

ナノ材WG第8回

資料1

総合科学技術会議 科学技術イノベーション政策推進専門調査会

ナノテクノロジー・材料共通基盤技術

検討ワーキンググループ

第7回

平成24年12月7日

内閣府 政策統括官（科学技術政策・イノベーション担当）

共通基盤技術（ナノテクノロジー・材料）グループ

午後3時01分 開会

○事務局（守屋） お待たせいたしました。定刻になりましたので、ナノテクノロジー・材料共通基盤技術検討ワーキンググループ第7回会合を開催いたします。

会議に先立ちまして、お手元の資料の確認をさせていただきます。議事次第、座席表に続きまして、資料1が、前回第6回の議事録となります。続いて資料2として、A4、1枚で空間空隙材料に関する問題意識というタイトルの資料がございます。それから資料3が①、②という構成になっておりまして、JST様のほうからのご説明資料となります。続いて資料4、A4、1枚もの、ディスカッション用のペーパーを用意しています。

その後に付随する参考資料といたしまして、1、2、3、4と4つの参考資料を添付させていただいております。それから、本日机の上にこの紙のフラットファイルをご用意いたしました。今回に限らず、繰り返しリファァすることがあろうと思われるものを幾つか集めてございます。あけていただきますと、前回の会議のときに使用いたしました技術領域強化方策の検討テーマ例というもののポンチ絵が1つ、それに続きまして、科学技術基本計画の中から課題を抜粋した資料を用意してございます。それに続きまして、基本計画そのものをコピーしたものです。それで、最後のほうに私どものこのワーキンググループでこれまでつくってまいりました俯瞰図及び俯瞰図上にアクションプラン等をプロットした図となります。以上、お手元に置いていただきながら、これからの議論を進めていただければと思います。

資料に不足等ございましたらお知らせください。

ではよろしいようですので、塚本様、よろしくお願いいたします。

○塚本主査 皆さん、こんにちは。大変お忙しい中、ありがとうございます。

本日はワーキンググループに初めてお越しの方がおられますので、冒頭にご紹介させていただきます。まず初めに東レの成戸委員の代理で長瀬様、よろしくお願いいたします。

○長瀬委員 成戸の代理で来ました長瀬と申します。よろしくお願いいたします。

○塚本主査 それからもう一方、今日講演をいただくことになっておりまして、JST、カーボンの関係の最新動向の講演をいただきます、河村様です。

○河村フェロー JST研究開発戦略センターの河村と申します。よろしくお願いいたします。

○塚本主査 よろしく申し上げます。

それでは、早速議事に入らせていただきます。

まず初めに、前回第6回の議事録の確認をさせていただきます。基本的には既に各委員にはメールその他で確認をさせていただいておりますので、特段この場で何かございましたら、ご意

見ありましたら承りますが、よろしいですか。

それでは既に内容を確認いただいているということで議事録はこれで承認させていただきます。ありがとうございます。

それでは本日の議事内容に早速入らせていただきます。実は前回、京大の北川先生からPCP/MOF、いわゆる空間空隙の材料に関する講演をいただきました。今、パワーポイントで出ていますけれども、特に左下のあたりにPCP/MOF、いわゆる空間空隙というような、エネルギーだとか超伝導、物質の貯蔵だとか、触媒に関連したものとか、構造そのもの、あるいは分離、生成、あらゆる用途に使える非常におもしろい技術だと。もちろんこれから相当山あり谷ありなんですけど、そういうことをご紹介いただきました。

これをではどう料理するかということなんですけど、次、お手元の資料の、ちょっと独断と偏見で私なりにまとめをさせていただきました。3つあるかなと思っていて、これはこの場でどうするかということはないんですけど、今後どういう方向で検討すべきかということなんですけど、1つは空間空隙というのは、実はメタルオーガニックフレームワークと言われるとおり、金属錯体のある物質が決まれば、サイズ、格子ファクターはほとんどそれで決まります。したがって、例えば亜鉛を核にして、ある種の高分子を配位すれば、こういうサイズになりますよと決まりますので、その物質の特許をとられてしまうと、手も足も出なくなるということで、まずは可能性のある物質を網羅的に特許網をつくっていくべきではないかなという気が私にはしています。後ほどご意見いただきます。

それから2番目は、現時点で私ども、実はエチレンの関係のガス分離にNEDOの関連で今、炭酸ガス削減という意味でやっているんですけど、どうしても現段階では先ほどお示しさせていただいたように、あらゆる可能性があるんですけど、ある企業、あるいはある学者さんの興味のある方向でぐっと集中していると。決してシステムティックに研究開発が進んでいるわけではないということで、少しインパクトの高いもの、定量的に公平に評価して、用途、機能の価値の高いものをもう少し国として方向づけする必要があるのではないかなという気がしています。

それから、3つ目としては、既に私どもやって、わかり始めておるんですけど、実際の空間、サイズファクターだけで決まるものではなくて、ある分子をフィルタリングするとか、トラップするとか、貯蔵するとか、たまたまあるものはトラップするけれども、同じサイズでもするすると抜けていくものもあると。当然ながら、相互作用がありますから、基本的にはものをつくる合成創生、それから相互作用、そのあたりを基本的に科学的にアプローチする必要があるだろうと。これは計算科学が相当有利に使えるということで、こういうことを検討すべきで

はないかなというふうに思っています。

こういうことを考えている理由は、実は既にJSTなんかで今おまとめいただいていると思いますけれども、欧州のほうはかなり体系的にコンソーシアムを組んで、空間空隙に関する技術について、エレクトロニクス、あるいは医療、あるいはガス分離、あるいはエネルギーと、いろいろな形でコンソーシアムを、非常にシステムティック組み上げている。それから並行して計算科学を使った物質創成だとか、あるいはキャラクタリゼーション、あるいはいろんな作用が起こるときの実際のメカニズムを解明するとか、そういうのが何本か柱がうまく立ち上がって、全体を俯瞰しながら器用に進めているというふうな報告がされています。

残念ながら日本の場合は、あちらこちらで結構やっておるんですが、非常に場当たりのというべきではないか、私の知る限りなんですが、そうこうしているうちに、中国と韓国で極めて大量に特許が出始めているというようなことで、このままではせっかく先行している日本の技術が少し、下手すると後塵を拝することになるのではないかなということも考えていまして、そういうことから、今、そこにお示ししています、3つぐらいの視点で少しきちっとした方向づけをする必要があるのではないかなと私は思っています。ぜひ、いや、そうではなくて、もっとこんな視点でやるべきではないかというようなご意見をいただければと思っております。

特に産総研さんあたりから、何かより産業に近い立場から見て、この辺の技術をどうすべきだというご意見があれば、一言コメントをいただければと思うんですが。

○産総研（清水） 産総研としての立場ではないですが、①の空間サイズの制御というところですけども、逆にこういうMOFとかPCPというのは、ゲスト物質に対してある程度柔軟に、だから、かちっと決まったサイズ、制御ではなくて、柔軟にホスト構造とゲスト物質が合うというところが魅力ではないかと思っています。その点、この空間のサイズで特許網を構築するという、そのあたりはどういう感じなんでしょうか。特徴は、空間サイズが厳密に規定された空間空隙と、もう一つは、ゲスト物質に呼応する空間サイズの柔軟性、この2つだと思います。

○塚本主査 おっしゃるとおりです。わからないところがいっぱいあるんですけども、私の危機感は、例えばフラーレンでいけば米国に基本特許は取られましたから、物質特許はもう間もなく切れるころだと思うんですが、物質特許を取られてしまうと20年身動きつかなくなりますから、そういう意味では、少し、今おっしゃるようなフレキシブルなところはもちろんあるんですが、大体のサイズ、ファクターで見れば、こういう物質が使えるとか、こういうフレームワークになるはずだとかいうのは少し、計算科学的にも計算できますので、ある程度の特許

を押さえていくような、体系的に動きをすべきではないかなというのが私の意見なんですが。

ほかどなたか、より基礎側でいろいろご検討いただいているかもしれません。NIMSさんなんか、何かご意見ございますか。

○NIMS（室町） すいません、私、前回ちょっと欠席いたしましたので、はっきりちゃんとしたことをつかんでいないんですが、これを見る限り、多分非常に物質に依存した技術だろうと思うんですね。それで、こういうある種のおもしろい物質を見つけていくというのがやっぱり非常に大事になるような、そういう技術のような気がします。逆に言うと、そういう物質を見つけないで、何らかのほかのパラメーターで空間を制御するというのは非常に難しくて、欲しいものごとに、それに特有のものを見つけていかなければいけないような、多分、そういう世界だと思うんですね。そういう意味で、非常に基礎的な物質開発のような力が問われる分野かなという、そういう感じがしております。

○塚本主査 ありがとうございます。JSTのほうでも今おまとめいただいていると思うんですが、何かコメントございますか。

○馬場委員 私自身はこの空間空隙材料はやってませんが、2年ぐらい前にまとめたので、その後の世界の進展とか、あるいは学会の動向を含めて更新しようとしています。具体的にどういふことを提言していくかはこれから検討しなければいけないと思っています。

○塚本主査 ありがとうございます。ほかに何かご意見ございますか。

恐らく、この1枚前へ送ってもらえますか、最初の。見れば何でもできるみたいな絵なんです。恐らく現実論はこれからまだ耐久性の問題とか、そもそも生産コストの問題とかいうことがあれば、理屈はそうだけれども、そう簡単ではないよねというのがいっぱいあると思うんですが、少なくともいろいろなポテンシャルを持っているのは間違いないだろうと思っています。今、先ほど3つの視点でということで、独断と偏見である種のまとめをさせていただきましたが、特にこのほかに、いや、これはおかしいとか、違うのではないかというご意見、あるいはもっと4つ目の視点なり、5つ目の視点があるのではないかということがございましたら、これに付加させていただきます。今後、継続検討ということになると思うんですが、よろしいでしょうか。今日の時点では奥村先生。

○奥村議員 たしかあの先生ご自身も戦略創造か何かで支援を受けていましたし、今も受けておられるのかな？

○塚本主査 NEDOプロです。

○奥村議員 NEDOですかね。あと各府省がこれに類するテーマで政策的な支援をされてい

らっしゃるのかどうか、まず現況をまず把握されたいかがですか。NIMSも初めてだということなので、NIMSの中でどういうことをされているのかということ、まず把握されたいかどうかと思いますが。

○塚本主査 ありがとうございます。

○文部科学省（永井） すみません、そういう意味では文科省の中でも、まだこれは決まっておられませんけれども、戦略創造の一つのアイテムとして、検討はしているというところがございます。まだ予算……

○奥村議員 まだ決まっていない。

○文部科学省（永井） ええ。これから、今議論しているところございまして、最終的にはどうなるか全く決まっておられませんけれども、視野に入れているということでございます。

○塚本主査 ありがとうございます。

それでは、今、大変貴重な意見をいただきましたので、既に、当然ながらNEDOのプロジェクトでも、北川先生自身もNEDOプロでおやりになっているわけですから、既に動いているプロジェクト、あるいは今検討中のある枠組み、このあたりを少し、事務局のほうで提示いただいて、少し事務局でまとめて、今こんな動きで国としてはやりますと、それを見れば、ひょっとしたら、もう十分な枠組みになっているかもしれませんし、それがいかにもまだ片手落ちなら、もう少し枠組みを広げるということで、次回送りで少し検討をさせていただければと。では、ちょっとお手数ですが、関連の省庁さん、あるいは研究所の方々には少し、今の現時点の棚卸しを簡単にさせていただければと思います。よろしくをお願いします。

それでは、このPCP/MOF、空間空隙の議論はいったんこれで置かせていただきます。次に移らせていただきます。今日のメインイベントというか、主たる議題です。3つ目の個別技術領域における技術課題の抽出、これは実は何度か私からも説明させていただいていますが、この会合の1回目か2回目に、奥村先生のほうから、例えばチタンなんかは圧倒的に安くつくればと、あるいは今の鉄並みにいろいろな加工ができればというような、そうすると世の中、変わるよと、そういう見方で、技術側からも深掘りしていけば、何らかの課題解決につながるような提案ができるのではないかとということで、お手元のファイルにとじています1ページ目、これは前回、事務局から提案された、提示された資料ですが、この中で特に白抜きで四角で囲んだ何点か、7点ですか、このあたりを少し技術論的に深掘りしてみようということになったかと思いますが。

前回、その中の一つである空間空隙の材料を1つ土俵に上げたということです。空間空隙と

は書いていますが、ボトムアッププロセスの高度化なんかの部分です。今日はその中のもう一つであるカーボン材料について少し取り上げて議論させていただきたいと思っています。いきなりそういっても議論になりませんので、イントロとして、ナノテクの関連のカーボン材料、それから、あるいは既に長繊維、東レさんなんか、当然大きな事業に既になっているのですが、そんなあたりも含めて、少し事前にプレゼンをいただいて、その資料をもとに少し頭を回して議論させていただければと思っています。

今日はJSTの河村さんから全体の俯瞰をしていただきます。次回、実は今日同時にやりたかったんですが、今回は東レさんのほうから、既に事業化されていることも含めて、今日の議論も踏まえて、少しアレンジをしていただけるというふうにお聞きしております。では早速ですが、河村さん、よろしくお願いします。

○河村フェロー JST研究開発戦略センターの河村と申します。どうぞよろしくお願いいたします。

本日は話題提供ということで、「ナノカーボン材料のエレクトロニクスへの展開」と題して20分ほどお話をさせていただきます。

まずカーボン系材料ですが、従来のカーボン系材料にはグラファイト、ダイヤモンド、アモルファスカーボンなどがあります。

これに対してナノカーボン材料には、フラーレンとかカーボンナノチューブやグラフェンがあります。このようなナノカーボン材料は従来のカーボン系材料とは全く異なる構造、特性を有するために、今後いろいろな分野の基盤を担う先端材料としての期待が高まっています。私もJSTの研究開発戦略センターでは、昨年度、このナノカーボン材料を用い、新しい機能や従来膜の特性を凌駕する機能を発現させ、特にナノエレの分野において新しい材料、または革新的デバイス開発の可能性を1年間かけて検討してまいりました。主にグラフェンが中心になりますが、本日はそのあたりの話を紹介させていただきます。

カーボン系材料研究の歴史を簡単に見てみますと、日本人の研究者が大きな貢献をしていることが、はっきり分かります。

次にカーボン材料を次元という切り口から見てみますと、まず0次元がC₆₀つまりフラーレンです。1次元はカーボンナノチューブで2次元がグラフェン、3次元がいわゆるグラファイト、黒鉛と呼ばれているものです。このグラファイトを1層剥がすと2次元のグラフェンになります。グラフェンシートを切り出して丸めると、フラーレン、C₆₀になりますし、長方形に切って丸めるとカーボンナノチューブになります。最近ではこのグラフェンを非常に細く短冊

状に切って使う「グラフェン・ナノリボン」も非常に注目されています。

前回の空間空隙でも同じような図をごらんいただいたと思いますがその図からカーボンベースナノエレクトロニクスを取り出しますと、このようになります。キーワードとキーワード間の相互関係を示してあります。

また、CRDSでは2年に1回ほどナノテクノロジー材料分野の俯瞰ワークショップを開催し、ここに示すような重要課題を抽出しております。ナノエレ、グリーンナノテク、ナノバイオと分けますと、ナノエレの中に省エネルギーの実現のためにカーボンナノエレクトロニクスが重要課題として挙げられております。ナノエレの分科会でつくった俯瞰図にもカーボンナノチューブ、グラフェンが今後重要になることが明示されています。

グラフェンの話に入る前に、現状のフラーレンとカーボンナノチューブに関して簡単にご説明いたします。フラーレンはフロンティアカーボンが現在量産しており、最近では有機薄膜の太陽電池への応用が期待されています。一方、カーボンナノチューブは、いろいろな応用先が検討されているのは事実ですが、リチウムイオン電極の負極を除いては、まだ大きな展開が見えていないのではないかと思います。しかし、産総研のスーパーグロース法を使って、間もなく日本ゼオンが量産を開始するという話もありますし、また、タッチパネル用の透明電極への応用もいろいろ進められていると聞いております。さらにLSI応用に関しましては、つくばのTIANANOの横山グループでカーボンナノチューブとグラフェンを組み合わせたデバイスの研究が行われています。ここでは、例えばグラフェンはトランジスタと配線に使いますし、カーボンナノチューブはプラグの部分とバックエンドのメモリーデバイスとして使っています。

私どもがグラフェンに注目した理由はいくつかあります。一つは、3次元から2次元へのパラダイムシフトです。グラフェンは宇宙で最も薄くて、最も強靱で最も導電性にすぐれている材料と言われております。炭素原子1層は大体厚みが0.332ナノメートル程度ですが、もしこの炭素原子1層でハンモックをつくった場合、ウサギを乗せることができると言われています。これはノーベル賞の受賞式でノーベル賞事務局が説明に使った話です。グラフェンを4層か5層にすると、1トントラックを乗せることも言われています。これだけ強靱な物質であるということで、非常に興味ある材料です。

もう一つの理由はやはり2010年にマンチェスター大学の2人の先生がグラフェンの発見でノーベル物理学賞をとったことです。有名な話ですが、スコッチテープでグラファイトをはがしたところ、グラフェンができて、初めてグラフェンを実験的に実証したことでノーベル賞を受賞しています。

グラフェンは多くの驚異的な特性を持っています。例えば宇宙で創造し得る最も薄い物質です。それから、最も強靱な物質、ダイヤモンドよりも固い物質で、熱伝導度の世界最高記録も持っています。当然電流密度も最高ですし、さらに高圧のヘリウム気体もブロックするという物質不透過性も持っています。キャリアモビリティは非常に高く、シリコンの100倍以上あります。最も軽いキャリアであり長い平均自由行程を持っています。

応用面から見ますと、グラフェンは様々なものと組み合わせることによって、多様な可能性があるとと言えます。トランジスタから透明導電性フィルム、センサー、レーザー変調器、太陽電池、二次電池と、いろいろなものに使える可能性があり世界中で現在活発に研究開発が進められています。

当面のグラフェンの応用としては、タッチパネル、バッテリー及びトランジスタがあります。グラフェンの3つの応用例のうち、今回は時間の関係で、透明導電性フィルムとトランジスタ集積回路について簡単にご紹介いたします。

透明導電性フィルムが多分一番早く実用化するのではと考えています。一方、トランジスタ応用は課題が多く、実用化は相当先であると考えています。ただし、マーケット規模を見ますと、トランジスタ応用は最も大きく、魅力的な応用であることは間違いありません。透明導電膜の応用分野は、タッチパネル、LED、太陽電池、LCDと、いろいろな可能性があります。

太陽電池の透明電極への応用はアメリカでは大学を中心にかなりやっています。日本では富士電機、東工大の小長井先生、埼玉大の上野先生などが精力的に研究開発を進めております。

2年ほど前、韓国のSamsungとSungKyunkwan大学が共同開発をして、30インチのグラフェンシートを作成したと発表して、大きな話題になりました。Roll-to-roll法で作成したということですが、膜の品質はおそらく非常に悪いと思います。ただ、早い段階で大きなフィルムを作成し、実用化に持って行こうという積極的な姿勢は評価に値します。日本では産総研の飯島センターの長谷川さんのチームが低温プラズマCVDでこのRoll-to-rollで大面積を作っていて、韓国に迫るような研究成果を挙げていると聞いています。

ただし、透明導電膜の応用のための課題は山ほどあります。例えば、成膜方法やパターン形成、ドーピング方法などです。これらのボトルネックをすべて解決しないと、本当に低コストで現在のものを上回るようなフィルムはできないのではないかと考えております。

透明導電膜のマーケットは例えば太陽電池向けでは大体1,000億円弱、それから、ITO電極市場だと8,000億円とか9,000億円です。これは世界全体です。フレキシブルエレクトロニクス向けの透明導電膜は大体三、四千億円くらいで、今後は薄膜太陽電池や有機EL、タッチパ

ネルなどの急速な市場の拡大が予想されますので、それらをもしグラフェンで置きかえることができれば相当大きな市場になると予想されます。特にITOはインジウムの供給問題がありますので、もしITOの代替として使われれば、非常に大きなマーケットが期待できます。

次にトランジスタ集積回路への応用ですが、現実的には相当難しいと個人的には思っております。しかし、もし実現すればマーケットも大きいし、非常にインパクトが大きいのは間違いないと思います。デバイスへの応用の一つはテラヘルツのデバイスです。これは東北大の尾辻先生とか、アメリカの軍関係が精力的に研究しています。グラフェンを使ってテラヘルツデバイスを実現し、いわゆるテラヘルツギャップを埋めようとするものです。

グラフェンをFETに使うのが一つの夢ですが、その辺の研究は大学とか企業、IBM、富士通、Samsungなどで行われています。いろいろなデータは出てきておりますけれども、まだ基礎的な特性が出た段階で、これからの研究の進展を待ちたいと思います。

グラフェンをFETに適用する場合、プロセス技術が非常に大きな課題となります。閾値電圧の制御方法、チャネルドーピングの方法、そしてオーミック接合など、山ほど課題があります。これらをすべて解決しないと、グラフェンのFET実現は難しいのではないかと考えています。グラフェンを電子デバイスに適用する場合の大きなボトルネックは、理想的なグラフェンはバンドギャップがゼロであることです。バンドギャップがゼロだと、当然、オン、オフのスイッチ素子には使えません。2年ほど前、NIMSの塚越さんたちは、トップゲートとバックゲートをつくって、バンドギャップをあけることに成功しました。グラフェンを2層にして、トップゲートとバックゲートに2V/nmの電界を印加したところ、バンドギャップが0.2eV開きました。しかし、我々が現在使っているシリコン半導体のバンドギャップは1.2eVですから、これに比べるとまだまだ小さいのが実状です。

次にグラフェンの各国の研究予算を見てみます。一番大きいのはEUのグラフェンフラッグシップで、これはまだ検討中だそうですが、もしこれが決定されたあかつきには、10年間で1,000億円以上の予算が検討されています。

ヨーロッパでは基礎・開発・応用研究、イノベーションと、多様な階層のプロジェクトが並走しているのが特徴ではないかと分析しております。

一方、アメリカは軍関係の予算が大きく、その他多くの大学に小さいプロジェクトが山ほどあります。アメリカは個別研究が中心で、いろいろなところから出てくる独自の成果が総体として米国のマテリアルサイエンステクノロジーを支えているのではないかと分析しております。

一方、東南アジアですが、韓国は、SamsungとSungKyunkwan大学が、ディスプレイの応用に

かなりの予算を投じております。中国も清華大学を中心に新しいプロジェクトができたと聞いております。おそらくアジアで最もグラフェンに熱心なのはシンガポール、特にシンガポール大学で、昨年グラフェンR&Dセンターを設立し、相当の予算を投じて、世界中の優秀な研究者をスカウティングしています。ボストン大の先生を所長にして、ノーベル賞のNovoselovとも連携して、世界のグラフェンR&Dのハブにしようとしています。

米国はNNI(National Nanotechnology Initiative)が4つの大きなプロジェクトを設立し、そこでグラフェンの研究をやっています。

実際、MINDというプロジェクトの中に、グラフェンを使ったresonant tunneling transistorsとか、グラフェンのSpinFETsのテーマが含まれています。ヨーロッパのIMECの技術ロードマップを見ますと、ロードマップロードマップ一番遠いところですが、グラフェントランジスタが書かれております。一方、配線のロードマップには、これも一番先のところにカーボンナノチューブの配線が明示されています。

翻って、国内のグラフェン関連のプロジェクトはあまり多くはありません。NEDOで透明電極の代替材料に特化したプロジェクトが2010年度から開始されています。私どものJSTでは、CRESTの渡辺領域で先ほどご紹介した東北大の尾辻先生と、富士通グループの2つほどテーマがありますが、大きな予算は投じられていません。また、日本のナノエレの国際研究拠点を目指すTIAでも、重点テーマとしては組み込まれていないのが現状です。

グラフェンの技術的課題の一つは、薄膜の生成方法です。いわゆる劈開法やCVD、それからSiC基板上の成長などが提案されていますが、膜の均一性、サイズ、デバイス作製の容易さという点で見て、すべてを満足するような成膜方法はいまだないというのが現状です。実は膜の均一性はいまだにスコッチテープで剥がしたものが一番均一であるという状況で、これではまだLSIへの適用は難しいと思います。

これは有識者の方々の意見をもとに、JSTでつくったグラフェンの応用開発のロードマップです。大きく共通基盤研究、トランジスタ・テラヘルツデバイスへの応用、透明電極応用、そしてその他、例えばセンサーとか、に分けて書いてあります。このロードマップから分かるように課題は山積みですが、最近バイオセンサーで非常に良いものができたという研究成果もありますので、将来の可能性は大きいと考えられます。

グラフェン以外にも、興味ある二次元機能性原子薄膜材料は幾らでもあります。例えば、NIMSの佐々木さんたちが長くやっているナノシートと呼ばれているものがあります。ナノシートは層状化合物を単層剥離したもので、様々な材料が今までつくられておりますが、多くの

興味ある特徴を有しています。これからの応用展開が楽しみです。

他の例は北陸先端大の高村先生が精力的にやっておられる「シリセン」というものです。シリセンは、一言でいうとシリコン版のグラフェンです。グラフェンは、炭素原子の一層ですが、シリセンはシリコン原子の一層です。もしこれができたら、シリコンLSIとの相性も非常に良く、期待の持てる材料です。現状では、シリコン上のニホウ化ジルコニウムの上にシリセンの1層をやっと積めた段階で、安定性に問題があると言われており、まだまだ基礎研究の段階です。

もう一つ、ここ一、二年、非常に世界的に注目されているのが、いわゆる「トポロジカル絶縁体」というものです。グラフェンは原子1層ですが、実際には原子1層で使うことはできないわけで、何らかの基板の上に張りつけるか、成長させるかする必要があります。そうすると、これは異種組成になり、本当に安定なのかは、研究者の間でも議論になっています。一方、トポロジカル絶縁体は、内部は絶縁体で表面のみ特殊な金属状態です。つまり、これは同じ物質なわけで、同一組成になっています。自然な構造で安定していると言われております。トポロジカル絶縁体がポストグラフェンの有力な候補であるという研究者もいます。トポロジカル絶縁体も表面だけ見れば、二次元の原子薄膜なので、我々のスコープの中に入れるべきではないかと考えております。

JSTのCRDSとしましては、二次元機能性原子薄膜の新しい領域への挑戦ということで、今までのMore-Mooreの方向やMore-than-Mooreの方向ではカバーし切れない領域に挑戦すべきではないかと考えております。その領域で、二次元機能性原子薄膜、例えばグラフェン、トポロジカル絶縁体、ナノシート、シリセン、こういうものを使った、何か新しい革新的なデバイスを開発できないかと考えております。

お手元にCRDSで作成した2011年度の国際比較の中からカーボン関係を抜き出したものがあると思いますが、その中のカーボンナノエレクトロニクスに関して、1つコメントさせていただきます。これは有識者の全体コメントですが、グラフェンの研究予算については、ノーベル賞の影響もあって、欧米で巨額の研究予算がついています。それに対して、日本はかなり見劣りすると言われております。アジアでも、韓国を中心にグラフェン関連の研究成果が目立ってきており、今後、産業化へのシナリオ次第では、アジアも強力な存在になる可能性が高く、日本が若干遅れているのが懸念されます。

ナノカーボンの適用アプリは多くあります。例えばカーボンブラックを使った燃料電池の可能性もありますし、次回にお話があると聞いておりますカーボンファイバーも多くの可能性を秘

めています。さらにセンサー系、太陽電池への応用、それから、パワーデバイスなどへの応用も有望です。まだ何が本命か明確ではありませんが、ナノカーボンが大きなポテンシャルを持った材料であることは間違いありません。

あとは補足資料として、グラフェンのSWOT分析を行った結果を示しておきます。

グラフェンの国別の論文数の発表に関しては、米国がトップで中国、ドイツ、日本と続いております。ところが、個人別のグラフェンの関連論文数とインパクトファクターを見ますと、東北大の尾辻先生、東工大の安藤先生、榎先生、東北大の斎藤先生、NTTや富士通グループ、NIMSの若林さん、塚越さん、と多くの日本人研究者が論文をたくさん出しています。インパクトファクターも非常に高いことが分かります。あとはナノカーボンのリスク評価とリスク管理、最後に参考資料をつけておきます。

以上でございます。

○塚本主査 どうもありがとうございました。

ただいまの河村さんのご説明に何かご意見あるいはご質問がありましたらよろしくお願ひします。どうぞ。

○長瀬委員 グラフェンに関する研究費なんですが、これは欧米の場合、基礎研究と応用研究の割合はどのぐらいの割合になっているのでしょうか。

○河村フェロー 少なくとも米国、EUに関しては、ほとんど基礎研究の段階だと思います。まだ応用にはいっていないと考えています。ただし、韓国のSamsungは別です。透明電極への応用を真剣に検討しているようです。

○長瀬委員 ありがとうございます。

○塚本主査 ほかに何かご質問ございますか。

どうぞ、松下さん。

○松下委員 大変興味深いお話、ありがとうございました。ちょっとお伺いしたいのですけれども、研究者サイド的には、確かにナノチューブなどは研究すれば論文が出るので、研究しやすいというものもございまして、グラフェンに関しましても、私の周囲では、こちらの報告書には若者が余りやっていないと書いてありますけれども、やり始めているというような印象はございます。ただ、ナノチューブと同様に、論文は出ても、実際のものになるかと言われると、非常に不安な面が私どもでもございまして、その点に関しましては、どのようにお考えなのでしょうか。実際に透明電極、今回、NEDOでやられますけれども、それはものになるのか、その後、実際に日本に産業を大きく生み出していけるのか、シンガポールとの特許戦争に勝て

る見込みがあるのかなど、ちょっとお伺いしたいのですが。

○河村フェロー 非常に難しい質問ですが、コストの問題は残っているものの、透明電極は極めて実用性が高いのではないかと思います。ただし、先ほど申しましたように、LSIへの適用はかなり難しいかなという感じはしております。LSIへの適用は、おそらく日本だけでやってもだめなので、例えばシンガポールなどと連携する手もあります。シンガポールはR&Dのハブにはなるかもしれませんが、国内に産業がありません。そこで、日本とシンガポールと組んで、日本で産業化するのも一つの方法かなと思っています。グラフェンの分野ではグローバルに展開していったほうが良いと思っています。

○松下委員 もう一点よろしいですか。今回、ご説明されなかった蓄電への応用に関しては、どの程度まで進んでいるのでしょうか、国内、海外。

○河村フェロー 一言で言うと、透明電極とLSIの間くらいという感じで、やはりちょっと遠いかなと思っています。ただ、可能性は十分あると思っています。

○塚本主査 どうぞ。

○NIMS（室町） 今の蓄電の話なんですけれども、私どもの研究所は電池ではなくて、スーパーキャパシタにこれを使うということで、かなりびっくりするようなデータが出始めております。ですから、ナノエレのお話を中心だったんですけれども、むしろそういうケミカルな応用というのは、やっぱりかなり注目すべきではないかなというふうに考えています。

○河村フェロー 実際グラフェンは今まで物理学者だけがやっていましたが、今後は化学者が入ってきて一緒にやると非常におもしろいと思います。ある化学の先生の話では、まだグラフェンでノーベル化学賞をとる可能性があるとのこと。今まで物理的なアプローチしかやっていなかったですが、そこに化学が入って、うまくコンバージェンスしてやっていくと非常におもしろいものが出てくる可能性がありますので、まだまだポテンシャルは持っていると思います。

○塚本主査 ありがとうございます。ほかにご質問、ご意見ございますか。

どうぞ。

○産総研（清水） 4ページの0次元、1次元の分類に関してですが、よく教科書で見るのは、3次元のところに行く、炭素原子やフレームワークが3次元的に組み合ったダイヤモンドというのがよく出ています。今回示された図は、グラフェンという基本要素をもとに0次元、1次元、2次元、3次元というふうに分類されたのでしょうか。教科書的には、0次元がフラーレン、1次元がカーボンナノチューブ、2次元がグラフェン、3次元はダイヤモンドが書いて

あります。何かここは意図があるのかどうか質問です。

○河村フェロー グラフェンは黒鉛を剥がして作成したという事実があり、逆に言うとグラフェンを何万層に積み上げるとグラファイトになるわけです。そういう意味で記載したもので、そんなに深い意図はございません。確かにダイヤモンドでも良いと思います。

○塚本主査 ほかにご質問はございますか。

どうぞ。

○NEDO（和泉） 先ほどのプレゼンの中で、NEDOの取り組みについてご紹介いただいたのですが、今、私どもは透明導電膜に加えて、もう一つの可能性として、グラフェンの熱伝導性の高さというものがうまく活用できないか、という観点でプロジェクトを進めているところでございます。課題としては、コスト面と共に、大面積のものをどうやってうまく安定して作るかという技術面もかなり大変で、ここがどこまでうまくいくかというのが一つの大きなポイントと考えています。

○塚本主査 ほかにご意見、ご質問はございますか。

どうぞ。

○奥村議員 どこかの新聞記事ですけれども、日本の企業がRoll-to-rollで開発したという発表をしたような記憶があるのですけれども。

○河村フェロー たしかソニーだと思います。ソニーはまだ国際学会では発表していませんが、先日の秋の応物学会で、非常にハイクオリティーで長いフィルムをRoll-to-rollで実現したことを発表しています。おそらく透明電極への応用と思われます。

○奥村議員 そうですか。ソニーは単独でおやりになっている？

○河村フェロー おそらく単独でやっていると思います。

○NIMS（室町） ちょっと教えていただきたいんですが、透明電極では今、いわゆるIGZOとか、それから、今はアモルファスですけれども、あれが結晶化したIGZOのような、そういうものが言われている。そういうものと比較して、かなり性能的にいいものができる可能性があるんでしょうか。

○河村フェロー 今日はデータを持ってきませんでした。グラフェンの透過率が重要です。グラフェンを1層で使えば理想の透過率（97%くらい）が得られますが、それを7-8層にしてもまだ80%程度の透過率があります。7-8層で実現できれば優位性はありますが、20層、30層も積まないといけないとだめであれば、他の材料と同じレベルになってしまいます。薄く、いかに層数が少なく、かつハイクオリティーのグラフェン膜ができるかが、ポイントだと思います。

ます。

○塚本主査 ありがとうございます。ほかにご質問ございますか。

よろしいですか。どうぞ。

○馬場委員 私のほうから質問するのもなんですが、材料メーカーとして、ここら辺をどういうふうにとらえているか非常に気になります。例えばカーボンナノチューブですと、もうかなりいろんなところで研究が進められて、産業界も含めてかなりいろいろ研究しながらやっているとと思いますが、グラフェンに対してはまだ基礎的なものが主だと言われています。産業界の関心というのはどの程度あるのか気になるところですが、そこら辺はどうでしょうか。

○長瀬委員 では私のほうから。例えば年表を見ていただいてもわかるんですが、3ページ目ですが、カーボンナノチューブは1991年です。それで、やはり実用化というのが最近、この数年のことです。グラフェンが2004年ですから、やはりそういう意味で、グラフェンというのは非常にポテンシャルのある材料というとらえ方をしています。ただ、応用というのをそんなに早く考えなくてもいいのではないか、やはりこれは基礎的なものというか、非常にそのポテンシャルを見極めて、その中でどういうふうに使っていくか、そういう中で、すぐにこれで応用したものをつくるというよりは、これの基礎的な学問とか、そういうのを見ながら、それが例えばカーボンナノチューブに応用できる、それから、強いて言えば私どもの炭素繊維に応用できる。そういうふうな見方でもって、今はとらえております。ですから、もちろんうまくいって応用できれば、それは非常にラッキーですけれども、やっぱりそれ以上に、もう少し基礎的な考え方をもってもいいのかなというふうに考えております。

○奥村議員 文科省と経産省にお伺いしたいのですけれども、グラフェンという切り口で今の民間の方のご発言もございましたけれども、国として基礎から応用まで視野に入れて、さらに何かプロジェクトを打っていくようなご検討をされているのか、先ほどNEDOのほうから追加のプロジェクトのご説明がありましたけれども、プラスして、何かお考え、検討されているのか、あるいは検討されようとしていらっしゃるのか。

○文部科学省（永井） 文科省につきましては、これも戦略創造の一つのアイテムとして、これはグラフェン、カーボンに限ってはございませんけれども、グラフェンを含む2次元性の薄膜など、こういったものを対象に、最終的には超低消費デバイスとかそういう方向に使えるかということで、これは戦略創造のアイテムとして一つ視野に入れているということでございます。

○奥村議員 ありがとうございます。

○経済産業省（北岡） 経済産業省ですけれども、実はこのNEDOさんのプロジェクトには私が絡んで、ノーベル賞が出た瞬間に経済産業省の中で、至急プロジェクトを立ち上げろという話が動いて、そこからつくられたものです。一つはやはり、なかなか新規のプロジェクトを立ち上げるときに、出口というのをすごく言われて、今回、こういう今NEDOさんでやっていただいている透明電極の話になって、結局、予算としてはレアメ代替があったので、その予算に最初つけて、プロジェクトを走らせたというのが現実なのですが、そういった意味でなかなか経産省でこういう長期的な10年を見据えたプロジェクトをやろうとすると、ご存じのように未来開拓みたいなところに持っていかなければいけないので、もう少し足組をきっちりつけてやらなければいけないという中で、今、このプロジェクトから出てきた成果を数年後、大きくなれば、未来開拓みたい大きなプロジェクトに持って行って、10年間のプロジェクトというふうには考えています。そういった意味では、この3年間、NEDOさんの今サポートをしていただきながら、どこまでそのシーズを出せるかというところがポイントだと思っています。実際、そのときにNEDOさんと協力して、かなり数十社の企業を回って、ヒアリングして、実際にここに出ている以外に、例えばトライボロジーとか摩擦の問題とか、いろんなところのメーカーさんに当たって、今、技術組合の中にも、実際、実施していただいているメンバー及びそれに対するサポートメンバー及びここに名前が挙がっている榎先生とか塚越先生の話も実際には連携しながら進めているというのが実態です。そういった意味ではT I Aの中でかなり連携をとりながらやっていこうとしている状態ですけれども、予算が本当に数億しかとれなかったもので、毎年我々、頑張っってやろうとしております。現状はやはり数億レベルが精いっぱいなので、数年後、NEDOさんと連携しながら何とか大きなプロジェクトに展開できればというふうに思っているもので、文科省さん、JSTさんとの協力も得ながら、できたら大きなプロジェクトができればなというふうには考えております。

○塚本主査 どうぞ。

○NEDO（和泉） 私どもNEDOとしましては、プロジェクトを実施する際には産業化ということを考えて取り組みますので、やはり機能に注目しています。つまり、何に使うのかということのポイントとして考えています。そういう意味で、今のところグラフェンの機能では導電性と熱伝導性が中心になると感じています。そういう機能を加えたアプリケーションを目指すという考え方と、それとは別にいろいろな使い道を探索するというのは、少し別の話なのかなと感じております。両者のバランスをとって取り組むということが必要かと思っています。

○塚本主査 ありがとうございます。

ほかに。既に質問を超えて議論に入っておるんですが、お手元の今日、先ほど事務局から説明がありました、資料4を見ていただければ、少し今、既にそういう議論が始まっておるんですが、今日のグラフェンを一つの題材で、全体としてはカーボン系の材料、一番小さいのはフラーレンから、今日の河村さんのお話でもフラーレンからグラフェン、あるいは一番上はグラファイトまで、場合によったらダイヤモンドまで入るかもしれないんですが、非常に幅広い材料が並んでいます。ざっと今のところ炭素繊維もカーボン系という位置づけで考えると、お手元の今、ごらんいただいています資料4にありますように、フラーレンからグラフェン、CNT、あるいは炭素材料、これは大体フェーズが少し違うんだろうと思います。炭素繊維というのは当然、もう皆さんご承知のとおり、ボーイングとか飛行機、軽量材料としても、既に大量に使われ始めた。何万トンという世界に入っている。既に相当の産業になる。ただ、これとてまだまだ課題がないわけではなくて、さらに高性能にするために、あるいはコストを抑えるためにいろんな課題が山積していると思います。CNTというのは、既にリチウムイオンバッテリーの負極、正極の導電助材なんかに使われていまして、かなり動いておるんですが、残念ながらまだまだ産業としては大したものではないというのが実態です。グラフェンというのは今ちょうどご説明いただいたように、いろんな可能性は秘めているんですが、まだ具体的に商売になっているというフェーズにはなかなか入っていない。今ようやく、まずは透明電極ぐらいに使えるかというあたりが動き始めている。それから、もう一つ小さいほうで、フラーレンという、これは随分、たしか今年か来年、基本特許が切れますが、これはもうまさしくまだ、物理学の世界でいろいろごめいていると。一部OPV、有機太陽電池なんかにN型半導体として使われる例が出始めていますけれども、これが本当にどうなるかまだわからない。そんな状況だと思います。それで、今日、特にカーボンの全体の俯瞰をする中で、今、もう既にいろいろな議論に入ったんですが、産業的にかなり出口に近いところ、これは国の施策からいけば、例えばNEDOとか、あるいは経産とかがバックアップをしてやっていく部分だろうと思います。それから、よりグラフェンとかフラーレンとか、まだいろんな夢はあるんだけど、サイエンス領域としてももう少し詰めなければいかんことがいっぱいあるというようなところはやっぱり基本的には文科省あるいは大学、さきがけみたいな形で動いていかざるを得ないんだろうと。ただ、この世界はいずれ、世界じゅうが注目していますから、もたもたとマイペースでやるわけにはいかないというようなことがあろうかと思っています。そういう意味で、こういう開発フェーズの位置づけと、今、ちょうど河村さんにご説明いただいたような内容も含めて、この先、まだ小一時間ありますが、いろいろ意見交換をさせていただければと思います。

○事務局（守屋） よろしいでしょうか。それでは、とりあえず一旦J S T様のほうのプレゼンから離れまして、幾つか今日、お手元に参考資料を用意いたしましたので、どのような資料かというのをちょっと触れさせていただきます。

○事務局（山崎） では私のほうから、用意させていただいた参考資料についてご説明いたします。参考資料に関しましては、1から4まで、4つの参考資料を用意させていただきました。参考資料1は、カーボン材料に関連するアクションプラン施策ということで、平成25年度のアクションプラン施策のうちから、カーボン材料に関連するものを事務局のほうで抽出しまして、ここの表にまとめさせていただきました。アクションプランとしては4つ施策がございまして、ここに挙がっているグリーン関連の施策になります。

2枚目以降が、これら4つの施策に関する個別の説明資料となっております。

次に参考資料2、こちらA3の表裏の表になっています。これは我々ナノテク材料ワーキンググループのほうで作成した技術ポテンシャルマップのうち、現在、カーボンナノ材料やカーボン複合材料のところに分類されている項目、委員の皆様から挙げていただいた項目を表としてまとめたものです。挙がっている項目としては、用途やシステム、また、概要の説明と、あと2022年の姿、また、2022年の姿を実現するために解決すべき課題をこの表1枚に表裏でまとめさせていただきました。

それから、参考資料の3です。こちらはナノテク材料ワーキンググループの第2回で、厚生労働省さんのほうからご説明いただきました、ナノ材料の安全性に関する配付資料の中を一部改訂していただいたものです。安全性に関する資料になります。

続きまして、参考資料の4、国内の取り組みというふうに左上に書いてある資料です。これは経済産業省さんのほうで現在実施しております、ナノ物質の管理に関する検討会という検討会の第1回の資料の中から、ナノ物質の管理に関する国内の取り組みや海外の動向の部分を抜粋させていただきましたものです。

以上の4種類を事務局のほうで今日の議論のための参考資料としてご用意させていただきました。私からの説明は以上です。

○塚本主査 ありがとうございます。

この以降は自由に、既に一部ご意見が出ていますが、このグラフェンあるいはナノチューブ、さらに、既に産業が一部動いているというか、一部というか、相当動いている長繊維型のカーボンファイバー、それから、まだまだ入口というようなフラーレン、このあたりをこれからどうとらえて、あるいは出口に向かって、どの辺に力を入れるべきか、あるいはどういう世界が

描けるのか、そのあたりを少し自由に議論させていただければと思います。

どうぞ。

○馬場委員 細かいことですが、この資料4の図で、グラフェンとフラーレンの位置が何となく私の思っているイメージと少し違います。発見された年数を考えてみても、フラーレンが20年前ですので、それなりに応用も化粧品とかいろいろあったと思いますし、もう少し応用が進んでいるというイメージがあります。グラフェンはまだ基礎研究の段階かと思います。

○塚本主査 おっしゃるとおりかもしれません。恐らくグラフェンのほうがより最近、それから、今動き出したところ、フラーレンはまだまだ微妙ですけれども、現実にはレジャー製品だとか、あるいは化粧品だとか、一部フロンティアカーボンさんがおやりになっていますから、そういう意味では少し逆転しているかもしれません。この辺は、大体この辺というイメージで厳密性は特にないということでご理解ください。

先ほどグラフェンのところで既に少し意見が出たんですが、まずは作り込み、いかに大面積をつくるか、あるいは当然ながら安くつくるかという話と、一方で、どういう用途開発をするか、その辺があるんだろうと思うんですが、そのあたり、あるいはそれはフラーレンもグラフェンもCNTも一緒なんですが、少しご意見をいただくきっかけとして、私ども実はCNT、もう既に20年近くやっているんですが、間もなく当社の特許も切れ始めます。残念ながら、特許が切れる割には一向に事業が広がらないというのが、実は大分にも500トンのプラントを持っているのですが、これは実は先日、停止を決めました。したがって、早過ぎた開発というのは案外ものにならないという、非常に反省をしておるんですが、これからこういうせっかくの製品、東レさんも実はカーボン開発を随分おやりになって、ひと昔前はレジャーで始まって、ようやく飛行機というか、実用化されてきた。相当時間がかかっているんですね。私のかかなり独断と偏見で申し上げると、グラフェン、CNT、あるいはフラーレンというのは、ススをうまく分離すればつくれますから、非常に安くチンケな装置でつくれるんですね。長繊維のカーボンというのは、PAN系にしるピッチ系にしる、相当の装置がないとつくれない。したがって、グラフェン、CNT、フラーレンは、よほど出口とか、コスト競争力とか、そこをうまく考えておかないと、後出しジャンケンで、ああそうなのかと言われると、数千万の装置で簡単につくれますから、チャンバーさえあれば。極論すれば、その辺のススを集めて分離すれば、フラーレンも入っているわけですから、極論すればですよ。そういう意味では、この3つの長繊維型のファイバー以外は相当うまく国の施策として進めないと、出口の押さえ方も含めて、何やっているんだろうということに、特許を幾ら出したって、実用化されるころには切れると

いうことになってきますから、その辺も含めていろいろご意見いただければと思います。

どうぞ。

○国立医薬品食品衛生研究所（広瀬） 資料3を説明するつもりでは準備はしてきたんですが、今の特許が切れて、どこでもつくれるようになったという観点から、安全性の観点とはちょっと違う観点になるかもしれないんですけども、今日の話だとグラフェンで今、ナノチューブとか、ナノマテリアルをちょっとサンプルとして、参考資料3をつくってきたんですけども、実はこれはナノマテリアルなので、今日の話の材料からすると全然違う話かもしれませんが、生物、安全サイドのほうから見たら、新しい材料なので、新しい影響が出るかもしれないと。

それで、2枚目、3枚目になると、ではなぜ形が違くと影響が変わるかという、大き過ぎると細胞と反応しないし、小さいと分子の中でもう既に医薬品とかという評価ができるんですけども、中途半端な大きさというところの、これまでの知見がないというところで新しい研究が必要だということで、我々は研究しているわけです。それがその次のページで、どういうことになるかという、結局、中途半端な大きさというのは体にどこかたまるかどうかというのが、慢性的にたまるかどうかというのは結局大きな問題でして、それがなかなか医薬品と違って、化学物質はなかなかそういう安全性のデータは取りにくい。化学物質だと国がお金を出してやったりしているんですけども、そういう会社ではなかなか開発にお金がかかるので、どうしても安全性にお金がかけれないというところがあって、なかなかデータが出てこないというところであるんでしょうけれども、ちょっと結局こういう安全性のデータって少し保険みたいなところがあって、あと規格とか、要するに品質と裏返しなんですよね。いい品質のものをつくるというのと安全性のデータを持つというのは、多分セットで考えて普及されるべきで、例えば今、ナノチューブ、あるいはフラーレンとかが大した装置でできないとすると、日本以外だとどこでも簡単につくれてしまうと、簡単に日本に入ってきて、太陽電池より安いところでばっつつくってしまったら、できなくなってしまうというのがあるんですけども、でも、本当はいいものをいい製品で使うという、みんなが使うというシステム、欧米とか日本で共通で持てる、安全性データもあって、品質もいいものがあるという、余り貿易、非関税障壁ではないんですけども、でも、最低限の健康は守れるぐらいの品質レベルを普及させるんだというコンセンサスを国の施策としてつくっておきながら、やるというのは、ある意味、特許が切れたときとか、後からそういう簡単な技術でもつくれるようになったときのために、今のうちから準備しておく、保険みたいにやっておくというのは必要ではないかと、そういった意味で、ちょっとお話しさせていただきたいと思います。

○塚本主査 コメントありがとうございます。私どもも国衛研には随分お世話になっています。今の安全性については、これは主査としてのあれではないんですが、一企業、委員としての意見ですが、残念ながら日本の場合はガイドラインが出るのが非常に遅い。今、企業のほうは開発で安全性の費用は余り使わないだろうとおっしゃっているんですが、実は少なくとも私ども化学会社ですと、開発費用と安全性試験の費用はほとんど一緒です。恐らく10億ぐらいもう既に軽く、安全性試験のためだけに使っていますから、それはしかも、非常にもたつくのは、当社がつくっているもの、当社が安全性評価しても、お客さんからみると、そんなの勝手に自分のところがやっているだけだろうと、臭いものにふたしているのではないかというふうに見られるんですね。そうではなくて、我々はデュポン・ハスケル研とか、あるいはヨーロッパのいろいろな研究機関とか、第三者にお願いせざるを得ないんですよ。それが例えば国として、こういうプロトコルで、こういう評価をすれば大丈夫ですよという決まったプロトコルがあれば、それはそのとおりやりましたと我々も堂々と言えるんですが、それが残念ながらまだないので、そうすると、自分のところでやったら、それはお前のところの都合のいいやり方でやっているのではないかと、必ず言われるんですね。いかにまじめにやっても、当然それは世の中そういうものだと思いますから、ぜひプロトコルだとか、安全性の基準なんか、ぜひ国レベルで早く、せっかくCNTとかフラーレンとか、先行しても、アメリカなんかのほうがかまかくそれをスタンダードにしてしまうんですね。

○国立医薬品食品衛生研究所（広瀬） それは私が言うのも何なんでしょうが、開発していくところと、そういう安全性を見るところ、省庁も一緒にこうやって進んでいけば、規格もつくりながら、安全性の基準もつくりながら進んでいけるといって、開発が先に進むんでしようけれども、一緒に厚労省のほうでもそういう安全性の観点からも、横に一緒に加わりながらやっていくと、できたころにはもう安全性のやり方が決まっていますというやり方ができるのかなということちょっと意見させていただきました。

○塚本主査 ぜひよろしくお願いします。安全性はそれぞれまた、当然ながらやっていかなければいかん課題ですが。

○国立医薬品食品衛生研究所（広瀬） カーボンだけの話ではないです。

○塚本主査 どうぞ。

○厚生労働省（長谷部） よく似た話にはなるとは思いますけれども、たしか決まったガイドラインがあれば、それに沿ってやっていけるといって、非常にいいかと思うんですが、今、ここにおられる方は大体ご存じだと思いますが、ナノマテリアルはいろんなものもありますし、

これも特性が違うので、同じような安全性試験ではなかなか通じないというところがありまして、いろいろデータ、国際的にもOECDを中心に集めているところですので、そこでもなかなか今のところ現時点では結論は出ないということもありますので、ただ、余り負担もかけないということもあり、現時点で使われている試験法をとりあえずメインに使っていくような方向でどうも議論されているというふうには聞いております。今後も日本は民間の方のデータ等をご協力を得ながら、OECDと協力して、できるだけ早くそういった試験法の確立ができればというふうには思っております。国内の研究費でも、化学物質リスク研究の中で、試験法の開発というのは、重点に行っておりますので、ぜひご協力いただければというふうに思います。よろしく願いいたします。

○塚本主査 ほかに何かご意見ございますか。

長瀬さん、どうぞ。

○長瀬委員 ちょっと今の関係で、やはり試験方法であるとか、安全性の評価というのは非常に重要で、東レでございますが、企業としても非常に先ほど主査が言われたように、お金もかけていますし、そういう中で、例えば今やっているカーボンナノチューブなんかの長さを測定する方法、そういうものにしても、原理的にできるものと、あとそれが実用になったときにどうしたらいいとか、そういうふうなものについてもいろいろやはりお考えを皆さんでいただいて、できるだけ簡便であって、それが実用的に適用できるような、そういう方法をいろいろ検討していただいたら、一部、そういうふうな動きをさせていただいておりますけれども、そういうことが重要だというふうに考えております。

○塚本主査 どうぞ。

○NIMS（室町） ちょっと安全性の問題からずれるんですが、先ほどの話に戻りまして、この資料4で、グラフェンをカーボン材料の一つとして考えるのは、これは当たり前のことで、その考え方はもちろんそれでよろしいと思うんですが、これはある種の縦の見方で、横に考えると、グラフェンというのはナノシート材料の一つだと、多分そういう見方も非常に重要だろうと思うんですね。私が考えるに、グラフェンの非常に大きな特徴というのは、原子1層でできている非常に薄い層であると。しかもその層の結晶性が非常にいいと。そもそも最初の単結晶のグラファイトから、1層を取り出してきたわけですから、非常に結晶性がいいと。そこが活性炭なんかと全然違うところなので、そういう特徴を持っていることによって、いろいろな特性が出てくる。多分そういうことだろうと思うんです。そうすると、そういう特徴を持っているものと横に見ると、炭素材料だけではなくて、先ほど言ったシリコンの場合ですとか、あ

るいはBNの場合はどうかとか、先ほど私どもの研究所の佐々木の話が出てきましたけれども、層状酸化物から原子層を取り出すようなことも今できるようになっています。その非常に薄くてかつ、非常に結晶性のいい層というのが、いろいろな特徴を出すというのは共通して言えることでして、そういうものの一つの方法として見るという、そういう見方も大事なかなというふうに思います。

○塚本主査 ありがとうございます。

今みたいな横の広がりも考えると、非常に幅広い話になっていくと思うんですが、そうすると、グラフェンではない、また違う世界、いわゆるカーボン系という概念から違う世界が広がってくるのではないかなと思うんですが、実際にこれは今、ディスカッションさせていただいているのは、いわゆるグリーンイノベーション、ライフイノベーションのイノベーションを起すための、我々技術的にどういふところが可能性があるかと、ポテンシャルを持っているかということだと思っておりますが、そういう意味では、こういう絵をかいたのは、先ほどもちょっとご紹介しましたように、より右側、事業化に近いところというのは、これはこれで、いろいろなブレイクスルーするために、さらにいろんな国の施策が要るのであれば、これはやっぱり経産中心にバックアップ、いわゆる出口がはっきりしているということだろうと思っておりますが、その施策だとか、あるいは国のいろいろな方向づけにして、経産省、文科省がどう、このCNT、グラフェン、あるいはフラーレン、開発途上のモノをどうハンドリングするかというあたりを少し議論いただければと思うんですが、北岡さん、何かご意見ございませんか。

○経済産業省（北岡） 確かに経済産業省は、出口、出口と言われるのですけれども、出口イコール例えば電池を開発するための開発と言ってしまえば、電池というものに対する出口の中でセパレーターからいわゆる電極材料からシステムという意味になると思います。例えばその一個手前のところで、先ほど例えば室町理事がおっしゃったように、新たな薄膜形成の材料をつくるというのも、私自身は出口だと思っておりますね。それがいろんなところに使われても別にいいと思っていて、余り何か電池のためだけの材料をつくりましょうという、もうそれだったら企業の補助でやればいいんじゃないかなというふうに最近METIの中でも議論はしているんですね。そういった意味で、私自身はこのNEDOさんのプロジェクトをつくる時に、先ほどいろいろと室町理事が言われたように、グラフェンに関しては、確かにカーボンの一種なのですけれども、どちらかというと薄膜形成の技術かなというふうにすごく思っていて、大面積薄膜の超原子オーダーレベルの薄膜技術をどうつくるかというふうなプロジェクトにしたいなという話もあって、NEDOさんともすごく吟味したときに、いかにグレインの大きな材

料をつくるか、もしくはつくられたものをどうグレインを、グレインバウンダリーをなくす技術にするかというような観点でやっていったときに、新たな出口が出るのではないかというふうに思ったんです。そういった意味では、それこそ先ほどの室町理事の話をかきとると、例えば新たな薄膜を形成するための技術として、文科省さんでいろいろやられている薄膜形成の技術を束ねて、ある拠点に集まって、いろいろな材料系の薄膜の大きな単結晶をつくっていくようなプロジェクトというのも、一つは魅力あるプロジェクトではないかなと私は思っていて、そこから新たな出口を考えていくというのも重要ではないかなと、それもMETIに非常に問われているところで、それをやろうとすると、本当に文科省さんとどんなプロジェクトがJST、文科省で発しているかということも我々は分析しなければいけないし、それがまさに省庁連携でやらなければいけないことかなというふうに感じています。

○塚本主査 ありがとうございます。

今みたいな議論ですと、例えばももとのポテンシャルマップで、自己組織なんていうのがありますよね。あれは恐らくここまではまだイメージはなかったのではないかと思うんですが、例えば今みたいな議論でいけば、シリコンとかカーボンとか、そういういわゆる元素レベルで膜をつくるのに対して、あっちのやつはどっちかという、化学だとか何とかでいわゆる自己組織化していくという世界ですから、少し世界が違うと思うんですが、そういう意味では、そういうジャンルを少し深掘りすれば、ひょっとしたら、今までどれを使ってもどうしようもなかったようなことが実現できるかもしれない。その辺の出口側の可能性というのは、どの辺までイメージが、今ちょっと、先ほどご説明にもあったんですが、これはあとは実現性、可能性の問題だと思うんですが、ほら吹くのは幾らでもできますけれども。

○経済産業省（北岡） ただ、ビジネスというのが、当然最終出口までがビジネスということは当然念頭に置かなければいけないですけども、例えばSiCのプロジェクトにしても、SiCのプロジェクトというのは、SiCの基板がなければいけなくて、SiCの基板のビジネスもあるわけですよ。だから、例えばこういうものも、いわゆるグラフェンの単結晶の、例えば6インチをつくる技術というのは当然、もしできてくれば、当然それがビジネスにもなっていくわけですし、日本がもう一つ、出口の半導体まで押さえるかどうかというのはまた別の話だと思うので、やはりいい基板をつくるという観点で、考えた出口というのを考えないと、すべて何かエネルギー削減とか、電池開発とかというのを出口と言い過ぎると、文科省と経産省の間というのはすごく離れてしまって、それこそその穴を埋める、もう一個省庁が出てきそうな勢いかなという気がするので、もう少しそこはフレキシブルに出口というものも考えてい

って、省庁で連携していくべきかなと私は感じています。

○塚本主査 ありがとうございます。

ほかにご意見ございませんか。どうぞ。

○産総研（清水） 前回、少し申し上げましたが、現在の炭素材料の世代というのは第4世代と思っています。それは東海カーボンの室伏様が「炭素」という雑誌に解説記事として書かれています。この第4世代というのは、まさに今さっきご説明があったあの分類でいく、炭素原子のフレームワークで分けている世代です。これは今までの第1世代、第2世代、第3世代と一番大きな違いは、今までは例えば炭素繊維を電子顕微鏡で見た場合の想定図を見ると、その中にはカーボンナノチューブがあったり、グラフェンシートがあったり、その混合物です。だから、第4世代の一番特徴は、構造的な純度が非常に高いということです。しかし、それを大面積化したり、大きな単結晶をつくるという技術はまだございません。ただ、ダイヤモンドなら3次元の構造ですけれども、あれの単結晶でいったら、まだたった1.5インチぐらい、2インチを目指している段階で、これをものすごく大きいのができればすぐパワーデバイスに使えるわけですね。こういう世界なので、炭素材料の一つの重点化の方向性としては、構造の純度をどこまで我慢できるのか、どこまで混合物でいいのかを見極める事だと思います。言い換えれば、目標とする特性を出すために、あるいは目標とする出口とするために、そのコストバランスから構造の純度の程度を見極める必要があります。そのためには、今、経産省でやられていますけれども、グラフェンなどの大面積化技術というのは非常に重要な方向性だと思います。構造の純度を保ちながら、今、北岡先生からあったように、グレインのサイズをいかに大きくできるかというのが非常に重要です。

○塚本主査 ありがとうございます。おっしゃるとおりだと思います。ススを集めれば、フラーレン、グラフェンが混ざっていますから、それをいかにピュアに分離するか、あるいはピュアにつくり込むかということが技術だろうと思いますけれども。

ご意見ございますか。

○馬場委員 先ほどの北岡さんの話というのは非常にいい話で、やっぱり出口としていろいろなレベルがあるというのを考えていかなければいけないと思います。一方、最後の出口というか、本当の応用のところが大きくないと、途中の応用である製品レベルというのもどうしても縮小してしまったり、あるいは魅力がなくなってしまう。さっき河村のほうからエレクトロニクス応用の話がありましたが、何かこれがないと将来やっていけないというようなものをお考えおかないといけないという気がします。例えば炭素繊維というのは非常にいい例で、もとか

ら軽量な、強度の高いものがあれば、鉄を置きかえられるというので、もう数十年も続けてきた。そういう大きな目標があつて、基礎研究的なところからずっと続いてきたというのがあります。ナノカーボンも、何かそういうのが1つ、2つないとだめという気がするので、そこら辺を真剣に考えなければいけないと思います。エレクトロニクスはちょっと先という話がありましたけれども、もうちょっと手前で、先ほどの電池という話、あるいは複合材料かもしれませんが、産業界も含めて全体で考えなければいけないと思います。

○塚本主査 ありがとうございます。今のご意見で、企業側の方。

○齊藤委員 今のカーボンファイバーの話なんですけれども、確かにカーボンファイバーの特性が非常にいいということで、企業といいますか、今はもう航空機か何かで大分使えるようになってきてはいると思うんですが、もう大分前からそういう利用したいという、どうしたら利用できるのかという、そういう検討はしていたと思うんですけれども、なかなかそれが製品につながっていかないと。そこが何かというと、やっぱりものの供給量とか、それから、コストとか、そういったものがやっぱりそういう製品にしていくにはまだなかなか見合わないということで、なかなかそれを取り入れていくことができなかつたということだと思います。それをこのグラフェンにしてみると、多分先ほどのお話でかなり安くできる可能性はありそうなので、例えばそのグラフェンをある純度のレベルを幾つか想定して、それを大量につくるような技術というところを、まずやっぱりやって、あるコストレベルのものができるということを示すというのも一つの、こういったものを使っていく上では、重要なことかなというふうに感じるんですけれども。

○塚本主査 ありがとうございます。当然ながら、企業というのは収益を追わなければいけませんから、当然見合ったコスト、コストが引き金になって、また大きな市場も開けるといふことではないかと思ひます。

ほかにご意見ございますか。

○青木委員 このナノカーボン系、私どもとても注目はしているんですが、やはり既存のものの材料を置きかえるという話と、あとイメージングで何か新しいファンクション、当然後者のほうが難しく、私ども企業ですので、どちらかというとな前者の今のものを、この電池の負極もそうですけれども、置きかえたら、どういうものになるんだろうと、その辺をよく見ています。その中で、やはり何ができたら、多分、やはり企業なので、値段なのか、そういう電池に応用したときのある性能指数というか、どこかをK P I的に超える指標というのを一応設けていまして、これができたら、では次のフェーズ、アカデミックなフェーズからもう少しサイエ

ンスの領域から、少しエンジニアの最初のほうに行く。そういうある程度の数値を設けて、考えようとしているんですけども、私どもが知る限りはまだちょっとそこを大きく超えるようなものは余り出ていないのかなと。そういう意味で、いいところをインキュベーションするところももちろんあるんですけども、やはり企業的な目線で見ると、コストも含めた多角の性能がどうなっているかということをやはり見ざるを得ないのかなという。それに対しては、少しまだ、やっぱり時間軸が必要なのかなというような見方もしております。

○塚本主査 ありがとうございます。今のご意見、非常に貴重だと思うんですが、このワーキンググループは、場合によってはそれをロードマップとして、ベンチマーキングとともにロードマップとして、ではコストだとか、あるいはサイズだとか、あるいは大量に使うための最低限の生産量だとか、そのあたりが例えば3年以内にここまで持っていこうと、そうすると、逆に今おっしゃったようなKPIのあるスレッシュホルドを超えるので、これは一気にこういう用途でこういう課題解決ができますよというのが示せれば、それは一つのガイドラインになると思いますので、ぜひ企業のほうから見られて、こういうところのコストがここまで来れば、こんな今まで考えなかった代替製品で使えるよとか、もしあればそういうのをどんどんご意見いただければと思います。よろしく申し上げます。

ほかにご意見ございますか。

○経済産業省（北岡） 参考までに今の日立さんのお話はすごく重要だと思います。我々は今磁石について、佐川先生をはじめ過去の成功者に開発ストーリーをインタビューしています。やっぱり佐川先生はご存じのように、もともと前の会社におられて、そこでは認められないテーマが、行ってから成功したという話があって、それをまた支えたのは、やっぱりメーカーさんがあの磁石を取り入れると、根本的にエアコンの効率が下がるというところからコラボが始まってきているわけで、いい磁石があれば、こんな市場があるというのは、さっき馬場さんが言ったように、多分わかっている、多分、ダイヤモンドも2インチが例えば1,000円でもし今売っているんだったら、多分、シリコンの技術者も全部、ダイヤモンドに行く可能性も実はあるわけですよ。それは多分、日立さんもダイヤモンドの開発、明日からでも多分、始められると思うんです。なぜそれが始まらないかというと、基板が1枚1,000万していたら、開発コストが合わないからだと思うんです。だから、多分未来というのはみんなこんなデバイスがあったらいいとか、グラフェンでこんなことができたらうれしいとか、移動度が2万を超えたらうれしいとかというのは多分あるんですけども、でも、そのボトルネックになっているのが何かというと、やっぱりこういうインフラとか、基盤技術だと思うんです。だから、確かに

未来を見ることは重要なんだけど、その未来の一步手前の階段が何かというのを見て、その階段を例えば文科省のプロジェクトと経産省のプロジェクトで、例えばこういうのができれば企業さんが本気になる、どこどこまで持っていくというのが多分国の仕事だと思うんですよ。だから、例えばS i Cなんかで言えば、NEDOさんが中心にすごく頑張っていて、やっぱり6インチというのは一つの壁だというのがずっと、20年前から言われてきて、本当に韓国のSamsungでいったら、6インチを超えた瞬間に日本を食いますからと言っているぐらい、彼らは6インチまで我慢しているわけですよ。というような、そこをどういうふうに国がつくっていくかというのは非常に重要だと思うので、だから、我々は逆に国プロジェクトというのは、そのどのギャップまでを担保するかということを冷静に考えないといけないのではないかなというふうに考えていますけれども。

○塚本主査 ありがとうございます。

どうぞ。

○NEDO（和泉） 先ほど文科省と経産省の連携の話がありましたが、NEDOのプロジェクトでは、やはり産学連携のプロジェクトが多くなっています。例えばCNTに関しては産総研のシーズ技術をもとに量産化を進めていますし、グラフェンの製法についても、大学のシーズ技術を活用し、企業と連携して大量生産をしようという議論もしています。このように、実態的に産学でかなり繋がっている部分があると思います。これは必ずしも文科省でやっているものをすぐにそのまま経産省でやらないといけないわけではなく、お互いにどういう関係になっているかという実態をよく把握して、オプションがどういうふうに広がっているのか、ということを見ていくことがすごく大事だということだと思っています。

ちなみにCNTに関するプロジェクトでは、私どもはやはり、用途をにらんだ開発というのをやっています。開発をどういう方向で進めるのか、というのは用途によって異なるため、そこを考えないと、オーバーオールにやっても何も使えないということもあります。複合材というのはCNTをプラスチックやゴム等と複合化することによって、導電性や熱伝導性等の新しい機能を付加するという方法をとっており、産業化ということを考えると、ある程度その方向性を絞り込むというのが、重要になってくると思っています。

そういう意味で、私どもから見ると、同じカーボン材料といいながら、炭素繊維とCNT等では随分違う印象を持っています。炭素繊維は軽量高強度の材料という位置付けがほとんどであるのに対して、CNTはどちらかというと熱伝導性や導電性のところなので、機能面から見るとかなり違う材料と感じています。そのためこれらをカーボン材料として束ねるという見方

については、議論があるのかなという印象を持っております。

○塚本主査 おっしゃるとおりです。Cが並んだだけです。ある意味、長繊維のいわゆる炭素繊維、これは世界が違うということだと思います。炭素繊維でまさか半導体をつくろうと思う人はいませんから。

ほかにご意見ございますか。どうぞ。

○長瀬委員 炭素繊維をやっているほうの人間なんですが、やはり炭素繊維なんかの場合はやっぱりトップダウンかなと思っているんですね。それで、カーボンナノチューブ、グラフェンはボトムアップ的な、炭素繊維の技術も、今、いろいろ強度を上げるとか、そういう中でどういうふうにするかという、結局、やっぱりもうナノレベルになって欠陥をなくしていく、どんどんグラファイト構造に近づいていく。ですから、そういう意味でのもうちょっとサイエントフィックな逆につながりというのはあるのかなと思っています。

今、私どもカーボンナノチューブ、グラフェンも非常に注目しているんですが、そういう意味では、ただやはりこういうカーボン材料というのを一つ、いわゆる単独の化合物ではなくて、それが構造を持たないといけないだろう、カーボンナノチューブが一番やはり最近、いろいろ用途が出てきたのは、分散が大分できるようになってきたと。構造というよりは、いわゆるバルク材料に使われるようになってきた。そこら辺のところが大きいのではないかと思えます。

それで、あとグラフェンについて、注目しているのはやはり今度は平面構造をどれだけつくれるか、それによってやはり、逆にそういうふうなものはほかに、皆さんおっしゃられたようにありませんから、そういうものができたときの楽しみというのは非常に持っております。

ですから、あともう一つ、フラーレンはちょっと違うのかなと。フラーレンはやっぱり化学物質かなという、単独でそれをいろいろ、いわゆる二次元、三次元にするというものではないので、そういう意味で、グラフェン、CNTというのは、グラフェンが2次元構造になって、それがどういうあれを持つか、カーボンナノチューブは1次元の小さいものがどういうふうな、いわゆる配合を制御できるかといったところで非常に連続した、いわゆる化学というのですか、そういうふうな形になっているというふうに思っております。

○塚本主査 ありがとうございます。

ほかにご意見ございますか。どうぞ。

○松八重委員 私自身はこういう話、非常にど素人なものですから、このカーボンナノチューブですとか、グラフェン、技術そのものに関して何か言うことはできないのですが、先ほど安全性のチェックを行うときに、その会社の中ではできなくて、海外にその安全性のチェックを

委託しているという話があったと思います。全体としてナノテク技術イノベーションと社会実装を促進しようとした場合は、国内に安全性チェックをする機関があってもいいのではないかと思います。そういう流れでいきますと、例えば、今、私ちょっと詳しくわからないので、皆さんに今こういう話をお聞きしながら、同時に問いかけるのですが、何かしら、例えば測定技術が足りないとか、あるいは加工に関するメーカーが国内にないとか、あるいはその測定、加工に係わる機械を海外から実は買っているとかいうことでしたら、出口を考えるのも、そして6インチという壁を打ち破るといっても恐らく重要だと思うのですが、それを下支えするような技術だとか、穴となっているような産業を育成するというのも重要なのではないかと同時に必要なのではないかとこのように考えております。

○塚本主査 ありがとうございます。

広瀬さん、いかがでしょうか。

○国立医薬品食品衛生研究所（広瀬） 国内でできない今の理由は次元が少し違っていて、法的な枠組みが向こうと日本で違うというのはちょっと化学物質管理で、法体系自体が日本の管理の法律と向こうの法律がちょっと違って、今、実は海外のほうはナノは、規制とは言わないけれども、そういうある基準でナノと判定して、それを安全性を評価するとしても、始めつつあるんです。やっとなんですけども、日本はまだその段階まで来ていないので、そういう意味で、日本では特に基準はちょっと今なくて、外国では基準ができたので、先に向こうで国際的に輸出するときには必要だというのがちょっと背景としてはそれは一つあります。

ただ、下支えという点でいくと実は、分析の技術は国内、国外問わず、ナノチューブ、特にCNTは分析が、定量が難しく、安全性から見ると、暴露量と生体反応との相関性で見るとは、暴露量がわからないんですね、体に入ったときの分析の。だから、そういう技術も開発と一緒に進んでくれるといいのかなというのは、実は資料の3枚目の何ページ目に、それは出ているんですけども、そういう、だから、ちょっと安全性を評価するための、今、まだシステムが足りないのは確かです。

○塚本主査 私どもCNTもそういう意味では非常に苦労したんですが、残念ながら、吸気暴露、腹腔内投与とか気管投与とかいう実験は我々は社内でやるんですけども、実際に暴露は舞っているやつを吸い込みますから、吸気暴露なんですね。その吸気暴露のうまいプロトコルがないんですよ。我々がやっているのはデュポンだとか、あるいはヨーロッパのハーランドとか、そういうところをお願いして、デュポンならアメリカのEPAのコンセントオーダーをもって、このやり方で了解しましたという国のお墨つきをもらって初めて実行するんですね。それで大

体1億ぐらいの、1件1億かかるんですが、ばかみたいに金が飛んで出るんですが、しかも1年以上かかるんですよ。だから、開発と相当並行してこういう世界をやっておかないと、我々、大学の世界はいいんですが、産業になると、それを例えば10トン、20トン売ると、当然事が起こると、大変な問題が起こりますから、そうすると、発売前にそういう試験を終わらせなければいけませんので、残念ながら日本にはそういうことをサポートする法律面でもおこなっていますし、そもそもプロトコルがはっきりしない。だから、海外に頼らざるを得ないというのが我々企業側からすると実態ですね。大変問題だと思います。

○厚生労働省（長谷部） あと安全性の評価の点で注視しなければいけないというか、カーボンナノチューブもそうですけれども、今、どちらかというと、閉鎖系で使われていて、余り空気中とかに出ないような形のものが多いんですが、今後の傾向として、割と広く使われていて、何か練り込むとか、開放系で使われる可能性がありますので、そうすると、一番懸念される吸入による暴露とか、そういうことが起こり得るということで、ちょっとそこは注意が必要なのではないかというふうに思っているという点と、あとはナノマテリアル全体で、物性によって毒性も大分も変わるということで、実際に凝集していてなかなか吸入されないとかいう、実際に使っている場合には吸入されないということもありますけれども、ある程度分散していると、体内に吸収されやすいということもあるので、ナノマテリアルのその製品としての物性についても注意して見ていく必要があるのではないかと。それと、その開放系、使われる可能性があるという観点では、廃棄とか処分ということも出てきますので、大量に使われていて、その後、廃棄のことは余り考えていないと、もしかすると、ちょっと心配し過ぎかもしれないですけども、公害のような観点、後に環境中にたくさん排出されて、空気あるいは水を通じて汚染するというのも、健康影響を及ぼすという観点もあるので、開放系に使う場合特に、それから、閉鎖系でも廃棄とか、処分の観点も開発の時点から考えておく必要があるのではないかというふうに思っております。

○塚本主査 ありがとうございます。

どうぞ。

○奥村議員 この問題は、3期というのか、前期のときにもかなり議論になって、ナノテクの重要な、政府の取り組むべき課題ということになっておりましたし、今でもそうなっている。このこと自体がいろんな意味で国際的にも、プロトコル、あるいは法律とかということで、日本がおくれをとって、そのことがさまざまな悪影響を及ぼす、先ほどのように産業の進展、あるいはその使う側、労働災害とかいうことであれば、これは一つのアジェンダとしてきちっ

と議論されて、はここできちっとおまとめになって、専門調査会がありますので、そこへ上げて、関係府省に取り組みの強化、促進をお願いするとか、きちっとした取り扱いとして検討されたほうがよろしいのではないかと思います。事務局ともご相談していただければと思います。

○塚本主査 ありがとうございます。いわゆるポテンシャルマップとはちょっと違う議論ですけども、それは一方で非常に重要な問題ですから、アスベストみたいな問題が二度と起こらないように、残念ながらナノチューブというのはそれに近い挙動を示しますので、一層小さいフラーレンとか何とかは、より小さいので、関係ないんですが、中途半端なサイズ、先ほど広瀬さんもおっしゃった、中途半端なサイズを持っていますので、一見アスベストライクな被害を起こし得ると思っていますから、それは改めて少し、このワーキンググループでもまとめた上で、きちっとした方向づけをしたいと思います。ぜひよろしく願いいたします。

ほかにご意見ございますか。

今の安全性にちょっとつけ加えますと、実は私どもであれば、いわゆる腹腔内投与とか、強制投与の試験は先行してやるんですね。そのときに染色体異常だとか、いろんな異常が出れば、それはEPAだとか、あるいはヨーロッパのいろんな資料とか、日本のガイドラインがありますが、化審法に含めてもガイドラインがありますから、それに大体沿ってやる。一番苦勞するのはやっぱり吸気暴露、現実に被害が起こるのは吸気暴露ですから、まさかカーボンナノチューブを腹に注射する人はいませんので、実験はやりますけれども、安全性試験として実験はやりますけれども、実際にそういうことは起こらないので、実際の起こり得るのは吸入暴露、吸気暴露、これに対しては大変時間もかかるし、問題が多いと思っています。腹腔内投与試験は企業で割合簡単にできますし、答えもはっきりしますから。ところが、吸気暴露はさっきもおっしゃっていただいたように、暴露している度合をどう評価するか自体がまだはっきりしないというようなことがありますので、ぜひ方向づけしたいと思います。

さて大分時間がたったんですが、今、今日の議論を一言で包括するのは難しいのですが、1ついいご意見が出たのは、フラーレン、グラフェン、CNT、カーボンナノ、炭素繊維と並べる以上に、グラフェンあたりの見方はナノシート材料、これは実はポテンシャルマップの中で既に自己組織化の用語で出ておるんですが、あるいはそれが立体的にならこの間のPCP/MOFなんですが、一方で非常にナノな世界でシート、フィルムができると違う世界が起こると。このあたりは少し、次回送りをしても、もう少し深掘りをして、そういうことが実現すれば、こういう課題解決に向けて、大きなポテンシャルを持っているねということがあり得ると思いますので、一つの課題にしたいと思います。

ほかに何か全体を通して、今日いろいろ出ましたご意見を参考にさせていただいても、こういう見方で少し再整理したらどうなのというようなご意見はございませんか。

どうぞ。

○松下委員 カーボン材料に関しましては、何となくグラフェンに関しましては、今回の強化すべき技術領域にするには、ちょっとほど遠いのかなというような印象を私自身は皆様のご議論を伺って感じたのですが、前回のMOFに関しましては、皆さんどういふふうにお考えなのかなというのが若干ございまして、と申しますのも実際には北川先生に関しましては、先ほど来から問題になっております法律の観点から、国内での実際の自動車を走らせてはいないんですね。海外でガスの法律に関して緩いところで実際に車を走らせて確認しているということがございまして、基本特許が国内にとどまるのかというところが若干個人的には感じまして、その辺に関しましては、他社様などは例えば今回の強化すべき技術領域として、MOFは選択するにあたるのかどうかということをご伺いしてみたいのですけれども。

○塚本主査 いかがでしょうか。いかがでしょうかというのは、私ども実はガス分離のほうでやっているのですが、エチレンの副産物のいろいろなものが、非常に沸点が近いものとか、あるいは凝固点の近いものが分離に非常に苦勞するんですね。それはかなりのエネルギーを使って分離していますから、それがこういうものに使われれば、圧倒的な省エネ、極論すればエチレンクラッカーがなくなるというようなことで、これはまだまだ夢のある世界なんです、そういう方向で動いています。ただし、今の松下先生のご質問にこたえとすれば、まだまだ実用化には時間がかかります。恐らく5年ではきかないだろうと思います。10年はかかると思います。

○松下委員 それはグラフェンが6インチシートでできるよりも先だとお考えですか。

○塚本主査 グラフェンのほうが早いという気がしますね。CVD法か何か使えば、それなりの、コストをとりあえず無視して言っていますけれども、MOFは相当まだ時間がかかります。

○松下委員 ありがとうございます。

○塚本主査 もう一点、先ほど青木さんからKPIみたいな議論が出たんですが、いかがでしょうか、今、いろんな技術というのも、当然夢を語れば幾らでもあるんですが、一方で現実的なコストだとか、場合によってはさっきのグラフェンみたいにサイズだとか、あるサイズ以上できなければ、それは所詮意味ないよと、小さいものをつくって喜んでいただけ、そういうことも含めて、それぞれの主たる、特に先ほどご説明しました、別冊に事務局が用意いただいた、このファイルにとじている、この特に注目したらどうかというあたりのこのあたりにつ

いて少し深掘りをする視点として、主として企業側、産業側から見て、少なくともこれぐらいのコストが実現しないとねとか、少なくとも1万トンぐらいのものが世の中に出てこないと、10グラム、20グラムでどうするのというような話とか、そのあたりを少しエイヤーも入ると思うんですが、少し整理する意味があるのかなと。そうしてみれば初めて、場合によっては、大きな国の予算を使ってでも、大きなプラントを先行してやるとか、一般企業ですと、100億使っても例えば10グラムしかつくれません。これはサイエンスではいいんですけども、産業としては育ちませんので、そういう議論も一つの手かなという気がしますが、いかがでしょうか。

○馬場委員 これはボトルネックを明確にしていくことが一つあるという気がしています。いろんなボトルネックがあります。今までもそれぞれの魅力は言ってますが、本当はマイナス面もいろいろあって、安全性の問題やまだ今は目をつぶっているというところもあると思いますが、そこら辺を明確にして、そのボトルネックをつぶしていけるようなものを出していくというのが大事という気がします。

○塚本主査 おっしゃるとおりですね。技術論的なボトルネックと産業論的なボトルネックと両面あると思います。勝手に少し引用させていただいたんですが、日立さん、三菱さんなんかで、いわゆる非常に幅広い事業をお持ちですから、ここに出てくるようないろいろな素材に対して、これはもちろんまだリーズナブルにどこまで正しいかというのは別として、感覚的には少なくともこれぐらいの価格よねとか、そういうのが例えばこの主たる材料で、設定をしてほしいというお願いをすれば、何か出していただけるような可能性はありますか。

○青木委員 もちろん値段もそうなんですけれども、例えば電池の電極をこれに置きかえたというふうに、単純にそう考えると、もうほとんど決まってしまうよね。つまり次々世代ぐらいの例えばリチウム電池にこれを使おうと思ったら、ではこれぐらいの数値になっていなければいけないよねという、そういう数値はあると思います。多分、それを出してしまうと、相当がっかりされてしまう可能性もあるので、ちょっとその辺は、空気を見ながらやらないといけないのかなと思います。

○塚本主査 それは場合によってはこの本会議でそれを1から議論しているときりがないので、事務局と相談させていただきながら、出せる範囲で、もちろん御社のノウハウなり、ロードマップ的な問題もあると思いますので、出せる範囲で結構ですから、ぜひよろしく願いします。

全体、ほぼ時間が参りました。いろいろ議論は尽きないのですが、実は次回に東レさんから

今日の話にプラスアルファ、今日の話も受けて、大変難しいお願いなんですけど、現実には大きな事業を既におやりになっている東レさんの立場から、改めて長繊維だけではなくて、当然、東レさん、グラフェン、CNTなんかもおやりになっているはずですから、そのあたりの俯瞰的な話をいただきながら、もう一回次回、この延長戦、次回には今日議論いただいたあたりを事務局、下部のワーキンググループで少し整理をして、改めて次回に、今日の議論のポイントをお示しできればと思っております。

最後に事務局のほうから。

○事務局（守屋） ありがとうございます。今日はとても活発な議論、本当にありがとうございました。今、主査のほうからご指示がありまして、次回に向けてある程度できるところでまた準備をさせていただきます。構造的な分類という視点から、単なる元素記号のCではなくて、構造的な分類という角度から整理できないかとか、先ほどのKPIのお話ですとか、今日ヒントをいただきました。事務局ミーティングのメンバーの皆さんには改めてご協力をいただくことになろうかと思っておりますので、よろしく申し上げます。

それから、東レ様には大変お手数をおかけしますが、次回でのご発表をよろしくお願いいたします。基本的に次回19日、このカーボン及び今日の議論から派生した領域の議論をさせていただく予定にしております。19日、13時から、部屋は1214で、本日と同じ、こちらで開催いたします。よろしく申し上げます。

それから、1月以降の開催日程につきましては、今、メールでお問い合わせさせていただきました。まだ全員からお返事をいただけていないようですので、週明け早々にでも開催日程をご連絡させていただきますので、よろしく申し上げます。

それから、情報でございますけれども、来週11日にグリーンイノベーション、ライフイノベーション、それぞれの戦略協議会が開催されますが、そちらで共通基盤技術ワーキンググループの現在の検討状況を紹介してほしいということをおっしゃっておりますので、私のほうから、恐らく5分、10分ぐらいの時間しかございませんので、俯瞰マップを中心に今後強化すべき領域について、こういう視点をもって領域を見極めながら議論しているという内容で報告をさせていただきます。実はこれは伏線でございます。年があけて、恐らく2月から3月ぐらいになると思いますが、戦略協議会のほうとフェイス・トゥ・フェイスにて課題と、それから技術領域等につきまして、議論する場が持てそうな流れに今来ております。そのような場の設定に向けて、ワーキンググループレベルではこういう話をしているということを紹介させていただく予定にしております。

事務局からは以上でございます。

○塚本主査 ただいまの事務局のご説明に何かご質問、ご意見ございますか。よろしいですか。
では本日は本当にありがとうございました。ちょうど5時になりました。終会します。

午後5時02分 閉会