

空と宙

研究開発

衛星を展開する新技術！

多層断熱材(MLI)の断熱性能の
データベース化を目指して

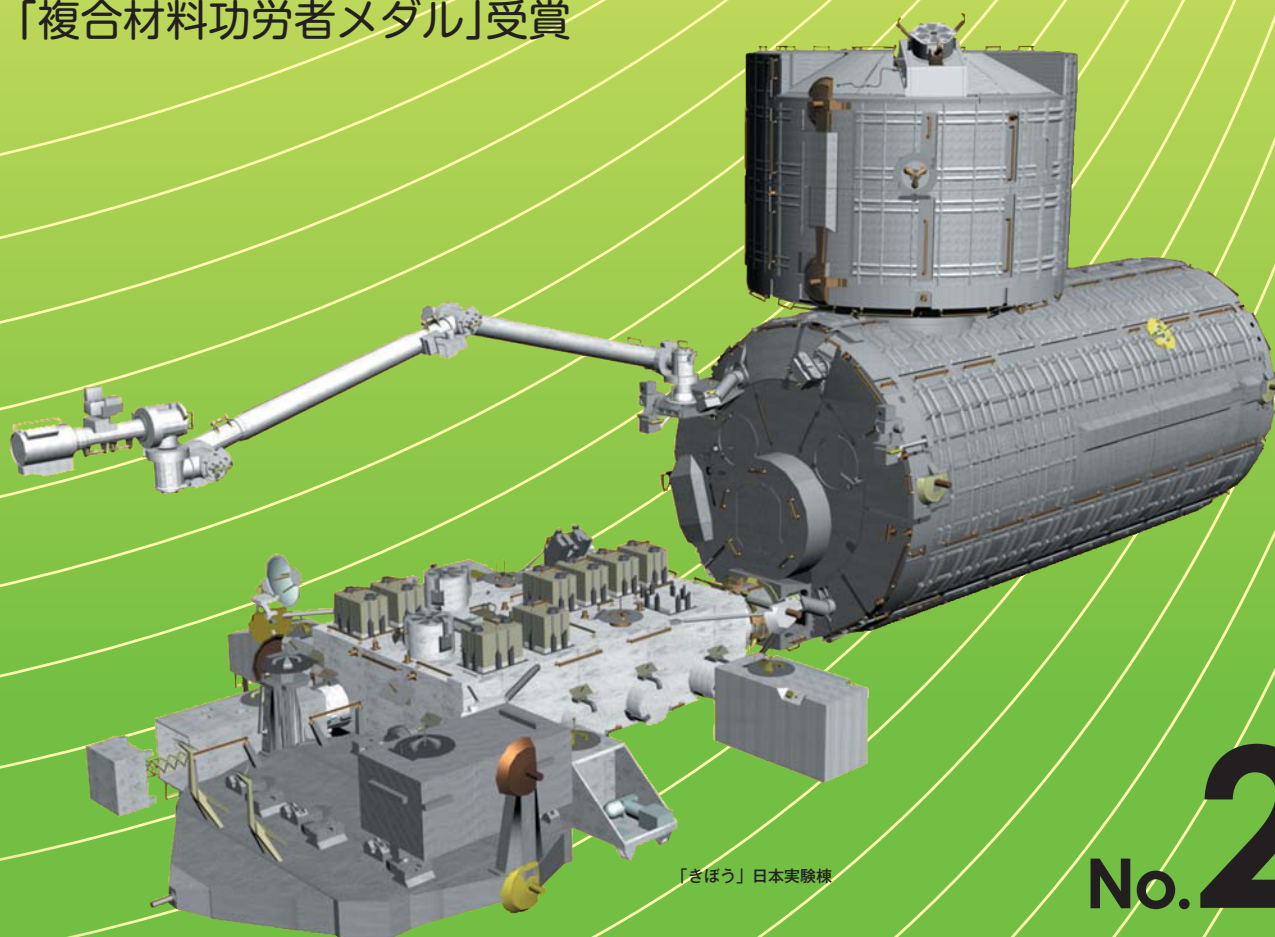
月を掘る

空宙情報

流れに関する新たな理論の構築を
早稲田大学と共同で目指す

石川隆司本部長

「複合材料功労者メダル」受賞



「きぼう」日本実験棟

No. 25

研究開発本部
Aerospace Research and Development Directorate

衛星を展開する新技術！

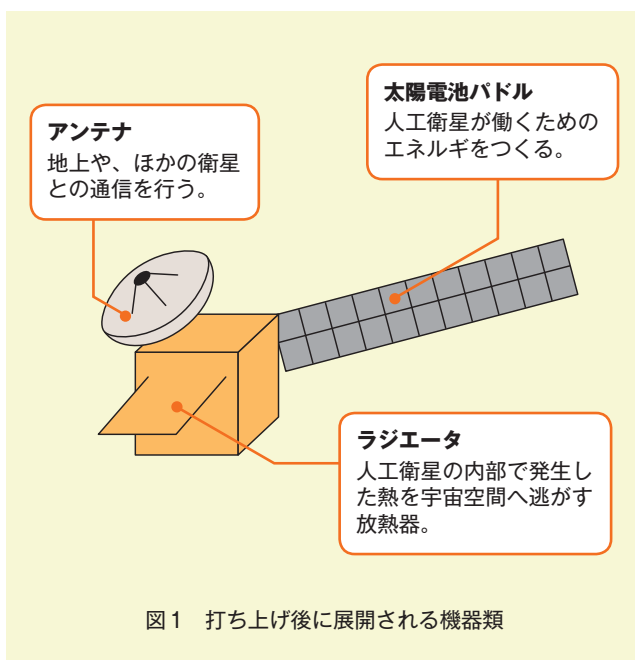
人工衛星は宇宙で展開する

人工衛星は、ロケット先端に搭載され、大気圏飛行中に受ける空力加熱の影響などを避けるためにフェアリングに覆われて、宇宙空間に打ち上げられます。人工衛星には、太陽電池パドルやアンテナ、ラジエータなどの大きい方が効果的な機器がいくつかありますが、フェアリングの大きさには限度があるため、それらの機器は打ち上げられてから機械的に展開されます（図1）。しかし、機械での展開だと構造が複雑になってしまう、機械部分の重量で人工衛星が重たくなってしまふ、などの問題を抱えています。

そうだ、形状記憶ポリマを使おう

この問題を解決するため、形状記憶ポリマを使った展開構造の研究を進めています。

形状記憶ポリマには、ある温度を境に形状が変化

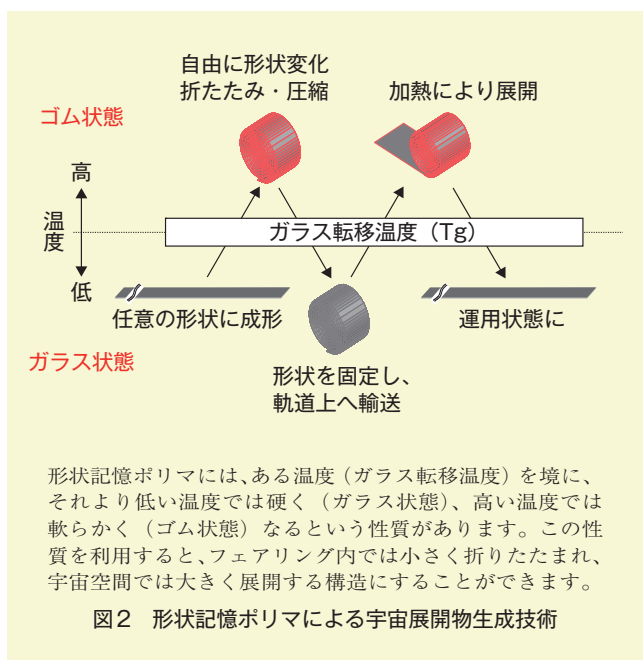


したり回復したりする性質があるため、この性質を利用すれば、宇宙へ打ち上がってから展開する構造が設計できます（図2）。形状記憶ポリマの展開に必要なのは熱だけなので、複雑な展開機械は必要なく、軽量化を図ることが可能です。しかし、強度および剛性が低いという問題があります。そこで、軽量かつ高強度・高剛性材料である炭素繊維と複合化させることで、高強度・高剛性化を図ることにしました。

これまでに、複合化の仕方やたたみ方による性能の確認（図3）、展開温度の調整などの研究を行ってきました。今後は、複合化の仕方を調節することで、より小さくため、展開もスムーズに行える形状記憶ポリマ複合材の開発を進めていきます。

「きぼう」曝露部での実証実験

今回開発した形状記憶ポリマは、宇宙空間を飛び交っている高エネルギーの放射線（宇宙線）に強いという特長を有しています。しかし、国際宇宙ス

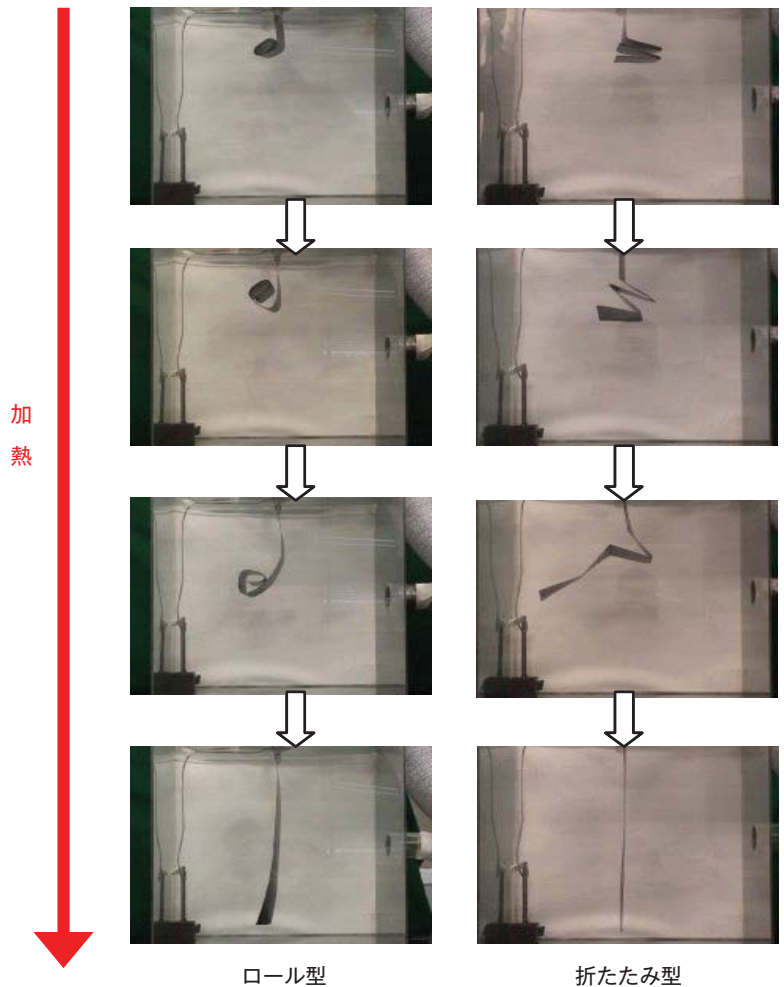


形状記憶ポリマを使った構造物展開技術の研究開発

テーション (International Space Station : ISS) や地球観測衛星などが飛行する低軌道上に多く存在する原子状酸素による劣化は受けてしまいます。私たちは、宇宙環境に対する材料の劣化評価や耐性考慮をテーマに長年研究を行っているため、今年度は、その経験を十分に活かし、形状記憶ポリマ複合材の原子状酸素に対する耐性向上の研究を進めます。

また、少し先の話になりますが、形状記憶ポリマの「宇宙環境での展開試験」と「長期間宇宙環境下での安定性に関する試験」を予定しています。2011年度頃打上げ予定テーマとして採択された「宇宙インフレータブル構造*の実証実験」として、ISSの一部である「きぼう」日本実験棟曝露部に於て軌道上実験を行う予定です。そのための準備も進行中です。

※ インフレータブル構造：ガスを注入することで膨らむ袋状の膜構造のこと。地球上にある構造物では、東京ドームが有名。



ロール型は、折たたみ型よりも小さく収納できるという利点があります。しかし、展開動作の妨げとなる摩擦が起りやすいという難点も持ち合わせています。さらに、写真に示した試験では連続的な損傷が観察されました。折たたみ型は、局部的にきつい曲げとなってしまうのですが、形状をほぼ元通りに回復することができました。

図3 展開試験の様子



【材料グループ】

(後列左より)

宮崎 英治、市川 正一、木本 雄吾、石澤 淳一郎、島村 宏之、山中 理代
(前列) 森 一之

多層断熱材(MLI)の断熱性能のデータベース化を目指して

人工衛星は温度調整が重要

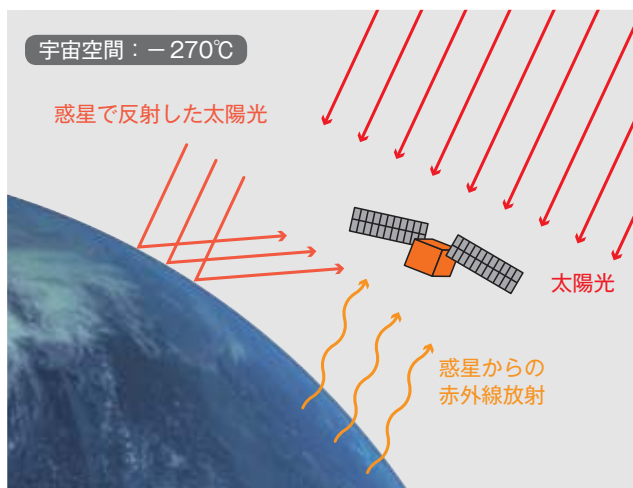
宇宙空間が仕事場の人工衛星は、地上とは異なる熱環境に曝されています(図1)。人工衛星全体の温度は、太陽光や宇宙空間の温度などの外部熱環境と、自身が発生させる熱のバランスで決まります。人工衛星に搭載される機器は、正常に機能するために必要な温度範囲が決まっているため、熱環境の厳しい宇宙空間で正常に作動するよう、断熱や放熱を行う「熱制御系」が欠かせません。

熱制御系の構成要素のひとつである断熱材の代表として「多層断熱材(Multilayer Insulation: MLI)」と呼ばれるものがあります。人工衛星の多くは、表面を金色や黒色のMLIで覆われています(図2)。金色のMLIは、熱に強いポリイミドという黄色いフィルムにアルミを蒸着しているため金色に見えます。このフィルムの下にさらに、プラスチック製の薄い網と薄いフィルムを交互に10~20枚程度重ねることで、真空の宇宙空間で高い断熱性能を発揮させることができます。

人工衛星の熱設計精度を上げるためには 実効輻射率の正確な値が欲しい

MLIは多くの人工衛星に採用されているため、高い信頼性が求められています。MLIの性能は「実効輻射率^{*}」で決まっていますが、実際の衛星設計ではこの値をこれまでの経験をもとに判断することが多かったため、正確な値の計測が求められていました。

宇宙機に取り付けるため、MLIには「つなぎ合わせ」「縫製」「通気孔」などの様々な加工がされています(図3A)。宇宙用MLIは、加工がされていないMLIと比べ、断熱性能が低下してしまうことが経験的にわかっていました。しかし、実効輻射率にどの程度変化があるのかはわかっていませんでした。そこで、実効輻



宇宙空間で働く人工衛星は、「太陽光」や「地球などの惑星から反射される太陽光」、「惑星から発せられる赤外線」など、様々な熱を受けています。

図1 人工衛星の熱環境



図2 「温室効果ガス観測技術衛星(GOSAT)」の外観

射率の値を正確に計測できる設備を整備し、まずは縫製および通気孔の加工をしていないMLIでつなぎ合わせ部分の影響を調べました（図3B）。次に、縫製および通気孔の影響を解明しました。

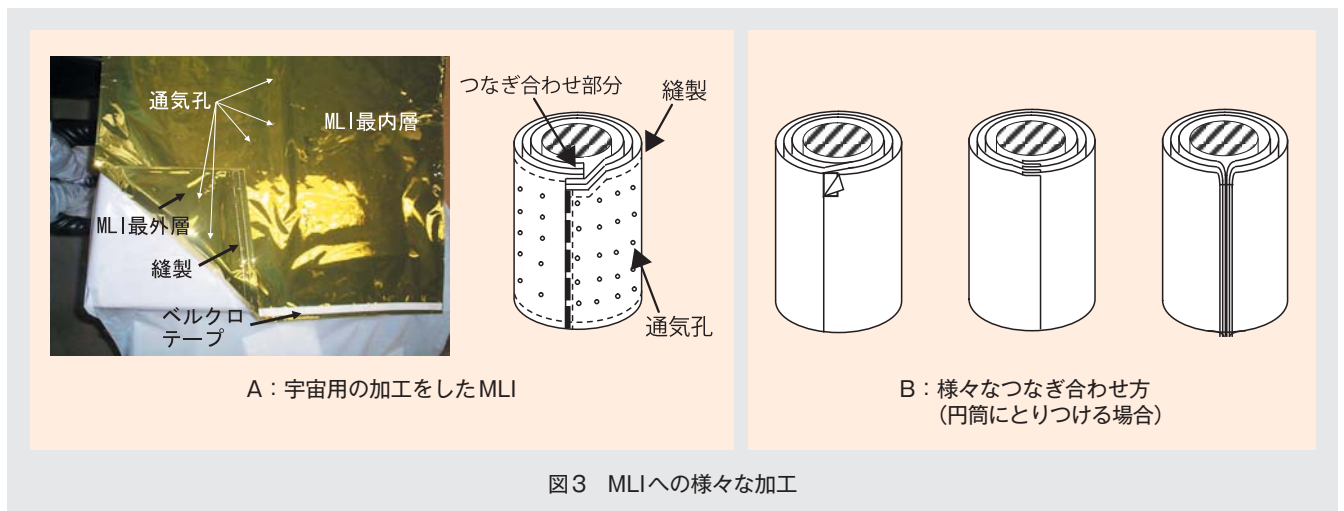
現在、計測値の取得はもちろん、その分析も順調に進めています。

データベースの構築を目指す

計測した値を実際の衛星設計に活かすためには、MLI設計に使える高精度なデータベースの構築が必要だと考えられます。データベース構築のためには、

計測はもちろん、理論による検証も必要です。そこで、計測技術の確立および計測、分析、データベース化をJAXA、計測技術の提案、理論検証を筑波大学が担当し、共同研究を行ってきました。今年度は、これまでに得られた研究成果をもとに、データベースの構築を進めます。

※ 実効輻射率：実効輻射率は、多層断熱材（MLI）などの断熱性能を示す指標で、ある表面にMLIをつけた場合、どの程度、放射されるエネルギーが変化するかを示したものです。断熱性能が高くなると、値は0に近づきます。光学的な輻射率と同じ様に取り扱われますが、物理的意味は異なります。



【熱グループ】

川崎 春夫

月を掘る

「かぐや」の次の一歩

2007年10月に月に到着したJAXAの月探査衛星「かぐや」は、月を周回しながら素晴らしい映像を私たちに届けてくれています(図1)。「かぐや」は映像だけではなく、搭載している機器を使って月を調べ、月に関する有益な情報も収集し、地球へ送ってくれています。

月にたどり着き、じっくりとその表層を調べたら、次に調べるべきはその内部構造です。そのための機器として、月の振動を調べる「月震計」や月内部の熱の動きを調べる「熱流量計」などが考えられます。

そのためには、掘削機構が必要

月には大気がほとんど無いため、日夜の温度差が激しく、月表面上に計測機器を設置しても正確な計測は見込めない恐れがあります。幸い、月の表面はレゴリスと呼ばれる断熱性の高い砂に覆われているため、計測機器を月の地中1m程度の位置に埋めることができれば、熱の影響を受けずに精度の高い計測

が行えると考えられます。埋めることで計測機器が月にしっかり固定されるという利点もあります。

構造・機構グループでは、計測機器を地中深くに埋めるため、レゴリス中に自律的に潜る機構の研究開発を進めています。当グループが検討しているのは、

モータとホイールから成る掘削機構です。モータとホイールは本体の中に納められています。モータによってホイールを回転させ、その際に得られるトルク*を利用してネジの様に回転しながら自律的に潜っていきます。

この掘削機構はとてもシンプルな構造をしているため、軽くつくれるという特徴があります。駆動部



図2 掘削機構(2007年度試作機)



図1 月面から望む地球

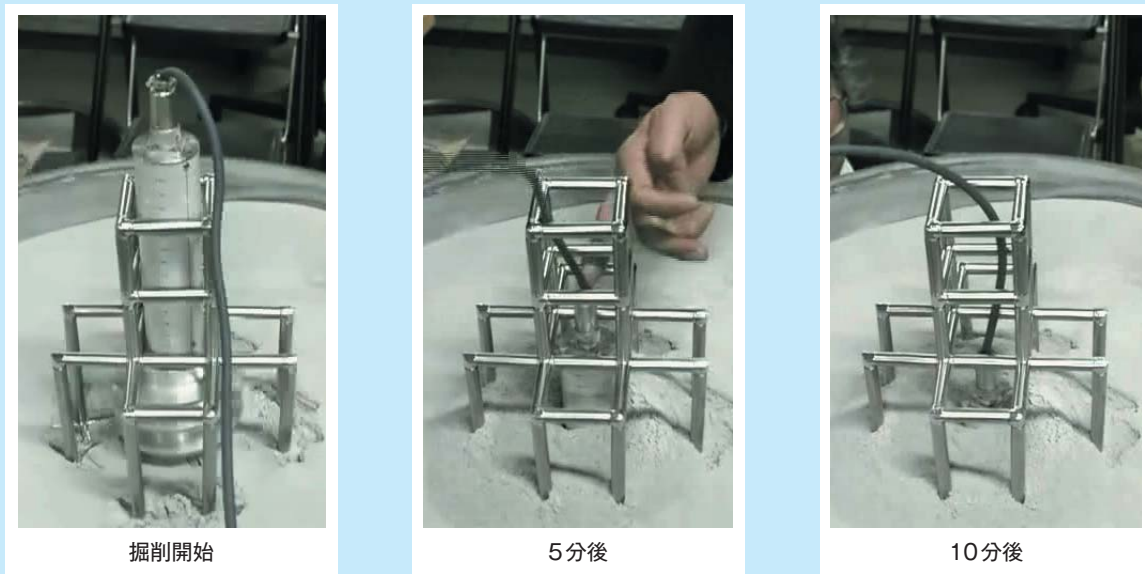
分は全て本体内に納まっており、レゴリスが駆動部に挟まることによる劣化や故障の恐れもありません。

実用的な掘削機構を目指して

2007年度には試作機を作り、レゴリスに似た砂を使って掘削試験を行いました(図3)。その結果、本体が完全に潜る位置まで掘削できることを確認しました。

しかし、モータの駆動力不足など、いくつかの問題点があることも判明しました。そこで今年度は、モータ駆動力の強化やドリル機構の更なる改良を進めます。併せて、1m以上の掘削試験が行える試験環境の整備も進めていきたいと考えています。

※ トルク：ホイールを回転させた時に生ずる、回転軸周りの力のこと。



フライアッシュと呼ばれるレゴリスに似た砂を使い、掘削試験を行いました。その結果、約10分ほどで完全に砂の中に潜ることを確認できました。掘削の際には、本体が倒れないように支持構造で支えます。

図3 試験の様子



【構造・機構グループ】

安田 進

空 宙 情 報

流れに関する新たな理論の構築を 早稲田大学と共同で目指す

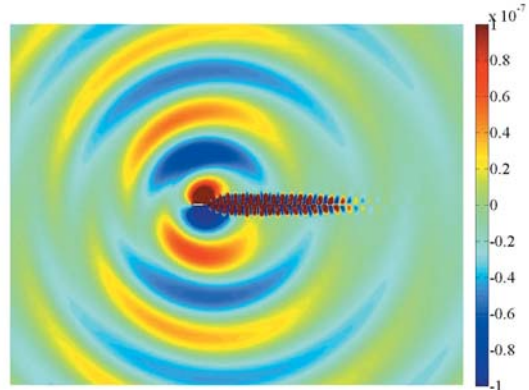
離着陸時の飛行機のスラット（前縁補助翼）後縁からは、鋭い特徴的な音が発生することが知られています。この騒音の発生に「T-S波^{*}」が重要な役割を果たしている、というのが昔からの定説ですが、T-S波が発生しないような流れでも、同様の騒音が報告されています。

騒音研究の最終的な目標は騒音を無くすことですが、そのためにはなぜ騒音がでてしまうのかという本質的な部分の理解も重要です。流体グループでは、その本質部分に焦点を当て、研究を進めています。

新たに何かを解明しようとする時には、「実験（およびCFD解析）」と「理論」による連携が有効です。これまでに、翼後縁部で逆流が起こることが騒音発生の一因であることを、実験およびCFD解析で明らかにしました。しかし、理論ではまだこの現象について十分な記述はできていません。そこで、理論による証明、言い換えれば「新たな理論の構築」を目指し、早稲田大学と共同研究を結びました。今後は、共同で理論構築のための研究を進める予定です。

（担当：流体グループ 高木 正平）

※T-S波：トルミン・シュリヒティング波。翼表面近傍の流れが揺らぎの小さい初期状態（層流）から乱れた状態（乱流）へ遷移する際、流体粘性に起因して成長する速度変動のこと。T-S波がある程度成長することで、乱流に遷移する。



翼後縁より騒音が放射されている様子
(CFD解析結果)

石川隆司本部長 「複合材料功労者メダル」受賞

2008年6月6日、日本大学駿河台キャンパスで開催された第13回日米複合材料会議にて、石川隆司本部長がMedal of Excellence in Composite Materials（複合材料功労者メダル）の贈呈を受けました。

このメダルは、1974年に世界で初めて複合材料研究センターを設置したアメリカのDelaware大学が、世界的な複合材料の研究功労者に不定期に贈呈しているものです。センター創立10周年を記念し、1984年に4名の研究者に贈られたのが始まりです。メダルには、初代受賞者4名の顔が刻まれています。

日本人としては、メダルに顔の刻まれている東大名誉教授 林毅博士を始め、進藤昭男 博士（元大阪工業試験所）が受賞しており、石川本部長で3人目となります（総受賞者数：25名）。同メダルは、複合材料研究者の間で「複合材料のノーベル賞」と同等等と認識されており、大変名誉ある受賞です。日本の複合材料研究をリードし、世界のトップに育てた石川本部長の功績が世界的にも認められたことを意味しています。

また、複合材料分野の重要な応用先である宇宙航空分野にとっても、目覚しい快挙といえます。



近年は、日本複合材料学会長(2007年度)、日本航空宇宙学会長(2008年度)を歴任し、日本の複合材料および航空宇宙分野の発展に尽力しております。メダルの受賞に恥じないよう、今後も邁進いたします。