





▲ 図3 リチウムイオン電池の 内部に生じたショートの箇所が、 はっきりと示されている。

1.0mm ■ 図4 青色LEDチップ内の電流分布 を可視化した画像。上は正常なLEDチップ、 アは欠陥のあるLEDチップ。

D magnetic field data matrix 1 2D magnetic field data matrix 2  $H_{z}(x,y,z_{i})$  $H_2(x, y, z_2)$  $TI_Z$ at  $z = z_1$ component of 図2 電池用-高分解能電流経路映 nagnetic field vector 像化システムのソフトウエア画面を 見る研究室のスタッフ。手前から、美 馬勇輝企業研究員と学生の松田聖樹 さん、鈴木章吾さん。  $\Delta = z_1 - z_2$  $/\Delta$ Neumann 2D FFT 2D FF h(k,k) $h_{*}(k_{*},k_{*})$  $H_z(x, y, z) = \prod_{z} e^{ik_z x + ik_y z} \{ \frac{1}{z} \}$ 木村 建次郎 神戸大学大学院 理学研究科 准教授 2006年 京都大学大学院工学 研究科博士課程修了。博士(工 学)。世界初の画像再構成理論 at  $z = z_2$ を開発し、これに基づいたソフ (near aboy トウエア技術に合わせて測定 ted mag 装置を設計することで、最先端 the ma の計測システムを開発。理論研 究から計測システムの開発、実

世界初の理論とソフトウェア技術により電池内部の電流を非破壊で見る

携帯電話や電気自動車などに用いられるリチウムイオン電池は、 需要が高まる一方で、数多くの炎上事故が起き、精密な安全管理 が求められている。この課題を解決するため、神戸大学大学院理 学研究科の木村建次郎准教授は、電池内部の電流を映像化する計 測システムを開発した。独自の発想とソフトウエア技術で次々に 革新的な計測機器を生み出す木村さんの研究室を訪ねた。



用化まで一貫して行う。

## リチウムイオン畜電池の健康診断

より大きなエネルギーを蓄えられるリチウムイオン電池が求められている。スマートフォンはいつも電池の残量を気にしなくてはならず、電気自動車の走行可能距離をガソリン車並みに長くしようとすると、特大の電池が必要だ。

「蓄電容量を劇的に増やす方法はシンプルです。リチウムを多く入れればいい。それがなかなか難しいのは、リチウムという物質が扱いにくいからです。リチウムは充電を繰り返すうちに、樹状に結晶化していき、電極から剥離したり、内部でプラスとマイナスが直接つながったりといった不具合が起こりやすくなります。この危険性を何とか排除したい。そう考えて作ったのが、私たちの計測システムです(図1・図2)」。

こう語る木村さんは、世界で初めて電池を破壊せずに、中の電流を透かして映像にする理論と技術を生み出した。この技術を使えば、リチウムイオン電池内部の異物やショートした箇所をはっきりと見ることができ(図3)、大容量電池の安全な管理などへの応用も期待できる。

「検診で病気を早期に発見できれば、治る確率を高められます よね。それと同じです。リチウムイオン電池向けの画像診断シ



図1 電池用 - 高分解能電流経路映像化システム。磁気センサーが電池の表面をスキャンし、電池から漏れる磁場を計測する。

ステムを作りたかったのです」。

ますます高まるリチウムイオン電池の需要を受け、生産現場では大量の製品を短時間で検査しなくてはならない。木村さんは、大手の電機メーカーなどと組み、検査装置を生産ラインに組み込む開発を進めている。

「実際の製造環境で充電・放電中の電池内部を測れるのが特 長です。製造しながら、短時間で不良品がないか検査します」 と胸を張る。



## 磁場を計測し内部の電流を可視化

木村さんの真骨頂は、実は独自の理論に基づく計算手法にあり、これによって世界最高性能が達成されている。このため既存の測定装置に合わせてソフトウエアを設計するのではなく、計算手法の入ったソフトウエアに合わせて、測定装置を設計し、革新的な技術を編み出していく。

「電流がどのように流れたら、磁場がどのように発生するかは、電磁場の基礎方程式であるマックスウェルの方程式に記述されています。多くの研究者が、電池の周りの磁場を測れば、電池のことがわかるのではないかと考えていたのですが、そう簡単ではありません。蓄電池内では、正(プラス)極から負(マイナス)極へと3次元的に電流が流れていますが、測定で得られるのは、蓄電池の周囲の2次元的な磁場の空間分布に関する情報だからです」。

木村さんは、蓄電池が正極と負極の板で挟まれた薄い大きな膜のような構造をしており、3次元の電流も、2次元的な膜に閉じ込められたものとみなせると考えた。そして、この様相を数式として表現し、解析的に解くことで、測定可能な磁場情報から電池内の電流を記述することに成功した。

「私の仕事は、このように、観測結果から物理学の因果関係を 逆方向にたどり、その原因を見いだすことです。この『たどる』 という方法に関して、電池の品質管理や医療など人の安全を左 右する重要な決断を下すデータを生成する際に、最も重要なこ とは、①結果に任意性がないこと、②測定条件が変わっても計 測システムの電気的、機械的構成が変わらず汎用性が高いこと、 ③市販の計算機を用いて現実的な時間で計算できるアルゴリズ ムであることです。そうでなければ、重要なシーンでまったく 活用されないし、普及もしないからです」。

同じ理論を使えば、電池内部の電流だけではなく、半導体チップなどの回路内の電流も、明瞭に画像化できる(図4)。電流がどこで発生し、どこを、どのように流れているのかを可視化することで、複雑な電子機器を分解・破壊しなくても配線の断線、ショートなどの不良箇所を即座に特定でき、より安全で高品質の製品が作れるようになる。

一般に、原因から結果を導く「順問題」より、結果から原因を決定する「逆問題」の方がはるかに難しい。木村さんが作る 計測システムの独自性や画期性は、独自の計算手法を使って結 果の現象から原因を世界最高性能の速度で正確に見つけ出すことにある。生み出される理論や技術は進化し続け、新たな分野へ進出している。



## 理論を応用しトンネルや乳がんを検査

研究開発は電流の可視化に留まらず、トンネル壁面の安全性 を短時間で確かめる検査装置がすでに実用化されている。

「鉄道会社では、私たちが作った計測ソフトウエアを載せた検査用車両をトンネル内で走らせながら点検して、コンクリート 壁面に亀裂などの劣化がないか、正確に調べています」。

この装置では、走行中の電車から電波を飛ばして壁に当て、 反射して戻ってきたものをレーダーでキャッチするのだという。 「これも計算理論が大きなポイントで、『散乱場の逆解析理論』 というものを使って、結果として現れている現象から原因となるものをイメージ化するのです」。

最近では、この逆解析理論を基に乳がんの検査装置を開発し(図5)、従来の乳がん画像診断機器を凌駕する性能が見いだされている。木村さんが作ったプロトタイプを多くの患者さんに適用したところ、その感度は9割以上だったという。

「現在普及している多くの計測システムは、欧米の独壇場です。 それは、原理の考案者が強力なリーダーシップの下で、企業を 巻き込んで一気に世界に普及させてきたからです。 私たちは今 後、日本で誕生したこの最高性能の計測システムの特許を世界

各地で成立させ、デファク トスタンダード (世界標準) にしていきます」。



図5 乳がんの検査装置のプロープを手に持ちテストをする大学院生の稲垣明里さん。