

## 超音波ガイド波を用いた非破壊評価の研究

大阪大学大学院工学研究科

機械工学専攻 教授

林

高弘

### 1. はじめに

2019年5月、ちょうど元号が平成から令和に変わった月に機械工学専攻に着任しました。このたび自己紹介、研究紹介の機会をいただき、厚く御礼申し上げます。大学卒業から今日を振り返ると、大阪大学で教育・研究活動を行い、このように着任の挨拶をしているのが不思議に思えます。というのも、大学卒業時には大学教員になるという考えが全くなかったからで、そのせいで、少し変わった経歴を歩んできました。ここでは、はじめにその経歴をご紹介した後、研究についてお話ししたいと思います。

### 2. 大学卒業から今日に至るまで

1997年に京都大学工学研究科機械工学専攻を修了し、通商産業省工業技術院の資源環境技術総合研究所（現在の産総研の一部、つくば市）に就職しました。学部・修士での研究活動の中で、研究職への憧れや興味が芽生えたものの、博士後期課程に残ってアカデミック分野に進むと決めるほどの自信はなく、研究テーマにはこだわらず、民間企業の研究職も含め広く就職活動をした結果、ご縁のあった産総研に行くことになったという流れです。同時期に入所した研究員の方々は、皆さん博士号を取得直後だったり、ポスドク経験を積まれた方々でしたので、私のような修士卒の新任研究員は既に少なくなっていた頃だったと思います。とはいえ、研究室や研究所の先輩方の中には、同様に修士で入所して、その後10年ほどの研究をまとめて博士号を取得する方が相当数おり、私もそのルートをたどるものと思いながら研究を進めていました。

そんなつくば市での生活に慣れてきたところでしたが、学会で知り合った先生が助手を探しているということで、2000年に名古屋工業大学に異動することになりました。その後、2001年に博士号を取得し、2002年には1年間アメリカのペンシルベニア州立大学に留学の機会をいただきました。留学に際し、上司の教授や同僚の先生方には大変なご負担をかけたと、今になって思いますが、その

当時は若者特有の鈍感力で留学生生活を満喫しました。

助手が助教になり、数年経った2008年、(株)豊田中央研究所にお誘いいただき、研究員として転職することになりました。任期のない大学助教から企業の研究員への転職はあまり例がなかったので、周囲には一様に驚かれましたが、同じ研究を製造現場の強いニーズにより継続できることに喜びを感じ、自身としてはあまり違和感のない選択でした。その後、2012年より京大工学研究科准教授で2019年より現職に至ります。

研究のしやすい環境を求めて、将来のビジョンはあまり考えずに転々としたのですが、結果的に産官学のすべてに所属したことになりました。

### 3. 研究について

所属機関はいろいろ変わりましたが、研究テーマは一貫して、超音波を用いた非破壊検査、材料評価に関する研究を続けてきました。大学時代に少しかじったテーマを産総研でも尊重して続けさせてもらい、結果として今まで継続するテーマとなりました。

超音波は人間の可聴音（20kHz程度）以上の高周波の音波です。医療でプローブを体表面に当てて体内の診断に利用される周波数は2MHz程度～10MHz程度であり、溶接部の割れや配管の減肉などの比較的大きな鋼構造物に利用されるのは1MHz～30MHz程度、超音波顕微鏡などにより材料の弾性特性を精密に計測する場合には、1GHzを超える周波数も利用されることがあります。周波数が高くなるほど、材料内での減衰が大きくなるため超音波の伝搬距離が短くなり、評価できる対象領域が小さくなります。たとえば、kHzオーダーの超音波は、金属材料中の波長がcmオーダーであり伝搬距離が数m～数十mに及びますが、GHzオーダーの超音波は、波長が数十nm～数μmとなり、評価領域は表層近傍の数十μm程度です。

私の研究は、配管や鉄道レールなどの長尺構造に沿って伝搬するガイド波と呼ばれる超音波モード（図1）の数値解析からスタートしました。当時、配管などをこのガイド波を使って効率よく検査するという取り組みが世界

中で進められており、それを真似て研究したかったのですが、実験装置を購入する資金がなかったので、とりあえず数値解析をしてみようという安直な発想でした。

ところが、数十mの配管を伝搬する100kHzの周波数のガイド波の伝搬を有限要素法のような汎用的な数値計算手法で計算する場合、数cmの波長よりも十分に小さい要素分割で、その大きな領域全体を3次元的に細かく分割する必要があります。その計算は地球規模の地震の伝搬シミュレーションのような大型コンピュータを使わなければ実現が不可能であるほど大変なものでした。そこで、それまで土木構造物の計算など静弾性問題で利用されていた半解析的有限要素法を超音波伝搬のような動弾性問題に使えるようにしたところ、当時のノートパソコンでも配管中を数m伝搬するガイド波を計算することができるようになりました。

波動伝搬の数値計算結果より、これまで不明瞭だった薄板構造中の波動伝搬についての理解が深まったおかげで、その後の実験的研究が非常にスムーズに進み、ガイド波を用いた配管損傷画像化システムや鉄道レールの検査装置などの開発につながりました。民間企業に転籍後も、膨大な現場ニーズを吸い上げて様々な検査装置の開発に携わることができました（守秘義務のため詳細は割愛）。

大学に戻ってからは、レーザをガイド波の発生源とすることにより遠隔から非接触で薄板状材料内部を画像化できる手法に取り組んでいます（図2）。この技術は、ガイド波特有の波動伝搬特性とエバネッセント波と呼ばれる伝搬しないガイド波モードの特性を利用しているため、波長よりも小さい損傷を画像として取得することができます。現在は、数十kHzの周波数（数十cmのガイド波の波長）を利用すると波長の1/10程度の配管内の減肉を画像として取得できることが分かっています。この技術を利用すれば、超音波計測が容易な30MHz程度の周波数帯域でもμmオーダーの傷や介在物が検出できると期待できます。これにより、たとえば金属3Dプリンタ造形体中の欠陥なども、この非接触計測により検出できると考えて研究を進めています。

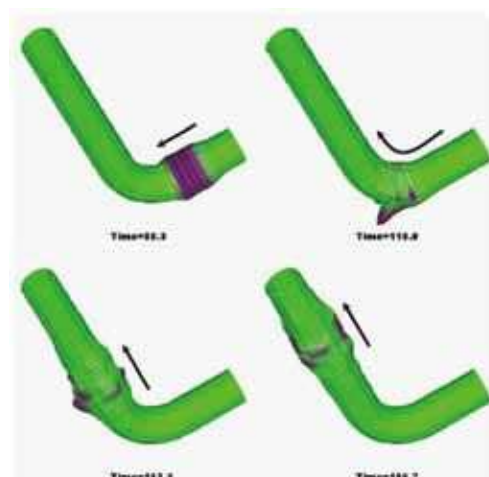


図1 パイプ中を伝搬するガイド波の数値計算結果

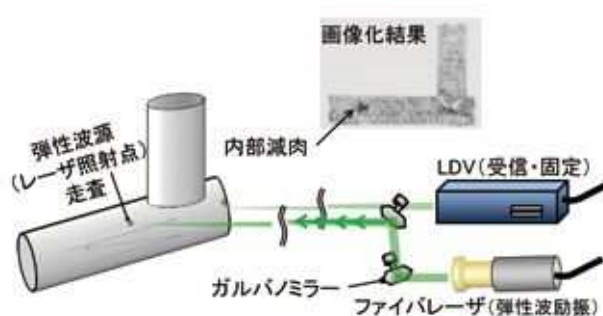


図2 遠隔からの配管内減肉の画像化技術

#### 4. おわりに

新任教授のご挨拶として、これまでの簡単な経歴と研究を紹介しました。お気づきかと思いますが、遠くないところに出口が見える研究が好きで、民間企業にも転職するタイプの人間です。その意味で、産学共創に特徴を持つ大阪大学の精神には共感するところが多くあります。今後、研究・教育でなんとか貢献できるように精進してまいりますので、どうぞよろしくお願いたします。

(京都大学 機械工学 平成7年卒 9年修士  
エネルギー科学 13年博士)