E2ポートでの金属間有機物の可視化測定

名古屋大学理学研究科
素粒子物性研究室
広田克也

測定の経緯

小型中性子源の構築を模索するなかで、（J-PARCやJRR-3 TNRFに比べて）**弱強度の中性子ビーム**でのユーザーの利用価値の確認、**どのようなニーズ**があるのか、実際にどの程度のレベルで測定可能か？といった内容に関して2010年よりKUR E2ポートを利用して評価を行っている。→　**理研RANS構築**

昨年度より、名古屋大グループが中心となり、「製造業における中性子研究会」の活動として名古屋近辺の企業と連携しながら中性子イメージングの可能性を確認している。

企業側からは「**金属間にある有機物を非破壊で見たい**」との要望が幾つか上がってきた。

- 金属板同士を接着剤で接合する（接着剤が充填されているか、きちんと接着されているか）
- 軸受中や金属板間のオイルの挙動
- オイル中の気泡の挙動

名古屋大学で京大炉のマシンタイムを確保し、研究会参加企業からサンプルとなる試料を提供していただいて、実際に中性子測定でどのような画像が見えるか測定を行った。

測定：京都大学原子炉実験所　E2ビームポート

日時：2014年４月15–17日　17日昼のみ5MW運転、残りは1MW運転

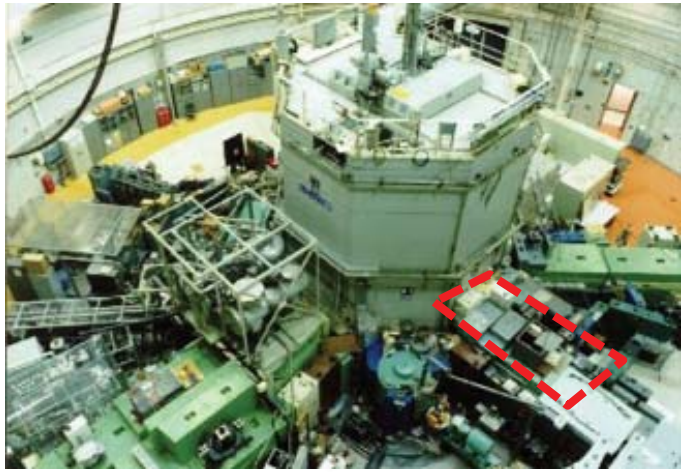
実験参加者：瓜谷、清水、鬼柳、広田（名古屋大）

KUR E-2ポートの概略

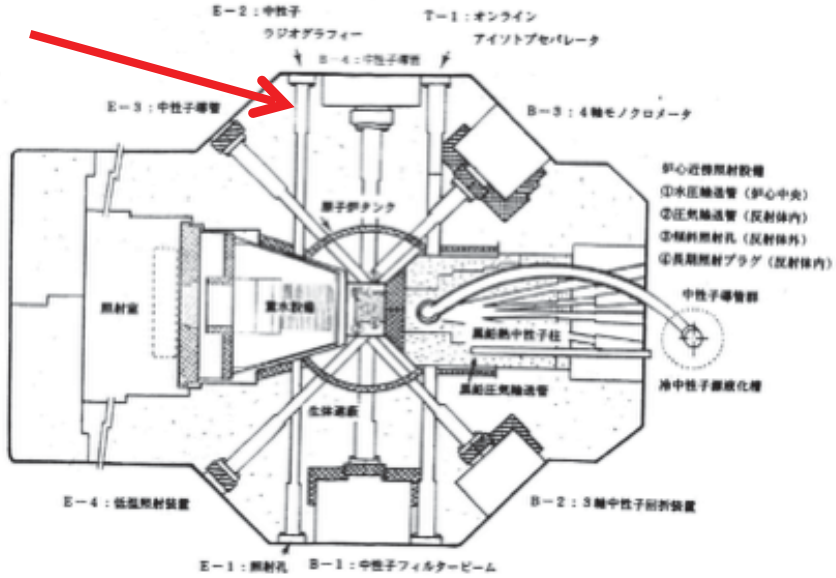
京都大学原子炉実験所（KURRI）にある研究用原子炉（KUR）

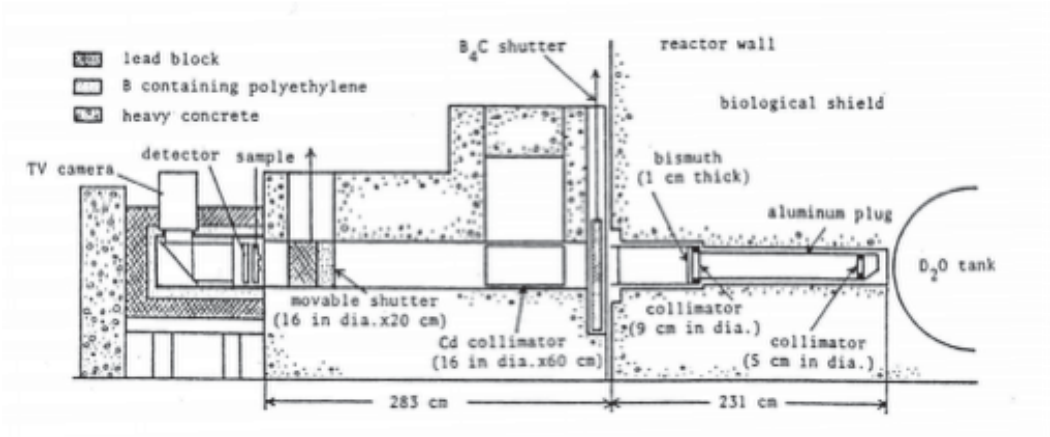
最大熱出力5MW (運転は1MW及び5MWの２通り)

ラジオグラフィポートは２つ設置



- ラジオグラフィーポート　E－２
  - 医療照射用重水タンクより得られる熱中性子線を利用したラジオグラフィーポート
  - 常設の中性子カメラを設置（H22年10月）
  - 10^5n/cm^2/秒程度の中性子強度
  - 直径約15cmのビーム面積

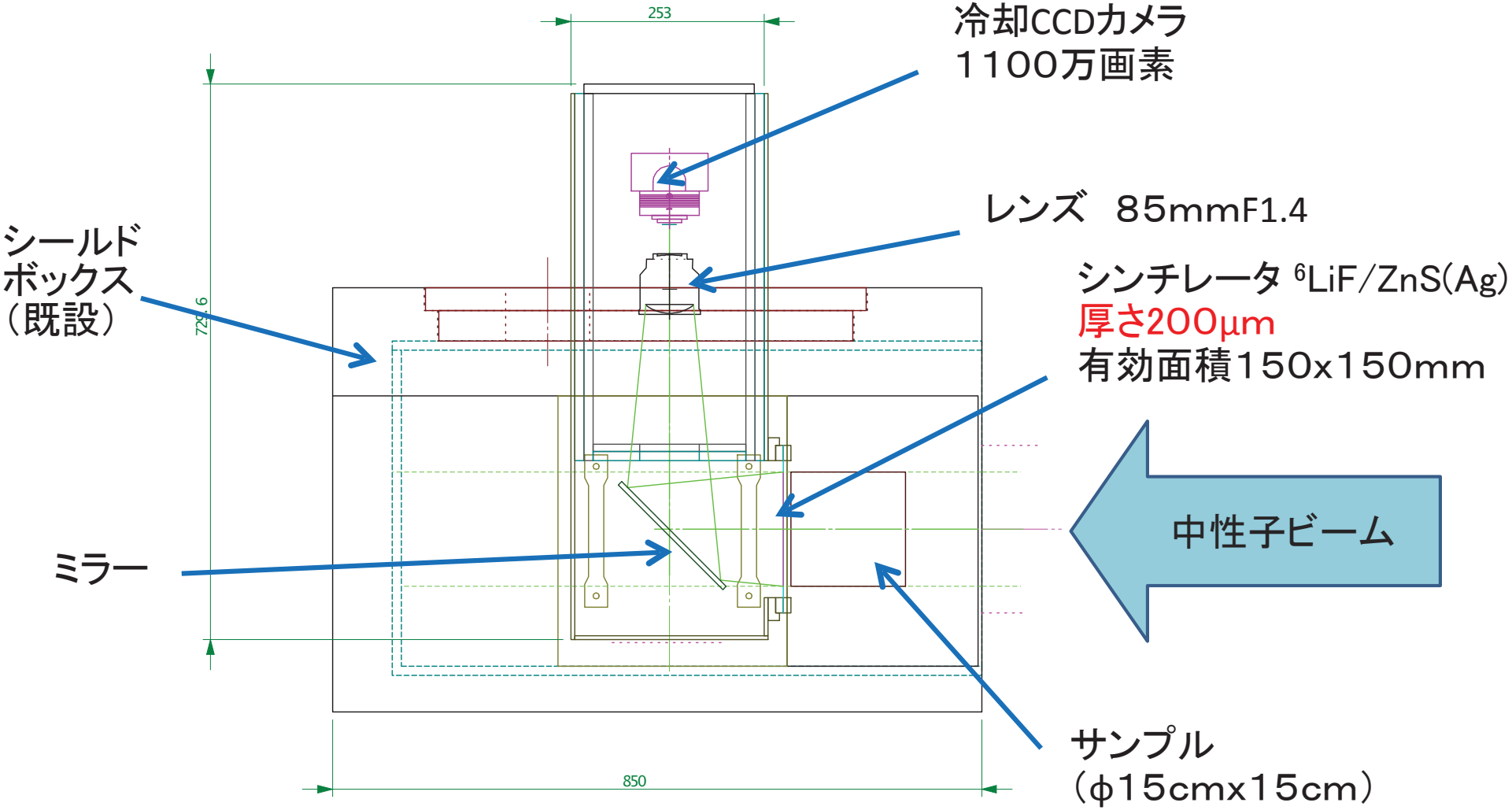




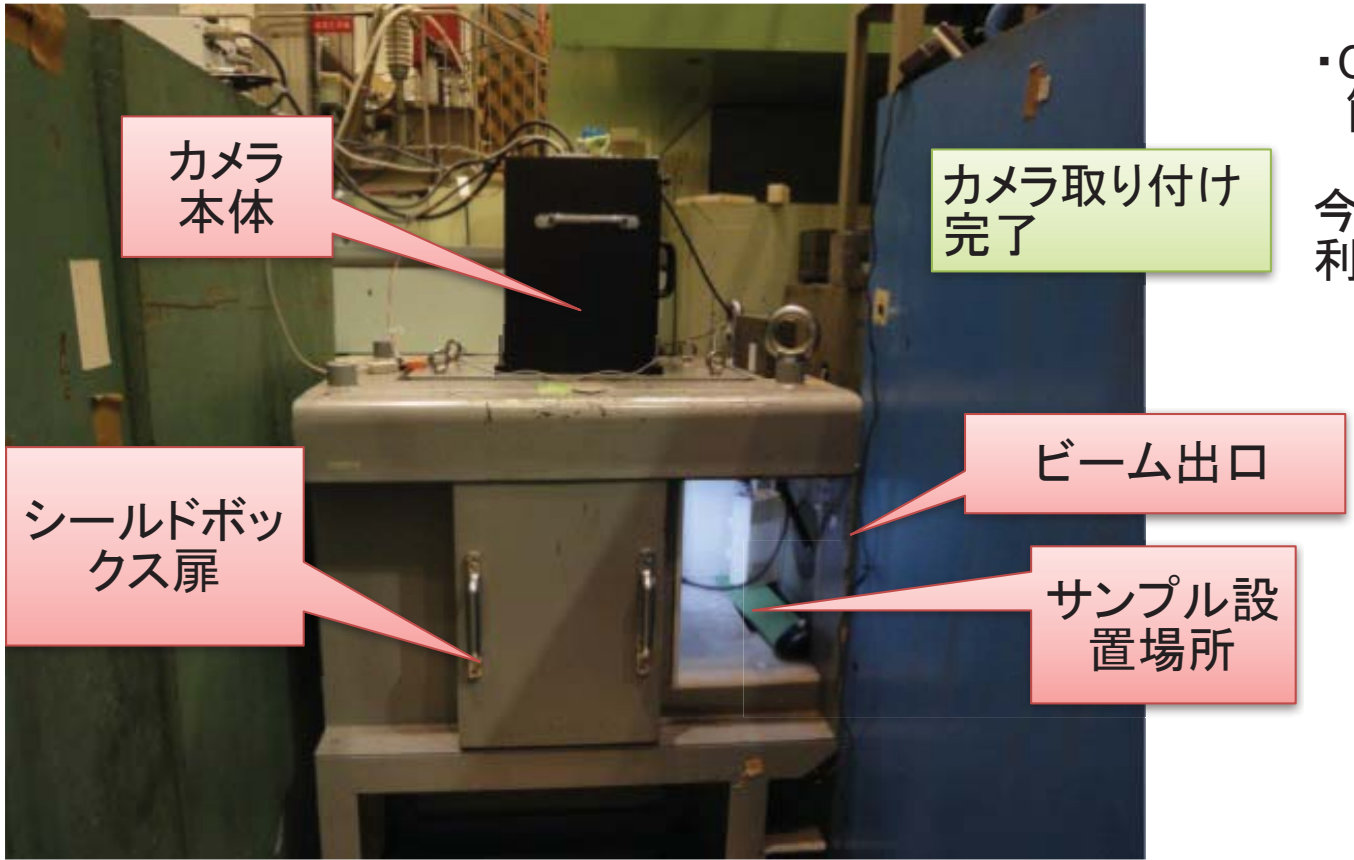
E2に設置したカメラ

同じカメラシステムを理研でも利用している

- Bitran BU-53LN
- 解像度 4008x2672pixel 36mmx34mm 冷却～-20℃ (通常0℃で使用)
- 分解能 56μm～18μm（計算上） ／ 中性子画像としては～100μm



E2に設置してあるカメラシステム



・透過像測定及びCT測定が可能

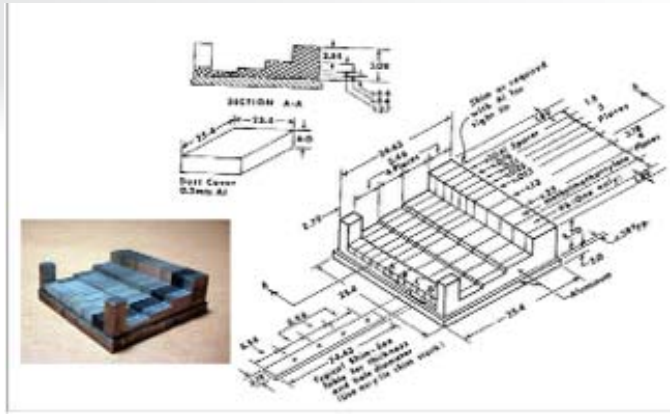
・透過像測定時間1分ー10分

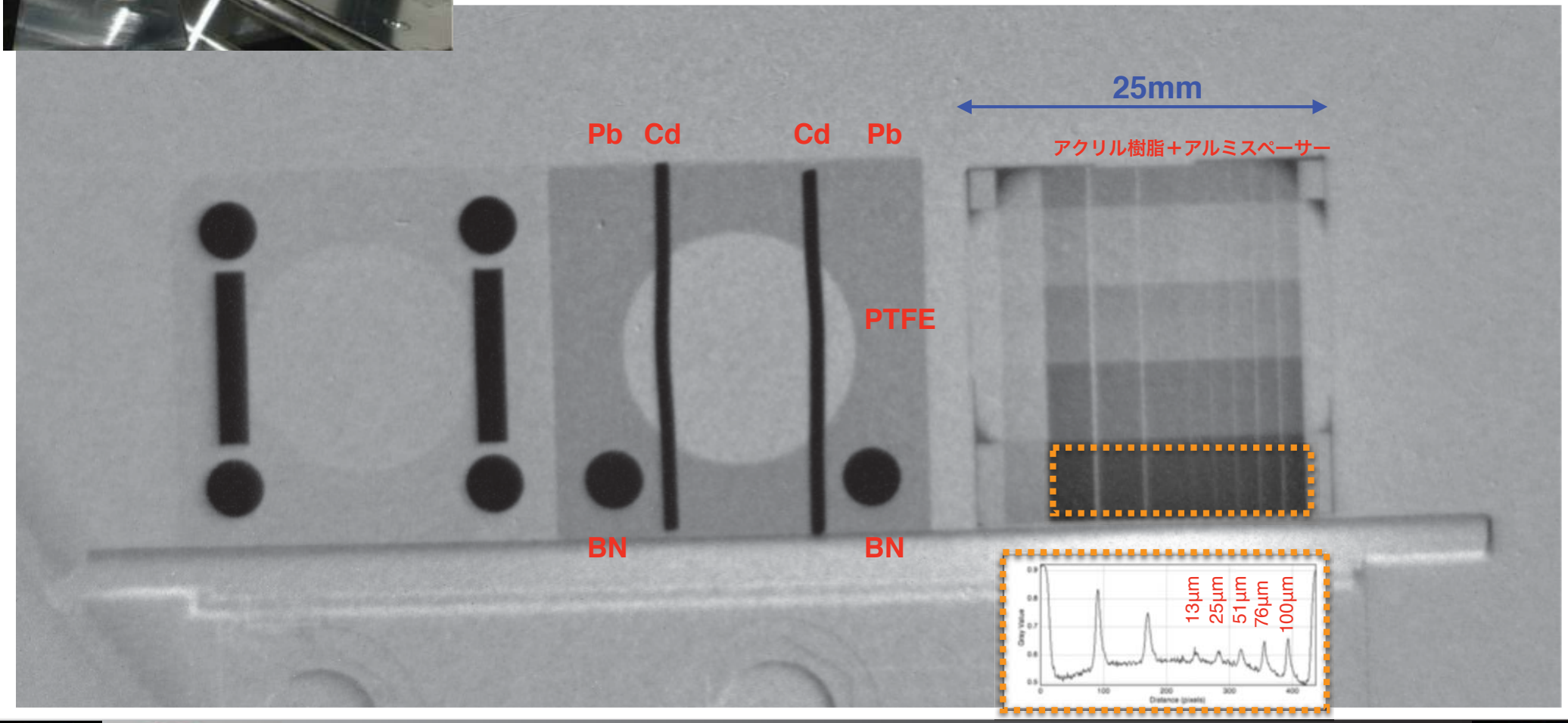
・CT測定は回転ステージの角度調整が少々面倒
・CT測定時間：1MWで1晩
5MWで2ー3時間

・CT再構築計算用にビームポートに簡易ソフトを用意

今回のCT再構築もこのプログラムを利用

評価用インジケーター(ASTM規格)

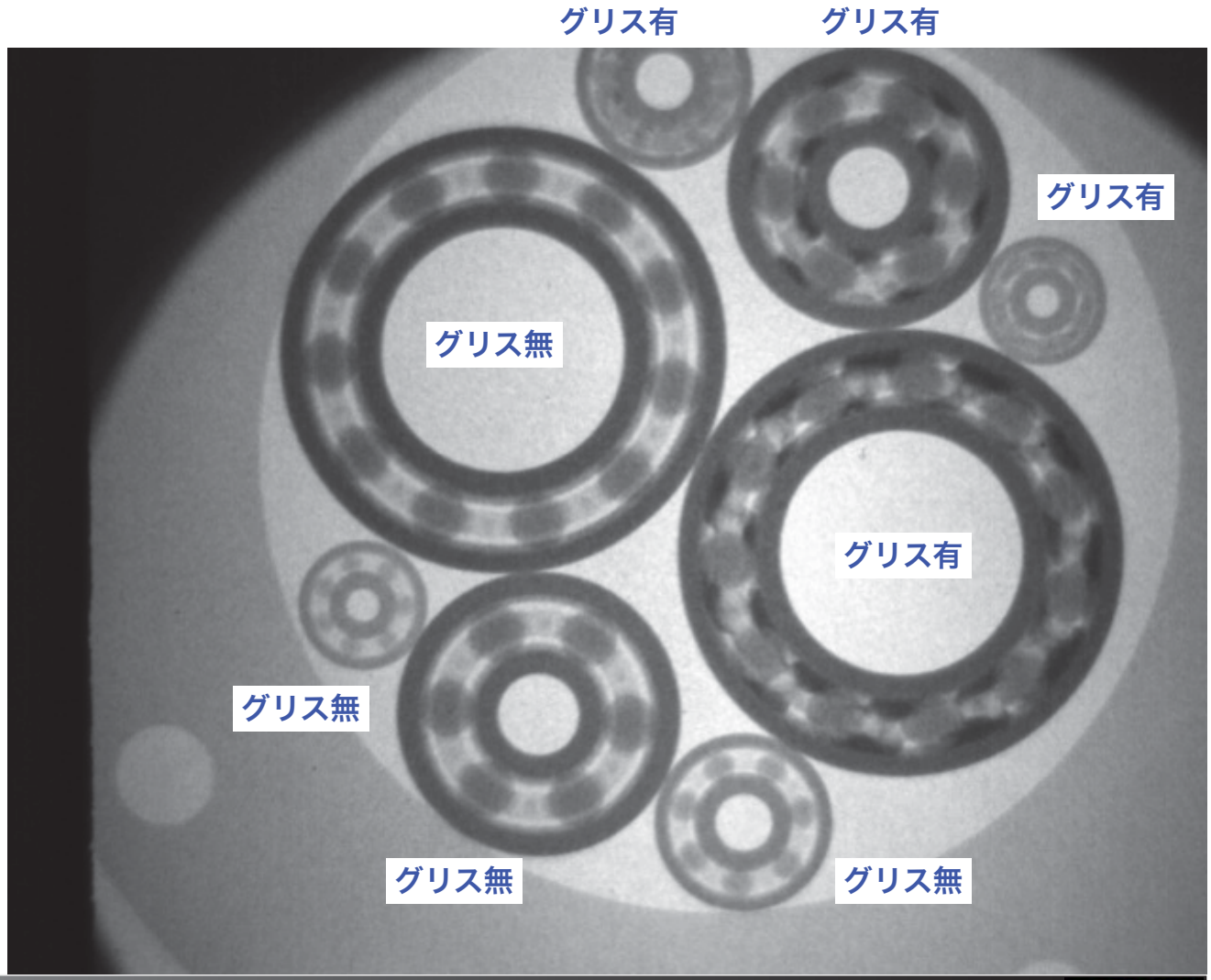




市販のベアリングの透過像＆CT測定

1MWで1分照射

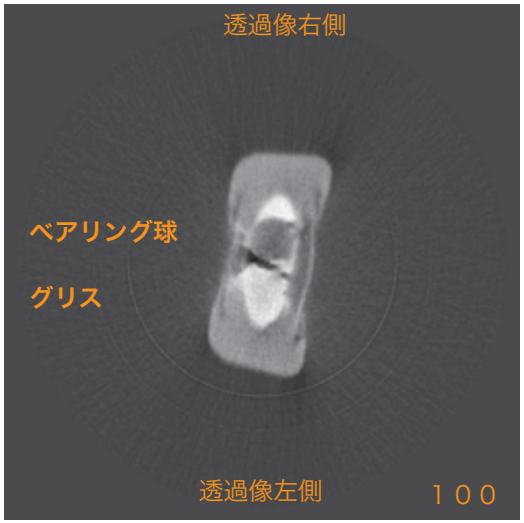
市販の軸受を分解しグリスを
除去したものと比較してみた

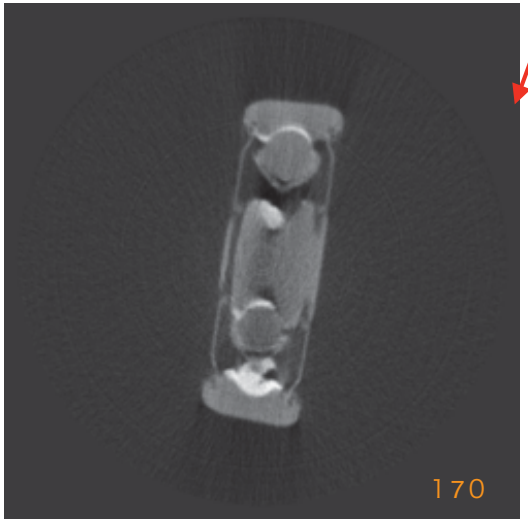


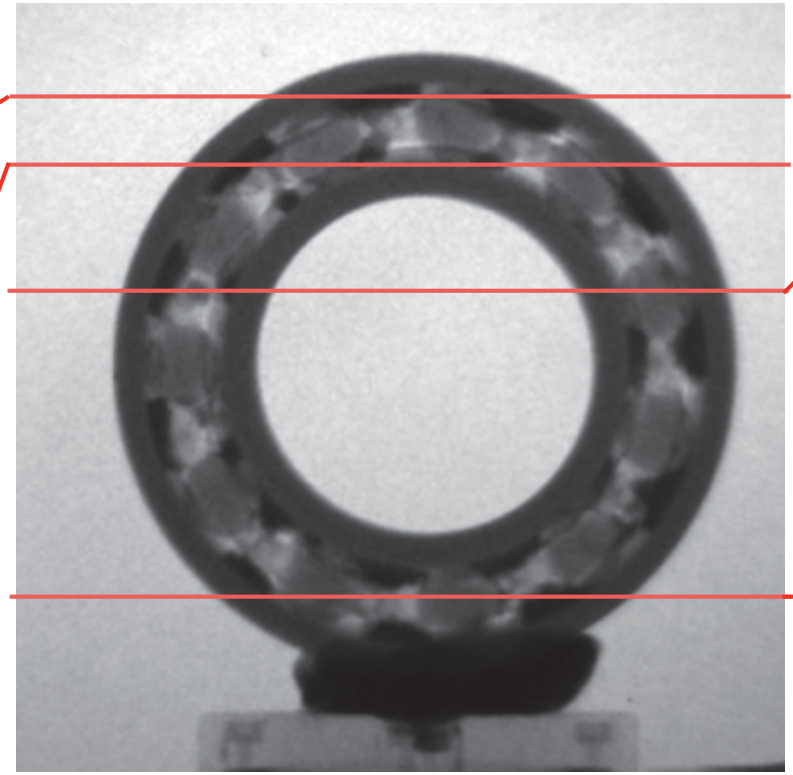
透過像では色が濃い（黒い）部分が透過率が低い（物質が多い）

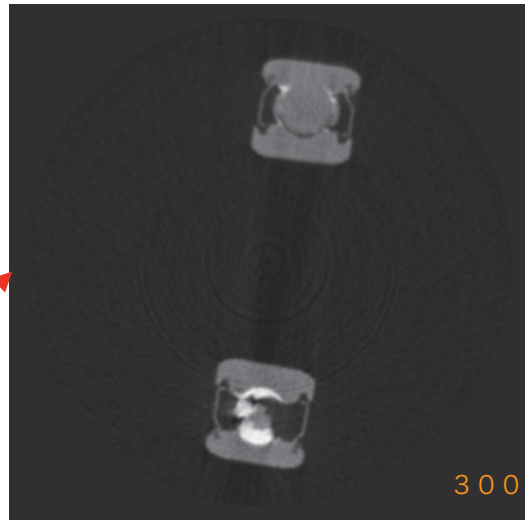
CT再構築　軸受

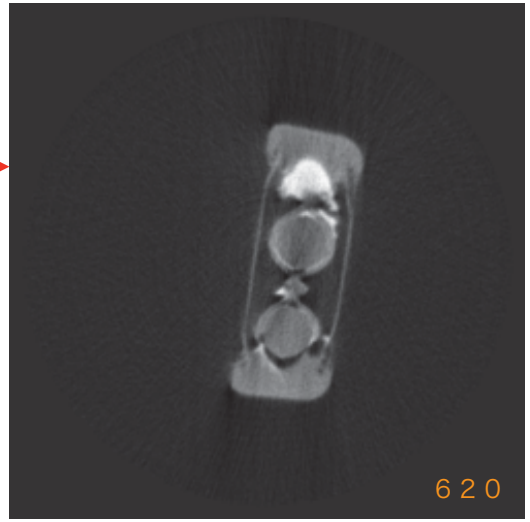
透過像では色が濃い（黒い）部分が吸収が多い（物質が多い）
CT再構築では色が薄い（白い）部分が吸収が多い











KUR E2ポート 5MW 運転（約4x10^5 n/cm^2/sec）
0.6° step で300枚測定 30秒/枚で測定
約800枚の断面図に再構築した
CT再構築はE2ポート備え付けのプログラムを利用

軸受(グリスあり)画像のCT再構築

5MW運転時（4x10^{5}n/cm^2/sec）

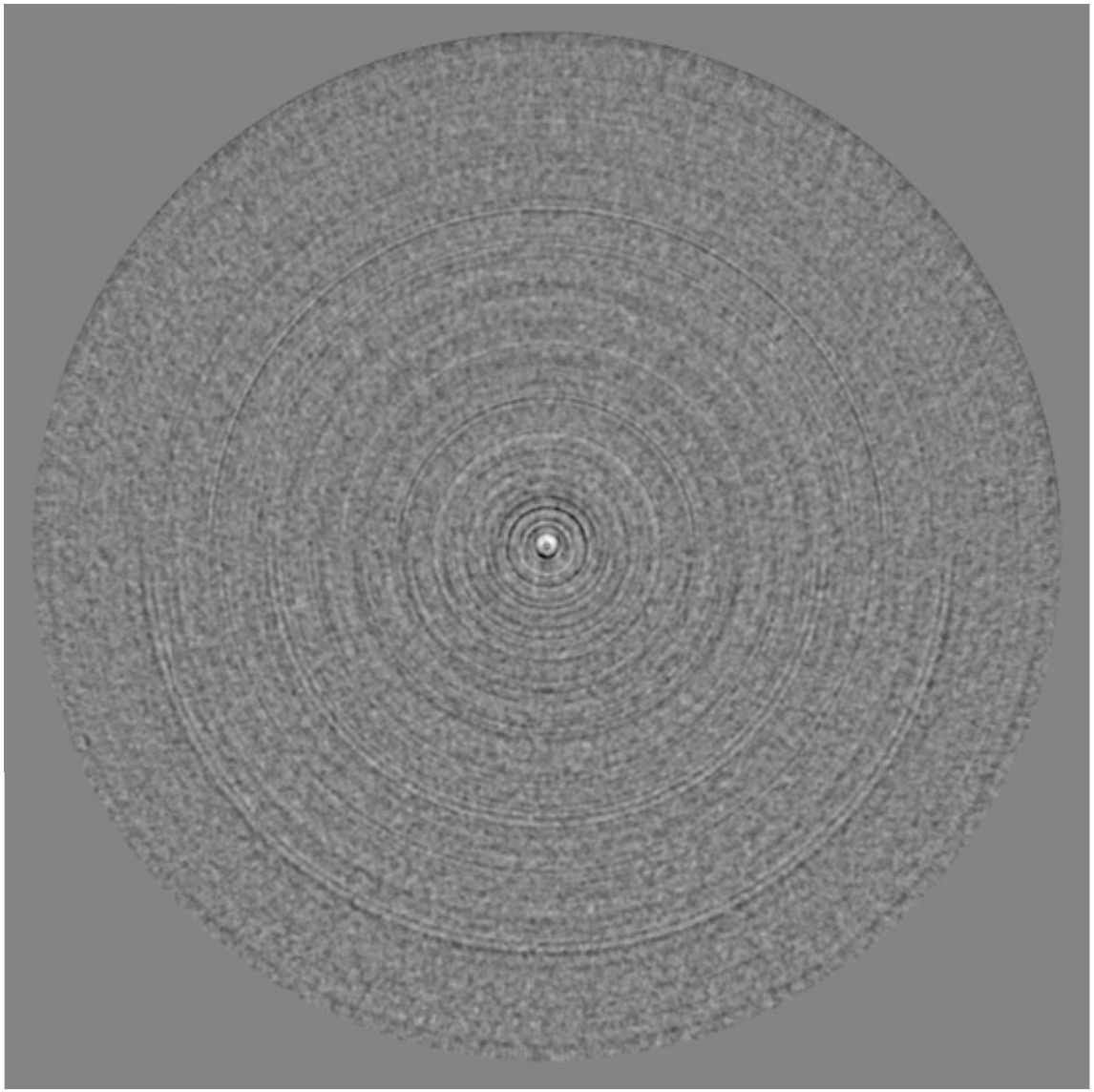
照射時間　30秒/枚　で３００枚測定

約３時間測定

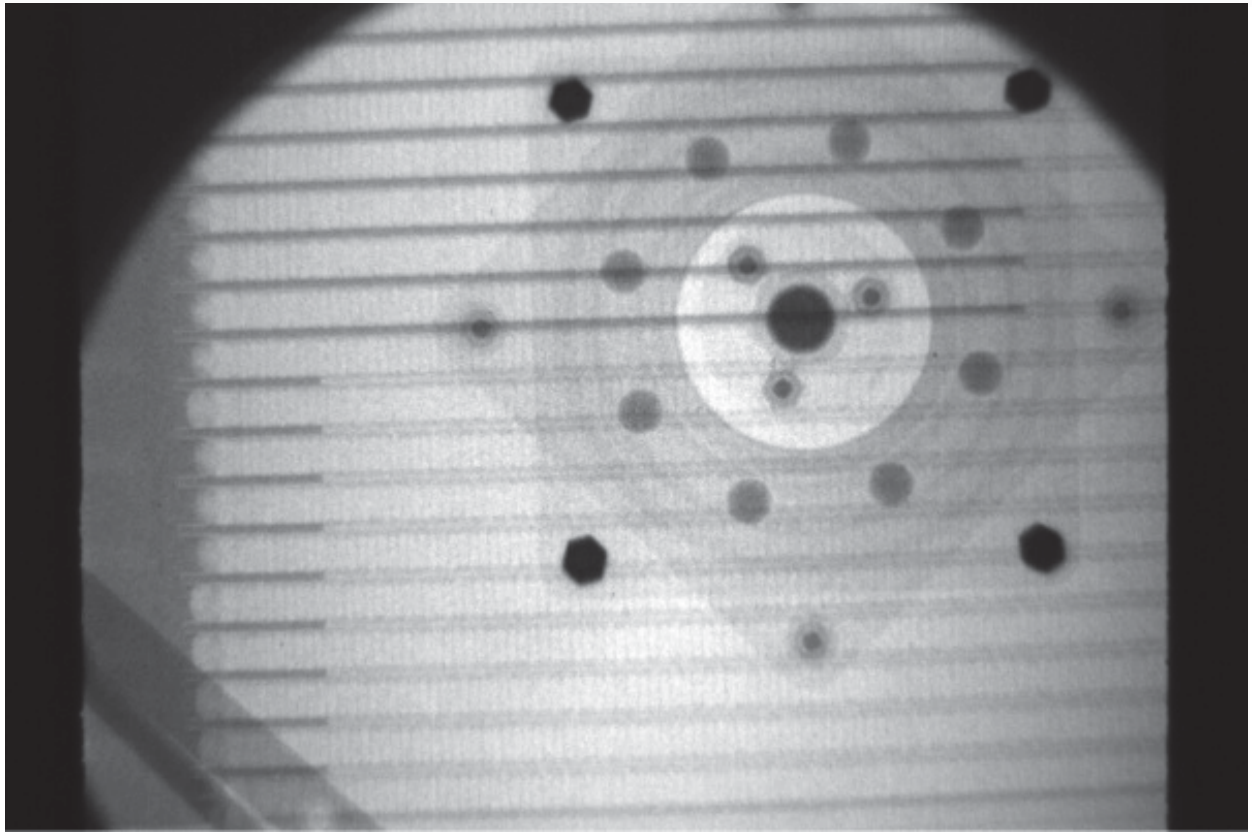
オイル部分が明るく見えている⟶透過率低

CT再構築した結果の断面図を

上面から下に連続画像としたもの



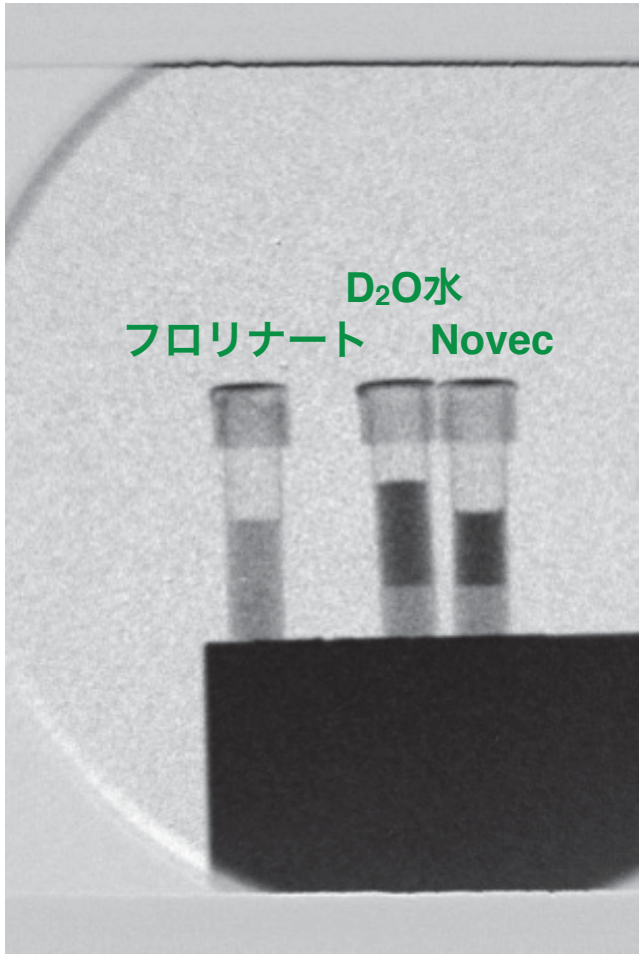
エバポレーター



冷媒としてフロリナート™を入れて内部の様子を観察する

他の液体とも比較してみる

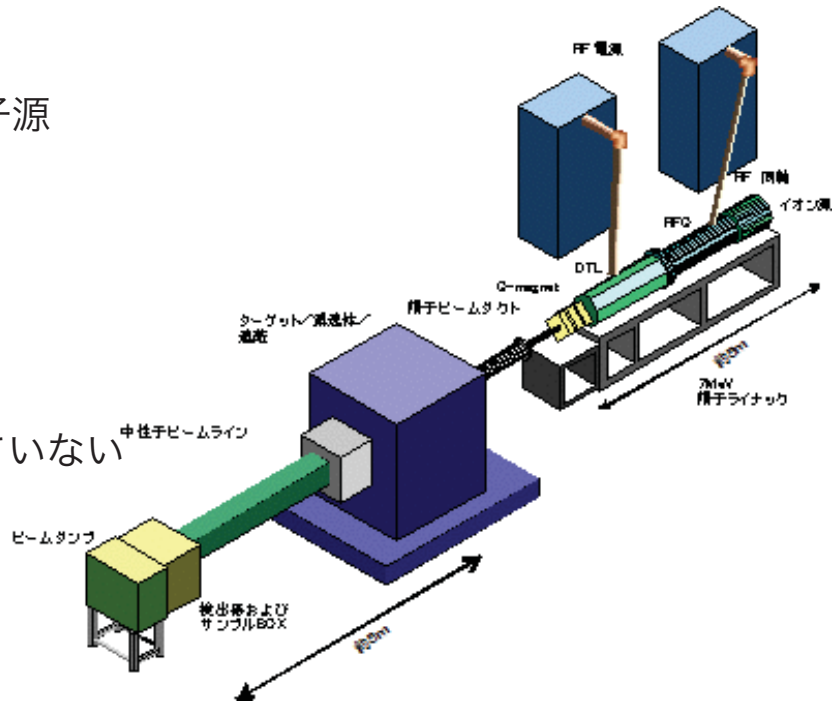
フロリナート、Novec:フッ素系液体（3M社）



理研における試行実験

理研RANS

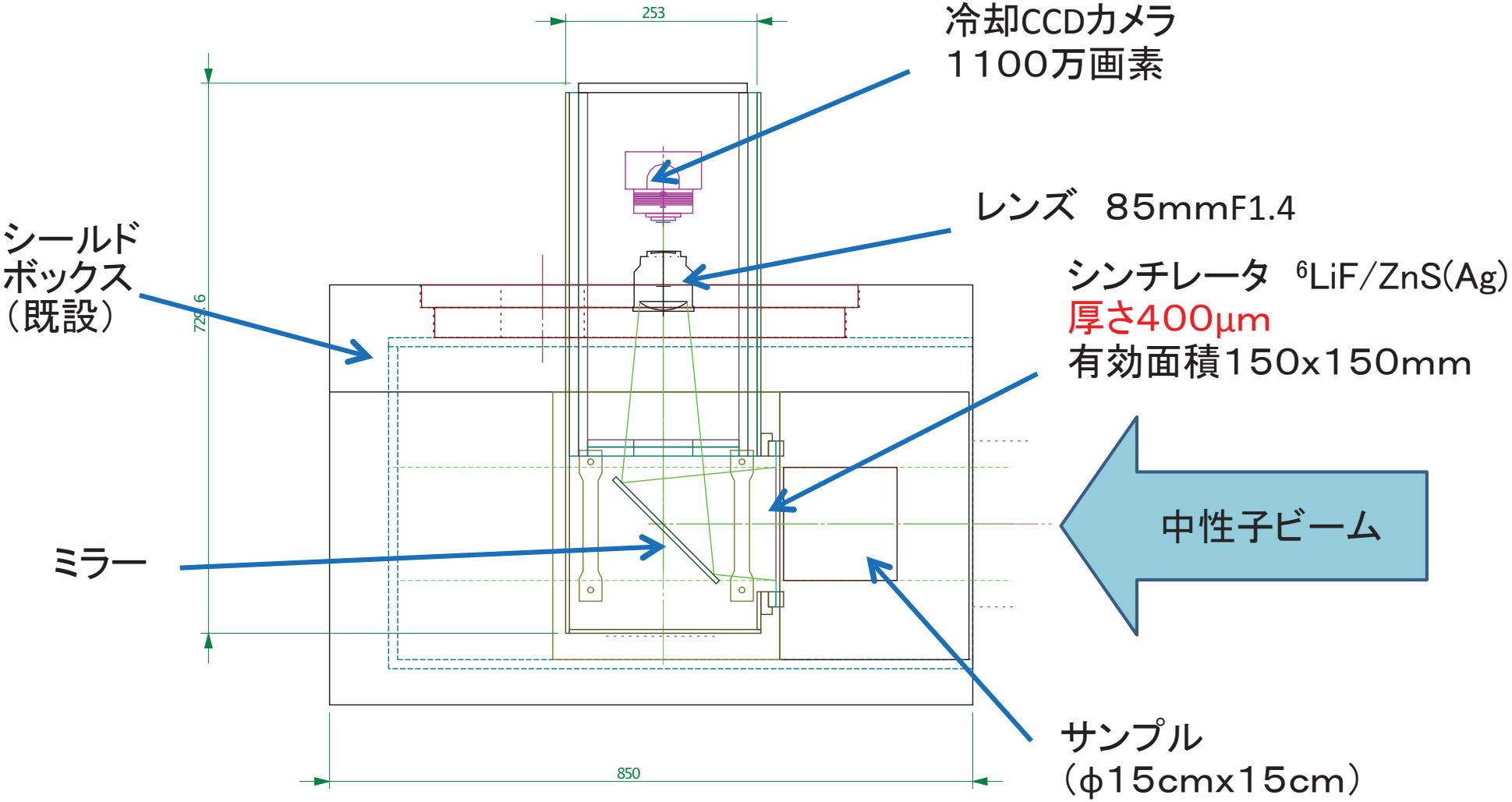
- 陽子線加速器とBe中性子発生標的を組み合わせた、小型中性子源
- 7 MeV、100μA用の商用加速器を利用
- 低エネルギー加速器利用のため遮蔽が小型化
- 産業界との連携を念頭に開発
- 現在は熱中性子減速体のみ利用　（将来は冷中性子も）
- 2013年より稼働開始、現在調整中のためフルパワーにはなっていない
- 2015年初頭に一旦shutdown , 2015年度に移設を行う
  （仁科センター地下　→　専用建屋）



RANSに設置したカメラ

同じカメラシステムをKUR-E2でも利用している

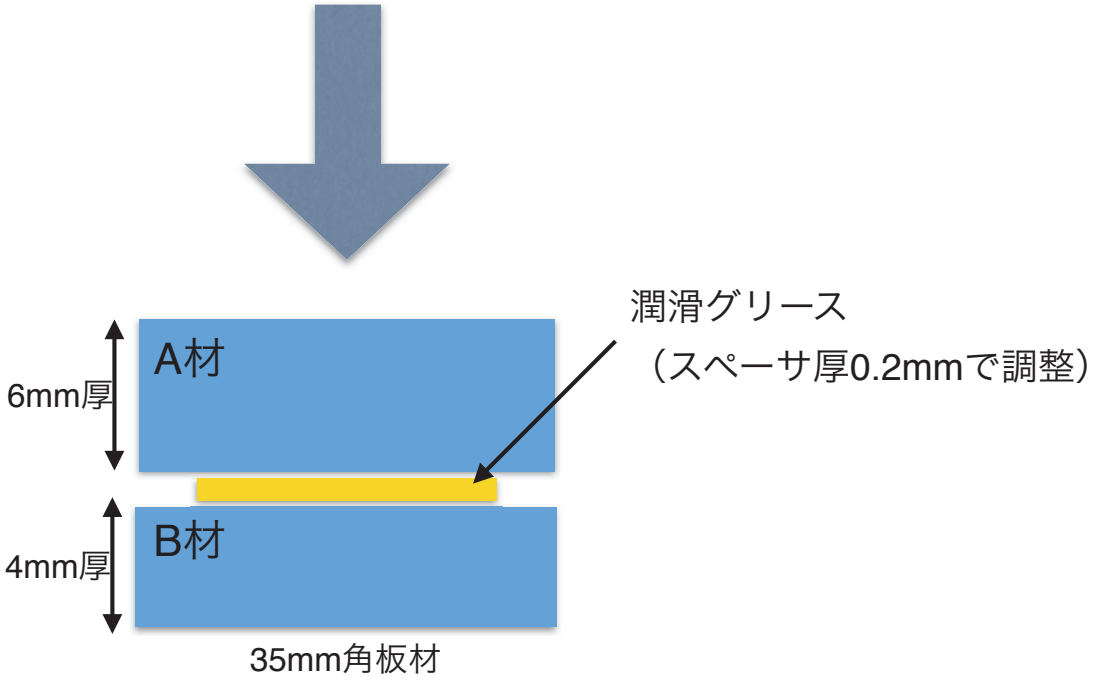
- Bitran BU-53LN
- 解像度 4008x2672pixel 36mmx34mm 冷却～-20℃ (通常0℃で使用)
- 分解能 56μm～18μm（計算上） ／ 中性子画像としては～100μm



評価サンプル内容

金属板に挟んだグリスがどう見えるか？

中性子を照射し透過像を測定する

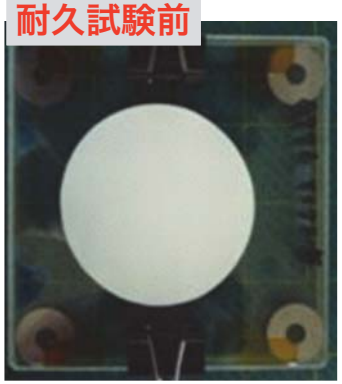


1. ガラス基材に挟んだグリスの観察

～　中性子イメージングと顕微鏡観察での比較が可能

目視結果

耐久試験前

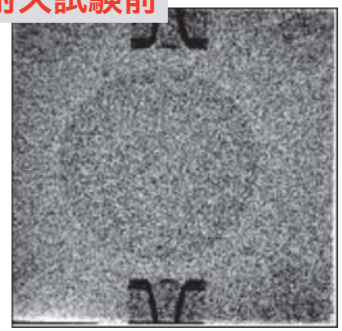


70mm

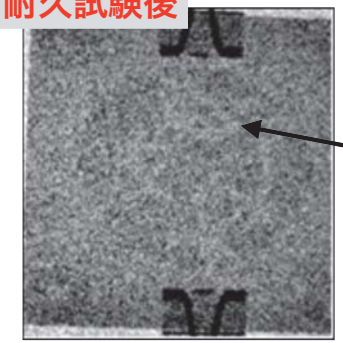
耐久試験後

中性子撮像結果

耐久試験前

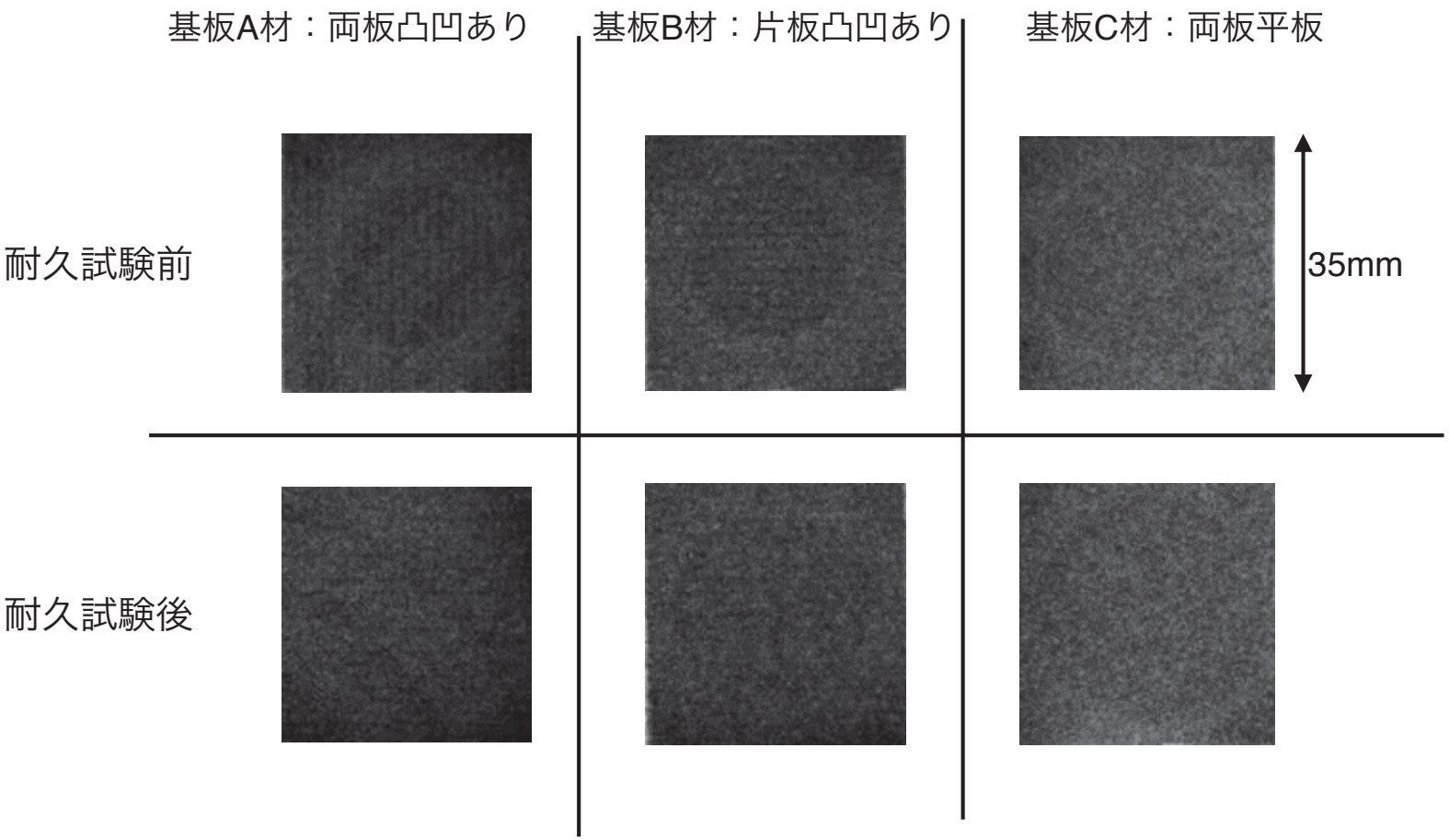


耐久試験後



目視同様に中性子イメージングで
グリースの千切れを確認できる

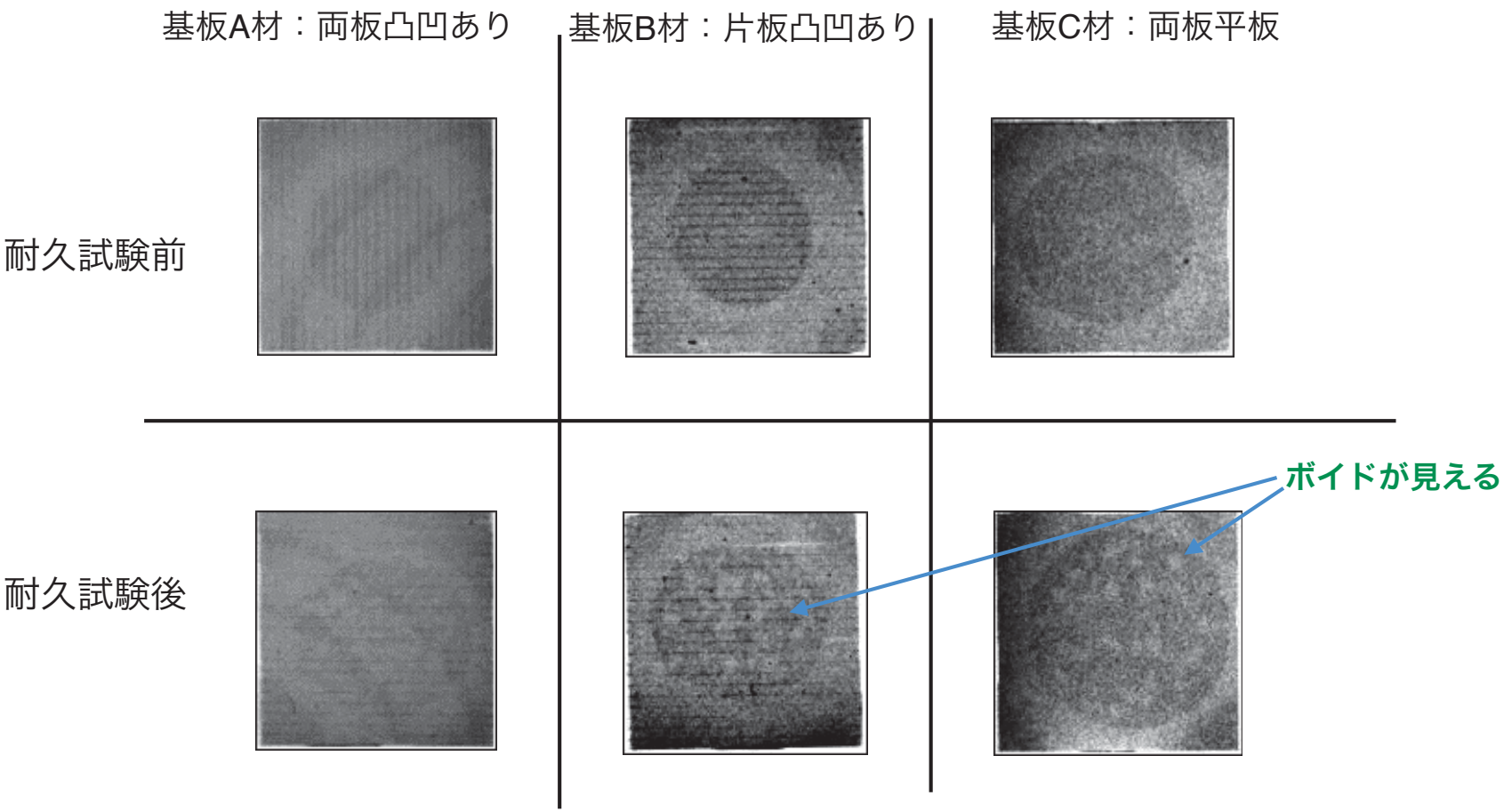
金属板間のグリース観察　その１



測定条件：陽子平均電流１０μA、**10分**照射

照射中性子量が不足してはっきりとは識別できない

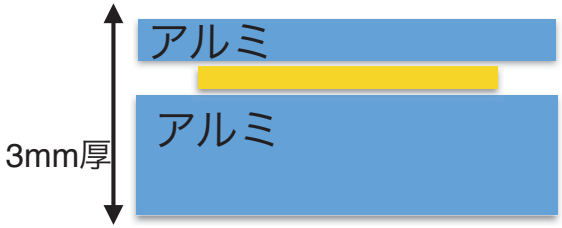
金属板間のグリース観察　その２

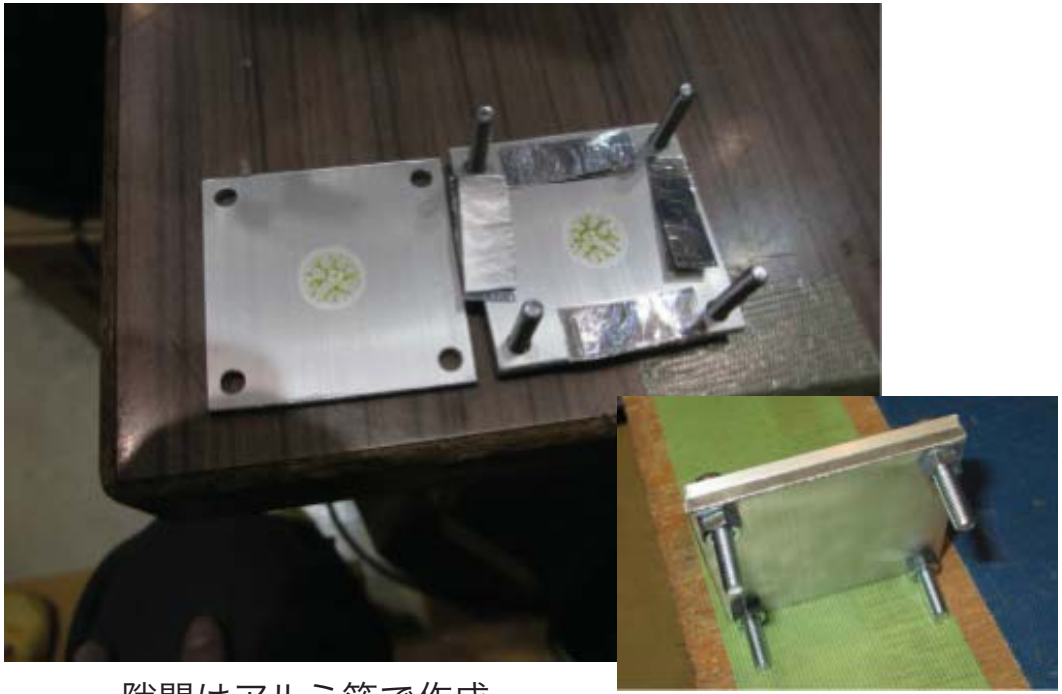


測定条件：陽子平均電流１０μA、**40分**照射

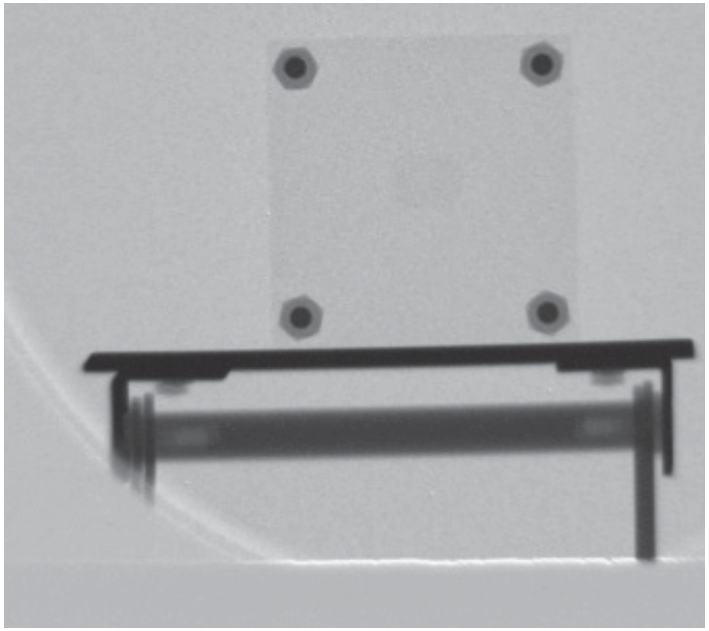
耐久試験後の試料に対してボイドの存在が確認できる
基材に凹凸があるとその影が映ってしまい、識別し難くなる

KURにおいても金属間異物の測定を行う





隙間はアルミ箔で作成



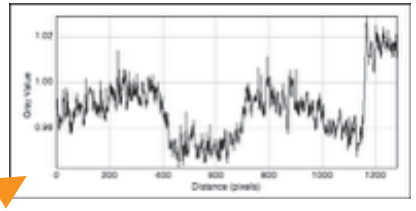
60μmの隙間に水滴を入れる

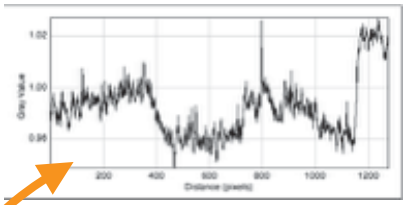
照射時間：５分間

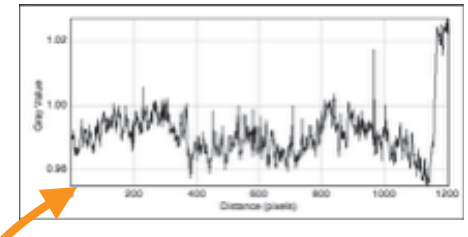
3mm厚のアルミ板にグリスを挟む

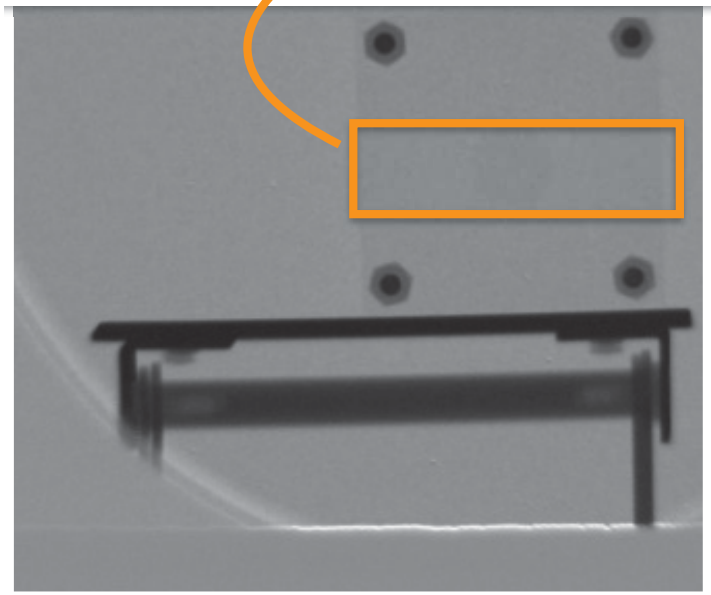
照射時間：５分間

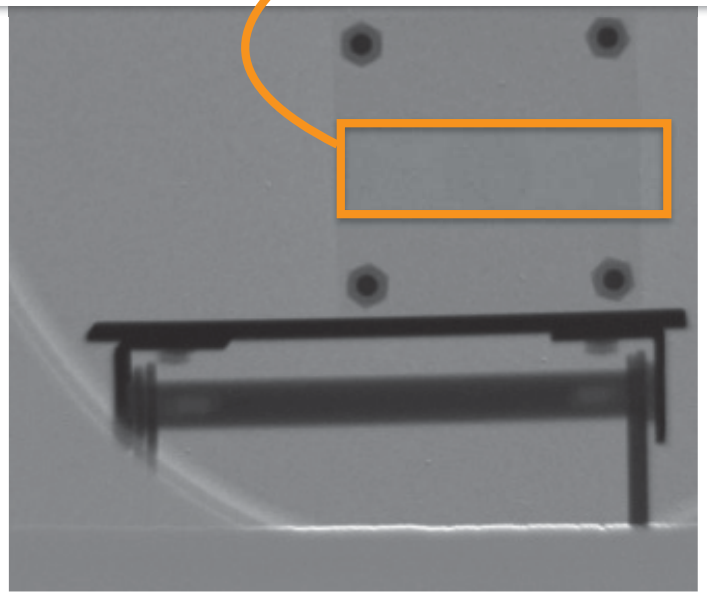
2%程度の輝度差

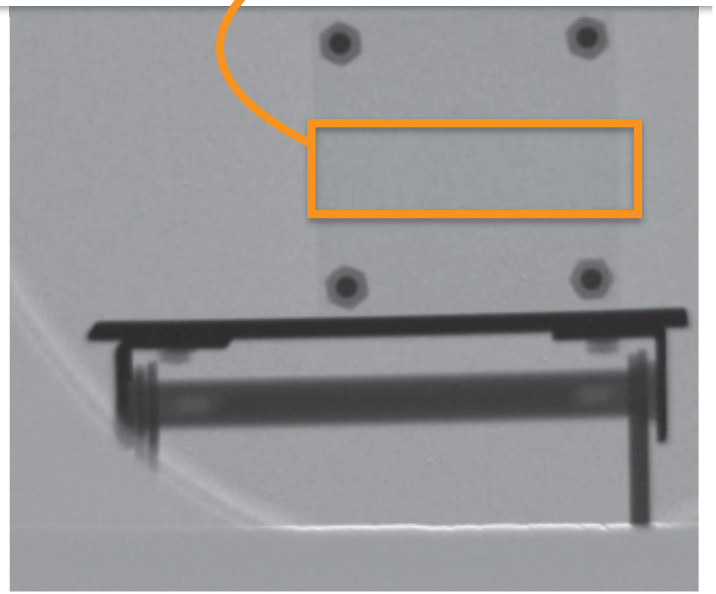












60μmの隙間にグリスを入れる

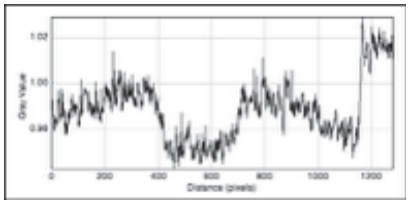
40μmの隙間にグリスを入れる

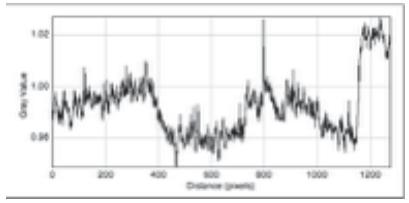
20μmの隙間にグリスを入れる

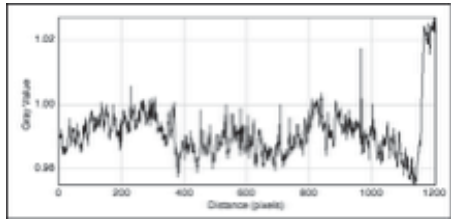
3mm厚のアルミ板にグリスを挟む

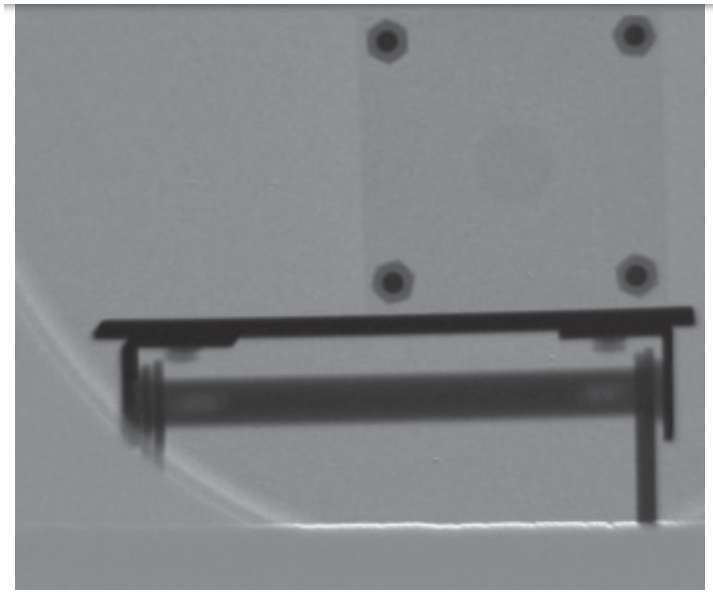
照射時間：５分間

2%程度の輝度差

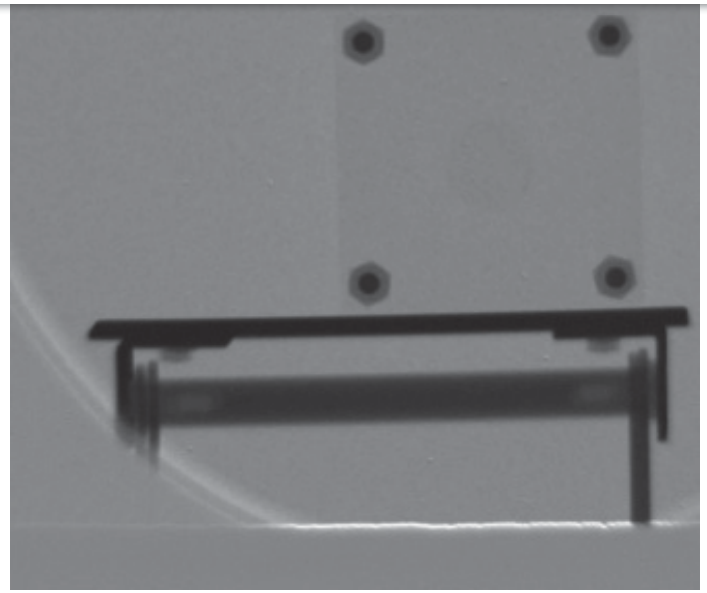




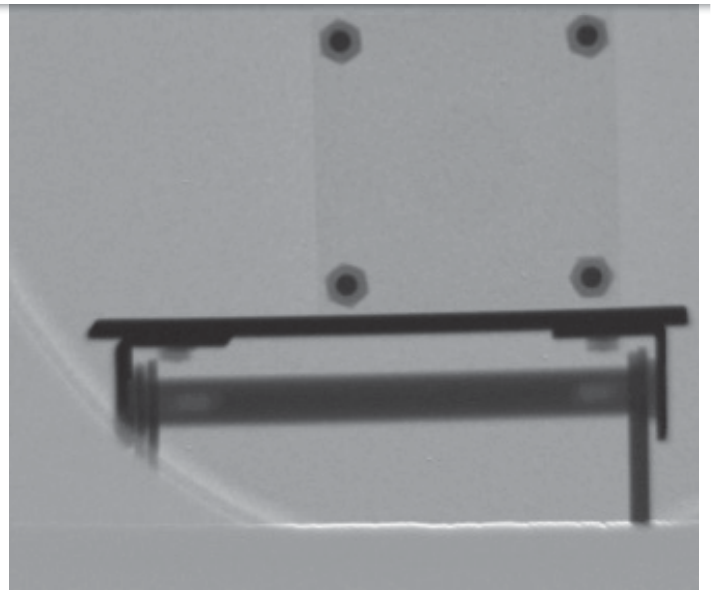




60μmの隙間にグリスを入れる



40μmの隙間にグリスを入れる



20μmの隙間にグリスを入れる

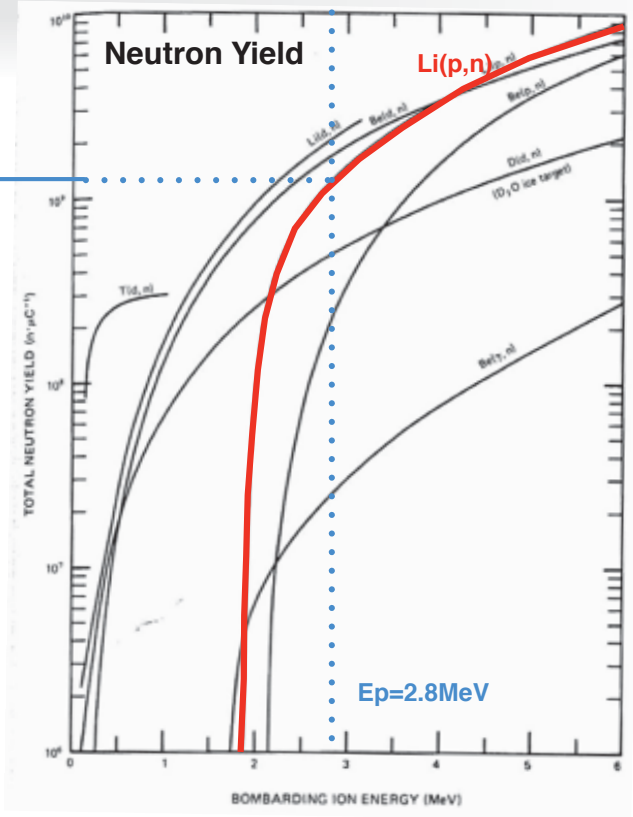
NUANS

Nagoya University Accelerator-driven Neutron Source

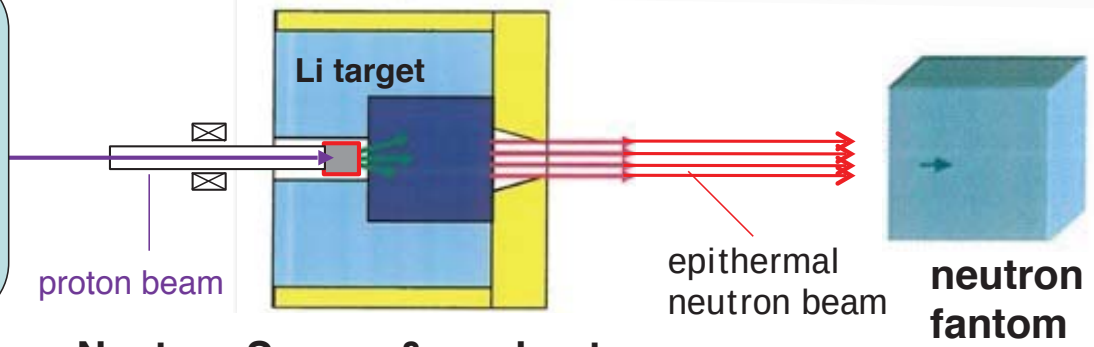
Under Construction

Electrostatic accelerator
proton energy 1.9- 2.8MeV (variable)
proton beam current : 15mA DC beam
ECR ion source
Li target

Neutron Emission
~ 10^{13}n/sec@15mA, 42kW



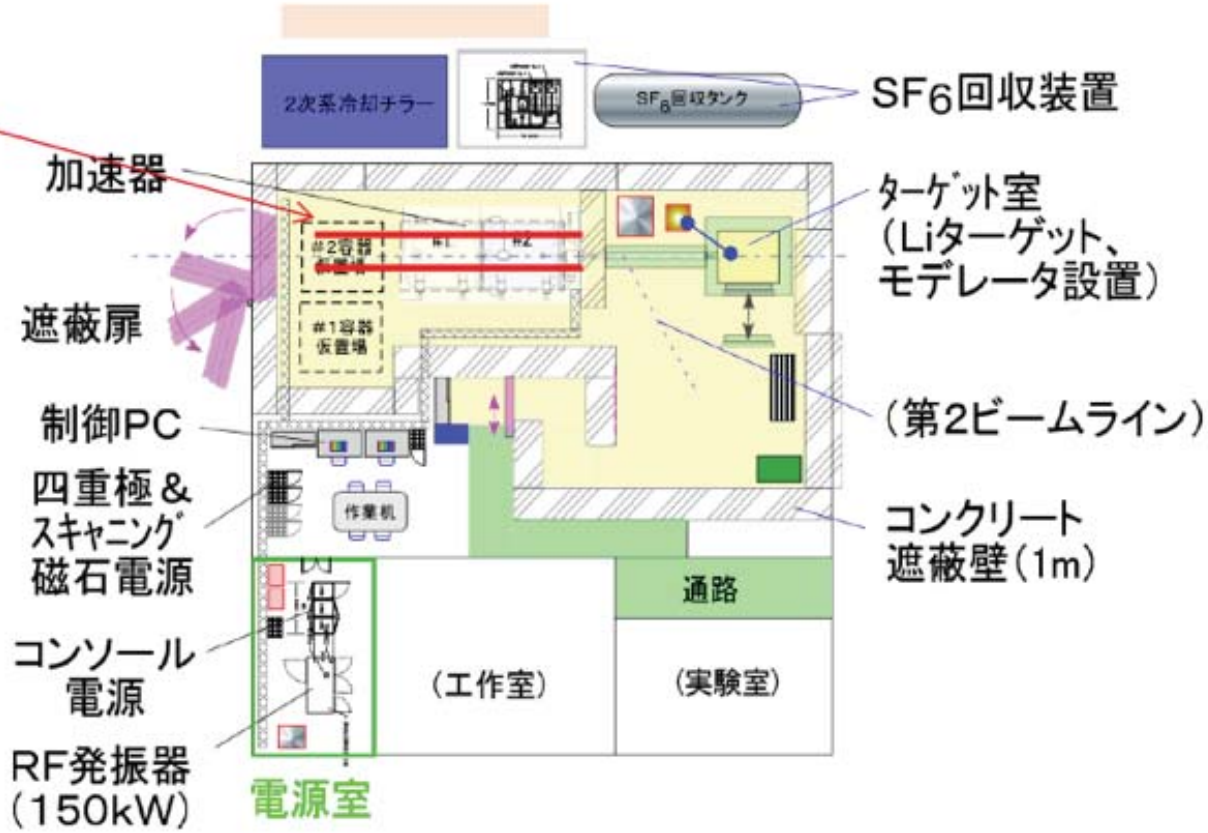
Electrostatic Accelerator
(Dynamitron)



Neutron Source & moderator

neutron flux (plan) ～10^9 n/cm^{2}s

加速器用レール設置が完了（20141031）
設置精度～±1mm



まとめ

京大原子炉の中性子ビームを用いて、工業製品の透過像測定
及びCT再構築を行った
・軸受
・エバポレーター等
軸受ではベアリング球及びオイルの様子が観察できている。コントラスト
調整をうまく行う事で、球とオイルの画像を分離する事もできるかもしれない。

また理研の小型中性子源RANSを用いて、金属板間にあるグリスの測定を行った。
グリスのような水素成分が多い液体は中性子が良く散乱されるため、少量でも
コントラストがつき易い。今回も１００ミクロン程度の厚さでも識別できた。
RANSは現状、京大炉E2と比較してもビーム強度が弱く測定時間が長くなるが、
透過像測定には利用できる。