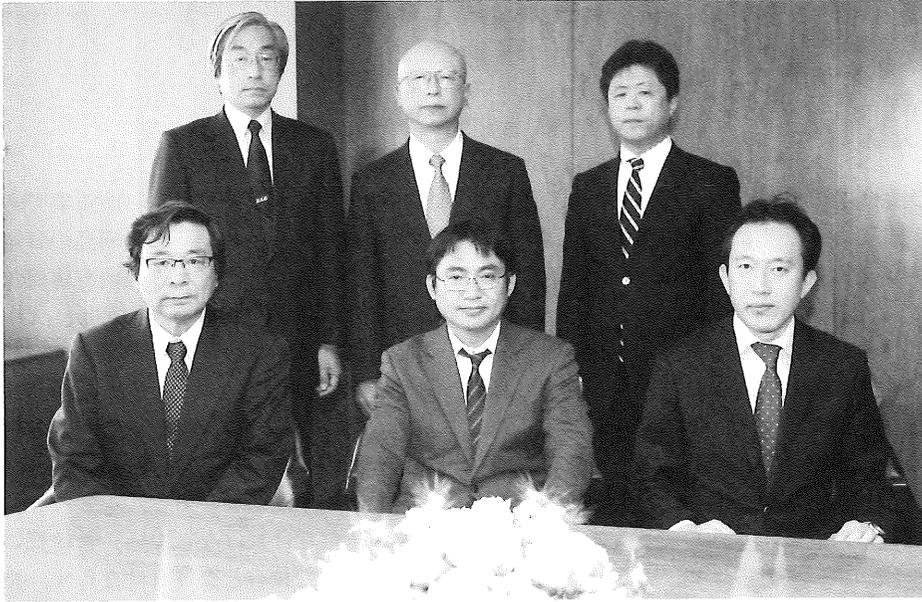


特集「グリーントライボロジー」特別座談会

トライボロジーが拓く低炭素社会 第2回

トライボロジーに求められる分野・セクターを超えた総力の結集



開催日：2012年3月16日
 会場：機械振興会館（東京）
 出席者：坂本修一 文部科学省 ナノテクノロジー・材料開発推進室長
 森田清三 日本表面科学会会長（大阪大学教授）
 岡島博司 トヨタ自動車(株) 技術統括部 主幹
 熊田喜生 日本トライボロジー学会会長（大豊工業(株) 技術顧問）
 益子正文 日本トライボロジー学会副会長（東京工業大学教授）
 コーディネーター：
 足立幸志（東北大学教授）

実用と基礎という研究方式の違いが話題になった前回の対談から、今回は産業と大学・研究機関の融合についての必要性が話題となる。分野を超えて知恵を出し合い、議論し、実践する「場」が求められている。

足立 実際にもものづくりをすると、いま森田先生がおっしゃられた「基礎と実用のギャップ、谷間」というのは大きな問題になっているのではないかと思います。岡島さんは実際の機械作りにおいて、摩擦をどう減らすかということを実践されていますが、今の科学という視点と実際に作られるときの谷間をどうお考えになっているのでしょうか。

A Round Table Talk: Green Tribology

Tribology-Pioneered Low-Carbon Society (Part 2)

Collective Resources Beyond Field and Sector

試験片と実機の谷間

岡島 実際、我々がどう仕事をしているかという、まずエンジンの中で何が起きているかを見るとき、実際にエンジンを回して、結果でOKでしたとかダメでしたという判断をしています。ダメだったのでどう改善しようかというとき、材料だったり表面処理の開発をしていくわけです。まず評価、試験片、テストピースです。そのテストピースで試験をしていくわけですが、これでこういう順番をつけて対策したら摩耗量はこれぐらいに減る。では実機に入れ込んでやってみよう。で、エンジンを回してみたら思っていたほど効果がなかった。よくある話です。



岡島氏

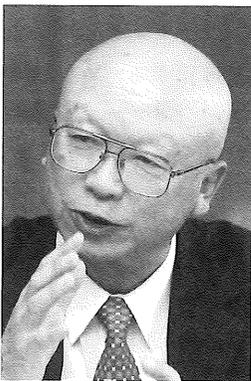
それはもう大変複雑ですね。熊田さんはよくご存知だと思うんですけども（笑）、試験片と実機とのギャップの中にもいろんなファクターが入っていて、温度であったり、圧力の条件であったり、表面粗さであったり、そのいろんなファクターを分解していくと、きっと分かるはずなんです。試験片からどんどん学術的にブレイクダウンしていけば、いま、その谷間はあるのかもしれませんが、何が要因なのかと分解していくと、それはちゃんとモノとしてつながっていますから、説明はつくはずなんです。ただ、変数が多すぎて分からない。

潤滑油も単純なベースオイルじゃなくて、いろんな添加剤が入ってきています。我々エンジニアリングが悪いんですけど、起こっている現象に対して、こういうことが起きたからこれを入れて、という場当たり的な改善できているのです。実はなぜ効いているのか、理由はちゃんとメカニズムと理由があって、それを科学で裏付けをしていただけると、我々も安心してものづくりができるのではないかなと思うのです。

足立 ちょうどお名前が出ましたが、熊田さんも企業人としていかがお考えですか？

実学としてのトライボロジーと基礎科学への橋渡し

熊田 岡島さんのお話は非常によく分かります。試験片とエンジン実機には、実際には格段に差があると考えています。フリクション低減というグリーンイノベーションが必要かと思われまので、エンジンのすべり軸受をやっている例をお話してみます。フリクションを減らすためには軸受の幅を狭くしようということになります。接触面積を少なくしてフリクションを減らしましょうと、こういうアプローチはどこもやるわけです。そうするとかかる荷重、面圧が上がってまいります。面圧が上がると、どうしても損傷を受けやすくなる。いわゆる焼付き、摩耗が増えます。そのために今我々がやっているのは、例えばその形状を少し変えて油をたくさん流してやろうとか、まあ、小手先の対処が多いんですね。



熊田会長

もう一方で、どうして焼き付くんだろう、この材質のどのへんが悪いんだろうというようなことももちろんやっています。が、まずは当面の課題を解決することが一番なのです。といいますのは、トライボロジーというのは実学なものですから、まずそれをやらないといけない。

我々のところで材質的な検討はある程度まではするんですが、その先、森田先生が言われたその先の原子・分子レベルのところまで行かないと、分からないことがあるなと感じていました。我々に工業をやっている人間と

しては、科学にまでどうやって持っていくかというのは、まだアイデアはありませんが、必要と感じております。

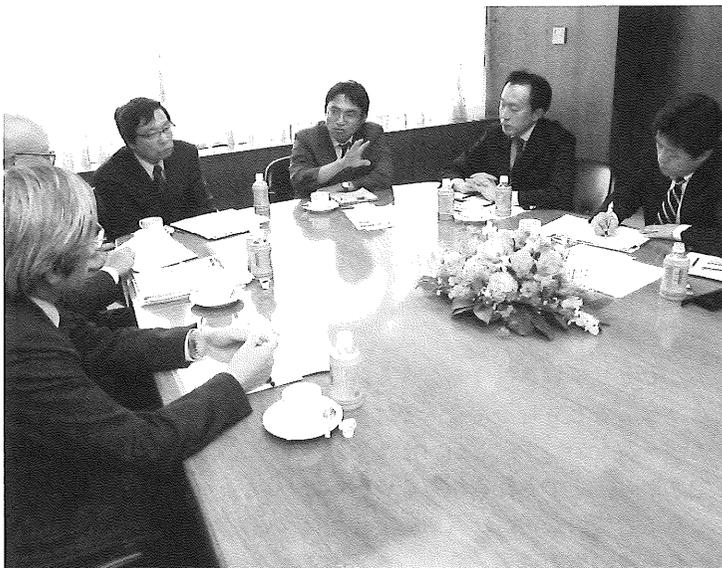
要素課題への分解と科学的アプローチによる最適化 産業とアカデミアの連携へ

坂本 実用課題と申しますか、出口からのお話と同時に、それを要素課題にどんどん還元していくということがあると思います。それはあるシステムから、部材とか部品とか、サブシステムとかに。さらに材料、摩擦であれば部品の接合面であるとかにどんどん還元されていくというときに、ある程度のところまでは学問で言うところの工学に還元されていく。産業でも各セクター毎に還元されていくと思います。でも、あるところに限界というものがあるって、そこで接続をしていかなければならないとなったときに、これは材料開発の課題と同じではないかと思うところがあります。

私の室では元素戦略というプロジェクトを推進しています。トライボロジーというのは現象を解明して操作しようという学問、表面科学ということかと思うのですが、一方で材料そのものの機能をどう発現させるかという面もあると思います。元素戦略ではそれをレアアースやレアメタルを別のものに代替させる、もしくは抜いてしまおうという話をしています。いわゆる現象を対象とするのか、材料機能を対象にするのかということと違うと思うのですが、材料機能を対象とするときに、こういう材料と材料を組み合わせたときにこういう機能があったとします。その機能をもっと発現させようとか、別のものを使って発現させようといったときに、その機能を支配するパラメータとはなんだと、そういうようにどんどん踏み込んでいく。そのときに元素戦略のプロジェクトで出てきていますのは、やはり試行錯誤には限界があるということなのです。要素技術を絞り込んでいくときに、経験的にマクロからミクロに絞り込まれていくわけですね。しかし先ほど岡島さんがおっしゃられたように、可能性は無限にあって、そこに何か鍵がないとやりきれない。



坂本氏



手前、左から益子副会長、熊田会長、森田氏、坂本氏、岡島氏、足立氏

材料開発にしてもこのようにトライボロジーにしても、国際競争が激しい中で、新興国もどんどん科学の力をつけてきています。人海戦術では日本はなかなか勝てないという状況の中でどうスマートに進めるか。本当は100%最適化するためにはすべて100%のパラメータを最適化しなければいけないのでしょうけれども、それを90%、あるいは80%に効くパラメータが特定できて、それを操作できれば、それはもう相当に違ってくるんです。そこに今までのアプローチではない、よりサイエントフィックな理論解析によ

って、予測する。まだまだ物性物理には限界があると聞いていますが、それを発展させることはできないのか。その発展の中でこの要素課題がこの性能に一番効いていますよということが手がかりだけでもあれば、材料開発というものはだいぶ変わってくるというのが材料を作っておられる先生方のご意見です。

そこには理論解析だけではなくて検証も必要です。現象の理解において実際予測されたことが本当に起こっているのか、起こってなければ何が原因なのか。そういったことをフィードバックして改善していかなければならないということです。材料開発、理論解析、構造解析の間のインタラクション（相互作用）。このインタラクションによって、要素課題のうち、本質的なことを早く掴み取っていく。これは学問分野のインテグレーション（統合）というところになっていくと思うんです。

プラスとしまして、実用課題から要素課題に還元していくときに、学問的アプローチでこの課題が面白そうだという視点でインテグレートするということはあると思うんです。

『産業は学問の道場である』と。これは本多光太郎先生のお言葉ですけれども。

産業界にある技術課題というものの背景にあるというか、その下にある最適化への課題というものを産業界とアカデミアが協力をして特定をして、その特定された課題を学問分野、研究アプローチをインテグレートして解決していくということが、サイエンスが本当に社会の発展に貢献していくことをきちっと見せる、重要な部分だと思います。

その克服が社会的価値を持つような技術課題ということに対してサイエンスが要素課題をどんどん絞り込んでいくときに、我々行政は、産業セクターとアカデミアのインタラクションはもっとあっていいと思っております。そうするともっと課題を特定して効果的に絞り込める。それが産業界にとっても重要だし、アカデミア側も面白いはずだと。そういう循環を作り出せないかなと思っております。

これは仕組みの問題で、我々は政策的に誘導させていただけるところはあるのではと考えています。

足立 学問全体を見ても同じ問題というのはあると思います。異分野融合ということをしていかないと答えは出てこないのではないかと。大学人として森田先生もよく異分野融合に言及されています。具体的に異分野融合の難しさ、異分野融合するためにはなにが必要なのかなど、お考えをお聞かせいただけますか。

鉄鋼でのマイクロとマクロのつなぎ しかしトライボロジーでは？

森田 お互いの位置づけ、役割分担というのをきちっと理解した上で、情報交換するということになると思います。実学っていうのはやっぱりマクロで、機械工学的な計算ということになると思うんですが、それをどんどん小さくして行ったときに、マイクロな組織の中で、たとえば潤滑などをどう活かすかとかいうことになろうかと思えます。

例えば鉄鋼などですと、硬さや引張強度などの性能を高めるために、マイクロな組織を作っていて、その組織の中にいかに機能元素を入れ込んでいくかということになります。鉄鋼もマイクロの世界になると結晶方向というのがあって、どういう結晶方向のところはどういう機能元素を入れると、どういう位置に落ちていて、それがどういう効果があるから例えば引張りについて強くなるんだとか、そうつながっていく話ですね。結局実用のものというのは総合芸術というか、いかにマクロからナノにつなげていくかというレベルが出来始めていると思います。



森田氏

マクロな視点のまま、適当にミクロな何かを入れると性能が上がるよというだけではなくて、その界面でその組織がどんな結晶構造をしているか？どんなふうに並んでいるからそこにこんなものが入るとどう並ぶか？それが結果的にどう働くか？そこまで理解していないと最高の性能を出せるものが作れないという時代に入り始めている。

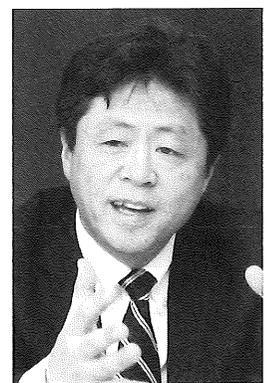
トライボロジーというのは、触媒より難しいと思うのです。触媒というのは、わりとモデル触媒というのが実用にまで繋いで行ける。鉄鋼などはそれこそナノのレベルの話がはっきり見えています。それに対してトライボロジーというのはパラメータを使わない理論ではとても歯が立ちませんからね。ナノのレベルの単純化したモデルでは、複雑なマクロの現象が扱えない。

足立 総合芸術ですか(笑)。その総合芸術を作り上げているトヨタさんとしては、今のナノと技術をどう結びつけているのか、将来的な戦略もお考えになっているのではないかと思うのですが。

技術課題の分解からナノへ そこを共同研究

岡島 以前、社内で技術のトップに言われたんです。同じような原因の不具合が何年後にまた起きるといふことがあると、機械部品の摩耗によってジョイントが抜けてしまうと、そういう不具合が繰り返された時期というのがあったんです。それは物事が何故起きるのかということが分かっていなかったからです。場当たりの対応をしていたので不具合が繰り返されていた。摩擦・摩耗のトライボロジーを、もっともっとトヨタ自動車は先端的な研究をやらなければならないのではないか、と、そう強く言われました。ではそれをやりましょうか、どういうふうにしましょうかといったときに、我々自身なぜ起きているのかという技術の課題を分解していかないと、やっぱり大学の先生のところまでたどり着かないですよ。問題を解決に向けさせたのは、「現実と最先端の」間を埋めるのに苦労しているという認識と、ナノとのかかわりということまで掘り下げ、本当のこの界面でなにが起きているかということ、とにかく知りたいという欲求だったんです。知るために直接中に入って見てこいと役員は言うんですがそれは無理なので(笑)。実は実際模擬的に起こして観るだとか観察する方法ということ、先端の共同研究候補で募集をかけたことがあります。東北大学の栗原和枝先生からご提案いただいて研究を始めて、ナノ共振によって界面で起きていることを調べようとしたのです。このときは先端的な研究と我々がつながったかなというのはありました。

足立 ナノから実用までなんとか整理がつけられればというのは、皆さんの共通の認識であるというのは間違いないと思うのですが、現実的にどうやって結びつけていくのか、また結びつかないときにその間をどう埋めていくのかということが重要な課題だと思います。ナノには表面化学があり物理があり、機械工学が入っており、様々な異分野の学問や産学を結びつけることの重要性はよく分かるのですが、その難しさを考えたときに何か策が必要かと思えます。その点で技術立国を目指す国として、坂本さんのところでもいろいろ考えておられますが、国として考えられている戦略をお聞かせいただけますか。



足立氏

課題の共有と共同作業の場

坂本 ナノテクノロジーあるいは材料研究の全体の問題だというのはおっしゃるとおりだと思います。それをどんな分野でも包括的に適用できるかということ、普遍的な方法論というのは、なかなか難しいと思っています。

ベーシックに表面で何が起きているのか知りたいという知的欲求というのは大事です。そのとき、その課題は我々としては産業と結びついて欲しいと思うわけです。特に材料分野は国にとって非常に重要な分野です。摩擦をどうやって減らすのか。固体摩擦はダメだということやずっとブレイクダウンしていったら、どうもこういう現象はなんで起きているのかということやそれを解くのが鍵だと。これをアカデミアの先生も、これからは学生さんも、一緒に共有する。それにかかわるサイエンスって一体なんだろう。それぞれまずは自分のバックグラウンドで考えるんですけども、より物性・物理なのか化学なのか、ちょっと興味を広げられて、それにアプローチされて何があるんだろうと見ていただきたい。つまり俯瞰的な視野を持つということだと思います。

それは革新的な技術につながります。世の中をあっと言わせるような。そういうことに対しては若い人達は非常に関心を持つと思います。そういう課題を学会の中で浮き彫りにする。いろんな議論の中でです。それに対して皆で頭を柔らかくして取り組んでみないかと。それぞれ専門にこだわらずに。

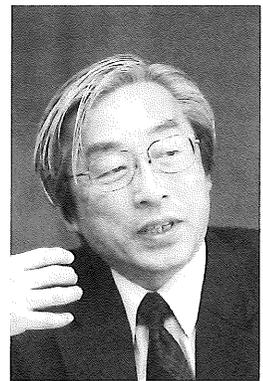
一人じゃ多分難しい。じゃ組んでみたらいいじゃないですか。で組んで何をするかというと、それはそれぞれの学問分野がお互いに知識をインテグレートするだけではありません。電子顕微鏡屋さんとパソコンを使って理論計算するというのもそうです。ディスカッションしてみる。これどうやって取り組んでみようかと。どこまで分かっていると。あるいは何が見えるというのをディスカッションしてみる。みんなが俯瞰的な視野を持てる。それに必要な知識を共有できる。アイデアをぶつけられる。そういう場を作る。そういうのが大事だろうなと思っています。そういう場ができてその中でオレはこれやってみたいという人が出てくる。既存の仕組みの中では、いやそんなことはできないよと言われるかもしれませんが、チャレンジしたいという人に対してはやってみろという場です。アカデミアの方はそんなことよりまずこっちの論文書けと(笑)言うのではなくて、ちょっと時間かかるかもしれないけどやってみろというふうな雰囲気や学会の中でも作っていただく。それは産業界の技術課題の克服にもつながるのだと応援していただく。というふうな場ができないかなと思います。

足立 その「場」というのは非常に大きな意味があると思います。そのような場を持つということに大学として、学会としてもですが、益子先生、どんなご意見をお持ちでしょうか。そのような場で、ある種の課題設定、企業から出てきたある意味科学に落とし込んだ課題設定というのがあったときに、さっと集まるというような場だと思うのですが。

場設定のむずかしさと今の制度

(大学)

益子 難しいですね(笑)。例えば学会としてみると、トライボロジー学会というのは本来そういうためにあると言うとおかしいですが、そういう場なんです。もともと寄り集まってできた学会ですから。うまくできさえすれば、土壌的には十分あるのです。次にそれをどうやって育てるかという話になると思います。でも、同じ視点で大学人がそういうふうな踏み切れるかということや非常に大きなバリアがあると思います。文科省も変わってきて支援していただいているので、動き始めているとは思いますが、大学の人も今までの分野・領域に囚われないでやんなさいと、ということをもっと積極的に文科省から大学に発信すれば、大学だって自分を変えられるんですが……。大学が変われば、障壁なんて一気になくなります。ですが、それを我々から言うのは非常に難しいんです(笑)。有能な若い人が一杯いますので、芽はあります。それをどう育てていただけるかということに尽きるんですね。



益子副会長

それは残念ながら 3 年, 5 年では無理です。長期的なスパンで文科省はここに注目していますということがあれば, 大学はきれいに変わりますよ。それを施策としていただくのが一番いいかと思います。

そのために例えば化学会とか物理学会などのように, その中身はよく知りませんが、学術のメインの部分ってありますよね。だけど境界領域で頑張っている人が必ずしもそういうところに入っていないところがありますよね。そういう人はぜひトライボロジー学会でやって頂ければと思います。ウエルカムです。やっぱり境界の人たちを育てていくというのも文科省から積極的に発信して頂ければ一番いいかなと思います。

場設定のむずかしさと今の制度 (産業界)

岡島 先ほど技術のトップのお話をしましたけれど, ものすごく議論しまして, この分野, 例えば機械屋さん最近元気がないとか弱くなっているとか人口が減っているとか。どうしてだって言われて, いやーそれは論文が書きにくいからですっていう話になったんです(笑)。研究してもあまりに課題が難しすぎる。なかなか論文が書けるような成果が得られなかったりすることが多い。結局産業界側も課題を持っているし, 一緒になってどういふところまでいけば解明に繋がるような大きな成果が出る, そこまでブレイクダウンするような議論をする場, 坂本さんがおっしゃっていた場っていうのが必要なんじゃないかなと思います。

さっきいったように変数が多過ぎるといふのは事実。だけど絡まっている糸をみんなで解きほぐしていくといふのをやらないといけな。

基礎研究への不足している支援

熊田 同感です。非常に不満なのが, トライボロジー学会の論文とか発表を見ますと, 話題になっていることについてはみんなワッと集まる。発表の件数が多い。それはお金が出るということもあるのだろうなと思ったりするのですが, しかし根本的な, たとえば焼付きの原因はどこにあるか。これはトライボロジーでは基本の, 一番のポイントだと我々は思っておりますが, それをコツコツと長年にわたってやっておられる先生といふのは非常に少ない。発表の件数も 230 件ぐらいの発表の中で 3~4 件は必ずあるから, まだ救われるのですが。地道にでも研究を進めて到達点まで行って欲しいなともものすごく思っているんです。そういうところにもきちんと価値を見出して, サイエンスの方にもお金を出していただければと, 僕は言いたいのです。

編集委員会より

トライボロジストの 57 巻 11 号, 12 号では特集企画「グリーントライボロジー」を予定しております。今回の座談会の企画はそれに先駆けて産学官, そして学会の戦略や意見を伺うために開催いたしました。なおこの座談会の続きは, 10 号に掲載する予定です。

出席者プロフィール

坂本 修一 (文部科学省 ナノテクノロジー・材料開発推進室室長)

現在の所属: 文部科学省研究開発局 研究開発戦略官 (核融合・原子力国際協力担当)

マサチューセッツ工科大学大学院原子力工学科修士課程修了, 京都大学博士 (エネルギー科学)。専門は原子炉物理学, エネルギー政策学

平成 4 年旧科学技術庁入庁。最近の所属は, 文部科学省研究開発局宇宙利用推進室長, 地球・環境科学技術推進室長, 大臣官房会計課予算企画調整官, 総務課副長

森田 清三 (日本表面科学会・会長, 大阪大学教授)

現在の所属：大阪大学産業科学研究所・産業科学ナノテクノロジーセンター

大阪大学大学院理学研究科修士課程物理学専攻 修了, 大阪大学大学院理学研究科博士課程物理学専攻 修了,

東北大学助手 (電気通信研究所), 東北大学助教授 (電気通信研究所), 岩手大学教授 (工学部電子工学科), 広島大学教授 (理学部物理学科), 大阪大学教授 (大学院工学研究科電気電子情報工学専攻) を経て大阪大学特任教授 (産業科学研究所産業科学ナノテクノロジーセンター)

主な研究・開発：高性能原子間力顕微鏡の開発と応用

岡島 博司 (トヨタ自動車(株)・技術統括部・主幹)

現在の所属：トヨタ自動車(株) 技術統括部 主査 担当部長

平成 3 年 3 月名古屋工業大学大学院工学系研究科物質工学専攻博士前期課程 修了, 平成 3 年 4 月トヨタ自動車(株)入社

平成 3 年 10 月材料技術部 エンジン, トランスミッション用金属材料の開発, 平成 14 年 1 月材料技術部 HV モータ用磁性材料の開発, 平成 16 年 1 月技術統括部 先端研究の戦略・マネジメントに従事

主な研究・開発：専門は環境・エネルギー材料, 磁石, 蓄電池など

熊田 喜生 (日本トライボロジー学会・会長, 大豊工業(株)・技術顧問)

現在の所属：大豊工業(株)・技術顧問

名古屋大学大学院工学研究科応用物理学教室 修士課程修了(1972 年 3 月)の後, 大豊工業(株)にて研究開発に従事, 2010 年 6 月に専務取締役を退職, 工学博士 (1997 年, 東京大学)

主な研究・開発：エンジン用すべり軸受の解析, 材料開発, 設計ほか, しゅう動部品・材料の開発

益子 正文 (日本トライボロジー学会・副会長, 東京工業大学)

現在の所属：東京工業大学大学院理工学研究科化学工学専攻 教授

東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了,

主な研究・開発：潤滑油・潤滑剤の物理化学, 境界潤滑機構, 宇宙環境用潤滑剤, etc

コーディネーター

足立 幸志 (東北大学 大学院工学研究科 教授)

現在の所属：東北大学大学院工学研究科 ナノメカニクス専攻 ナノ界面制御工学分野 教授

主な研究・開発：新機能表面の設計と創成及びその評価システムの開発, 低環境負荷型スマートトライボシステムの開発

企画

澤江 義則 (九州大学)

小林 将人 (日本精工(株))

写真

桜井 健雄