITEC-1(23kg) では、22 大学の共同により世界初の深宇宙に向かう大学衛星が開発され、2010 年 5 月に金星に向かって打ち出された。残念ながら数日の電波取得成功の後、消息を絶っているが、大学が競争してそれぞれに開発するフェーズから、それぞれの強みを生かして共同で開発するフェーズへと一歩踏み出したプロジェクトとして興味深い。UNITEC-1 は、離れた多くの場所の教員・学生がそれぞれの強みを生かして衛星作りを行うという、システム工学上のまた新しい練習問題を提供してくれたと言える。

5.　超小型衛星の実用化に向けた新しい試み

超小型衛星の教育を超えた、もうひとつの重要な目的は、これまでの莫大なコストと長い開発期間のかかる宇宙開発・利用に見られる高い「しきい」を徹底的に下げ、新しい宇宙利用方法とプレーヤーを呼び込むことにある。現在の莫大なコストの衛星では、利用者はほとんど国ばかりで、その利用法も通信・放送・測位・地球観測・宇宙科学など、非常に限定的であり、まだまだ宇宙の潜在的能力を十分に活用しているとはいいがたい状況である。超小型衛星の大きな特徴は、コストが中・大型衛星の１機数百億円に対し、１機２～３億円、開発期間も通常の４～５年に対し、１～２年ほどと極端に「安く、早い」ことにある。もちろん中・大型衛星と同じレベルの機能は期待できないが、この「しきい」の爆発的な低下が新しい利用法を生む可能性を有しているというわけである。

中・大型のリモセン衛星１機だけでは、ある地点を観測して次に同じところに来るのに 30 日も 40 日もかかるが、たとえば、低コスト・超軽量の衛星を多数機打ち上げ軌道上に適切に配置することで、同じ場所をたとえば１日一回という高頻度で観測できる。そして、費用と開発期間の「しきい」が大きくさがることにより、従来、宇宙に全く見向きをしなかった個人･大学・研究機関・企業・自治体な

Copyright © 2011 UNISEC

どが、自分でお金を出して衛星を作ろうと考え、「マイ衛星」「パーソナル衛星」のコンセプトが生まれると期待できる。たとえば、天文愛好家がお金を出し合ってアマチュア天文衛星を作るとか、教育コンテンツとして宇宙からのハイビジョン映像を使おうと考える企業が現れるとか、また、Nano-JASMINE のように、自前の予算で宇宙科学を行う研究機関が世界中で出てくる可能性もある。

6. 本ジャーナル創刊へのモチベーション

先の「本ジャーナルへの期待」の中でも述べたところであるが、このような学生主体の実践的宇宙開発活動は、従来の宇宙開発では見られなかった新しい境界条件・問題・課題を内在しており、また、その結果、異なるシステムズ・エンジニアリングや設計論・信頼性の考え方が存在する、あるいは必要であると思われるにも関わらず、それを議論し、学問分野として成熟させる「土俵」がこれまでなかったというのが、最大のモチベーションである。先に述べた UNISEC の中では、非常に多数の大学・高専が超小型衛星や小型ロケットの開発活動を実施し、新しい技術を試すと同時に、失敗などを通して多くの Lessons Learned を得ている。つまり、山のような「事例」があるはずなのである。しかし、それにもかかわらずこの莫大な経験が共有されず、その結果、汎用的な方法論に昇華するまでには至っていないのが現状である。とてももったいない。宇宙は事例が少なくて技術や方法論の発展のスピードに欠けるとよく言われるが、我々の世界はそうではないのである。まとめると、この「土俵」の整備、つまり、実践的宇宙開発活動におけるさまざまな取り組みを自ら分析し公開することにより、この莫大な経験の宝庫を皆で共有し有効活用できる学術的基盤を作ること、そしてジャーナルを通した議論により、新しいシステムズエンジニアリング・設計論・方法論・信頼性工学などを形作っていくことが重要な目的であるのだ。まさに新しい学問分野を作っていこうという意図である。

もう一つのモチベーションは、このような活動に集中する教員や学生さんに、ホームグラウンドになるようなジャーナルを提供したいということにある。実践的宇宙開発活動はなかなか論文になりにくいのが実情である。「開発物語」では当然論文にはならないが、まだまだ学問体系として整備されておらず、数式がたくさん出てくるわけでもないこの分野では、開発物語以上の分析や汎用化をすることは、その方法論が汎用化されていない現段階では難しく、その結果、従来の学術雑誌に投稿しても落とされるケースが多いという声をよく聞く。ジャーナルにはジャーナルごとに、何を重んじ高く評価するかの基準があるのは当然で、おそらくこのような開発活動をベースにした論文は、通常のジャーナルからは高い評価を受けないのであろう。だったら、我々が今ここで整備しようという学術分野では何が重要で、どのような分析・論文化の方法論が妥当であるかを打ち出せるような、我々オリジナルのジャーナルを創刊しようではないか、と考えたわけである。

これがジャーナル創刊のモチベーションである。多くの方に賛同していただき、本ジャーナル上でどんどん経験や知見を発表し、活発に議論する、そんな雰囲気を作っていこう。このジャーナル自体がまた一つの「実践的宇宙開発活動」への挑戦なのであるから。

謝辞

本ジャーナルは、先に述べた最先端研究開発支援プログラムの経費で創刊したものである。この場を借りて内閣府に謝意を表したい。

参考文献

[1] 東京大学中須賀研究室 URL http://www.space.t.u-tokyo.ac.jp
[2] 中須賀真一，松永三郎，"CanSat 計画―日米大学による手作り小型衛星への挑戦―"，日本航空宇宙学会誌，Vol.48, No.562, pp.589-596, 11 月号, 2000
[3] 中須賀真一，大学小型衛星による新しい宇宙開発への挑戦（現状と将来展望），日本機械学会 2001 年度年次大会、福井，8 月，2001.
[4] 中須賀真一，酒匂信匡，津田雄一，永島隆，船瀬龍，中村友哉，永井将貴，東京大学 CubeSat-XI の軌道上実証成果と超小型衛星による低コスト化・短期開発化の試み，電子情報通信学会和文論文集 B，2005 年 1 月号

Copyright © 2011 UNISEC

[5] Shinichi Nakasuka, Students' Challenges towards New Frontier -Enlarging Activities of UNISEC and Japanese Universities, Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, SPACE TECHNOLOGY JAPAN, Vol.7, No.ISTS26, pp.To19-24, 2009
[6] Mitsuhito Komatsu and Shinichi Nakasuka University of Tokyo Nano Satellite Project "PRISM", Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, SPACE TECHNOLOGY JAPAN, Vol. 7, No. ists26 pp.Tf19-24, 2009
[7] Shinichi Nakasuka, Evolution from Education to Practical Use in University of Tokyo's Nano-satellite Activities, Acta Astronautica, 66 (7), p.1099-1105, Apr 2010

Copyright © 2011 UNISEC