

# 平成 28 年度第 5 専門技術群（核・放射線系）専門研修会報告

## 【 第 1 回目 特別講演・技術発表 】

### 1. 目的

原子炉、放射線関連施設等の保守、安全管理及び関連設備の維持管理は社会的影響の大きい業務であり、現場で業務に携わる技術職員の役割は重要である。特別講演では、広い知見を得ること及び最新の技術情報の収集を目的とし、また技術発表では、日常の業務と経験を報告することで技術、情報の共有を図り安全管理、研究の技術支援に貢献することを目的とする。

### 2. 受講者名簿

|    | 所 属                               | 氏 名   | 所属専門技術群   |
|----|-----------------------------------|-------|-----------|
| 1  | 理学研究科 化学専攻                        | 阿部 邦美 | 第 3 専門技術群 |
| 2  | エネルギー理工学研究so附属<br>エネルギー複合機構研究センター | 才村 正幸 | 第 4 専門技術群 |
| 3  | 工学研究科 原子核工学専攻                     | 内藤 正裕 | 第 5 専門技術群 |
| 4  | 原子炉実験所                            | 南 馨   | 第 5 専門技術群 |
| 5  | 原子炉実験所                            | 土山 辰夫 | 第 2 専門技術群 |
| 6  | 原子炉実験所                            | 吉野 泰史 | 第 3 専門技術群 |
| 7  | 原子炉実験所                            | 張 儉   | 第 5 専門技術群 |
| 8  | 原子炉実験所                            | 奥村 良  | 第 5 専門技術群 |
| 9  | 原子炉実験所                            | 大野 和臣 | 第 5 専門技術群 |
| 10 | 原子炉実験所                            | 竹下 智義 | 第 5 専門技術群 |
| 11 | 原子炉実験所                            | 藤原 靖幸 | 第 5 専門技術群 |
| 12 | 原子炉実験所                            | 栗原 孝太 | 第 5 専門技術群 |
| 13 | 原子炉実験所                            | 吉永 尚生 | 第 5 専門技術群 |
| 14 | 原子炉実験所                            | 阿部 尚也 | 第 5 専門技術群 |
| 15 | 原子炉実験所                            | 藤原 慶子 | 第 5 専門技術群 |
| 16 | 原子炉実験所                            | 長谷川 圭 | 第 5 専門技術群 |
| 17 | 原子炉実験所                            | 山田 辰矢 | 第 5 専門技術群 |
| 18 | 原子炉実験所                            | 田中 良明 | 第 5 専門技術群 |
| 19 | 原子炉実験所                            | 丸山 直矢 | 第 5 専門技術群 |
| 20 | 原子炉実験所                            | 金山 雅哉 | 第 5 専門技術群 |
| 21 | 原子炉実験所                            | 猪野 雄太 | 第 5 専門技術群 |
| 22 | 原子炉実験所                            | 三宅 智大 | 第 5 専門技術群 |
| 23 | 原子炉実験所                            | 中森 輝  | 第 5 専門技術群 |
| 24 | 原子炉実験所                            | 井本 明花 | 第 5 専門技術群 |
| 25 | 原子炉実験所                            | 飯沼 勇人 | 第 5 専門技術群 |
| 26 | 原子炉実験所                            | 荻野 晋也 | 第 5 専門技術群 |
| 27 | 原子炉実験所                            | 小林 徳香 | 第 5 専門技術群 |
| 28 | 原子炉実験所                            | 牧 大介  | 第 5 専門技術群 |
| 29 | 原子炉実験所                            | 池川 龍照 | 第 5 専門技術群 |
| 30 | 原子炉実験所                            | 山本 弘志 | 第 5 専門技術群 |

### 3. プログラム

開催日時：平成 27 年（2015 年）12 月 11 日（金）10：30～17：00

開催場所：京都大学原子炉実験所 事務棟大会議室

#### プログラム

|  |          |
|--|----------|
| 受付：10:00～10:20   |          |
| 開会挨拶：10:20～10:30 京都大学原子炉実験所 所長 川端 祐司   |          |
| 特別講演(1)：10:30～12:00<br>「 右手型アミノ酸で見る加齢現象 」<br>京都大学原子炉実験所 放射線生命科学部門 教授 藤井 紀子                       | 司会：土山 辰夫 |
| 昼休み：12：00～13：00  |          |
| 特別講演(2)：13:00～15:00<br>「各種蓄電池の特徴と最新の開発動向について」<br>株式会社G S ユアサ<br>リチウムイオン電池事業部 ビジネス本部 企画部 部長 中満 和弘 | 司会：張 俊   |
| 休憩：15:00～15:20   |          |
| 技術発表(1)：15:20～16:05<br>「 放射線施設の工事における廃棄物について 」<br>京都大学原子炉実験所 技術室 飯沼 勇人                           | 司会：吉野 泰史 |
| 休憩：16:05～16:15   |          |
| 技術発表(2)：16:15～17:00<br>「 線量を測る 」<br>京都大学原子炉実験所 技術室 牧 大介  | 司会：栗原 孝太 |
| 懇親会：17：30～ （会費 2000 円）   |          |

#### 4. 研修内容

今年度は、特別講演として今年度定年退職される先生と、施設整備において何かとお世話になった株式会社 GS ユアサ様に講義をお願いした。

特に放射線生命科学研究部門・放射線機能生化学分野の藤井紀子先生には、人間の永遠のテーマである加齢現象において、アミノ酸の係わりの重要性について、非常にわかりやすくご講演を頂いた。また株式会社 GS ユアサ様には、現在世界中で使われている鉛バッテリーの製造方法や品質管理、またリチウムイオンバッテリーに代表される今後の蓄電池のあり方についてなど、新たな知見を非常に興味深く聞くことができた。

以降に技術職員の発表を含めた研修会の予稿を掲載する。

# 右手型アミノ酸で見る加齢現象

藤井紀子

京都大学原子炉実験所

放射線生命科学研究部門・放射線機能生化学分野

我々の日常生活には対称と非対称、右と左の問題が至る所に存在している。例えば巻き貝のうず巻き、アサガオの蔓の巻き方、台風の渦の巻き方など、また卑近の例では左利き、右利きなど枚挙にいとまがない。分子の世界でも同様に左手構造と右手構造がある。生体の構成成分のアミノ酸や糖にも左手構造と右手構造がある。生命の発生前の原子地球上では後の生物構成成分（タンパク質、DNA、RNA など）の部品となるべきこれらの有機物が放射線、紫外線、雷、火山の噴火などのエネルギーにより、単純なガス（窒素、酸素、アンモニア、二酸化炭素などなど）から合成されたと考えられている（ミラーの実験として有名）。このような合成のされ方はちょうど、私たちが実験室で化学的に合成するのと同様に左手構造と右手構造が1:1で生成される。左手構造のL-アミノ酸と右手構造のD-アミノ酸は鏡像体の関係で光学的性質が異なる以外すべての物理的・化学的性質は等しい。しかし原始地球上ではL-アミノ酸が支配的で、L-アミノ酸のみが重縮合してタンパク質を形成し、生命体が生まれた。従って現在の地球上の生命体は完全にL-アミノ酸だけから成る片手構造の世界であり、このことがタンパク質の構造保持、機能発現、生体内反応にとって必須なことになっている。

たとえば、我々の舌はL-グルタミン酸ナトリウムを旨味としきのうってきわめて重要な酵素反応はL-アミノ酸にしか作用しない。アミノ酸同士が結合してタンパク質を形成するには左手か右手のどちらかの片手構造でなければならない。そうでないといろいろな種類の無秩序な異性体の集まりとなって秩序だった構造ができず、生体高分子物質としての機能が発現できないからである。原始地球上ではタンパク質構成アミノ酸としてL-体が、糖はD-体が選択された。その理由は不明で、生命の起原研究の最大の謎の一つと言われている。L-アミノ酸からできたタンパク質が、らせんを巻くと、右巻きのらせん構造を取る。45億年の進化を経て確立された生物界ではこの片手構造の保持が「生きている」という証でもある。生命活動が終了した化石燃料などにはD-アミノ酸が存在し、その量を測定することによって年代測定をすることができる。これは生物の死後、生体中のタンパク質構成L-アミノ酸が自然の流れでラセミ化してD-体へと変化するからである。従って、従来は生きている生物の身体の中でアミノ酸がL-体からD-体へ変化するということとはあり得ないと考えられてきたのが常識であった。

ところが、近年、眼の水晶体、脳、皮膚、歯、骨、動脈壁など様々な老化組織にD-アミノ酸が存在することが報告され始めた。我々は老化した眼の水晶体や皮膚にD-アスパラギン酸（D-Asp）がある特定のタンパク質の特定の部位に存在することを発見し、その生成の機構と立体構造への影響、病態との関連について研究してきた。本稿ではその成果の一端を紹介する。

種々の加齢性疾患の原因蛋白質中（加齢性黄斑変性症、アルツハイマー病、皮膚硬化）では異常凝集化した蛋白質が組織内に沈着しているが、蛋白質の異常凝集化のきっかけが不明であった。免疫組織染色によりこれらの疾患蛋白質内でもAsp残基の異性体が検出されていることから、Asp残基の異性化→蛋白質の構造変化→蛋白質の異常凝集→加齢性疾患に至るのではないかと考えられた。この考えを蛋白質異常凝集病全般に拡大するには多数、多種の蛋白質を分析する必要があるが、現在の特定蛋白質中での部位特異的なAsp異性体の化学分析は複雑で時間を要するという欠点があった。そこで我々は蛋白質の精製を必要としないLC-MS（液体クロマトグラフィー質量分析）を用いた簡便、迅速な新規なAspの異性体分析法を考案し確立した。本講演では蛋白質中でのD-Asp生成機構、D-Asp生成による蛋白質の構造、機能変化、結合型アミノ酸の新たな分析法の開発法を紹介する。蛋白質科学におけるD-アミノ酸の存在を考慮することの重要性について述べる。

# 各種蓄電池の特徴と最新の開発動向について

株式会社GSユアサ リチウムイオン電池事業部  
ビジネス本部 企画部 中満和弘

## 1. はじめに

従来から、電気エネルギーを貯蔵するために、蓄電池が利用されているが、近年、新しいタイプの蓄電池が実用化され、蓄電システムの新しい使い方も普及している。従来型の蓄電池としては、鉛電池が自動車のエンジン始動に広く使われるとともに、フォークリフト等の動力用や、停電時のバックアップ電源用として適用されてきた。

ニカド電池やニッケル水素電池などのアルカリ電池も、電動工具や鉄道用途などに適用されてきたが、リチウムイオン電池が実用化されてからは、従来には無い新しい用途に使われるようになり、蓄電池の有効活用が進んでいる。

本報告では、各種蓄電池の特徴を比較し、特にリチウムイオン電池の有効活用に関する解説をおこなう。

## 2. 各種蓄電池の比較

### <2・1>各種蓄電池の特徴の比較

各種の蓄電池の比較において、リチウムイオン電池の性能が優れている(表1)。価格が高いことが問題とされていたが、エコカーへの供給が増え、生産規模が拡大するのに伴って、価格は大幅に低減しつつある。鉛電池の性能が劣っているように見えるが、100年以上もの使用実績があり、用途によっては鉛電池が適している場合もあるので、鉛電池が市場から消えることとはないと考えられる。

表.1 各種蓄電池の特徴の比較

| 項目      | 鉛電池  | ニッケルカドミウム電池 | ニッケル水素電池 | リチウムイオン電池 |
|---------|------|-------------|----------|-----------|
| 電圧      | 2.0V | 1.2V        | 1.2V     | ~3.7V     |
| エネルギー密度 | ×    | △           | ○        | ◎         |
| サイクル寿命  | △    | ○           | ○        | ○         |
| 大電流放電   | △    | ○           | ○        | ◎         |
| 価格      | ◎    | ○           | ○        | △⇒○       |

### <2・2>鉛電池とリチウムイオン電池の性能の比較

リチウムイオン電池と比較すると、鉛電池は大きく重たいというデメリットがあるが、用途に応じて、鉛電池とリチウムイオン電池を使い分けることが望ましい。鉛電池は、万が一の停電時等に使うスタンバイ用の蓄電システムに適用されることが多く、頻繁な充放電サイクルをおこなうと性能が急速に低下するため、充放電サイクル用途には不向きである。一方、リチウムイオン電池は、充放電サイクルでの寿命性能が優れており、毎日の使用を想定しても、期待寿命は10年以上となる。また、蓄電システムの設置において、鉛電池とリチウムイオン電池とを比較すると、設置面積と重量に大きな差がある。リチウムイオン電池の場合は、鉛電池の三分の一から数分の一程度になる(図1)。

鉛電池では、重量と大きさの制限のために、設置や増設ができない場合がある。リチウムイオン電池であれば、小型軽量化が可能になり、設置が容易になる。

<UPSの比較検討(30kVA/30分)>

|        |                     |                    |      |
|--------|---------------------|--------------------|------|
| 重量(kg) | 鉛電池 3100kg          | リチウム電池 750kg       | 約1/4 |
| 設置寸法   | 2000mm <sup>W</sup> | 600mm <sup>W</sup> | 約1/3 |



図.1 鉛電池とリチウムイオン電池の設置面積等の比較例

## 3. リチウムイオン電池の用途例

### <3・1>エコカー用途

鉛電池は、エコカー用途には大きくて重すぎたこと等から、実用的なEVやHEVは実用化できなかったが、リチウムイオン電池が開発されたことで、EVでは実用的な走行距離が確保でき、HEVでは大幅な燃費向上が可能となった。

HEVには5Ah級のセルが、PHEVには20Ah級のセルが、EVには50Ah級のセルが使用されることが多い(図2)。

HEV用:5Ah~      PHEV用:20Ah~      EV用:50Ah~

パワー重視 (HEVシステムの流用等の動力用) ← ..... → エネルギー重視 (蓄電設備に好適)

図.2 エコカー用リチウムイオン電池の一例

HEV用のセルは高入出力の設計であり、EV用のセルは高エネルギー密度の設計である。産業用や蓄電用途にも流用できる。

### <3・2>産業用途・蓄電用途

大型リチウムイオン電池の実用化は、エコカーよりも特殊用途や産業用途が早く、2000年頃から実用化が始まっている。深海探査艇や人工衛星などの特殊用途の数量は少ないが、建機や鉄道等の各種の動力用への適用が拡大している(図3)。

再生可能エネルギーの発電電力等を貯める蓄電用途としての普及も急速に進みつつあり、VPP等のエネルギー・マネージメントの役割も期待される。鉛電池では対応できない新規の用途もあり、リチウムイオン電池の優れた特性が利用できる。



図.3 産業用リチウムイオン電池の用途例

### 4. 蓄電池の開発の方向性

例えば、各種のエコカー用のセルは、要求される性能が異なるため、セルの容量帯が異なることのみならず、性能にも大きな違いがある。従って、性能改良等の開発の方向性についても、それぞれに特徴がある。HEV用セルに関しては、容量アップも重要ではあるが、特に重要視されるのは出力特性の向上であり、瞬時に得られる出力をより大きくするような開発が進められている。EV用セルに関しては、一充電での走行距離を伸ばすために、エネルギー密度の向上をはかる開発が進められている(図4)。

ただし、既存の正極活物質や負極活物質を用いてのエネルギー密度の向上は限界に近づいており、新規の活物質の開発(図5)や新しい制御システムの提案等が期待されている。産業用途・蓄電用途に関しても、それぞれの用途に必要なとされる性能をセルの開発目標に盛り込んでいる。

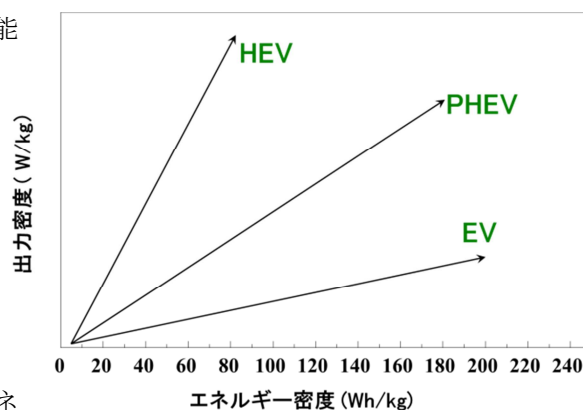


図4. エコカー用リチウムイオン電池の開発の方向性

### 5. まとめ

蓄電池は、エコカーや産業用の動力用途に有効に利用でき、再生可能エネルギー等の蓄電用途やVPP等のエネルギー・マネージメントにも活用できることから、今後、新規の用途も含めて、蓄電池の活用が、ますます進むことが想定される。

リチウムイオン電池は、小型軽量で各種の性能が優れた電池であり、種々の用途への適用が可能であり、市場規模の拡大に伴い、コストダウンが進んでいることから、今後のさらなる適用拡大が期待される。

また、鉛電池も、性能とコストのバランスの取れた良い電池であり、今後も、市場で広く使用されるものと考えられる。

さらに、EVの一充電走行距離の延長や電力貯蔵システムの効率的な運用等のために、蓄電池や蓄電システムの性能向上の研究開発が進んでおり、近い将来に、新規の蓄電池系や革新的な蓄電システムが実用化されることが期待される。

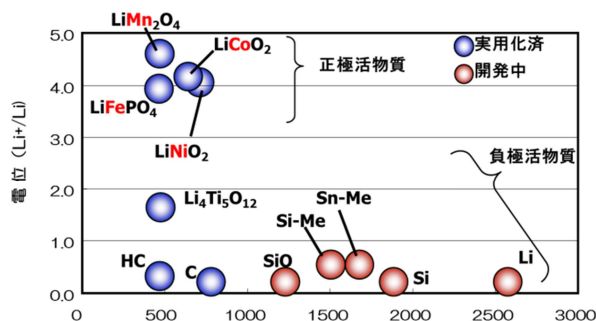


図.5 新規の活物質系の開発例

# 放射線施設の工事における廃棄物について

原子炉実験所 技術室  
飯沼 勇人

## 1. はじめに

原子炉実験所のトレーサ棟（以下 TL 棟）は、比較的弱い放射性同位元素（RI）を用いて実験を行う為の実験棟であり、物理実験室、化学実験室、生物実験室等で構成されている。核燃料使用施設に係わる変更承認申請のための中断期間を含む 2014 年 2 月から 2016 年 1 月まで TL 棟の耐震化及び機能改修のための工事を行った。工事の内容については表 1 に示す。

本工事において生じた廃棄物には RI により汚染されているものもあり、このような廃棄物は放射性廃棄物（以下 RI 廃棄物）として日本アイソトープ協会（JRIA）に集荷を依頼しなければならない。この際、固体、液体、可燃物や不燃物など、廃棄物の分類に応じた料金を支払う。また、汚染されたものを一般の廃棄物として処分し RI が漏洩することのないよう、すべての廃棄物について汚染検査を行い、汚染物と非汚染物を分けて確実に管理することが必要である。

今回の技術発表では、本工事で実施した汚染検査による廃棄物の仕分けと、RI 廃棄物低減による廃棄物処分費用低減について紹介する。

表 1. TL 棟工事内容

| 工事区分 | 内容   |
|------|--|
| 建築   | 耐震改修、屋上防水改修、外壁改修、外部建具改修、内部建具改修（シャッター、玄関等）、トイレ・除染室改修、地下室改修、廊下等内装改修、屋外環境整備 |
| 機械設備 | 外気処理空調器新設、給排気能力増強改修、給排気ダクト部分改修、室内エアコン更新、RI 排水管を含む給排水管更新、消火設備更新、ガス設備更新    |
| 電気設備 | 照明設備更新、コンセント・分電盤・幹線ケーブル更新、情報通信設備更新、放送設備更新、火災報知設備更新、太陽光発電設備新設             |

## 2. 汚染検査の目的と流れ

TL 棟工事では、①RI 汚染されたものを一般廃棄物にしない②効果的な検査により、RI 廃棄物を低減する、という 2 つの目的で汚染検査を行った。汚染検査による廃棄物の仕分けの流れについて図 1 に示す。原子炉実験所では、RI 管理区域間で RI（汚染物を含む）を移動する場合、管理区域から非 RI 汚染物を持ち出す場合、放射性廃棄物処理部に RI 廃棄物の集荷を依頼する場合にそれぞれ所定の様式にて申請し、放射線管理部による検査を受け、その記録を残している。本工事でも同じ様式を用いて廃棄物の管理を行った。

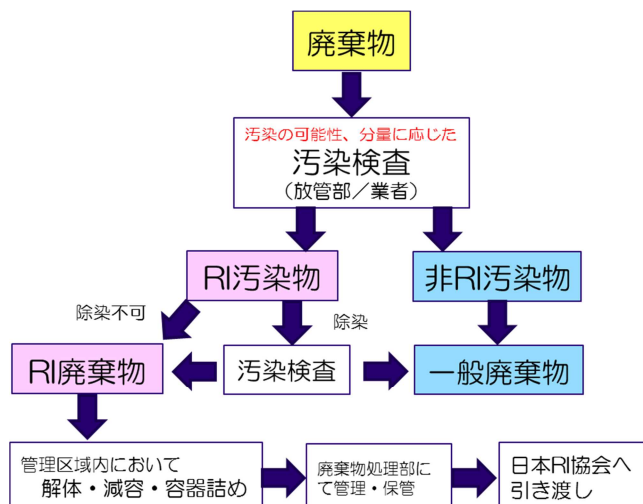


図 1. 廃棄物の仕分けの流れ

### 3. 汚染検査の実施方法

RI の使用の履歴がある、または汚染の可能性が高いもので汚染検査が困難なもの（RI 排水管、排気ダクトなど）は RI 廃棄物として扱い、扉や窓などの建具、天井材、照明器具などの障害物がなく表に現れていて分量が多い、かつ内部の汚染の可能性が低い廃棄物については、RI 使用施設の工事経験のある専門業者による汚染検査を着工前に行き、汚染の有無について仕分けした。その他の廃棄物については、①RI 汚染の可能性を考慮した取扱いをする物、②RI 汚染の可能性が低いと考えられる物、③RI 汚染の可能性がかなり低いと考えられる物の 3 つに分類し、表 2 のようにそれぞれのレベルに対応した汚染検査、処分を行った。

①については原則、RI 廃棄物として処分、エアコンは解体してから汚染検査を行い、汚染箇所と非汚染箇所を仕分けして処分した。②については直接測定法、間接測定法による検査、③については

直接測定法による検査を行った。直接測定法には GM 管サーベイメータ、α 線用サーベイメータを用いた。間接測定法はスミア試料採取し、対象核種全 α 及び全 β を測定した。また、<sup>3</sup>H、<sup>14</sup>C が使用できる実験室からの廃棄物については液体シンチレーションカウンタによる測定を行った。着工前の汚染検査は②と同様に触接測定法、間接測定法（約 2 m<sup>2</sup>に 1 点試料採取）による検査を行った。

### 4. RI 廃棄物処分コストの削減

#### 4.1. RI 廃棄物の分別

RI 廃棄物は JRIA によって定められた分類に従って分別し、それぞれに応じた容器へ収納する。集荷料金は分類によって異なる。本工事において発生した主な RI 廃棄物とその分別、集荷に掛かる料金を表 3 に示す。容器 1 本当たりの集荷料金は非圧縮性不燃物が最高で、他の分類の約 2~3 倍となっている。

#### 4.2. 汚染検査による廃棄費用の低減

表 2 中の分類①に含まれる廃棄物は汚染の可能性が高いと判断したことから、当初は汚染検査を行わずに RI 廃棄物として非圧縮性不燃物用容器に収納する方針が立てられていた。しかし、エアコン 30 台と床ピット鉄蓋 100 枚はそのままでは容器に入らないため解体及び切断が必要であり、この作業を専門業者にすべて発注すると相当な費用が掛かるため、処分の方法を見直すこととなった。エアコンは解体と外部、内部の汚染検査を専門業者に依頼し、汚染のあったパーツのみを RI 廃棄物とし、残りは産業廃棄物として廃棄した。床ピット鉄蓋については、RI の浸透の可能性が低く、単純な板の形状で汚染検査が容易であることから、実験所員により汚染検査、廃棄処分を行うこととした。

表 2. 廃棄物の汚染検査方法の例

| 分類 | 廃棄物番号 | 廃棄物名                                | 検査/作業内容                            | 検査担当 | 備考                   |
|----|-------|-------------------------------------|------------------------------------|------|----------------------|
| ①  | 1)    | 床材                                  | RI 廃棄容器へ収納                         | —    | RI 廃棄物               |
|    | 2)    | エアコン<br>(本体、コントローラ、ドレイン管)           | 解体<br>汚染検査(表面/内部)                  | 専門業者 |                      |
|    | 3)    | (直接床に接した)<br>掃除機粉塵・ウエス              | RI 廃棄容器へ収納                         | —    | RI 廃棄物               |
|    | 4)    | 床ピット鉄蓋                              | サーベイ測定(全面)<br>スミア検査                | 放管部  |                      |
| ②  | 5)    | 保温材<br>(床ピット配管)                     | サーベイ測定(全面)<br>スミア検査<br>液シン(サンプル抽出) | 放管部  | 床養生材含む               |
|    | 6)    | ガス管<br>(床ピット)                       | サーベイ測定(全面)<br>スミア検査                | 放管部  |                      |
|    | 7)    | パーティション、ドアノブ、SW                     | サーベイ測定(全面)<br>スミア検査                | 放管部  |                      |
|    | ※8)   | 配管<br>(床ピット)                        | サーベイ測定(全面)<br>スミア検査                | 放管部  | 一般用<br>ドラムトラップ<br>含む |
| ③  | 9)    | 配管+保温材<br>(天井裏・壁、廊下地下ピット、<br>地下機械室) | サーベイ測定(全面)                         | 放管部  |                      |
|    | 10)   | ガス管<br>(天井裏、壁)                      | サーベイ測定(全面)                         | 放管部  |                      |
|    | 11)   | 電線、配電盤、<br>照明器具(直天井)他               | サーベイ測定(全面)                         | 放管部  | 機器養生材<br>含む          |
|    | 12)   | 廊下壁はつり塊・カス                          | サーベイ測定                             | 放管部  |                      |
|    | 13)   | 給気ダクト他                              | サーベイ測定                             | 放管部  |                      |

※8)については5)が汚染有の場合扱い(無の場合はそのまま捨てて良い)

表 3. 廃棄物の分別と集荷料金

| 分類          | 主な内容物                                   | 重量<br>(kg) | 容器数<br>(本) | 税込単価<br>(円) | 合計金額<br>(円) |
|-------------|---|------------|------------|-------------|-------------|
| 可燃物         | 紙、布、木材                                  | 49         | 8.5        | 34,668      | 294,678     |
| 難燃物         | 養生シート、<br>ゴム手袋、<br>ビニール袋                | 294        | 63         | 43,632      | 2,748,816   |
| 不燃物         | 塩ビ管、金具、<br>グラスウール                       | 178        | 17.5       | 67,068      | 1,173,690   |
| 非圧縮性<br>不燃物 | 鉄くず、土砂<br>コンクリート片、<br>塩ビ管(破砕)、<br>床材、陶器 | 4403       | 159        | 125,820     | 20,005,380  |
| 合計          | -                                       | 4923       | 248        | -           | 24,222,564  |

容器数は 500 ドラム缶の本数で集計  
消費税 8% で計算



その結果、エアコン 30 台の切断作業費用、RI 廃棄物集荷費用は汚染が認められたパーツ（エアコン約 1 台分）に低減、床ピット鉄蓋はすべて汚染なしとなり、産業廃棄物として処分できた。分類①の残りの廃棄物（床材、掃除機粉塵・ウエス）については RI の浸透の可能性があり、汚染検査・除染が困難なことからすべて RI 廃棄物として処分した。

#### 4.3. 減容作業による廃棄費用の低減

RI 廃棄物の内、最も分量が多くなったのは RI 排水管として使われていた塩ビ管であり、重量にして約 690kg、容器本数では不燃物用容器 7.5 本（約 111kg）、非圧縮性不燃物用容器 25 本（約 579kg）となった。

容器を 2 種類使用している経緯を説明する。RI 廃棄物の容器は図 2 のような鉄製の 500 ドラム缶と、ドラム缶にちょうど 2 個入る大きさの内容器があり、表 3 の分類では、非圧縮性不燃物以外はこの内容器に廃棄物を収納してから内容器 2 個をドラム缶に収納することになっている。非圧縮性不燃物はポリ袋等に入れて直接ドラム缶に収納する。塩ビ管の廃棄物容器への収納は、専門業者による手作業で配管を内容器高さ以下の長さに切り、それを縦半分にして隙間を極力作らないように収納していた。しかし、この作業には時間が掛かりすぎるため、廃棄物処理棟にある破砕機を使用して減容することになり、破砕した塩ビ管は非圧縮性不燃物用容器に収納しなければならなくなった。



図 2. 廃棄物容器 内容器(左)と 500 ドラム缶(右)

今回廃棄したすべての塩ビ管を同じ減容手段、廃棄物容器で処理する場合、処理費用にどれだけの差ができるか試算した（表 4）。まず、廃棄物容器による費用であるが、容器 1 本あたりに収納できる重量は、表中の①と②でそれぞれ約 14.7kg、23.2kg である。塩ビ管すべての収納に必要な容器本数と集荷料金は、①の場合では 47 本 3,139,875 円、②の場合は 30 本 3,745,538 円となり、①の不燃物容器に収納する方が約 60 万円分安くなる。

次に、専門業者の作業費用の差を試算する。処理できる塩ビ管の量は①の場合では 2 日で 111kg、②の場合は 1 日で 579kg であり、専門業者の 1 日当たりの作業料金は約 17.8 万円であったので、総量 690kg を処理した場合、②の破砕機を使用する方が 195.8 万円安くなる。よって、以上の試算から塩ビ管総量約 690kg を RI 廃棄物として処分する場合、②破砕機を使用し非圧縮性不燃物用容器に収納する方が 133.4 万円程度費用を低減できる試算となった。同様に今回の破砕機使用分の 579kg 分で計算すると、処理方法の途中変更により 130.5 万円の費用が抑えられた。

表 4. 塩ビ管 690 kg の処理方法別費用の試算

| 番号      | 減容手段 | 廃棄物容器 | 1本あたり<br>収納重量<br>(kg) | 必要<br>容器数<br>(本) | 集荷単価<br>(円) | 集荷料金<br>(円) | 1日あたり<br>処理量<br>(kg) | 必要<br>作業日数<br>(日) | 1日あたり<br>作業費用<br>(円) | 作業費用<br>合計<br>(円) | 処理費用<br>合計<br>(円) |
|---------|------|-------|-----------------------|------------------|-------------|-------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| ①       | 手作業  | 不燃物   | 14.7                  | 47               | 67,068      | 3,152,196   | 55                   | 13                | 177,876              | 2,312,388         | 5,464,584         |
| ②       | 破砕機  | 非圧縮性  | 23.2                  | 30               | 125,820     | 3,774,600   | 579                  | 2                 | 177,876              | 355,752           | 4,130,352         |
| 差額(①-②) |      |       | -                     | -                | -           | -622,404    | -                    | -                 | -                    | 1,956,636         | 1,334,232         |

#### 5. おわりに

今回の TL 棟工事においては、着工前に発生する廃棄物を想定し、その処理方法と汚染検査方法について検討し、ガイドラインを作成しておいたこと、また、工期中にも処理方法について適宜見直しを行ったことで、ある程度効果的に汚染検査、廃棄物処理を行えた。今後も RI 使用施設内の工事や RI 汚染の疑いのある物品の廃棄にこの経験を活かしていきたい。

# 線量を測る

原子炉実験所技術室  
牧大介

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災後の東京電力福島第 1 原子力発電所の事故以来、「線量」という言葉は一般に広がっていった。それまで専門家が使っていた言葉が一般に広がると尾ひれが付き、混乱が生じることになった。

1895 年にドイツのヴィルヘルム・レントゲンが X 線を発見した翌年には、既に放射線障害の事例が報告されている。20 世紀に入り X 線の利用が増えてくると、放射線障害の発生件数が増えてきた。そこで 1928 年に国際 X 線・ラジウム防護委員会という放射線防護に関する組織が立ち上げられた。この委員会は、その後の国際放射線防護委員会 (ICRP) の前身であった。線量という言葉は、1928 年に初めて登場しており、その時は「耐容線量」と呼ばれていた。

現在、世界各国は ICRP が勧告する線量概念と限度を国内法に取り入れている。我が国では、1990 年勧告と呼ばれる ICRP レポートにある実効線量・等価線量を用いて規制が行われている。

線量は大きく防護量と実用量に分けることができる。実効線量・等価線量は防護量にあたる。防護量は適切な放射線輸送計算を行って初めて求められるものであり、基本的に測定ができない。しかし、放射線場の種類は多岐に亘るために、放射線測定器で場の量（線種、エネルギー、方向）を測定して得られる線量があれば便利である。そのため、実用量が開発された。ガラスバッジや O S L 線量計で測定する 1cm 線量当量は、実用量の 1 つである。

個人線量計は、体幹部均等被ばく量（実効線量）を測定するための 1cm 線量当量 (Hp(10))、皮膚の被ばく量（等価線量）を測定するための  $70\mu\text{m}$  線量当量 (Hp(0.07)) を光子、 $\beta$  線及び中性子について測定できる必要がある。さらに近年のグローバル化の流れにより、線量計の品質も国際的に均一化される必要があり、ISO や IEC などの国際機関の手で国際基準が作られるようになってきた。線量計の性能を示す指標として、「不確かさ」の概念が取り入れられている。

筆者はこれまでいくつかの線量計を設計・開発してきた。本講演では、筆者が開発してきた線量計の紹介に加えて、上記で述べたような複雑な線量の概念や不確かさについてのエッセンスを説明する予定である。

しかし、RI 廃棄物の低減の余地はまだあるように思う。RI の使用の履歴が不明であったため、簡単には非汚染物として捨てられなかったものがあり、これらはしっかりと RI 使用履歴を残すことで汚染検査費用、廃棄処理費用が抑えられる。また、内部の汚染が検査できなかったもの、汚染検査のために解体に解体が必要であったものも、現在実験所で開発されている汚染検査装置を用いれば検査可能となり、ある程度廃棄物の低減が見込める上に、より確実な検査ができる。RI 廃棄物の減容についても、圧縮機などを使用すれば更に減容、処理費用の低減が可能だと思われる。

原子力関係施設では維持運営に多くの費用と人員が必要である。原子炉実験所に所属する技術職員としてはコスト意識を持って業務に取り組むことでも研究・安全管理に貢献することが重要である。まずは廃棄物に関して RI 汚染物を一般廃棄物として処分し、RI 漏洩させないことを大前提に、更に効果的な廃棄物の処理方法を考えていきたい。

## 参考文献

- ・公益社団法人日本アイソトープ協会「RI 廃棄物の集荷について」

## 5. 講演写真



所長挨拶



特別講演(1)



特別講演(2)



技術職員発表



技術職員発表



聴講風景



質問風景

## 【 第 2 回目 見学会 】

### 1. 目的

原子炉、放射線関連施設等の保守、安全管理及び関連設備の維持管理は社会的影響の大きい業務であり、現場で業務に携わる技術職員の役割は重要である。

本年度 2 回目の研修として、株式会社 GS ユアサ（電池、電源装置、照明機器、特機等）の見学を行う。

株式会社GSユアサは、2017年に創業100年を迎える。この100年間で培ってきた技術等を見学し、広い知見を得ることにより、実務に役立てることを目的とする。

### 2. 参加者名簿

|    | 所 属                | 氏 名   | 所属専門技術群   |
|----|--------------------|-------|-----------|
| 1  | 工学研究科 高分子化学専攻      | 植田 義人 | 第 3 専門技術群 |
| 2  | 工学研究科 材料工学専攻       | 鹿住 健司 | 第 3 専門技術群 |
| 3  | 工学研究科 附属桂インテックセンター | 西崎 修司 | 第 1 専門技術群 |
| 4  | 原子炉実験所             | 南 馨   | 第 5 専門技術群 |
| 5  | 原子炉実験所             | 吉野 泰史 | 第 3 専門技術群 |
| 6  | 原子炉実験所             | 張 俊   | 第 5 専門技術群 |
| 7  | 原子炉実験所             | 大野 和臣 | 第 5 専門技術群 |
| 8  | 原子炉実験所             | 竹下 智義 | 第 5 専門技術群 |
| 9  | 原子炉実験所             | 藤原 靖幸 | 第 5 専門技術群 |
| 10 | 原子炉実験所             | 吉永 尚生 | 第 5 専門技術群 |
| 11 | 原子炉実験所             | 阿部 尚也 | 第 5 専門技術群 |
| 12 | 原子炉実験所             | 藤原 慶子 | 第 5 専門技術群 |
| 13 | 原子炉実験所             | 山田 辰矢 | 第 5 専門技術群 |
| 14 | 原子炉実験所             | 丸山 直矢 | 第 5 専門技術群 |
| 15 | 原子炉実験所             | 金山 雅哉 | 第 5 専門技術群 |
| 16 | 原子炉実験所             | 猪野 雄太 | 第 5 専門技術群 |
| 17 | 原子炉実験所             | 三宅 智大 | 第 5 専門技術群 |
| 18 | 原子炉実験所             | 中森 輝  | 第 5 専門技術群 |
| 19 | 原子炉実験所             | 荻野 晋也 | 第 5 専門技術群 |
| 20 | 原子炉実験所             | 牧 大介  | 第 5 専門技術群 |
| 21 | 原子炉実験所             | 池川 龍照 | 第 5 専門技術群 |
| 22 | 原子炉実験所             | 山本 弘志 | 第 5 専門技術群 |

### 3. 研修内容

京都市南区にある、株式会社GSユアサの見学を行った。株式会社GSユアサは、創業100年を迎える蓄電池業界の老舗で有り、またハイブリッド車や航空機（B787）にも搭載されているリチウムイオンバッテリーの先駆者でもある。過去100年の蓄積されたノウハウの一端を見ることが出来たことや、残念ながら工場は見せてもらえなかったが、これからの蓄電池であるリチウムイオンバッテリーの製造工程や構造の詳細な説明を聞くことが出来、非常に有意義な時間を持つことが出来た。

以降に工場見学参加者（代表4名）の感想を掲載する。

## 見学会感想

原子炉実験所技術室 中森 輝

鉛蓄電池工場については、最大手メーカーの工場ということで車の組立工場のようにピカピカのベルトコンベアやロボットアームが並ぶ様子を想像していたが、実際の製造工程は非常にアナログな部分が多く、使用している工作機械も年季が入っており、やや意外であった。

鉛蓄電池の極板は製造方法によって鋳造極板とエキスパンド極板に分かれるが、機械的強度は鋳造式が、生産性はエキスパンド式が優れているという。鋳造極板はコルク型に溶けた鉛を流し込んで一つずつ製作されており、コルク型の劣化により形が崩れてきた場合は一旦機械を止め、へらのような道具や離型剤を用いて手作業で型を整えていた。以前は極板へ鉛ペーストを塗りこむ作業まで職人が行っていたという。エキスパンド極板の製造は鉛シートの引き伸ばしやペーストの充填まで機械が行うが、面白いと思ったのが、温度と湿度の管理された部屋でペーストの乾燥を行うまで、(案内して下さった職員はこの工程を「熟成」と表現されていたと思う。)並んだ極板の仕切りとして段ボールが使われていたことである。段ボールが湿気を吸ったり吐いたりすることで湿度の調整に役立つのだという。最先端の製品もこういう人間ならではの調整なくしては作れないのかと感心したし、逆にこういった部分を安易に自動化しないからこそ最先端でい続けられるのかもしれないと思った。似たこととして、KURの安全保護回路の製作・保守を請け負っている会社がたまたま自宅の近くにあるが、見た目は何の変哲も無い町工場の事務所のようで、「KURの制御や安全の中樞を司る情報がこのような所に保管されているのか」と従前から不思議な思いがしていた。が、取り扱う製品の重要性和その現場の見た目は比例しないということが今回の見学でも良く分かった。

大型リチウム電池製造工場は鉛蓄電池製造工場のある敷地とは離れたところにあり、外見は普通の工場だが内部は半導体工場並の管理がされているとのことだった。機密に関わるということで実際に見学することはできなかったが、説明によると寸法の許容誤差は $\mu\text{m}$ の単位であり、鉛蓄電池のそれが $0.1\text{mm}$ 単位であることと比べてもいかに精密な製品であるかがわかる。説明で聞いた内容も機密に関わるのであまり書けないが、一部の工程では、生産性が下がることを踏まえた上で、より品質の向上が見込める方法を採用しているとの説明があった。本当に些細な違いだが、こういう部分でのこだわりがあるから飛行機や人工衛星に採用されるような製品になるのだろうと思った。

また鉛蓄電池の製造工程で説明された「島津式鉛粉製造法」について後日調べたところ、島津製作所のHPで発明に至る経緯が説明されていた。当時の島津源蔵氏は、欧米企業から鉛粉の製造技術を買おうという重役会の意見を押し切って自社開発の道を選び、欧米と同じく粉砕機を使った鉛粉製造方法を模索していたらしい。しかし全く結果が出ないまま実験を続けていたある日、機械にある鉛投入孔に塵のような鉛粉が付着しているのを見つけ、鉛表面の酸化・剥離によって鉛粉が作れることを思いついたとのことだった。この方法は粉砕式よりはるかに上質の鉛粉が大量に生産できるが、画期的過ぎたため「常識では考えられない」という理由でなかなか特許が下りなかったという。(また見学の際、「残念ながら大戦時の混乱の最中に、海外での特許は海外の会社が取ってしまった。」との説明があった。) これを読んで思ったのが、鉛粉が機械に付着する現象は世界中の鉛粉製造業者が毎日見ていたはずだ、ということである。そのような中で島津氏だけがそれを大量生産のヒントにできたことが素晴らしいと思った。(KURでも遮蔽体の鉛ブロックを扱ったときは軍手が黒ずむことがあるが、「鉛は軟らかいから表面が少し削れているのだろう」くらいに思い、摩擦熱による酸化や剥離については考えたことも無かった。)

今回の見学では、技術職員として一見地味に見える作業でも大事に行うこと、また問題解決や新しいものの考案の際には様々な観点から物事を見た柔軟な発想が大切だということ強く感じた。KURの運転が再開した暁には今回学んだことをよく当てはめて業務にあたりたい。

バッテリーの工場見学と聞き想像していたのは、ラインに看板が掲げてあり、人は監視のためだけにいるという光景であったが、GSユアサの西大路工場は想像していたものとは違っていた。量産するものについては群馬の工場で大量生産しているとのこと、西大路工場では人の手が加わった少し高級なバッテリーを製作しているようで、「京の匠」がたくさん工程に関わっている光景を見ることができた。

製造工程の至る所に鉛(合金)のインゴットが積み上げられていた。インゴットの量については、必要な分だけを倉庫から移動させており、合金の種類についてはインゴットの端にカラーマーキングが施されているとの説明を頂き、現物も見せて頂いた。単純な作業であるが確実な管理がされていることが分かった。鉛粉製造工程については、島津源蔵さん(GSの名前の由来)の考案した島津式のボールミルによる方法と遠心による方法の2種類の機械を見せて頂いた。鑄造極板及びエキスパンド極板の製作工程、またそれら極板へのペースト充填工程など、正極、負極及びセパレーターを組み合わせたエレメントになるまでの工程を細かく見学できた。ペーストを充填した後に大きな乾燥機で完全にではなく、ある程度乾燥させ、その後、極板の間に段ボールを挟み熟成をさせるという工程に、身近なものを活用し良い状態にするという大量生産のラインでは見ることはできない「京の匠」の工夫を感じた。

エキスパンド極板の製作工程は、14mmの鉛板が0.8mmの薄さになり、切込みを入れシートの両端を引張展開しメッシュの状態へと形を次々に変えていく様は見ものであった。各工程で裁断されたパーツは、再度溶炉に戻し材料も無駄なく利用されている。エキスパンド極板がメッシュ状になる工程以上に見どころであったのは、鑄造製造工程における鑄型の微調整である。鑄型に鉛合金を流し込むときに空気がうまく出ていかない場合、骨組みの格子体の一部が飛んでしまう。そうならないよう、うまく格子を出すために鑄型の微調整がなされていた。鑄型を擦るように少し削り、クリームを塗り込んだり、粉をはたいたり、「京の匠」の技が施されていた。

組み立ての工程では、残念ながら一部見られない部分があったが、充電の工程も見ることができた。西大路で製造されている製品は、トラックやバスなどに使用される大きなバッテリーやトヨタのプリウスなどに使用される少し高価なバッテリーであり、いつも見ているバッテリーと少し大きさなどが違っていたが、見慣れた「GS YUASA」のロゴが入った製品になるまでをじっくり見学でき大変楽しかった。リチウムバッテリーの製造に関しても工場内を見ることはできなかったが詳細な説明をして頂いた。

自分たちの身の回りにあるバッテリーや、今回仕事で導入したバッテリーが、どのように作られているかを知ることができ大変有意義な見学会であった。

平成29年1月18日（水）の13時に株式会社GSユアサ 京都本社に集合し、鉛電池や大型リチウムイオン電池の製造工程を見学した（図1）。研修には、大阪府泉南郡熊取町からはるばるバスで訪問した原子炉実験所技術室の22名と京都市内から現地集合した工学研究科技術部の3名の合計25名が参加した。

株式会社GSユアサは、イニシャルとしてGSの由来である島津源蔵氏が日本電池（株）を1917年に設立以来、創業100年を迎える企業である（図2）。1918年に湯浅七左衛門氏が設立した湯浅蓄電池製造（株）と2004年に経営統合し、GSユアサとなり、様々な電池や電源装置を中心に開発・製造・販売をしている。

鉛蓄電池の製造工程として、原料工程、極板製造工程、組立工程、注液工程、充電工程を詳しい解説を聴きながら見学した。

原料工程では、島津源蔵氏が開発した鉛粉製造工程を見学し、現在でも、この製法が、現役で使われている事に誇りを感じた。この製法の特許は、戦争の為、理不尽にも認められず、別の外国の企業に特許を取られた事を語られたのは、印象的だった。

極板製造工程には、昔ながらの職人が鑄造する鑄造極板と鉛合金に切り込みを入れシートを両端から引っ張って製造するエキスパンド極板の2種類ある事に驚いた。鑄造極板の方が、やはり信頼性が高いが、エキスパンド極板の方が、製造スピードが早く、安く製造出来る利点がある。鑄造極板の製造には、溶かした鉛を型に流し込み冷やし固める機械を職人が4台纏めて型の詰まり等の管理する姿は、技術職員として見習うべきだと感じた。エキスパンド極板の製造は、ほぼ自動化されており、切れ込みを入れてからメッシュが出来る過程は、美を感じる事さえ出来た。

ペーストにした鉛粉を充填して製造された極板を組み合わせて製品にする組立工程の見学の際に機械がストップしてしまい、見学出来なかったのは残念だった。説明から想像すると色々な工夫が施されていたので、今後の職務に利用出来るはずだった。

完成した鉛蓄電を充電する充電工程では、溶液濃度の異なる硫酸を入れ、充電時間や電気代を抑える工夫をしている事に感心した。また、溶液を排出する際に鉛蓄電池を逆さまにしたり、揺らしたりする作業内容を見学すると様々なノウハウが隠れており、100年も続く企業の技術の潜在力に頭が下がる思いがした。

完成品を配送する際にラッピングの方法について、段ボールにつめる製品は、店頭に並ぶ製品で、全くラッピングしない製品は、工場等ですぐ使用する製品で、ラッピングがむしろ邪魔である事を聴き、なるほどという思いを実感した。

鉛蓄電池の製造工程の見学の後、大型リチウムイオン電池の製造工程の説明の為、バスで移動した。

大型リチウムイオン電池の製造工場は、全て新しく作り直す訳ではなく、使える物は使う勿体ない精神で、古い建物を改装して利用していた。流石に最先端技術の詰まった工場内は見学出来なかったが、新しい技術を取込み、常に最先端を目指す企業風土には、輝かしい伝統とイノベーション力に満ち溢れていた。

100年以上続く企業が約26,000社もある長寿企業大国の日本、特に京都では、100年企業は珍しくないかもしれないが、新たな技術を創出し続ける企業のあるべき姿を垣間見えた事は、収穫だった。



図1 正面玄関



図2 島津源蔵 像

## 見学会の感想

工学研究科 高分子化学専攻 植田義人

貴重なお時間を使い工場見学対応して頂きありがとうございました。普段は化学系の学生実験の運営を主な業務としており、このような機会が無い限り民間企業に立ち入ることは殆どありません。そういったことから大学の外の状況を実際に見るという経験はそれだけで貴重な体験になります。また、化学系とは言うものの、化学物質だけを取り扱うのではなく、様々な装置や機器類を使用し、時にはオリジナルのものを作製したり修理を実際に行ったりもします。その際、先ず取り組まなければならないのが、当然ながらそのモノがどういった構造なのかを理解することです。世の中のモノがどのような仕組みで出来ていてそれがどのような工程で造られるのかを知ることは、自分の発想を広げるという意味で非常に有意義であると考えておりますので、今回の見学に参加させて頂きました。

見学自体は、工場内の騒音を考慮してイヤホンを配布して頂き、お話を漏らさずに聞き取ることが出来たのでありがたかったです。一方で見学者の質問が聞こえないので分かりにくい部分もありました。鉛インゴットからバッテリーができるまでの一連の工程を見る事で、内部の仕組みが良く理解できました。自分の車にも同様のものが搭載されていると思うと親近感が湧きます。また、所々に安全や品質管理に関する掲示があり、工場ならではの意識向上に取り組まれているのが良くわかりました。健康面では、各工程でどの程度鉛や硫酸に暴露されているのかが気になりました。

### 4. 見学会写真





## 総括

今年は民間企業である株式会社 GS ユアサ様から講師をお招きし、特別講演を行って頂いた。民間企業ならではの企業秘密ぎりぎりの所まで、大学法人職員であるということでお話し頂き、非常に興味深く聞くことが出来た。大学では忘れがちな、非常に厳しい企業競争の中で仕事をされていることが、講義の最後に話された B787 のバッテリー火災事故（株式会社 GS ユアサ製であった）の事故原因について、熱弁をふるって解説（バッテリーの不具合では無かったこと）されていた所から、ひしひしと感じることができた。

原子力の世界も 6 年前の事故以来、社会からの厳しさは今も変わらず続いており、京大研究炉も現在再稼働には至っていない。関係者の努力で来年度早々には再稼働出来る見込みではあるが、再稼働後も原子力に対する厳しい目は変わらないであろう。

我々原子炉・放射線施設を管理する立場にあるものは、常に自分に厳しく、自己の技術力を高めて行く努力を続けることを忘れてはならない。そのためにもこのような研修に積極的に参加し、この機会を利用し自己研鑽に努めてくれることを大いに期待する。

## 謝辞

お忙しい中、特別講演を快くお引き受けいただいた原子炉実験所 藤井紀子先生に御礼申し上げます。また株式会社 GS ユアサ様には急なお願いにもかかわらず、特別講演や工場見学をお引き頂き大変感謝しております。

最後に、技術発表を行った技術室員、受付、写真、準備等にご協力頂いたすべての方々に、厚く御礼申し上げます。

平成 28 年度 第 5 専門技術群研修世話人会

南 馨、土山辰夫、吉野泰史、張 俊、栗原孝太