

座談会：

産業・社会を意識し、最前線で研究する醍醐味



吉川 弘之 理事長
大木 康太郎 エネルギー技術研究部門
早水 裕平 ナノチューブ応用研究センター
多田 隈 理一郎 知能システム研究部門
小野 晃 副理事長
矢部 彰 広報担当理事（司会）
小林 直人 理事

矢部 11回目となる今回の座談会の参加者は、若いポストクの皆さんです。大木さんから、研究内容の紹介をお願いします。

薄膜固体酸化物型の燃料電池

大木 私は今、固体酸化物型燃料電池の動作温度を400℃程度まで下げることが目的として研究しています。

まず原理ですが、水を電気分解すると、水素と酸素が生成されます。燃料電池はこれと逆の過程で、水素と酸素を反応させて水を生成し、その過程で発電させます。直接変換するので高い効率が期待され、生成されるものも水だけなので、きわめてクリーンといえます。

燃料電池では、電解質が中心的な役割を果たします。固体酸化物型の場合、その材料はセラミックスです。これまでは主に材料開発を中心として研究が進められてきました。具体的には、原料の粉を混ぜて1000℃程度の温度で焼結し、それらを評価するという作業の繰り返しです。

しかし、改めて電解質の形について考えてみると、薄くすれば薄くするほど酸素イオンが通りやすくなり効率が上がることが期待されます。もちろん薄くすれば簡単に壊れてしまうので、

ある程度の厚さは必要です。緻密で強度さえあれば、薄いほうがよいわけで、このアイデアをもとに考案されたのが、シリコン基板上の薄膜を使った固体酸化物型燃料電池です。2007年に、スタンフォード大学のグループからも報告されています。基板にシリコンを使うのでMEMS加工技術が利用でき、基板に小さな穴を開けることができるため、電解質薄膜の両面に電極を形成し、燃料電池の構造にすることができ

ます。ところが、新たな課題もあり、クラック（ひび割れ）を抑制する必要があります。シリコンと酸化物は熱膨張率が異なるので、例えば室温から実際に使用する温度である700℃まで上げたり下げたりすると、応力によってクラックが入ってしまいます。私は、これまで超伝導薄膜を用いたデバイス開発の研究を行ってきたので、そこで習得した成膜技術を活かそうとしています。

第2の目標として、製品化をにらみ、容量を増やすことがあります。具体的には大面積化やスタック化です。ここが、この研究における「死の谷」かと思えます。大面積化に対しては、大型ディスプレイの技術が急速に進歩しているので、それをうまく利用できるのではないかと考えています。しかし、大きなシリコンウエハーを何層にもわ

たって実装する技術は未知の領域です。

最終的な出口としては、車や一般家庭、コンビニなどで使用する電源を考えています。ハイブリッドカーが注目を浴びていますが、ハイブリッドカーはアイドリング時にはエンジンは止まっているのに、カーナビや電気製品は動き続けているわけです。これらの電力をまかなうため、燃料電池を補助電源として利用すれば、さらなる燃費改善につながるのではないかと考えています。一般家庭では、自宅で発電することで、これまで輸送できなかった熱エネルギーを利用できるので、トータルのエネルギー利用効率を上げることが期待されます。

当面の課題は、クラックとピンホールです。今は試作段階で大きざっぱにつくっているので、空気中のゴミなどが基板によってピンホールができてしまっていますが、クリーンルームの利用により、解決できると思います。

この技術のポイントは、シリコン基板上に酸化物の膜をつくることです。普通、酸化物の膜をつくるには基板にも酸化物を使います。そうしないと成長しにくいからです。ところがそれだと、何らかの加工をしようとしても、ひびが入るので非常に困難です。MEMS加工の技術を使うにはシリコン基板上に酸化物をつくる必要があ

新しい研究と開発の定義

―第2種基礎研究を軸に本格研究へ―

産総研では、
経済・社会ニーズへ対応するために異なる分野の知識を幅広く選択、融合、適用する研究(第2種基礎研究)を軸に、「第1種基礎研究」から「製品化研究」にいたる連続的な研究を「本格研究」として推進することを組織運営理念の中核に捉えています。

り、スタンフォード大学の方々もそれを行っています。しかし、電解質薄膜の結晶性については明らかではありません。結晶成長させた膜を使えば、より高効率の燃料電池ができるのではないかと考えています。

矢部 クラックもピンホールも防ぐのに、他に条件はありますか。

大木 クラックを抑制するには、なるべく低温でつくることです。普通は700℃くらいでつくりますが、200℃くらいまで下げれば、クラックの発生を抑制できると考えています。

小林 超伝導薄膜をレーザーアブレーションでつくられ、それを応用されていますが、その方法のどこが一番よいのですか。

大木 焼結という方法では、物質を結合させるために大きな熱エネルギーが必要です。しかし、レーザーアブレーションという方法は少し特殊で、低温でも成長させる可能性を秘めています。

矢部 クラックが入る、入らないというあたりなど、論文になりそうですね。

大木 イオン伝導度を下げることなく、クラックを抑制することができれば、それは十分に論文になると思います。ただ、製品化に至る研究成果、例

えばシリコンウエハーを積み重ねる技術は、材料開発の研究とは違うので、論文にはなりにくいかもかもしれません。

理事長 材料開発なら論文になるということですね。

大木 そうですね。クラックの抑制は、この分野でも大切なテーマで、焼結してつくる方法においても重要な課題です。ただし、クラックを抑制するために単に成膜温度を下げてイオン伝導度の低下が問題になります。

理事長 そこでの大木さんの方法はどのようなものですか。

大木 高温の700℃で成膜すれば、酸素イオン伝導度が高く結晶性もよいものができます。しかし、低温で結晶成長させるのはなかなか難しく、低温でも結晶成長する条件を探さないといけません。

理事長 それには、何を攻めればよいのですか。

大木 具体的には、シリコンと電解質の間に薄くバッファ層を入れます。

理事長 どのような物質を入れればよいか、そこがノウハウなわけですね。

大木 そうです。まだいろいろな選択

超伝導薄膜の技術を
燃料電池の分野にも
活かしたい。

大木 康太郎



	定義	活動	成果物
「第1種基礎研究」	未知現象を観察、実験、理論計算により分析して、普遍的な法則や定理を構築するための研究をいう。	発見・解明	学術論文
「第2種基礎研究」	複数の領域の知識を統合して社会的価値を実現する研究をいう。また、その一般性のある方法論を導き出す研究も含む。	融合・適用	手法論文 特許 実験報告書 データベース
「製品化研究」	第1種基礎研究、第2種基礎研究および実際の経験から得た成果と知識を利用し、新しい技術の社会での利用を具体化するための研究。	実用	事業価値

量産技術の基盤は整った。
製品化研究で、最終的に
デバイスにするのが目標。

早水 裕平



肢があります。10～数nmくらいのほんの薄い層を入れるだけでも、その上に結晶成長することがあります。

ナノチューブでデバイス開発

矢部 では、早水さんお願いします。

早水 産総研に来る前は、東京大学物性研究所で量子細線という1次元構造体の物性を光によって解析する研究をしていました。そこで基礎研究のおもしろみを味わい、博士号も取りました。しかし社会に出るにあたり、学術分野だけではなく産業に近いところ、もしくは社会にインパクトのある研究ができたらいという動機で、産総研に応募いたしました。縁があって、ちょうどカーボンナノチューブのスーパーグロース法が発見された直後に、こちらのチームとコンタクトすることができました。

私がチーム長から与えられたテーマは、たくさんつくれるようになったナノチューブを、どのように使おうかということでした。ナノチューブというのは、まさに1次元の構造をもった非常に理想的な構造です。しかも日本発の新しい素材ですから、これを使ったデバイスをつくらうという気持ちで研究を始めました。

私たちはスーパーグロース法を使って触媒をパターンニングすることにより、線状のパターン化された触媒から

フィルム状のカーボンナノチューブの集合体を合成することに成功しました。また、この集合体をいったん液体に浸し、それを引き上げる時にシリコン基板上に平行に寝かせる技術を考案しました。この時に重要なポイントは、カーボンナノチューブのフィルム構造体が板状にきれいに並んだだけでなく、もともとスカスカだったナノチューブの構造体が、液が乾燥する時にキャピラリーフォースでお互いが密集し、非常に高密度のカーボンナノチューブの板ができたことです。

私たちはこの高密度化されたナノチューブの板を「カーボンナノチューブウエハー」と名づけました。この基礎概念のもと、これを加工していくこととなります。ここまでは第1種基礎研究だと思います。

ウエハーをボトムアップ手法で作りに上げたので、次は既存のトップダウン技術であるリソグラフィ技術を使って構造をつくります。レジストを塗り、感光させて現像してマスクをつくり、エッチングしてレジストを取ると、カーボンナノチューブ構造体のきれいなパターンができます。これがすべての量産技術の基本となり、ナノチューブを決まったところに決まった量だけ、しかも決まったサイズ、決まった形で置くことができるようになりました。ここはまさに画期的で、この技術を進めていけば、さまざまな構造体がつくれます。

平らなものの上だけでなく、さまざまな構造の上にカーボンナノウエハーを敷設することもできます。例えば2次元カンチレバーですが、トレンチ構造になっているシリコン基板上にウエハーをつかって、そのパターンを利用して加工すればカンチレバー状のナノチューブの構造体ができます。

もう1つ、3次元カンチレバーもできます。これは2次元カンチレバーを飛躍させたものですが、犠牲層という概念を用いて下に段を敷き、その段の上にナノチューブのウエハーをつくり、最終的にその段を取り払うとナノチューブは最初の段の形をキープしたまま構造を形成します。この3次元カンチレバーは、ナノチューブがクランク状になっており、ビームの部分とサポートする部分に分かれています。

これらの結果を最終的にデバイスにするのが私の目標なので、デモンストレーションとして、カーボンナノチューブのリレー（CNTリレー）を作製しました。リレーは単純なスイッチですが、今回のものはメカニカルなスイッチです。3端子の構造があり、ソース電極とドレイン電極は最初は離れています。中間部にあるゲート電極に電圧をかけるとカンチレバーがたわみ、ソースとドレインが接触してスイッチがオンになるという仕組みです。

実際、すべての電極はカーボンナノチューブからできており、きちんとオン・オフすることが確認できました。この構造は最終的に量産化できることまでアピールしたかったので、スイッチを1,000個集積したデバイスも試作しました。

というわけで、産業化への壁になっていた課題を完全に取り扱うことができ、いよいよ第2種基礎研究から製品化研究に移れる段階に入ったというのが現状です。

カーボンナノチューブでは用途開発が重要になっています。例えばキャパ

シターとして非常に魅力があるのは実証済みで、私たちのグループでスーパーキャパシターのプロジェクトが別に走っています。また、MEMSを用いてたいへん小さいけれど高性能のキャパシターをチップ上につくるというのも興味深いです。センサーにもできますし、電気的なアクチュエーターにすることもできます。

ただ、今のシリコンの巨大なマーケットをカーボンナノチューブで置き換えるというような話ではなく、カーボンナノチューブで新しい分野が開かれるとよいと考えています。

矢部 次に多田隈さん、お願いします。

多田隈 私は日本学術振興会の特別研究員です。2年前に産総研に来て、半年間フランスと日本の共同研究を行い、1年半ハーバード大学バイオロボティクスラボでロボットの触覚などの勉強をしてきました。私も研究というのは、社会に役に立つモノづくりの軸から脱線しないよう気をつけながら、製品としての完成度を高めていくものだと考えています。

私たちのグループは人間型ロボット(HRP-2)を研究しており、それを遠隔地から操作するシステムを考案しています。ロボットの6軸の力センサーを使っていて、これが感じた力は、同じく6軸のマスタアームを介して人の手先に返ってきます。しかし、このままではロボットの腕やボディの皮膚のように有毛皮膚にあたる部分で感じた力が感じとられていないため、高齢者の体を抱きかかえて寝室から浴室に運ぶ介護ロボットの場合、安全性が十分でない可能性があります。

そこで、そのような作業も安全に行えるシステムとして、広範な有毛部皮膚の触覚がきちんと返ってくるような触覚フィードバックに基づく人間型ロボットの遠隔操作技術を実現させたい

と考えました。

その根拠となるサイエンスは、視覚と触覚の情報がある場合、人間の中枢神経では2つの情報をベイズ統計における最尤法さいゆうほうに基づいて正規分布を統合する形で情報処理しているというものです。これはネイチャーの論文で、指先に力を提示して、ものの幅を認識させる実験で出てきました。私は、同じようなことが人の有毛部の皮膚においても成り立つのではないかという仮説をもとに、システム開発することを考えました。

ハーバード大学では、研究室にある操作技術を使ってさまざまなものをつくりました。内視鏡の先端に付けて見るようなモーションキャプチャーを人間の体に付けて動きを計測しながら、磁気センサーが干渉しないよう、なるべく非金属の部品を使用して触覚ディスプレイを構成しました。それが人間の腕に付ける触覚ディスプレイです。これは、ロボットが感じ取った力と同じ大きさの力をサーボモーターの回転によって再現するシステムです。バーチャル空間でその働き具合を調べてみると、ある場所からゴールまでものをもっていく作業が触覚ディスプレイを使うことで安全にできるとわかりました。

ある程度練習した後、今度は視覚情報を完全に消して触覚だけで同じ作業をやらせても、正しい作業ができました。しかも、物体のバーチャルな重さが変化した場合、軽い物体か重い物体

かを72%程度の高い確率で認識できることを確かめられました。

これが第1試作機ですが、触覚ディスプレイの解像度は、現在も5つのモーターを使って40mm間隔で刺激しています。1965年頃、人間の腕を押した場合にどのくらいの間隔で2点と感じられるかという実験があって、有毛部の皮膚では40mmくらいであることがわかっているからです。これはパッシブタッチと違って、人間が腕を動かさずに自動的に感じ取る感覚です。しかし、人間は腕を動かしている時は筋骨格系、関節の中の触覚、筋肉中の触覚を利用してものを触っています。私はそのほうが解像度は高いのではないかと考え、触覚ディスプレイの最適な解像度を求めてさらに試作を進めました。

人間は視覚が非常に強いので、目で見ただけでかなりの作業ができてしまいます。そのままでは触覚ディスプレイがあったほうがよいのかどうか有意差が出にくいので、視覚を定量的に減らす方法として、CGを完全に2次元に落とし込み、物体の周りにドットを配置することにしました。半径方向にドットを正規分布させ、標準偏差の値 σ に応じてこのドットを変化させれば視覚ノイズが加減できます。

詳細は省きますが、13人の被験者に対して測定しました。触覚がフィードバックされない視覚だけの状態と、触覚情報がある場合とでは、原理的に異なる形で標準偏差が出ました。そして、

人間型ロボットを
遠隔で自分の分身のように
制御できる、
遠隔制御を実現させたい。

多田隈 理一郎



視覚と触覚が定量的に釣り合った交点をはっきりと出て、その時の σ の値を実世界の長さに換算すると、8 mmでした。つまり、触覚ディスプレイの刺激子を8 mm間隔で配置すれば、人間の有毛部皮膚の触覚での解像度と一致するので、十分な解像度であるということです。

次段階として、8 mmより小さい間隔でモーターを配置し、なるべく軽い触覚ディスプレイをつくり、なんとか死の谷を越えられればよいと考えています。製品にした時のイメージとしては、有毛部の皮膚触覚もフィードバックできるようなシステムにして、人間型ロボットを遠隔で自分の分身のように制御することです。そのような臨場感を利用した遠隔制御を実現させたいと思っています。

理事長 8 mmを求めた実験や理論のアイデアは、ご自身の発案ですか。

多田隈 そうです。

理事長 非常に基本的な問題を表わしていますね。視覚と触覚の関係や、選択性などが σ に関係づけられる。ただ、こういうものが遠隔臨場制御につながるとは、どのような意味でしょうか。遠隔地のロボットが、人間と握手する時に臨場感があるとは、どのようなことなのでしょう。握手は普通、目を見なくてもするけれど、目で見て指を合わせる人はいないわけで、握手は触覚だけでしているということですか。

多田隈 ロボットの中に、握手したのと同じように感じる触覚をつくりたいのです。

理事長 触覚もなければだめだということですね。

多田隈 特に介護ロボットなどでは、視

覚だけではどうしても危険になります。

小林 死の谷との関係で、多田隈さんはどのあたりにいるのですか。

多田隈 第2試作機をこれからつくろうとしているところなので、死の谷の前です。

小林 死の谷では、何が一番課題となりますか。

多田隈 まず、皮膚に本当に要求される十分な解像度に到達できるかどうかはまだわかりません。おそらく8 mmで十分な解像度であろうと思われるため、これで何か作業させてみて、その作業に十分な精度であれば死の谷を越えたといえると思います。しかし、作業させてみたら何か感じ取れなかったために、つまり実際に人間が何かするよりもロボットが鈍感だったために、何かガチャンと壊したり、お年寄りを落としてしまった時には、死の谷は越えていないと思います。

ポストドクの本音は

矢部 ポストドクとなり、いかがですか。

早水 せっかくの機会ですので、ポストドクが生に感じていることをアピールしたいと思います。産総研のポストドクとなり4年目です。この3年間にポストドクの同僚がずい分増えましたが、一方で、私より先に産総研を出て行かれた方もたくさんいらっしゃいます。彼らとさまざまな話をしてきたことや、私自身の体験も含めて正直に申し上げますと、ポストドクにとっては「論文がすべて」なのです。

ポストドクの社会的な立場は、不安定だけれど研究を遂行し、そこをステップにして次のキャリアにつなげていくというものです。キャリアを立ち上げ

ていく時の、評価の軸が論文です。論文が世の中に出ないと評価されない。それが現状です。しかし、産総研で行っている仕事の全部が全部、論文になるわけではありません。その論文にならない仕事も、実はたいへん重要だと思っています。

私たちのグループでも、論文になる研究もあれば、論文にならなかったもののプロジェクトに非常に貢献した仕事もあります。ただ、そのような時に話すのは、論文にならないことに対する不安感です。

そこで、第2種基礎研究に従事した場合、その後のキャリアパスをさらに多様化していく必要があると考えています。なぜなら、例えば同僚の1人は研究を続けていきたいと思っているけれど、論文を書かなければ研究職には就けません。ただ、今生きがいをもって行っている仕事は第2種基礎研究で、世の中にナノチューブを送り出す仕事です。現実にはポストドクを続けていけなくなったので、企業で研究開発することにしました。当時は、キャリアパスの多様性が十分ではなく、論文を書くか書かないか二者択一のようになっていき、非常に不安な時期でした。若い方々は、この現状を冷静に見ており、キャリアパスが限られていること、世の中の景気がよくなっていることもあり、研究者を目指す後輩が少なくなっています。そこで、キャリアパスの多様性を設けることによって、フレッシュな若手がどんどん来るような環境になったらよいなと思っていますところ

理事長 多様性を具体的に言うとはどのようなことですか。

早水 研究職か産業かということです。

理事長 それをもっと自由に選びたいのでしょうか。

早水 そうですね。

理事長 強制的ではなく、論文がなくとも研究者になれるという多様性ですよ。道は確かに研究所か産業なのだけれど、それが仕事によって決まってしまうところが問題ですね。

早水 プロジェクトが決まっているとき、自分には合わないと思う可能性もあります。しかし、プロジェクトの中でも新しいことができる可能性はあるのだから、私たちが自由に活躍した後、外に出ている道もあり、フレキシビリティを感じさせることができればよいと思います。

小野 「社会的には」というのは、今のアカデミアでは、ということですね。アカデミアでは、ほとんど従来型の論文で評価されています。私たちの言い方では第1種基礎研究の論文ですが、それでしか評価しないアカデミアになっています。論文にならない仕事の重要性を、第2種基礎研究の論文として書こうというのが非常に重要になりますね。

小林 産総研のイノベーションスクール構想もあります。産総研独自の学術雑誌を充実させるのはもちろんですが、ことはけっこう切迫しており、構想ではなく具体的に実行しないとダメですね。

早水 私は30歳ですが、いまだに若手です。大学院を出てすぐの方々が、毎年来てくれてもよいと思います。

理事長 そうですね、後継者が来ないといけません。このような話が運営に反映しないとダメだと思います。単に研究の好きな人に来てもらうだけではなく、その逆があってもよいわけですよ。企業に行こうと思っている人

が研究者になる。そのような多様性があってほしい。そう簡単にはいかない面があるかもしれませんが、方向としては今のお話のとおりですね。産業と社会を常に意識し、最前線で研究できると感じている人たちを、どんどん増やしていかなければいけません。そのためにも大学をよくしなければいけませんね。

早水 ポスドクというのは、産業界かアカデミアか決めていない人がたくさんいると思います。逆にいえば、そのような人たちだからこそ、活気をもって研究しているという言い方もできます。しかし、今はアカデミア分野の指標しか世の中にはないのです。

ポスドクだって第1種と第2種を回す

矢部 多田隈さんはロボットという分野で螺旋を描きながらモノづくりの完成度を高め実用までもっていくことを目指していますが、第2種基礎研究からモノづくりに至る過程の日本の研究者の考えと、ハーバードでの考え方と、違いを感じられましたか。

多田隈 はい、とても感じました。アメリカでは教授とディスカッションする時に、よく「ビッグ・ピクチャー」という言葉を聞かされました。ビッグ・ピクチャーというのは何ですかと聞いたら、自分の研究が世の中に出て、20年、30年後にどうなるかという鳥瞰的な議論だということです。その技術をどう発展させて世の中に役に立たせたいのか、教授が納得するようなイメージを言わないと「それはガジェットリズムだ」と叱られました。単なる論文生産マシンだという、否定的な言葉です。

アメリカの場合は、試作機をつくるまでの期間が短く、研究室の工作室でぱっとつくりまわす。誰が見ても学生が

つくったとわかるようなものなのですが、それでデータを取り、アイデアが実証されるかどうかを確かめた上で進めます。アイデアが正しいかどうかわからない段階で第1試作機をつくるのに時間をかけていると、後に「あ、これは全然新規性がない」とわかって遅いので、はやめに越えようとしています。それを確かめて「この研究は世界的に誰もやっていない」となれば行く意味があるし、今はシンプルでもどんどん解像度を細かくしていき、滑りを提示できるようなものにしていけば、本当に死の谷を越えられるビッグ・ピクチャーが出てきます。

螺旋を何度も何度も回していくような感じですよ。シンプルなものをまず2週間くらいでつくり、それについて検討し、また新たなものをつかって同じく2週間くらいで回します。初めのところで論文発表してはだめで、5回くらい回して製品化に非常に近くなったところで論文を出す。2回くらい回すとある程度データも出ますし、論文の形式はまとまるのでそこで出したくなるのですが、この段階ではまだ出しません。ある程度先に進み、ほかのグループが追従できないくらい進んでから出しましょうと言われます。ここは日本とは違う点かもしれません。

小野 これまでの座談会には、グループ長クラスの相当に大きな仕事を完結した方々をお呼びしていました。つまり、螺旋を何回も回し、大きなステップを達成した方々に数年間から10年くらいを語ってもらう形でした。しかし、2、3年の方々がどのように第2種基礎研究を回していけるのかが、課題でした。今回のお話は、その解になっているかもしれません。



私たちの研究には、「夢」がある。与えられている夢もあれば、日常的につくっていく夢もある。

吉川 弘之

与えられている夢、つくり出す夢

理事長 ロボットというのは、どこが解決すればなにができるのか、皆が漠然とわかっていて、そこを狙っているわけですね。そういう意味では、ナノチューブの早水さんの分野では、まだ何もないわけですね。このような微細な構造で何ができるのか、何ができればどのようなビッグ・ピクチャーが描けるのかということすらわからない。大木さんの場合はむしろ、燃料電池というピクチャーがあって、それをつくれば、とても環境によいエンジンができる。それぞれ違いますね。私たちの研究には「夢」があり、夢はすでに与えられている場合もあれば、日常的につくりながら進めていく場合もあります。

お2人の研究はそういう夢で、多田隈さんも夢ははっきりしているけれど、これができたらどういう社会になるのか、自分でつくっていくという状況ですよ。ロボットは、そのような期間がたいへん長かったのです。言ってみれば、何百年も前から夢はあり、だんだんこういうところに来ました。その意味では、ロボットとは独特な分野ですね。人間は目の前にいるが、これそのものがつくれないのは、ギリシャ時代からわかっていたわけですね。そんなことは、昔の人は考えたこともなかったわけでしょう。

いずれにしても、このような死の谷

があるというのは、おもしろいことですね。だからシンセシオロジーとは、研究を何年か行っている人が、そのような論文を書けるかということなので

小林 途中でも書けるのではないですか。夢にドライブされ、到達していなけれどステップを1つ2つ登ったことでよろしいとすれば。

理事長 大木さんも早水さんも、一般の研究でインパクトファクターの大きな論文誌に出る可能性を大いに秘めているわけですね。それとは別に、一貫して何かものにしていったところを、シンセシオロジーという視点から論文に書けそうですね。

矢部 多田隈さんは、段階が1つ上がるごとに、第1種基礎研究としての論文は書けるわけですよ。製品としてのロボットについて、第2種側では論文は書けないですか。

多田隈 ロボットの分野には実用化のカテゴリーがあるので、死の谷を乗り越えるためのリファインの過程もあると思います。

理事長 ロボットには、それがありませんね。おそらくロボット工学は、ビッグ・ピクチャーが共通だからです。皆でそれを突き破っていこうとしている

ので、そこに1つのジャンルができていっていると思います。最終的に人間型ロボットをつくるという共通のターゲットが決まっている。ビッグ・ピクチャーに関係のない、非常に基礎的な第1種基礎研究もあるけれど、ビッグ・ピクチャーにどこまで近づいたかということも、評価軸としてあるわけですね。おそらく材料の素子の研究などではそれがないので、価値が客観的ではないのです。モノができて初めて価値がわかるという、後付けの価値になっています。

矢部 大木さんは1つの大きな螺旋を回すイメージでしたが、今のような螺旋をどんどん回す方法は、電解質薄膜におけるクラックの研究でもあるでしょうか。

大木 やり方は人それぞれかもしれませんが、私はパラレルとして回してもよいかと思っています。要素としてなるべく分離できるものは分離しておき、それぞれ進めていって、後でがっちりくっつけばよいのです。

どれが一番残るかはわからないのですが、全部が達成した時点でとりあえず1つ進むので、あとはそれぞれを改良していくというやり方もあるのではないかと思います。

理事長 パラレルな研究というのはありますね。

大木 これはこれでやっておき、論文を出しながら、空いた時間にウエハーのスタックをやり、というような感じでいこうかと思っています。

矢部 そのような方法論はありますか。

大木 研究に限定しなければ、あると思います。進められるものは先に進めておくというやり方もあってもよいの

ではないでしょうか。

理事長 やはり、つくろうとしているものがイメージとしてはっきりしているのです、そのようなことが言えるわけですね。それがなければ、論文にならないからやらない、ということになるわけです。そうではなく、論文にはならないけれどやらなければならないことが、第2種基礎研究になります。

矢部 早水さんは逆に、非常に骨太の螺旋を回そうとしていますね。

早水 それは表に出ていることだけで、現実はずっと一緒です。多田隈さんはハーバードにいらしたわけですが、やり方は完全に同じです。私たちのチームはまさに、突貫工事のドリルで穴を開けていくような研究です。誰もやっていないモノづくりをするためには、1日でまず何かつくった上で、翌日また一歩先に進める。

例えばこのスイッチに至るまでに、10種類以上のスイッチをつくりました。まったく違うものですが、出すのは最後の1個だけ。なので、論文になるデータは、バイトで言えば数MBの量なのですが、データとして残っているのは100GBくらいあり、その苦労は結局、論文インパクトを上げるかどうかというところだけなのです。

多田隈 私も結果を得るまでには、同種の実験を3種類くらい行い、実験そのものもグルグル回し、誰が見ても1点で交点を描けるところまで公表しています。交点が出る前には、まったく交わらないなど、微妙な実験もありました。そこで課題を変えたりと、試行錯誤しました。

早水 その辺りは産総研に来てとても勉強になったところで、大学はむしろ「時間はたっぷりあるから好きなこと

をやりなさい」でした。産総研ではゴールが決まっており、ポストドクでしたら何年という任期があるので、その間に結果を出さなければなりません。私たちの場合はたまたまロングなので、インパクトを上げておくために今おっしゃったようなやり方になります。本当に勉強になりました。

小林 何か日常的なことで、不安はありますか。

大木 不安といえば、やはり任期がある点です。長期的な計画を立てられませんし、立てても実現が容易ではないと思いますので、そこが悲しいところです。

小林 しかし、一方では集中してできるということもあるわけですね。

大木 そうですね。

多田隈 私も自分のポストドクの任期の間に、どれだけ回して死の谷を越えられるかを心配しています。しかし、アメリカの教授がハーバードからジョージア工科大に移った際、ある程度自分のストックをもって出て行き、それでまた回していつているように、場所を移動してもビッグ・ピクチャーはもち続けて、その中で自分が今どこにいるのかをきちんと認識しなければならぬと思っています。

理事長 今日はよい話を聞けました。今後期待できますね。

矢部 本日は、どうもありがとうございました。