

発行 © 一般社団法人 日本 MRS 事務局
〒231-0002 横浜市中区海岸通 3-9
横浜ビル 507D
http://www.mrs-j.org/ Tel. 045-263-8538



||||||| やあ こんにちは |||||||

エコマテリアルと日本の材料科学

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 エコエネルギーグループリーダー しのほら よしかず
篠原 嘉一

エコマテリアルの概念は1992年に誕生した。エコマテリアルのエコとは、英語の Environment-Conscious (環境に配慮した) を略した言葉である。Ecological (環境保護) の略ではない。エコマテリアルの基本概念は、フロンティア性 (材料性能)、環境調和性 (低環境影響)、アメニティ性 (人への優しさ) の三要素で構成される。優れた特性・機能を持ちながら、より少ない環境負荷で製造、使用、リサイクルまたは廃棄ができ、しかも人に優しい材料として定義される。製造時のエネルギー使用量が少ない材料、有害物質を含まないように工夫された材料、リサイクルしやすいように処理が施された材料などと共に、材料の使用量の削減やそれが組み込まれた製品のエネルギー消費の削減、社会の快適性の向上を可能にするような高機能材料も対象とする。エコマテリアルとは、「材料・環境・人」の融和を目指した材料概念といえる。

「材料・環境・人」の内、「材料・環境」は理解しやすい。材料性能が高くなると、その分だけ材料使用量を少なくできるため、資源使用量を減らすことができる。製品使用時のエネルギー消費も減らすことができる。自動車の高張力鋼板が好例である。材料のフロンティア性が高くなると、材料で構成される製品の環境影響は小さくなる。環境調和性も然りである。

問題は「人」である。材料のアメニティ性が高いことと環境配慮とどのような関係があるのだろうか。アメニティ性は快適性や心地よさ、好ましさを意味し、材料のアメニティ性とは、材料の質感やデザイン性を指す。人にとって愛着が湧くような製品は、長く大事に使用したいと思うようになる。脱大量生産・大量消費に繋がる材料の性質で、「もったいない」の考え方も通じている。環境配慮に対する最も根源的な性質と見るができる。これが材料のアメニティ性である。

材料のアメニティ性を表す定量的な尺度は見当たらず、今だに消費者を対象としたアンケート調査やヒアリング調査で評価される程度である。欧米でエコマテリアルをPRしたときに、「材料・環境」に関する理解は容易に得られたが、「人」については材料の要素ではなくてデザイナーの領分とされ、理解を得るのが困難であった。しかし、デザインを活かせるような性質を材料が有しているかどうか、これは材料の課題である。2020東京オリンピックで新国立競技場のデザインが白紙撤回されたが、ザハ氏のデザインに問題はなかった。デザインを妥当に実現できるような性質の材料がなかったのである。

日本の材料科学の課題は、言い古されてはいるが、脱タコつぼ化である。第一期科学技術基本計画が策定されたのが1996年である。現在は第四期に入っているが、少し軌道修正されたものの、材料科学は更に狭く深く感じられるように感じられる。タコつぼ化は専門性の深化であるという点からすると材料科学の宿命といえるが、依然、間口が狭くて深い領域を量産しているようである。日本において、専門性の高い学術論文が高く評価される傾向にあり、論文数を稼ぐにも有利に働く。これは研究従事者の問題というよりも、業績評価する側の問題であろう。評価する側がマルチ評価基準を持ち合わせていたら、論文一辺倒のタコつぼ化現象は収めてくるように思えるが、女性の社会進出が極端に遅れている日本では、ダイバーシティ志向はこれからのようである。

しかし、環境問題は待ったなしである。環境問題が現在のまま推移していくと、今世紀半ばには地球が危機的状況に陥ることが指摘されている。資源問題も同様である。現在の工業技術の延長線上に環境問題が実在するという認識に立てば、現在の工業技術を下支える材料科学のあり方を見直すこと、続いて、新たな社会システム構築やインフラ整備に向けて、新たな材料科学を創り出すことが必要になってくる。

多神教の日本人は、元々お互いの共通点を見いだすことでコミュニティを形成してきた。例えば、出自であったり、趣味であったり、宗旨であったり。これからすると、材料研究者が一足飛びに実業家や政治家と関わって交流を図るのは難しい。まずは身近な人との交流が第一段階になろう。これには二つの選択肢がある。一つは、近い科学領域間で研究者が交流し、お互いに学問の共通点を探ることである。縦割りのタコつぼに横串を指すようなアプローチといえる。もう一つは、共通の社会的課題に対して異なる専門領域の人間が集って交流し、問題意識や解決の方法・プロセスを探ることである。

21世紀になって、これまで既に、大学内で学科再編による分野融合が進められた。また「知識の融合」、「知の構造化」といったプロジェクトが実施され、直截的な科学技術の体系化が試みられている。これは第一の選択肢の実施である。成果はまだはっきりしていない。どうやらその歩みは遅々としているようである。

希望は、地道ではあっても、第二の選択肢の実施と考えている。例えば、公害問題という社会的課題に対して、化学物質、重金属、分析技術、生体影響、リスク管理の専門家などが集って交流し、公害に対する問題意識を共有し、課題解決のための方法・プロセスを探る。自分の専門領域ならこのようにできるという提案をして、異なる専門分野で多様な解決の道筋を創出するのである。この活動は、二次元的に平置きされた知識を三次元的に組み上げていき、そして新しい材料科学を創り上げていくことに相当する。エコマテリアルは、環境問題に対して様々な専門領域の人間によって創出された材料概念で、「材料・環境・人」の融和を目指している。「人」については新たな材料の性質に焦点を当てており、実社会からのフィードバックに基づいた材料科学の創出に繋がると期待される。

日本MRSは材料科学の専門家による学術団体で、多様な専門分野で構成されている。年末にはMRS年次大会が行われ、様々な分野のシンポジウムが開催される。しかし残念なことに、自分の専門分野外のシンポジウムに参加する人は余りいない。材料の構成元素や性質でシンポジウムを構成するのでは、MRS本来の趣旨である異分野交流が進まないように感じる。社会課題や将来技術に基づいたシンポジウムが多数開催されて、日本MRSが材料科学の脱タコつぼ化の大本営にならんことを願っている次第である。

■研究所紹介



九州工業大学超小型衛星試験センター

九州工業大学 超小型衛星試験センター センター長 趙 孟佑 (ちょう めんう)

1. 設立背景

九州工業大学超小型衛星試験センター（以下センターと略記）は2010年7月7日に北九州市戸畑区・九州工業大学戸畑キャンパス内に設立された。

センターは超小型衛星（1辺が50cm以下、重量が50kg以下）の宇宙環境試験に特化した世界初の衛星試験設備である。現在は、日本のみならず世界各地の大学や企業で超小型衛星の開発が進められている。しかし、これらの超小型衛星の環境試験を手軽に実施できる場所はなく、超小型衛星を通じた宇宙開発への新規参入を妨げる原因となっていた。その問題を解消すべく、超小型衛星試験センターが開設された。

2. 「作ってすぐに試せる場」を提供

2.1 熱環境試験

人工衛星は宇宙環境において $\pm 100^{\circ}\text{C}$ を超える過酷な熱サイクルに曝されるので、適切な熱対策を施していないと、搭載機器の



写真3 熱光学特性測定用装置

動作に支障をきたす。人工衛星工の熱設計が適切に行われているか、また真空中の熱サイクル環境下で正常に動作するかどうかを確認するための様々な熱環境試験が必要になる。センターではこの試験要求にこたえるために、熱平衡試験、熱真空試験（写真-1）、熱サイクル試験（写真-2）、熱光学特性測定試験（写真-3）を実施できる設備を用意している。

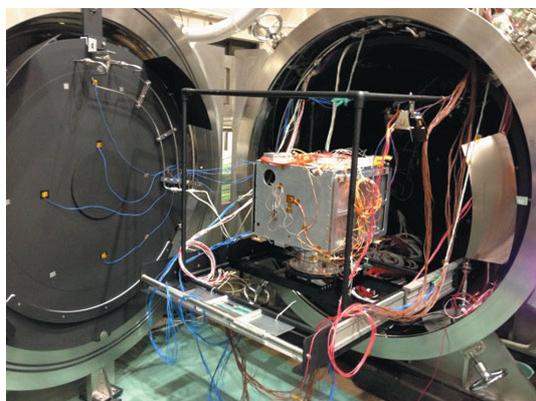


写真1 1.7m真空チャンバー

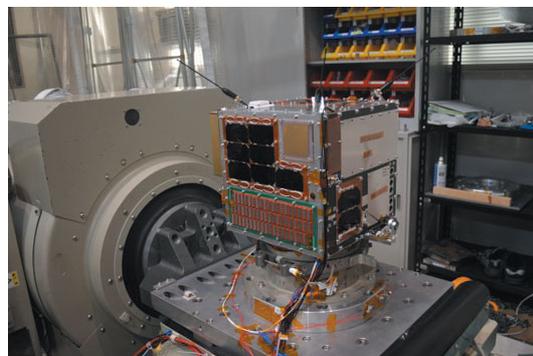


写真4 振動試験装置



写真2 熱サイクル用恒温槽



写真5 衝撃試験装置

2.2 振動・衝撃試験

センターでは、衛星を打ち上げる際にロケットから伝わる振動や衝撃に耐えられるかどうかを検証する振動試験装置（写真-4）・衝撃試験装置（写真-5）を使って、様々なロケットの要求に沿った試験を行うことができる。自主開発した解析プログラムを使い、試験データの波形をその場でチェックでき、迅速な試験を実施することができる。

2.3 電磁適合性試験

衛星が地上局とデータのやり取りを行うためには搭載アンテナからの放射パターン等の特性を知っておく必要がある。また、搭載機器間の電磁適合性（EMC）試験を実施する必要があり、そのための電波暗室を用意している（写真-6）。

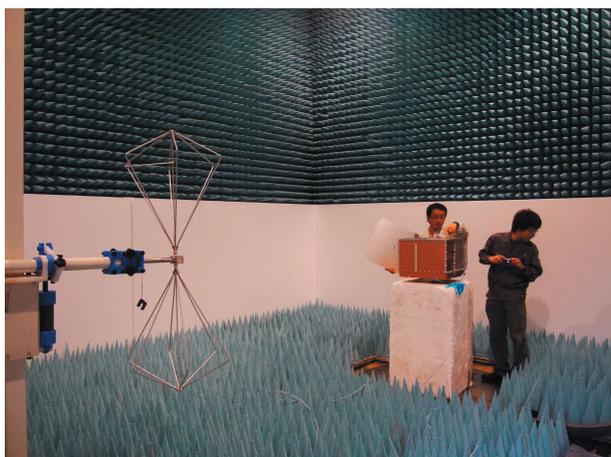


写真6 電磁適合性試験

2.4 アウトガス測定試験

新規材料を宇宙にもっていく際に、真空状態で衛星に使用している材料から出るガスが許容範囲におさまっているかどうかの検証を行う必要がある。アウトガス測定試験装置（写真-7）を設置し、ASTM-E-595 規格に準拠した試験を行っている。

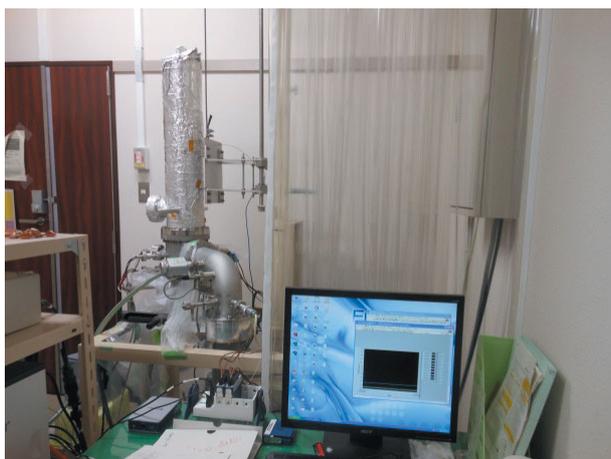


写真7 アウトガス測定装置

3. 試験実績

センターでは2015年8月までに国内・海外を合わせて26機の衛星の試験に関わってきた。その内訳を表-1、表-2に記す。

表-1 国内外のセンター利用状況（2015年8月末）

	国内大学	国内企業	海外大学	海外企業	計
2011年	8	5			13
2012年	15	14			29
2013年	24	18		1	43
2014年	16	10	3		29
2015年		9	2		11
計	63	56	5	1	125

表-2 センター設備利用状況（2015年8月末）

	試験	試験回数	試験日数
機械系試験	振動試験	65	162
	衝撃試験	14	24
熱環境試験	熱真空・熱平衡試験	33	186
	熱サイクル試験	4	6
	熱光学特性試験	5	83
電磁適合性試験		1	3
アウトガス試験		10	120
	計	132	584

4. 衛星試験の標準化

超小型衛星は世界中で開発と利用が盛んになっている。低価格と短納期に重点を置き、非宇宙の地上民生品の使用やリスクを許容した設計思想という特徴をもつことが理由である。超小型衛星の利用目的は、教育・科学・技術実証・商用と多岐に亘る。特に、超小型衛星の商業利用は、宇宙利用のパラダイムシフトにつながる新たな市場の可能性を秘めている。

一方で超小型衛星の成功率は低く、商業利用を進めるうえで、低コスト・短納期という利点を保ったまま信頼性を向上させることが課題となっている。そのため、超小型と従来の中・大型衛星との違いと共通点をはっきりさせ、超小型衛星開発と利用のさらなる発展のための基礎を構築する必要がある。そこでセンターでは2011年から超小型衛星の試験方法を標準化するための国際プロジェクトを実施している。2014年からは、超小型衛星の定義と要求事項を記述する超小型衛星上位規格作成についても活動を行っている。

今年度以降も活動を継続し、超小型衛星開発において、日本がリーダーシップをとれるように進めて行く。

連絡先

〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1
九州工業大学超小型衛星試験センター 河野誠司
kawano@ise.kyutech.ac.jp
<http://cent.ele.kyutech.ac.jp/>
Tel: 093-884-3292

トピックス



ナノテクノロジープラットフォームと集積化 MEMS で拓く 次世代 IoT デバイス研究

東京大学大学院工学系研究科 電気系工学専攻 准教授 **三田 吉郎**
文部科学省ナノテクノロジー・プラットフォーム東京大学微細加工拠点 (VDEC) マネージャ

1. はじめに

半導体微細加工技術の応用すなわち、成膜・リソグラフィ・エッチングの繰り返しによって作製する微小電気機械素子 (MEMS) は、半導体電子構造との集積化によってセンシングやアクチュエーション (駆動) を素子単体で実現できること、従来型の機械加工では一般的に実現困難であった、ミリメートル未満の微細構造をマイクロメートル以下の精度で一括に大量生産できることから、加速度・角速度センサやプリンタのヘッド、ディスクプレイ素子そして音響素子へと徐々にその応用領域を拡大し、ユビキタス時代に欠かせない構成要素となった。今後情報技術はいわゆる IoT (Internet of Things) 時代を迎えると言われている。IoT は自立した小型エージェント同士のネットワークによる外界情報の分散センシングまたは環境への働きかけを行う仕組みであると定義しても差し支えないと考えられるが、実は「自立した小型分散エージェントの協調動作による機能発現」という概念は、MEMS が登場した極初期 (1990 年代初頭) には「自律分散」というキーワードによって既に構想されていた¹⁾。カリフォルニア工科大学バークレー校 (UCB) Kristopher Pister 教授による 1990 年代後半の「Smart Dust」関連研究²⁾が有名であるほか、本邦においては東京大学生産技術研究所の藤田博之教授らの研究グループが 1990 年代初頭より、アレイ化した無数のマイクロアクチュエータの協調動作によって目に見える大きさの機械的出力を得る「自律分散マイクロシステム」の研究を提唱し、今日に至るまでマイクロ搬送システムを題材とした様々な学術成果³⁾を上げている。

筆者の研究室では、「マイクロエージェントが自走し、物理的に構成を組み換えることができる」という概念を新たに加えた自律分散システムを 2007 年に構想し、研究室の一つの柱として継続的に研究を行っている。研究遂行の仕組みとして「大学発 21 世紀型リニアモデル」を提唱している (図-1)。これは、(1)研究

室本体は、遠い目標である自走式自律分散マイクロエージェントシステムの研究を行い学術発表を行う。(2)システム実現に必要な要素技術として最新のテクノロジーを活用した新たな MEMS 作製手法を研究するとともに、実現可能であることは知られていたが、限られた研究者しかアクセスできなかったような試作手段 (研究発展へのボトルネック) を同定し、万人がアクセス可能なものに整備する。(3)開発された試作手法や手段を広く開放し、それを通じて産業界が直面する個々の課題に取り組む、要約すると「遠い目標で足元の技能を強化し産学連携を展開する」という仕組みである。目標が遠い研究であり、具体的応用とバッティングしないため学術的成果として遠慮なく発表でき、同時に得られた最先端の新規微細半導体素子と試作手法、手段を通じて産業界との連携を取る。同モデルによれば大学設置の目的である学術の振興と産業の振興を同時に追い求めることが可能になり、既に複数の大企業、中小企業との共同研究に結びついており、研究シーズの産業化プロジェクトとして着実に成果を積み上げている。

2. 水上を自走する小型マイクロエージェント (アメンボデバイス)

自走するマイクロエージェントの研究は 2000 年前後に一つのピークを迎え、KTH (スウェーデン) の Ebefors 氏による熱駆動式歩行ロボット⁴⁾や東京大学・下山勲研究室の三木則尚氏による交番磁界駆動式マイクロヘリコプター⁵⁾など、「走る」「飛ぶ」機能が相次いで示された。筆者らは移動に要するエネルギーの少なさを重要視して「水上走行動作 (アメンボのような動き)」を目標とし、キャパシタに静電エネルギーを蓄積することで表面張力を局所的に変調する「Electrowetting on Dielectric (EWOD)」原理⁶⁾によって水上走行する仕組みを構想、実証実験に成功した⁷⁾。テフロン[®]被覆の撥水性によって水上に浮かんだシリコンチップには、五酸化二タンタル (Ta₂O₅) で覆われた高誘電率

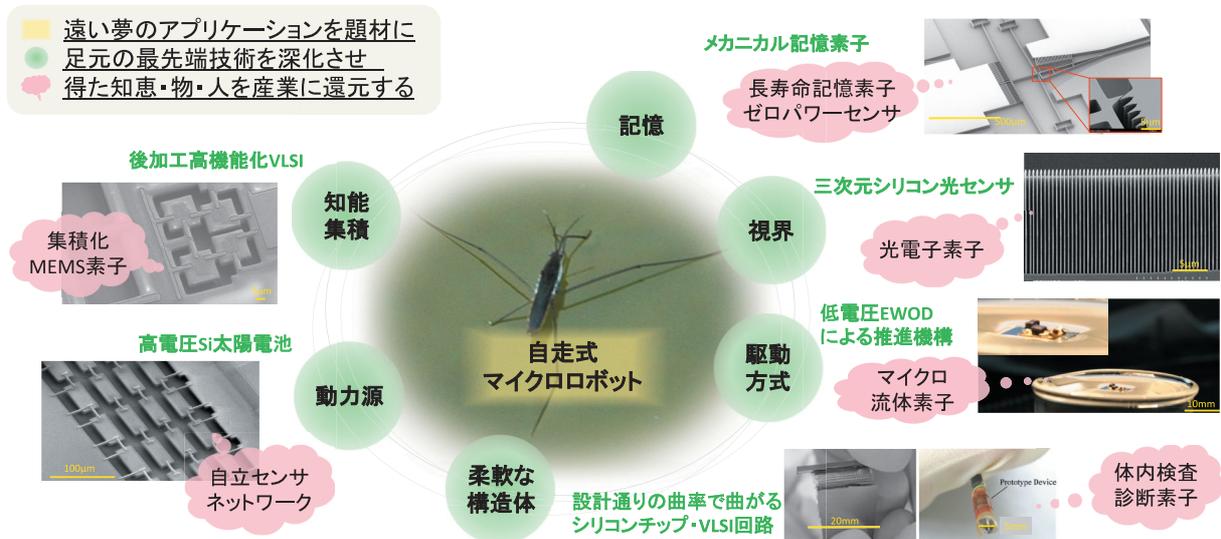


図-1 筆者が提唱する「大学発 21 世紀型リニアモデル」

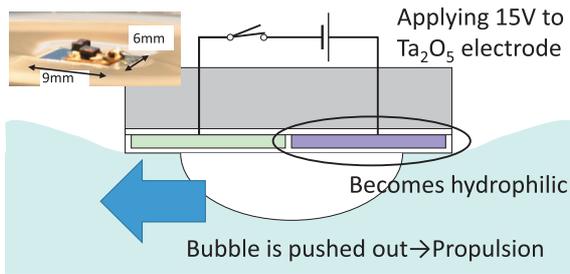


図-2 EWODを用いた水上走行素子と仕組み

キャパシタ電極と、参照電圧を与える非酸化のタンタル電極が並んで設置される。何らかの方法で水中に気泡を発生させると*、撥水性である素子表面には逆に（良い具合に）吸着される。水泡が十分成長した適度なタイミングで電極間に15V程度の電圧を印加すると、 Ta_2O_5 電極側だけが選択的に親水性となる。そして親水面側に「水が引き込まれる」状態が生じ、気泡がチップ外に押し出されバブルジェットの反動でシリコンチップを移動させることができる（図-2）。ビデオカメラによる観測により、7.2 mm/sの速度が得られることが分かった。

3. 自立マイクロマシン向け無線給電手法

前節での実験では、ワイヤボンディングに用いられる金線（ $\phi 25 \mu m$ ）によって有線で電力を供給したが、高さ $\phi 25 \mu m \times 2$ cm程度の金線であっても、プラスとマイナス極の2本で合計のバネ定数が1.14 N/mとなり、都合「ミリメートルでミリニュートン」の復元力が発生し、それがシリコンチップの自由な移動を妨げるに十分な力となって、期待した一方向への水上走行は生じず、単振動運動が観察された。この実験や、歩行ロボット、マイクロヘリコプター等の先行研究の成果を考察すると、真に自律的な動作を得るためには、無線によって電力を得る小型軽量の素子を集積化する必要があることが示唆された。

筆者らは、無線によるオンチップの電力供給源として、

- ・チップ部品による共鳴電力伝送方式を用いた水上走行素子の原理実証を行い、さらなる小型軽量化をめざして、
- ・高周波（UHF）帯で効率の高い電送を行う共鳴型電力伝送方式⁸⁾
- ・昇圧回路無しで直接高電圧を発生するオンチップシリコン太陽電池⁹⁾

について研究を展開した。数年にわたる研究の結果、小型素子の駆動源として十分実用に足る性能が得られるようになっており、これらを構成要素とした「エネルギー自立型の小型デバイス」の研究が開く素地が整った。

まず、手軽に入手できる表面実装用の市販チップ部品によって、エネルギー受信回路を作製した。チップコイルに電磁誘導で

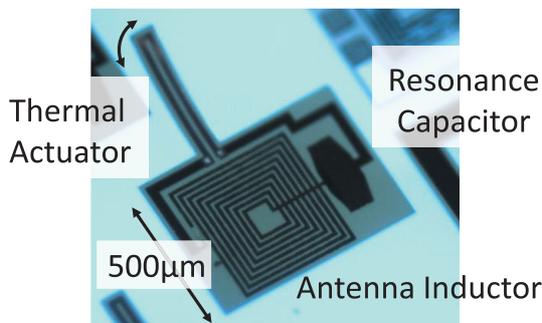


図-3 共鳴型マイクロ電送回路と繊毛アクチュエータ

エネルギーを与え、共振現象によって高電圧を発生、それをショットキーダイオードによって整流、平滑化して Ta_2O_5 電極に印加した。搬送波周波数5 MHz附近にて共振現象が観測され、誘起された電圧によってEWODを起こすことができた。この回路をシリコンチップ上に搭載して水上走行動作を試みたところ、EWODによる気泡の移動と、それに伴う若干のチップ自走動作が首尾よく観察された⁷⁾。ただし、回路部品の重さによって、シリコンチップが大きく沈み込んでいたため、力が途中でバランスを失い、気泡をチップ外に放出させることができなかったため、観測された移動量は1 mm程度にとどまった。従って、原理検証には成功したが、実用を考えると構成要素の軽量化が必須であることが分かった。

構成要素の軽量化のためには、半導体チップ上にコイルとキャパシタによる共振回路を直接集積化することが有効である。このようなオンチップコイルの欠点は巻き数の制限と磁性体の集積化の技術的困難によって、高周波技術でいうところの「空心コイル」程度しか実現できず、その結果、チップ部品と比較してインダクタンス L を大きく取れないことである。端的には1ミリメートル大のチップインダクタとしてマイクロヘンリー（ μH ）以上の素子が容易に購入できる一方で、オンチップインダクタは筆者らの実験によるデザインで数ナノ～数十ナノヘンリーといったインダクタンス値が一般的である。一方、利点は主に巻線の線間容量によって起こされる並列共振周波数 f_p をオンチップインダクタでは高く取れることであり、極短波（UHF、300 MHz～3 GHz）搬送波を用いた電力伝送が現実味を帯びてくる。430 MHz帯（アマチュア無線帯）周波数における電力伝送を狙って共振回路を設計試作して実験したところ、450 MHzにおいて共振を持つような電力伝送回路が得られた。送受信回路のコイルを1.5 mm離してコイル2のコイル1による結合係数（ S_{21} ）を測定したところ、共振器無しの伝送での $S_{21}=2.2\%$ から、共振器有りの場合の $S_{21}=4.8\%$ となり、2.2倍（電力にして4.84倍）の効率改善を得ることができ⁸⁾、この共振器をジュール発熱による熱膨張によって変形動作する繊毛型マイクロアクチュエータ¹⁰⁾と接続し（図-3）、無線電送による駆動に成功した。

上記の実験によって、磁界結合によってエネルギー電送を行うマイクロシステムの実現可能性が実証されたが、究極のアプリケーションとして考えている自然界では変動する磁界の生成・伝送は中々困難であるため、筆者らは自立型の電源としての究極の一つは、やはり太陽電池であると考えている。太陽電池に依れば、外部から意識的に光を照射することで「MEMSのリモコン駆動」が可能であるほか、エネルギーハーベスタとして自然界の光からエネルギーを取得できるため便利である。自立マイクロシステム向けの太陽電池素材としては、シリコンのpn接合が、制御回路として利用することになるVLSI（大規模集積回路）と同一基板上に作製することができるため大変に望ましい。その一方で、シリコンのバンドギャップは1.1 eVであるから、1接合あたりで発生できる電圧はせいぜい0.5 Vとなり、例えばEWODアクチュエータが必要とされた十数ボルトの電圧はそのままでは得ることができない。高電圧を得るにはDC-DCコンバータ回路を集積化して昇圧することが常識的であるが、効率 η は不可避免的に100%より小さいため、太陽電池の大きさが余計に（ $1/\eta$ 倍）必要となる。例えば $\eta=70\%$ の回路を用いると電池の大きさは1.42倍に膨らみ、小型化に対する最も大きな障害となる。筆者らは、集積化MEMS技術によれば、直接必要な電圧を供給できる発電素子を作製できる、上記問題を完全に解消することに気が付き、表面からの深さ数 μm の位置にシリコン酸化絶縁膜を埋め込んだSilicon on Insulator (SOI) とよばれる基板上に集積回路の一部分として直列接続デザインのpn接合を作製する手法を提案した。pn接合はトランジスタ構造の一部（ウェルや拡散層など）を用いて作製できるので、既存の集積回路作製プロセスをそのまま利用することが実用上の大きなメリットである。単にデザイ

* 実験ではピペットにより気泡を注入した。

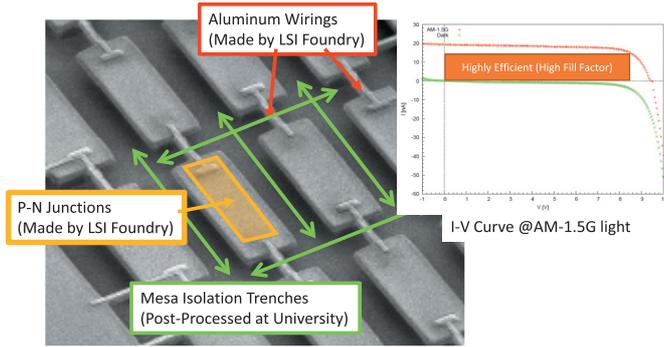


図-4 集積化シリコン太陽電池

ン上で pn 接合を直列に接続してダイオードを作ったつもりでも、実は基板を通じて全てのダイオードはショートしているので、そのままでは高電圧を発生できないのだが、筆者らが得意とする「CMOS 後加工 (ポストプロセス)」の工夫によって、ダイオード間の基板をエッチングして除去してしまうことが可能であり、これによって、同一基板上にバッチプロセスで作製した構成要素を、後加工によって分離して独立した電子部品として利用することが可能となる。結果、多数の太陽電池の直列接続によって、元々 0.5V 程度しか発生できなかった要素から極めて容易に 60V といった高電圧を得る素子を構成ができることが示された (図-4)。数十ボルトを超える電圧を発生できると、EWOD はもちろんのこと、静電駆動によるマイクロアクチュエータの駆動電源としても十分実用になるので、今後の応用展開が期待できる。

4. 利用の勧め—ナノテクノロジー・プラットフォーム

これまで述べてきたような集積化 MEMS の研究を行うには、半導体加工装置群が一式必要となる。そのためには、設備と資金と人員と時間との全てが継続的に必要である。世界の一流拠点と伍して研究開発で戦っていくためには、数十億円の装置を初期投資として場所と装置を揃え、1~2 億円の運転資金を毎年投入して数年間以上運用しながら装置を立ち上げ調整し、試作を行う腕利きのエキスパートエンジニアを育てる必要がある。研究(室)の萌芽期においては、技術と学問とは同一研究室内に同居し、手作りの装置で小規模に実績を積み、次第に規模を大きくすることが通常だが、研究に必要な加工技術は一方通行で高度化、大規模化しており、「研究実績が上がる前に」一流の装置を利用しなくてはならないという、いわゆる「鶏と卵」問題が年々深刻化していた。

筆者の研究分野である MEMS 分野では素子ごとに構造が全く異なる「多様性」こそが特長であるために、一つの流れだけ押えておけば大丈夫という「プロセスセットメニュー」の抽出は大変に困難である。そこで個別加工の優れた装置と知見を有した「プラットフォーム拠点」を作り、アプリケーションサイドから微細素子に対する要求を出す研究者と、豊富な経験に基づいて実現手法を考案するエンジニアとが協力し、拠点の一流装置を利用して素子を試作する手法が優れている。

MEMS 分野において大型のプラットフォーム拠点を国家レベルで整備しようという動きとして、本邦では文部科学省研究振興局 (ナノテクノロジー・物質・材料) において 2012 年から 10 年間の「ナノテクノロジー・プラットフォーム」が稼働している。同プロジェクトでは、「微細加工」「微細構造解析」「分子・物質合成」の 3 プラットフォームに全国津々浦々合計 34 の拠点が参加している。筆者がマネージャを務める東京大学の「微細加工」分野においては、16 拠点 (北大、東北大、産総研、物材機構、筑波大、東大、早大、東工大、名大、豊田工大、京大、阪大、広島大、山口大、香川大、FAIS) が京大代表機関麾下に強固なネットワークを組み、近くの研究者が持ち込む課題を、拠点の技術者・研究者が親身になって考察し、短期間に、廉価に成果を得ることができる。大学、研究所はもちろん、企業の研究開発部門からの研究者が歓迎されており、学術から産業への距離を縮めることがメインミッションとなっている。

東京大学においても 1979 年に竣工した電気電子工学科共通のクリーンルーム (工学部 10 号館) や、生産技術研究所 (集積化マイクロメカトロニクス研究所 LIMMS/国際マイクロメカトロニクス研究センター CIRMM) における MEMS 分野での高いアクティビティを始めとする豊富な実績のうえ、2000 年に武田郁夫氏 (武田理研工業、現アドバンテスト創業者) 個人の寄付によって、米国連邦規格「クラス 1」を含む 600 m² のクリーンルームを有する「武田先端知ビル」が 2003 年に竣工、アドバンテストより、研究開発向けにチューンした高速大面積電子線描画装置「F5112+VD01」、野村マイクロサイエンスより潤沢な (毎時 1 トン) 超純水製造装置などの寄付を受け、学内プラットフォームとしての活動がスタートした。東京大学電気系や機械系の 21 世紀 COE、Global COE プロジェクトの支援などを受けつつ規模を拡大、ナノテクノロジー・ネットワーク (プラットフォーム) には 2007 年から参画、順調に利用者を増やしてきた。本稿執筆時における過去 3 年間の実績として、年間予算約 1.5 億円、利用した研究室数 170 研究室、毎年 600 名を超える登録利用者を数える、大規模な拠点到成長している。

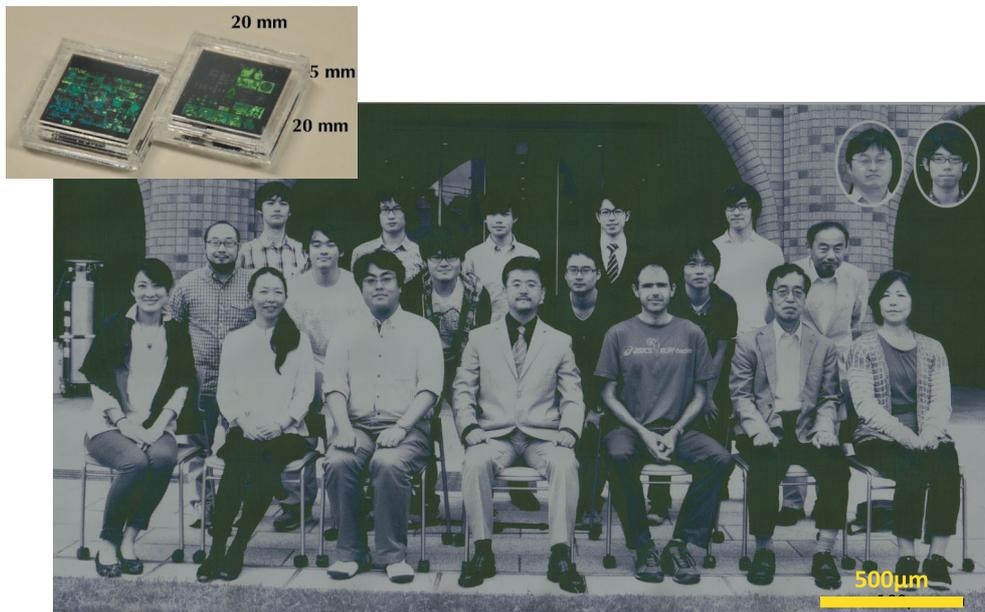


図-5 シリコンドットで描画した「世界最小級の集合写真」とチップ全景 (左上)

筆者の研究グループはこの巨大プラットフォームを支える中核研究室に位置しており、筆者自らも（有料で）研究者として装置を利用し、失敗を繰り返しながら実験を重ねることで、研究成果とともに「うまくいく微細加工の手法」を実体験として蓄積し、その知見をもとに利用希望者に効果的に支援を行っている。図-5は、2014年10月に撮影した研究チームの集合写真を画像を400ナノメートルのドット9個（3×3）の粗密によって8階調グレイスケール画像として4インチシリコンウエーハに描画・エッチング加工したサンプルの顕微鏡写真である。高速大面積電子線描画装置 F5112+VD01 と、高密度深掘りエッチング装置 MUC-21 ASE-Pegasus によって加工を行ったものであり、直接描画加工によって、フォトマスク不要で短時間でミクロン未満の微細加工が可能であるという実力をわかりやすく示す一例である。同技術を利用して、2014年に「はやぶさ2」の相乗り小型ペイロードとして打ちあがった「DESPATCH」に、文京区ゆかりの子供達による97枚のメッセージを描画した2cm角のシリコンチップとして搭載し（図-5左上）、DESPATCHとともに太陽周回軌道上を（半永久的に）周回している。

この実力はもちろん、ただのお絵描きではなく、各種マイクロ・ナノ構造体の描画として用いられ、本稿で報告した各種集積化MEMS素子研究の推進に役立っている。東京大学ナノテク拠点では、平成24年度補正予算で導入された「高速・高精細・大面積電子線描画装置 F7000S-VD02」も公開されており、こちらは大面積描画（8インチ全面描画を現実的な時間で終了）の可能性はそのままに、微細描画性能（20nm以下）第三世代（セルフプロジェクト方式）の「予め用意しておいた形状の縮小スタンブ露光」が可能で、丸や斜め線などの、第一世代（スポットビーム）、第二世代（可変矩形形成ビーム）では不可能だった高度な描画ができるようになっている。リソグラフィと並んで欠かせないエッチング装置、そして精密実装装置なども豊富に取り揃え、利用者の来訪を心待ちしている。ダイサー1個、ボンディング1回から気軽に使える、しきいの低さをモットーに運営しており、利用者からの評判も高い。本稿を読んで少しでも気になった研究者・技術者の方々はお気軽にコンタクトいただきたい。

参考文献

- 1) H. Fujita, "A decade of MEMS and its future", Tenth Annual International Workshop on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS '97), 26-30, Jan., Nagoya 1997, pp. 1-7
- 2) Dana Teasdale et al., "Microrockets for Smart Dust", *Smart Materials and Structures*, Vol. 10, No. 6, 1145-1155 (2001)
- 3) Y. Fukuta et al., "Design, Fabrication, and control of MEMS-based actuator arrays for air-flow distributed micromanipulation" *J. Microelectromechanical Systems*, Vol. 15, No. 4, 912-926 (2006)
- 4) T. Ebefors et al., "A robust micro conveyer realized by arrayed polyimide joint actuators", *J. Micromech. Microeng.*, Vol. 10, No. 3, pp. 337-349 (2000)
- 5) N. Miki and I. Shimoyama, "Soft-Magnetic Rotational Microwings in an Alternating Magnetic Field Applicable to Microflight Mechanisms", *J. Microelectromechanical Systems*, Vol. 12, No. 2, pp. 221-227 (2003)
- 6) Frieder Mugele and Jean-Christophe Baret, "Electrowetting: from basics to applications", *J. Phys. Condens. Matter*, Vol. 17, R705-R774 (2005)
- 7) Y. Mita et al., "Demonstration of a wireless driven MEMS pond skater that uses EWOD technology", *J. Solid-State Electronics*, Vol. 58, No. 7, 709-802 (2009)
- 8) N. Sakamoto et al., "Wireless Drive of A MemS Ciliary Motion Actuator via Coupled Magnetic Resonances using Micro Inductors", The 17th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers '15), June 21-25, Anchorage, USA (2015)
- 9) I. Mori et al., "A Monolithically-Integrated, Batch Post-Processed 17.8 V Silicon Solar Cell for Remote MEMS Driving", The 2011 International Conference on Solid State Devices and Materials, 28-30, Sep., Nagoya, Japan, pp. 1041-1042 (2011)
- 10) M. Ataka et al., "Fabrication and Operation of Polyimide Bimorph Actuators for a Ciliary Motion System", *J. Microelectromechanical Systems*, Vol. 2, No. 4, 146-150 (1993)

連絡先

東京大学大学院工学系研究科 電気系工学専攻 准教授 三田吉郎
<http://www.if.tu-tokyo.ac.jp/>
 mita@if.tu-tokyo.ac.jp



写真-1 開会式で開会宣言の鐘が鳴らされた

■IUMRS 報告

ICMAT 2015 & IUMRS-ICA 2015 に参加して

2015年6月28日～7月3日の期間、ICMAT 2015 & IUMRS-ICA 2015 (8th International Conference on Materials for Advanced Technologies of the Materials Research Society of Singapore & 16th IUMRS-International Conference in Asia) がシンガポールの Suntec で開催された。ICMAT は MRS-Singapore が隔年に開催する年次大会である。IUMRS-ICA は毎年開催される IUMRS のアジアの大会で、2014年8月 MRS-J 主催で福岡で開催されたのが記憶に新しい。MRS-S はこの2つの大会を同時開催することで、大きな大会とした。主催者によると、33のシンポジウム (Materials Science のほとんど全ての領域を網羅)、8件の Plenary lectures、4件の Theme lectures、約2,000名の

参加者があった。開会式ではシンガポールの経済産業省副大臣が挨拶されるという力の入れようであった。会期中、毎日ビュッフェスタイルの昼食が提供された。組織委員長 Prof. Chowdari (MRS-S の会長) にこのことを聞いたところ、昼食を会場内に用意することで、参加者を会場に引き止められる。したがって、より深い議論が可能であると言っていた。確かに、会場近辺のレストランは決して安くはなかった。参加者も安心して食事ができるということであろう。Prof. Chowdari に大会の成功を祝福したら、お礼の言葉と同時に、「問題がないわけではない。一番大きなものは、オーガナイザーの大部分がシンガポール人か、中国人であることだ」と言っていた。多数の国々の研究者がオーガナイザーをやることで、さらなる活性化がはかれる。日本の研究者にも将来、声がかかるであろう。その時はご協力をお願いしたい、とのことであった。(日本 MRS 会長・伊熊泰郎)



写真-2 バンケット会場に集まった Best Poster Award の受賞者

■第4回日本MRS講演会

単結晶に迫る/超える透明バルクセラミックスの開発の現状と課題

主催：一般社団法人日本MRS
協賛：公益社団法人電気化学会、粉体工学会、公益社団法人日本セラミックス協会、公益財団法人神奈川技術アカデミー
日時：2015年9月29日(火) 13:00~17:00
会場：横浜市・横浜情報文化センター大会議室
昨今、照明、レーザー、オプティカルデバイスなどの光に関わる多種多様な材料が開発され、環境・エネルギー、自動車、家電、航空宇宙分野などでの応用展開が期待されています。第4回日本MRS講演会は、化学的安定性、種々の複合的機能など、優

れた特性を有する無機材料、特に、製造コスト、形状の自由度などの点で優れた透明バルクセラミックスの開発に関する最新動向を紹介しながら、単結晶に迫る、そして、超える材料としての開発の課題について議論することを目的に企画されました。

(株)ワールドラボの池末明生氏に、極めて高い直線透過率を有するYAGセラミックスをはじめとする各種材料開発と高出力レーザー等の応用について単結晶を超える性能も含めてお話しいただきました。長岡技術科学大学の小松高行先生には透明結晶化ガラスとレーザーによるパターンニングについて講演をいただきました。長岡技術科学大学の田中諭先生には粉体プロセスの高度化による光学異方性を持つ結晶系での透明化について、神奈川科学技術アカデミーの高橋拓実氏には従来にはない窒化物セラミックスの透明蛍光バルク体について紹介していただきました。

材料研究者からユーザーまで関連する幅広い分野から、多数の研究者や技術者にご参加いただきました。講師と参加者の間で、材料開発や応用に関する多くの活発な議論がなされ、将来につながる情報交換が行われました。このようなディスカッションと人材交流は、今後の透明バルクセラミックスの開発のさらなる発展に繋がることが期待されます。(横浜国立大学・多々見純一)



ご 案 内

第25回日本MRS年次大会

—技術革新を先導する先進材料研究—

日時：2015年12月8日(火)~10日(木)
場所：横浜情報文化センター(横浜市中区日本大通11)、横浜市開港記念会館(横浜市中区本町1-6)、万国橋会議センター(横浜市中区海岸通4-23)、波止場会館(横浜市中区海岸通1-1)、産業貿易センタービル(横浜市中区山下町2)、神奈川県民ホール(横浜市中区山下町3-1)
総合受付：12月8~10日、横浜情報文化センター6階ホワイトエ、午前9時より
懇親会
日時・場所：12月9日(水)、横浜マリニタワーホール(横浜市中区山下町15)、費用：5,000円
問合せ先：日本MRS事務局(室井るみの、大竹敬子、吉村祐子) 〒231-0002 横浜市中区海岸通3-9 横浜ビル507D、Tel: 045-263-8538、Fax: 045-263-8539、E-mail: meetings@mrs-j.org

■IUMRS 関連会議

▽The 15th International Conference on Advanced Materials
Venue: Kyoto University, Yoshida Campus, Kyoto, Japan, Date: August 27-September 01, 2017, Organizing Committees: MRS-J Officers, Chairperson: Yasuro IKUMA, Kanagawa Institute of Technology, Professor, General Secretary: Toshiyuki MORI,

National Institute for Materials Science (NIMS), Managing Director, For more Information: IUMRS-ICAM2017 secretariat, E-mail: iumrs-icam2017@mrs-j.org

■新刊紹介

Trans. Mat. Res. Soc. Japan, vol. 40, No. 3, 2015 が出版されました。

掲載されている論文は以下のとおりです。末尾の数字は掲載論文数です。

- ・2014年 IUMRS-ICA 2014 ▽A-5 Materials for Living—Environment・Energy・Medicine— 1, ▽B-5 Advanced Study in Science and Technology for Soft Matter 1, ▽B-12 Functional Self-Organized Materials 1, ▽C-5 Damage and Failure Mechanics of Engineering Materials 1, ▽C-6 Frontiers in Plasmonic Nanomaterials 2, ▽C-10 Advanced Ferroic Materials: Processing, Characterization and Device Application 8, ▽C-11 Nano-Scale Functional Materials: Advanced Syntheses, Characterization, Functions, and Applications 3, ▽D-7 Functional Surface Science & Engineering 2, ▽D-11 Development of Environmentally Friendly Processes and Materials—Including Solution Processes and Their Applications— 2, ▽E-1 Materials Frontier 2
- ・2014年次大会 ▽C Eco Product Session 1
- ▽一般投稿 1

■Ecomaterials and Material Science of Japan p. 1
Yoshikazu SHINOHARA, Group Leader, Eco-energy Group, Exploratory Materials Research Laboratory for Energy and Environment, National Institute for Materials Science

The concept of Ecomaterials was proposed as materials that combine three components of advanced material performance, environmental compatibility and human acceptability in 1992. The word of ecomaterials is not an abbreviation of ecological materials, but that of environment conscious materials. They have a role not only of overcoming environmental issues but also of realizing a people-friendly long-life society. Ecomaterials have provided many fields of material researchers with meeting and discussing points to overcome environmental issues. I hope that the annual meetings of the Materials Research Society of Japan will be social symposiums where many fields of material researchers present and discuss the solutions of social issues by jumping the fences of their research fields.

■Center for Nanosatellite Testing, Kyushu Institute of Technology—The First Test Center Dedicated for Nanosatellite Testing at Kitakyushu!—..... p. 2
Mengu CHO, Director Center for Nanosatellite Testing, Kyushu Institute of Technology

Kyushu Institute of Technology established Center for Nanosatellite Testing (CeNT) in the Tobata campus on July 7, 2010. CeNT is made of facilities specialized in the space environmental testing for a nanosatellite up to 50 cm and 50 kg. To verify operation in the extreme environment quite different from those on the ground, various environmental tests are required. There has been no test institution capable of providing all the environmental tests to nanosatellite developers, making the new entry to the space development through nanosatellite

development difficult. The center has test apparatus such as thermal shock, out-gas measurement, thermo-optical measurement, vibration, antenna pattern, thermal vacuum, and the thermal cycle, etc. To conduct the above environment test at one place will not only save the precious time of the satellite development, but also maintain the traceability and consistency of the test data.

■Explore Next Generation IoT Device with MEMS-integrated VLSI p. 4
Yoshio MITA, Associate Professor, Department of Electrical Engineering, and Information Systems The University of Tokyo and Affiliated Professor to VLSI Design and Education Centre (VDEC), The University of Tokyo

Since the early days of Micro Electro Mechanical Systems, one of the far dream of MEMS researcher is to produce precise but externally visible effect by cooperation of a number of identical micro agents. In the authors' group, an autonomous distributed self-movable pond-skater is targeted. A lot of technological breakthrough such as Low-voltage Electrowetting on dielectrics (EWOD)-driven water striding mechanism, resonant mode micro energy transfer system as well as on-chip high-voltage generating Silicon photovoltaic cells are developed. These technologies, initially developed for long-term applications, will readily be available as core technologies applied to industrial fields (the authors call the style 21st-century linear model from University). The fabrication environment as well as CMOS technologies are accessible through the MEXT's Nanotechnology Platform at the University of Tokyo VLSI Design and Education Center (VDEC)'s Takeda Sentanchi Class 1 Cleanroom under the author's playing-management.

目次

01	やあ こんにちは エコマテリアルと日本の材料科学 篠原 嘉一	07	ICMAT 2015 & ICMRS-ICA 2015に参加して 伊熊 泰郎
02	研究所紹介 九州工業大学超小型衛星試験センター 趙 孟佑	08	第4回日本MRS講演会 多々見純一
04	トピックス ナノテクノロジープラットフォームと集積化MEMSで拓く次世代IoTデバイス研究 三田 吉郎	08	ご案内
		09	To the Overseas Members of MRS-J

編後記 今年から編集委員を担当します東京工業高等専門学校電気工学科所属の新國（につくに）と申します。よろしくお願ひいたします。学校では、授業・実験等で学生教育に携わるとともに、MEMS技術と光技術を融合させた光集積回路センサの研究に従事しています。実は、記事で東大の三田准教授よりご紹介のありました「ナノテクノロジープラットフォーム」を活用させていただき、日々研究に励んでいます。今回、編集委員を担当するにあたり本誌のバックナンバーを拝読し、多岐にわたる研究内容から刺激を受け、もっと勉強しなくては、と切に感じました。今後、編集委員として、読者の皆様の興味を喚起するような研究活動をご紹介できればと思っています。最後に、ご執筆いただきました著者の皆様及び編集・出版に関わっていただいた皆様に感謝申し上げますとともに、MRS-Jのますますの発展を願っております。（新國）

© 日本 MRS 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 東京工業大学大学院理工学研究科 中川研究室内

E-mail: nakagawa@pe.titech.ac.jp

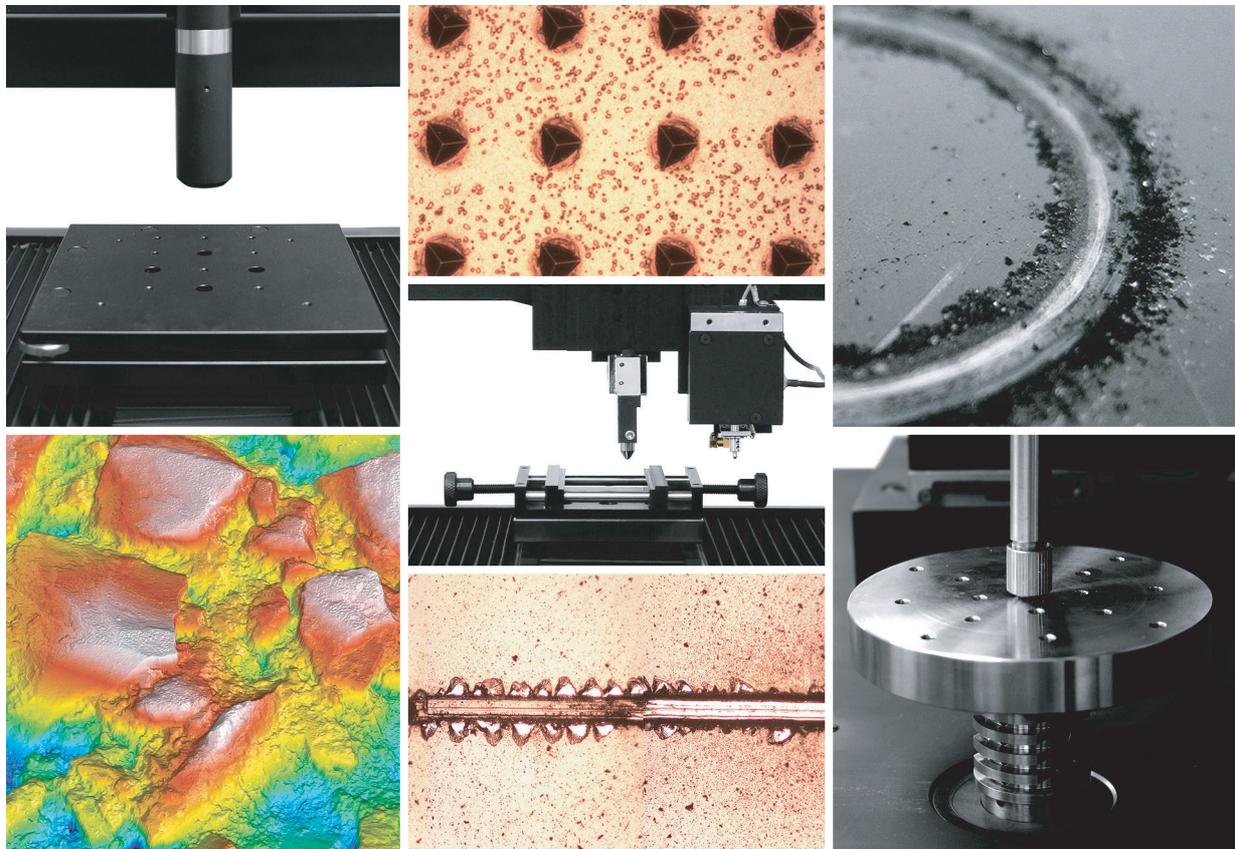
2015年日本MRSニュース編集委員会 第27巻 第4号 2015年11月10日発行

委員長：中川茂樹（東京工業大学大学院理工学研究科）

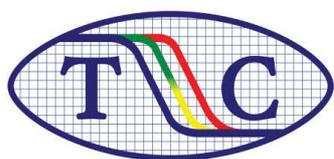
委員：寺田教男（鹿児島大学大学院理工学研究科）、小棹理子（湘北短期大学情報メディア学科）、川又由雄（芝浦メカトロニクス（株））、伊藤 浩（東京工業高等専門学校）、新國広幸（東京工業高等専門学校）、岩田展幸（日本大学理工学部）、Manuel E. BRITO（山梨大学クリーンエネルギー研究センター）、松下伸広（東京工業大学応用セラミックス研究所）、小林知洋（国立研究開発法人理化学研究所）、鮫島宗一郎（鹿児島大学学術研究院）、狩野 旬（岡山大学大学院）、寺迫智昭（愛媛大学大学院）、籠宮 功（名古屋工業大学大学院）、西本右子（神奈川大学）、鈴木俊之（（株）パーキンエルマー ジャパン）、寺西義一（東京都立産業技術研究センター）

顧問：山本 寛（日本大学理工学部）、岸本直樹（国立研究開発法人物質・材料研究機構）

編集：清水正秀（東京CTB） 出版：株式会社内田老鶴圃 印刷：三美印刷株式会社



ナノビア社はプロファイルメトリー（三次元形状測定）、メカニカル及びトライボロジー測定に関する長年の経験に基づき装置のデザイン、作製を行っています。ナノビア社は常に多様な試料に対する最新測定技術の向上に努めています。操作簡便、オートメーション、優れた正確性がナノビア社プロファイルメーター、メカニカルテスター及びトライボメーターの特徴です。このようにお客様の品質管理改善や製品開発に大きく貢献しています。ナノビア社製品は表面ラフネス、ナノインデンテーション、スクラッチ、磨耗テスト等多種の重要な測定を可能にしています。ナノビア社製品は世界的に自動車産業から化粧品、バイオロジー、医薬品関係、エレクトロニクス、航空機関連等の広範囲な産業に適応されています。ナノビア社は多くのお客様から正確性、優れた技術、経験的アドバイス等広範囲なサービスで信頼されています。



総代理店 (株)日本サーマル・コンサルティング

〒160-0023東京都新宿区西新宿1-5-11新宿三葉ビル5F

PH03-5339-1470 Fax03-5339-1471

Email info@thermconsult.co.jp

Web www.therm-info.com