

# 位相計測

---

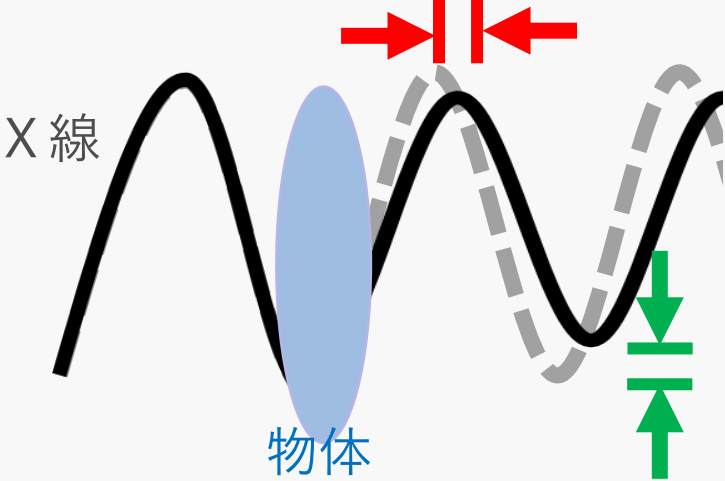
亀沢知夏<sup>1)</sup>, 杉山弘<sup>1)</sup>, 平野 馨一<sup>1)</sup>, 米山明男<sup>1,2)</sup>,

1) 高エネルギー加速器研究機構, 2) 佐賀LS

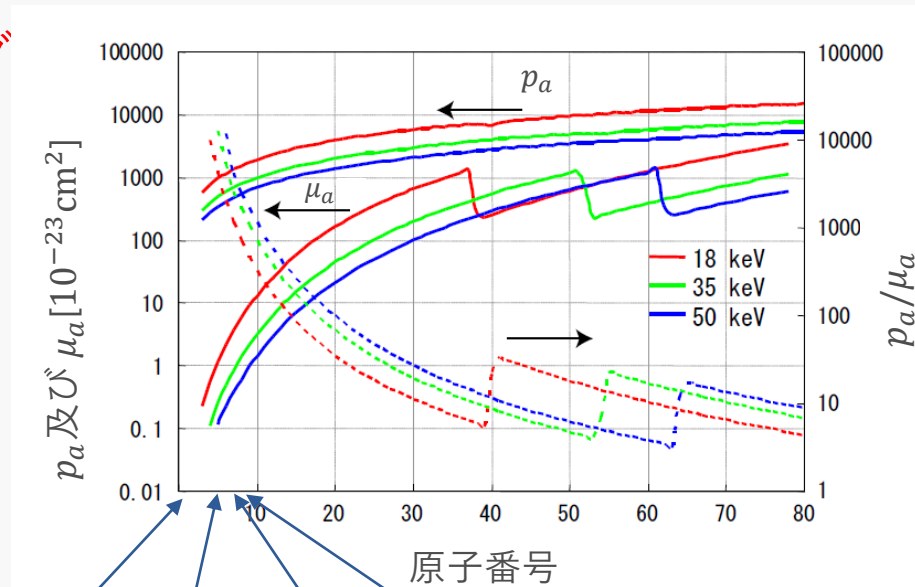
# 位相計測グループ：「位相計測」をキーワードとした主にX線イメージングのグループ

位相シフトに関する量： $p_a = r_e(Z_j + f'_j)$   
 吸収に関する量： $\mu_a = 2\lambda r_e f''_j$

位相シフト：  
 位相コントラストイメージング



振幅の減衰：  
 吸収コントラストイメージング



H 10% C 23% N 2.6% O 64% 人体の体重に対する重量

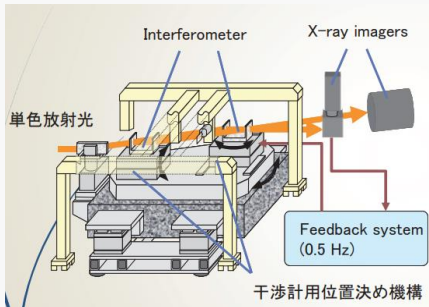
吸収差を可視化する従来のイメージング法に比べ、特に軽元素試料に対して高いコントラストが得られます

菊田惺志, X線散乱と放射光科学基礎編, 2011  
 米山明男, 博士論文, 2005

通常のX線画像検出器は、X線の強度しか検出することができない  
 →位相シフト検出に工夫が必要

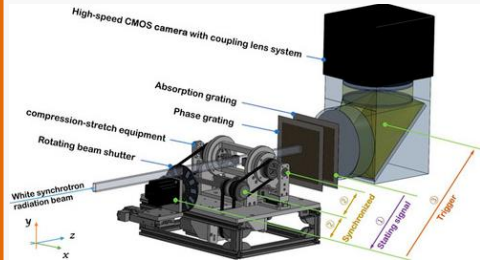
## 位相コントラストイメージングの主な手法 (PF)

### 結晶干渉計



2020.10 PF研究会「X線干渉計と縦型ウィグラーを用いた超高感度画像計測の現状と将来展望」

### 回折格子干渉計



Yanlin Wu et al., Review of Scientific Instruments 92, 043702 (2021)

### DEI

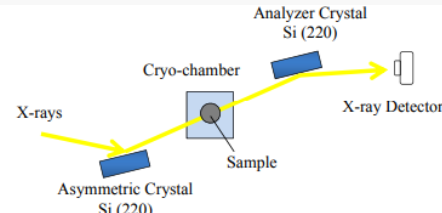
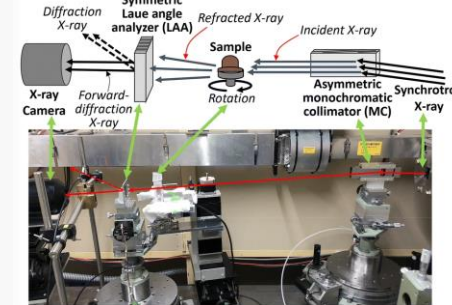


Figure 4 Operating conditions of natural gas hydrate pellets.

Mimachi et al., PF news, VOL. 33 NO. 3 NOV 2015.

### DFI



Sunaguchi et al., 2020.  
<https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/3d3f5ca2b2711834b905148c56552707.pdf>

### 位相差顕微鏡

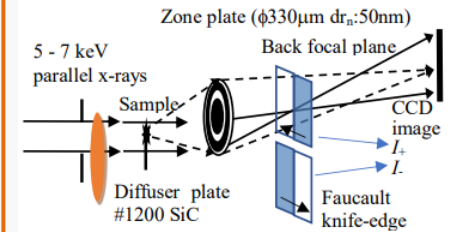


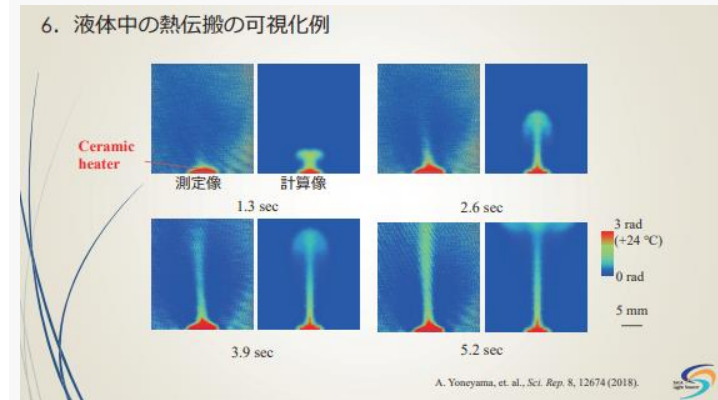
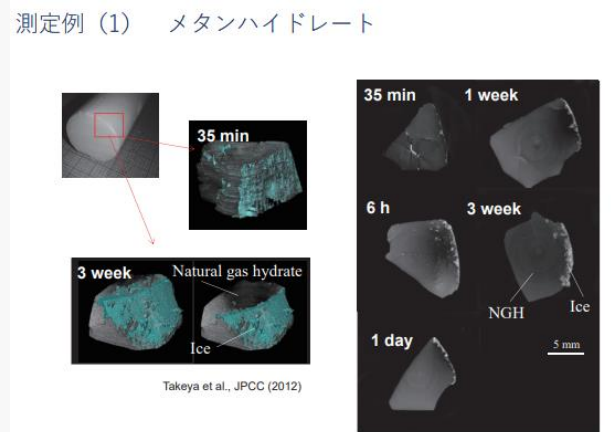
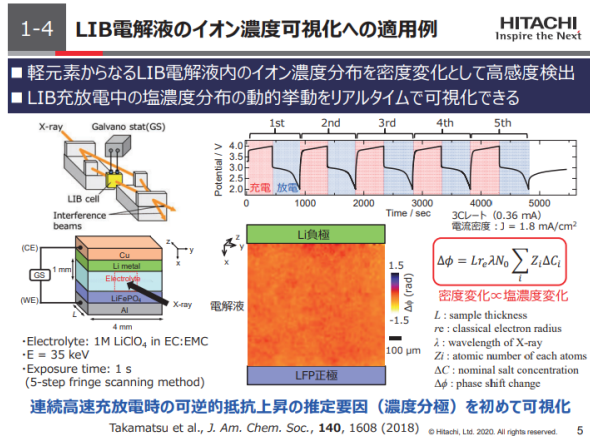
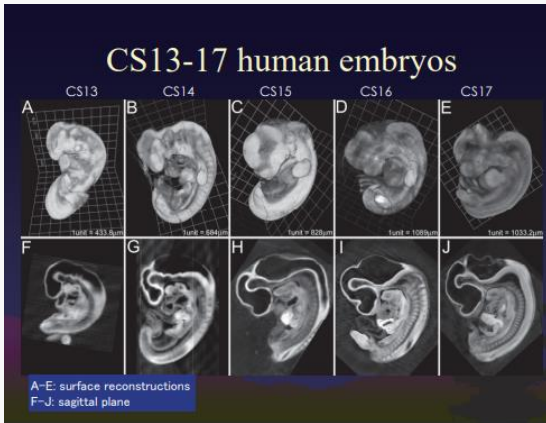
Fig. 1: Optical system of microscope. A differential phase image is calculated by  $(I_+ - I_-)/(I_+ + I_-)$ .

Watanabe et al., Photon Factory Activity Report 2019 #37 (2020)

	結晶干渉計	回折格子干渉計	DEI	DFI	位相差顕微鏡
空間分解能	数十μm程度	十μm程度	十μm程度	十μm程度	サブミクロン程度
特徴	密度分解能が最も高い	一度に3種類の異なる特性を持つ画像取得が可能 白色でも動作	ダイナミックレンジの広い計測が可能		

## 結晶干渉計

2020.10 PF研究会 PF研究会「X線干渉計と縦型ウィグラーを用いた超高感度画像計測の現状と将来展望」  
 プロシーディングスより



「位相イメージングのヒト発生学への展開」  
 山田 重人、京都大

「位相コントラスト X 線イメージングによる蓄電・発電デバイスのオペランド計測」  
 高松大郊、(株)日立製作所

「温度制御下での位相コントラスト X 線 CT 測定 低温条件下におけるガスハイドレートの三次元観察」  
 竹谷敏、産総研

「X 線サーモグラフィーによる熱伝搬可視化の試み」  
 米山明男、佐賀LS

## DFI

### Press Release



令和2年2月20日

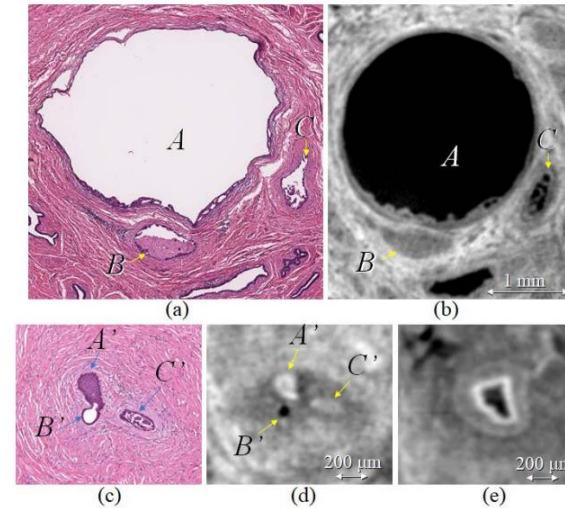
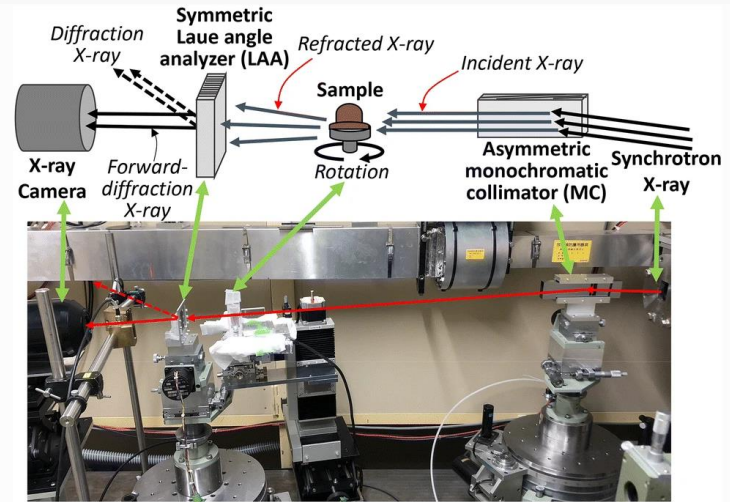
記者會、記者クラブ 各位

### 乳癌における乳頭温存乳腺全摘術のリスク低減へ！ ～ CTで乳頭内乳管の可視化に成功 ～

<https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/3d3f5ca2b2711834b905148c56552707.pdf>

乳癌が基本的に1つの乳腺葉を侵す疾患であること(sick lobe 理論)を、乳癌により全摘された51症例の乳頭をX線暗視野CT (DFI)により可視化することで明らかにしました。

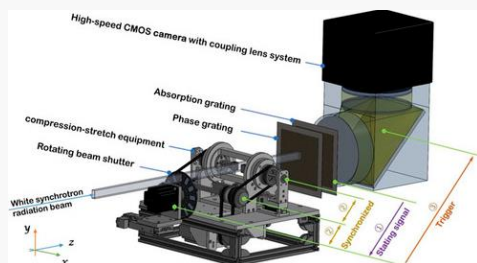
Sunaguchi, N., Shimao, D., Yuasa, T. *et al.* Three-dimensional microanatomy of human nipple visualized by X-ray dark-field computed tomography. *Breast Cancer Res Treat* **180**, 397–405 (2020).



3本のDCISを含む乳管を持つ1例

(a) ベース付近における組織切片、(b) (a)に近い位置におけるCT像、(c) 先端付近における組織切片、(d) (c)に近い位置におけるCT像、(e) 先端で3つの乳管が1つの口に合流した様子。AとA'、BとB'、CとC'は同じ経路上の乳管を表す。組織切片の観察により、A、B、C および C'には非浸潤性乳管癌が確認されるが、AおよびB'は正常であった。

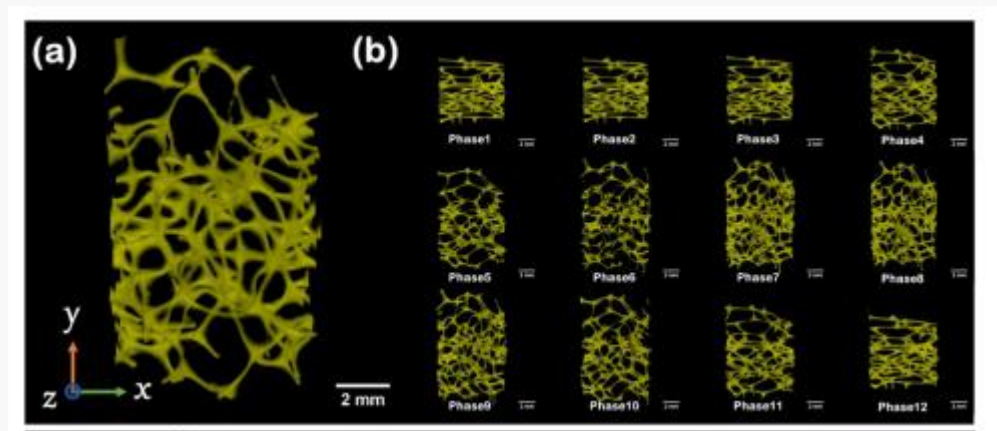
# 回折格子干渉計



ポリウレタンフォームの24Hz圧縮伸張疲労負荷に対して実証

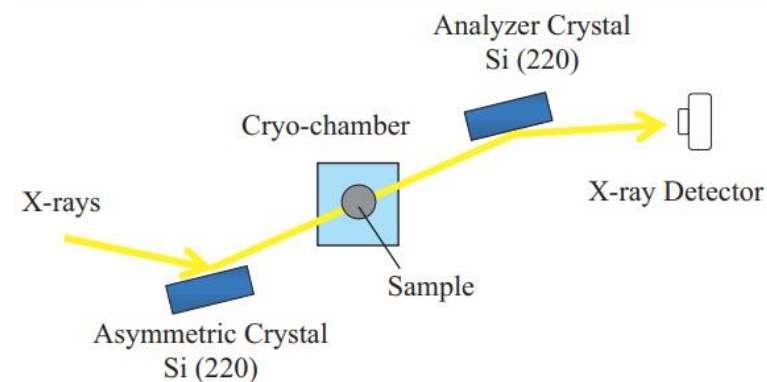
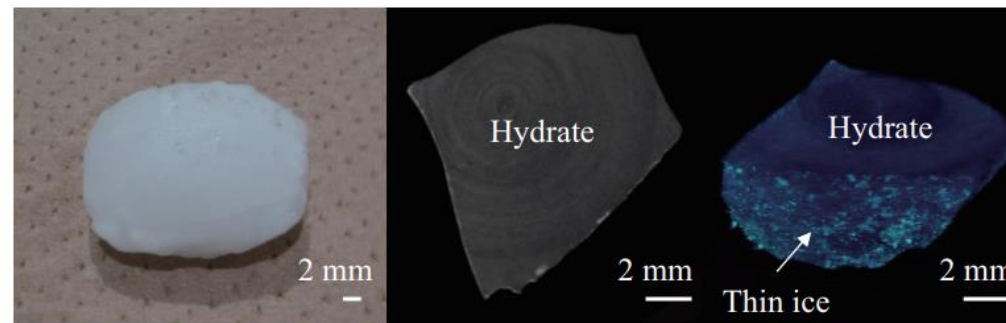
露光時間200 $\mu$ sで3次元像取得

Yanlin Wu et al., Review of Scientific Instruments 92, 043702 (2021)



# DEI 天然ガスハイドレートの貯蔵特性と構造の観察

Mimachi et al., PF news, VOL. 33 NO. 3 NOV 2015.



ペレット状の天然ガスハイドレートの表面には貯蔵時間の経過に伴い氷膜の厚さの増加が見られるものの、その厚さは約3ヶ月で100  $\mu$ m程度にとどまり、内部の天然ガスハイドレートは保持されていることが位相X線CTによって明らかに。

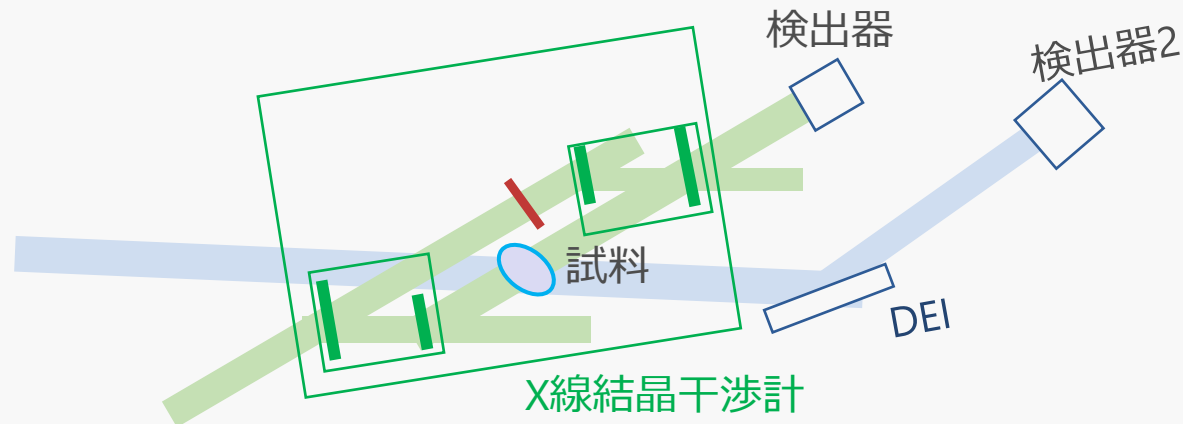
## 位相計測グループからの提案

### 1. Pump + Probe測定による撮像

X線照射による測定対象の密度変化を各種位相コントラストイメージング手法により捉える。  
(材料、医学、食品等)

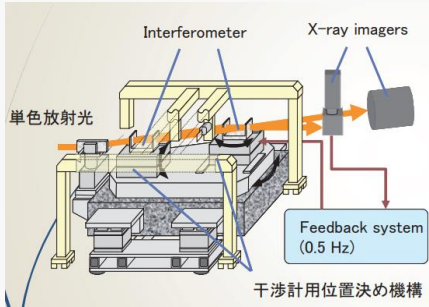
### 2. Probe + Probe 各種位相イメージングを組み合わせる撮影

密度分解能や密度のダイナミックレンジが異なる各種位相コントラストイメージング法により、被写体内密度分布に関するマルチスケール撮影を実現できると期待される。  
小さな密度変化から大きな密度変化が短時間で起こるものの計測



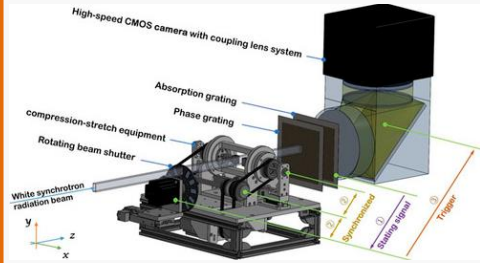
## 位相コントラストイメージングの主な手法（PF）

### 結晶干渉計



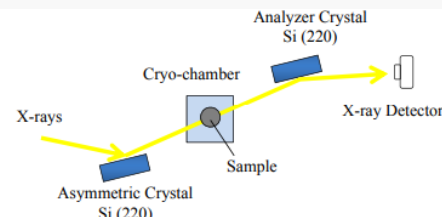
2020.10 PF研究会「X線干渉計と縦型ウィグラーを用いた超高感度画像計測の現状と将来展望」

### 回折格子干渉計



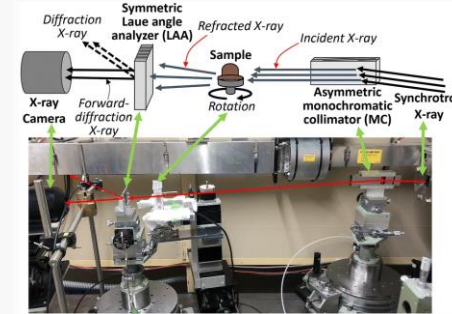
Yanlin Wu et al., Review of Scientific Instruments 92, 043702 (2021)

### DEI



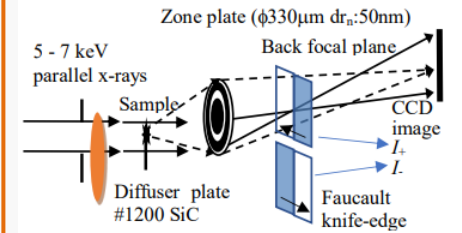
Mimachi et al., PF news, VOL. 33 NO. 3 NOV 2015.

### DFI



Sunaguchi et al., 2020. <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/3d3f5ca2b2711834b905148c56552707.pdf>

### 位相差顕微鏡



Watanabe et al., Photon Factory Activity Report 2019 #37 (2020)

## 位相計測グループからの提案

### 1. Pump + Probe測定による撮像

X線照射による測定対象の密度変化を各種位相コントラストイメージング手法により捉える。

### 2. 各種位相イメージングを組み合わせる撮影

密度分解能や密度のダイナミックレンジが異なる各種位相コントラストイメージング法により、被写体内密度分布に関するマルチスケール撮影を実現できると期待される。

今後継続して2ビーム利用や新光源での可能性、サイエンスの展開について検討