

令和元年度

京都大学総合技術部 第19回第5専門技術群(核・放射線系)専門研修会

京都大学複合原子力科学研究所 第28回原子炉・放射線技術研修会

<講演・技術発表の部>

日時: 2019年10月17日(木) 10:50~17:00

場所: 京都大学複合原子力科学研究所 事務棟会議室

プログラム

受付: 10:30~10:50	
開会挨拶: 10:50~11:00	複合原子力科学研究所 所長 川端 祐司
特別講演(1): 11:00~12:00	司会: 栗原 孝太
「ホウ素中性子捕捉療法の実状と展望 - 研究用中性子源の重要性 -」 複合原子力科学研究所 粒子線腫瘍学研究分野 教授 鈴木 実	
昼食: 12:00~13:00	
特別講演(2): 13:15~14:15	司会: 飯沼 勇人
「京大炉を用いた中性子放射化分析 - 宇宙地球化学分野への応用 -」 複合原子力科学研究所 同位体利用化学研究分野 助教 関本 俊	
技術発表(1): 14:15~14:45	司会: 小林 徳香
「C 架台炉心温度計用熱電対の破損と交換」 複合原子力科学研究所 技術室 竹下 智義	
休憩: 14:45~15:15	
技術発表(2): 15:15~15:45	司会: 三宅 智大
「最近の放射線障害防止法改正対応」 複合原子力科学研究所 技術室 牧 大介	
技術発表(3): 15:45~16:15	司会: 丸山 直矢
「最近の冷却系の工事について」 複合原子力科学研究所 技術室 荻野 晋也	
技術発表(4): 16:15~16:45	司会: 吉永 尚生
「LabVIEW を使った実験装置の制御」 複合原子力科学研究所 技術室 奥村 良	
閉会挨拶: 16:45~17:00	複合原子力科学研究所 技術室長 張 俊
懇親会: 17:30~	

## 特別講演(1)

### ホウ素中性子捕捉療法の現状と展望 — 研究中中性子源の重要性—

京都大学複合原子力科学研究所  
教授 鈴木 実

#### 1. はじめに

ホウ素中性子捕捉療法 (Boron neutron capture therapy, 以下 BNCT) は、ホウ素 (B) の安定同位体である  $^{10}\text{B}$  が、エネルギーの低い熱中性子を吸収して、直ちにヘリウム原子核 (アルファ線) とリチウム原子核に分裂するホウ素中性子捕獲反応 (図 1) を医療に応用した放射線治療である。この反応で、発生する 2 つのヘリウム原子核とリチウム原子核が、ともに殺細胞効果の強い重粒子線であり、かつ、2 つの重粒子線の行程が、ともに 10 マイクロメートル以下と細胞 1 つより短いということが、BNCT の放射線治療として大変ユニークな特長を付与している。

$^{10}\text{B}$  を含むホウ素薬剤を、がん細胞に選択的に集積させ研究炉、加速器中性子源からの中性子をがんの部位に照射すると、がん細胞の場で、選択的にホウ素中性子捕獲反応が発生し、重粒子の 2 つの粒子によりがん細胞を破壊し、その重粒子線は隣接する正常細胞には到達しない。このがん細胞を細胞レベルで選択的に破壊する機序から、BNCT は「がん細胞選択的重粒子線治療」というユニークな特長を有している。

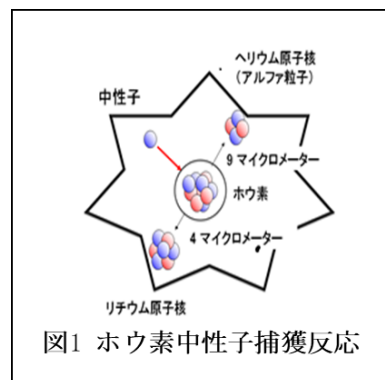


図1 ホウ素中性子捕獲反応

#### 2. BNCT の現状

京都大学複合原子力科学研究所 (以下、複合研)・研究炉である Kyoto University Research Reactor (以下 KUR) では、世界で最も多くの 600 例以上の BNCT を実施してきた。台湾、アルゼンチンでの研究用原子炉で、BNCT の実施は継続しているが、これまで BNCT を実施してきた研究炉は、国内の JRR4 を含め、廃炉の方向であり、KUR は世界で最も BNCT の症例を実施した研究炉であるという称号は、今後覆ることはない。

BNCT の現状認識として、現時点を含む 2010-2020 年は、BNCT の歴史において大きな転換期である。この 10 年間に、BNCT の臨床の場を、研究用原子炉を有する研究所から、加速器中性子源 BNCT 照射システムを導入した病院に移すための、加速器中性子源の開発、その開発機器を使用しての種々の物理的試験、細胞、マウスを使用した非臨床試験、承認医療となるための治験が実施された。この治験の実施においては、BNCT のスタッフとして、技術室の職員の方々に参加いただき、照射体位保持のための治具の作成、診療放射線技師業務など、多くの協力があつて、無事完遂できたものである。

2020 年には、大阪府高槻市の大阪医科大学の BNCT 共同医療センター、福島県郡山市の南東北 BNCT 研究センターの 2 つの医療機関に設置された加速器中性子源 BNCT 照射システムの医療機器承認、ホウ素薬剤の承認が期待されている。加速器中性子源 BNCT 照射システムを図 2 に示す。

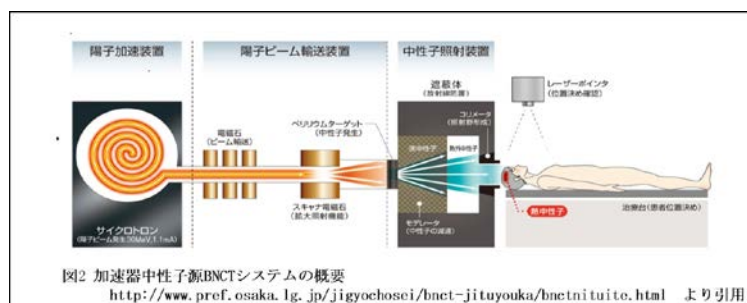


図2 加速器中性子源BNCTシステムの概要

<http://www.pref.osaka.lg.jp/jigyochosei/bnct-jituyouka/bnctnituite.html> より引用

#### 3. BNCT の展望

BNCT は「がん細胞選択的重粒子線治療」というユニークな特長により、他の放射線治療が対応できない悪性腫瘍への臨床研究を研究炉からの中性子を使用して実施されてきた。主として、初回の標準

## 特別講演(1)

治療に放射線治療が含まれる悪性脳腫瘍、進行頭頸部がんの照射野内の局所再発腫瘍を対象としての臨床研究が中心であり、加速器中性子源 BNCT 照射システム、ホウ素薬剤の 2020 年に期待されている承認は、この 2 つの悪性腫瘍の BNCT に限局されるものである。

BNCT は、照射された中性子が体内で水素原子核に衝突を繰り返すため、体深部に治療に必要な中性子量が到達しない。そのため、現状のホウ素薬剤では、深部にある膵臓癌などの適応は困難である。今後、医療機関に導入された加速器中性子源 BNCT 照射システムにより、治療に必要な中性子量を照射可能である皮膚がんである悪性黒色腫、比較的浅い部位にある骨軟部肉腫、局所再発乳がん、中性子の減弱が小さい肺に多発する肺転移腫瘍などへの臨床研究が実施されることが期待される。多くの疾患に対しての BNCT の効果が確認されることが、今後の BNCT の医療機関への普及に重要である。

### 4. 研究用中性子源の重要性

BNCT は米国生まれ、日本育ちと称されることがある。世界初の BNCT は米国の研究炉で実施され、その後、いくつかの臨床研究は日本、欧米の研究炉で継続されたが、継続的に BNCT の臨床研究が実施されてきた研究炉は、日本の複合研の KUR のみである。米国で失敗し、複合研での BNCT 臨床研究が、現在まで継続して可能であった理由は、大学の研究所として、共同利用を業務とする BNCT を研究する複数の研究分野が継続的に存在し、共同利用に必要な中性子の安定供給にあたる技術室の方々の協力が常に得られてきたことによる。

今後は、BNCT の臨床研究の場は、医療機関に移ることになる。医療機関でより多くのがん患者に BNCT が届けられるようになり、多くの研究者、企業が BNCT に関心を持つことが期待される。実際、この数年、BNCT 関連の共同利用申請件数は増加しており、研究用中性子源をアカデミアの立場で供給する複合研の重要性は、より大きくなることは確実である。

# 放射化分析法を用いた固体地球化学試料中のハロゲン及び微量元素の定量

(京都大学複合原子力科学研究所) 関本 俊

ハロゲン元素は、地殻岩石やマントル物質など、地球化学分野において興味深い試料中で、重要な情報となることが知られている。それは、ハロゲンが元素間で揮発性が大きく異なることから、上記の試料中における、その含有量や相対的な存在度（一つのハロゲンに対する他のハロゲンの存在度）を知ることが、試料そのものの生成過程やその後の変成、つまりそれらの地上への堆積や溶融、沈み込みなどの地球化学的な現象を議論する上で役に立つからである<sup>1)</sup>。しかし、地殻岩石やマントル捕獲岩などの地球の物質中の、その存在度に関する正確な値はあまり報告されていない。このことは、産業技術総合研究所の地質調査総合センターが発行する標準岩石試料の標準値一覧データベースを見ても明らかである<sup>5)</sup>。ほとんどの火成岩、堆積岩試料において、ハロゲンの認証値はほとんど無く、いくつかの参考値が与えられているだけで、値の記載が無いものもある。これは、上記のような固体試料中の微量ハロゲン元素の定量分析が困難であることに起因する。通常、岩石試料中の微量ハロゲンの定量分析には、誘導結合プラズマ質量分析法(Inductively coupled plasma mass spectrometry, ICPMS)や中性子放射化分析法(Neutron activation analysis, NAA)が用いられてきた。ICPMS の場合、臭素やヨウ素は、pyrohydrolysis 法により試料からそれらの元素を抽出することにより定量可能であるが、フッ素、塩素の定量は不可能である。一方 NAA では、原理的に4つのハロゲン元素の定量分析が可能であり、特に塩素、臭素、ヨウ素は、放射化学的な手法（中性子照射後の試料における各元素の化学分離）を伴った NAA(Radiochemical NAA, RNAA)により、ルーチン的に定量可能である<sup>2)</sup>。しかしフッ素は、中性子を捕獲した核種である  $^{20}\text{F}$  の半減期が 11 秒と非常に短いため、RNAA での定量は実質的には不可能である。尚、フッ素は、短寿命核種の分析に特化した NAA か、放射化学的な手法を伴った光量子放射化分析を用いると、定量可能である<sup>3)</sup>。

近年、講演者らは、従来の RNAA を改良し、それを用いて堆積岩標準試料中の微量ハロゲン元素（塩素、臭素、ヨウ素）を精密に定量した。得られた堆積岩標準試料中の臭素、ヨウ素の定量値と、現在、一般的な元素分析法として汎用的に用いられる ICPMS により得られた定量値を比較すると、後者が系統的に低くなる傾向が示され、ICPMS の際の試料の前処理の段階で、臭素、ヨウ素が定量的に回収されていない可能性を示唆した<sup>4)</sup>。本発表では、まず今回改良を行った RNAA の詳細について紹介する。また米国地質調査所が発行する標準物質 17 試料における RNAA による微量ハロゲンの分析値と、同様の試料に関して、これまでに報告されている文献値とを比較した結果を説明する<sup>5)</sup>。

### 参考文献

- 1) M.A. Kendrick et al., *Earth Planet. Sci. Lett.*, **365**, 86-96 (2013)
- 2) H. Ozaki and M. Ebihara, *Anal. Chim. Acta*, **583**, 384-391 (2007)
- 3) T. Nakamoto et al., *Anal. Sci.*, **23**, 1113-1119 (2007)
- 4) S. Sekimoto and M. Ebihara, *Anal. Chem.*, **85**, 6336-6341 (2013)
- 5) S. Sekimoto and M. Ebihara, *Geostand. Geoanal. Res.*, **41**, 213-219 (2017)

## C 架台炉心温度計用熱電対の破損と交換

複合原子力科学研究所 技術室  
竹下 智義

### 1. 熱電対破損

2019年4月23日、京都大学臨界実験装置（Kyoto University Critical Assembly、以下「KUCA」と呼ぶ。）C架台（軽水減速炉心用）の起動前点検途中で制御卓で「CORE TEMP「HIGH」」警報が発報し、調査した結果、C架台炉心タンク側面に据付けられている炉心温度計CH6<sup>\*1</sup>用の熱電対<sup>\*2</sup>が破損していた。

（※1：KUCAはA、B及びCの3つの架台を有し、A及びBの両架台は固体減速炉心用で、各架台の炉心近傍にはそれぞれ2本の熱電対が設置され、A、B、Cの順に炉心温度計CH1～6としている。法令上、炉心温度は運転中連続して記録される必要があるが、CH1、3、5が正の温度計、CH2、4、6は予備と見做している。）

（※2：種類はT（構成材量はプラス極が銅、マイナス極が銅及びニッケルを主とした合金（コンスタンタン）で、測定範囲は $-200^{\circ}\text{C}$ ～ $+350^{\circ}\text{C}$ 程度とされている。）である。）

破損の原因として、

- ①経年劣化（KUCA設置時（1973年頃）からずっと使い続けてきたと思われる）
- ②コネクタ部の自重による負荷の蓄積（熱電対は直径1.6mmの細いもの）
- ③年1回の炉心タンクからの取外し（水の氷点・沸点での比較校正）時の負荷の蓄積
- ④当該熱電対が長く（約2m）通路にはみ出しており、人が通過する際触れて負荷を与えていた可能性が考えられた。

### 2. 交換

破損した時期は施設定期検査期間中<sup>\*3</sup>で、施設定期検査の受検予定日から逆算して諸々のスケジュールがほとんど余裕無く組まれていたこともあり、早急な交換が必要であった。

（※3：施設定期検査とは、原子炉施設を設置する者が定められた時期ごと（KUCAでは13か月以内）に受けなければならない原子力規制委員会が行う検査で、原子炉施設のうち重要度が高い設備について立会い又は記録確認により実施される。施設定期検査期間とは、利用運転期間以外の施設定期検査を受けるための期間を指し、事業者が行う施設定期自主検査が実施される期間を含む。KUCAでは2019年は2月25日（KUCA利用運転終了日の次の仕事日）から5月21日（KUCA施設定期検査合格証交付日）までであった。）

手元にあった熱電対で代用を試みるなどしてみたが、結局同じようなサイズの熱電対を購入し4月26日に交換した。交換した熱電対を炉心タンクへ据付ける前に、熱電対の応答が正しいことを、比較校正（氷水と沸騰水に熱電対を浸し、その時の熱電対に繋がれた温度記録計の読み値と校正証明書付き水銀棒状温度計の読み値を比較し、判定基準（KUCAでは $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ 以内としている）を満たすかどうかを確認することとしている。）により確認した。

### 3. 交換後の対応

据付け後、5月7日に炉心タンクに交換した熱電対が完全に浸るまで給水し、1時間経過後に据付け部からの水漏れがないことを確認した。

交換後、保守報告書以外に不適合報告書、是正処置報告書を提出した。

本発表は上記詳細について説明するものである。

# 最近の放射線障害防止法改正対応

技術室 牧 大介

先の大戦の後、海外からの放射性同位元素の輸入が始まり、原子力の発展とともに放射性同位元素の利用が進展しはじめた。このため法律による規制が必要となり、昭和 32 年 6 月 10 日に『放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（放射線障害防止法）、昭和 32 年法律第 167 号』が公布され、翌年 4 月 1 日に施行された。

この法律は本年 9 月 1 日に『放射性同位元素等の規制に関する法律（放射性同位元素等規制法）』へ名称が変わった。法律および命令は、その規制内容と実際の RI 取扱施設の実態との乖離、RI 取扱技術の進展及び社会的要請に応じて随時改正される。さらに、国際約束を国内に取り入れる場合にも行う。

今回の法令改正の内容は極めて重大であり、全国の RI 取扱事業所はその対応に追われた（今でも追われているかもしれないが・・・）。大事な変更点として、①報告義務の強化、②廃棄に関する特例、③危険時の措置の強化、④教育訓練の内容変更、⑤特定放射性同位元素防護、である。当所は特定許可使用者であり、特定放射性同位元素を保有するため、すべての変更項目に対応する必要がある、これらの法改正内容に合わせて、放射線障害予防規程を改正（今年 4 月 1 日実施）し、特定放射性同位元素防護規程を制定（先月 1 日）した。ここ数年の放射線取扱主任者業務は、これらの改正準備のために費やした。技術発表当日には、上記の内容に関して、どのような対応をしたのかを報告する。

なお、来年 4 月に再度の法令改正が行われると聞いている。これは、水晶体の等価線量限度が引き下げられることに伴うものようである。技術報告では、この話もしたいと考えている。

## 最近の冷却系の工事について

研究炉部 荻野 晋也

### 1. はじめに

KURは昭和37年(1962年)に設置され、昭和43年(1968年)に5MW出力上昇の工事が行われた。原子炉冷却設備については、それ以来ずっと使用を続けている設備もあれば、更新された設備もある。どちらの設備であっても定期的な点検は欠かせず、設備によって定められた期間において点検を行っている。今回の発表では今年度に行った熱交換器と冷却塔に関する工事について発表する。

### 2. 熱交換器の分解点検

KURの炉心で発生した熱は、燃料から1次冷却水(純水を使用)に伝達され、3基の熱交換器を通して1次冷却水から2次冷却水(一般の水道水を使用)に伝達され、屋外にある冷却塔から大気中に放出される。熱交換器はステンレス鋼製であり、ステンレス鋼は腐食には強いイメージがあるが、腐食が発生しないわけではない。熱交換器で腐食が発生した場合は漏水が発生したり、熱交換器内部の伝熱管に穴が開いてしまった場合は1次冷却水と2次冷却水が混ざり合う可能性がある。このため、熱交換器は定期的に分解点検を行い、内部の確認を行っている。熱交換器No.1について、フランジ部分には腐食はなかったが、内部の部品を押さえる金具に腐食が見られた。この腐食は有意なものではなかったが、可能な限り修復するため、溶接による補修を行った。また、熱交換器No.3について、ピープホール(覗き窓)のフランジ部分に腐食(図.1)が見られたため、溶接補修と部品交換を行った。

内部の伝熱管については、非破壊検査である渦流探傷検査(図.2)を行った。渦流探傷検査とは交流電流を流しているコイルを伝熱管に挿入し、伝熱管に傷や凹みがないか確認する検査である。傷や凹みがある場合、交流電流で発生した磁束に変化が生じ、交流電流に変化が現れる。この変化を観測し、傷や凹みの大きさと深さを測定し、異常かどうかを判断する。今回、熱交換器No.1についてこの検査を行ったところ、傷や凹みはあったが有意な異常ではなかった。

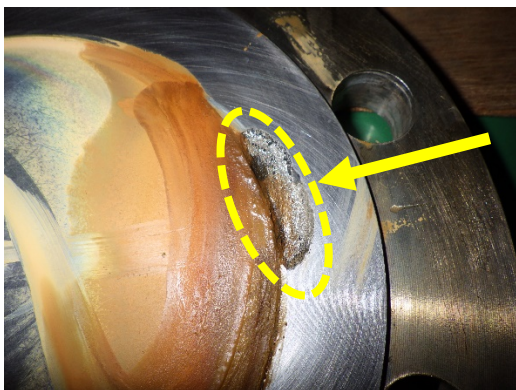


図.1 フランジに発生した腐食



図.2 渦流探傷検査作業風景

### 3. 冷却塔モーターファンの点検整備

冷却塔は5MW出力上昇工事のときに設置されたものを使用している。冷却塔にはファンが設置されており、2次冷却水はファンの送風により冷却される。このファンと、これを動かすモーターはそれぞれ昭和55年(1980年)と平成2年(1990年)に更新がなされている。このモーターは既に製造中止となっていることから、モーターの更新はできないため、分解整備を行った。モーターの動力を伝える減速機については、ほぼ全ての部品を交換した。ファンの羽根については補修し、元

## 技術発表(3)

の綺麗な状態に戻した。全ての整備が完了した後、冷却塔に取り付け試運転を行い、異常なく元の状態に復帰した。

### 4. 工事をしてきて感じたこと

冷却系担当として工事を行って来て度々悩まされていることは、設備が古いということである。設備を構成する部品が廃盤となっていたり、メーカーの技術者が退職しているなどの問題が出てきている。また、古いからと言って直ぐに新しいものに取り換えることはできない。そこには規制庁による承認という壁があり、これのために設備の更新には大きな労力と費用と時間を必要とする。よって可能な限り整備を行って、良い状態を維持していく必要がある。

KURの運転終了まで安全に運転できるよう、設備と向き合っていきたい。



## LabVIEW を使った実験装置の制御

複合原子力科学研究所 技術室  
奥村 良

### 1. LabVIEW とは

LabVIEW とは、日本ナショナルインスツルメンツ株式会社が販売している高度な計測/テスト/制御システムの開発に使用されているグラフィカルプログラミング環境です。アイコンとワイヤを使用するフローチャートに似た直感的なインターフェースが特徴です。多数のハードウェアデバイスとの統合が可能で、高度な解析やデータの可視化が行えるライブラリも数多く内蔵されており、その全てを使って VI を作成することができます。

### 2. LabVIEW の特長

- 短時間でのプログラミングが可能である事  
テキスト行ではなくドラッグアンドドロップ式のグラフィカル関数ブロックでプログラミングが可能。
- ハードウェアを LabVIEW と統合できる  
内蔵のライブラリや多彩な計測機ドライバで、任意の計測機やセンサに接続が可能です。
- 高度な解析及び信号処理  
FFT 解析, カーブフィット等の工学に特化した多数の関数が利用可能。
- 実行のハイライト  
内蔵のデバッグツールを使用し、コードを並列実行用に最適化でる。

### 3. 今までの開発例

- 圧気輸送管(黒鉛)照射設備 (PLC)
- RI 排水-Pn 監視システム (PLC)
- Ge 検出器用サンプルチェンジャー1 (PLC - MCA)
- Ge 検出器用サンプルチェンジャー2 (PLC - MCA)
- Ge detector Compton Suppression System (ステッピングモータ)
- KURAMA (放射線検出器 - GPS - cRIO)
- B-1 監視・制御システム (PLC - cRIO)
- B-1 電源制御システム (Power supply)
- B-3 中性子回折装置自動測定システム (ゴニオメーター - 計測デバイス)
- E-2 ラジオグラフィ—試料自動回転撮影システム (ステッピングモータ - CCD カメラ)

### 4. KURAMA の現状

GPS 連動型放射線計測システム(KURAMA)は 2011 年の東日本大震災による原子力災害をきっかけに開発された放射線マッピングツールである。KURAMA は LabVIEW をベースに開発しており、これまで何度もバージョンアップを繰り返して様々なシチュエーションに対応してきた。本発表では KURAMA を用いた様々な取り組みの現状についても紹介する。

### 5. まとめ

実験設備管理部では実験装置の新規製作や改良を行っており、その製作にあたって放射線、電気、機械、計測・制御の知識が必要とされる。本来であればすべてにおいて深い知識・技術を習得し、それぞ

## 技術発表(4)

れのエキスパートになることが望ましいが現状では難しく、限られた人数で装置を完成させるには深い専門性よりも幅広い知識が要求される。そういう状況において LabVIEW は計測・制御分野において最適なツールであり、現状でも LabVIEW のスペックで不足するような状況には至っていない。また、計測・制御機器メーカーとしても LabVIEW が標準化してきており製品を購入すると専用の VI (Virtual Instruments, LabVIEW で使用する関数) が付属されていることが多くゼロからプログラミングを作成することがなくなっている。今後も更なる普及を期待したい。

## C架台炉心温度計用熱電対の破損と交換

2019年10月17日 第5専門群専門研修会  
技術室 竹下智義

### 熱電対とは

1821年、ドイツ人科学者ゼーベック(T.J. Seebeck)が、2つの異なる金属をつなげて、両方の接点に温度差を与えると、金属の間に電圧が発生し、電流が流れることを発見しました。

この現象を発見者の名前をとって「ゼーベック効果」と言います。この回路に電流を起こさせる電力を熱起電力 (Thermoelectromotive force) と呼ばれ、その極性と大きさは2種類の導体の材質と両端の温度差のみによって定まることが確認されています。

熱電対は前述のゼーベック効果により、2種類の金属の接合部(測温接点) T1の温度と計測器側接点(基準接点) T0の温度差Tによる電圧を発生します。

熱電対を使用して温度を計測する場合、計測器でこの電圧を測定します。



KEYENCEのHP  
(<https://www.keyence.co.jp/ss/products/recorder/lab/thermometry/thermocouple.jsp>)より

### 熱電対破損

2019年4月23日

京都大学臨界実験装置 (KUCA)

C架台(軽水減速炉心用)の起動前点検途中に制御卓で「CORE TEMP「HIGH」」警報が発報し、調査した結果、C架台炉心タンク側面に据付けられている炉心温度計CH6用の熱電対が破損していた。

※当日夜に、たまたま原子炉当直だった金山雅哉氏のところにCA部員が大拳押しかけ相談に乗って頂いた。感謝しています。

### 熱電対とは

熱電対とは二種類の異なる金属導体で構成された温度センサのことです。

主に工業用として使用されるこの熱電対は、他の温度計(水銀計、サーミスタなど)と比較して下記のような特長があります。

- ・応答が早い。
- ・ $-200^{\circ}\text{C}$  ~  $+1700^{\circ}\text{C}$  と広範囲の温度測定が可能。
- ・特定の点や小スペースでの温度測定が可能。
- ・温度情報が電気信号(熱起電力)として検出されるので情報処理・解析がシンプル。
- ・安価で入手しやすい。

KEYENCEのHP (<https://www.keyence.co.jp/ss/products/recorder/lab/thermometry/thermocouple.jsp>)より

### 熱電対とは

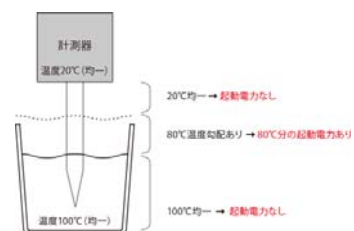
#### 熱電対のセンサ部はどこ?

図は熱電対を熱い液体の入ったコップに挿入したイメージ図です。

液体の中の温度は均一に $100^{\circ}\text{C}$ であると仮定します(温度勾配がない)。

この時、液体内の熱電対部分に熱起電力は発生しません。熱起電力が発生するのは温度勾配がある部分のみです。

熱電対のセンサ部は熱起電力が発生する部分ですので、この温度勾配部が熱電対のセンサ部になります。



KEYENCEのHP (<https://www.keyence.co.jp/ss/products/recorder/lab/thermometry/thermocouple.jsp>)より

### 熱電対破損



## 熱電対破損

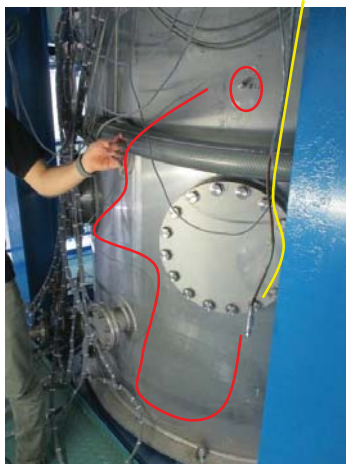


## 熱電対破損



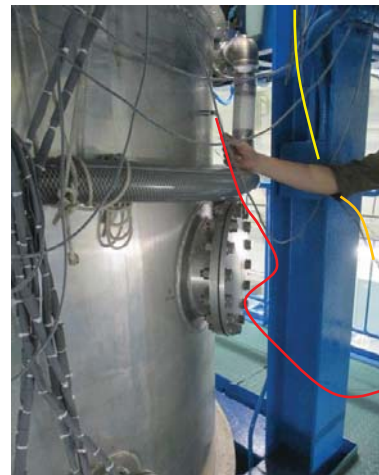
手で少し触ったら完全に破断した。

## 熱電対破損



赤線: 熱電対  
黄線: 補償導線

## 熱電対破損



赤線: 熱電対  
黄線: 補償導線

## 熱電対破損



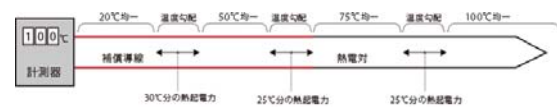
熱電対と補償導線のコネクタ

## 補償導線とは(1/2)

補償導線とは熱電対と温度計測器との間を接続するのに使用する導線のことで、使用温度範囲(0°C~+60°C)においては熱電対とほぼ同等の熱起電力特性をもっていますので、主に熱電対の延長に使用します。

熱電対の延長はなぜ補償導線でないとダメなのか

下図のような温度勾配を考えます。

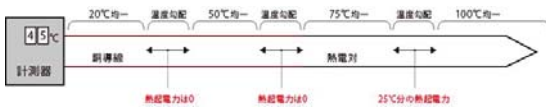


20°C(基準接点補償)+30°C+25°C+25°C=100°C

感温部は温度勾配がある部分ですので、補償導線においても、その温度差に相当する熱起電力が発生します。計測器では発生した熱起電力の合計値を演算し、温度として表示します。

KEYENCEのHP (<https://www.keyence.co.jp/ss/products/recorder/lab/thermometry/thermocouple.jsp>) より

## 補償導線とは(2/2)



20° C(基準接点補償)+0° C+0° C+25° C=45° C

上図のように補償導線を使用せず、仮に銅導線を使用すると、温度勾配のある部分であっても熱起電力が発生しません。その結果、温度の測定結果としては誤差が生じてしまいます。

### 温度勾配がなければ銅導線でもOK?

実際に温度勾配がない場合においては、熱起電力が発生しません。従って、熱起電力が発生しないような温度勾配のない部分の延長に関しては銅導線でも問題ありません。

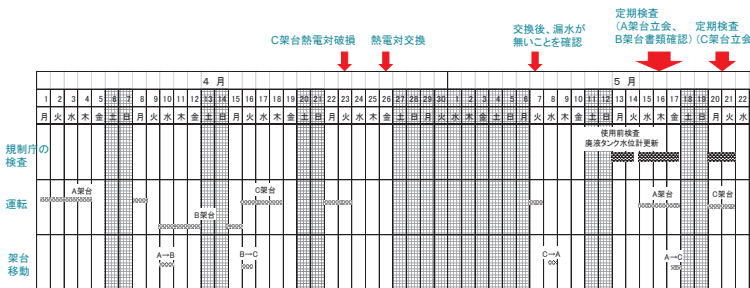
KEYENCEのHP (<https://www.keyence.co.jp/ss/products/recorder/lab/thermometry/thermocouple.jsp>)より

## 破損の原因?

- ①経年劣化(KUCA設置時(1973年頃)からずっと使い続けてきたと思われる)
- ②コネクタ部の自重による負荷の蓄積(熱電対はφ1.6mmの細いもの)
- ③年1回の炉心タンクからの取外し(水の氷点・沸点での比較校正)時の負荷の蓄積
- ④当該熱電対が長く(約2m)通路にはみ出しており、人が通過する際触れて負荷を与えていた可能性

14

## 施設定期検査期間中のスケジュール



※定期検査は元々は5/7~9及び5/14,15の予定であったが、規制庁側の都合(検査員の確保等?)により4/24に上記に延期されることが告げられた。

15

## 施設定期検査期間とは

施設定期検査とは、原子炉施設を設置する者が定められた時期ごと(KUCAでは13か月以内)に受けなければならない原子力規制委員会が行う検査で、原子炉施設のうち重要度が高い設備について立会い又は記録確認により実施される。

施設定期検査期間とは、利用運転期間以外の施設定期検査を受けるための期間を指し、事業者が行う施設定期自主検査が実施される期間を含む。KUCAでは2019年は2月25日(KUCA利用運転終了日の次の仕事日)から5月21日(KUCA施設定期検査合格証交付日)までであった。

16

## KUCAの熱電対

KUCAはA、B及びCの3つの架台を有し、A及びBの両架台は固体減速炉心用で、各架台の炉心近傍にはそれぞれ2本の熱電対が設置され、A、B、Cの順に炉心温度計CH1~6としている。法令上、炉心温度は運転中連続して記録される必要があるが、CH1、3、5が正の温度計、CH2、4、6は予備と見做している。

種類はT(構成材量はプラス極が銅、マイナス極が銅及びニッケルを主とした合金(コンスタンタン)で、測定範囲は-200°C~+350°C程度とされている。)である。

17

## 熱電対交換の試行(4月24日)

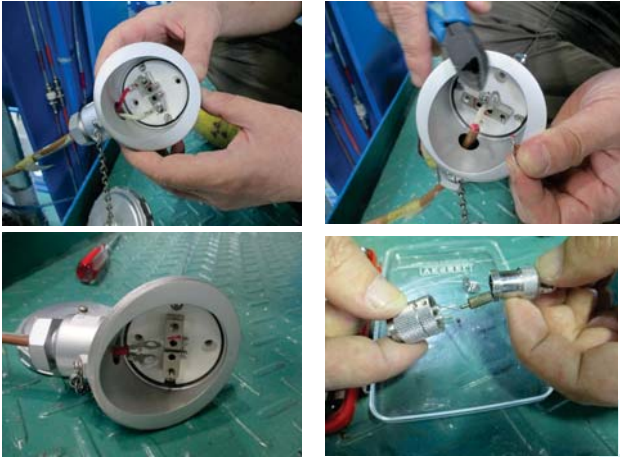
安全管理本部長の設工認不要の判断が下る前に、手元にあった熱電対で代用可能かどうかを判断するために、交換を試みるなどしてみたが、結局同じようなサイズの熱電対を購入し4月26日に交換した。



18

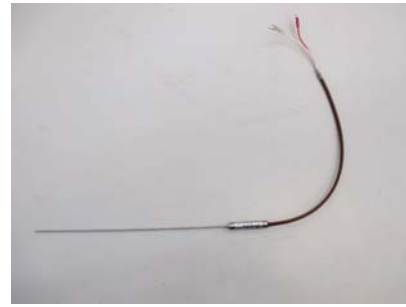
## 熱電対交換の試行

(ケーブル被覆をカッターで剥いたとき手を怪我しました。注意しましょう。)



9

## 新規購入した熱電対



安全原子カシステム研究センターの伊藤大介助教が業者の紹介、入手手配、購入手続きをして下さった。

20

## 新規購入した熱電対



熱電対に貼られたシール。

TYPE: Standard T  
シース外径: φ1.6mm  
精度: CLASS 2  
熱電対長さ: 200mm



熱電対に貼られたシール。  
(別アングル)

MATERIAL(シース材質):  
(SUS)316  
製造番号:(大貴工業株式会社)  
139818

21

シース熱電対検査成績書  
Sheathed Thermocouple Test Record

2019 年 5 月 8 日  
京都大学原子伊東実験所 御生  
大貴工業株式会社

仕様 STS-35 φ1.6x200 EXD300L  
Spec

プロジェクト名 Name of Project	図番番号 DWG No.	形式 Type	型式 Type
熱電対種別 Thermocouple	シース外径 Sheath OD	φ1.6	シース材質 Material
精度 Accuracy	精度点形式 (No. Junction)	U(非接地)	数量 Quantity
			6

NO.	製造番号	針番号 径3 (mm)	熱起電力値 (mV)	
			設定温度 200℃	200℃
1	139813	200	+0.0150	+0.0276
2	139814	200	+0.0150	+0.0276
3	139815	200	+0.0150	+0.0276
4	139816	200	+0.0150	+0.0276
5	139817	200	+0.0150	+0.0276
6	139818	200	+0.0150	+0.0276
7				
8				
9				
10				
11				
12				

※検査数値はワイヤカット記録書に依り、示す。

備考・付属品	検査	製造形式	承認	検査印	検査日
温度 23℃	5MΩ以上				
湿度 28%	外観検査				

22

## 熱電対交換(4月26日)



炉心タンクへの取付治具の構成。

左から  
・炉心タンク側面への取付用ねじ  
(既存品)  
・熱電対を溶接(銀ろう付け)した  
ねじ(新規制作)  
・六角頭付ねじ(既存品)



熱電対を溶接(銀ろう付け)した  
ねじ。  
(ねじの製作、銀ろう付けは実験  
設備管理部(工場)の金山雅哉  
氏による。)

23

## 熱電対交換



熱電対を溶接(銀ろう付け)した  
ねじ。  
(逆アングルより)



炉心タンクへの取付治具を組み  
合わせた状態。

24

## 熱電対交換



炉心タンクへの取付治具を組み合わせた状態。  
(拡大)  
(実際の取付時には、各ねじ山にシールテープを巻きシールする。)  
(左側の炉心タンク側面への取付ねじ(既存品)はモンキーレンチでつかめるように2面、面落としをした。(工場の金山雅哉氏による。))



炉心タンク側面の熱電対取付穴。  
(周りの円周状の傷は、年1回の取外し(水の氷点・沸点での比較校正)時に、パイプレンチを使って取り外してきた際に出来たもの。炉心タンクに水漏れ等を引き起こす有害なものではない。)

25

## 熱電対交換



既存コネクタのオス側(右下)に熱電対の補償導線ケーブルをはんだ付けした。



コネクタへのはんだ付け部拡大。熱収縮チューブで絶縁処理をした。

26

## 熱電対交換



既存コネクタ(メス側)にも既存補償導線(C架台～制御室温度記録計)を新たにはんだ付けした。  
(熱収縮チューブ(黄色)の絶縁処理前。)



コネクタを接続した状態。  
(コネクタの両側には耐熱ビニールテープ(茶色)を巻いた。)

27

## 熱電対交換



炉心タンク側面へ熱電対を取り付けた。  
(取付ねじの各ねじ山にはシールテープを巻いている。)

コネクタには、熱電対が破損した個所に負荷を与えないように、既存の電線館にインシュロック(白色)で固定した。(右側)



電線管へのインシュロック固定部。

28

## 熱電対交換

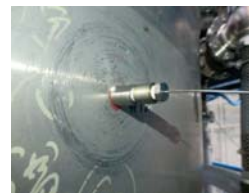


コネクタ部だけでなく補償導線(C架台～制御室)も既存電線管へ他のケーブル(制御棒C1、C2、安全棒S6のシート信号用ケーブル)と共にインシュロック固定した。

炉心タンク側面へ熱電対を取り付ける前に、当該熱電対からの信号を受ける温度記録計CH6での水の氷点と沸点による熱電対の比較校正を行った。

29

## 漏えい検査(5月7日)



炉心タンクに交換した熱電対が完全に浸る水位(1550.9mm)まで給水し、1時間経過後炉心タンク側面の熱電対取付部を目視で確認し、水漏れがないことを確認した。

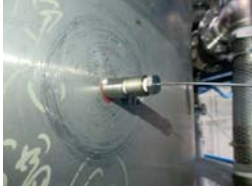
(写真は1時間経過後のもの)



確認後、C架台運転(施設定期自主検査)を実施した。

30

## 漏えい検査(5月7日)



炉心タンクに交換した熱電対が完全に浸る水位(1550.9mm)まで給水し、1時間経過後炉心タンク側面の熱電対取付部を目視で確認し、水漏れがないことを確認した。

(写真は1時間経過後のもの)

確認後、C架台運転(施設定期自主検査)を実施した。



31

## 破損の原因?(再掲)

- ①経年劣化(KUCA設置時(1973年頃)からずっと使い続けてきたと思われる)
- ②コネクタ部の自重による負荷の蓄積(熱電対はφ1.6mmの細いもの)
- ③年1回の炉心タンクからの取外し(水の氷点・沸点での比較校正)時の負荷の蓄積
- ④当該熱電対が長く(約2m)通路にはみ出しており、人が通過する際触れて負荷を与えていた可能性

32

## 是正処置(1/2)

破損の原因として④②③の何れかが主要因ではないかと考えており、以下のとおり是正処置を実施した。

④(※当該熱電対が長く通路にはみ出しており、人が通過する際触れて負荷を与えていた可能性)については、各架台で熱電対が通路にはみ出していないか確認したところ、C架台CH5用熱電対が通路にはみ出していたため、タンクフランジに熱電対の補償導線を巻き付け人が当たらないようにした。A、B架台の熱電対は通路にはみ出していないかった。

②(※コネクタ部の自重による負荷の蓄積)については、C架台CH5用熱電対に対してはタンクフランジに補償導線のコネクタ部を巻き付けた。これにより、CH6用熱電対が破損したタンク取付部の箇所に負荷が掛からないようになった。A、B架台の熱電対は、C架台と異なり炉心の燃料集合体間の隙間に差し込んでいるだけなので②による破損のリスクは低いと考える。

33

## 是正処置(2/2)

③(※年1回の炉心タンクからの取外し時の負荷の蓄積)については、C架台の破損したCH6用熱電対には炉心タンク取付部のネジ(漏水防止のため熱電対を銀ろう付け)がパイプ型であったものを2面取りしてパイプレンチを使わずモンキーレンチ等で容易に取回し出来るようにした。CH5用のは既設熱電対が溶接されてしまっており、加工すると熱電対、溶接部等に損傷を引き起こしかねないため、CH5、6用の熱電対には「熱電対取り外し時、コネクタを先に取り外す事」とテブラ表示し、熱電対取回し時にはコネクタを外してから行うことを徹底することにする。A、B架台の熱電対は②に対して述べたように炉心に差し込んでいるだけであるので③による破損のリスクは低いと考える。

なお、①の経年劣化に対しては各架台の残り5本の全交換が望ましいのであろうが、CH1,3,5用の熱電対交換は原子力規制庁への工事認可(設工認)が必要であると考えられるため、年次の点検校正(水の氷点・沸点での比較校正)で異常が見られない限り更新しない方針である。

34

## 講じた是正処置の効果の確認

普段の原子炉運転時の点検及び年次の点検(水の氷点・沸点での比較校正)をもって正常であることを確認する。万一是正処置にも関わらず不具合が発生した際には是正処置の内容を再度検討する。

以上です。ご清聴ありがとうございました。

35



## 最近の放射線障害防止法 改正対応

令和元年10月17日

技術室 RI管理室  
牧 大介

### 履歴（平成17年から今日まで）

- 平成17年3月 九州大学大学院修士課程を修了
- 平成17年4月 (株)千代田テクノル 入社  
入社以来、同社大洗事業所（茨城県大洗町）にてガラスバッチの設計・開発・品質管理、放管事務（R1法関連法定帳簿作成、測定、変更申請など）、選任放射線取扱主任者に従事していた。社外では日本保健物理学会等の編集委員に従事していた。
- 平成23年3月 大阪大学大学院博士課程を修了  
ガラス線量計の高度化に関する研究に従事した。
- 平成26年7月 原子炉実験所に転職  
放射線管理部、RI管理室、放射線取扱主任者、廃棄物処理部などに従事中。

### 発表の構成

- 履歴（平成17年から今日まで）
- 原子力基本法、放射線障害防止法、・・・
- 過去の主な放射線障害防止法令の改正
- 今般の放射線障害防止法改正と対応
- 目の水晶体等価線量限度の引き下げ

### 原子力基本法、放射線障害防止法、・・・

原子力基本法（昭和30年法律第186号）

（放射線による障害の防止措置）  
第二十条 放射線による障害を防止し、公共の安全を確保するため、放射性物質及び放射線発生装置に係る製造、販売、使用、測定等に対する規制その他保安及び保健上の措置に関しては、別に法律で定める。

### 放射線障害防止法（現在名：放射性同位元素等規制法）の根拠

昭和32年公布 昭和33年4月1日施行

### 原子力基本法、放射線障害防止法、・・・

原子力基本法（昭和30年法律第186号）

（核燃料物質に関する規制）  
第十二条 核燃料物質を生産し、輸入し、輸出し、所有し、所持し、譲渡し、譲り受け、使用し、又は輸送しようとする者は、別に法律で定めるところにより政府の行う規制に従わなければならない。

（原子炉の建設等の規制）  
第十四条 原子炉を建設しようとする者は、別に法律で定めるところにより政府の行う規制に従わなければならない。これを改造し、又は移動しようとする者も、同様とする。  
第十五条 原子炉を譲渡し、又は譲り受けようとする者は、別に法律で定めるところにより政府の行う規制に従わなければならない。  
第十六条 前二条に規定する規制に従つて原子炉を建設し、改造し、移動し、又は譲り受けた者は、別に法律で定めるところにより、操作開始前に運転計画を定めて、政府の認可を受けなければならない。

### 原子炉等規制法の根拠

昭和32年6月10日公布

### 過去の主な放射線障害防止法令改正

改正時期	主な内容
昭和55年	・ RI廃棄物の海洋投棄の制限 ・ 定期検査、RI主任試験などを国に代わって、指定代行機関が行えるようになった。
昭和63年	・ 数量、線量当量が国際単位系となった。 ・ 被ばくデータを指定機関（放射線影響協会）に引き渡すことができるようになった。
平成3年	・ 放射線施設の定期点検を行うことを予防規程で定めることが義務化。 ・ 放射線管理状況報告書の制度化。
平成11年	・ 中央省庁再編に伴う府省名称、大臣名称の変更。
平成12年	・ ICRP1990年勧告を取り入れ、実効線量、等価線量が登場した。
平成16年	・ BSS下限値が導入され、密封線源、非密封線源の許可基準に大変更が加えられた。 ・ 表示付認証機器の登場。
平成24年	・ クリアランス制度が導入された。 ・ 加速器放射化物の規制強化。
平成25年	・ 原子力規制委員会が設置されたことによる改正。 ・ 水戸原子力事務所の廃止。

## 今般の放射線障害防止法令改正と対応

改正時期	内容
平成29年	平成28年1月 IAEAのIRRS(総合的規制評価サービス)を受検し、放射線源による緊急事態への対応等、規制取り組みを強化すべきとの勧告を受けた。その結果、 『原子力利用における安全対策の強化のための核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律等の一部を改正する法律（平成29年4月14日 法律第15号）』が公布された。

改正法第4条 平成30年4月1日施行  
改正法第5条 令和元年9月1日施行

## 今般の放射線障害防止法令改正と対応

改正法第4条	① 原子力規制委員会等への報告義務化	② 廃棄に係る特例の創設	③ 試験・講習等の科目の規制への委任	④ その他
災害時の応急措置の規制委員会への報告 旧法令 → 規則で規定 新法令 → 法律に規定（→ 罰則が付いた。）	予防規程に影響を与えた。	研究所廃棄物は全て原子炉等規制法廃棄物として処分できるようになった。	放射線取扱主任者試験、主任者試験資格講習、選任主任者定期講習の科目を規制へ移した。	予防規程に影響を与えた。

## 今般の放射線障害防止法令改正と対応

原子力規制委員会等への報告義務化に付随して・・・  
危険時の措置の強化を図ることになった。

防災告示（平成30年原子力規制委員会告示第2号）に該当しない線源・加速器を有する事業者	防災告示（平成30年原子力規制委員会告示第2号）に該当する線源・加速器を有する事業者
危険時には規則第29条で定める「応急の措置」を講じなければならない。例えば、火災の場合は消防へ通報、管理区域からの避難警告等。	危険時のための事前対策（危険の判断基準の準備、放射線測定器等資材の準備、訓練、消防や警察との連携）、危険時のHP等を通じた情報公開が要求される。

当所においては、「ガンマ線照射棟」が対象になる。

予防規程を今年4月1日に改正した。 → **予防規程第58条第3項、予防規程第60条、RI防災業務手順書**

## 今般の放射線障害防止法令改正と対応

その他に関連して・・・  
業務の改善の導入を図ることになった。

単独RI施設（TL棟、ライナック、・・・）では、これまでのように「不適合」を出す必要はありません！！

- 放射線安全活動は、安全に関する効果的なリーダーシップとマネジメントが確立され、維持されなければならない。
- 安全に関する最新の知見を踏まえつつ、放射線障害防止等に関し必要な措置を講ずる責務を有する。
- 特定許可使用者は、マネジメント層を含む事業者全体の取組として放射線障害の防止に関し継続的に改善を行うこと。

炉規法とほぼ同じ内容の規制になっている。ただし、不適合処理は義務付けられていない。

予防規程を今年4月1日に改正し、従来の炉規法不適合処理体制からRI施設を → **予防規程第61条**（RI施設では大臣報告対象のみを予防規程内で不適合処理することにした。）

## 今般の放射線障害防止法令改正と対応

その他に関連して・・・  
教育訓練の改善の導入を図ることになった。

- 教育訓練の実施の実施は、前回の教育訓練を行った日の属する年度の翌年度の開始日から1年以内、つまり、年度に1回、とした。
- 教育科目としての「法令」と「予防規程」が統合された。
- 事業所の事情に合わせて、教育訓練時間数は最低限が規定された。  
人体影響 30分以上  
安全取扱い 1時間以上  
法令と規程 30分以上

予防規程を今年4月1日に改正した。 → **予防規程第45条**

## 今般の放射線障害防止法令改正と対応

その他に関連して・・・  
「放射線障害予防規程に定めるべき事項に関するガイド」が制定・導入された。  
ガイドに従い、下記全項目について予防規程の記載内容を見直すことになった。

炉規法の「解釈」に相当。通達行政の終焉。

### 3. 予防規程に定める事項

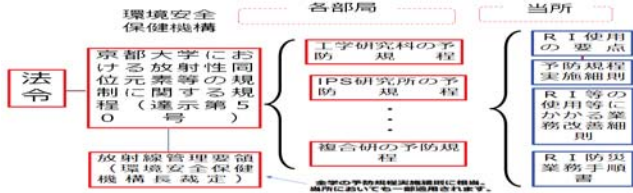
- |             |            |
|-------------|------------|
| ① 共通事項      | ⑪ 記録及び保存   |
| ② 職務及び組織    | ⑫ 災害時の措置   |
| ③ 主任者の代理者   | ⑬ 危険時の措置   |
| ④ 施設の維持及び管理 | ⑭ 情報提供     |
| ⑤ 同等の利用     | ⑮ 応急の措置    |
| ⑥ 同等の受払、保管等 | ⑯ 業務の改善    |
| ⑦ 測定        | ⑰ 管理の状況の報告 |
| ⑧ 教育訓練      | ⑱ 廃棄物施設    |
| ⑨ 健康診断      | ⑲ その他      |
| ⑩ 保健上必要な措置  |            |

予防規程を今年4月1日に改正した。 → **予防規程全面改正**

## 今般の放射線障害防止法令改正と対応

その他に関連して・・・

京大環境安全保健機構担当者と調整しながら、全学規程第24条豁免事業所免除条項の作成を行った。免除内容については、当所予防規程内に相当条項を置いた。



予防規程を今年4月1日に改正した。

## 今般の放射線障害防止法令改正と対応

改正法第5条	① 防護の導入に伴い、法律名の変更
	② 区分設定に応じた防護措置を始める
	ハード改善・・・設備強化 ソフト改善・・・防護規程の制定、防護管理者の設置、防護従事者の指定等

ハード改善・・・γ線照射棟、HL貯蔵室、RI管理室整備

環境安全保健機構・吉田キャンパスRIセンターが取りまとめ役となり、京大全体で予算を確保した(平成29年8月～平成30年2月)。当然、複合研が一番金額が大きかった。

## 今般の放射線障害防止法令改正と対応

改正法第5条	平成29年2月 特定RI防護措置を導入するにあたっての事業者ヒアリング(当所に、RI協会)
ソフト改善	平成29年9月 特定RI防護措置に関する事業者説明会(東大にて、原子力規制庁) 平成29年12月 特定RI防護措置ドラフト案を原子力規制庁へ報告 平成30年1月 ドラフト案に関する行政相談(本庁にて) 平成30年2月 原子力規制庁による立入検査 平成30年4月～平成31年3月 特定RI防護措置に対応するための変更承認申請書類作成作業 平成30年11月 特定RI防護措置関連規則が公布 平成30年12月 特定RI防護管理者育成プログラム受講 平成31年4月～令和元年8月 防護規程類の作成、原子力規制庁による審査 令和元年7月 原子力規制庁による現場確認 令和元年8月 防護従事者教育、変更申請に対する承認が下りた。 令和元年9月1日 特定RI防護開始
	※上記の他多数実施、防護措置についても環境安全保健機構と必要な調整をしました。

## 目の水晶体等価線量限度引き下げ

- 平成23年4月 国際放射線防護委員会(ICRP)が声明発表。眼の水晶体の等価線量は、5年間平均20mSv/y、年間上限50mSvとする。
- 平成29年6月 放射線審議会が検討を開始した。
- 平成30年3月 放射線審議会は報告書を取りまとめ、関係省庁へ意見具申した。
- 平成30年9月 放射線審議会にて、令和3年4月を目途に関係法令の改正施行を行う予定であることが、関係省庁から報告された。
- 令和元年現在 運用のためのガイドラインが作成中

## 目の水晶体等価線量限度引き下げ

放射線取扱主任者は、ガイドラインに制定される以下の管理方法を考慮し、水晶体等価線量がその限度を超えないようにすること。

- (1) 必要に応じた被ばく低減策(防護メガネ)
- (2) 目の近傍に局所線量計を装着する
- (3) 水晶体線量の評価方法の構築



放射線源に異方向性がある場合は(2)を特に考慮する必要があります。

実際のところ事業者が(3)を実施することは難しいので、ここは個人線量測定サービス会社に依頼することになる。

## 目の水晶体等価線量限度引き下げ

(2)、(3)に関して、当所の場合はどうなるか・・・？

原子力機構原子力科学研究所放射線防護グループの報告\*によれば、

作業内容	原因	モニタ対象施設	追加するべき線量計
放射化した作業環境中での作業(空气中にO-15, N-13, C-11, Ar-41が生成される。)	•O-15, N-13, C-11 → 光核反応 •Ar-41 → 熱中性子吸収	•放射光施設、高エネルギー加速器(当所ではライナック、BNCTサイクロトロン) •KUR炉室	水晶体用線量計を装着する又は、体幹部用Hp(3)線量計を使用する。
廃棄物処理、実験設備保守(加速器、研究炉、RI全て)、輸送	殆どがCo-60加速器放射化物の一部にMn-54	不要	不要

\* RADIOISOTOPES, 68, 593-603(2019)  
Radiation Protection Dosimetry(2019), Vol.184, No.2, PP.179-188

運用上の大きな変更はないだろう。

これで終わりです。

# 技術発表(3)

## 最近の冷却系の工事について

2019.10.17 研究炉部 荻野晋也

### 冷却系熱交換器について

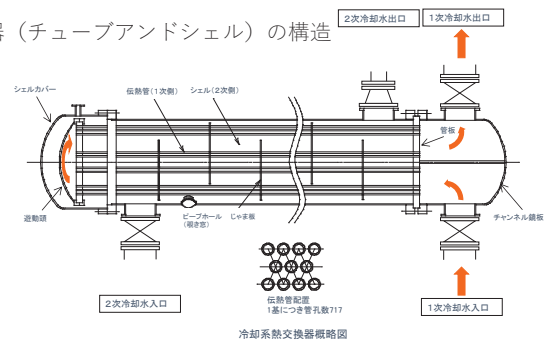
- 性能 (1基当たり)
  - 交換熱量・・・1670 kW
  - 乾燥重量・・・約4.0 t
  - 満水重量・・・約6.5 t
  - 伝熱管本数・・・717本

	2次側	1次側
最高使用圧力	0.68MPa	0.49MPa
最高使用温度	60°C	60°C
入口温度	39.1°C	55.0°C
出口温度	45.1°C	50.5°C

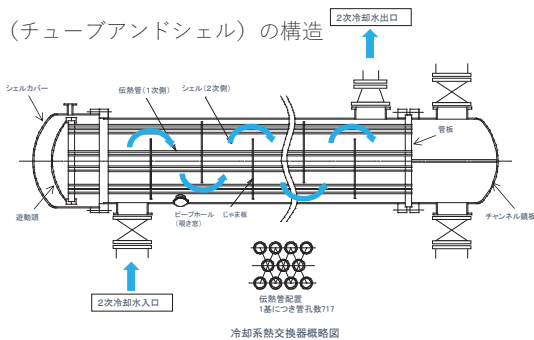
### 熱交換器の来歴

- 建設当初の最大出力1MWのときは、熱交換器室に設置された熱交換器は1基だけだった。
- 昭和43年の5MW出力上昇工事の際、熱交換器を1基から3基に増設した。
- 昭和57年に熱交換器No.3をNo.1の位置に移設し、No.3の位置にステンレス鋼製に更新した熱交換器を設置した。
- 平成元年に熱交換器No.1・2を鉄製からステンレス鋼製に更新した。

### 熱交換器 (チューブアンドシェル) の構造



### 熱交換器 (チューブアンドシェル) の構造



### 熱交換器分解点検

- 現在、熱交換器の分解点検を年に1基のペースで進めている。今年は3月に実施済み。
- 伝熱管は1次系と2次系のバウンダリーであるため、穴が開いてしまったら1次冷却水と2次冷却水が混ざってしまう可能性がある。
- 分解点検では主に、内部の傷、錆や腐食、伝熱管の内側と外側の観察を行う。
- 伝熱管の外側は2次系（水道水）であり、水中に含まれるシリカ（二酸化ケイ素またはこれによって構成される物質）によって汚れたりする。
- 昔は伝熱管表面が完全に覆われ、伝熱効率が下がったため、薬剤を使用して洗浄していた。
- 熱交換器はステンレス鋼製で、腐食には強い。しかし、狭いところの腐食がたびたび発生しているため定期的なチェックが必要である。
- 特に腐食しやすいのは、2次系統と大気のパウンダリーとなる箇所である。

### 熱交換器分解点検

- 分解・清掃
- 腐食、傷、凹み等の確認
- 渦流探傷検査
- 目視観察
- パッキン交換
- 1次側耐圧試験：0.54MPa
- 2次側耐圧試験：0.72MPa
- 通水試験

### ステンレス鋼

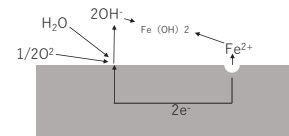
- ステンレス鋼は高い耐食性を有している合金で、錆びにくいため様々な場所で利用されている。
- ステンレス鋼はそれに含まれているクロム (Cr) が酸素 (O) と水酸基 (OH) と結合し、そこに水が加わり水和オキシ水酸化クロムという化合物になることでその表面に薄い不動態皮膜 (酸化皮膜) を形成する。この皮膜が腐食の進行を防いでいると考えられている。
- ひっかき傷などで不動態皮膜が破壊されても、新たな皮膜を形成することができるため、腐食に強い。

### それでも腐食は発生する

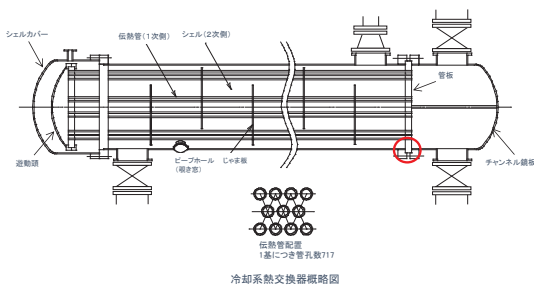


### ステンレス鋼の隙間腐食についての推察

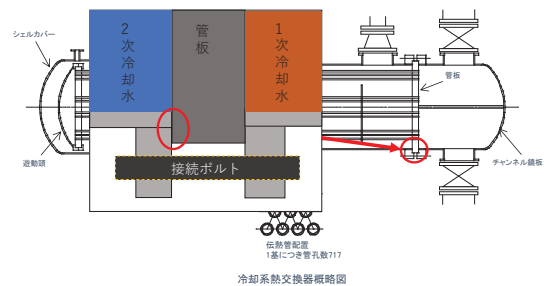
- フランジの合わせ面などの僅かな隙間に水が入り込む。その水に含まれる塩化物イオン (Cl-) によってステンレス鋼表面の不動態皮膜が破壊される。
- 溶け出た鉄 (Fe<sup>2+</sup>) が水中の水酸基 (OH-) と結合し、水酸化第一鉄 Fe (OH)<sub>2</sub> となる。
- 隙間の部分とそれ以外の部分とで酸素濃度に差が生じ、酸素濃淡電池を形成し、塩化物イオンがある限りステンレス鋼が減っていく。



### 腐食が発生しやすい箇所



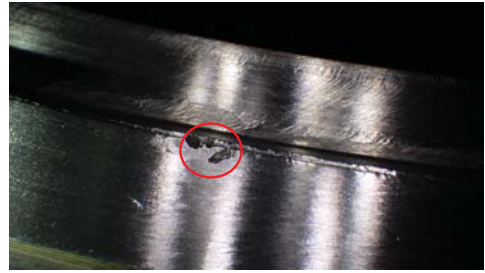
### 腐食が発生しやすい箇所



熱交換器の分解



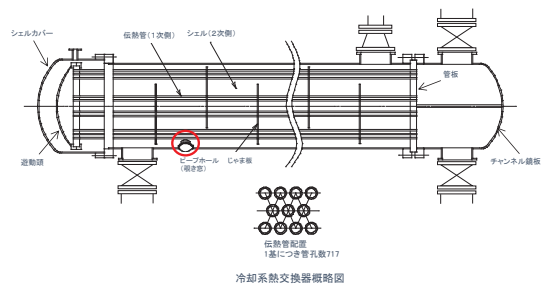
フランジ面の腐食：熱交換器No.1



フランジ面の腐食：過去の例



腐食が発生しやすい箇所



覗き窓の腐食：熱交換器No.3



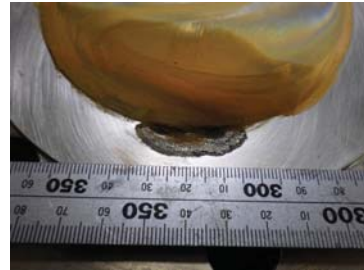
覗き窓の腐食：熱交換器No.3



覗き窓の腐食：熱交換器No.3



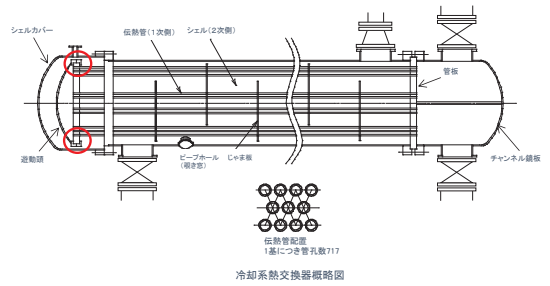
閉止フランジの腐食



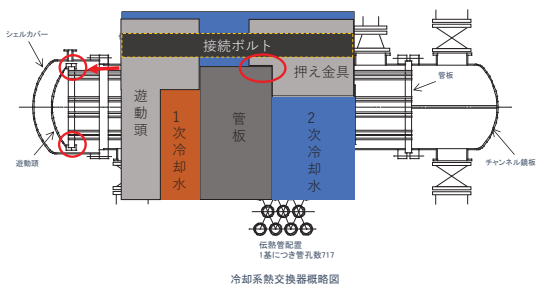
閉止フランジの補修



今回新たに見つかった腐食



今回新たに見つかった腐食



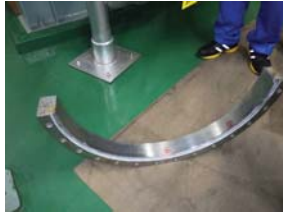
今回新たに見つかった腐食





## 今回新たに見つかった腐食

- 広範囲ではあるが、この程度の腐食であれば強度に影響はない。
- 腐食部分はほかの腐食箇所と同様に溶接補修を行った。また、復旧の際に腐食が発生した面に液体ガスケットを塗布し、コーティングとした。
- しかし、今までに腐食がなかった箇所なので、以降も観察が必要となる。



## 伝熱管の検査

- 熱交換器1基につき、717本の伝熱管がある。
- この伝熱管に対して、全ての管に渦流探傷検査、全数の10%に対してファイバースコープを使用した内部の目視観察を行った。
- 結果として、全て問題なし。

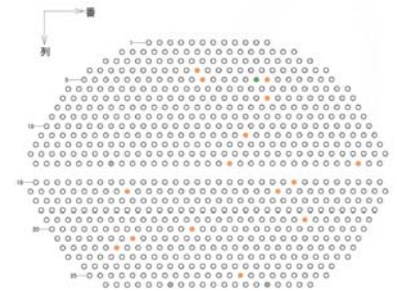


## 渦流探傷検査

- 渦流探傷検査とは交流電流を流しているコイルを伝熱管に挿入し、伝熱管に傷や凹みがないことを確認する試験方法である。
- コイルに交流電流を流すと、コイルに磁束が発生する。
- この磁束が伝熱管に渦電流を発生させる。
- 伝熱管に異常がなければ渦電流は一定であり、磁束にも変化はない。
- 伝熱管に異常があった場合は、渦電流に変化があり、これに連動して磁束も変化する。磁束が変化すると抵抗が発生し、交流電流に変化が出る。
- この交流電流の変化を観測することで傷や凹みの深さや大きさを測定する。

## 渦流探傷検査

- 右図のオレンジ色と緑色の箇所の計16本で、伝熱管の減肉を観測した。
- 最大20%の減肉があったが機能としての異常はない。



本折返しおよび異なる  
2019年02月 検査結果

色	検査内容	本数
●	70%-90%	2
●	80%-90%	3
●	75%-80%	2
●	60%	1
●	50%	1
○	異常なし	1380
○	封鎖	3
●	封鎖	1
●	封入	2

## 目視観察

- 目視観察はファイバースコープを使用して伝熱管内部の観察を行う。
- 目視観察は変色等は簡単に見つけることができるが、伝熱管の減肉などは確認できない。また、変色しているからといって減肉や傷、凹み等が発生しているとは限らない。
- よって、渦流探傷検査の方が信頼できるため、目視観察は渦流探傷検査の補助として行う。
- 今回の目視観察では特別な異常は見られなかった。



## 1次側の耐圧試験

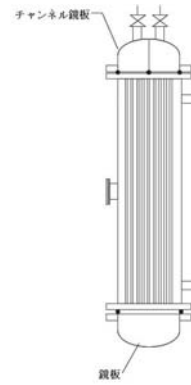


## 2次側の耐圧試験及び通水試験



## 浄化系熱交換器について

- 性能（1基当たり）  
乾燥重量・・・約430 k g  
満水重量・・・約645 k g  
伝熱管本数・・・154本
- 5MW工事の際に設置されて以降、使用を続けている。
- 1次側と2次側の関係が、冷却系熱交換器とは逆となる。



## 浄化系熱交換器のトラブル

- 昨年度の8月22日のKUR運転中、浄化系熱交換器の2次冷却水の流量が約27m<sup>3</sup>/hから約25m<sup>3</sup>/hほど低下した。1次冷却水の冷却に問題はないため、運転を継続した。流量の低下については2次冷却水中に含まれるゴミが伝熱管の入り口を塞いだためと推測した。
- その後、ポンプを起動するごとに流量が回復してきていたため、大丈夫と考えた。
- 11月27日のKUR運転中、再度流量が低下した。
- このため浄化系熱交換器を分解し、内部を確認した。

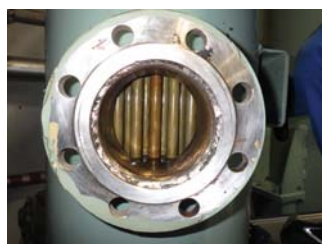
## 開けてみると

- 伝熱管入口にスケール状のゴミが堆積し、流路を塞いでいた。
- ゴミを取り除いたところ、流量は回復した。



## 浄化系熱交換器の分解点検

- 浄化系熱交換器についてはまず内部の清掃を行った。伝熱管の何本かは、内部にスケール状のゴミとともに粒形のゴミが堆積し、完全に詰まっている箇所があった。
- これについて、先端を斜めに削った銅製のパイプで、ゴミを削りながら押し出した。
- 清掃の後、伝熱管に対して渦流探傷検査と目視観察を行い、異常がないことを確認した。



## 冷却塔

- クロスフロー形3セル型
- 流量720m<sup>3</sup>/h
- 湿球温度31°Cにおいて入口温度45.1°C、流量720m<sup>3</sup>/hの水を出口温度39.1°Cまで下げることができる。



## 冷却塔について

- 昭和43年の5MW出力上昇工事のときに設置され、昭和55年に下部のコンクリート水槽と配管を残して大部分を改修した。
- これ以降は、内部の塗装やファンの整備等を行っている。
- 現在設置しているモーターについて、すでに製造中止となっていることからモーターを新品にすることができない。
- 同等品を用意することもできるが設工認申請の必要があると予想し、そうなった場合、費用と時間と労力が掛かりすぎる。
- よって全面的なオーバーホールにすることとし、今年の2月から4月にかけて、冷却塔モーターファンの点検整備を行った。
- 部品に経年劣化があるものの、使用には問題なし。

## 冷却塔からモーターファンを取り外す



## モーター及びファンの整備



## 取り付けと試運転



## これまで工事をしてきて

- どの設備にも言えることだが、設備が古い。
- 部品がなかったり、メーカーの技術者が退職してしまっていたりする。
- メーカーがなくなっていることもある。
- 設備を更新したいけど規制庁の承認が必要であり、そう簡単にはできない。
- KURを運転できるのもあと数年・・・
- 機器の更新ではなく、可能な限り整備で乗り切っていきたい。

## LabVIEWを用いた 実験装置の制御

2019年10月17日  
第5専門技術群専門研修会  
奥村 良

(TC)Pn、水圧輸送管、傾斜照射孔、  
炉周辺実験装置

- ・ 保守・管理
- ・ 共同利用対応（所内連絡者）
- ・ 準備、照射、取り出し
- ・ 放射化分析（NAA）  
Ge半導体検出器の維持管理  
γ線スペクトロメトリー

## KUR停止期間中に

## 今までの開発品

### 様々な実験装置の開発

- ・ 古い装置を更新
- ・ 研究者からの依頼
- ・ 手動を自動化
- ・ あったら便利だな！と思うもの

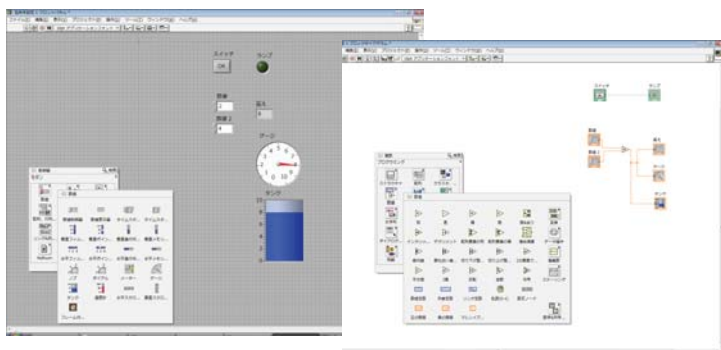
### LabVIEWを用いて開発

- ・ 圧気輸送管(黒鉛)照射設備 (PLC)
- ・ RI排水-Pn監視システム (PLC)
- ・ Ge検出器用サンプルチェンジャー1 (PLC - MCA)
- ・ Ge検出器用サンプルチェンジャー2 (PLC - MCA)
- ・ Ge detector Compton Suppression Systemの駆動系  
(ステッピングモータ)
- ・ KURAMA (放射線検出器 - GPS - cRIO)
- ・ 大型汚染検査装置 (アクチュエーター - 放射線検出器)
- ・ B-1監視・制御システム (PLC - cRIO)
- ・ B-1電源制御システム (Power supply)
- ・ B-3中性子回折装置自動測定システム  
(ゴニオメーター - 計測デバイス)
- ・ E-2ラジオグラフィー試料自動回転撮影システム  
(ステッピングモータ - CCDカメラ)

### LabVIEWとは

VIとはVirtual Instrumentsの略・・・仮想計測器

制御盤をPCの画面上に作成する



### LabVIEWの特長

- ・ 短時間でのプログラミングが可能である事
- ・ テキスト行ではなくドラッグアンドドロップ式のグラフィカル関数ブロックでプログ
- ・ ラミングが可能。
- ・ ハードウェアをLabVIEWと統合できる
- ・ 内蔵のライブラリや多彩な計測機ドライバで、任意の計測機やセンサに接続が可能です。
- ・ 高度な解析及び信号処理
- ・ FFT解析,カーブフィット等の工学に特化した多数の関数が利用可能。
- ・ 実行のハイライト
- ・ 内蔵のデバッグツールを使用し、コードを並列実行用に最適化する。

## 圧気輸送管の大規模改修

- ・リレーからPLC制御に変更
- ・ヒューマンインターフェイをLabVIEWで作成

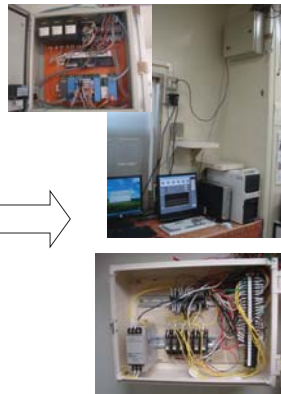


旧

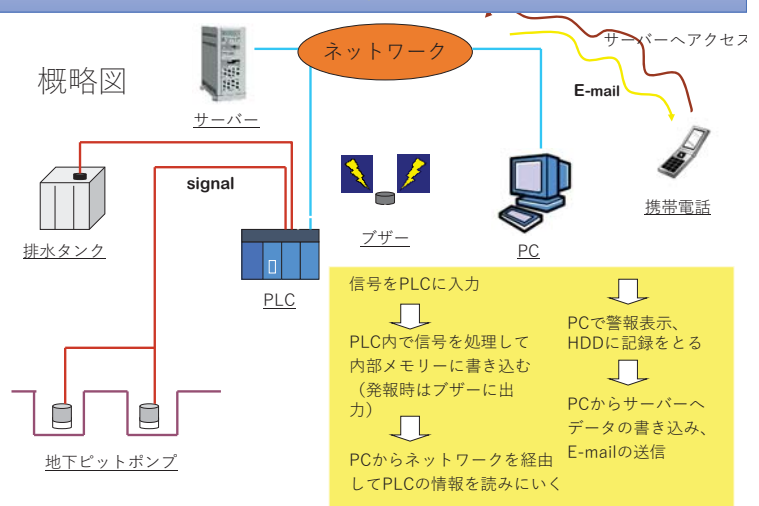


新

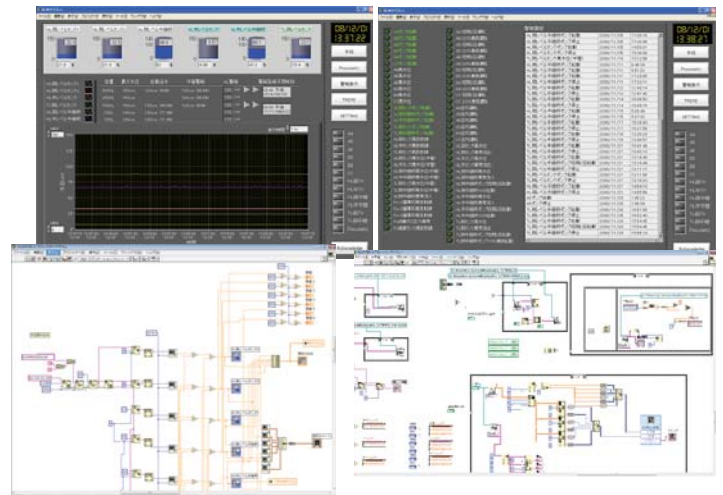
## 入線作業



## HL排水監視システム

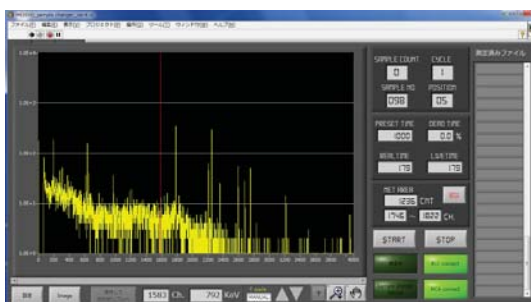


## VIの作成



## Ge半導体検出器用ソフトウェア

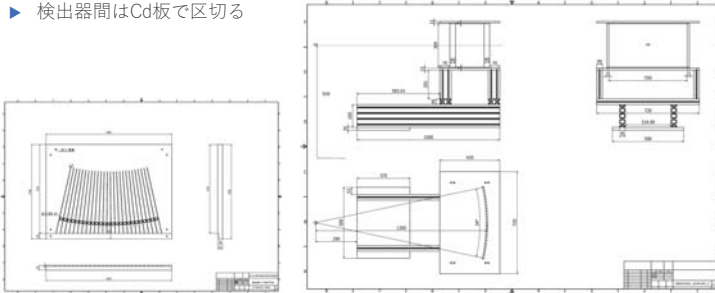
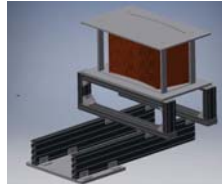
サンプルチェンジャーと測定を連動させるには測定ソフト自前で開発しなければならない



## B3中性子回折計の自動化

## 検出器ボックスの設計

- ▶ 約300kgの重量を支えるためアルミフレームの強度を計算
- ▶ Inventorで図面を作成
- ▶ 試料から1200mmのところを1deg間隔で検出器( $^3\text{He}$ )を25本並べる
- ▶ 検出器間はCd板で区切る

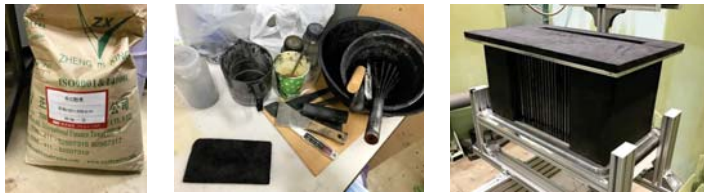


## 検出器ボックスの製作

- 研究所の工作棟にある3軸マシニングセンターで製作

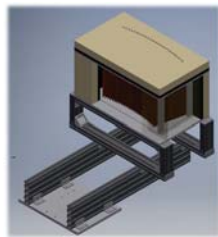


## 遮蔽体の製作



- B<sub>4</sub>C粉末とポンドを混ぜ合わせ固化させて成型

厚さ：2 cm



- B<sub>4</sub>Cの周囲をB<sub>4</sub>C入りポリエチレンで囲む

## 完成した小型多目的中性子回折計

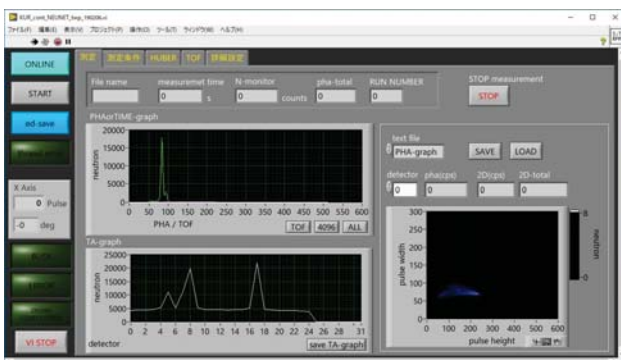
フリースペースが広いので実験に合った装置を持ち込み、レイアウトできる。



簡単にばらせる遮蔽



## 自動測定アプリケーションの開発



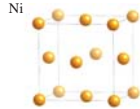
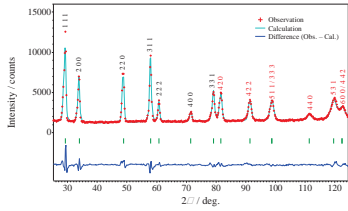
- 測定計とゴニオメーターのアプリケーションがそれぞれ存在
  - LabVIEWでひとつに統合することで自動測定が可能になった。
- 計測用ボード：NEUNET-C (KEK 佐藤節夫氏) TCP-IP  
ゴニオメーター：DN-2000 (Lab.Equ.) パルス制御 GPIB

## 測定条件、ゴニオメーターの設定画面



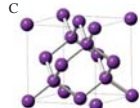
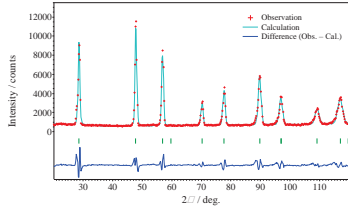
## 結晶構造解析の例（1）

ニッケル（Ni）粉末<バックグラウンド補正なし>



空間群 :  $Fm\bar{3}m$   
 格子定数 :  $a = 3.531 (7) \text{ \AA}$   
 R因子 :  $R_{wp} = 7.112\%, S = 3.2864$

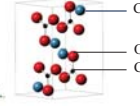
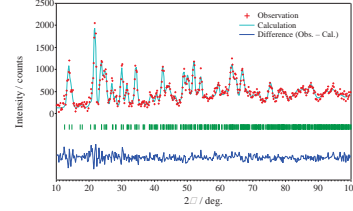
ダイヤモンド（C）粉末<バックグラウンド補正なし>



空間群 :  $Fd\bar{3}m$   
 格子定数 :  $a = 3.57 (1) \text{ \AA}$   
 R因子 :  $R_{wp} = 11.781\%, S = 4.1353$

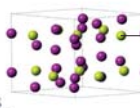
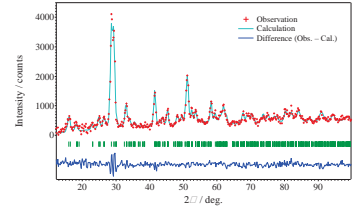
## 結晶構造解析の例（2）

CaCO<sub>3</sub> = Aragonite - (貝殻の成分) <バックグラウンド補正あり>



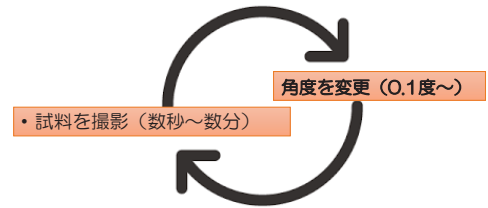
空間群 :  $Pnma$   
 格子定数 :  $a = 5.739 (3) \text{ \AA}, b = 4.962 (2) \text{ \AA}, c = 7.968 (4) \text{ \AA}$   
 R因子 :  $R_{wp} = 14.992\%, S = 3.4488$

Ce<sub>0.95</sub>Sr<sub>0.05</sub>F<sub>2.95</sub> (全固体蓄電池の固体電解質材料) <バックグラウンド補正あり>



空間群 :  $P\bar{3}c1$   
 格子定数 :  $a = 7.184 (3) \text{ \AA}, c = 7.354 (3) \text{ \AA}$   
 R因子 :  $R_{wp} = 14.792\%, S = 3.6780$

## ラジオグラフィの撮影を自動化



この操作を永遠に繰り返す

## ラジオグラフィ自動撮影装置

実験の効率化が必要  
 ○ステッピングモーターで回転台を制御  
 ○制御可能な冷却CCDカメラ  
**撮影を自動化**

## 使用する装置

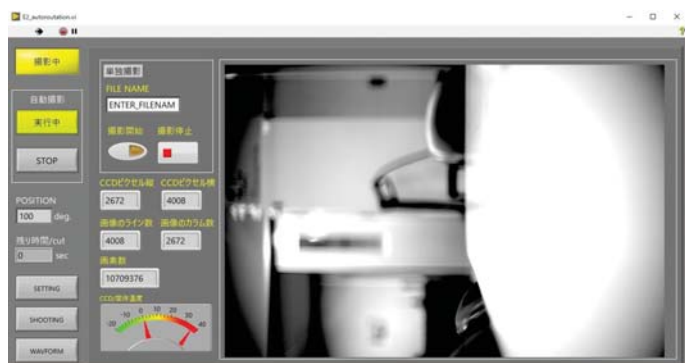
駿河精機(株) 自動回転ステージ KRBシリーズ  
 BITRAN(株) 冷却CCDカメラ BU-53LN



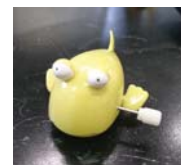
## 設定画面



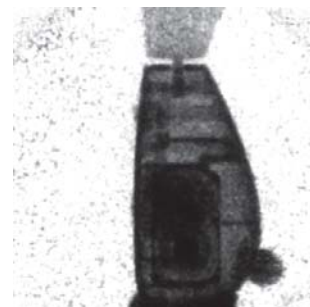
## 撮影画面



## 回転させながら連続撮影



X



N

## まとめ

- プログラミング未経験でもLabVIEWはとっつきやすく、ある程度ものなら作れるようになる。
- 研究者からは自動化のニーズが高い。  
次はB-1低速陽電子ビームシステムの  
サンプルチェンジャーを検討中
- 何でもいのでそれなりのスキルを身につけておくと便利。
- うちの研究所はやる気になればある程度何でもさせてくれる。