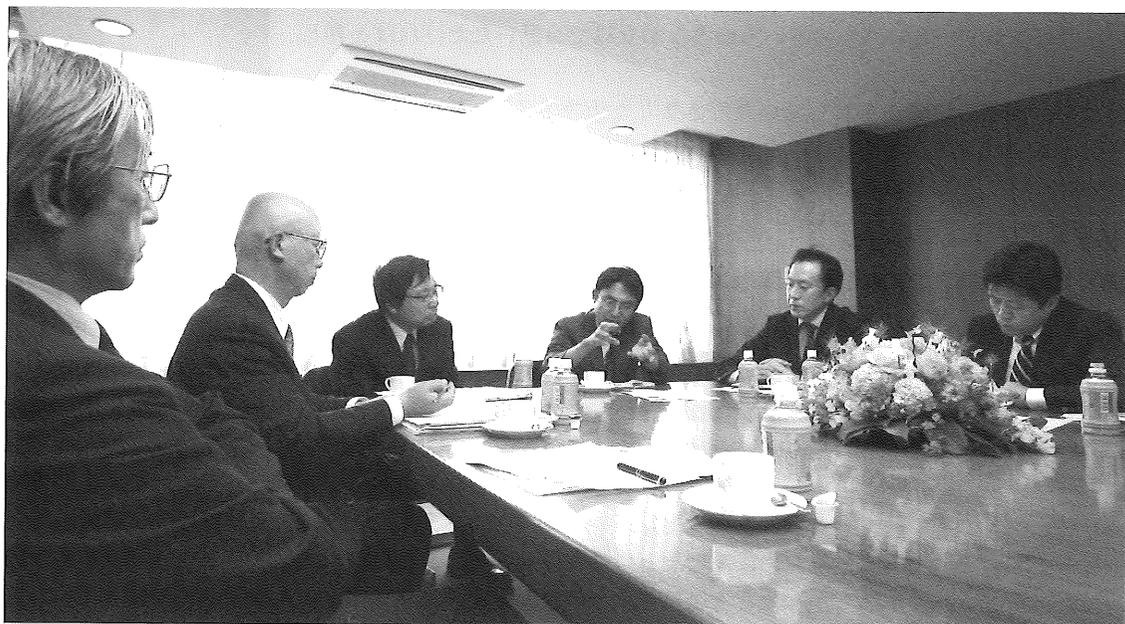


特集「グリーントライボロジー」特別座談会

# トライボロジーが拓く低炭素社会 第1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  
 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）

平成22年6月に閣議決定された新成長戦略「グリーンイノベーション」では、環境エネルギー分野革新が掲げられ、低炭素社会の構築は大きな柱となった。そのような中、東日本大震災により、日本は超低エネルギー消費社会をも目指さなければならなくなった。このような状況においてトライボロジーは大きな役割と期待を集めている。新しく求められている分野やセクターを超えた融合とはなにか。文部科学省、日本表面科学会、自動車会社から見た新しいトライボロジーを語り合っていた。

**足立** 本日お集まり頂きました座談会は、「トライボロジーが拓く低炭素社会」をタイトルとさせていただきました。背景には皆様ご存知の通り、閣議決定されました新成長戦略の『グリーンイノベーショ

A Round Table Talk : Green Tribology

Tribology-Pioneered Low-Carbon Society (Part 1)

Collective Resources Beyond Field and Sector

ン（環境エネルギー分野革新）』があります。そこには円高における産業の空洞化によるものづくりへの危機感、東日本大震災によるエネルギー問題がクローズアップされているという状況もあります。

その中で、ものづくりの基盤技術とされているトライボロジを改めて見たとき、今後どのように発展すべきか、今求められていることは何か。新しいトライボロジというものをいろいろなお立場でお話いただければと存じます。

まず、文部科学省からおいでいただきました坂本さん、「グリーンイノベーション」政策の必要性といますか、どのようなところを目標としているのかについてご紹介いただけますでしょうか。

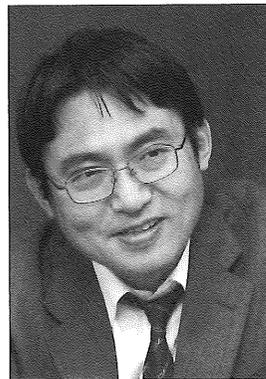


足立氏

## グリーンイノベーション

### 震災による喫緊に求められる超低エネルギー消費社会

坂本 地球環境の問題、地球温暖化防止というのは京都議定書のときも相当問題になりましたし、その後をどうするのが大きな問題になっています。いわば人類共通の問題として、地球規模で取り組まなければならないということで政治的にも大きく採り上げられています。政権もCO<sub>2</sub>をどれだけ削減していくかは大きな政策にしています。



坂本氏

しかし同時にこれは、各国いろいろな利害が絡み、外交的にも非常に複雑な状況を生み出しています。一つ言えることは、人類が持続的に発展していくために、環境との調和はなくてはならないものであるという認識です。豊かな生活を維持し、今の技術をそのまま地球上の人口すべてが使っていくということになりますと、これはもう環境面でも、資源面でも限界が来ることは明らかである。そこを新しい技術によって克服していかなければならない。これも世界共通の認識であり、アカデミアの、あるいは産業界の皆様にも日夜取り組んでいただいていることだと思えます。

それを政府としてもしっかりと後押ししていく。その旗となる言葉として「グリーンイノベーション」という言葉が作られたものと我々は理解しております。昨年閣議決定されました科学技術政策の柱となっています。

さらに昨年、大きな震災があって、わが国は今、非常に厳しい状況に置かれています。震災からの復興は大きな課題になっているところですが、震災によって、特に産業界も大きなダメージを受けました。サプライチェーンの損害、寸断ということもございましたし、歴史的な円高という経済状況も加わって、産業の空洞化は大きな懸念材料になっています。

そのような中でも、やはり我が国は科学技術立国として今後も発展していかなければならない。震災からの復興と、その中で原子力発電所の事故もありましたので、いかにエネルギー消費を抑える社会を作るか。超低エネルギー消費社会と言ってもいいかと思いますが、それを実現していくということは、国家としても最重要課題であると言えるかと思えます。

それをどう実現していくかというときに、トライボロジをはじめとする環境技術を、我が国の強みとしてしっかりと伸ばして、それを産業の発展に生かしていく。そういうことが求められているのではないかなと思います。

足立 ありがとうございます。背景の中に、とても大きな課題があるということを改めて認識いたしました。

続きまして、ものづくりのお立場を代表するという形で、トヨタ自動車の技術統括をされておられる岡島さんから、グリーンイノベーションというものをどのようにお考えになっているかを、現状を踏まえながらお話いただければと思います。自動車というのは総合技術だと思うのですが、ものづくりの全体像から見られて、いかがでしょうか。

## ハイブリッド車での実例 車全体の低フリクション

岡島 グリーンイノベーションと申しますと、すぐにEVだとか燃料電池自動車というところに話が行ってしまうのですが、「第3のエコカー」に代表されるように、すぐにエンジンが無くなってしまふわけではありません。これからどんどん普及していくであろうハイブリッド自動車にしても、エンジンはあるし、モータも電池もある。自動車のグリーンイノベーションとはもっと複雑なものです。



岡島氏

重要なのは、いかに効率を上げていくかということだと思います。もちろん遠い目線では蓄電池の効率をもっと上げなければならないというイノベーションもあるのですが、足元の車両全体の効率を上げるため、トライボロジーで言うところのフリクションの低減をやらなければならない。これは大きな課題として存在します。

これをお話すると皆さん驚かれるのですが、初代の「プリウス」を1997年に出したのですが、そのとき本当は30 km/Lの燃費性能を目指していました。けれども、到達しなかったんですね。たしか28 km/Lぐらいだったのかなと記憶しています。その後マイナーチェンジのタイミングで、なんと31 km/Lに到達しました。一番燃費に効いたのは何かというと、実はトランスアクスルの中のモータの構造変更だったんです。初期のプリウスはドライでしたが、冷却のために油を回しました。遊星歯車側のオートマチックフルードを回すことによって、トランスミッション内の遊星歯車のオイルシールを無くしたんです。その無くなったフリクションが一番効いたんです。燃費が1割ぐらい上がった。これが実態です。もちろん電池だとかモータなんかでも一所懸命燃費を上げる努力をしていたのですが、

電気自動車にしても燃料電池自動車にしても、多くのところに回転部分があって、回転部を支える軸受があります。そういうところのフリクションもどんどん下げていかなければならない。タイヤのフリクションも今、ものすごく下がっています。いろんな技術革新があってタイヤの転がり抵抗というのは下がっていますけれども、そのようにクルマ全体のフリクションもどんどん下げていかなければならないのです。

フリクションを下げるというのはどういうことかということ、例えば潤滑オイルで言うと粘度を下げるということになるんですね。で、粘度を下げるとういうことになるか、摩擦が大きくなったり、焼き付きしやすくなったりということになります。その低い粘度のオイルでも摩擦しないようにしなければならない、焼き付きを未然に防がなければならない。ここでまさにトライボロジーの学術的な貢献が必要なところだと考えています。

足立 ありがとうございます。我々にとって非常に元気になる話です（笑）。

摩擦というお話がでたところで、我々トライボロジー学会から会長の熊田さん、そもそもトライボロジーとはどのような学問なのか、どのような技術なのかを簡単にご紹介いただけますか？

## 多くの分野から参加した トライボロジー学会

熊田 トライボロジーという言葉が最初に出たのは 1966 年。イギリスのピーター・ジョストという学者がこの言葉を使い始めたと言われていました。そのときの論文が、トライボロジーによってイギリスで使われている原油・石油を何%削減できます、というものでした。ひいては貨幣価値にして何ポンドの削減になりますよという内容で、かなり衝撃的でした。

そのときトライボロジーという言葉と概念が使われたのですが、我々は摩擦、摩耗、潤滑と捉えています。今お話がありました、焼付きという表面損傷などに関連する諸現象を扱う工学分野という定義となっております。

我々の学会はどういう形になっているということをちょっとだけ述べさせていただきます。トライボロジー学会は正会員 2400 名弱、学生会員 100 名強、維持会員会社 150 社強という学会の中では小さい方に位置すると思います。また、学会員の研究成果は春、秋に開催されます国内のトライボロジー会議のほか、国際トライボロジー会議 (ITC) や世界トライボロジー会議 (WTC)、アジア国際トライボロジー会議 (Asiatrib) などの国際会議で発表されます。なお、論文については、学会誌「トライボロジスト」や英文の「Tribology Online」に投稿されますが、海外での名の通った雑誌に投稿する方が多いのが実情です。

「トライボロジー学会」に名称変更したのが 1992 年、今からちょうど 20 年前になります。当初は「潤滑学会」という名称を使っておりました、それが 1956 年、今から 56 年前に設立されました。

その当時、トライボロジー学会はどういう分野の出身の方が名前を連ねていたかといいますと、機械系の人間と化学系の人間が主体でした。だいたい機械系が 45% から 40%、化学系がだいたい 30% でした。残りが物理や材料とか船舶とか、電気とかからの出身でした。医学の方も入っておられます。関節の研究や人工関節の開発などをされている方です。そういう非常に多方面の分野からの集合体となってこの 56 年やっております。

曾田 範宗先生という、日本で最初に「トライボロジーゴールドメダル」というのを受賞された先生がおられたのですが、その先生の記事に、「いわば他の専門分野の人々の顔を覚えるところまでは来たと思います」という言葉がありました。「顔は覚えたよ」と。「しかし一歩進めて相手の言葉を覚え、共通語で十分話ができるところまで発展していきたい」ということが所感として述べられております。これは学会ができて 6 年目ぐらいの記事だったのですが、それから 50 年経った現在、顔は覚え、言葉も分かるところまではきた。お互い科学の人は議論ができるという段階まで来たと思っております。ですが、そのほかの、外の人と話ができるかということ、必ずしもそこまでは行っていないというのが現状だと思っております。

足立 もともと機械もあり化学もありという様々な分野の融合であり、一つの学問というより総合学問という位置づけにあったということですね。

益子先生からもトライボロジー学会についてお感じになられることはありますでしょうか。

## 機械屋と化学屋 研究内容の変化

益子 熊田さんのお話を引き継いでということになりますが、もちろんトライボロジーというものが機

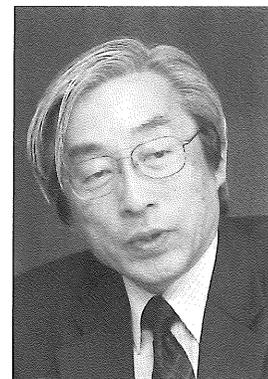


熊田会長

械をいかに上手く動かすかというところから起こったものであって、まさに機械屋の世界だったのです。そこにどうして化学屋がたくさんいたかという、潤滑油のサプライヤーとして参加していたわけです。あくまで主体は機械屋であって、機械屋が上手く機械を動かすために油屋が必要だったということで、化学屋はトライボロジーに主体的にかかわってきたわけではなかったんですね。

でもだんだん時代が進み、技術が進歩して、非常に高精度なものが要求されるようになってきますと、単に化学屋も潤滑油のサプライヤーとしてではなく、現象の分析にも入ってくるようになった。また機械屋も機械を単なるシステム、メカニズムとしてだけではなく、界面の現象にも注目するようになってきた。いま機械工学の先生でも、やっている研究は化学、材料です。同じように化学の人間も、単にものを作ってというだけではなく、それが界面でどういう現象を起こすのかというところまで掘り下げています。

ということで会員の出身内訳はあまり変わっていないのですが、その中でやっている視点というところがだいぶ変わってきています。



益子副会長

**足立** 表面を深く厳密に見ていくと、そこは当然、物理という世界になります。

本日は日本表面科学会の会長である森田先生にもお越しいただきました。森田先生には、表面・界面という科学を専門に取り組まれている学会から、表面とトライボロジーをどうぞ覧になっているのかをお話いただければと思います。

## 日本表面科学会とは？

### 表面・界面の研究を基礎から

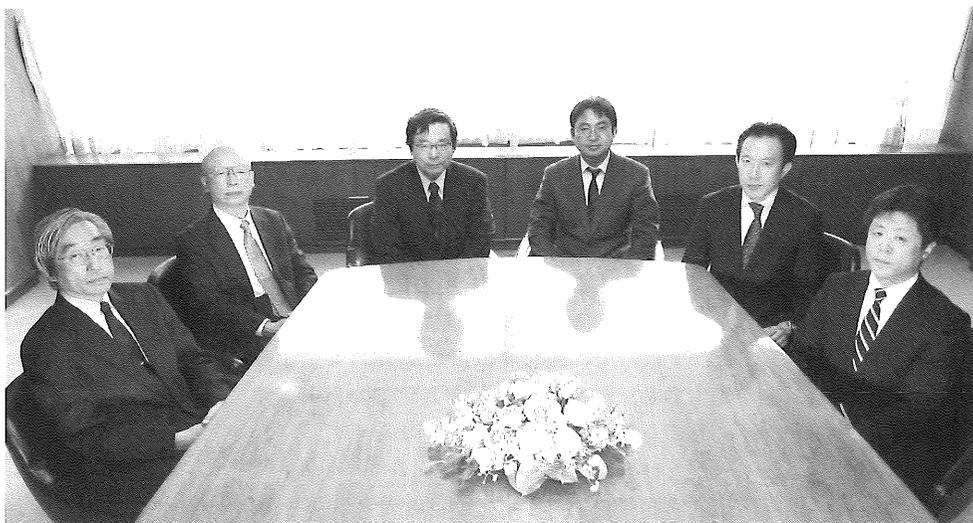
**森田** 日本表面科学会のホームページ (<http://www.sssj.org/>) の資料をお持ちしたので、これを基にご説明いたします。学会全体の学術講演会もしておりますが、学会には研究部会というのが六つあります。「ソフトナノテクノロジー研究部会」というのはどちらかというとバイオ寄り、「電極表面科学研究部会」は電気化学でケミストリー寄り、「触媒表面科学研究部会」は触媒でケミストリー寄り。それから「放射光表面科学研究部会」は物理だけではなく化学や生物のユーザーも含めた少し切り口が違う研究部会。それから「表面分析研究部会」というのはいわばオーソドックスな物理・化学の計測・分析・評価の部会です。最近できたのが「摩擦の科学研究部会」。これがまさにトライボロジーです。



森田氏

もともと日本表面科学会というのは、表面や界面の現象を研究してきた化学と物理の研究者が中心となって設立した融合分野の学会です。その中でトライボロジー学会のお話にもありましたように、時代と共にだんだんと視点が変わってきて、バイオ寄りの話も入ってきていますし、もちろんトライボロジーの話も入ってきているという状況です。たとえば触媒とか電極表面とかで実用的にやろうというときには別のもっと歴史の古い学会もあります。

我々はできてから30数年ということもあり、わりと歴史も浅い新しい融合分野の学会と考えていただいていると思います。



左から、益子副会長、熊田会長、森田氏、坂本氏、岡島氏、足立氏

## 実用はマクロ、基礎はナノ トライボも触媒も同じ

森田 日本表面科学会のトライボロジーに関する研究部会は最近できたのですが、私自身は昔 NTT にいた故・金子礼三先生というハードディスクをやられた先生ですとか、元東北大の加藤康司先生、岩手大の森誠之先生とかとお付き合いがありましたが、物理出身なのでどちらかという物理に近いような基礎からトライボロジーを見てきた部分があります。表面科学会から見ていると、触媒とトライボロジーの世界は似ているところが少しあると感じています。触媒の場合も、すごく実用的なものと基礎的な研究があります。基礎的なものというとモデル触媒などで研究が行われていて、日本表面科学会はその分野の色彩が強いと言えます。

実用と基礎がどう違うかという、実用はマクロでなければならない。それに対して基礎はどうしてもナノからやる。実用では、触媒はやはり高圧になります。それに対して触媒の基礎は真空とか、それに近い低圧になります。温度も実用は高温でやって低温を目指すけれども、基礎はわりと室温や低温などでやる。

また触媒の実用化では表面積を増やすということで、微粒子とかポーラスの中に閉じ込めるといったことがされるのですが、基礎の研究では原子・分子レベルではっきりさせなければならないということで、平坦な基板の上に担持してやるという形になる。

そういう意味ではトライボロジーも似たところがあるのではないのでしょうか。実用としてはどうしてもマクロなものとして、例えば重いものを動かすとか、大きな荷重に耐えられるとかの話になるのですが、他方、基礎を研究するときにはナノレベルで接点がどうなっているか、点接触がどうなっているかという話になってくると思います。温度もマクロではエンジンのように高温で接着とか切断とか起こって摩擦の話になりますが、それに対して基礎の部分というのは低温とか室温レベルでとなります。

最近では斥力領域ではなく引力領域で摩擦係数がどうなるかという測定をしている人も出始めまして、引力相互作用にも注目されているわけです。実は私自身ナノレベルでやってきたので、行き着くところは摩擦だって斥力だけではなくて引力だってあるんじゃないか、あるいは摩擦だって大きな意味での摩擦じゃなくて、原子1個が動くところから摩擦が始まるんじゃないかとか、潤滑ってというのは  $C_{60}$  み

たいなやつを入れて転がすと、コロコロと転がって潤滑作用があるんじゃないかと、そんな感じがしています。

そのようなトライボロジーの基礎的なところが我々の興味の大きな部分かなと思っています。また、その基礎と実用でどう対話するか、深いギャップを埋めるのは重要なテーマだと思っています。

**足立** ありがとうございます。表面科学というサイエンスの世界で、ナノレベルでの基礎研究、ピュアサイエンスから、実用的な摩擦を考え、触媒との比較など、非常に興味深いお話でした。

#### 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。11号ではこれまでトライボロジーがどれほど省資源や省エネルギーに貢献してきたか、また今後どれほど貢献が見込めるかについて各産業界の方々から解説していただく予定です。また12号ではトライボロジー学会内で省資源や省エネルギー、環境のためのトライボロジーをキーワードにした動きや、今後貢献することが予想される重要な研究について解説いただく予定です。

今回の座談会は特集企画「グリーントライボロジー」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。なおこの座談会の様子は本号に続いて57巻9号、10号の3回に分けて掲載する予定です。

#### 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科・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** (トヨタ自動車株式会社・技術統括部・主幹)

現在の所属：トヨタ自動車株式会社 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月トヨタ自動車株式会社入社

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、大豊工業株式会社・技術顧問)

現在の所属：大豊工業株式会社・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、大豊工業株式会社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、東京工業大学教授)

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** (日本精工株式会社)

写真

**桜井 健雄**