

SPring-8 BL20B2における 分光結晶の冷却方式の改善

福居 知樹^{1,2}、青山 光輝^{1,2}、上杉健太郎¹、鈴木 芳生¹

¹JASRI/SPring-8, ²スプリングエイトサービス(株)



はじめに

SPring-8 BL20B2は偏向電磁石を光源とする、硬X線領域でのイメージング技術の研究開発を目的としたビームラインである。X線イメージングでは高い均一性をもった幅の広いビームが必要とされるため、光学素子は分光結晶のみ設置されている。分光器はSPring-8標準型の二結晶分光器を採用している。分光結晶の冷却は間接冷却型であり、水冷した銅ブロック(以下結晶ホルダー)と分光結晶の間にIn-Gaを塗布し熱接触させている。

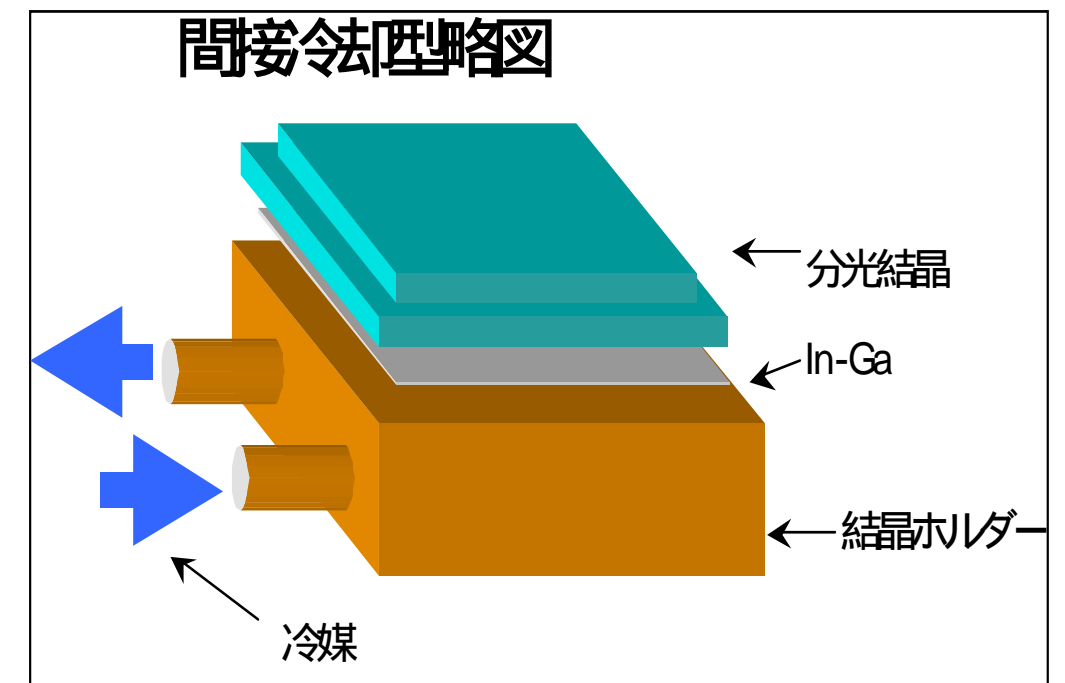
最大サイズのビームを用いる時、分光結晶位置で横幅55mm程度の開口となり、分光結晶にかかる熱負荷が非常に高い(最大で200W程度)。従来の冷却方式では冷却が十分行えず分光結晶に熱歪みが生じ、反射率の低下、ビームの不均一性が生じる。このことで有効視野の減少等を引き起こし実験に支障をきたす。

以上のような理由から冷却効率を向上させ、熱歪みを軽減する必要がある。

冷却効率を向上させるには、分光結晶に冷媒が直接接触する直接冷却型が有効であるが、分光結晶を取り付ける際に生じる歪み、冷媒による振動等の問題がある。このためBL20B2では間接冷却型での改善を試みた。

改善としては以下のような対策が有効であると考えられる。

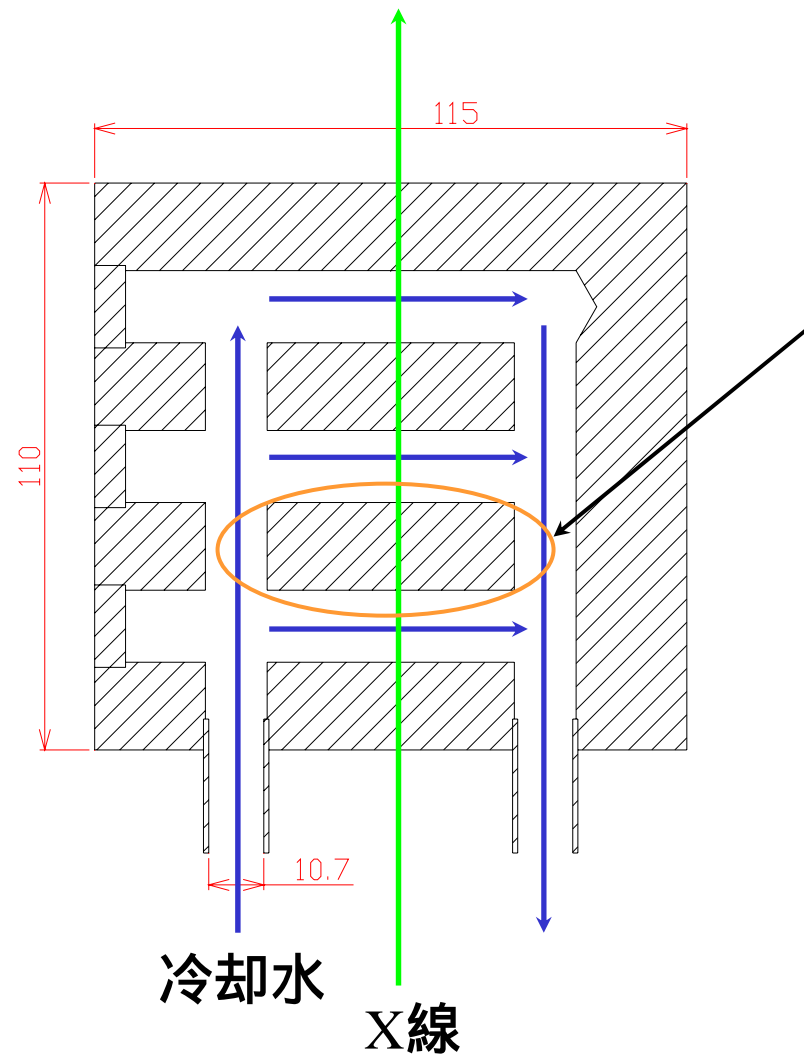
- a. 結晶ホルダーの冷却効率の向上
- b. In-Gaの熱接触の向上
- c. 冷媒の熱伝導率の向上



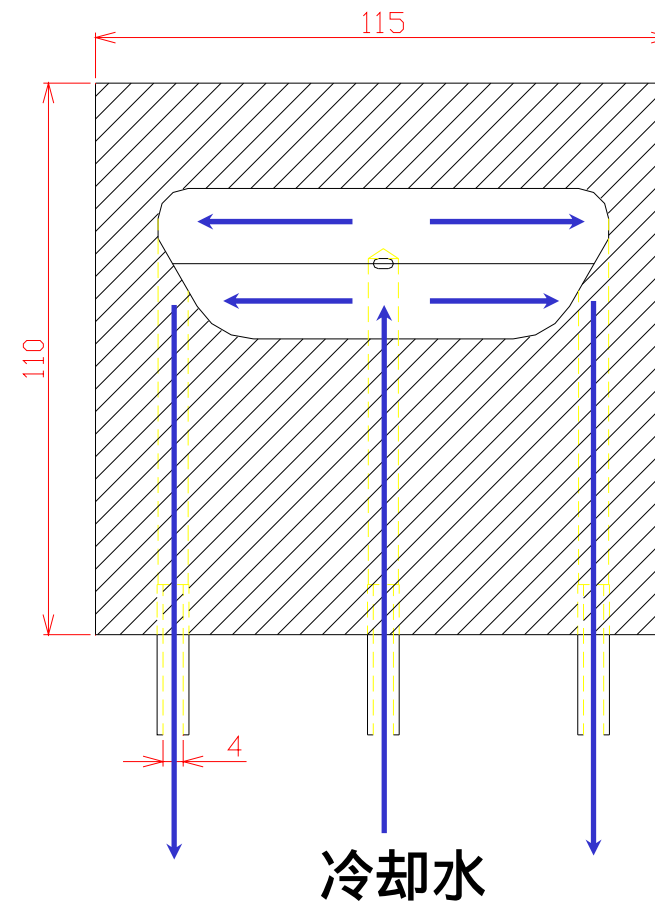
今回の対策ではa.に的を絞り、結晶ホルダー内部の冷却水路を見直し、冷却効率の向上を図った。

結晶ホルダー水路概要

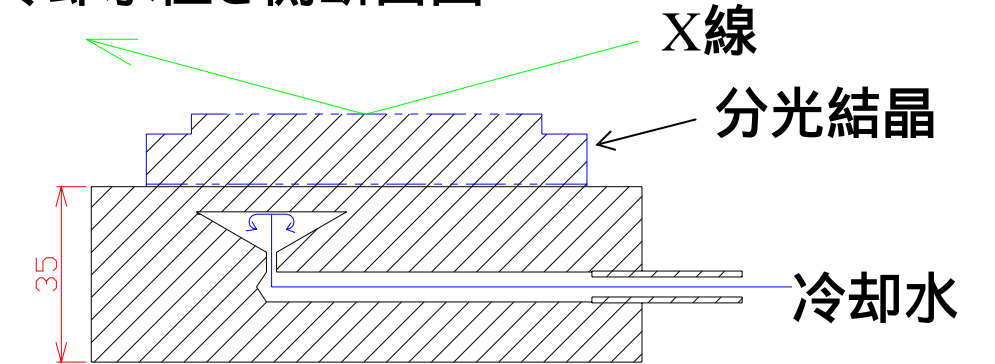
従来の水路



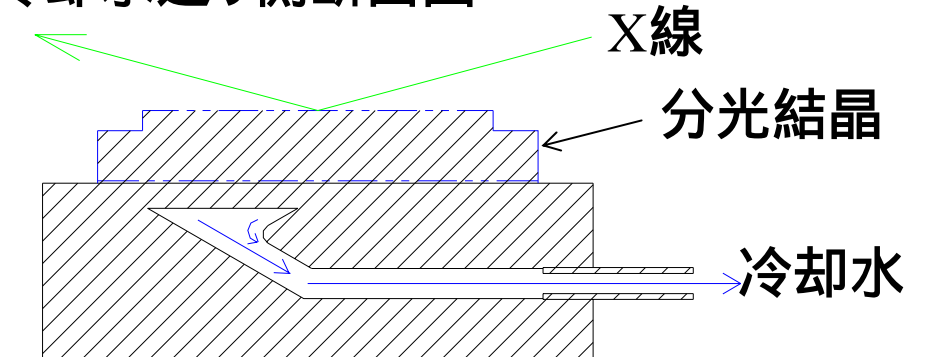
新設計の水路



冷却水行き側断面図



冷却水還り側断面図



考えられる問題点

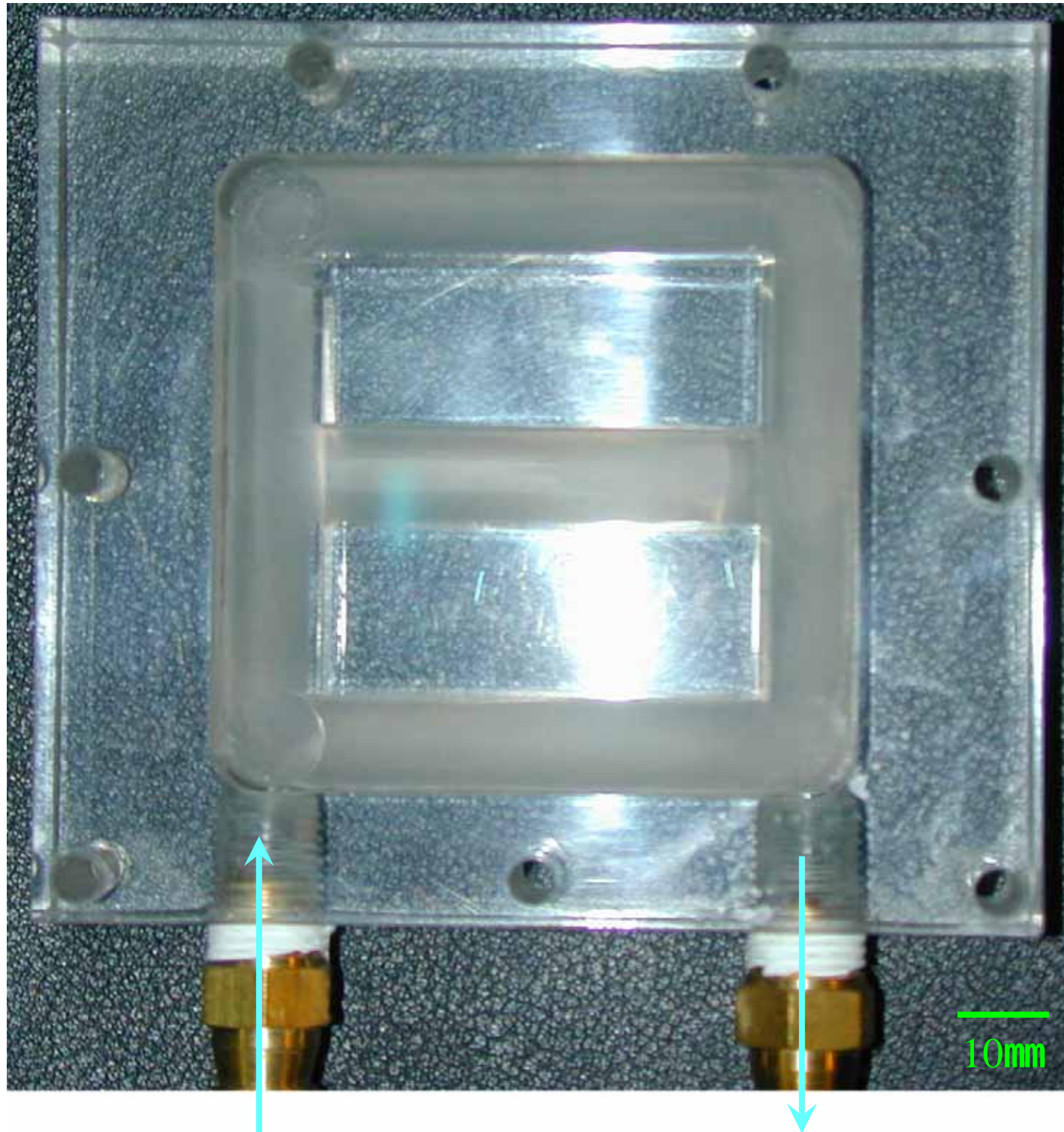
- ・ 構造上、結晶ホルダー上面の冷却水行き側と還り側で温度差が生じやすい。
- ・ の部分だけで独自に冷却水が循環してしまい全体での循環がうまく行えていない。

改善点

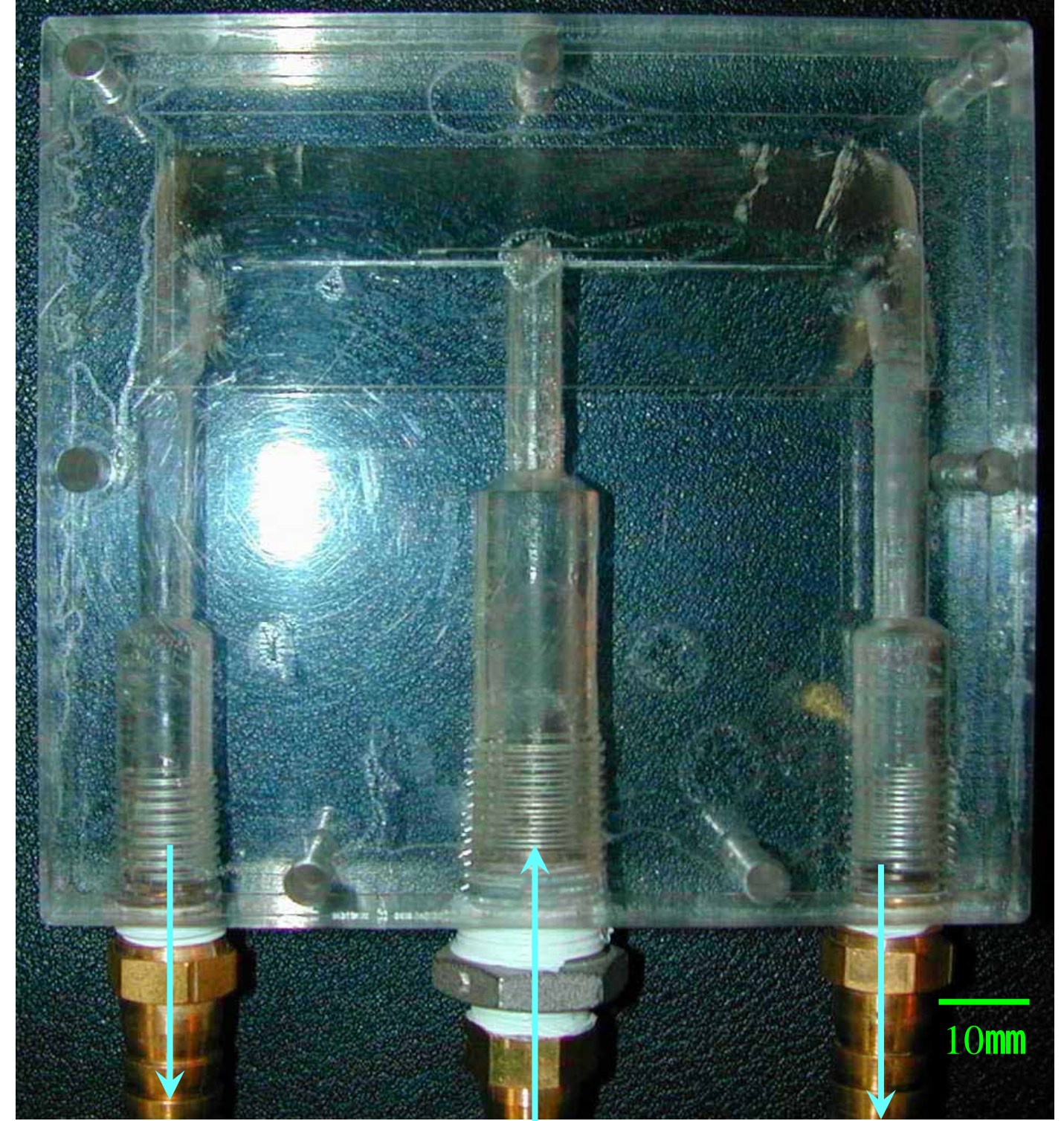
- ・ 左右での温度差を生じさせないために冷却水路を対称配置にした。
- ・ 最も熱負荷が高くなると思われる場所に勢いよく冷却水を吹きつけ、渦状の乱流を起こすことで冷却効率の向上を図った。
- ・ 冷却水による振動を抑えるため屈曲（エッジ）を少なくし、冷却水の結晶ホルダー導入部の水路内径を小さくした。

． 模型による冷却効率、振動評価

新設計の結晶ホルダーの冷却効率、振動を評価するために、従来の結晶ホルダーと新設計の結晶ホルダーの模型を製作した。模型は冷却水の流れ方が目視で確認できるようにアクリルで製作。



従来の結晶ホルダー模型

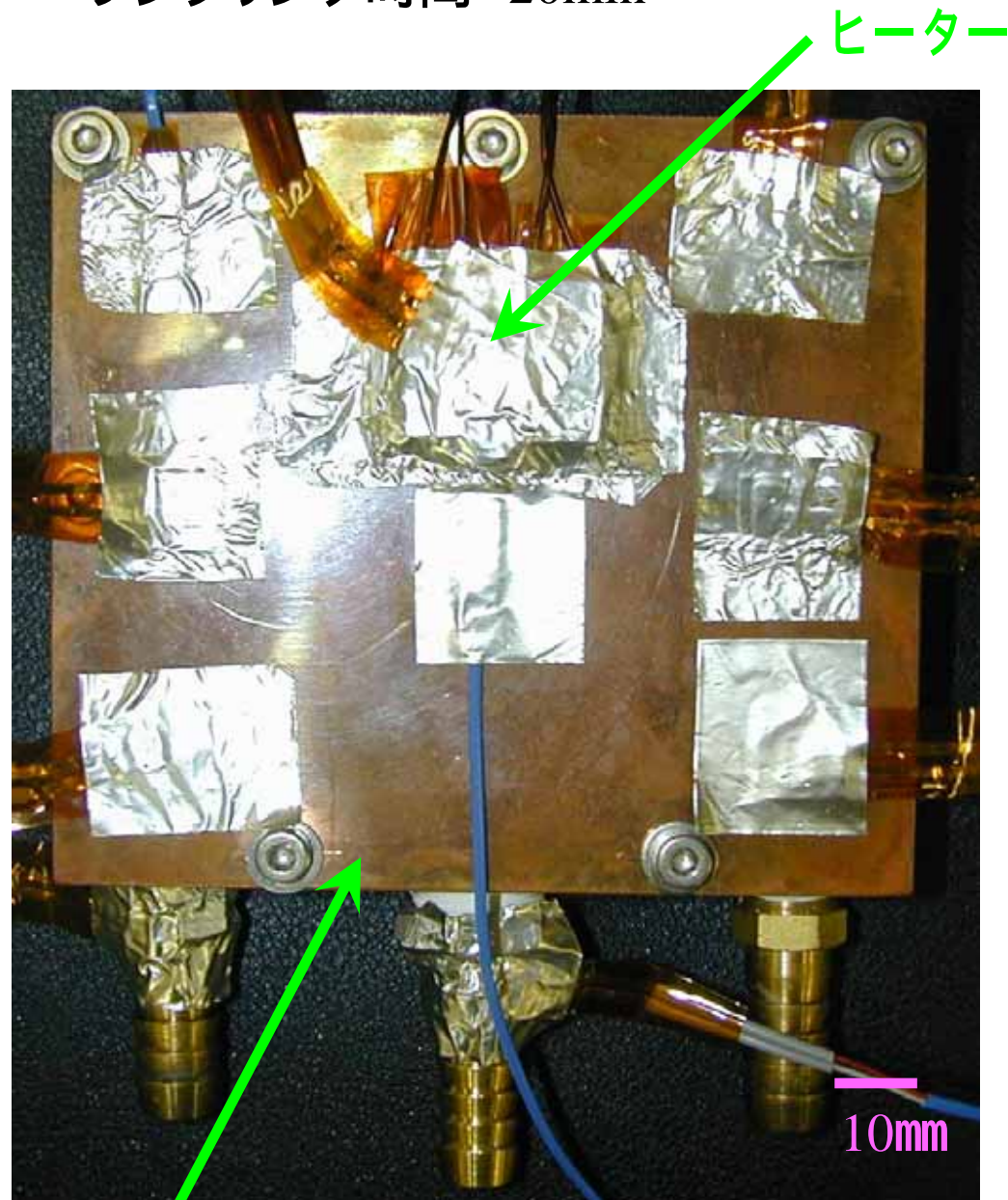


新設計の結晶ホルダー模型

- a. 結晶ホルダー表面の温度分布

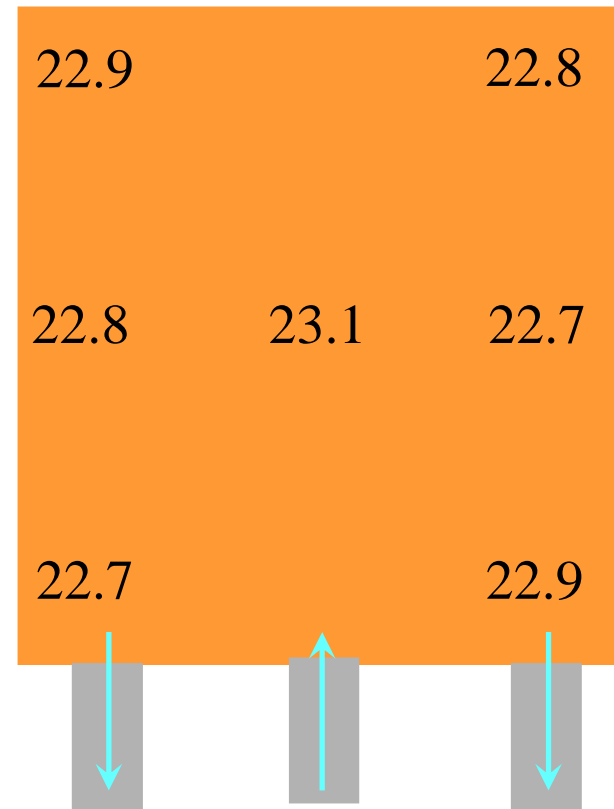
結晶ホルダー表面の温度分布の比較を行うため、ヒーターを最も熱負荷が高くなると思われる場所に設置し各点を測定した。温度センサーはK熱電対を用いた。

条件: ヒーター 100
 冷却水温度 20
 冷却水流量 2L/min
 サンプル周期 1s
 サンプル時間 20min



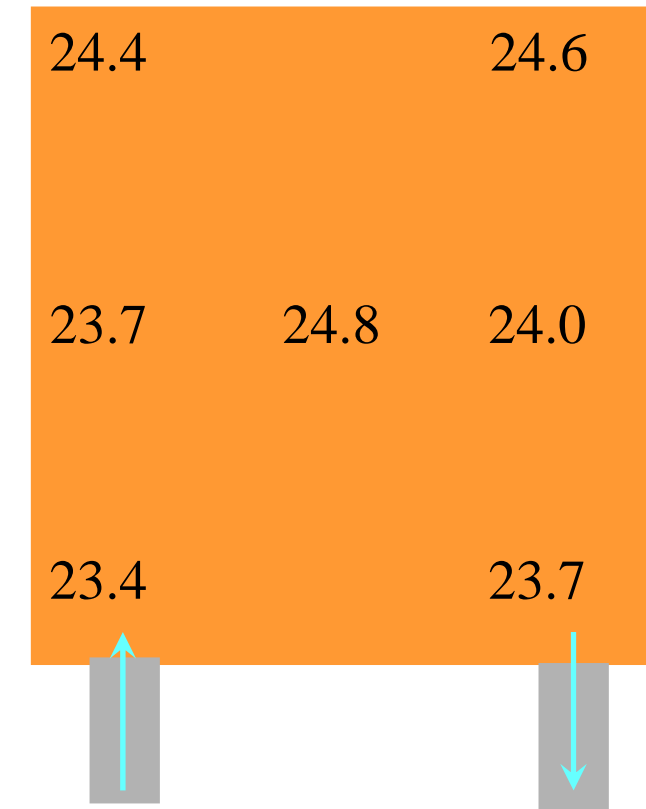
銅板 t=5mm

新設計の結晶ホルダー



各部の標準偏差は0.06

従来の結晶ホルダー



各部の標準偏差は0.04

ヒーター100 では左右での非対称性は確認できなかったが、冷却効率が向上した。従来の結晶ホルダーで新設計の結晶ホルダーと同じ温度まで冷却するには冷却水流量を5L/minまで増加させる必要があった。冷却水の銅板との接触面積は新設計結晶ホルダーで約2500mm²なのに対し、従来の結晶ホルダーは約3158mm²である。同じ温度に冷却した時での流量差と面積比の関係から冷却効率が約3倍向上した。

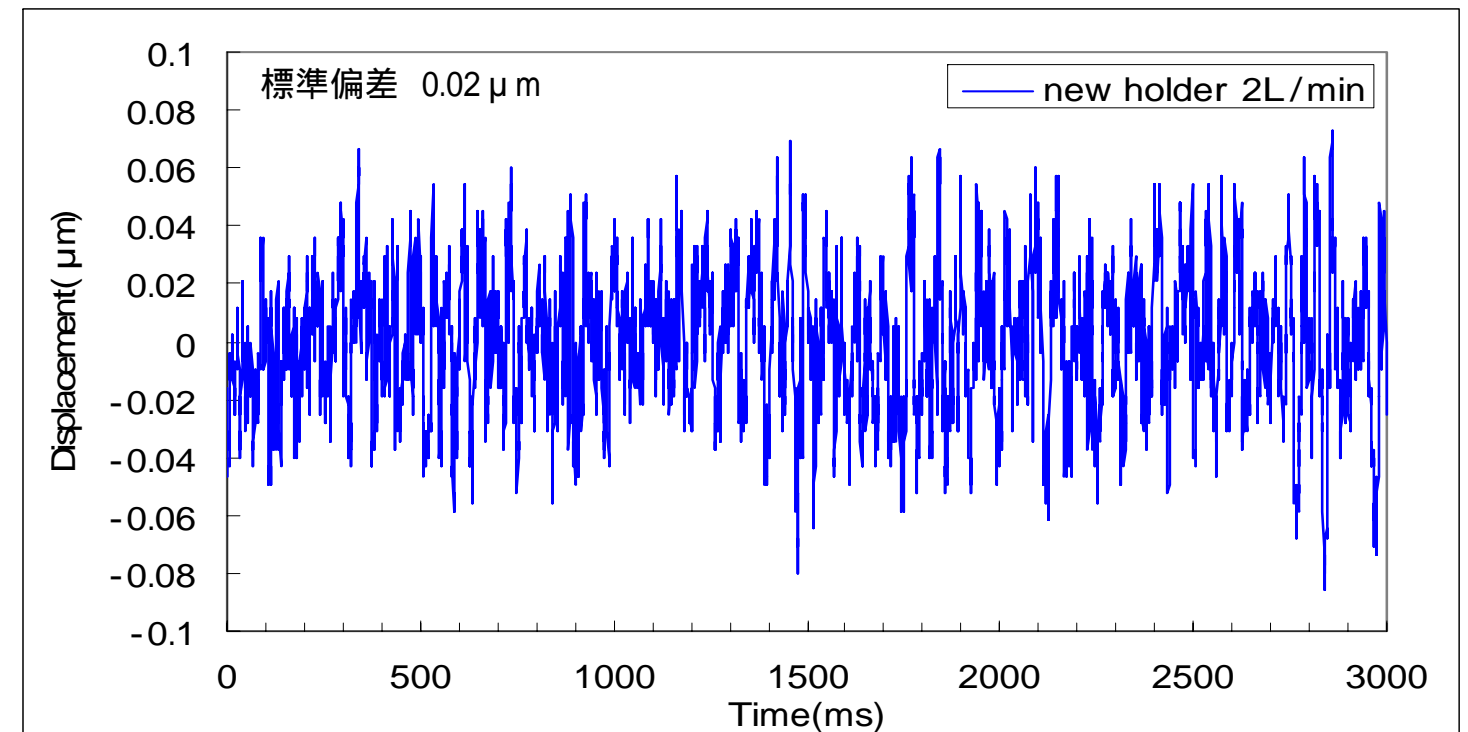
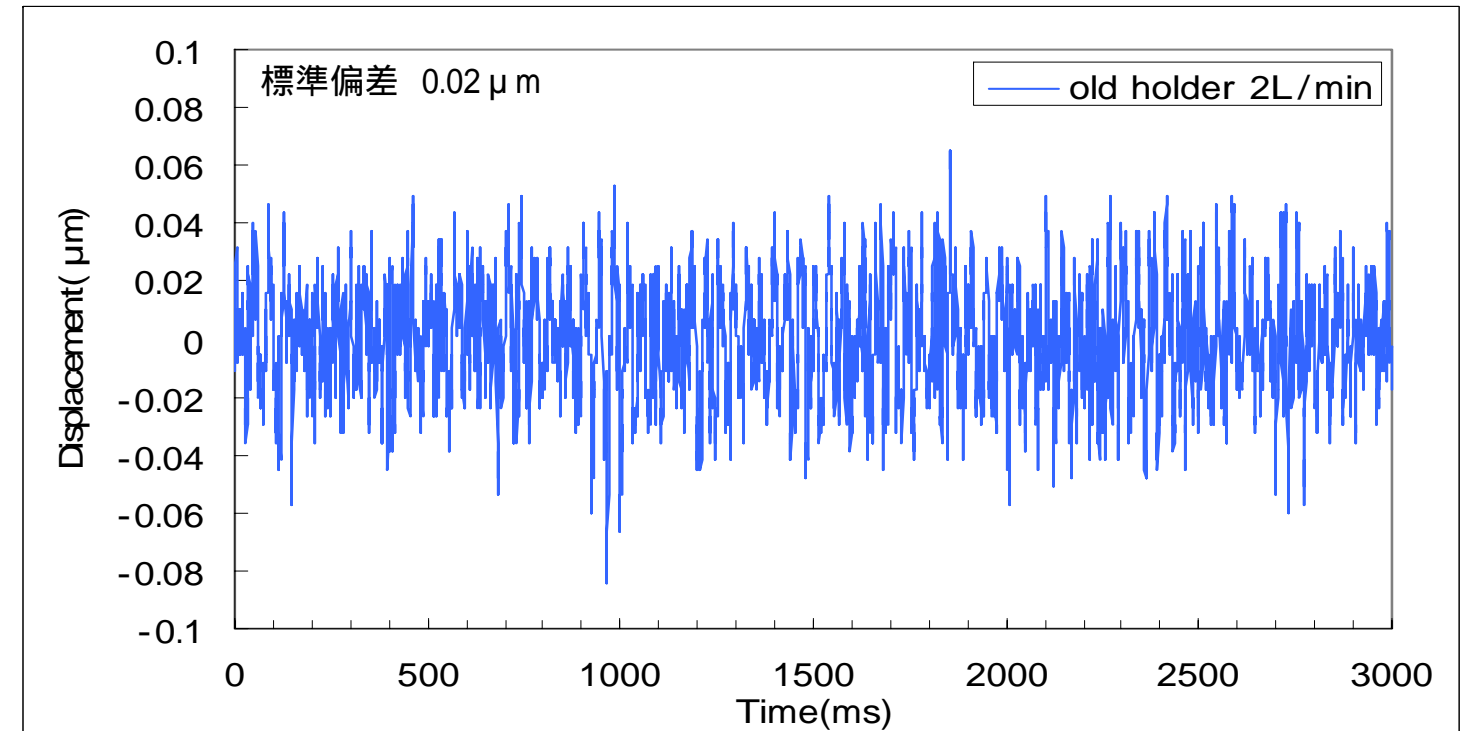
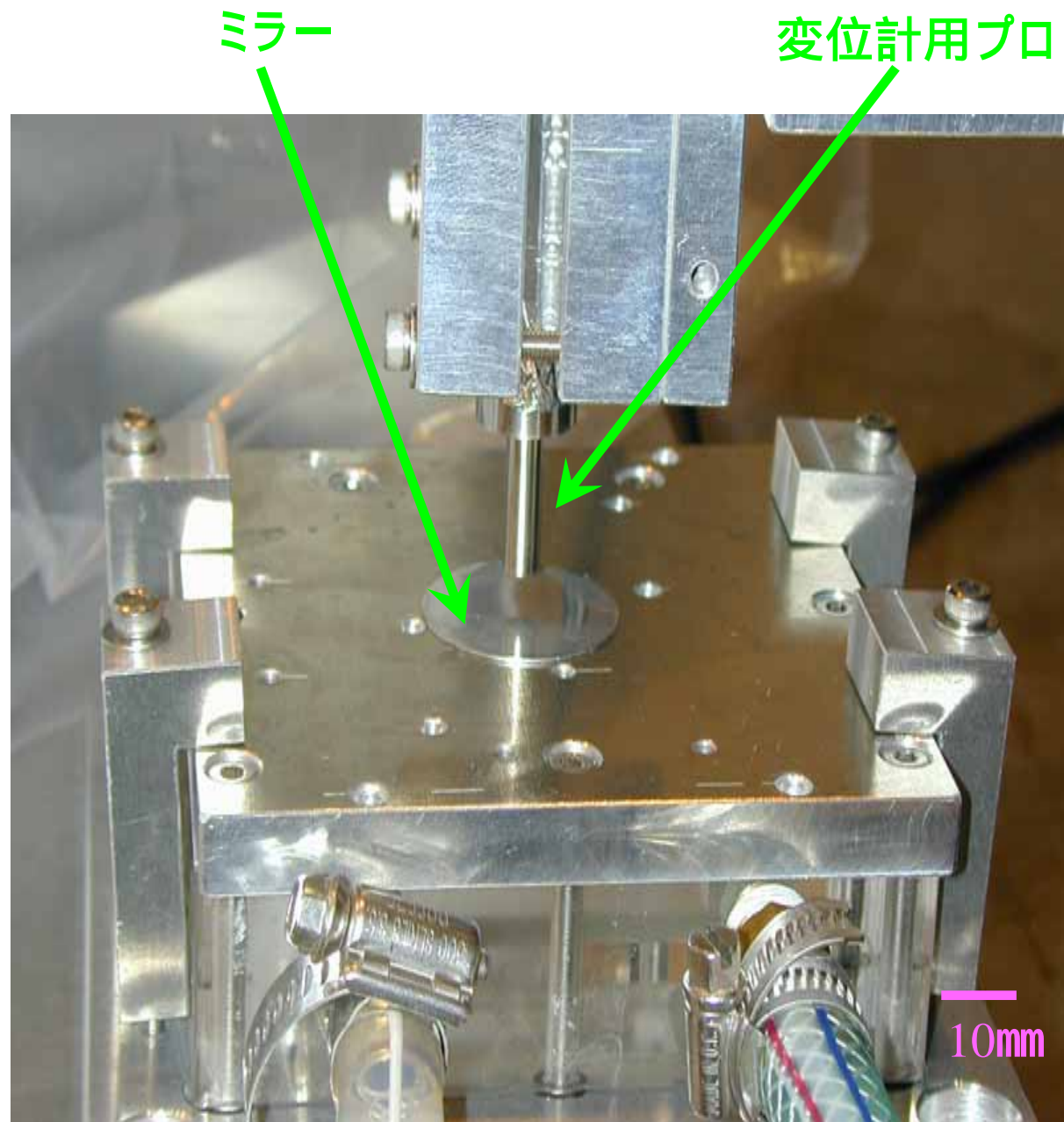
- b. 振動による結晶ホルダー表面の変位

冷却水による振動を測定するため、結晶ホルダー表面の変位を測定した。変位計は岩崎通信機器(株)のST3511、変位計用プローブは同社のST-0532Aを使用した。

条件: サンプル周期 2kHz

サンプル時間 3sec

冷却水流量 2L/min



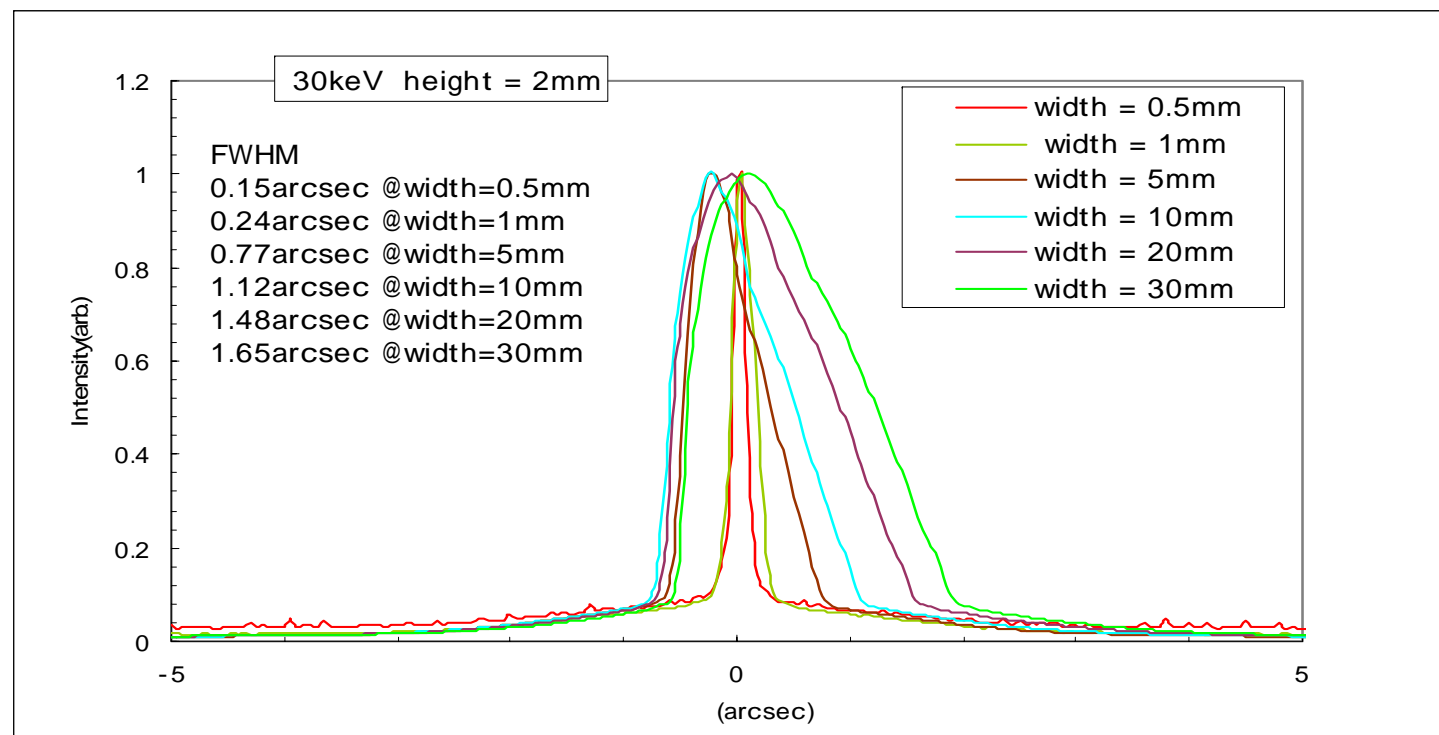
従来の結晶ホルダーのPeak to peakが約0.10 μm なのに対し、新設計の結晶ホルダーでは約0.12 μm となった。しかし標準偏差は同じであるため振動が増加したとは考えにくい。

X線照射時における冷却効率の評価

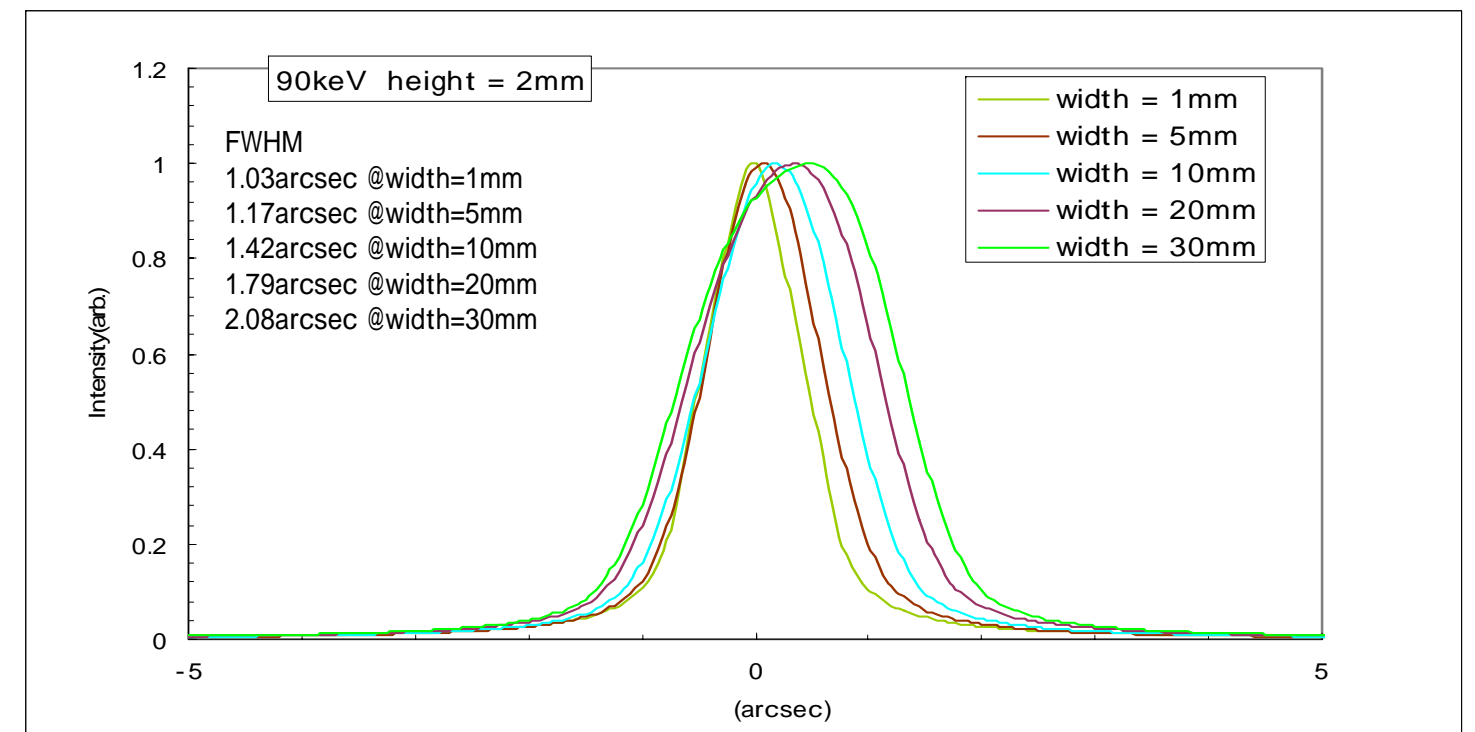
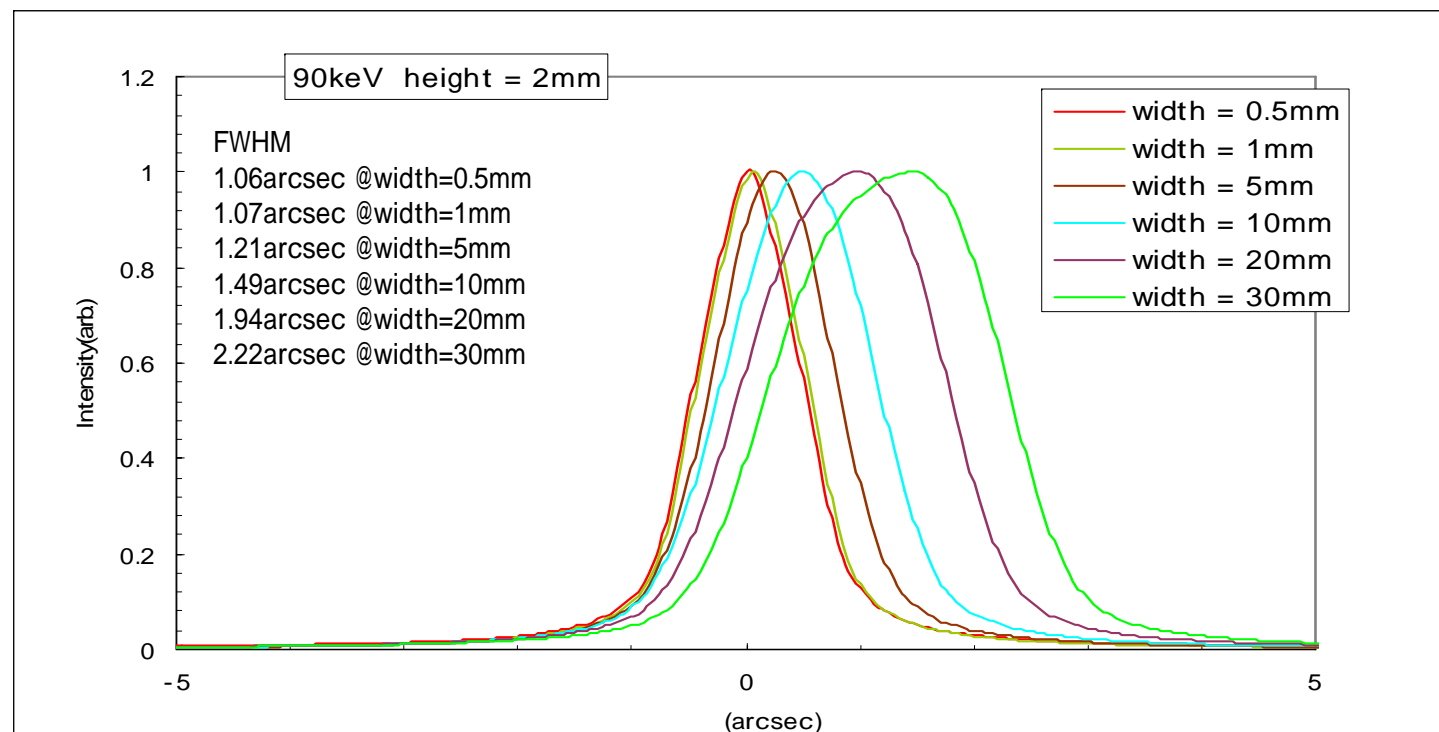
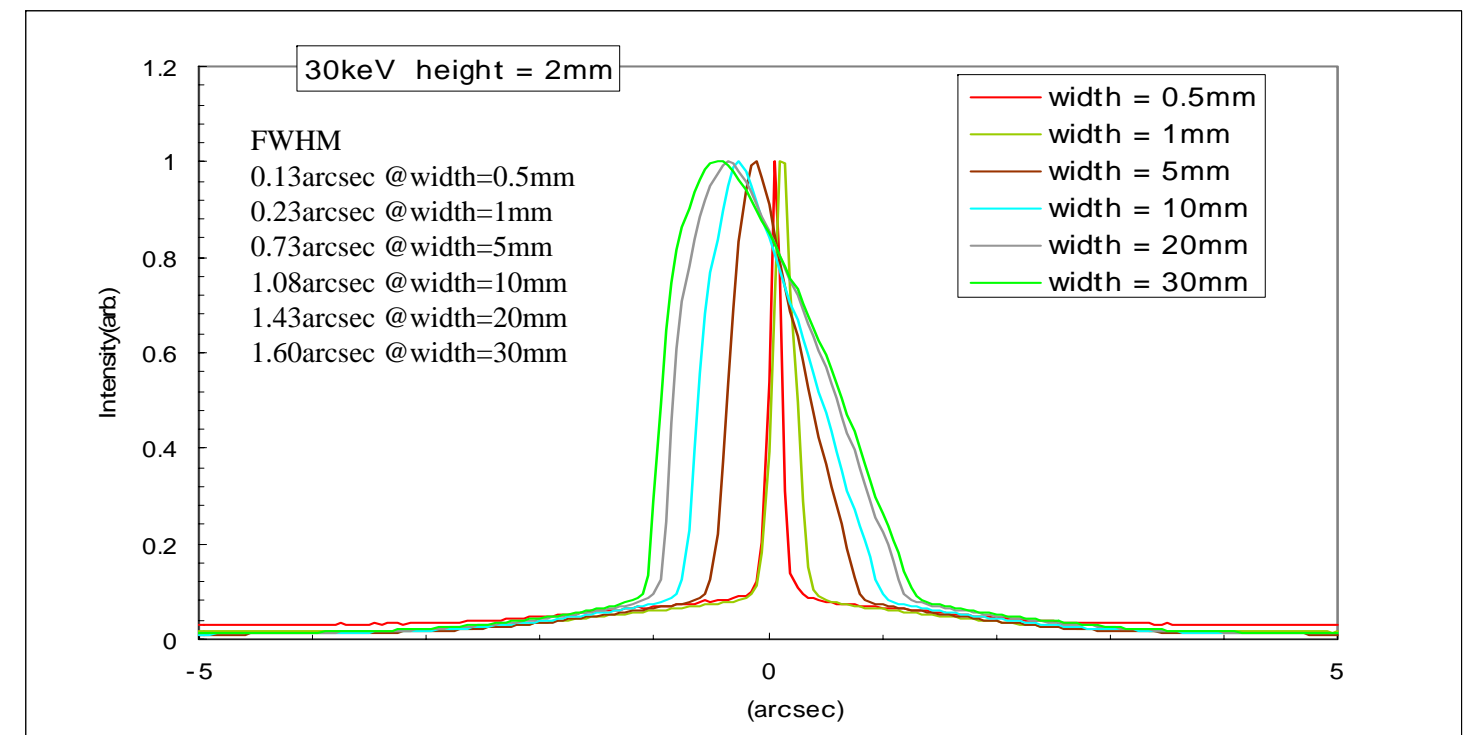
- a. 各ビームサイズのRocking curve測定

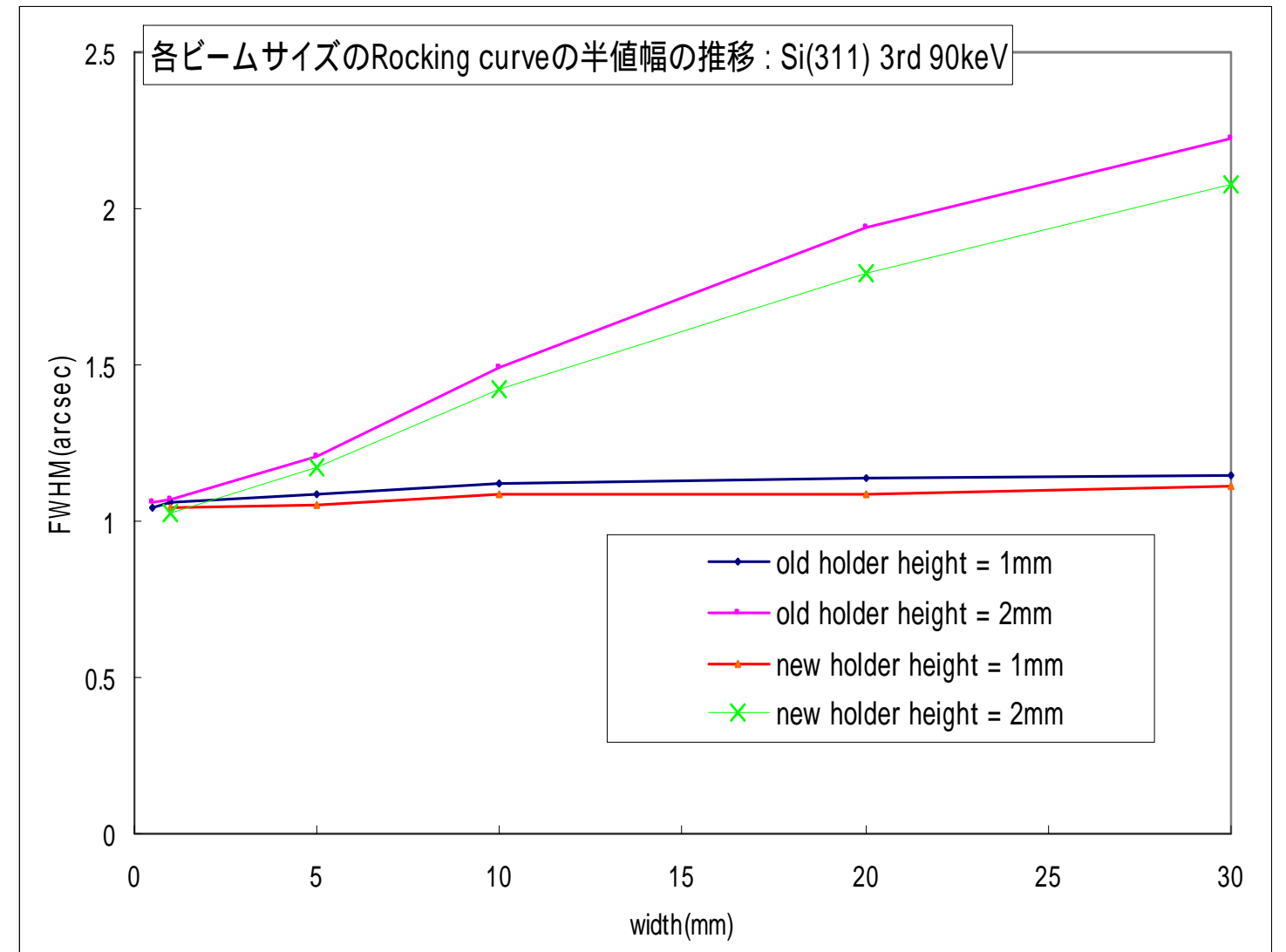
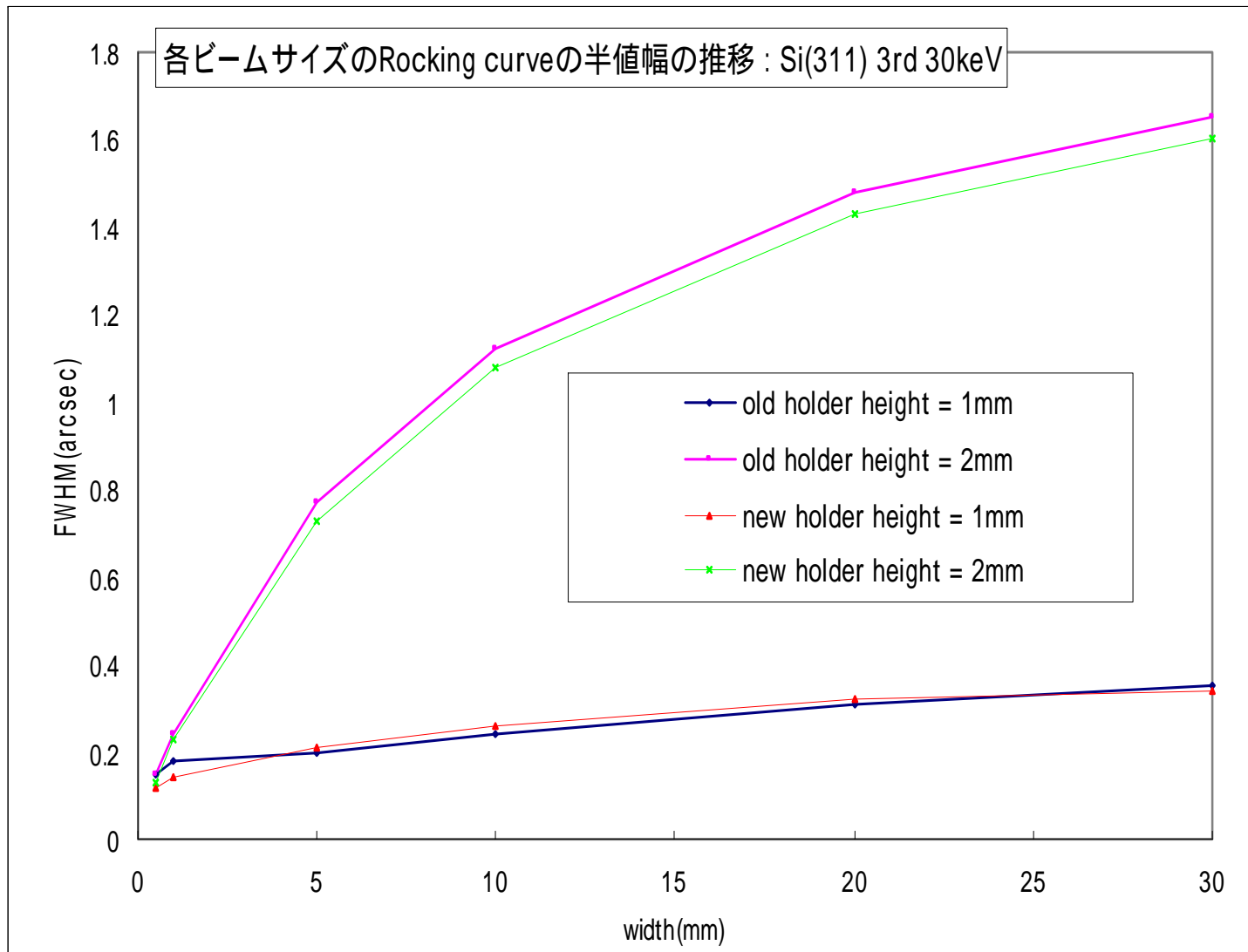
ビームの大きさによる熱歪みの影響を測定するためrocking curve測定を行った。X線強度の測定はイオンチェンバー (Ar 0.1MPa) を用いた。イオンチェンバーの前にはAl板 (Si(311) 10keV: Al 1mm, Si(311) 30keV: Al 20mm) を設置し、一次光をほぼ100%減衰し三次光を測定した。このときのBragg angleはそれぞれ22.27deg (10keV)、7.24deg(30keV)であった。

old holder



new holder





Si(311) 3rd 30keV

width (mm)	¹ old holder height = 1mm FWHM (arcsec)	² new holder height = 1mm FWHM(arcsec)	2 - 1(arcsec)	³ old holder height = 2mm FWHM(arcsec)	⁴ new holder height = 2mm FWHM(arcsec)	4 - 3(arcsec)
0.5	0.15	0.12	-0.03	0.15	0.13	-0.02
1	0.18	0.14	-0.04	0.24	0.23	-0.01
5	0.2	0.21	0.01	0.77	0.73	-0.04
10	0.24	0.26	0.02	1.12	1.08	-0.04
20	0.31	0.32	0.01	1.48	1.43	-0.05
30	0.35	0.34	-0.01	1.65	1.6	-0.05

Si(311) 3rd 90keV

width(mm)	¹ old holder height = 1mm FWHM (arcsec)	² new holder height = 1mm FWHM(arcsec)	2 - 1(arcsec)	³ old holder height = 2mm FWHM(arcsec)	⁴ new holder height = 2mm FWHM(arcsec)	4 - 3(arcsec)
0.5	1.04			1.06		
1	1.06	1.04	-0.02	1.07	1.03	-0.04
5	1.09	1.05	-0.04	1.21	1.17	-0.04
10	1.12	1.09	-0.03	1.49	1.42	-0.07
20	1.14	1.09	-0.05	1.94	1.79	-0.15
30	1.15	1.11	-0.04	2.22	2.08	-0.14

半値幅が平均0.05arcsec狭くなり冷却効率の改善が確認できた。熱負荷が高いほどより顕著に効果が現れる。

- b. 300mm wide beamのprofile測定

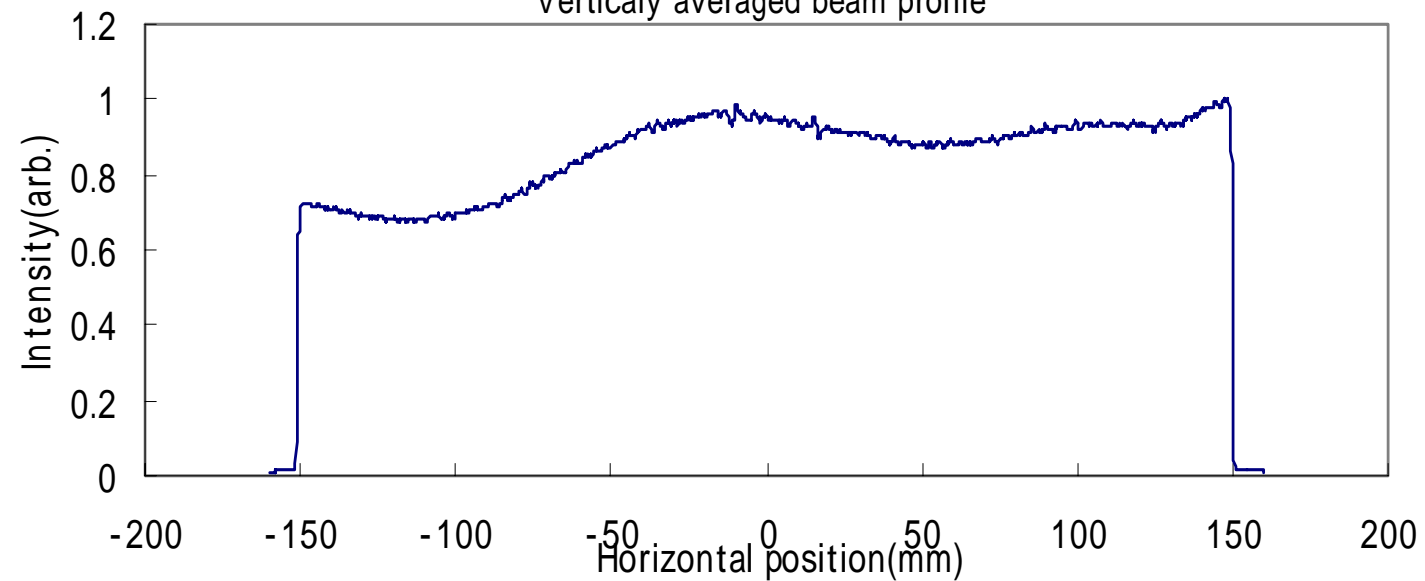
imaging plateを使用しビームの均一性を測定した。図は光源から201mの位置での beam profile。このときのエネルギーは20keV、露光時間は0.1sで測定した。

old holder

Direct beam image



Vertically averaged beam profile

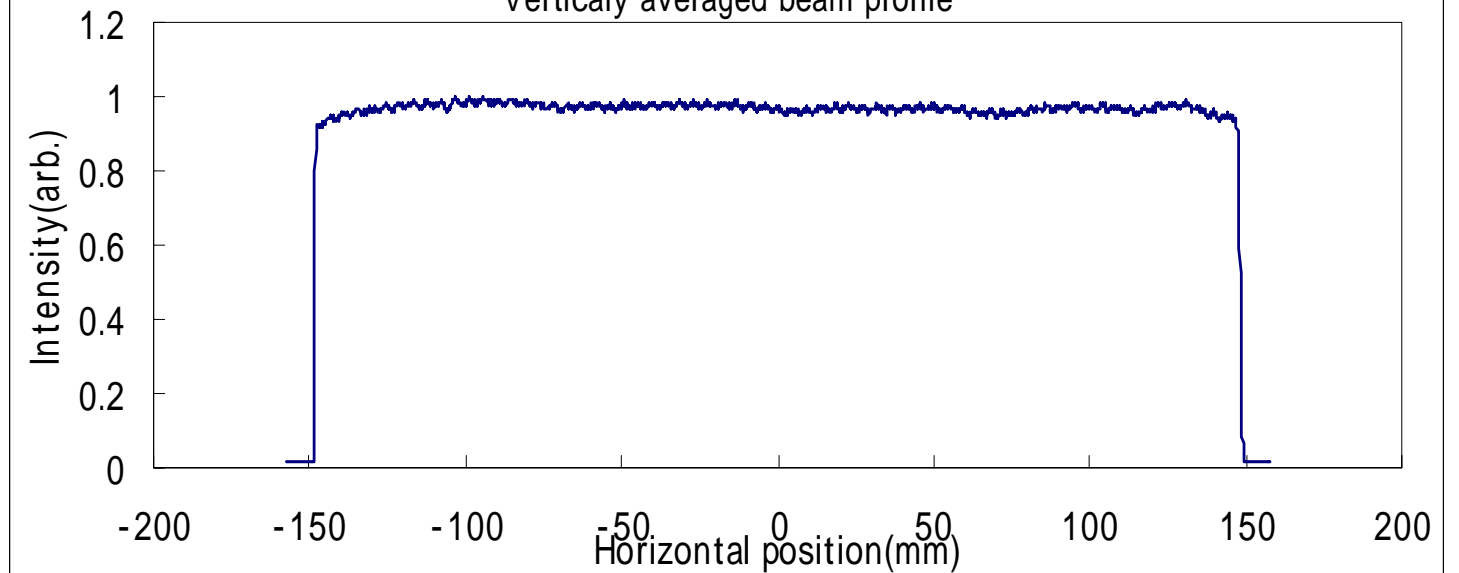


new holder

Direct beam image



Vertically averaged beam profile



冷却効率の向上により熱歪みが軽減され、均一性の向上が確認できた。

まとめ

.モデルによる評価

- a. 温度分布測定

従来の結晶ホルダーに比べ冷却効率が約3倍向上した。

- b. 振動測定

水路変更に伴う振動の増加はみられない。

.X線照射による評価

- a. Rocking curve測定

半値幅が平均で0.05arcsec狭くなった。

- b. 300mm wide beamのprofile測定

ビーム断面の均一性の向上が示された。

今後の課題

In-Gaの熱接触の改善、冷媒の熱伝導率の向上を試みる。