

パネルディスカッション

<パネリスト>

同志社大学 小山大介教授（小山先生）、
日本大学理工学部 大隅助教（大隅先生）、
株式会社ジーネス開発部 大久保佳洋課長（大久保課長）、
関西文化学術研究推進機構 樹下孝雄新産業創出会員事業室長（司会）



（司会）

会場の皆さまから、11枚のアンケート回収させていただき、複数のご質問を記載いただいておりますため、30問近くのご質問となっております。できるだけ回答させていただくようにいたしますが、回答がされていないという場合は、後ほどお聞きいただければと思います。

回答に先立ち、パネリストの皆さまから、講演時には紹介できなかった内容や、これからの研究や開発に向けての方向性や抱負についてご紹介の後、ご質問にお答えしていただきたいと思っております。

まず小山先生、お願いいたします。

（小山先生）

あらためまして、同志社大学の小山と申します。この度はご参加いただき、誠にありがとうございます。私は、講演でもお話ししましたが、超音波のことだったら、少し範囲は広いですが、何年もやっておりますので、「こうしたところに超音波が使えないか？」というお話しがあれば、お声掛けいただければ幸いです。研究は基礎研究を中心にやっておりますが、最終的な目標は技術を使っていただけることだと思っておりますので、今後ともよろしくをお願いいたします。

（司会）

続いて大隅先生、お願いいたします。

（大隅先生）

日本大学の隅でございまして。本日はありがとうございます。私も超音波全般にやらせていただいております。やはり最終的には産業への応用を目指しております。色々ご質問などにお答えさせていただければと思います。よろしくをお願いいたします。

（司会）

大久保先生、お願いいたします。

（大久保先生）

株式会社ジーネスの大久保です。今日はお聞きいただきありがとうございます。超音波の幅広いことにお答えできるのかわかりませんが、皆さまのご質問あるところはできるだけお答えしたいと思いますし、超音波の研究に対して、実現したい構想は先ほどもご説明したようなところを目指しておりますので、実現できれば良いなと思っております。

（司会）

それでは、皆さまからのアンケートのご質問にお答えしたいと思います。1枚目に小山先生、大隅先生へのご質問です。小山先生には、圧電素子の材質は何でしょうかというご質問を頂いております。大隅先生については、圧電セラミックスの材質は何でしょうかというご質問を頂いております。それぞれご回答をお願いします。

（小山先生）

それでは、先に答えさせていただきます。大きく2つに分かれます。圧電素子の材料は、圧電セラミックも同じことだと思いますが、基本的にパワー応用で使う場合は、チタン酸ジルコン酸鉛（PZT）を使います。PZTは大きく2つに分けられます。Q値が高い、共振する大きさが大きいハイパワー用と、小さいセンサー用のようなものに分かれます。アクチュエータとして用いる際は、前者を使うことが多いです。あとセンサーと言う意味では、受ける場合、受波する場合は高分子系圧電材料を使う場合があります。具体的には、PVDF ポリフッ化ビニリデンを使うことが、分野的にも一般的にもあるかと思っております。

（司会）

大隅先生お願いいたします。

（大隅先生）

今、小山先生がお答えされたのがすべてです。

(司会)

アンケート用紙の2枚目に、アクチュエータ関係のご質問をいくつかいただいております。2枚目に小山先生に対して、アクチュエータの最小・最大のサイズや電力を知りたい。
大隅先生に、面放射タイプの360度タイプは
大久保先生にリチウムイオン電池の異物検査はできますかというご質問が来ています。

まずは小山先生からお願いします。

(小山先生)

最小のアクチュエータとしては、普通のリニアの超音波モーターでは、うる覚えですが、2ミリか3ミリだったと記憶しています。電力的にも、これもうる覚えですが、数十ミリワット程度だったかと思いますが、少々記憶が怪しいです。最大という意味では、あまり大きなものを正直作ったことがございませんので、数十センチとかで、1メートルを超えるようなものはあまり作りません。最小としては、MEMS系はほとんどやったことがないので、機械工作で作れる数ミリと言うところです。

(司会)

ありがとうございます。大隅先生から面放射タイプで360度面放射タイプについてはいかがでしょうか？

(大隅先生)

面放射タイプでということですが、ある程度の指向性を出して（出力を）上げていますので、360度となると、無指向性なイメージですが、そうしたタイプは作ったことがありませんし、イメージしたこともありませんでした。なぜかと言うと、拡散していきますので、強力超音波の意図に合っていない気がいたします。したがって、そうした発想がありませんでした。面放射タイプと言うのは、申し訳ございませんが、意図が分かりかねます。

(司会)

大久保先生には、他にも複数のご質問が来ています。後ほどまとめてご回答いただきたいと思います。
次に、レンズ関係が複数来ております。3枚目に泥のフィルターのサイズは超音波周波数に依存すると思いますが、そのオーダーは、どの程度になりますかというご質問です。4枚目にはゲルレンズ、液晶レンズ、は各々どこまで小型化が可能ですか。直径何ミリくらいまで行けそうでしょうか。
6枚目に、超音波応用のフィルターの実用化の状況を教えてくださいというご質問を頂いております。
これらへのご回答をお願いします。

(小山先生)

3枚目の泥のフィルターと6枚目の超音波応用のフィルターは、おそらく同じものを指していると思いますが、基本的に音波のフィルターは点彩画を動画でもお見せしましたが、立てて、音圧の節の位置に止めるというものです。サイズは、止められる粒子のサイズと超音波の波長がコンパラ化、もしくは粒子の方が小さいという力の関係があります。要するに波長がすごく長いのに、すごく小さなものは止められない。波長が短くなるということは、周波数が高くなります。大久保先生の講演にもあったのですが、周波数の高い超音波は、ちょっと使いにくいのです。なぜかと言うと、出すトランスデューサーが特殊なものになってくると、減衰の問題があり、そんなに伝搬しません。大体どれくらいかと言うと、泥水が、例えば数十ミクロン程度の粒子だと仮定すると、直感的に数MHz位の超音波です。数MHz位の超音波は医療診断で使われているものと大体同じです。数十センチ100センチ位だったら、十分届く距離なので、それ位を使います。もう少し大きな粒子でやる場合は、周波数を下げることができますので、フィルターの範囲であり、超音波を伝搬できる範囲をもう少し広げることができます。実績と言う意味では、ニーズがあれば取り組むことですので、特殊な用途というか、新たな知見が得られなければ、大学としてはなかなか取組みにくい所です。紹介した血液フィルターや泥のフィルターの実績はありますし、その他にも工場に出てくるような粒子だけ分けたいというようなご要望であれば、液体と粒子のように、対象物と媒質の密度が違えば、また違いが大きければ、超音波でフィルタリングできると思います。
レンズの方は、最小はどこまでできますかという件については、うちの研究室の学生が作っているレベルですので、組み立てることができれば数百ミクロンくらいは原理的にも普通に駆動します。我々が作ったので、レンズ径は1.5ミリくらいが最小だったかと思います。



(司会)

ありがとうございました。また小山先生への質問が続いております。アンケートの8枚目にマイクロアクチュエータで、可視から赤外光の回折格子を駆動する例はあるでしょうか。また、9枚目に液体レンズは綺麗に結像させることは可能でしょうか。

(小山先生)

マイクロアクチュエータでというのは、レンズアレイに近いのかもしれませんが、超音波は幸いにも波長に依存した周期構造とすることができますので、経験はありませんが、回折格子を作ってトライすると面白い研究テーマかなと思います。どれくらいの波長になるのか。赤外なので数百ナノとかなのかもしれませんが、私の知る限りでは、

波長を操作できてというのは、あまり聞いたことがありません。液体レンズの綺麗な結像の件ですが、正直に言います、共振現象を使いますので、レンズの収差とか、単一のレンズ並みと言うのは、なかなか難しいものがあります。極論を言うと、振動子の厚さを徐々に変えることを、できないことは無いと思いますが、常にレンズ形状が時々刻々と変化していくので、どこかの収差が取れば、どこかがまた生まれることとなります。単一のレンズだけでは難しいので、同時に複数枚のレンズを変形させてある程度の収差を小さくすることは可能と考えています。

(司会)

ありがとうございます。続いて大隅先生へのご質問が複数ございます。5枚目に液体の気化、攪拌は金属を介しても可能ですか。また6枚目に火害の状況を把握できることに興味を持ちました。この技術・研究については、火災現場でどのように活用されているのか、または考えられるのか。ということについて教えてほしいとのこと。また、7枚目にありますが、粘性の高い流体物の試料の対応は可能でしょうか。との3つをまとめてお願いします。

(大隅先生)

一つ目の気化・攪拌も金属を介してと言うことですが、先ほどお見せした微小容器はアクリル製の薄い板です。音波照射面は約0.2ミリにしています。どのくらいの厚みでも可能かというのは、トライしてみるの是非常に面白いと思います。金属でしたら0.1ミリ程度のオーダーの薄板で最初はやってみたいと思いますが、可能かどうかは即答できない状況です。次の火害の件ですが、実は火害のお話は、この研究そのものが東京消防庁様の委託研究に携わった経緯がありまして、実現場で耐えるものということで研究してきました。既に、装置として1台作り稼働して活用されています。これは、火災で焼け残ったコンクリート壁面に対して適用されており、火害分布から補修領域の設定や火災源を見つけるなどのようなことに応用されており、実用化されています。粘性の強いものへの対応の件ですが、トライしたことはありませんが、あまり粘性が高いと厳しいのではないかなというのが直感です。研究テーマとしては面白いと思いますが、何かしらアプローチ方法を少し考える必要があります。



(司会)

ありがとうございました。続いて、大久保先生へのご質問についていくつかお願いします。アンケート用紙の2枚目に、リチウムイオン電池のセルの金属異物などの検査は可能ですか。3枚目にはスライド6ページの探傷波形TSBの意味を教えてください。4枚目では、空中超音波の検査方法が実現できるようになったのか、従来と比較しての特徴についてご質問いただいています。

(大久保先生)

リチウムイオン電池の金属異物の検査ですが、空中超音波は空間の剥離とかを見られるのですが、異物が母材と音速で大きな差があれば出来る可能性はありますが、できないのではないかと印象です。探傷波形の意味は、直接接触と水浸法とでは探傷の波形に違いをお見せしたかったのですが、Tはトランスミッター、Sは表面(サーフェス)、Bは底面(ボトム)を意味しています。空中超音波法がなぜ実現できるようになったかと言いますと、大学の先生方が圧電素子や探触子を色々開発して、もっと高感度になったところはある、日本製ではないのですが、進んだ部材を探し出してきて、できるようになりました。比較や特徴と言う面では、競合他社も同じようなレベルにあるのと考えています。



(司会)

ありがとうございます。超音波は空気中での減衰が大きい中、取り組んだ結果がジーネスさんの事業にもつながっているという事かもしれませんが、大隅先生、小山先生から、この点について、学会や業界の傾向等について何かご紹介いただけないでしょうか。

(小山先生)

専門じゃありませんが、非破壊検査の分野で言いますと、大久保先生の発表内容の非接触の透過で、ものが見えますよと言うのは、ここ最近では革新的な技術かと思います。私は日本音響学会に出っていますが、その可視化、イメージングの分野ではそこが注目されている分野かと思います。

(大隅先生)

小山先生のおっしゃる通りで、音響学会でアコースティックイメージングというジャンルで、空中超音波の非破壊のみならず生体計測も取り扱われていまして、かなり注目されている分野であると思います。私は、非破壊検査協会にも参加していますが、そこでも接触しないで測れるところの、超音波の既存概念を打破しているところが、やはり注目されているという印象です。ただ、先ほど申し上げたように、非破壊検査においては同じ非接触での超音波を用いた方法としても、レーザーの良い所と空中超音波の良い所とがあり、空中超音波は減衰するデメリットはあるものの、取扱いが少し容易なのかなというイメージがあります。空中超音波は、最近はそのような面でも伸びてきているのかなとも思います。

(司会)

ありがとうございます。大久保さんに続いてご質問いただいています。5枚目に探傷装置のスポット径は数ミリでしようか。またアルミハニカムの場合、スキャンする速度はと、ご質問いただいています。6枚目に空中超音波のプロープと被測定物との距離の限界や、送信するパワーの限界についてご質問いただいています。

(大久保先生)

探傷装置のスポット径は、今回使用した探触子は包括的なものではありませんが、探触子の径は10ミリより少し大きい程度です。アルミハニカムのスキャン速度は、今回は見やすくするために50ミリ/秒ですが、実際は、もっと早くすることは可能です。プロープと被測定物との距離の限界ですが、100ミリ離すとダメだと思います。50ミリとかで試験体に当てる必要があると思います。むしろ受信側は、送信側よりももっと近づくと必要があると思います。今回使用した周波数は、4つほどご紹介しましたが、50kHzから125kHzの周波数帯を使用しました。送信パワーは何ともお答えを差し控えてさせていただきます。

(司会)

お聞きになりたいときは、是非ご契約下さいと言うことです。ありがとうございます。

(小山先生)

フォーカスのお話がありましたが、フォーカスさせた方が、素人的に反応圧力的には稼げるから、分解能などには良いと思いますが、そうではない理由はあるのですか？

(大久保先生)

できないことはないと思います。おそらく探触子を製作する側から難しいのかなと思います。現在は開発途中とします。フォーカスタイプの製作をお願いはしているものの、「良いです」というところまでは至っていないということです。

(司会)

もう一つ大久保さんにご質問です。8枚目ですが、耐火材のX線検査との比較はとのご質問です。

(大久保先生)

X線検査は、木材は行いましたが、耐火材ではお金の都合で実施していません。

(司会)

ありがとうございます。
小山先生にもう一つご質問です。5枚目ですが、リニアスライダの推力はどの程度であり、何に比例するのかというご質問が来ています。

(小山先生)

これは多分、浮かせて運ぶ方のリニアスライダについてお答えさせていただきますと、何に比例するのかと言うと、比例はしません。どのような現象かと言うと、浮いてもが進むという現象なのですが、ものが進む方向に超音波が伝搬していて、そこの浮いているものと、超音波を伝搬している板の間の空気層に流れが生じるので、その流れに乗って進むので、比例関係ではなく、非線形の現象になります。超音波の強度を上げると、推力が上昇すると言えば、逆にそうではなく、浮揚距離が上ってしまうので、逆に推力が落ちることになります。このためどこかに最適値があるので、浮く重量と超音波の周波数と超音波の強度に依存するので、一概に、こうなりますということはありません。

(司会)

これは最後の質問になるとと思いますが、複数の方から質問いただいています。超音波に対する人体や自然界への影響についてご心配されている方からご質問いただいています。8枚目、9枚目に大隅先生に対して、強力空中超音波の人体等への影響はないでしょうかと言うこと、強力超音波を聴いた場合、身体への影響は確認されているのでしょうかというご質問を頂いております。10枚目、11枚目にもご質問ですが、個人の日常生活に具体的にどのような影響が出やすい、すでに出ている、これから出るかもしれない、予測される分野や業界、商品、サービスがあれば教えていただきたいというご質問や、用途の拡大や高エネルギー化に伴う人体への有害性に関する懸念や法的規制の可能性について何かあるのかというご質問を頂いています。
まず大隅先生から人体への影響に関するご見解を教えてくださいたいと思います。

(大隅先生)

空中超音波は減衰が早いので、影響はそれほどないだろうというのがあります。しかし、うる覚えで恐縮ですが、日本音響学会において数年以上前に超音波暴露調査研究委員会という委員会があり、超音波暴露に関する研究動向ということで小特集が組まれていたと記憶しています。
私共のラボでも、東洋人の頭を模した“ダミーヘッド”を使い、耳の型を取り、外耳道と鼓膜を再現して、超音波を照射時の鼓膜の受音圧の計測を試みておりました。超音波は周波数が高いため、耳の穴に入ると、色々複雑な動きをして、個人個人で鼓膜の受音圧が変わります。この話は、何度か音響学会等で発表しております。

空中超音波に関する法律的な規制については、不勉強なところもありわかりません。ただ、やはり懸念されている部分は多少なりともあり、それに関する研究は、今申し上げたようにされています。

(司会)

超音波の検査の現場において、作業従事者の安全対策はどのような事をされているのでしょうか。距離を離す、部屋を隔離するなどが考えられますが、実際はいかがですか。

(大久保先生)

特に隔離等はしていません。超音波を当てる時にスキャナーとか動いている部分もあるので、そのものに当たらないように、エリアセンサーとかを使うことはしています。しかし、それは超音波が危ないからという訳ではなく、機構部分についてケガを防止するために使っています。

(司会)

ありがとうございます。小山先生から補足などあればお願いします。

(小山先生)

お二方のおっしゃる通りと思います。空中超音波に関しては、音が出ているときに耳を近づけるようなことをしなければ、ほぼほぼ人体に関して影響はないかなと思います。たとえば、ネズミやカラスの超音波撃退装置がありますが、あのような技術がもっと発展していき、街の中のいたるところに設置されるようなことになれば、規制が必要かなとは思いますが。これは年齢によって可聴感覚は異なりますので、人間の耳が20kHz位で聞こえなくなるのは、半分は本当で半分は嘘で、小学生くらいの子供は結構聞こえます。一般的な日本人だと20歳くらいから老化が始まり、可聴の上限が徐々に下がってきます。

若い子供たちの成長という、そのような社会をつくるためには、そうした法規制がもしかしたら必要になるかもしれません。ちなみに人体の方は、エコー診断で使われていますが、これは明確な世界的な基準があります。正確な数値は忘れましたが、何W/平方cm/時間というような、安全基準とするような基準がございます。

(司会)

ありがとうございました。いただいた質問にはすべてお答えさせていただきました。今少し質問をしたい方がおられましたらお手をお上げください。

最後に、大久保様から順に、今回のフォーラムへの感想等をお願いします。

(大久保先生)

空中超音波が、世の中にもっと出て行けば、設備も安くなりますし、ご来場の方が空中超音波に関心を持っていただければ良かったと思います。今日はありがとうございました。

(大隅先生)

今日は、強力空中超音波の技術に焦点をあてて、いろいろとお話しさせていただきました。音源そのものは開発できていますので、それを活かしていく色々なアイデアがあれば、産業と学術の連携が上手くいくと思っております。非常に面白い発想を頂ければ、学術的にはどうか分かりませんが、産業に活かせると思えますし、連携を図っていきたく思っていますので、色々とお声掛けいただければと思います。本日はありがとうございました。

(小山先生)

本日はありがとうございます。自己紹介にも申し上げましたが、私は大学の教員ですが、新奇性が非常に重視される世界です。皆さんがそうだという訳ではありませんが、実用性よりも新奇性を優先させてしまいがちですが、工学を研究している身から申しまして、最終的に世の中に使っていただいてナンボと言うところがございます。先ほど大隅先生もおっしゃいましたが、そこのかい離を産学が連携して、企業様の方で我々が培ってきた技術を使っていたく、もしくは企業様の方で、こうした面白い現象があるから何かアプリケーションに使えませんかと言っていたくのは、非常に今後の産業の発展にとって重要ななと思っています。何かそうしたヒントをいただければと常々思っております。今後ともよろしく願いいたします。本日はどうもありがとうございました。

(司会)

ありがとうございました。最後に、当機構の理事 香川からご挨拶申し上げます。

(香川理事)

学研都市推進機構の香川でございます。閉会に際してご挨拶申し上げます。ご出席の皆さま、本日はご清聴いただきありがとうございました。数多くのご質問をいただき、どうもありがとうございました。本日は超音波が切り拓く新たな世界と題しまして強力超音波について同志社大学の小山先生、日大の大隅先生、ジーンエスの大久保先生にご講演をいただきました。貴重な研究成果をご紹介いただきました。心より御礼を申し上げます。この先端シーズフォーラムは、130の会員様を対象として、本日のような研究、技術の成果を紹介し、皆さま方の新しい製品やサービス、産業の創造につながることはないかということを期待して開催しております。これまで数多くの事例をご紹介してきました。例えば先端的なレーザーやグリーンイノベーションとか、その中でも実用ベースに到達し、注目を浴びているものも、数多くございます。本日のテーマもご出席の皆さまがお持ちの技術的な実績と融合されて、新しい産業創出に向かうことを期待しております。是非ともよろしく願いいたします。このあと、ご講演いただいた先生方も交えての交流会を計画しております。是非ご出席いただき、交流を深めていただければと思います。最後に、今一度、同志社大学の小山先生、日本大学の隅先生、ジーンエスの大久保先生、ありがとうございました。また、ご参加いただきました皆さま、ありがとうございました。



(司会)

皆さま、本日は長時間にわたりご参加いただきありがとうございました。