

12. 招待講演 京都大学原子炉実験所における中性子ラジオグラフィの研究とそれに関連する活動

京都大学 原子炉実験所
藤根 成勲、米田 憲司

1. はじめに

京都大学原子炉実験所における中性子ラジオグラフィの研究は、1974年頃より京大炉の米田、桂山、辻本等、大放研（現在：大阪府立大学附属研究所）の平岡、古田等によってE-2実験孔を利用して開始された^(1,2)。E-2実験孔は熱中性子照射設備として設計されたもので、先端が重水タンクに向いており直接炉心をみないため、良質の熱中性子ビームが得られる。しかし、放射性アルゴンの放出や中性子ラジオグラフィ画像の解像度などの問題解決のためアルミニウム製プラグやコリメータの取付け等により、中性子ラジオグラフィ設備として優れた性能に改造された。1978-9（昭和53,54）年度の科学研究費によりリアルタイム中性子ラジオグラフィ装置が開発され、1980（昭和55）年に中性子テレビジョン装置による画像の撮影に成功した^(3,4)。この装置を用いて標準試料による解像度の測定、MTR型原子炉燃料側板の可燃性毒物ポロンの位置検定、水中の物体の動態観測や中性子CTなどに応用されて、実用上十分に満足できる結果を得た^(5,6,7,8)。更にこの装置を利用して気液（水-空気）二相流の研究^(9,10)、噴流層内の粒子運動の可視化の研究^(11,12)などの応用研究が開始された。

1989年より黒鉛熱中性子設備に冷中性子設備が用意され、冷中性子ラジオグラフィの実験が可能となった^(13,14)。

京都大学の原子炉(KUR)は、熱出力5MWで日本全国の大学、研究所の共同利用に供されており、多くの国内の研究者、大学の学生や外国人研究者が設備を利用している。これ迄に実施された実験項目としては次の様なものが挙げられる。

- 標準試料を用いた画質、解像度の標準化の研究^(15,16)
名古屋大学、武蔵工業大学原子力研究所、立教大学原子力研究所、近畿大学原子力研究所
日本原子力研究所東海及び大洗研究所、大阪府立放射線中央研究所（現：大阪府立大学附属研究所）
- ヒートパイプ⁽¹⁷⁾、各種材料の欠陥検出⁽¹⁸⁾、トラック・エッチ法、流体の可視化⁽¹⁹⁾、新しいコンバータの開発⁽²⁰⁾、中性子CTの研究⁽²¹⁾、定量的中性子ラジオグラフィの基礎⁽²²⁾、パラジウム金属内の水素分布の測定⁽²³⁾など
名古屋大学
- 新しいコンバータの開発（化成オプトニクス）⁽²⁴⁾、イメージングプレートによる中性子ラジオグラフィ（フジ写真フィルム）⁽²⁵⁾、古美術への応用（元興寺文化財研究所）^(26,27)、

$^{124}\text{Sb}-\text{Be}$ 中性子源によるCTの鉄製品への応用⁽²⁸⁾、タービンブレードのコアの検査⁽²⁹⁾、ロケットなどの火工品の検査⁽³⁰⁾など

大阪府立大学附属研究所

- E-2実験孔の幾何学的因子の精密測定

立教大学原子力研究所

- 噴流層内の粒子運動の解析⁽³¹⁾

京都大学

- 冷中性子ラジオグラフィの研究⁽³²⁾

立教大学原子力研究所、名古屋大学、日本原子力研究所、大阪府立大学附属研究所などの共同利用研究が実施されている。

更に、京大炉のこの分野の一部の研究者は、東京大学『弥生』高速中性子源炉を利用した中性子ラジオグラフィ、立教大炉、武蔵工大炉（現在運転停止中）、近畿大炉、日本原子力研究所の原子炉の共同研究にも参加している。

現在の主な研究課題は、画像評価法確立のための標準規格の開発、気液二相流の解析、中性子ラジオグラフィの文献・画像のデータベースの構築、冷中性子ラジオグラフィの応用、高速中性子を用いた撮像法の開発などである。

本報告では、京大原子炉の中性子ラジオグラフィ設備といくつかの研究の概要及び今後の問題点などについて述べる。

2. 京大原子炉の中性子ラジオグラフィ設備⁽³³⁾

2.1 熱中性子ラジオグラフィ設備

京大炉の熱中性子ラジオグラフィ設備は、Fig. 1 に示す実験孔のうちE-2実験孔に設置されている。実験孔は重水設備に向いているために良質の熱中性子が得られる。E-2実験孔は、熱中性子照射設備として用意されていたため、中性子ラジオグラフィ設備として利用するためには、放射性アルゴンの放出やビーム・コリメーションなどの問題があった。このため、実験孔先端にアルミニウムプラグを取り付け、先端を5cmに絞ったコリメータが設計された。先端から出口迄約5mあり、 $L/D = 100$ となっている。Fig. 2に示されているように、 B_4C 中性子シャッターがコリメータ中央部に、 γ 線用シャッターが出口近くに取り付けられている。

また、実験を容易にし、実験者の被曝を減少するために、1984年にFig. 3のような実験用ポートがビーム孔出口に設置された。

現在、次のような特徴を持つ標準的な設備となっている。

- (1) 照射位置での中性子束 $1.2 \times 10^6 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 、
- (2) カドミ比が大きい 400（金箔による）、
- (3) n/γ 比が大きい $10^6 / \text{cm}^2 \cdot \text{mR}$ 、

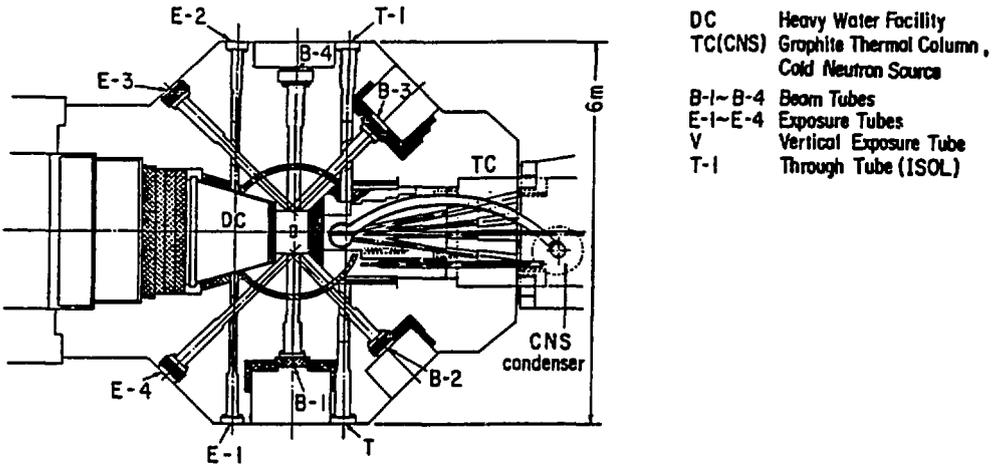


Figure 1. Horizontal View of the KUR Experimental Holes.

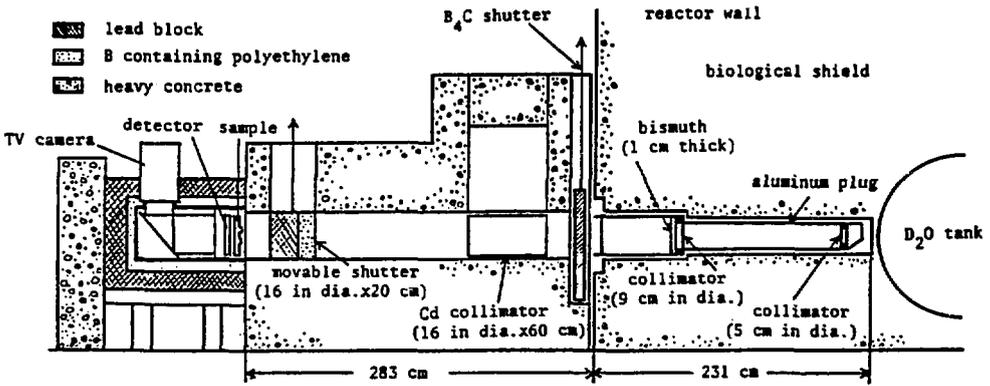


Figure 2. The KUR Thermal Neutron Radiography Facility.



Fig. 3. Sample Irradiation Port.

- (4) コリメーション比が大きい $L/D = 100$ ($D:5\text{cm}$, $L:500\text{cm}$)、
 (5) 照射野が広い 直径 16cm 。

これらの特性をまとめると Table 1 のようになる^(2,3)。

Table 1. Characteristics of the KUR Thermal NRG Facility.

1. Reactor / Power	KUR / 5000(kW)
2. Peak ϕ_{th} in core	6×10^{13} (n/cm ² ·sec)
3. Range of L	500 (cm)
4. Standard L / D	100
5. ϕ_{th} at film	1.2×10^6 (n/cm ² ·sec)
6. Gamma dose rate	4.2 (R/h)
7. Cadmium ratio	400
8. Neutron/Gamma ray ratio	1.1×10^6 (/cm ² ·mR)
9. Film size available	16 (cm in dia.)
10. Beam uniformity	± 3.5 (%)
11. ASTM-75 specification	85-12-11
12. ASTM(RISØ)-81 (NC-H-G)	79-7-7 (Category I)

フィルム法に於いては、真空カセットとGdコンバータを用いてコダックSRフィルムの組み合わせで使用されている。この他、X線用のインテンシファイアとして市販されているGd₂O₂S(Tb)を使用したKH, KO-500, KO-750 や G-4, G-8 などを使用すると解像度はかなり劣るが短時間の照射で画像が得られる。照射時間は使用するフィルムによっても異なるため、Fig.4 のようなフィルム濃度と照射時間の関係を各設備で測定する必要がある。

Gdコンバータによる直接フィルム法では、ASTM-75の標準試料でNCSR値として、熱中性子成分 $NC > 85\%$ 、散乱中性子成分 $S < 12\%$ 、感度レベル測定用穴の数 $R=11$ が得られ、基準値の70%以上、15%以下、10以上を十分に満たしている。ASTM-81(RISØ)では、 $NC > 79\%$ 、感度レベルの穴の数 $H=7$ 、ギャップの数 $G=7$ で、等級 I の NCHG値 65-6-6を十分に満たしている。これらの測定値もコンバータとフィルムの組み合わせで種々の値となる。

2.2 冷中性子ラジオグラフィ設備⁽¹⁴⁾

1989年より京大炉において、冷中性子ビーム孔の一つ CN-2 が利用できるようになった。Fig. 1 の黒鉛熱中性子設備の冷中性子源から Fig. 5 のような導管が用意され、原子炉室外の実験室が利用できる。冷中性子の波長は 2.6Å で、導管出口の大きさは高さ 74mm 、幅 10mm 、中性子束は 1×10^7 n/cm²·secである。現在、設備の特性の測定は終了しており^(14,32)、立大炉の小林が中心となって線質の解析、Be, Ti, Pbなどのフィルターの特性、各種物質の冷中性子に対する巨視的断面積を測定している⁽³⁴⁾。

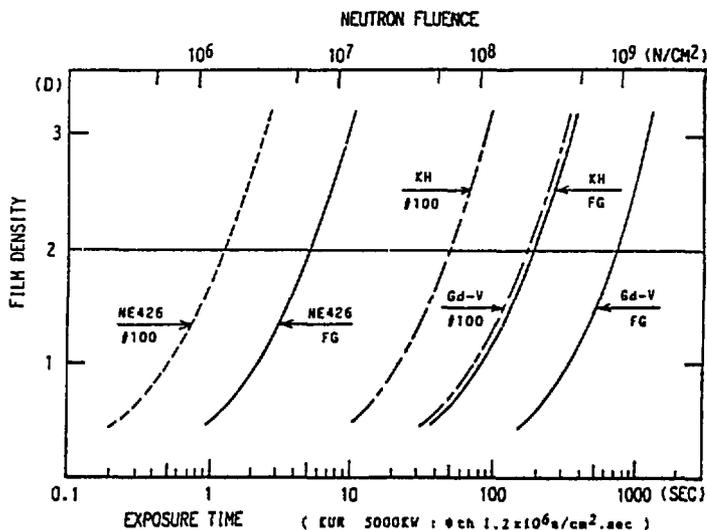


Fig. 4. Relations of Film Density and Exposure Time.

* KUR/TC *

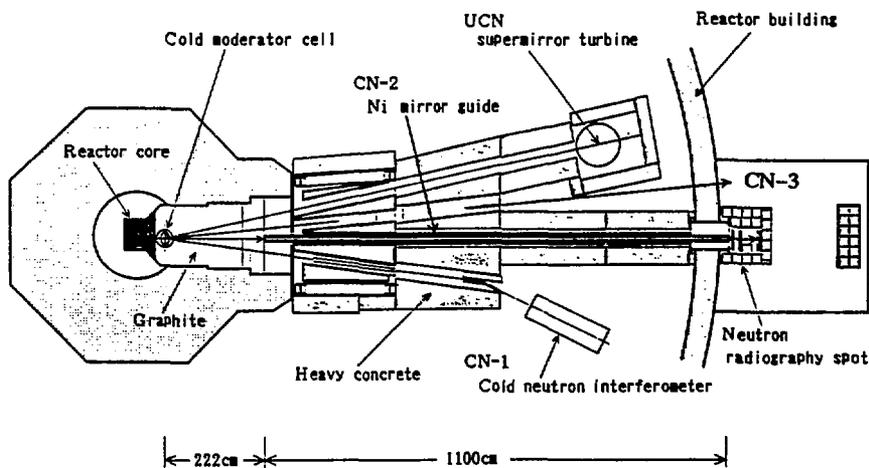


Fig. 5. The KUR Cold Neutron Radiography Facility.

2.3 実時間中性子ラジオグラフィ装置^(4,35)

蛍光コンバータの光を高感度テレビジョンカメラで撮影し、画像処理装置に入力するシステムは、現在では殆どの中性子ラジオグラフィ設備には設置されている。しかし、これらのシステムの正式な呼び方は定義されていないようである。日本語では実時間撮像法、中性子テレビジョン、電子撮像法、テレビジョン法などがあり、英語では1986年の第2回国際会議で Electronic Imaging が使用されたが、(Near) Real-time Neutron Radiography(NR), Television Methodなどが使用されたり、日本人の論文では Neutron Television(NTV) が多く使われている。最近では、Electronic Imaging と Neutron Radioscopy が外国人の論文で多く使用されているようである。とにかく、後で述べるように使用言語の定義が必要な時期にきたようである。

装置のブロック図をFig. 6に示す。装置としては、検出器としての蛍光コンバータ、その蛍光を撮影するTVカメラとその映像を記録し処理する画像処理装置およびデータ解析用のパーソナル・コンピュータから構成される。Fig. 6では、データベース用の光ディスクファイルが用意されている。

2.3.1 蛍光コンバータ

現在、京大炉でテレビジョン法で使用されているコンバータとして、次のものが挙げられる。

- (1) NE-426 (LiF+ZnS(Ag)) (nuclear Enterprise),
- (2) KH, KO-750, KO-500 (Gd₂O₂S(Tb)) など (Konishiroku Photo. Industries),
- (3) G-4, G-8 (Gd₂O₂S(Tb))など (Fuji Film Co.),
- (4) LiF+ZnS(Ag) (Kasei Optonix, Ltd.).

この内で、KH および(4)の化成オプトニクスコンバータが主に使用されている。

2.3.2 テレビジョンカメラ

イメージオルシコンとSITの二種類のテレビジョンカメラが用意されている。前者は、Fig. 3の如く常時セットされており、後者は必要に応じて設置される。後者は、レンズ交換が可能で種々の応用に対応できる。

2.3.3 画像処理装置

画像処理装置としては、IMAGE Σ 、TVIP-2000、TVIP-4100-IIが用意されている。学生実験や現場での使用には主にIMAGE Σ が便利であり、実験室でのデータ処理に他の二機種が使用される。

これまでに得られた画像処理結果についてはいくつかの報告書^(5,6,36)がある。

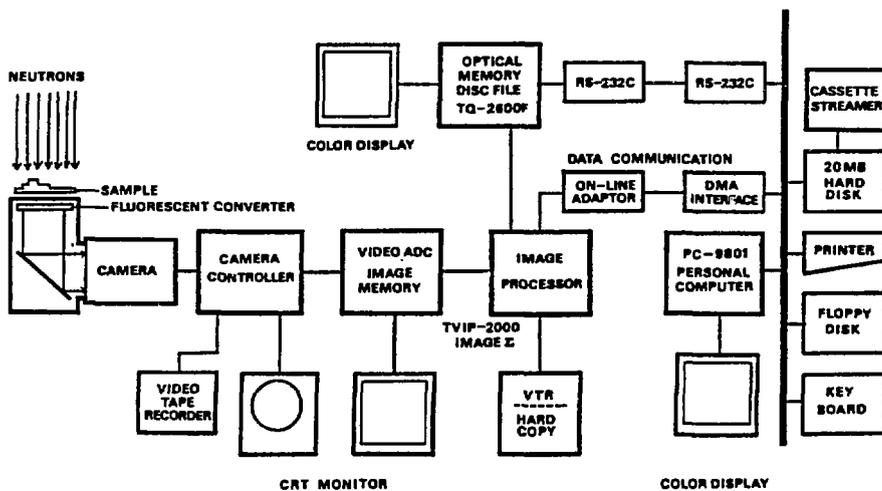
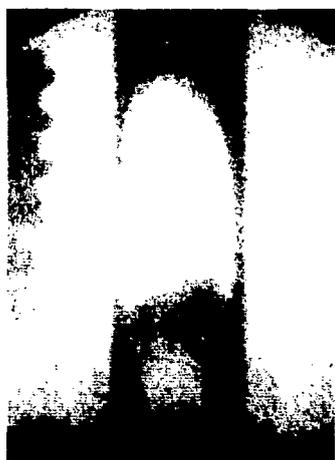


Fig. 6. The KUR NTV System Block Diagram.



(1) Slug Flow Image at KUR.



(2) Froth Flow Image at NSRR.



(3) Froth Flow Image at JRR-3M.

Fig. 7. Images of Air-Water Two-Phase Flow.

3. 京大炉における研究と活動

いくつかの研究の概要と共同利用研究、研究会などの活動について述べる。

3.1 二相流の可視化と解析

1987年より大学院学生（山形、米林）の研究課題^(37,38)として三島らの指導で開始した。E-2孔の画像（Fig. 7(1)）⁽³⁹⁾では限界があったので、さらに研究の発展のため日本原子力研究所・NSSRとの共同研究により、1988年パルス炉でフィルム法によりいくつかの気液二相流の鮮明な画像（Fig. 7(2)）を得た^(9,10)。その後、日引も参加して1990年にNSSRで沸騰二相流の高速撮影を実施した⁽⁴⁰⁾。なお、この共同研究から派生して、高速炉燃料の非破壊検査の可能性を実施したが、熱中性子では ZrH_2 のため不可能で、高速中性子による可能性が残された⁽⁴¹⁾。

1991年より、原研・JRR-3Mが利用できるようになり、より鮮明な実時間画像（Fig7(3)）が得られ、研究の発展が期待できるようになった⁽⁴²⁾。現在、平均ボイド率の測定に利用されているが、今後、画像処理法を応用して流動様式線図の作成、平均ボイド率、気液界面積濃度の測定が可能となることが期待される。

また、1988年より京大・鎌田（現在：鳥取大）が噴流層内の流体・粒子運動の解析の実験をX線、京大炉、立大炉、東大炉「弥生」、JRR-3Mなどを利用して実施した^(43,44)。しかし、研究が一段落したところで鎌田が鳥取大へ移ったため研究が中止されたのは残念である。

3.2 標準試料による線質および像質決定法の標準化

1985年中性子ラジオグラフィ研究会（主査：桂山、現在：神田）の一つの研究課題として取り上げられ、京大炉、武蔵工大炉、立教大炉を用いて日本国内の8つの研究機関の所有するASTM-75とASTM-81(RISØ-81)の標準試料の相互比較の試験を実施した。実験結果は、学会や国際会議（1986, Paris, WCNR-2）^(45,46)で発表され、問題点を指摘した。その後、国内では組織だっあまり議論されていないが、各研究組織が各々独自の研究を続けている。国外では、EC-NRWGとASTMやISO委員会などで盛んに議論されているが、まだ決定的な標準試料の開発はされていない。

京大炉では、米田がNTV法における線質計の試作研究⁽⁴⁵⁾を行っているが、立大炉の小林が独自の進んだ研究を進めている。京大炉に於いても文部省科学研究費補助金の申請を機会に”中性子ラジオグラフィ画像評価法確立のための標準規格の開発”という研究課題で新しくプロジェクトを組む計画があるが研究活動はまだ開始されていない。

3.3 高速、熱、冷中性子を用いる撮像法の研究

高速中性子を用いる研究は、1986年より9つの研究機関の共同研究として東大炉「弥生」を利用して開始された。それまでは、CR-39を用いたトラック・エッチ法でしか実施されていなかったが、この撮像法の他にフィルム法やテレビジョン法などの撮像法の開発研究を実施した^(46,47)。

テレビジョン法においては、吉井らの努力により新しい蛍光コンバータが開発され、熱中性子での画像に近い画像が得られるようになった⁽⁴⁸⁾。1990年に研究活動が5年間が経過したので研究成果を報告書にまとめた⁽⁴⁹⁾。また、これを機会に1991年より研究組織を改め、研究活動を続けている。現在、フィルム法でもかなり良質の画像が得られるようになっている。テレビジョン法でも実時間への応用に利用できるような技術を目指して努力している。

熱中性子を用いるラジオグラフィは、定常的な実験や学生実験などに使用されているが、京大炉では岡本らがイメージングプレートによる研究を実施している⁽²⁵⁾のが注目される。画像処理装置が高価なため、医療関係以外にあまり普及していないようであるが、もっと積極的に研究に採用する所があっても良いのではないかと思われる。

冷中性子を用いる研究^(13,14)は、小林らが中心となって共同研究^(32,34)を実施しているが、利用できる時間が極端に制限されている。JRR-3M（特性波長 4\AA 、ビーム孔 $50\text{mm} \times 20\text{mm}$ 、 $2 \times 10^8 \text{n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ ）と少しエネルギーが違っているところが研究の対象ともなっている。国内外で他に利用できる設備がすくないため貴重な実験である。KURでこれまで使用してきたCN-2が他の実験に専有されるため、CN-3に移行することになっている。中性子ラジオグラフィの存在価値が確立されるのはまだまだ先の事のように見える。

3.4 共同利用研究

京大炉は、国内の大学や研究所の共同利用施設であるため、年間5-8件の利用申込があり、前・後期各2回、約10数週が専有されている。共同利用の受付に対し、どういうわけか京大炉には2つの研究グループがあるように見える。大府大（旧：大放研）のフィルム法でのグループと他の研究機関での他の1つのグループである。米田が両者にまたがって努力しているが、グループはどうあれ利用できる設備はE-2実験孔1つである。共同利用設備とは言いながら予算的な裏付けはなく、科学研究費補助金や個人の研究費で整備されており、新しい設備の導入などの計画はあまりない現状である。

1993（平成5）年度の申請課題は次のようなものである。

研究用原子炉を用いた中性子ラジオグラフィの基礎研究	大府大・辻井他 5名
^{124}Sb -Be中性子源によるCT及びラジオグラフィに関する研究	大府大・藤代他 6名
中性子ラジオグラフィ撮像法の開発と応用	名大・田坂他 8名
中性子ラジオグラフィ法による水素分布定量の基礎研究	名大・玉置他 9名
中性子ラジオグラフィによるセラミックス内の微細構造の研究	鳥大・鎌田他 6名
電子撮像システムによる中性子ラジオグラフィの研究	武工大・村田他13名
冷中性子ラジオグラフィ法実用化のための基礎研究	立大炉・小林他10名

3.5 国際学術研究・大学間協力研究

1990-1992（平成 2-4）年の3年間にわたり、文部省科学研究費補助金・国際学術研究・大学間協力研究の補助を受け、米国ミシガン大学との間で『中性子ラジオグラフィ法による流動現象の可視化の研究』という研究課題のもとに協力研究が実施された。両者間の研究者の交流と講演⁽⁵⁰⁾や協力研究^(51,52)などを通して技術の相互援助、研究の発展などを期している。

現在、ガス タービン エンジンのノズルのコーキングの検査の初歩的な実験を開始している。画像の例をFig. 8 に示す。試料提供者の要望により、ノズルの先端部をカットしているが、高温断熱層内のコーキングの蓄積と亀裂の状態がFig. 8(5) からよく観測できる。また、L/D の差や中性子源の違いなどによって画像に与える影響もよく観測できる。冷中性子による画像(Fig. 8(4))では、他の熱中性子の画像に比較してコントラストが良く亀裂の状態が、またL/Dの大きいFig. 8(2),(5) ではコーキングの状態がよく観測される。

これに引き続いて京大炉とミシガン大学およびミズリー大学との協力研究を計画している。

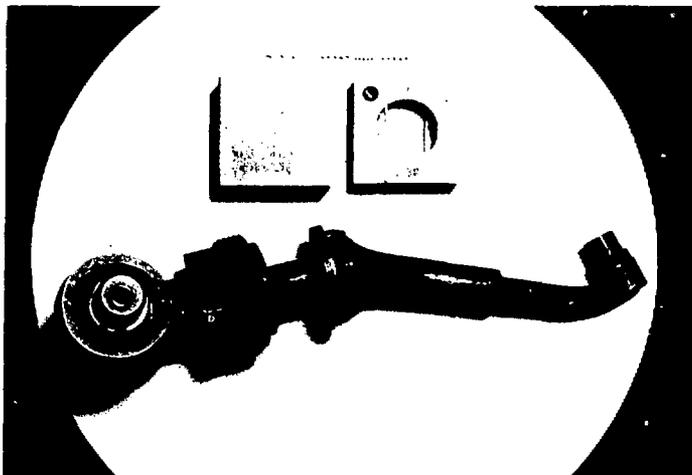
3.6 中性子ラジオグラフィ研究会

1970年以来、京大炉において7回の短期研究会を開催したといわれているが、第6回以後の報告書^(53,54)しか出版されておらず、どのような研究会であったかは不明である。しかし、1967年から1971年にかけて 5 回の非破壊検査短期研究会が開催された報告書は、KURRI-TR-30, 43, 58, 102 として出版されている。京大炉・辻本、桂山、大放研・平岡らによって開催されたこれらの研究会は、それまで国内ではこの分野の研究会があまりなかっただけに情報交換には大変重要であった。1985年の第7回以後、研究会が開催されておらず、この間第2回国際会議（1986年フランス、パリ）、第3回（1989年日本、大阪）および第1回トピカルミーティング（1990年カナダ、ペンブローク）などが開催された。1992年の第4回国際会議（米国、サンフランシスコ）に先だて、1991年に『中性子ラジオグラフィ技術とその応用』専門研究会を開催した⁽⁵⁵⁾。発表された16編の論文の内関連した12編が国際会議で発表された。我国に於いてはこのようなオープンされた研究会でも企業側からの参加や発表は少なく実情があまりよく分からない状態である。

3.7 大学院学生実験等

1986年以来、京大大学院修士課程学生実験として毎年3-5名程度を指導している。実験内容は、熱中性子ラジオグラフィの基礎実験で、各種コンパタとフィルムの組み合わせでFig. 4 を求め、標準試料によるNCSR値、NCHG値を求める事、およびテレビジョン法での基礎実験、Dyによる間接法やX線との比較などである。

その他、京都大学、近畿大学、神戸商船大学や外国人留学生などに対して同様な実験指導が実施されており、何人かの卒業や修士論文の指導も行われたが、研究課題として興味を持って研究を継続されないのは残念でもある。また、地理的な問題と大学の事情などから定常的に若



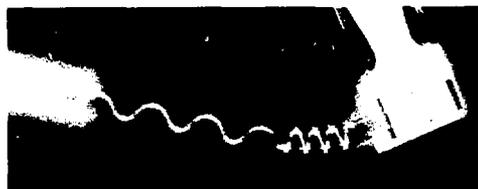
(1) Photograph of A Sample.



(2) An Image Taken
at the University of Michigan,
PML. ($L/D = 326$)



(3) An Image Taken at the KUR E-2 Hole.
($L/D = 100$)



(4) An Image Taken at the KUR CN-2 Hole.



(5) An Image (Positive) Taken
at the University of Michigan, PML.

Figure 8. Images of Gas Turbine Engine Nozzle.

い頭脳の導入ができない状態である。

3.8 国際会議

過去4回の World Conference には、京大炉からは必ず研究者が出席している。特に、第3回は大阪で開催されたこともあり、事務局を引き受けプロシーディングスを出版した⁽⁵⁰⁾。筆者らとしてはこの分野の会議でもし要請があれば何時でも全面的な協力を惜しまないつもりである。

4. 問題点の検討と展望

ここでは、本研究会での話題提供という意味もあって種々の問題点と展望について述べる。

京大炉のE-2実験孔は、良質の熱中性子を利用できる標準的な設備として充分存在価値があると思われるが、周辺の遮蔽や種々の制約のために照射野が限定され、大型の試料などでは利用し難い面もある。このため、一時使用の計画があって、現在何故か生物照射のために専有されてしまったB-1実験孔の具体的な設計もやっておいた方が良いかも知れない。予算的な裏付けさえあれば、線質の変、照射野の大きさや中性子束などの面でかなり便利な設備が実現できる可能性がある。

最近、特に痛感するのは、1980年代から盛んになり始めたこの分野の研究も1990年代に入り、研究者の世代の交代の時期にきているに関わらず研究者の増加がみられないことである。他の分野へのアピールもかねて量より質の論文を発表し、中性子ラジオグラフィに興味を持つ研究者を少しでも増加させなければならないと思われる。また、外部へのアピールもさることながら、内部でも修士や博士など学位の取得への援助も必要であろう。現在、中性子ラジオグラフィ全般に対する学会における評価は極端に低いと言わざるをえない。学会の研究発表でさえ、同じ時間帯に二つに分けてプログラムされる状態である。このような現状を打開し、中性子ラジオグラフィの地位を確立してゆくためには、質の良い論文の数も必要なのは勿論であるが、研究者の増加も一つの方法でもあると思われる。

筆者の夢としては、何処かに中性子ラジオグラフィ・センターの設立ができないものかと考えている。そこでは、これまで開発されたあらゆる技術が利用でき、文献検索、技術相談、実験のための世話、実用ベースでの画像の販売などが可能で、スタッフが十分に準備されている必要であろう。このためには、光ディスクファイルを備えた文献・画像のデータベースの構築も必要であろう。

また、これまでの研究論文の整理のみならず、これからの研究者のため、また広く他の分野の研究者に普及するため、教科書、ハンドブック、解説書などの出版も必要であろうかと思われる。我国では、まだこの分野での書籍の出版は皆無に等しい。筆者らもいくつかの計画を持っているが、まだ具体化されずにいる。より一層の努力が必要かと反省している。

さらに、設備があっても研究があまり進展しない発展途上国への協力、外国人研究者との交流、施設の相互利用、協力研究など国際協力も大いに発展すべきであろう。ただし、国内における現状は、当事者を抜きにして実情に合わない受け入れがなされているのは困ったことであ

る。また、留学生などが修得した技術や知識が帰国後あまり役立てられていない実情も改善すべきであろう。

また、別の意味からも第4回国際会議で提案のあった中性子ラジオグラフィ国際学会の設立も興味ある問題である。活動の可能な当事者達の活躍を期待したい。この分野での情報交換や活性化などのために、早期の設立を希望する一員として何らかの形でもっと議論し、次の国際会議(1995年)以前に軌道に乗せて戴けるように切に希望したい。

1991年の専門研究会で残された問題点をここでも再び提案しておこうと思う。研究会では時間の余裕がなかったため、討論されなかったが、データベースの構築、画像評価法の規格化、冷中性子NR法、画像からの定量性の向上、絶対測定の問題点、共同利用・共同研究のあり方などが挙げられる。いくつかは各人の研究課題として取り上げられているものもあるが、データベースや共同利用・共同研究のあり方などは一度議論されるべきであろう。

また、しかるべき研究会や委員会で本分野で使用する言語の定義を検討すべき時期にきていると思われる。例えば、ラジオグラフィとラジオグラフィー、カセットとカセット、コンバーターとコンバータ、国際会議と世界会議、NR, NRG, NRT, Radiography, Radioscopy, Radiology, Real-time Neutron Radiography, Neutron Television, NTV, Electronic Imaging, Neutron CT, NCT, Pseudo Color, False Color, etc. の使い方などである。

5. おわりに

京大炉の中性子ラジオグラフィ設備の概要とそれを用いて実施されている研究およびそれに関連した活動を簡単に述べた。E-2実験孔は、熱中性子ラジオグラフィ設備としては標準的な特性を有しており、数多くの共同利用研究にも利用されている。しかし、TV法におけるカメラや画像処理装置などは、他の大学や研究所に先駆けて導入されたため、いささか旧式になってきたようである。近い将来、新しいシステムを導入する必要があると思われる。冷中性子設備は、国内では原研 JRR-3M との二ヶ所しか利用できない設備であり、利用できる時間は両者ともかなり制限されているため、よく計画された実験が必要である。

京都大学原子炉実験所内での中性子ラジオグラフィは、中性子利用の一分野として外部に対する宣伝などにはいつも利用されているが、御多分にもれず評価の面では極端に低く、将来計画に於いても定式的利用としか取り扱われていない。B-1実験孔の使用計画でも、何時のまにか生物利用への採用が優先されてしまっている。いわゆる肩書きのある、発言権を持つ研究者が増加しないと、あらゆる面で押し流され、活性化につながってゆかないと、最近、特に痛感している次第である。

今後、国際学会の設立、国際会議の開催、国内研究会・委員会の活動を通して中性子ラジオグラフィへの評価を高め、早期にその地位を確立されることを期待したい。

6. 参考文献

1. Hiraoka, E. et al., "Characteristics of Neutron Radiography Systems Using Accelerators and a Research Reactor", Barton, J.P. et al. (eds.), *NEUTRON RADIOGRAPHY*, D. Reidel Pub. Co., pp.111-118 (1983).
2. 米田 憲司他、"京大原子炉における中性子ラジオグラフィの研究"、京都大学原子炉実験所、第20回学術講演会、講演要旨集、pp.91-98 (1986).
3. Kanda, K. et al., "Development of an On-line Neutron Radiography of High Resolution for Nuclear Materials", *NEUTRON RADIOGRAPHY*, pp.219-225 (1983).
4. Fujine, S. et al., "An On-line Video Image Processing System for Real-time Neutron Radiography", *Nucl. Instr. & Meth.*, 215, pp.277-290 (1983).
5. Fujine, S. et al., "Digital Processing to Improve Image Quality in Real-time Neutron Radiography", *ibid.*, 228(2), pp.541-548 (1985).
6. Fujine, S. et al., "Digital Image Processing for Real-time Neutron Radiography", *NEUTRON RADIOGRAPHY (2)*, pp.537-546 (1987).
7. Fujine, S. et al., "An Application of the Neutron Television Fluoroscopic System to Neutron Computed Tomography", *Nucl. Instr. & Meth.*, 226, pp.475-481 (1984).
8. Yoneda, K. et al., "Neutron Computed Tomography Using the Neutron Television System", *NEUTRON RADIOGRAPHY (2)*, pp.739-744 (1987).
9. Mishima, K. et al., "A Study of Air-Water Flow in a Narrow Rectangular Duct Using Image Processing Technique", The Japan-U.S. Seminar on Two-Phase Flow Dynamics, Ohtsu, Japan, pp.c.3.1-c.3.12 (1988).
10. Fujine, S. et al., "Visualization on Gas-Liquid Two-Phase Flow in a Narrow Rectangular Duct", Fujine, S. et al. (eds), *NEUTRON RADIOGRAPHY (3)*, Kluwer Academic Publ., pp.513-522 (1990).
11. 荻野 文丸、鎌田 正裕他、"X線および中性子ラジオグラフィによる噴流層内の粒子運動の可視化"、日本原子力学会、年会、F22 (1990).
12. 荻野 文丸、鎌田 正裕他、"中性子ラジオグラフィを用いた噴流層内の粒子運動の解析"、化学工学会、年会、p203 (1991).
13. Yoneda, K. et al., "Cold Neutron Beam Hole in KUR and its Radiography Tests", First International Topical Meeting on Neutron Radiography System Design and Characterization, #7, Pembroke, Ontario, Canada (1990).
14. Yoneda, K. et al., "Radiographic Measurements of Cold Neutron Guide Output from KUR-CNS", *Annu. Repts. Res. Reactor Inst. Kyoto Univ.*, 23, pp.37-45 (1990).
15. Yamagata, H. et al., "Standardization for Determining Image Quality in Thermal Neutron Radiographic Testing", *ibid.*, 19, pp.116-123 (1986).
16. Katsurayama, K. et al., "Intercomparison of Neutron Radiography Indicators Using KUR", *NEUTRON RADIOGRAPHY (2)*, pp.857-864 (1987).
17. Tamaki, M. et al., "Analysis of Two Phase Counter Flow in Heat Pipe by Neutron Radiography", *ibid.*, pp.609-616 (1987).
18. Ikeda, Y. et al., "An Evaluation of Neutron Radiography for Non-destructive Testing of Defects", *ibid.*, pp.305-312 (1987).
19. Ikeda, Y. et al., "Real-time Neutron Radiography for Fluid Dynamics and Molten

- Metals Behavior", *NEUTRON RADIOGRAPHY* (3), pp.531-538 (1990).
20. Matsumoto, G. et al., "A Boron Nitride Scintillation Converter for Neutron Radiography", *Material Evaluation*, 42-11, pp.1379-1383 (1984).
 21. Honda, S. et al., "Fine Neutron CT with Film Method", *NEUTRON RADIOGRAPHY* (3), pp.827-834 (1990).
 22. Tamaki, M. et al., "Basic Research on Quantitative Neutron Radiography Using Neutron Absorbing Honeycomb Collimator", Fourth World Conference on Neutron Radiography (WCNR-4), San Francisco, U.S.A., May 10-16 (1992).
 23. Tamaki, M. et al., "Neutron Radiographic Analysis of Distribution of Electro-Transported Hydrogen in Palladium", *ibid.* (1992).
 24. Suzuki, Y. et al., "Development of Imaging Converter", *ibid.*, pp.277-279 (1990).
 25. Okamoto, K. et al., "Application of a CR-System to Neutron Radiography" *ibid.*, pp.461-468 (1990).
 26. Masuzawa, F. et al., "Neutron Radiography Application to Ancient Arts", *NEUTRON RADIOGRAPHY* (2), pp.489-496 (1987).
 27. Masuzawa, F. et al., "Neutron Radiography Application to Ancient Arts (II)", *NEUTRON RADIOGRAPHY* (3), pp.787-795 (1990).
 28. Fujishiro, M. et al., "Application of ^{124}Sb -Be Neutrons To CT for Iron Products", *ibid.*, pp.267-273 (1990).
 29. 島原 皓一他、"中空精密铸造品の中子除去確認方法としての中性子ラジオグラフィー"、昭和59年度非破壊検査検査に関する研究発表会 (1984).
 30. 桂山 幸典他、"京大と大放研による中性子ラジオグラフィの研究"、原子力工業、29-6, pp.75-80 (1983).
 31. 荻野 文丸、鎌田 正裕他、"中性子ラジオグラフィによる噴流層内の粒子運動の可視化"、KURRI-TR-359, pp.174-184 (1992).
 32. Kobayashi, H. et al., "Quality of Cold Neutron Beam of CN-2 Guide Tube in KUR", Fourth World Conference on Neutron Radiography (WCNR-4), San Francisco, U.S.A., May 10-16 (1992).
 33. Fujine, S. et al., "KUR Neutron Radiography System", First Inter. Topical Meeting, Canada, #22 (1990).
 34. Kobayashi, H. et al., "Efficacy of Cold Neutron Radiography", WCNR-4 (1992).
 35. Fujine, S. et al., "Real-time Imaging for Neutron Radiography at KURRI", First Asian Symposium on Research Reactors (ASRR-1), Tokyo Japan (1986), *Proc. of ASRR-1*, pp.371-380 (1987).
 36. 藤根 成熟、"中性子ラジオグラフィ実時間画像法の現状-中性子テレビジョン透過装置の画像処理とその応用"、第4回立教大学原子力研究所講演会、論文集、pp.51-71 (1988).
 37. 山形 浩史、"Basic Study on Neutron Radiography"、京都大学修士論文 (1987).
 38. 米林 賢二、"中性子ラジオグラフィと画像処理法による気液二相流の研究"、京都大学修士論文 (1988).
 39. 米林 賢二他、"中性子ラジオグラフィ法を応用した気液二相流の研究"、京都大学原子炉実験所、第22回学術講演会、講演要旨集、pp.21-26 (1988).
 40. Hibiki, T. et al., "Visualization of Boiling Two-Phase Flow in Small Diameter Tube

- Using Neutron Radiography", *Annu. Repts. Res. Reactor Inst., Kyoto Univ.*, 24, pp.76-83 (1991).
41. Yoneda, K. et al., "Preliminary Study on the Visualization of a FBR Fuel by Neutron Radiography", *ibid.*, 23, pp.164-170 (1990).
 42. Hibiki, T. et al., "Study on Two-Phase Flow Using Image Processing Technique", *WCNR-4* (1992).
 43. Ogino, F., Kamata, M. et al., "Application of Neutron Radiography to the Study of Liquid-Solid Two-Phase Flow", *ibid.* (1992).
 44. 荻野 文丸、鎌田 正裕他、"中性子ラジオグラフィを用いた固液系噴流層内の粒子運動の可視化"、*化学工学論文集*、18-4, pp.515-520 (1992).
 45. 米田 憲司他、"中性子テレビジョン(NTV)法における線質計の試作"、*日本原子力学会、秋の大会*、G28 (1992).
 46. Ikeda, Y. et al., "Fast Neutron Radiography Tests at the YAYOI-Reactor, University of Tokyo", *Nucl. Instr. & Meth.*, A276, pp.183-190 (1989).
 47. 吉井 康司他、"東京大学高速中性子源炉『弥生』における高速中性子ラジオグラフィ"、*日本原子力学会誌*、32-6, pp.611-621 (1990).
 48. Yoshii, K. et al., "A Study of Television Imaging System for Fast Neutron Radiography", *WCNR-4* (1992).
 49. 藤根 成勲他編集、"高速中性子を用いたラジオグラフィ技術の開発に関する研究"、*研究報告書*、119頁 (1991).
 50. Lindsay, J.T., "A Summary of Neutron Radiography and Neutron Radioscopy Applications at the University of Michigan, Phoenix Memorial Laboratory", *KURRI-TR-359*, pp.231-249 (1992).
 51. Lindsay, J.T. et al., "A Summary of Neutron Radiography and Neutron Radioscopy Applications at the University of Michigan, Phoenix Memorial Laboratory", *WCNR-4* (1992).
 52. Fujine, S. et al., "Study on Visualization of Fluid Phenomena Using Neutron Radiography Technique", *WCNR-4* (1992).
 53. 桂山 幸典他編集、"第6回中性子ラジオグラフィ-短期研究会』報告、*KURRI-TR-252* (1986).
 54. 平岡 英一他編集、"第7回中性子ラジオグラフィ-短期研究会』報告、*KURRI-TR-282* (1986).
 55. 藤根 成勲他編集、"中性子ラジオグラフィ技術とその応用』*専門研究会報告*、*KURRI-TR-359* (1992).
 56. Fujine, S. et al. (eds.), *NEUTRON RADIOGRAPHY (3)*, Proceedings of *WCNR-3* (1990).