

パルス中性子による物質材料および空間場の組織構造・ 物理量イメージング

Imaging of crystallographic structure and physical quantities of materials and spaces by using pulsed neutrons

鬼柳 善明 (KIYANAGI YOSHIAKI)
名古屋大学・大学院工学研究科・特任教授



研究の概要

物質や製品をそのままの形で中の物理的性質を非破壊で空間依存の情報として取り出すことができると、材料開発や製品のチェックなど色々な所で役に立つ。加速器で発生した中性子の透過強度が結晶組織構造などの影響で変化することを利用し、それを定量的に解析して、結晶構造、組織構造、歪などの情報、元素や磁場などの情報を取得できる方法を開発・応用している。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：放射線工学・ビーム科学、中性子透過法、材料評価、結晶、磁場、元素

1. 研究開始当初の背景

バルクマテリアルの内部の結晶組織情報や磁場、元素、温度などの情報を、実空間イメージとして与えられることができれば、物質材料評価・開発の点で非常に有用で応用範囲も広い。これまで、このような情報が得られる手法を、中性子プローブとして用いて世界に先駆けて開発していた。

2. 研究の目的

パルス中性子を用いた透過イメージングは、検出器の画素毎にエネルギー依存透過率をだし、それを定量解析して上記情報を得るものである。本研究では、この手法を発展させるために解析・実験法を開発し、物質材料の総合評価手法として確立し、その応用研究を進めることを目的としている。

3. 研究の方法

中性子減速材から瞬間的に出てきた中性子を検出器で測定し、その飛んできた時間と場所を記録するという方法を用いる。飛ぶ距離が決まっているので、飛んだ時間で速度（エネルギー、波長（速度に反比例））が分かる。検出器の前に試料をおくと、その散乱によって透過中性子数が波長依存で変化する。このデータから透過率を出すと、例えば結晶のブラッグの式（波長） $=2 \times$ （格子面間隔）に対応する所にエッジができ、結晶情報が得られる。また、中性子の磁石の性質（スピン）を利用すると、磁場の中で中性子のラーモア歳差運動が起きる。それを調べることによって、磁場情報を得ることができる。

4. これまでの成果

本研究では、同じ測定方法でエネルギーを変えたり、中性子の磁石の向きを揃えたり（偏極）したりすることによって色々な情報が得られる。ここでは手法の開発・応用の過程で得られた主な結果について紹介する。

マルテンサイトのような格子面間隔が一定でないような場合には、その解析法がまだ分かっていなかった。そこで、ブラッグエッジの傾きの違いに注目し、面間隔分布によって説明を試みた。焼き入れした円柱鉄（厚さ2cm、直径2.5cm）の厚さ方向に中性子を透過して測定を行った。図1はほぼ1/4の領域（右下は別のサンプルの一部）の格子面間隔分布の半値幅 Δw を示している。この試料の予定焼き入れ深さが7mmであるので、この図から予定通りとなっていることが分かる。更に面間隔分布の半値幅とビッカース硬さを同じ

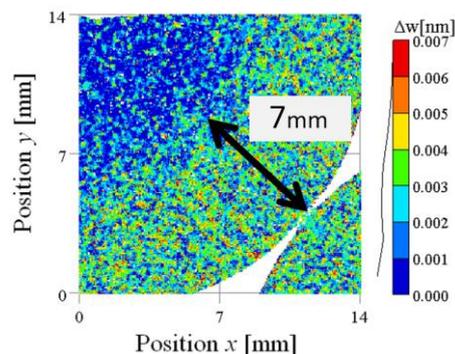


図1 20mm厚を通してみた鉄の焼き入れ部

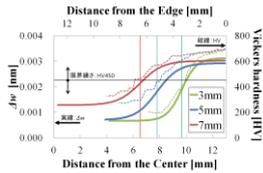
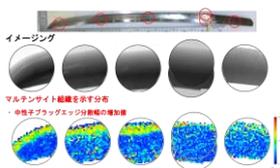


図2 面間隔分布幅(実線)と硬さ(破線)

グラフにプロットしたのが図2である。3, 5, 7mm について幅のグラフの変曲点がビッカース硬さの基準値 HV450 に対応していることが示され、半値幅がマルテンサイト相の量に関係し、また、それがビッカース硬さと強い相関があることがクリアーに示されている。この手法を日本刀に応用した。図3の上から、写真、通常のラジオグラフィー、本手法による結果である。刃側の焼入れ領域が、切っ先から鏝の方へ向かって変化していくのを、非破壊で初めて評価することが出来た。

空間や物質内の磁場強度を非接触で測定することができるのは、この手法の大きな特徴である。この磁気イメージング法では、磁場ベクトル定量化のため性能評価試験を行っている。図4に中性子の波長によって、中性子の偏極度がコイル磁場を通過して変化する様子を示す。強度によってきまる周期が実験値と計算値でほぼあつて



おり、磁場強度が定量的に測れていることが示された。ただ、磁場の向き(ベクトル)に関する定量化に課題が残っている。

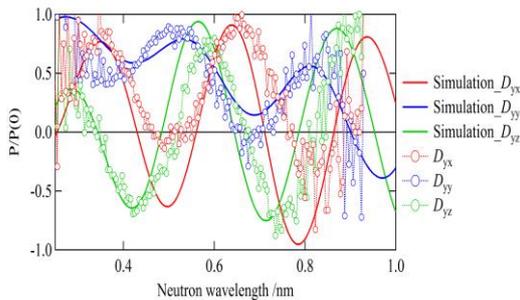


図4 波長依存偏極度の計算との比較

5. 今後の計画

本手法では概要で述べたように、測定で得られる物理量が多いため開発項目が多くなっているが、大きく分けて手法開発と応用研究を進めている。ここで紹介したテーマについては、手法の高度化をさらに進めて行く。要望の多いひずみ測定は、CT化などを引き続き実施していく。元素分析については、定量解析の信頼度検証を行いCTへ展開していく。また、同じ手法で温度測定ができるので、それについても実験的に検討していく。磁気イメージングでは、磁場ベクトルの定量化を実施していく。さらに、検出器は非常に重要であるので、高計数率の検出器、高位置分解能の検出器開発も引き続き実施していく。先進的応用としては、強加工材の特性についての研究、水素貯蔵合金、文化財などについても引き続き研究を継続していく。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

*Y. Kiyanagi, Development of Energy Selective Neutron Imaging, J. Phys. Soc. Jap.(出版予定)

*H. Sato, Y. Shiota, Y. Todaka, T. Shinohara, T. Kamiyama, M. Ohnuma, M. Furusaka and Y. Kiyanagi, Radiographic and Tomographic Neutron Bragg Imaging for Quantitative Visualization of Wide Area Crystalline Structural Information, Materials Science Forum, 2014

*Y. Kiyanagi, T. Shinohara, T. Kai, T. Kamiyama, H. Sato, K. Kino, K. Aizawa, M. Arai, M. Harada, K. Sakai, K. Oikawa, M. Ooi, F. Maekawa, H. Iikura, T. Sakai, M. Matsubayashi, M. Segawa, M. Kureta, Present Status of Research on Pulsed Neutron Imaging in Japan, Physics Procedia, Volume 43, Pages 92-99, 2013,

*K. Kino, N. Ayukawa, Y. Kiyanagi, T. Uchida, S. Uno, F. Grazzi, A. Scherillo, Analysis of Crystallographic Structure of a Japanese Sword by the Pulsed Neutron Transmission Method, Physics Procedia, Vol.43, Pages 360-364, 2013

*K. Iwase, H. Sato and S. Harjo: In situ lattice strain mapping during tensile loading using the neutron transmission and diffraction, J. App. Crystallography, Vol.45, pp.113-118, (2012)

*Y. Kiyanagi, H. Sato, T. Kamiyama and T. Shinohara: A new imaging method using pulsed neutron sources for visualizing structural and dynamical information, Journal of Physics, Conference Series 340, pp.1-10, 012010 (2012)

日本金属学会 論文賞 (2012年9月17日)

ホームページ等

http://toybox.qe.eng.hokudai.ac.jp/ka-kenhi_S/index.html