

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：24403

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24651104

研究課題名(和文) X線領域での無相関計測実現可能性調査

研究課題名(英文) Feasibility Study of Non-Interaction Measurements in X-ray Region

研究代表者

岩住 俊明 (Iwazumi, Toshiaki)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90203380

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：X線領域での無相関計測実現に向けマッハ-ツェンダー型X線干渉計を用いて予備実験を行ない、定性的には可視光領域でのマッハ-ツェンダー型干渉計と同等な結果が得られることを実証できた。しかし同時にX線領域で無相関計測を実現するためにはX線干渉計の安定性が致命的な影響を与えることも判明した。非常に大掛かりな安定化対策を取る以外の解決策を見つけることができず、現時点でこれ以上の研究継続は無理と判断した。

研究成果の概要(英文)：For realization of the interaction-free measurement in X-ray region, a pilot study was performed using X-ray Mach-Zehnder interferometer. Obtained experimental result in X-ray region using X-ray interferometer was equal to that in visible-light region. At the same time, we found out that stability of X-ray interferometer has a fatal influence. At the present time, we judged that any more study continuation was impossible except performing an extra-large-scale stabilization measure of interferometer.

研究分野：X線光学

キーワード：国際研究者交流 X線干渉計 無相関計測

1. 研究開始当初の背景

(1) X線撮像法は、レントゲンがX線を発見して以来その透過性と直進性を利用して医療や工業等の幅広い分野で大いに用いられてきた。通常吸収コントラスト法だけではなく、より感度の高い位相コントラスト法や屈折コントラスト法など新たな手法も開発されている。しかしながらこれらの手法ではX線が被写体を透過する事が前提であり、被写体が生体である場合放射線被爆の問題を避けて通れなかった。

(2) 可視光計測の分野では被写体にほとんど光を照射することのない量子力学的な無相関計測の研究が進んでいる。

(3) 研究開始当初には(そして研究期間が終了した現時点でも)、無相関計測に必要な光源や光操作技術、例えば時間コヒーレンスの長いレーザー光や、モノリシック共振器はX線領域では実用域に達していない。しかし次世代放射光源として検討されているエネルギー回収型リニアックと共振器型X線自由電子レーザーとの組み合わせを実現するための技術開発が進行すれば、X線領域での無相関計測に必要な技術のかなりの部分が実用化されることになることが予想された。

2. 研究の目的

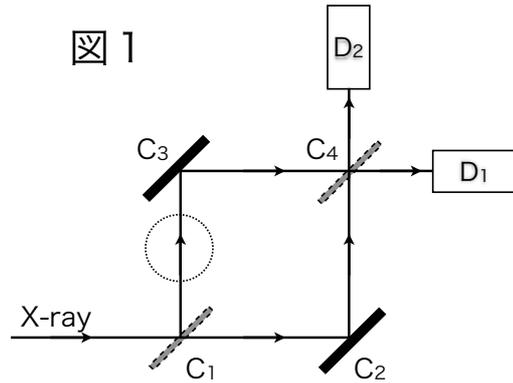
(1) 無相関計測がX線領域で実現可能になると、放射線被爆がほとんどないX線撮像法が実現することが期待できる。本研究ではX線領域での無相関計測の実現可能性を探り、放射線被爆がほとんど無いX線撮像法実現に向けた技術開発項目の予備調査を行なうことを第1の目的とした。

(2) X線領域の時間コヒーレンスを用いた実験は、研究開始当初には(そして研究期間が終了した現時点でも)、何の提案も出ていない。X線領域での時間コヒーレンス利用の提案が本当になされていないのかどうかに関して、国内外の各種会議・学会・研究会に積極的に参加することで情報収集を行なうことを第2の目的とした。

3. 研究の方法

(1) 既存のX線干渉計を用いて無相関計測の実現可能性を探った。X線領域の干渉計として高エネルギー加速器研究機構で共同利用に供されているマッハツェンダー型干渉計を利用した(図1:C1~C4が干渉計本体で全て対称Bragg反射を利用、D1は明視野像、D2は暗視野像)。通常は明視野像の画像コントラストを上げるため、第1結晶C1での分岐比率が1:1になるよう調整するのだが、本研究ではX線の方岐比率を積極的に変化させ、被写体(図1点線で囲った白丸)がある光路への分岐比率を下げるようにした。多様な分岐比率での明視野像・暗視野像を比較し、

図1



分岐比率と明視野像・暗視野像のコントラストが可視光領域での理論予測通りになるかどうかを検証した。

(2) 既存のマッハツェンダー型X線干渉計が可視光領域でのマッハツェンダー型干渉計と本質的に同等であることが確認できれば、次に時間コヒーレンスを使うX線干渉計を試作し性能評価を行なうことを計画していた。具体的なX線干渉計として図2に示すような光学系を検討していた。このような光学系の干渉計は、研究開始当初には(そして研究期間が終了した現時点でも)実現していない。しかし次世代放射光源として検討されているエネルギー回収型リニアックと共振器型X線自由電子レーザーとの組み合わせを実現するための技術開発要素として優先的に取り上げられており、近未来において最も実現可能性の高い干渉光学系だと考えることができる。

残念ながら研究開始当初には(そして研究期間が終了した現時点でも)時間コヒーレンスのあるX線光源がないので、図2のような光学系を試作しても性能評価はできない。そこで図3のようにC4を薄くし、本来の反射面ではない非対称反射を利用して、C1・C4でLaue反射、C2・C3でBragg反射を利用した

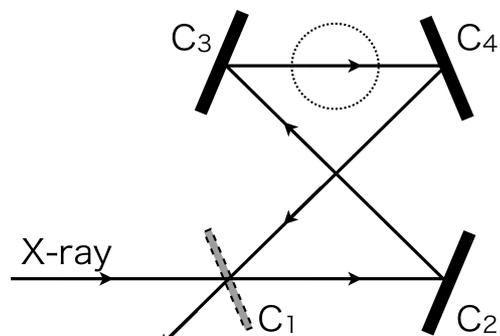
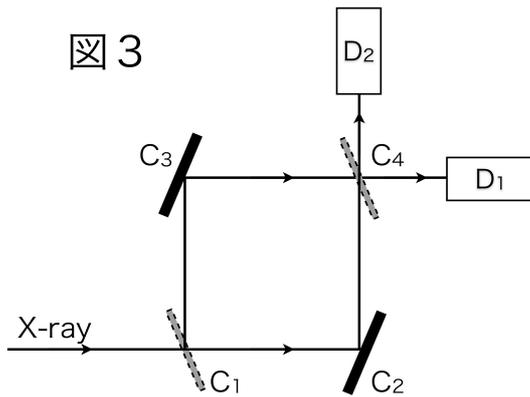


図2

図 3



マッハツェンダー型干渉計として性能評価を行うことを計画していた。その評価結果から時間コヒーレンスを使う X 線干渉計の性能を予測し、無相関計測実現のための技術開発項目を洗い出す予定であった。

(3) 近年実用化された X 線自由電子レーザーや、それから得られる高い空間コヒーレンスを持つ X 線を利用した研究に関する講演の行われる国内外の各種会議・学会・研究会に参加し、時間コヒーレンスを利用した研究提案が本研究以外に行われていないかどうか情報収集を行った。

#### 4. 研究成果

(1) X 線領域のマッハツェンダー型干渉計で第 1 結晶 C<sub>1</sub> での分岐比率を意図的に変化させるにはいくつかの方法が考えられる。高エネルギー加速器研究機構でマッハツェンダー型 X 線干渉計を管理している研究者との相談の結果、手始めに吸収を用いた分岐比率変化による測定を行うことにした。

測定結果は当初の予測通り、既存のマッハツェンダー型 X 線干渉計でも可視光領域でのマッハツェンダー型干渉計で期待される結果と同等の結果を得ることができた。この結果は X 線領域でも無相関計測が可能となるであろうことが実証できたことを示している。しかし同時に、第 1 結晶での分岐比率を 1 : 1 から大きくずらした時に X 線干渉計の安定性が致命的な影響をあたることが発覚した。つまり干渉像が大きく揺らぎ、強度が安定しなかった。干渉像が安定しないということは干渉計が安定していないことを意味する。分岐比率 1 : 1 の時には問題にならない不安定性が顕著に現れ、測定結果に影響を与えたことになる。このような不安定性は被写体 (図 1 点線で囲った白丸) がある光路への分岐比率が下がりきらないことを意味している。これでは当初目的である放射線被曝のない X 線撮像法が実現できるとは言えない。

そこで干渉計の安定性に関する検討を行った。しかし干渉計自身の安定性はすでに光

学台の除振・実験エリアの温度制御 (実験ハッチ内部の恒温化対策)・各種周辺装置の除振処置・光学系周辺の温度均一化 (光学系のみを実験ハッチ内の大気から切り離す温度シールドの設置) など各種安定化対策がなされていた。干渉計周辺の荷重バランスの調整など追加の安定化対策を試みてみたが、いずれも干渉計の安定性をより悪くするだけで改善は見られなかった。これ以上の安定化を行うためには、装置を設置している場所を施設の床から切り離し、遠方からの安定性阻害要因を排除するなどの大掛かりな改造を行う必要がある。施設の床工事を伴うような改造は本研究計画の予算範囲では不可能であり、現時点でこれ以上の研究継続は無理だと判断した。図 2・図 3 で示したような新しい干渉計の試作・評価までには至らなかった。

(2) X 線領域での時間コヒーレンス利用に関して情報を収集するため、研究代表者及び研究協力者 (大学院生) が国内外の各種学会合に参加した。X 線自由電子レーザーの短パルス利用や空間コヒーレンス利用実験の計画や進展の話はあったが、本研究のような時間コヒーレンスを用いる研究提案は見当たらなかった。X 線領域では時間コヒーレンスのある光源がまだ実現していないためではないかと考えている。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕 (計 0 件)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]  
ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩住 俊明 (IWAZUMI, Toshiaki)  
大阪府立大学大学院工学研究科・教授  
研究者番号：90203380

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：