



平成 26 年 10 月 14 日

報道関係者各位

国立大学法人筑波大学  
国立大学法人九州大学  
株式会社システムインフロンティア  
国立大学法人東北大学  
独立行政法人科学技術振興機構(JST)

## 1/10 の撮影枚数で三次元電子線断層撮影を実現 ～世界初、圧縮センシング法による画像再構成ソフトウェアを製品化～

国立大学法人筑波大学(以下、筑波大学)、国立大学法人九州大学(以下、九州大学)、株式会社システムインフロンティアは、JST 先端計測分析技術・機器開発プログラムの一環として、世界に先駆け、圧縮センシング法による画像再構成アルゴリズムを搭載した電子線 CT(Computed Tomography、断層撮影)用ソフトウェアを開発し、製品化しました。このソフトウェアにより、三次元再構成に必要な撮影枚数を従来の 1/10 から 1/20 程度に減らすことが可能となり、撮影時間の短縮のみならず、電子線 CT 観察のネックとなっていた、電子線照射による試料の損傷や汚れの誘起といった問題の解決が期待されます。

このソフトウェアは、画像収録に使われた電子顕微鏡のメーカーを問わず対応が可能です。2014 年 11 月 1 日より試用版の提供および既存ユーザーに対する無償アップグレードを開始します。

### 開発の背景

透過型電子顕微鏡はナノレベルの観察が可能な装置ですが、得られる情報は二次元画像です。そこで、さまざまな角度から撮影した画像をコンピューターで処理することで三次元化する CT(断層撮影)という技術を応用して、ナノレベルの立体観察を行うことを可能としたのが、電子線 CT です。同じ原理を応用した装置では、医療現場で使用する X 線 CT がよく知られています。X 線 CT が主に人体の様な肉眼でも見ることのできる物体の三次元観察をするのに対し、電子線 CT では、ウイルスや分子構造といった、とても小さな物体の三次元観察を行うことができるため、材料科学や生命医学の分野を中心に近年注目されてきました。

実際の観察では、透過型電子顕微鏡内で試料を連続的に高角度まで傾斜させながら複数の透過像を連続して撮影します。これらの連続傾斜像をコンピューター上で再構成(計算)し、立体的な三次元像を得ます。通常は 120 枚以上の連続傾斜像が必要なため、1 つの三次元像を得るのには 30 分から 2 時間という撮影時間を要し、動きのある物体・現象を観察できないという問題がありました。

JST 先端計測分析技術・機器開発プログラムの開発課題「マテリアル開発系リアルタイム電子線トモグラフィシステムの開発」(リーダー:九州大学・波多聡 准教授、サブリーダー:株式会社システムインフロンティア・古河弘光

取締役、参画機関：筑波大学、国立大学法人東北大学（以下、東北大学）では、材料に外から力がかかった時に生じるナノレベルの構造の変化を三次元で観察可能にする、リアルタイム電子線 CT という新技術の開発を目指しています。

「リアルタイム」を実現するには、撮影時間を非常に短くしなくてはなりません。もちろん、撮影時間が短ければ短いほど観察できる対象が広がりますが、原理的に限界もあります。本開発チームの東北大学金属材料研究所・佐藤和久准教授による事前検討によって、撮影時間を現状の 1/10 から 1/20 に短縮できれば、材料学的に重要な現象のいくつかを明らかにできることが解りました。そこで、本プログラムでの開発の目標を「撮影時間 1/10 の実現」と定め、これに向けて、撮影方法から、試料の引っ張り・傾斜方法(九州大学)、再構成方法(筑波大学)、観察対象となる現象の検討(東北大学)と、多方面からのアプローチでこの技術開発に取り組んでいます。その中の一つ、“撮影枚数を大幅に減らしても質の良い三次元が再構成可能な計算方法の開発”という課題に対して、筑波大学システム情報系・工藤博幸教授と、株式会社システムインフロンティアは、最新の再構成法である圧縮センシング (Compressed Sensing, CS) 法に着目し、その実用化を目指して共同で開発を進めてきました。

CS 法は、少数の観測から高次元信号を復元可能とする手法で、その有効性は 2000 年代中盤から膨大な数の論文<sup>1,2,3</sup>によって主張され、MRI などの画像診断や天文学、ビッグデータの分析に至るまで、多様な分野での応用が期待されています。しかし、演算時間が多大で計算パラメータ設定も複雑であるといった問題点から、商用ソフトウェアへの応用は困難とされてきました。

## 開発内容と成果

今回、X 線 CT や PET を中心としたトモグラフィー画像再構成の研究者である工藤教授らが考案した新アルゴリズム「ISER, Iterative SEries Reduction」では、CS 法で用いられる画像再構成の基準となる評価関数を高速に最適化する新理論に基づき、計算速度の大幅な向上、パラメータ設定の簡略化、数学的厳密性の全てを実現しました。これを、株式会社システムインフロンティア社のソフトウェア製品 TEMography(TM)に搭載することで、世界でいち早く CS 画像再構成法の製品化に至りました。

この ISER により、再構成画像の品質を落とすことなく再構成に必要な透過像の枚数を、従来の 1/10 から 1/20 と大幅に減らすことが可能となり、撮影時間を 1/10 から 1/20 に短縮できます。

実際に ISER を搭載した TEMography(TM)を使って再構成された FePt ナノ粒子の三次元像(参考図)を解析したチームリーダーの波多准教授は、たった 13 枚の画像からこれだけの分解能の三次元像が得られたので、同チームが目指す構造変化のリアルタイム観察に大きく近づいたと考えています。

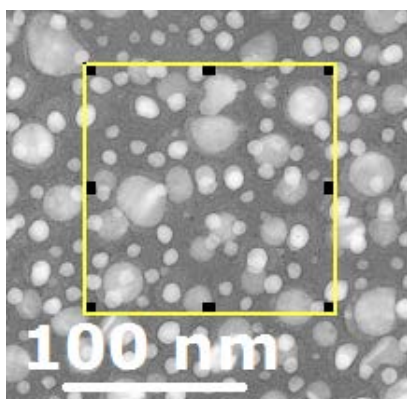
加えて、撮影枚数を減らすことができれば、同じ領域を繰り返し撮影することで生じる電子線損傷が心配されてきた生物試料や電子線による試料汚染が特に心配される走査・透過型電子顕微鏡法による CT においても非常に有効で、ISER の応用範囲は広いと期待されます。

新手法が搭載された TEMography(TM)ソフトウェアは、画像収録に使われた電子顕微鏡のメーカーを問わず対応でき、また、購入前でも全ての再構成機能の試用が可能です。試用版及び既存ユーザーに対するアップグレードは無償にて、2014 年 11 月 1 日より同社の Web サイト(TEMography.com)よりダウンロードが可能になる予定です。

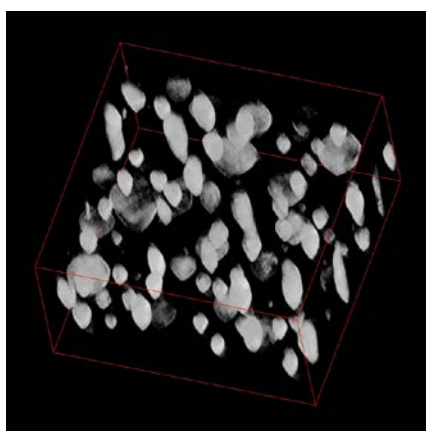
## 参考文献

1. Donoho, D.L.: Compressed sensing. IEEE Trans. Inf. Theory 52: 1289–1306, 2006
2. Candes, E.J., Romberg, J., Tao, T.: Robust uncertainty principles: exact signal reconstruction from highly incomplete frequency information. IEEE Trans. Inf. Theory 52: 489–509, 2006
3. 大森広崇, 工藤博幸, 鈴木大三: トータルバリエーション正則化のためのローアクション型画像再構成法: 電子情報通信学会技術研究報告 MI2012-123, 2013 (ISER アルゴリズム開発の元となった芽生え期の論文)

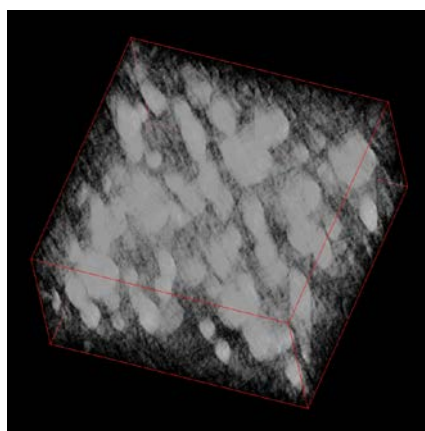
## 参考図



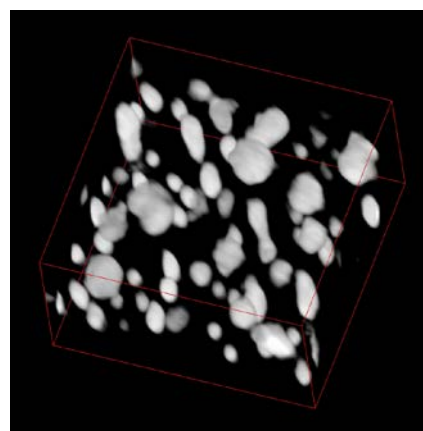
(a) FePt ナノ粒子の透過型電子顕微鏡による像



(b) 従来手法(130 枚撮影)



(c) 従来手法(13 枚撮影)



(d) 新手法(13 枚撮影)

図 FePt ナノ粒子の透過型電子顕微鏡による像(a)および従来手法(b, c)と新手法(d)で再構成した三次元画像  
透過型電子顕微鏡(二次元)で観察したFePt ナノ粒子(a)の黄色枠部分を、電子線CTで撮影したもの(b, c, d)。  
従来手法で良好な分解能を得るためには130枚の撮影が必要だったが(b)、今回開発した新手法を用いると13  
枚の撮影で同等の分解能が得られる(d)。

問い合わせ先

筑波大学 広報室

Tel:029-853-2039 Fax:029-853-2014

Email: kohositu@un.tsukuba.ac.jp

九州大学 広報室

Tel:092-802-2130 Fax:092-802-2139

Email: koho@jimu.kyushu-u.ac.jp

株式会社システムインフロンティア 技術部 TTWS チーム(担当:古河)

Tel:042-526-4363 Fax:042-526-4370

Email: hiromitsufurukawa@sifi.co.jp

東北大学 金属材料研究所総務課総務係(担当:水戸)

Tel:022-215-2181 Fax:022-215-2184

Email: imr-som@imr.tohoku.ac.jp

科学技術振興機構 広報課

TEL:03-5214-8404 FAX:03-5214-8432

E-mail: jstkoho@jst.go.jp

<JST の事業に関すること>

科学技術振興機構 先端計測室

Tel:03-3512-3529 Fax:03-5214-8496