

イメージングプレートを用いた新型X線材料評価システムの開発と応用

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/26938

氏名	佐々木 勝成
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第1083号
学位授与の日付	平成21年3月23日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	イメージングプレートを用いた新型X線材料評価システムの開発と応用
論文審査委員(主査)	佐々木 敏彦(人間社会研究域・教授)
論文審査委員(副査)	門前 亮一(理工研究域・教授), 細川 晃(理工研究域・教授), 廣瀬 幸雄(自然科学研究科・特任教授), 中野 貴由(大阪大学・教授)

ABSTRACT

Imaging Plate (IP) is a 2-dimensional detector in which a latent X-ray image is stored as a distribution of color centers on a photostimulable phosphor (BaFBr:Eu²⁺) screen. It has a large effective area, wide dynamic range and high sensitivity. In this study we describe the development of material evaluation system which uses X-ray diffraction method with IP as a detector. A new retained austenite measurement method which uses whole debye ring of α Fe(211) and γ Fe(220) from stainless steel and residual stress measurement using $\cos\alpha$ method were examined and evaluated. Also development and application of new cylindrical IP system were shown for single crystal structure analysis and micro area X-ray diffractometry. Finally a new technique for evaluate Bone quality were developed and we show the distribution of preferential orientation of biological apatite along the longitudinal direction of the Bone (femurs)..

本研究はX線用の代表的な二次元検出器、イメージングプレート(IP:Imaging Plate)を用いた材料評価に関する研究である。材料について知見を得るための分析方法は種々あるが、X線はその中でも多くの内部構造に対する情報を与えてくれることから、多くの研究や産業分野で利用されている。特にX線回折法は、ある固有の波長を持ったX線を物質に入射すると、その構造を反映した回折現象が起きることを利用したもので、特に結晶性の材料の構造やそれに起因する材料特性の測定に威力を発揮する。これらのX線機器の構成は、X線源、光学系、検出器、そして近年ではソフトウェアが大きな要素であるが、その中でもX線検出器は近年、大きな進歩を遂げている。IPは0.4mm程度のプラスチックベースの上に0.15mm程度の輝尽性蛍光体が均一に塗布されたシート状の検出器である。レントゲン等の医療用をはじめ、歯科用、橋梁等のX線検査にもX線フィルムの代替として、数多く使われている。IPの最大の特徴は、X線フィルムより厚いものの、従来のX線フィルムのカセットフォルダにそのまま入れて使用することが可能であり、カセットはそのまま、フィルムをIPに置き換えるのみで非常に感度の高いデジタルデータが得られることや、シート状であるため、湾曲フィルムカセットやフレキシブルな黒紙袋の中に入れてX線の露

光ができることなどである。また、背面反射ラウエカメラとして使用する場合、真ん中に $\phi 20\text{mm}$ 程度の穴を開けなければならないが、IP以外の検出器ではそういったことが困難である。さらに $400\text{mm}\times 800\text{mm}$ までの大面積のシートの製作が可能で、読み取り装置を製作するだけで非常に大面積の検出器が製作可能である。読み取りは $50\mu\text{m}$ ピッチ(目的によっては $25\mu\text{m}$ ピッチ)で行えるので空間分解能は比較的高い。X線エネルギー、強度に対する許容度も高く、ダイナミックレンジはIP自体は8桁程度ある等、数々の長所を持っている。そこで本研究では、IPを用いた、X線回折法による種々の材料評価システムの開発及び評価方法について検討した。

まず、本研究の中心となるIPの原理、性能について述べるとともに、IPリーダー開発の上で重要な因子となる、レーザー、電気回路、読み取りスピードが測定感度に与える影響について実験した結果について述べた。これらの因子がIP読み取りに与える影響はこれまではほとんど報告された例がなかった。また、オフラインのIP読み取り装置を使用した構造材料のステンレス鋼中の残留オーステナイト量の測定方法についてデバイリングの全周を利用した新しい解析方法を提案し、集合組織があるステンレス鋼についても、従来の方法より、迅速かつ正確に測定可能なことを示した。次ぎに、機械部品の強度にやはり重大な影響を及ぼし、とくに自動車部品等にその特性が有効利用されている残留応力の測定方法において、単一入射法である $\cos\alpha$ を適用して、精度の高い測定を実現するための画像処理方法について示した。

オンライン装置の開発では、IPの大面積と湾曲可能な性質を利用した、広い測角範囲を持った単結晶構造解析装置の開発結果とその適用例について示した。とくに、本装置の開発以前に二次元検出器を用いた $\text{CuK}\alpha$ 線による低分子単結晶構造解析は不可能と言われていたが、この装置の開発により、 $\text{CuK}\alpha$ 線を用いて容易に構造が得られるようになった。 $\text{CuK}\alpha$ 線の測定は有機物の絶対構造の決定に関して有効な手段であることを示した。またこの装置の発展型として、湾曲カメラを本研究で開発した、 $\text{CuK}\alpha$ と $\text{CrK}\alpha$ の2色を集光することができるミラー及び、微小焦点を持った回転対陰極式のX線発生装置と組合せ、近年要求が高まっている、微小領域のX線回折実験に対して、従来装置の300倍以上の強度が得られることを確認した。

一方、近年研究が盛んになっている生体材料へのIPシステムの適用例を示した。中野らにより提案されている、骨中の hidroオキシアパタイトの配向性について、物質に対する透過力が高い $\text{MoK}\alpha$ 線を利用して、アパタイトの配向性を迅速かつ簡便に測定する新しい方法を開発し、従来法に対して同程度の測定精度が得られることを示すとともに、世界ではじめて長骨の配向性分布の測定を行い、骨生成過程の研究や、骨粗鬆症等への臨床応用への可能性を開拓した。

学位論文審査結果の要旨

当該学位論文に関し、平成 21 年 1 月 27 日に第 1 回学位論文審査委員会を開催し、提出された学位論文および関連資料について検討を加え、1 月 29 日の口頭発表後、第 2 回審査委員会を開催し、協議の結果以下の通り判定した。

本研究は、二次元 X 線検出器イメージングプレート(IP)を用いた新しい材料評価方法、および、評価装置について研究開発を行ったものである。まず、ステンレス鋼中のオーステナイト量測定では、集合組織がある場合に対しても迅速かつ高精度の測定を実現し、鉄鋼の残留応力測定においては単一入射法 ($\cos \alpha$ 法) の精度を高めるための画像処理方法を考案した。IP を使用した低分子有機化合物の構造解析では、 $\text{CuK}\alpha$ 線による測定を世界で初めて実現し、絶対構造の解析に威力を発揮する測定装置を開発した。また、近年、工業的に要求が高まっている微小領域の X 線回折法用に、 $\text{CuK}\alpha$ および $\text{CrK}\alpha$ の 2 種類の特性 X 線に対応した人工多層膜ミラーを開発し、微小焦点 X 線発生装置と組み合わせることで、 $10\mu\text{m}^2$ において従来の約 300 倍の回折強度を得られることを示した。一方、透過 X 線回折法と IP を用いて、骨中のヒドロキシアパタイトの配向状態を評価可能な装置を開発し、長骨の配向性分布を明らかにするとともに、骨形成過程の解明および骨粗鬆症の臨床応用への可能性を開拓した。

以上より、本学位論文は、IP を用いることで新しい X 線材料評価法の発展に大きく貢献するものであり、博士 (工学) の学位に値すると判定した。