

世界初、非破壊で残留応力(歪み)をナノスケールで解析する仕組みを発見 “非化学量論的ケミストリー”を追求し科学や医療の発展に深く寄与する

ケミストリー=メカニックスの発想でラマン分光を利用したマイクロスケールと電子を利用したナノスケールの2種類の応力顕微鏡を開発・発明

平成29年度文部科学大臣表彰 科学技術賞研究部門を受賞したPEZZOTTI GIUSEPPE(ペツツオッティ ジュセッペ)教授。その受賞業績は、「3次元微小応力の可視化およびプローブの分離解析」。あらゆる製品の製造過程で、その材料には、応力により内部に小さな歪みが生じます。この歪みを可視化できる顕微鏡(電界放出型電子録を備えたナノ応力顕微鏡)を、2000年、先生は世界で初めて開発し、確かな実績が認められました。「歪みは目には見えないパラメーターですから、これまで、外部から力のかかっていない状態では応力はなく、すなわち内部に歪みの分散はない」という考え方がベースになっていたと思います。しかし力がかからないときも残留応力はあり、大きな歪みが集中している。その歪みは置換依存し、熱を加えるなどちょっとした衝撃によって、製品の寿命によくない影響を与えてきました。それがようやく可視化できるようになったということです」と先生。近年は特に製品の小型化が進み、材料がマイクロサイズ化したこと、この歪みは見逃されていたという現状がありました。

この2種類の顕微鏡における解析方法に使われたのは、マイクロスケールのラマン分光とナノスケールのカソードルミネッセンス分光の原理。ある個体に光を当てるとき散乱光が見える現象を起こします。散乱光のなかには入射した光と同じ波長のもののが、分子振動によって入射光とは異なる波長に散乱されるものがあり、これをラマン分光といいます。このラマン分光の波長変化から歪みを測定する3次元微小応力の可視化に応用しました。更に、電子顕微鏡の原子欠損や他の点欠陥からの発光を利用する顕微鏡を誕生させたのです。この方法は、非破壊でマイクロ及びナノスケールで歪みを解析できるのが大きな特徴。「人間も同じ。外からは、わからないけれど、ストレスを抱えている人は多いものです。そのうち人のストレスも可視化できる顕微鏡が開発されるかもしれませんよ(笑)」。

残留応力の解析は、光を発しない金属以外のすべての固体に使えるとあって、先生の成果は、今や産業界のさまざまな分野で活用され、製品の信用度と長期成績向上に寄与しています。対象は生体から電子電気材料まで。たとえば携帯電話の小さなコンデンサーの残留応力をフリーにすることで、声が途切れることなくクリアに聞こえるようになるんです。「コンデンサーは金属とセラミックを混ぜて作ります。加熱すれば、セラミックの内部に歪みが生じ、小さな亀裂を起こして電気がリーカーします。それで機能が荒くなつて、過去には声がおかしく聞こえたり、割れたりするという問題が

あり、今は応力測定技術を使うことによって、この問題が解消されるんです。このようにマイクロレベルで対応ができるんです」。

また、先生の研究室では生体医療材料として、主に人工関節の品質評価や、人工関節のインプラント時に発生する劣化メカニズムが、関節部材に与える影響などを解析しています。人工関節は、先生の研究成果が応用されている代表例のひとつでもあります。「製造しているときに穴を開ける等の加工をしますし、体の中に入れたら荷重の繰り返しです。破壊の確率を限りなくゼロに近づけるためにストレスフリーのものしか体に入れないと、というレベルの品質管理が可能です。表面を磨いたり削ったりする加工により応力発生を最低限にすることもできます」。

人工股関節なら、ポリエチレンライナーに対してセラミックの骨頭がはまりこみ、滑らせて動く仕組み。摩擦でポリエチレンが摩耗する現象が見られます。その現象を最小限にするためにポリエチレンのラマン分光を利用した技術を開発に加えた、先生の技術は、人工関節インプラント手術を受けた患者さんの生活の質を大幅に向上了させました。

そして先生は今、研究室で、セラミックの表面と細胞との関わりを調べています。一例では人工骨。セラミックの基盤に骨芽細胞を添加し、ラマン分光を利用して、生きている細胞のメタボリズムを調べています。セラミック基盤のケミストリー及びストレスの存在によって、骨の成長がより早く進むための研究を行っています。

さらには、水のpHに着目。「水もラマン分光を発光します。その分光の変化でpH測定する仕組みを創成しました」。細胞外のpHは、特に大きな病気との因果関係が強く、「pHの変化と病気をつなげる技術を開発したい」というのが現在の先生の夢です。

「科学技術賞研究部門を受賞した発明は社会実装というステップに移っています。今では全世界22社で使われています。私は次の研究テーマとして、生物学におけるラマン分光の研究を始めています」。



材料化学系
PEZZOTTI GIUSEPPE 教授(副学長)

国際色豊かに多分野の研究を行う研究室 予防医学の推進も大きなテーマ

研究室は留学生も多く国際色豊か。「毎日、留学気分になれまよ」と日本人学生が言っています(笑)。分光を扱っているだけに研究分野は広く、研究室は生体医療のほか誘電体、半導体材料と3つの分野で構成。最先端のラマン分光及びカソードルミネッセンス分光分析機器などを用いて、ナノスケールの計測・解析を行っています。

先生は実は工学博士だけでなく、医学と理学の博士もあり、世界中に大勢の共同研究者がいるそう。「ラマン分光で興味深いの

は、分子スケールで病気発症前にその可能性が予測できること。例えば、虫歯になる確率も予測できます。バクテリア及び細胞のシグナリングをラマン分光で解読すると、喫緊の問題である歯周病やガンの発生を抑えることが可能になっていきます。実際、歯学、免疫学及び整形外科学の学生も研究グループに参加しています」。

そう、先生にとって今後の大きなテーマは予防医学。虫歯や歯周病、あるいは骨粗鬆症は、分子スケールの変化から起るもの。この変化に初期段階で気がつけば、病気発症までの時間を遅らせることができます。実現すれば超高齢化社会で医療費の増大が懸念される日本において、画期的な朗報となることでしょう。「生体材料の進化は日進月歩。セラミックなら、体内に挿入するだけで細胞をアクティブにしたり、骨を破壊する細胞と作る細胞をコントロールして骨粗鬆症を治したり、ということを現実化するのが狙いです」。

国を超えて研究者と連携し、留学生を多く抱える先生。研究室の学生に望むことは、

「ユニークであれ」。「ガウス分布でいうと、私はスタンダードな人材を育てたいのではなく、特化した人材を育てる役割を持っていると感じています」。そのため先生は、「学生の発想に制限を定めない」と言います。「枠の中でただ普通にこなすのではなく、自由にアイデアを出し、そのアイデアのひとつひとつを大切に研究していく。また実験の結果が私の予測通りにならなかったとき、目の前で起きた現象に注目し、“先生の言うようにならなかった”と悲観するのではなく、ぜひこの現象を理解してほしいと期待しています」。もうひとつは「できないと言わず、チャレンジし続け、日本人らしさをみせてもらいたい」。ナノスケールで研究を行う先生のスケールの大きさを感じます。



文部科学大臣表彰 受賞記念写真