

SPring-8



高速CCD検出器を用いた 骨格筋X線回折実験

八木直人, 井上勝晶, 岩本裕之,
鈴木拓, 岡俊彦¹

SPring-8/JASRI, ¹SPring-8/理研

BL40XUについて

SPring-8のBL40XUはヘリカルアンジュレータを光源とし、垂直水平の2枚の湾曲ミラーで集光を行うビームラインで、モノクロメータを使用せずにアンジュレータの基本波をそのまま準単色光として(実験によっては準白色光として)使用する。アンジュレータからの放射光のうち、中央部水平5マイクロラジアン、垂直15マイクロラジアンを用いることによって、12.4keVの基本波において1.7%のエネルギー分解能を実現している。

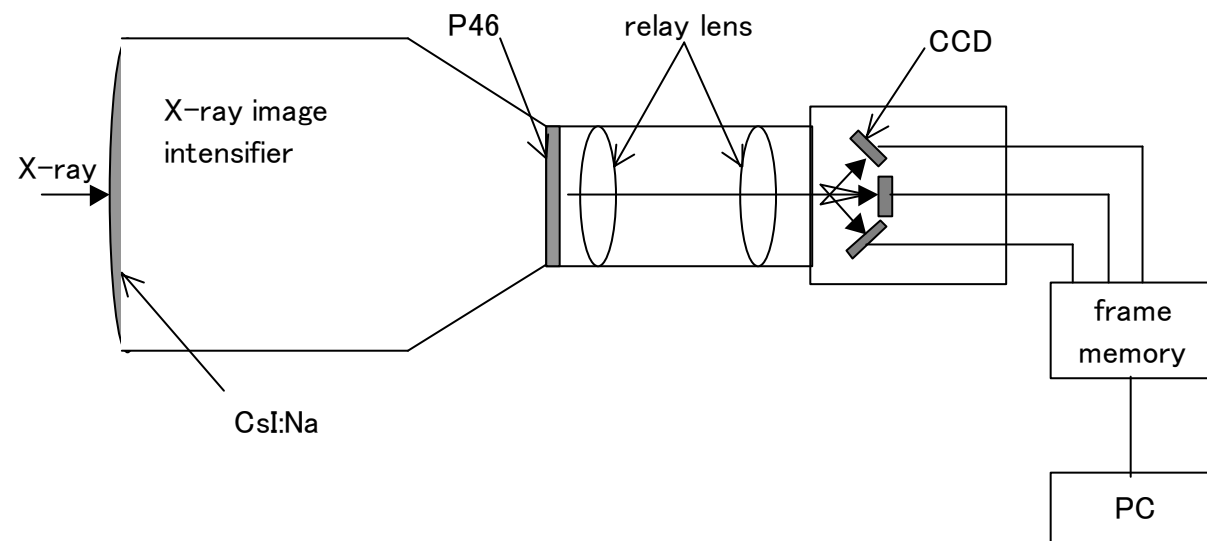
高速X線検出器

筋肉の時分割実験には浜松ホトニクス社製の3板式高速CCDカメラ(C7770)を用いた。このカメラは入射した光をプリズムで3つに分け、3つのCCDで時間をずらしながら読み出すことによって、640×480ピク

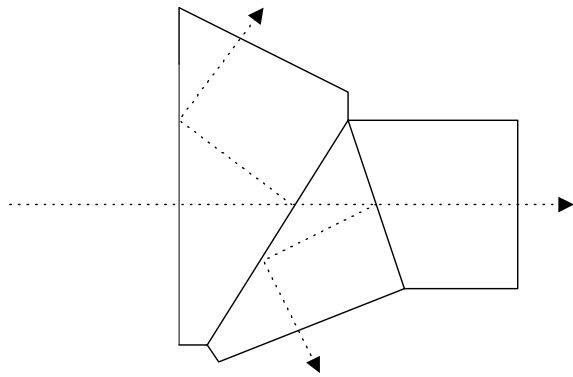
セルのフルフレーム読み出し時に毎秒 290 フレーム (ADC は 10 ビット) という世界にも例のない高速度を可能にしている。さらに 1 画面の走査線数を減少させることにより, 最高で 180 マイクロ秒 (18 ライン) の時分割実験が可能である

入射 X 線を可視化するために 6 インチ Be 窓付き X 線イメージインテンシファイア (浜松ホトニクス V5445P) を用いた。出力蛍光面には高速

Fast CCD camera

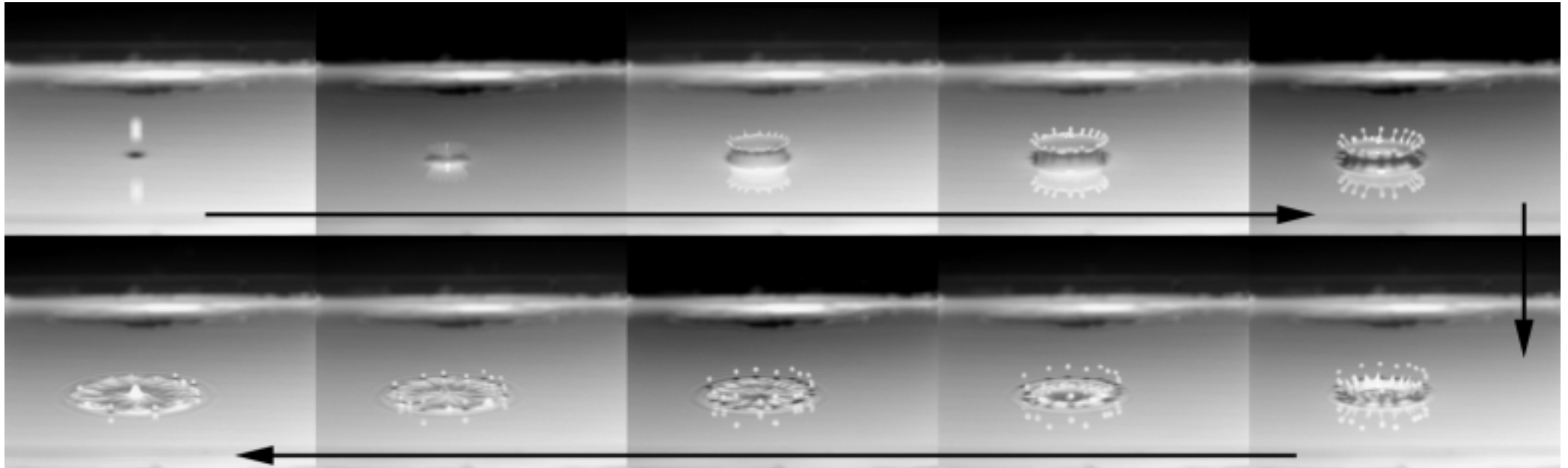


シンチレーターである P46 を使用している。P46 蛍光体は P43 蛍光体に比べて発光光量は約半分であるが, 1 ミリ秒の時間分解能でも残光はほとんど観察されない。



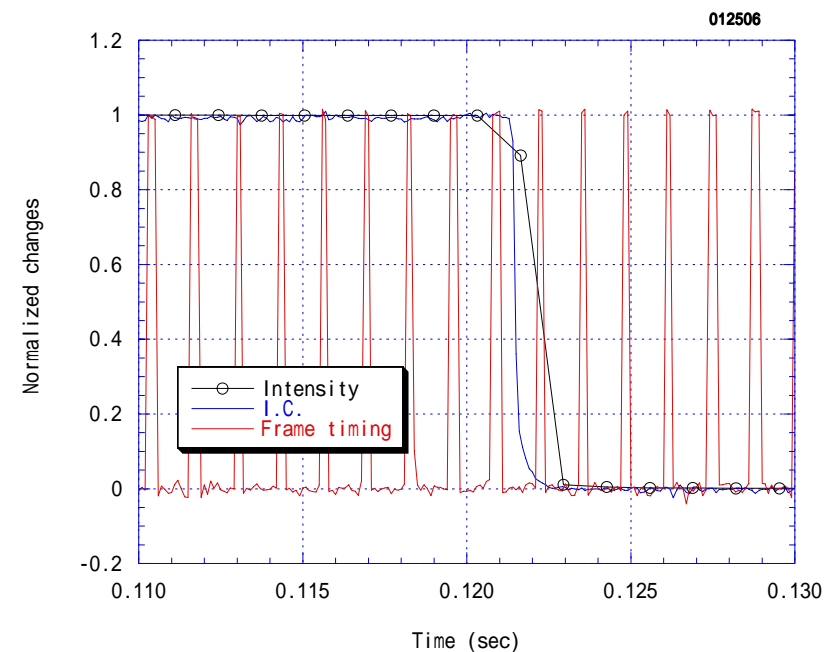
プリズム部分の拡大図
光の3分割の光路を示す(株)浜松ホトニクス提供)

牛乳を用いた液滴の落下実験 (株)浜松ホトニクス提供)



P46 蛍光体の残光特性

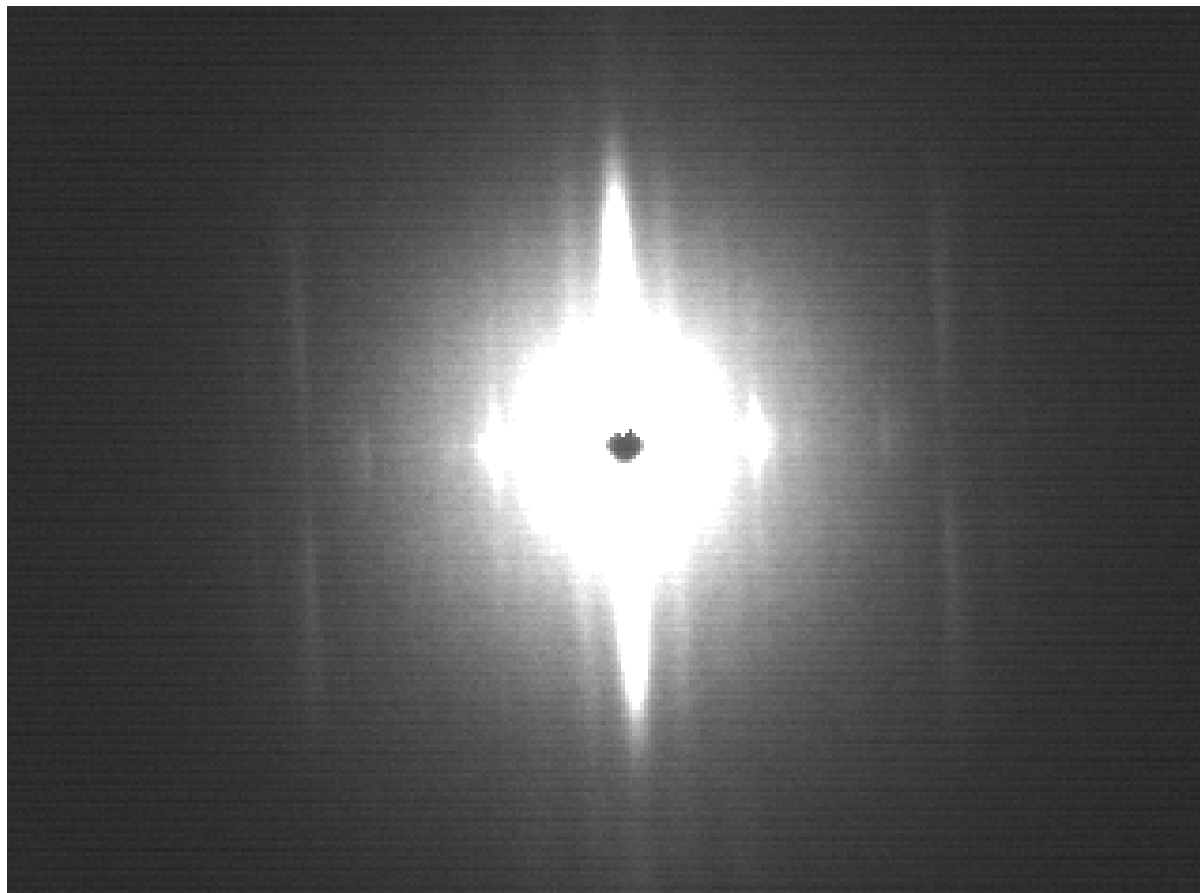
X 線シャッターを瞬時に閉めたときの強度変化。丸は CCD で C7770 で測定した強度で、ほぼ 1 ミリ秒で減衰する。若干残光が見られるが、これは照射していた X 線の強度が CCD が飽和する強度の 10 倍以上であることを割り引いて考える必要がある。



筋肉の X 線回折実験

BL40XU のフラックスは約 1×10^{15} cps ときわめて高く試料の放射線損傷が予想されるため、まず X 線エネルギーを 8keV から 15keV まで変えて筋肉の損傷の程度を比較したところ、エネルギーを高めにしたほうが損傷が少ないことが分かり、多くの実験では基本波のピークエネルギーを 15keV とした。この条件でのエネルギー分解能は 3%程度である。

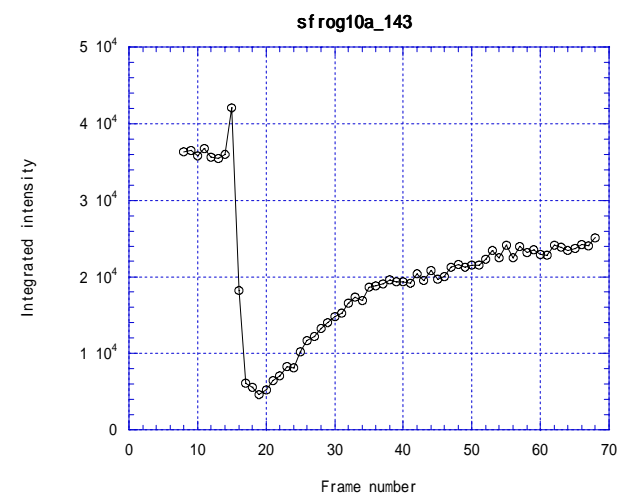
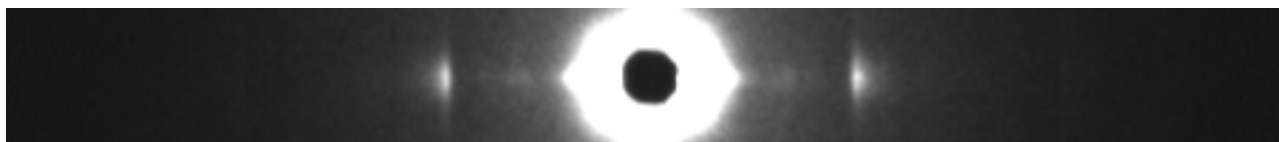
筋肉の X 線損傷を防ぐために，必要に応じて X 線露出中に試料を高速で移動して，試料上で X 線の照射する部分を変えながら実験を行った。カエルの筋肉は X 線ビーム(X 線損傷を防ぐために集光をゆるめて約 0.2mm 角の大きさとした)に比べて十分大きいので，これによって X 線損傷を大幅に低減できる。具体的には，試料セルを毎秒 10 cm の速度で下降するステージに載せ，試料セルの窓が X 線ビームをよぎる時に X 線強度変化を記録した。



右上はフルフレームで記録した、露光時間 3.4 ミリ秒のアカガエル縫工筋の X 線回折像である (12.4keV, カメラ長 2 m)。5.1nm アクチン層線までの反射を記録することが可能である。これは従来の小角散乱ビームラインと比較して 100~1000 倍の X 線強度である。

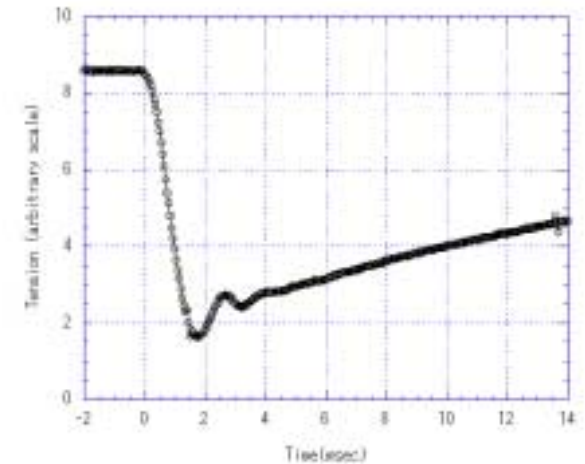
下は走査線数を 72 ラインに設定し、520 マイクロ秒の露光時間で記録した収縮中の子午線部分の回折像である。14.3nm ミオシン子午線反射が明瞭に観察される。14 フレームと 15 フレームの間で筋肉を急速に緩めた時のこの反射の強度変化を示したのがその右の図である。大きな強度低下が 1 ミリ秒以内にかかること、強度低下の直前に強度が増加する相があることが明らかになった。

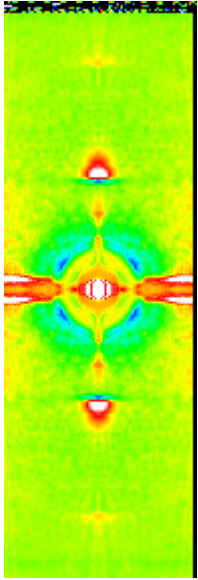
このデータは 1 回の収縮で得られたものであ



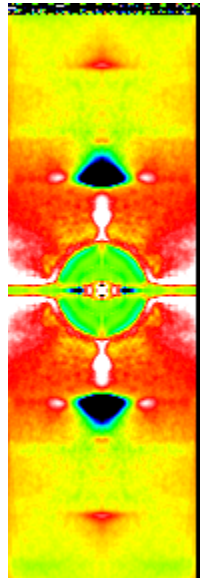
り，何の平均操作も行っていない。

さらに詳しい検証を行った実験の結果を下に示す（15.0keV，カメラ長3m）。時間0に筋肉に急速な長さ変化（1%/msec）を加えた。張力は右下の図のように急速に低下する（図中の振動はトランスデューサに由来する）。下はこのときの回折像の変化で，10の筋肉の合計80回の収縮実験のデータを加算した。14.3nm ミオシン子午線反射以外の反射の強度変化も確認できる。これらの結果は，張力変化時のミオシン分子の形態変化が単なる傾きの変化ではないことを示している。

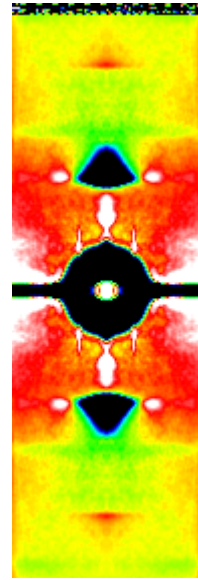




1 と-2 の差分



2 と-2 の差分



(青/黒が減, 赤/白が増)

3 と-2 の差分