



メカトップ関東

日本機械学会関東支部ニュースレター No.37 2015.1.5発行



TeikyoSat 開発ものがたり

—— 栃木県初の人工衛星打ち上げ成功を目指して ——

帝京大学理工学部 航空宇宙工学科 河村 政 昭

2014年2月28日(金)午前3時37分、栃木県初の人工衛星“TeikyoSat-3 (TS3)”を載せたH-IIAロケット23号機は、ごう音と共に種子島宇宙センターを飛び立ちました(図1)。それから32分後の午前4時9分、高度406kmの宇宙空間へと無事放出されました(図2)。その後、約240日間にわたって地球を周回し続けたTS3は、10月末地球大気圏へ突入し、その役目を終えました。その間約1億5360万kmもの長旅をしていたことになりますが、これは地球からおよそ太陽までの距離に相当します。小惑星探査機「はやぶさ」の総飛行距離約60億kmには到底及びませんが、「はやぶさ」と同じくらい野心的な世界初のミッションに挑戦しました。またTS3は、栃木県から初めて打ち上げられる県産衛星として、開発から運用まで多くの栃木県内の皆様方にご協力をいただいた衛星です。



図1 H-IIAロケット23号機打ち上げの瞬間



図2 TeikyoSat-3宇宙空間放出直後の様子

本稿では、プロジェクトマネージャとして約3年間TeikyoSat-3プロジェクトに携わった著者が代表してプロジェクトについてご紹介させていただきます。

1. TeikyoSatプロジェクト

本プロジェクトは、宇宙開発活動を通じて「システム工学」、「ものづくり」、「プロジェクト管理」などの実地経験を学生に得てもらうと2008年に発足され、発足後足掛け6年でようやく実機の打ち上げにたどり着くことが出来ました(表1)。

表1 衛星開発活動の流れ

活動年度	活動内容
2008年度 (発足)	Cansatキットによる基礎実験 (TeikyoSat-1、TeikyoSat-2)
2009年度	TeikyoSat-3の概念検討
2010年度	BBM ^{*1} の製作・試験 地上局アンテナの設置
2011年度	STM ^{*2} の製作・試験 H-IIAロケット23号機の相乗りに選定
2012年度	EM ^{*3} の製作・試験
2013年度	FM ^{*4} の製作・試験 打ち上げ・運用

*1: Bread Board Model (ブレッドボードモデル)

*2: Structural and Thermal Model (熱構造モデル)

*3: Engineering Model (エンジニアリングモデル)

*4: Flight Model (フライトモデル)

2. TeikyoSat-3のミッションとサクセスクライテリア

TS3は、大きさが320mm×320mm×370mm、重さが約21kgとなっており、30cmサイズ級の衛星としてはかなり重たい衛星となっております。また、通称『微生物観察衛星』とも呼ばれており、微小重力と高放射線という特殊な宇宙環境が微生物の生育にどのような影響を与えるか観察するという挑戦的なミッションに挑みました。生物を搭載するという試みは小型人工衛星としては世界初のことです。本衛星では、キイロタマホコリカビと呼ばれる細胞性粘菌を孢子の状態、つまり眠らせた状態で搭載し、宇宙空間でミッション開始後培養液を与えることで粘菌を目覚めさせるという手法を採用しました。ミッションの達成度を評価するためのサクセスクライテリアを表2に示します。このように段階的に分けてミッション達成度を評価する事は、プロジェクトにとってとても重要です。

表2 衛星のサクセスクライテリア

サクセスレベル	定義
ミニマムリクワイヤメント	JAXAへの衛星引き渡し成功
ミニマムサクセス	TS3と地球局との通信成功
フルサクセス	TS3に搭載したカメラによる粘菌の画像データの取得成功
エクストラサクセス	粘菌に対する宇宙環境（微小重力・高放射線）の影響の比較実験成功

3. TeikyoSat-3の開発体制

プロジェクトの発足当時は、本学所属の工学クラブ「宇宙システム研究会」の学生が中心となって開発を行っていましたが、2011年に相乗り衛星としての打ち上げが決まってからは、栃木県や県内企業等多くの皆様方のご支援をいただきながら開発を行う体制に移行し、まさしく地域衛星として産官学連携を図れる開発体制となりました。更にTS3では、プロジェクトの趣旨にご賛同いただき応援いただいた約700の企業・個人のお名前を記載した銘板を衛星内部に搭載しており、名実ともに産官学民連携の「栃木県産衛星」としての打ち上げに成功することが出来ました。打ち上げ時点の開発体制と銘板の様子を図3、図4に示します。

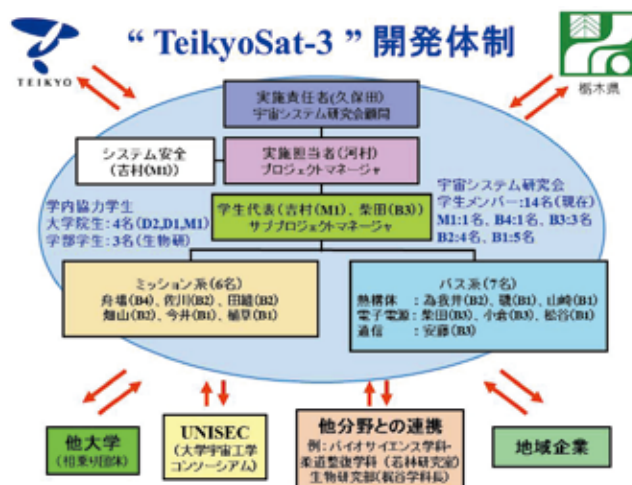


図3 打ち上げ当時の開発体制

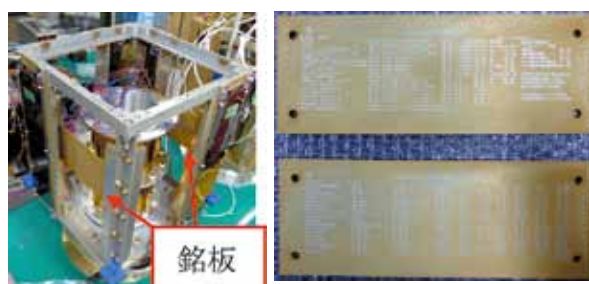


図4 名前を記載した銘板

4. 衛星の運用と打ち上げ成果

衛星の打ち上げ後、まずTS3の初期捕捉を行わなければなりません。宇宙空間にはたくさんの衛星が飛行しておりますので、どれが自分達の衛星なのか特定しない事には衛星を運用することができません。打ち上げから約2時間後、本学宇都宮キャンパスに設置した地球局では残念ながらTS3からの第一声を聞くことはできませんでしたが、栃木県内のアマチュア無線家の方々からTS3からの電波受信に成功したとのご報告を受けて初めて打ち上げに成功したことを実感しました。その後、本学の地球局でも無事電波の受信に成功し、運用を行うことが出来ました。衛星内部の不具合により地球局からのコマンドが通らずメインミッションを開始できないという事態が発生いたしましたが、TS3からの電波は打ち上げ後約70日間届いており、大変貴重なデータを蓄積することに成功しました。微生物を宇宙空間で生育するための容器の圧力、気温、湿度はとても安定していることが分かり、小型人工衛星内でも国際宇宙ステーションと同等の生物ミッションが遂行できるのではと期待が寄せられています。

TS3では、ミニマムサクセスの確保にとどまりましたが、今回得られた成果をもとにした後継機の開発とミッション成功にどうぞご期待ください。

埼玉 ブロック

「レンズ」をつくる話

株式会社タムロン 志 田 善 樹

日頃手にするスマホやカメラに付いている撮影用レンズには、何枚ものガラス製（時にプラスチック製）のレンズが使われている。だがガラスレンズそのものの作り方はあまり知られていない。鯛焼きのように金型にガラスを挟み、加熱してギュッと潰せばポンとできると想像するだろうか。物事そんなに簡単ではない、と言いたところだが、実は当たっているところもある。ガラスは見ての通り、硬く割れやすい固体というイメージだが、金属などとはかなり異なる。構造的には非晶質といって、普通の固体のような結晶構造は無く、原子・分子の並び方が不規則な状態のままで固化したものだ。性質的にはむしろ液体に近い。透明性や全体に均一で異方性が無い等の特性は非晶質に由来する。

1. 球面レンズをつくる

レンズは形状により球面レンズと非球面レンズとに分かれる。球面レンズは研磨、つまりガラスを磨いて作る。ガラス素材と、球面的一部分を切り取ったような形の研磨皿との間に研磨剤を付け、摺り合せながら磨き上げる。最初は不透明だった表面が、満遍なく何回も何回も摺り合せていると、自然にデコボコが削り取られて透明な球面に磨かれていく、という仕掛けだ。この方法は何百年も前から存在し、いわば自然の法則に従った加工法だ。今では機械化されているが基本的な変化はない。現在でも生産の大半は球面レンズだ。比較的簡単な道具と機械で高精度な面が得られるが、原理上球面と平面しか磨けない。（図1）

2. 非球面レンズをつくる

一方、非球面レンズ（平面でも球面でもない曲面をもつレンズ）は高性能だが加工が難しく長く量産できなかった。しかし近年ガラスモールド法が開発され、文字通り成形でガラス非球面レンズが量産可能となった。2個の非球面金型でガラス素材を挟み、高温に加熱、ガラスが軟化したら圧力を掛けて潰し、冷やして固まったら取り出す。鯛焼きと大差無いようだが、実際にギュッとするとポンとするには技術的課題を幾つも乗り越えねばならない。キーとなる非球面金型の表面粗さや形状は、ナノメートル（1mmの百万分の1）級の精度が必要だ。球面のように摺り合せができないため、機械加工でこの精度を達成しなくてはならない。測定ができなければ加工はできない。超精密なナノメートル級の加工機、測定機、加工技術が揃ってはじめて

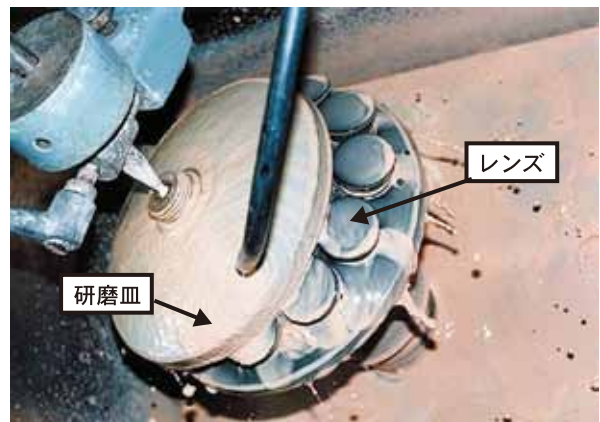


図1 研磨皿で球面レンズを研磨する

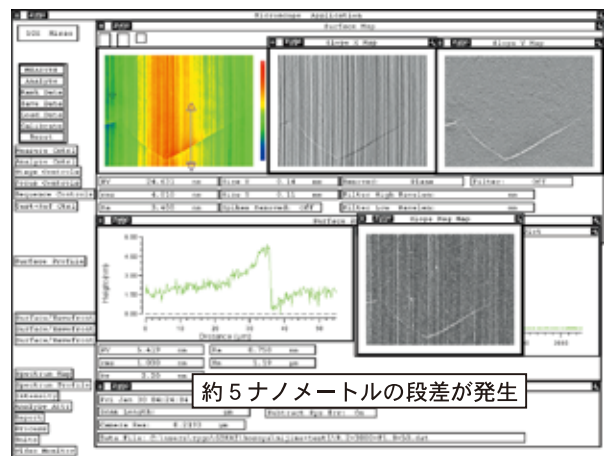


図2 材料硬さムラの影響（金属の超精密切削）

て非球面金型の加工ができる。ガラスモールド法は、これらの条件が揃うのを待たねばならなかった。

3. おわりに

ガラスでも金属でも、もし材料に硬さのムラがあれば加工もムラとなり（図2）高精度な加工はできない。高度に精密な加工では、材料に異方性が無く均一であるということが、重要かつ本質的に必要な条件だ。ガラスはごく手近な材料だが、この精密加工に必要な条件を満たしている。蛇口からしたたり落ちる水滴の表面が、理想的なレンズのように滑らかなのは、液体である水の特性に依る。水の表面のような滑らかさを機械加工で作出すことは、実は非常に高度で困難な技術である。現在生産されている高性能な撮影用レンズは、何百年前と変わらぬ方法で作られた球面レンズと、最先端の超精密加工技術を駆使して作られた非球面レンズとが同居している、少し不思議な工業製品だ。

千葉
ブロック

衝撃工学の答えを追いかけて

株式会社 衝撃工学研究所 吉 江 伸 二

そちら⁽¹⁾には長い試験機（高速引張試験機）があるけれど、なぜそんなに長いのかという問い合わせから始まり本稿へのご依頼となりました。お答えする形でご紹介致します。

1. 高速引張試験機

鉄鋼材や複合材のひずみ速度依存性を調べるために高ひずみ速度で材料の性質の変化を調べる試験機です。直径10mmの高張力鋼を使い、長さは15mのものから30mまで（世界では200m以上のものもあり、ホプキンソン棒と言われています。油圧では力が出ますが、速度を出すには限度があります。経済的にも負担が大きくなって来ますし、計測も大変です。ホプキンソン棒を用いると、たった1本の棒内の弾性波を計測するだけで、試験片が破断するまでの応力-ひずみ関係が追えます。とりわけ長い棒を使う弊所のやり方は欧州共同体JRC (Joint Research Centre)で開発された、たっぷり目のひずみエネルギーをその長い棒に溜めて、一気に開放し、試験片に引張波(圧縮の時は圧縮波)を透過させる方法で、きれいなデータを取ることができる特徴があります。試験片への負荷速度がほぼ一定に保たれることも特徴の一つです。図1に試験機の外観及び応力-ひずみ例としてアルミニウム合金の準静的な引張速度⁽²⁾ (10^{-5} /s域)から中速 (3/s)、高速 (700/s) までの変化を比較して主要部を示します。自動車の素材の一部として用いられる炭素繊維強化樹脂複合材が衝突時の速度で硬化するのかどうか、ガラス繊維ではどうなるのか、航空機の数値ではどうなるのか、使用材料の機械的性質の変化を事前に知っておくことは設計にも解析にも最も初期段階で必要となる事柄です。

2. 重量物衝突試験装置

車輛の高速化が一段と進んでいます。地上で500 km/hを超える速度で走行すると鳥獣との衝突に対する構造物の安全評価を行っておく必要があります。鳥の質量1.25kgを工業用ゼラチンに置きかえて550 km/hで、例えばアルミニウム合金板1枚に衝突させるとどうなるのかを図2に示します。大変形しますが板厚3mmで貫通には至っていません。この試験の前にも結果の評価をするために同材料の高速引張試験を実施しています。圧縮空気を用いる衝突試験装置の構造を図3に示します。

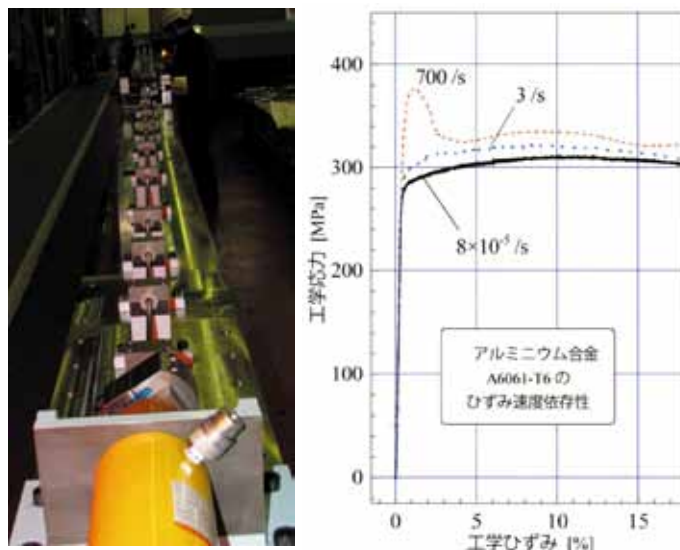


図1 高速引張/圧縮試験機の外観と取得データ例

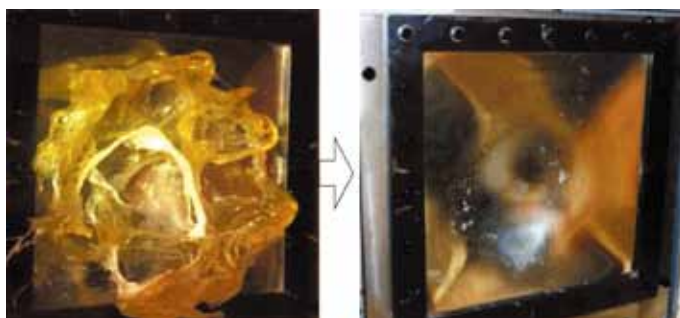


図2 1.25kgのゼラチン円柱を550km/hで衝突させた試験例

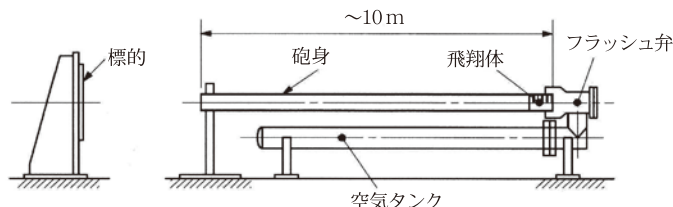


図3 重量物衝突試験装置

弊所では、このほかに火薬類を収納する耐爆容器の設計製作、防弾チョッキの貫通侵徹実証試験、電気系発火爆発試験評価などを行い、構造物の耐衝撃性、エネルギー吸収性、衝撃負荷の回避性を向上させるための研究開発を実施しています。

注：(1) 弊所、木更津材料動特性試験室。

(2) 引張速度は、単位時間あたりの長さの増加分を元の長さで割った、ひずみ速度（単位は /s）を用いて表す。

茨城
ブロック伸縮しても導通する
カーボンナノチューブ転写シート

株式会社マイクロフェーズ 太田 慶 新

カーボンナノチューブ（CNT）は、日本で発明された新素材の一つで、その名前の通り、太さ数ナノメートル（ナノは 10^{-9} の意味）前後のストロー状の炭素繊維です。このストローの筒壁は炭素の六員環ネットワークを有する単層あるいは多層のグラフェンシートでできているので、導電性や熱伝導性が高く、ヤング率も高く、引っ張り強さが鉄鋼の100倍も高いといわれています。

CNTの優れた導電性を活用する応用開発が活発に行われています。樹脂やゴムなどの高分子素材にCNTを添加して導電性を持たせることができます。CNTの細長い形状が故に、極少量添加しても、大幅の導電性向上が期待できます。

ここでは、ちょっとユニークなCNT応用例を一つ紹介します。伸縮しても導通するCNT転写ゴムシートです。

伸び縮みしても高導電性が保たれる素材を探そうとすると、意外に見つかりません。ゴムシート表面になんらかの導電膜を成膜しても、伸ばした時に膜が切れてしまいます。また、CNTをゴム材料に分散させて導電性を持たせる方法はすでに開発されていますが、ゴムシートを伸ばすと導電性が大幅に低下したり、導通しなくなったりします。そこで登場するのは、垂直配向CNT膜をゴムシートに転写する方法です。

CNTをシリコンなどの耐熱性基板の上に垂直に成長させる技術はすでに確立されています。図1は、シリコン基板に成長したCNTの走査電子顕微鏡（SEM）写真です。CNTの成長温度は700℃以上なので、ゴムなどの高分子素材の上にはCNTを直接成長させることはできません。しかし、シリコン基板に成長した垂直配向CNTの上にゴムシートを被せて熱プレスをかけて、CNTを垂直配向のままゴムシートに転写移動させることは可能です。熱プレスによって一本一本のCNTの先端部分が柔らかいゴムシート表面にしっかりと刺さるようになり、まるでCNTがゴムシートから生えてきたような構造になります。

CNTが転写されたゴムシートを伸ばしたり、縮めたりすると、CNT膜もそれに追従して伸縮し、剥がれたりはありません。また、ゴムシートを大きく伸ばしても、表面導電性が大きく低下しません。図2aはCNT転写ゴムシートを伸ばす前、図2bは強く伸ば

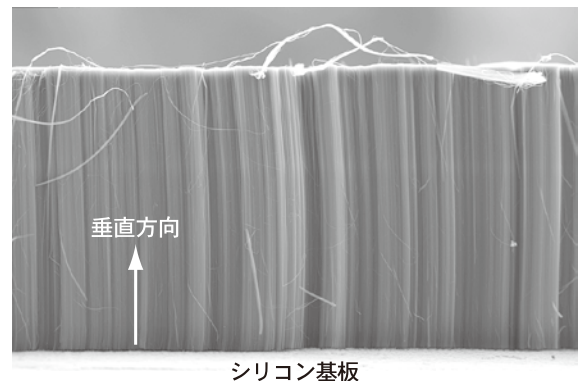


図1 シリコン基板上的垂直配向CNT

図2a 伸ばす前のCNTゴムシートの導電性
(抵抗値 0.02Ω)図2b 伸ばしたときのCNTゴムシートの導電性
(抵抗値 0.03Ω)

したときの導通の様子を示します。ゴムシートの伸縮に応じて、表面に刺さっているCNTの根元の間隔が広がったり狭まったりします。しかし、CNTの腰部分や先端部分は相変わらずお互いに絡み合って接触しているので、導通が保たれています。このような伸縮導電シートは、可動部の電極部材として利用できます。

栃木 ブロック

自動車に用いられる防音材

帝京大学理工学部機械・精密システム工学科 黒 沢 良 夫

皆さん、自動車で一般道から高速道路に合流する際のエンジン音がうるさく感じたり、古いアスファルト路面に入ったときタイヤの音が大きくなったりした経験があると思います。また、普段運転している自動車と別の自動車を運転すると、音が静かだな（うるさいな）と感じた事があると思います。これら自動車の車内で聞こえる騒音は車内騒音といわれます。自動車メーカーは、運転中に音楽やラジオを聴いたり、同乗者と会話がしやすいように車内騒音を抑える様々な対策を行っています。

車内で会話をしやすくするためには、車内騒音の特に高い成分（シャー、とか、シーという高周波の音）を下げる必要があります。自動車だとおよそ500Hz～5000Hzくらいの周波数域の音ですが、高速道路を走行すると発生する風切り音、タイヤのパターンノイズ、エンジン音など車両のいろいろな部位から発生して車内に進入します。これらの音をグラスウールやフェルト（図1参照）やウレタン等でできた防音材で吸収させたり（吸音）、遮断して（遮音）対策しています。ボンネットを開けると裏側に黒い布の固まりのようなものがついているクルマがありますが、これが防音材です。他には、インパネの裏側、床に敷いてあるカーペットの裏側、ドアのトリムの裏側（図2参照）等、普段は目につかない場所に入っています。また、最近ではルーフやドア等のトリムを音の吸収する素材にしていたりします。

図1のグラスウールとは、ガラスを直径数10 μ m（1 μ m=1/1000mm）の繊維にしたものをまとめたものです。フェルトはいろいろな繊維をまとめたもので、洋服などのリサイクル材を材料として用いる割合も増えてきているようです。これら細い繊維のまわりを音波（空気）が通りぬける際に抵抗を受け、音波のエネルギーが吸収されるのが防音材の主な吸音メカニズムです（材質によっては繊維が振動し音波のエネルギーを吸収する場合もあります）。そのため、適度に繊維が詰まっていて複雑に絡み合っている（空気と繊維の接する面積が多い）と音をよく吸収します。あんまりスカスカだと抵抗を受けませんし、ぎゅうぎゅうに詰まっていると音波（空気）が通り抜けられないため吸音性能が悪くなります。

また、音を遮断するのに防音材が用いられます。たとえば、分厚い壁の反対側の音はほとんど聞こえませんが、障子やうすいガラスの向こう側の音は良く聞こえてくるように、壁が厚い（重い）と音を遮断でき

ます。ただし、自動車の場合は燃費向上のため軽量化も重要なので、エンジンと車内の間の鉄板（パネル）を分厚くしてエンジン音を遮断する、という訳にはいきません。そこで、フェルトやウレタン等にゴムなどの音を通さない材料を積層させた防音材をパネルに設置して音を遮断しています。これは、板と板の間にバネをはさむと共振周波数以上の周波数域では振動の伝達率を大幅に下げられるのと同じメカニズムです。高周波域では同じ重量ではパネルより上記のような積層防音材のほうが遮音性能が大幅に良いことが確認されています。最近では、ゴムなどの代わりに圧縮したフェルトを用いて遮音性能と吸音性能を両立させている防音材も用いられています。また、防音材は自動車だけではなく、家電や建築物の騒音対策にも広く用いられています。

これら防音材は自動車によって異なりますが、1台につき数kg～数10kg用いられています。自動車の運転中に車内騒音が気になったら、これら防音材のことを思い出していただけたら幸いです。



図1 自動車に用いられる防音材

手前から、ポリプロピレン繊維+ポリエステル(基材)、フェルト、グラスウール（不織布付）



図2 ドアトリムの裏側につけられた防音材（赤丸部分）



機械工学における 原子・分子レベルでのシミュレーション

群馬大学大学院理工学府 相原 智 康

有限要素法 (FEM) に代表されるCAE (Computer Aided Engineering) は、以前は高性能計算機が必須であったが、現在では多くの製造業でPC上のパッケージソフトとして利用されている。機械産業は、20世紀に重厚長大の極値に達したが、現在では小型化・微小化することで高付加価値を達成する方向にシフトしており、特にメカトロニクス分野ではMEMS (日本語ではマイクロマシン) 技術の進展が著しい。機械における微小化は半導体技術^{はん}を範としている。その代表であるIntel製CPUは現行22nm ($10^6\text{nm}=1\text{mm}$) プロセスで製造されており、Siチップ上の配線幅は原子200個程度である。このような現状を踏まえ、当研究室では将来のCAEの一翼を担うべく、原子・分子レベルでのシミュレーションである分子動力学法の機械材料および流体への適用に関する研究を行っている。

FEM等では物体・流体を連続体として扱うが、それらを離散化した原子・分子の集合体として扱うのが分子動力学法である。個々の原子 (分子内の原子も含む) 間に作用する力は原子間ポテンシャル関数の位置微分として計算され、各原子の運動方程式は質点系の多体問題として時間で数値積分される。巨視的な物理量の一例を挙げると、物体の温度はそれを構成する原子の平均運動エネルギーから計算される。当研究室では、種々のモデルや初期条件についての計算を、約30台のPCワークステーションで独立して実施している。大規模な場合では、数十万原子からなる系に対し数百万回の数値積分を行っている。分子動力学法の基本原理自体は物理学の分野で数十年の歴史があるが、工学上の種々の問題に適用する場合の適切なモデル化や、数値積分から得られる各原子の座標と速度の時系列データから工学的に有益な情報を得る解析手法については未解決な点が多く、研究の焦点となっている。

分子動力学法により、ハードディスク (HDD) の磁気ヘッドとプラッタ (ディスク) を想定したモデル (モデル化のために周期境界条件を適用してある) の計算結果を可視化した一例を図1に示す。橙色球で示す平行平板が磁気ヘッドとプラッタに対応し、互いに逆方向に直線運動をしている。両者の間隔は最新のHDDに対応する10nmである。一部の気体分子の軌跡を緑色線で、その最終位置を紫色球で示してある。

固体表面と複雑な衝突をする気体分子、固体表面に物理吸着して熱振動する気体分子、気体分子同士の衝突等が生じている様子がわかる。また、このような分子流と固体との間の摩擦力も解析し評価している。

CAEの普及は、現在のPCの性能が20年前のスーパーコンピュータのそれを凌駕^{りようが}するという、計算機の指数関数的性能向上に負うところが大きい。これにより、現在の技術者はCAEの解析原理や技術に関する専門知識がなくとも、パッケージソフトを操作することにより、それなりの解析結果を得ることができるようになった。しかしながら、技術者には解析結果の精度を評価できる専門知識と経験が必要である。パッケージソフトのオペレータである限りは、初期条件設定のミスで誤った結果を得たり、計算機が出した結果の過大な誤差を見過ごすことがある。

当研究室では、学生・院生はそれぞれの研究テーマに応じた解析プログラムを作成している。はじめは経験不足なので、物理的に誤ったモデルを用いたり、バグがあってコンパイルできなかったり、プログラムが動いてもプログラミングのミスで誤った結果が出たりと失敗の連続である。また、PCを24時間×7日連続稼働しているため故障も生じる。完全に故障する前に不調を予知して予防修理をしたり、数値計算を行うにはECCメモリ (Error Check and Correct memory) を使用しないと計算結果にエラーが出るといったハードウェア全般に関した経験も彼等はしている。多くの失敗を一つ一つ克服して成果が得られるという研究生活を通して、CAEを適切に行うことの難しさとその有用性を彼等に体感してもらっている。

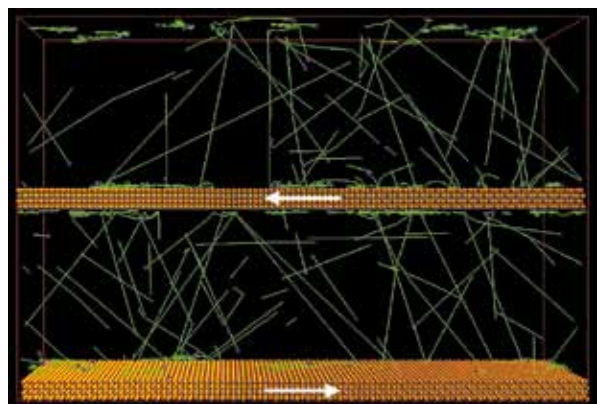


図1 HDDを想定した計算結果の一例

山梨 ブロック

寒暖の激しい山梨で有利な地中熱ヒートポンプ

山梨大学大学院 総合研究部機械工学系 武田 哲明

1. はじめに

山梨大学工学部機械工学科では、省エネルギーシステムの研究開発に関連して、地中熱を利用する地中熱ヒートポンプの開発研究を進めている。地中熱は地表から約150m程度までの一定温度の熱エネルギーのことであるが、夏は気温より低く、冬は気温より高いという特徴を持つ。この特徴を活かすと、従来の空気熱ヒートポンプ（エアコン）に比べて、高性能（成績係数：COPが高い）となることが知られている。

2. 地中熱ヒートポンプ

図1に示すように地中熱ヒートポンプの地中との熱交換の方法には大きく分けて2つの方法がある。1つは従来型の間接方式と呼ばれる方式で、ヒートポンプ内の冷媒である代替フロンの熱を一旦不凍液に与え、ポリエチレンパイプ内の不凍液を地中に導入して採放熱を行う。図2は(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構の熱利用計測実証事業の一部として山梨大学に設置した地中熱ヒートポンプである。冷房能力が28kW、暖房能力は31.5kWであり、冷媒はR410Aである。地中との熱交換方式には間接方式クロード型、垂直埋設型ボアホールシステムを採用した。ボアホール深さは100・75・50mの3種類として各2本ずつ設け、熱交換媒体には16%プロピレングリコール不凍液を使用した。空調面積はA室が26m²、B室が52m²の計78m²であり、冷房能力5.6kW、暖房能力6.3kWの4方向天井カセット式空調機をA室に1台、B室に2台取り付けた。A室には約8.6m²の温水床暖房、B室にはパネルヒーターを設け、1トンの貯水タンクが設置されている。もう1つの方式は銅管内を流れる代替フロンを直接、地中熱交換器に導入し、地中と採放熱を行う直接膨張方式である。この方法は間接方式に比べて、ボアホール長を短くすることができ、また不凍液との熱交換器も不要となるため、初期コストが抑えられる上に性能を表す成績係数は従来のエアコンに比べて、2倍以上の値となる。図3は、平成24年度から文部科学省の地域イノベーション戦略支援プログラムの一部として、同じく山梨大学に設置した直接膨張方式による地中熱ヒートポンプである。実験装置は、市販の空気熱源ヒートポンプ室外機（暖房能力9.0kW、冷房能力6.8kW）内の空気熱交換器を地中熱交換器に取り替えたものである。深度30mのボアホール内に、

底部をコップ型に加工したSGP（Steel Gas Pipe）管を埋設して水を充填し、銅製の採熱管をSGP管内に挿入した。2次系として室内空調機1台（出力4kW）を空調面積38m²の部屋に設置した。冷房運転実験の結果、運転時間を10時～18時、夜間は停止とした場合に室内機設定温度が24℃の場合のCOPは9～10であった。エアコンのCOPが3～5程度であることを考えると2倍以上の値が得られている。

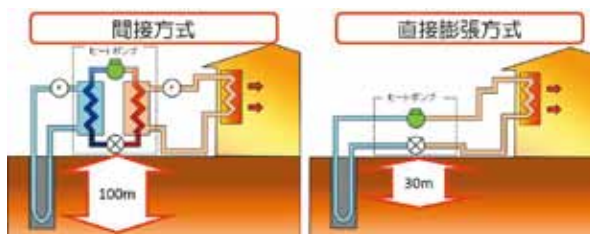


図1 間接方式と直接膨張方式の違い

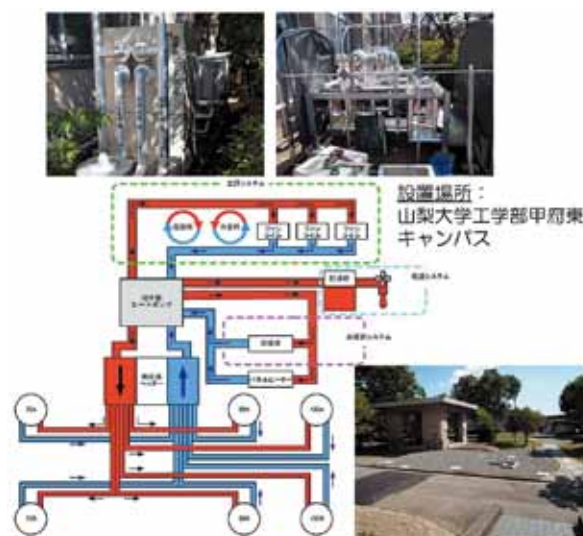


図2 間接方式地中熱ヒートポンプ



図3 直接膨張方式地中熱ヒートポンプ

東京 ブロック

塑性加工によって変わる金属の性質 —— ステンレスの不思議な性質 ——

芝浦工業大学 青木 孝史朗

皆さんが食事の時に使っているスプーンやフォークは「カトラリー」と呼ばれています。高級なカトラリーは銀で作られますが、私達が普段使っているものはステンレス製です。ステンレス鋼は、鋼にクロムを10.5%以上添加した合金です。「Stain」+「less」つまり「汚れない金属」という性質が名前の由来となっています。この汚れない＝錆びないという性質の理由は、表面には薄いクロムの酸化皮膜が作られ、この皮膜が酸素による酸化皮膜である赤錆の生成を抑えるという特徴によるものです。

ステンレス鋼にはいくつか種類がありますが、カトラリーにはフェライト系とオーステナイト系という2種類が多く用いられています。オーステナイト系はクロムの他にニッケルも添加されています。

この2種類は見た目では区別しにくいですが、カトラリーであれば簡単に見分ける方法が2つあります。1つは材質を示す刻印を見ることです。「13」など数字が1つだけ表示されている場合もしくは「Stainless Steel」とだけ示されている場合はフェライト系です。数字はクロムの添加量を示しています。「18-8」など数字が2つあればオーステナイト系です。この場合、クロムが18%、ニッケルが8%添加されていることを示します。もう1つの方法は磁石に対する反応を見ることです。フェライト系の場合は全ての部分でしっかりと磁石にくっつきませんが、オーステナイト系の場合は余り反応しない部分があります。

図1にフェライト系とオーステナイト系、各ステンレス鋼の結晶構造の模式図を示します。

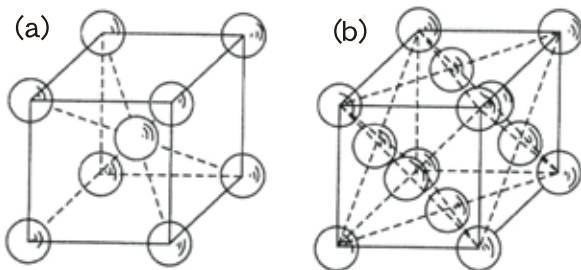


図1 ステンレス鋼の結晶構造（模式図）、
(a)フェライト系、(b)オーステナイト系

フェライト系の結晶構造は体心立方構造であり、磁性を示す鉄と同じ構造になっています。一方、オーステナイト系は面心立方構造になっており、構造が異なる

ために磁性に反応しないという特徴があります。しかし、オーステナイト系ステンレス製のスプーンであっても、ものを乗せる皿状の部分は柄の部分に比べると磁石に反応しやすいと思います。この反応の違いは、スプーンの製造方法に関連しています。

一般に金属を加工する方法には、削ったり、一度溶かして形を整えて固めたり、熱など加えてくっつけたりと様々な手法があります。しかし金属製のカトラリーを作る場合は、板状の素材に力をかけて変形し加工する方法、塑性加工を用いるのが一般的です。

力を加えて変形させる時には、素材を構成している原子の並びに“ずれ”が生じます。一般的な金属であれば、このずれによって素材は硬く・強くなります。オーステナイト系ステンレスもこのずれによって硬く・強くなりますが、その変化以外にオーステナイトがマルテンサイトと呼ばれる別の結晶構造へと変化する現象が生じます。この現象は加工によって生じるので「加工誘起変態」、発生したマルテンサイトは「加工誘起マルテンサイト」と呼ばれています。

加工誘起マルテンサイトは磁性に反応します。結晶構造は面心正方構造と呼ばれる形で、フェライトの構造とよく似ています。またこのマルテンサイトの発生量は素材の変形量に影響を受けます。つまり、オーステナイト系ステンレス製カトラリーの各部分において磁性への反応が異なるのは、加工時に素材形状からの変形量が異なるためである、と言えます。

いずれにしても、塑性加工によって金属材料を加工する場合、形状が変わることは勿論ですが、オーステナイト系ステンレスの様に物理的な特性に変化が生じることが他の材料や製品において良く見受けられます。

私達の身の回りにある金属製品には塑性加工によって作られているものが沢山あり、そして今後も多くの製品が塑性加工によって製造されるでしょう。これからのものづくりにおける加工には形状を変えるという本来の役割の他に、様々な材質も制御して製品の付加価値をより高めるといった役割も今以上に求められると思います。ものづくり、特に加工の分野に興味を持っているのであれば、加工する材料の方にも興味を持ってもらえると、より素晴らしい製品の開発ができるのではないかと思います。

神奈川 ブロック

航空機・宇宙機に適用される複合材料殻構造

神奈川大学工学部 機械工学科 高野 敦

人工衛星やロケット、航空機などは年々大型化し、それに伴い軽量化が大きな課題となっています。軽量化のために高強度かつ高剛性（変形しにくい）である、CFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastics）などの複合材料の適用が進んでいます（図1）。



図1 人工衛星に用いられる複合材料円筒殻
(www.tgrthaber.com.trより)

これらの構造物は、円筒形や曲面形状をしており、軽量化のため薄くする必要があります。このような薄肉の円筒や曲面を殻と呼びます。殻構造は引張には強いのですが、圧縮すると座屈と呼ばれる不安定現象を起こし、一定以上の荷重が支えられなくなります。図2に金属円筒殻の圧縮実験の様子を示します。



図2 円筒殻の典型的な座屈形状

(J. Singer, J. Arbocz, T. Weller, *Buckling Experiments, Experimental Methods in Buckling of Thin-Walled Structures, Volume 2*, John Wiley & Sons, August 2002より)

円筒殻の場合は、図2のような“ダイヤモンドパターン”と呼ばれる菱形状の座屈波形を示します。円筒殻に代表される殻の座屈は数十年前から研究されていますが、実験結果（特に軸圧縮）は理論に対して低く、かつばらつきが大きいことが知られています。この理

論に対する実験の比率を“ノックダウンファクタ”と呼び、100%以下で実験が理論より小さいことを意味します（図3）。

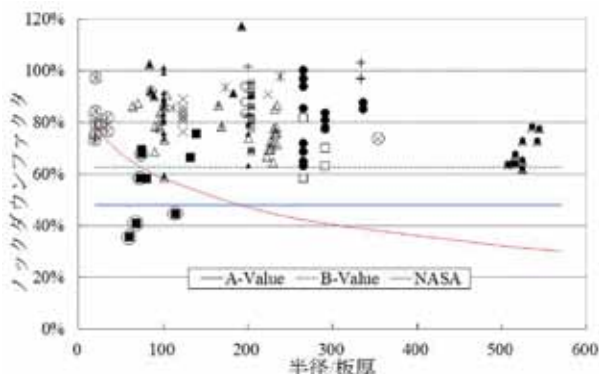


図3 複合材料円筒殻の軸圧縮座屈実験結果
(黒丸囲みの点は材料強度で破損したもの)

図3にはNASA（アメリカ航空宇宙局）が50年前に金属円筒殻の実験結果から経験的に決め、複合材料円筒殻にもそのまま用いていたノックダウンファクタが赤い曲線で示されていますが、複合材料円筒殻についてはあまり合わず、最近、統計的手法で決められた、図中A-ValueおよびB-Valueと示された青い水平線がむしろよく合うことがわかります。また、複合材料は炭素繊維などを樹脂で固めたものなので、繊維の方向や積み重ね方により、変形や座屈の挙動が大きく変化します。図4は、複合材料円筒殻の軸圧縮座屈を理論計算し、その座屈後の変形を示したのですが、円筒の軸方向に圧縮したにもかかわらず、ねじれるような変形を示しています。これにより、座屈荷重も低下しています。

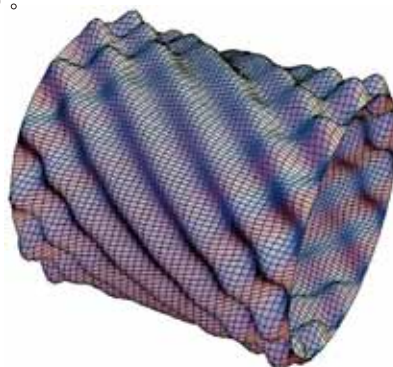


図4 複合材料円筒殻の軸圧縮座屈後の変形

これらの課題を解決し、複合材料の性能を発揮させるため、理論計算の研究や実験データの収集及び結果の統計的評価が進められています。

関東支部第21期総会・講演会および 関東学生会第54回学生員卒業研究発表講演会のお知らせ

支部運営会・実行委員会

関東支部および関東学生会では、上記総会および講演会を「横浜国立大学」にて開催いたします。講演会には会員および学生員に限らず、これから本会会員になろうとする皆様も参加可能です。機械工学に関係する研究者・技術者が一堂に会して議論する場を提供し、機械工学の更なる発展を期したいと考えております。

「特別講演」、「オーガナイズドセッション」、「一般講演」を行うほか、機器展示やカタログ展示なども企画

しています。皆様のご参加をお待ちしております。

なお、卒業研究発表講演会では、優れた口頭発表を行った学生員に対してBPA（Best Presentation Award）が贈られます。

また、講演会では若手講演者を対象に、優れた講演に対して日本機械学会から若手優秀講演フェロー賞が、関東支部から若手優秀講演賞が贈られます。奮ってご参加ください。

- 開催日 2015年3月20日(金)～21日(土)
- 会場 横浜国立大学（神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-1）
- 企画 支部総会、講演会、関東学生会総会、卒業研究発表講演会

3月20日 特別講演「社会に役立つロボットの創造」

広瀬 茂男 ((株)ハイボット 取締役 CTO/立命館大学客員教授/東京工業大学名誉教授)

(講演会の詳細は以下参照 <http://www.jsme.or.jp/conference/ktconf15/>)

- 問合せ先 日本機械学会 関東支部事務局（12ページ参照）

開催会場（横浜国立大学）の紹介

横浜国立大学 佐藤 恭一

横浜国立大学は、横浜経済専門学校・横浜工業専門学校・神奈川師範学校・神奈川青年師範学校の4つの旧制官立教育機関を母体として、1949年に新制国立大学として発足しました。現在は、教育人間科学部、経済学部、経営学部、理工学部の4学部、教育学研究科、国際社会学研究科・同学院、工学研究科・同学院、環境情報学研究院・同学院、都市イノベーション学研究院・同学院の大学院組織（研究院は大学院の研究組織、学府は大学院の教育組織）のほか、多くのセンター（全学教育研究施設）を有し、これらの全学部、全大学院が、横浜市保土ヶ谷区常盤台の緑豊かな一つのキャンパスにまとまっています。学生数は、学部生約7,500人、大学院生約2,500人です。現実の社会との関わりを重視する「実践性」、新しい試みを意欲的に推進する「先進性」、社会全体に大きく門戸を開く「開放性」、海外との交流を促進する「国際性」を、建学からの歴史の中で培われた精神として掲げ、世界の学術研究と教育に重要な地歩を築くことを基本理念として、教育、研究に邁進しています。

関東支部総会・講演会実行委員会は、工学研究院または環境情報学研究院に所属する機械系教員約30名・30研究室で構成され、講演会の成功に向けて準備を進めております。特別講演は、(株)ハイボット取締役CTO/立命館大学客員教授/東京工業大学名誉教授の広瀬茂男先生より「社会に役立つロボットの創造」を予定しております。横浜国立大学へは、横浜駅や横浜市営地下鉄、相鉄線の最寄り駅などからの多様なアクセス方法があります。皆さん、この機会に横浜国立大学で開催される関東支部総会・講演会にご参加ください。



横浜国立大学 キャンパス全景

関東学生会全体交流会

「独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 調布航空宇宙センター」

見学・講演会・交流会

群馬大学 丸山真一・東京理科大学 荻原慎二

関東学生会では、恒例の全体交流会として2014年10月22日に「独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 調布航空宇宙センター」見学・講演会・交流会を行いました。東京都調布市にあるJAXA調布航空宇宙センターを会場とし、前半は風洞設備、スーパーコンピュータ棟、展示施設の見学、後半はJAXAの研究者による研究紹介、そして交流を目的とした懇親会という構成で行いました。

風洞設備では、1m×1m超音速風洞を中心に、詳細な説明をいただきました。この風洞は、マッハ数を測定部上流の二次元可変ノズルにより1.4から4.0まで設定できるとのこと、超音速で飛行する航空機や飛行体の研究開発や超音速機用エンジンの空気採り入れ口（インテーク）の研究開発、超音速域を通過するロケットや宇宙往還機等の開発に使用されることを紹介いただきました。また、制御室で実際の実験風景に近い状況での実験結果をお示しいただき、関連分野を専攻する学生には大変興味深かったものと思います。

スーパーコンピュータ棟では、JAXAにおける最先端の数値シミュレーション技術について紹介いただきました。特に、JAXAにおける計算機設備の変遷と共に最新のJSS (JAXAスーパーコンピュータシステム) について詳細に説明いただいた点と、数値シミュレーション技術の高度化に伴い、結果の可視化技術の重要性が増しているとの指摘が印象に残りました。

展示施設では、YS-11コックピットとフライトシミュレーターを中心に丁寧に案内下さいました。参加学生が、特に航空機に興味を持つ者が多かったため、大変好評でした。

後半の講演会では、「JAXAにおける航空機電動化技術の研究開発」と題し、西沢 啓主任研究員、飯島 朋子研究員に講演いただきました。西沢氏には、JAXAにおける電動航空機開発研究の必要性からプロジェクト設立の経緯、現状、今後の展望について紹介いただきました。航空機技術に関しては、他国に後れをとるわけにいかないこと、さらに環境性能や産業として成立するかどうか

も考慮して開発を進めなければならない困難さについてご説明いただきました。飯島氏にはJAXAの本プロジェクトの技術的現状について詳細に紹介いただき、航空機特有の開発過程について垣間見ることができました。

懇親会では、講演いただいた2名に加え、合計5名のJAXA若手研究者にご参加いただき、学生と交流を深めていただきました。学生にとっては、自分の目標とする方々から直接お話を伺える貴重な機会ということで、活発に交流がなされていました。

末筆ながら、本企画の準備・実施に当たって多大なご協力をいただきましたJAXA関係各位に心より御礼申し上げます。



図1 講演会の様子

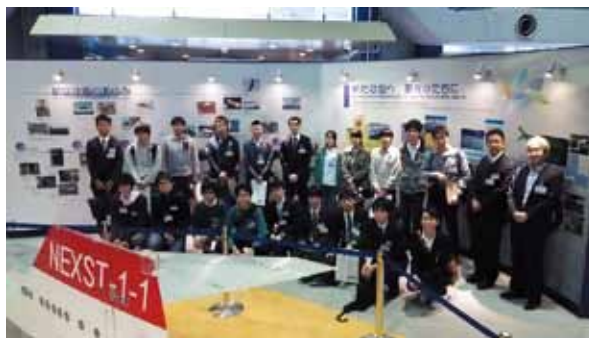


図2 展示施設での記念撮影

編集委員

石井 孝明 (委員長、山梨大学)

前田 真吾 (東京ブロック、芝浦工業大学)

中住 昭吾 (茨城ブロック、(独)産業技術総合研究所)

田川 泰敬 (支部運営委員、東京農工大学)

寺島 岳史 (神奈川ブロック、神奈川大学)

池俣 吉人 (栃木ブロック、帝京大学)

丸山 真一 (支部運営委員、群馬大学)

長嶺 拓夫 (埼玉ブロック、埼玉大学)

古畑 朋彦 (群馬ブロック、群馬大学)

小出 祐一 (支部選出委員、(株)日立製作所)

三神 史彦 (千葉ブロック、千葉大学)

孕石 泰丈 (山梨ブロック、山梨大学)

日本機械学会関東支部ニューズレター『メカトップ関東 No.37』

Mecha-Top KANTO No.37

News Letter of the Kanto-Branch, The Japan Society of Mechanical Engineers

発行年月日： 2015年1月5日

印刷製本： 株式会社 大間々印刷

発行者： 〒160-0016 東京都新宿区信濃町35 信濃町煉瓦館5階

一般社団法人 日本機械学会・事務局内 日本機械学会関東支部

TEL 03-5360-3510 FAX 03-5360-3508 ホームページ <http://www.jsme.or.jp/kt/>