

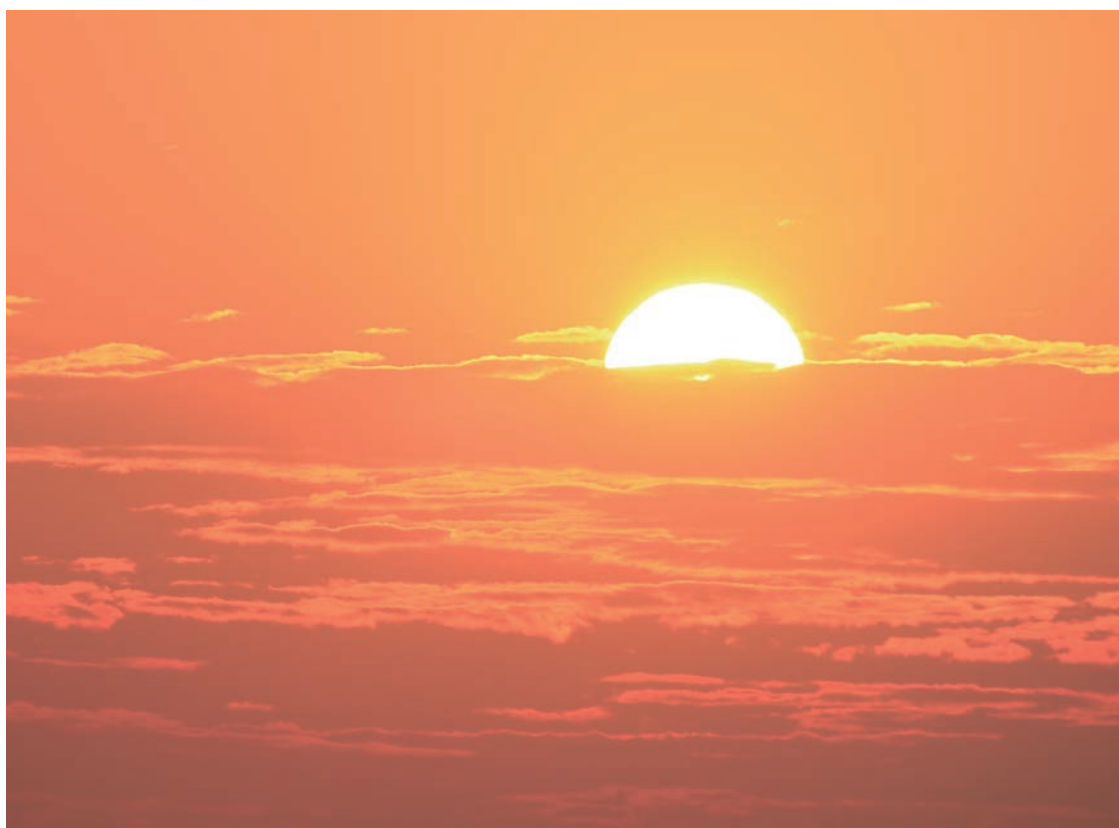


Photo Yasuhiro Kirano

Index

迎春のごあいさつ.....	井上 任	1
大熊分析・研究センターの施設整備状況と課題	徳森 律朗・鍛冶 直也・土田 佳裕	2
〔施設訪問記⑥〕 ー 次世代放射光施設 Nano Terasuの巻 ー		7
〔コラム〕 61th Column 【日本人の起源とがん】.....	中川 恵一	13
大学生を対象としたCMOS論理回路の実習例について …	高橋 浩之	14
「個人放射線被ばく線量測定サービス規約」および 「環境線量測定サービス規約」改定のお知らせ		19
〔サービス部門からのお願い〕 測定依頼票のご記入のお願い.....		20

迎春の

ごあいさつ



株式会社 **千代田テクノル**

代表取締役社長 井上 任

あけましておめでとうございます。

読者の皆様におかれましては、良い年を迎えられましたこととお慶び申し上げます。

昨年は新型コロナウイルスの感染症法上の分類が「5類感染症」に引き下げられ、コンサートやスポーツ観戦などのイベント、旅行など以前の生活が戻ってきた年でした。街も活気を取り戻し、私も久しぶりにお客様と直接お会いする機会も増え、貴重な意見をいただくことができました。

弊社は昨年6月に創立65周年を迎えました。これもひとえに皆様のご支援の賜物と深く感謝申し上げます。また、弊社のラディエーションモニタリングセンター（茨城県東茨城郡大洗町と青森県上北郡六ヶ所村）では、個人放射線被ばく線量測定サービスの件数増加に対応するため、測定ラインを強化しました。今後もより一層のサービス向上に社員一同努めてまいります。

これからもFBNewsを通じて、皆様へ有益な情報を届けてまいります。

末筆となりましたが、皆様のご健勝と益々のご発展を心よりお祈りいたします。

本年もどうぞよろしくお願い申し上げます。

代表取締役会長	細田 敏和	取 締 役	尾崎 英樹
常 務 取 締 役	安川 弘則	取 締 役	鳥取 和孝
常 務 取 締 役	赤座 太郎	取 締 役	小口 靖弘
取 締 役	馬場 一郎	監 査 役	本圖 和夫
取 締 役	小山 重成	監 査 役	新田 浩

大熊分析・研究センターの 施設整備状況と課題

徳森 律朗*1・鍛冶 直也*2・土田 佳裕*3

1. 概要

東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の事故を発端として、その廃炉に関する研究開発基盤を確立するため、国は2012年度の補正予算において、放射性物質の分析・研究施設等を整備することについて決定しました。

これを受けて、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(JAEA)福島研究開発部門福島研究開発拠点 大熊分析・研究センターでは、「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」を踏まえ、福島第一原子力発電所の西側に位置(図1)した研究開発拠点として、福島第一原子力発電所の廃止措置に向け、固体廃棄物及び燃料デブリの性状把握等を通じた研究開発を行う放射性物質分析・研究施設の整備を進めています(図2)。



図1 放射性物質分析・研究施設位置図



図2 放射性物質分析・研究施設完成イメージ

*1 Ritsuro TOKUMORI 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門 福島研究開発拠点 大熊分析・研究センター長

*2 Naoya KAJI

*3 Yoshihiro TSUCHIDA

大熊分析・研究センタープロジェクト管理課長
大熊分析・研究センタープロジェクト管理課

2. 施設の概要と運用、整備の状況

放射性物質分析・研究施設は、施設管理棟、第1棟及び第2棟の3施設で構成されています。施設管理棟は、居室並びに分析のモックアップ等を行うワークショップを有する施設です。第1棟は、放射性固体廃棄物等の分析等を行う施設です。また、国からの要請に基づきALPS処理水の第三者としての分析を行っています。第2棟は、燃料デブリ等の分析等を行う施設です。

第1棟及び第2棟は、JAEAが設計・建設、運営、保安活動を実施し、原子炉等規制法上の取扱いとしては特定原子力施設の一部として、東京電力ホールディングス(株)が「福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画」を策定し、保安に関する統括管理を行います。

2.1 施設管理棟

施設管理棟は、鉄筋コンクリート造の地上4階建、延床面積は約4,800㎡の施設です(写真1)。2018年3月に運用を開始しています。

この施設は放射性物質を扱わない施設であり、居室の他、事務室、会議室、ワークショップ等から構成されています(図3)。第1棟の運用、並びに第2棟の円滑な設計、建設及び運用に資するとともに、第1棟及び第2棟の運用開始から得られる分析データや研究データの評価、整理等も行う施設になります。

ワークショップには、工作機器や模擬鉄セ



写真1 施設管理棟



図3 施設管理棟断面

ル、グローブボックス、ヒュームフード等を設置し、分析作業のモックアップを行う場として既に活用しています。また、分析技術者育成を目的に、模擬鉄セルに設置されたマニプレータを使う分析作業やグローブボックスにおける分析作業の手順を習熟するための訓練も実施しています。

2.2 第1棟

第1棟は、鉄筋コンクリート造、地上3階建、延床面積約9,700㎡の施設です(写真2)。



写真2 第1棟

2017年3月7日に原子力規制委員会から実施計画の認可を得て、同年4月19日から建設工事を開始しました。2022年6月24日に竣工し、試験運用等を経て同年10月1日に特定原子力施設の一部として管理区域等を設定し、その後放射性物質を用いた分析作業を開始しました。

この施設では、福島第一原子力発電所で発生する瓦礫類(瓦礫、資機材、土壌)、伐採木、可燃物を焼却した焼却灰、汚染水処理に伴い



図4 ALPS処理水の第三者分析の流れ

発生する二次廃棄物（使用済吸着材、沈殿処理生成物）等を分析します。

福島第一原子力発電所由来の瓦礫類は含まれている放射性物質が明らかでないものが多く存在します。それらの分析を行うことで、処理・処分を見据えた廃棄物の分類や新たに発生した廃棄物の分類に活用できる知見を提供していきます。

また、ALPS処理水の放出に伴い政府が示した方針ⁱを踏まえ、ALPS処理水の第三者としての分析も実施しています。この分析では、東京電力ホールディングス(株)とは独立した第三者の立場で、客観性及び透明性の高い測定を実施しています。2023年3月に第1回目のALPS処理水試料を受入れ、第三者分析を開始しました。海水希釈前のALPS処理水中のトリチウム濃度とトリチウム以外の核種が放出基準（告示濃度比総和が1未満）を満足しているかの確認を行います。また、海水希釈後のALPS処理水のトリチウム濃度についても当面の間確認することとしています。これら分析結果は、JAEAのWebサイト上で公表しています（図4）。

分析対象物の表面線量率、性状等に応じて、分析することが可能な形態（試料）に調製す



図5 第1棟の主要な設備

るため、鉄セル（4室）、グローブボックス（10基）、フード（56基）等を有しています（図5）。

分析対象物のうち、表面線量率が1 mSv/h以下のものについては、主にフード、グローブボックスで試料の前処理を行います。表面線量率が1 mSv/hを超え1 Sv/h以下のものについては、主に鉄セルで分析対象物から試料を採取し、その後、グローブボックス、フードで試料の前処理を行います。

放射能分析、化学分析、物性測定等の分析を行うため、液体シンチレーションカウンタ、ガンマ線スペクトロメータ、アルファ線スペクトロメータ、ガスフローカウンタ、高周波誘導

ⁱ 令和3年8月24日「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所におけるALPS処理水の処分に伴う当面の対策の取りまとめ」、ALPS処理水の処分に関する基本方針の着実な実行に向けた関係関係等会議

結合プラズマ発光分光分析装置 (ICP-AES)、高周波誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS)、イオンクロマトグラフ、走査型電子顕微鏡及びそれに付加するエネルギー分散型X線分析装置等の分析装置を導入しています。

2.3 第2棟

第2棟は、福島第一原子力発電所で発生した燃料デブリ等の性状を把握することにより、その安全な取り出し等の推進に資する情報を取得するため、分析等を行うことを目的としています。現在、詳細設計を進めるとともに実施計画の変更申請に向け準備も進めています。

3. 研究開発

福島第一原子力発電所廃炉に係る研究開発は、JAEAや国内外の大学等による基礎・基盤研究及び応用研究、メーカー、東京電力に

よる実用化研究、現場実証試験等が行われています。国は、廃炉に向けた応用研究、実用化研究のうち、技術的難易度の高い課題の課題解決を目指すため「廃炉・汚染水・処理水対策事業」により研究開発を支援しています。

廃炉・汚染水・処理水対策事業における研究開発の1つとして、廃棄物処理に関する研究開発が行われています。福島第一原子力発電所事故で発生した固体廃棄物は、破損した燃料に由来した放射性核種を含んでいること、津波や事故直後の炉心冷却に起因する海水成分を含む可能性があること、高線量であり、汚染のレベルが多岐にわたりその物量も大きいこと等、従来の原子力発電所で発生する放射性廃棄物と異なる特徴があり、これらを安全に処理・処分するための研究開発が進められています。また、多様な固体廃棄物の発生、保管から処理・処分までの一連の廃棄物管理・取扱い方法（廃

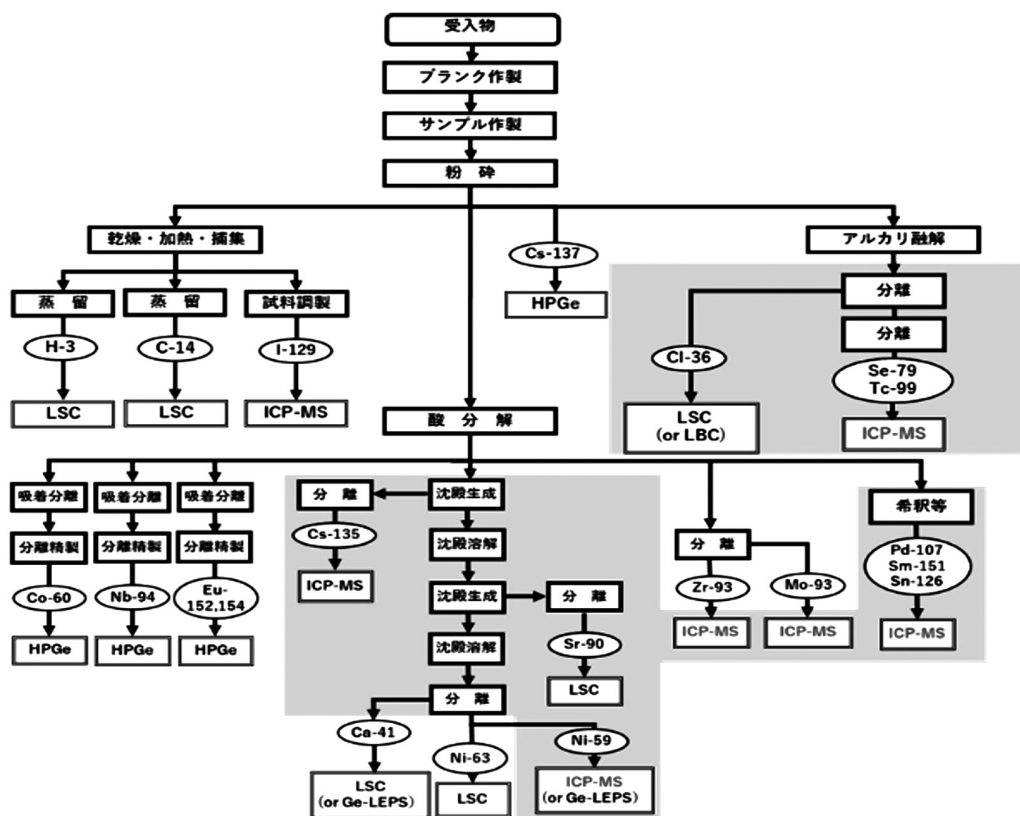


図6 新たなICP-MSを導入した分析プロセスの概要

棄物ストリーム)の検討が行われています。

大熊分析・研究センターでは、多様な分析対象物から試料を前処理し、非常に多くの核種を分析する計画があります。このため、分析に関する工程の合理化が必要不可欠であり、新型のICP-MSを適用した分析法の開発を進めています。

従来の分析法では、液体シンチレーション測定等を行うため、分離・前処理作業に時間を要する方法により多くの核種を測定していましたが、それらの多くを新型のICP-MSによる測定に切り替え、それを前提に全体フローを見直すことにより分離・前処理工程の大幅な合理化を目指しています(図6)。分析方法自体の信頼性を確保しつつ、簡便かつ迅速な分析手法が期待されています。また、分離プロセスの合理化を目指した自動化技術などの開発も進めています。

4. 人材育成

放射性物質分析・研究施設の運営、分析結果の評価、品質保証、新たな分析法の研究開発、分析の省力化のための技術開発などを継続し、分析技術を継承するためには、分析技術者の確保・育成が急務です。福島研究開発部門では、化学・物質分野を中心に優秀な学生の方々を採用し、JAEAの東海地区や大洗地区にある複数の研究開発施設において分析業務や品質保証活動にあたらせ、分析技術の習得とその向上を図るための研修を行ってきました。現在は概ね研修を終えて大熊分析・研究センターに戻り、第1棟の運用や前述の分析研究開発に携わっています。今後は、新たに運用される第2棟における分析研究開発等に携わり、一層の分析技術の習得と向上を図っていきます。

一方、放射性物質分析・研究施設の運営や分析研究開発にあたっては、大熊分析・研究センターの職員だけでなく、地元で分析技術を有する民間企業との連携が必須です。分析作業、施設の維持管理、設備・機器の更新、

分析研究開発等に携わっていただくことにより、その企業の分析技術の向上に寄与し、東京電力ホールディングス(株)が検討している「廃炉作業における分析環境の整備」の将来の運営にも貢献できるものと考えます。

また、JAEA内では継続する研究開発や今後本格化する研究開発施設の廃止措置、それらに伴って発生する放射性廃棄物等の処理・処分事業においても分析要員の確保が必要不可欠です。大熊分析・研究センターにおける研究開発に携わった分析技術者が他の研究開発や事業において活躍することも期待されています。

5. まとめ

中長期ロードマップを踏まえて、引き続き放射性物質・研究施設の整備を安全かつ着実に進めていきます。施設が完成しその運営や研究開発を通して新たなチャレンジが始まります。多種多様な分析対象物の分析や未知の燃料デブリの分析等です。大熊分析・研究センターは、福島第一原子力発電所の事故により発生する放射性廃棄物の処理処分方策の確立、燃料デブリの取り出し、その後の移送・保管・管理等の安全かつ計画的な推進へ分析研究開発を通して貢献していきます。

著者プロフィール



徳森 律朗

1989年3月、東北大学大学院工学研究科機械工学専攻(修士課程)を卒業。

同年4月、東京電力に入社、福島第一原子力発電所に配属される。

1992年9月より、本社にて原子燃料サイクル関係の業務に携わり、2006年7月より2010年6月まで、原子燃料サイクル部サイクル技術グループマネージャー。

2011年3月福島第一原子力発電所事故後、1F廃止措置、使用済燃料プールからの燃料取り出しに従事し、2018年5月より、JAEA大熊分析・研究センター副センター長として分析施設第1棟建設に携わる。

2021年10月、JAEA転籍後、2022年4月より、大熊分析・研究センター長に就任し、現在に至る。



ー 次世代放射光施設 Nano Terasuの巻 ー



写真提供：NanoTerasu

我々FBNews編集委員一行は、9月のある日、東北大学の敷地内に建設中の3 GeV高輝度放射光施設『ナノテラス』を訪問させていただきました。ナノテラスは東北大学の青葉山新キャンパスにあることから、仙台駅からとても近く、大変アクセスのよい場所でした。

今回は、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 量子技術基盤研究部門 次世代放射光施設整備開発センターの萩原雅之基盤技術グループリーダーにご案内いただきました。見学に先駆けて、内海渉センター長からご挨拶をいただきました。



Fig. 1 見学者エリア

1. 見学者エリア

まず我々が通されたのは、見学者用の部屋で、ここに設けられた大きな窓からは多数のビームラインが設置された実験ホールを見渡すことができます (Fig. 1 参照)。展示されているパネルには、施設で使用されている設備・装置や、それらを使ってできる研究についてわかりやすく解説されています (Fig. 2 参照)。全国に数ある放射光施設の中でもこのようなギャラリースペースが設けられている施設というのは珍しいようで、こういったところにも利用者に対する配慮がうかがえます。また、ここでは小中学生も対象にした見学会が行われたということです。



Fig. 2 展示パネル

建設および運用にあたっては、官民地域パートナーシップという新しい仕組みを創り、国側の主体機関である量子科学技術研究開発機構（以下QST）と光科学イノベーションセンターを代表とする宮城県、仙台市、東北大学、東北経済連合会からなる民・地域パートナーが費用分担も含めた明確な枠割り分担の下で進めるとのことで、様々な挑戦がなされています(詳細はこの後8項で紹介します)。

2. 線型加速器

線型加速器や加速管用高周波電源が設置されている管理区域には個人線量計に印刷されたQRコードによる認証で入ります。電子ビームは、約1メートルの厚さのコンクリートで遮蔽されたトンネル内で、この施設が目的にしている軟X線の生成に最適な3 GeVに加速されることになります (Fig. 3 参照)。ナノテラスの大きな特徴として施設のコンパクトさが挙げられますが、これにはナノテラスのために開発されたコンパクトな高性能電子銃システムと後述するCバンド加速器が貢献しています。

トンネル内で最も驚いたのは地震などで装置がずれた場合に正しい位置に戻せるように基準点が設けられていることです (Fig. 4 参照)。線型加速器を構成する装置が地球の丸みさえ

も考慮したうえでまっすぐになるように設置されていること、また、それらが100ミクロンのズレも許されない精度で設置されていると伺って驚きました。この部屋は半地下に設けられていましたが、これらも遮蔽に大きく貢献しているということです。

また、将来、SPring-8に併設されているSACLAのようにX線自由電子レーザー (XFEL) の装置を設置するかもしれないことを見越して設計がされていることも印象的でした。

長さ110メートルのライナックトンネルにおいて、電子銃で生成した電子ビームは、電子ビーム成型装置で成形された後、40台のCバンド加速管によって一気にほぼ光の速さまで加速されます (Fig. 5、Fig. 6 参照)。Cバンドで加速させることの利点は加速器の長さをコンパクトにすることができることです。ライナックトンネルに入るには、パーソナルキーボックスから鍵を外す必要があり、すべ



Fig. 3 Cバンド加速器



Fig. 4 基準点



Fig. 5 ライナックトンネル



Fig. 6 電子ビーム成型装置

てのキーが刺さっていないと加速器が動かない仕組みになっているということです。線型加速器の終端部には電子ビームを廃棄するために炭素と鉄からなるビームダンプが設置されており、20トンもの重さの鉄の塊でビーム廃棄時に生成する放射線が遮蔽されます。このようにして作業員の被ばくを防ぐ仕組みになっています (Fig. 7 参照)。



Fig. 7 ビームダンプ

3. 蓄積リング

MBA (Multi-bend achromat) 設計¹⁾ という最新の設計を導入することにより、コンパクトな蓄積リングで高輝度な軟X線を発生させることができ、その結果、実験ホールも広くすることができました。蓄積リングは電子ビームの周回軌道を一定に保ち、寿命によって減った分をライナックから補充しつつ電子ビームをリング内に蓄積する役割を担います。また、電子ビームが広がらないように磁石の力で絞る役割も担っています。

蓄積リングの加速器についても見せていただくことができました (Fig. 8 参照)。周長も約350メートルと他のMBA設計を採用している放射光施設に比べると圧倒的にコンパクトで電磁石も少なく済み、建設費だけでなく光熱費などのランニングコストも低く抑えることができます。

1) 磁石配列の基本単位中の電子ビームを曲げる偏向電磁石の数をこれまでより多くすることにより、電子ビームの広がりを小さく抑え、高い輝度とコンパクト性を兼ね備える設計

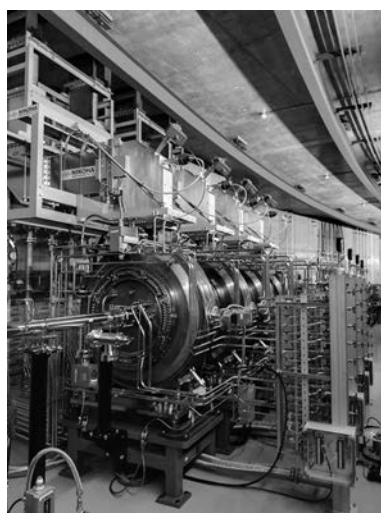


Fig. 8 蓄積リング加速空洞

4. 放射光ビームライン

ナノテラスには現在、実験ホールに10本の放射光ビームラインが設置されています (Fig. 9 参照)。このうち3本がQSTによって整備された共用ビームライン、残りの7本が地域パートナーによって整備されたコアリションビームラインです (コアリションとは有志連合という意味で、この後8項で詳しく紹介します)。コアリションビームラインは主に企業の商品開発などに利用されます。放射光を利用することによって、化学状態・電子状態・磁性・配向・凝集・歪み・分子構造



Fig. 9 実験ホール

などの可視化を行うことができます。放射光ビームラインには大きく分けて2種類あり、それぞれ「U」と「W」のアルファベットがつけられ、区別されています。「U」は放射光源としてアンジュレータ：Undulator (Fig.10 参照)を用いるビームラインを意味し、ナノテラスの特徴である高輝度な軟X線～テンダーX線を発生することができます。一方「W」は放射光源としてウィグラー：Wigglerを用いるビームラインを意味し、輝度はアンジュレータに比べ低いものの高いエネルギーのX線を発生することができます。大気中にX線を取り出して利用する場合には、主に高いエネルギーのX線を発生できるビームラインを使います。

大気中にX線を取り出して利用する放射光ビームラインには実験ハッチが設置されており、管理区域に設定されています。我々は放射光によって、サクランボの中の水がどのように流れるかを可視化した写真を見せていただきました。

現在、ナノテラスには「U」のビームラインのほうが多くありますが、「U」と「W」は交互に設置できるようになっています。ナノテラスは、最大28本の放射光ビームラインが整備できるように設計されています。まだ

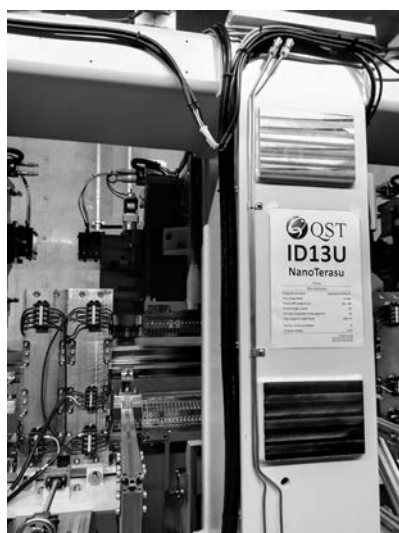


Fig.10 アンジュレータ

18本追加できる余裕がありますので、今後どのような特徴を持った放射光ビームラインが設置されるのか楽しみです。

5. 実験ホール

実験ホールに導かれた放射光は、光学ハッチ（管理区域）内に設けられたミラーや分光器によって、最終的に「エンドステーション（実験装置）」で実験目的に合わせて取り出したいエネルギー（ビームライン毎に異なりますが、典型的には100eVから数keV）に切り分けられます。ハッチの出入口はすべてバリアフリーになっており、ハッチ内に運び込まれる様々な実験装置の搬出入にも、利用者目線のうれしい工夫がなされていました。ハッチの開閉に必要なレールが床にないため、装置の搬出入が大変容易になりますが、レールを設置しないことで放射線がハッチの外に漏れないようにするため、ハッチ扉の裾の部分にスカート状の遮蔽体を取り付けるなど、放射線の漏洩を防ぐ工夫がされています (Fig.11 参照)。またX線を大気中に取り出して利用することができる実験ハッチにはすべて鉛ガラスの窓が取り付けられており、外から中の様子が観察できるようになっています。このハッチ扉の開閉について個人線量計に印刷したQRコードによる認証が必要で、それ



Fig.11 実験ハッチ

によって管理区域への立ち入りの管理をしているということでした。

6. 設立の目的について

新材料や触媒、医療・創薬等の開発において、物質の機能や化学反応の過程を的確に理解するため、物質表面近傍の電子状態を詳細に解析するニーズが学術・産業界で高まっています。物質の「構造解析」に加えて、「機能理解」がモノづくりにおいて必要であり、そのための物質表面近傍の電子状態変化を時間的に追える高輝度軟X線利用環境が重要となっています。

また、ナノテラスでは既存の国内の軟X線施設と比べて、電子ビームが低エミッタンスであることから10～100倍の輝度の放射光を得ることができるため、局所領域を様々な測定手法で鮮明に観察することができます。また、同じ試料を測定した場合、既存施設と比べて1/100の時間でも鮮明なデータを得ることができる大きな特徴です。

これらを踏まえ、ナノテラスは、我が国の研究力強化、生産性向上、国際競争力の強化に貢献することをミッションとして建設が進められています。さらには、ナノテラスを核にしてリサーチコンプレックスを形成することも求められています。

7. 放射線安全管理について

ナノテラスの大きな特徴として、実験ホールが非管理区域になっていることが挙げられます。これは「利用者が放射線業務従事者でなくても可能な限り放射光実験に参加できること」を基本方針にしているためです。また、ライナックトンネル、リングトンネル及び実験ホールは放射線遮蔽壁で区切られ、異なる

放射線施設に設定されており、ビームシャッタを閉じることによって上流側のライナックを運転しながら下流側の蓄積リングの点検保守を行ったり、蓄積リングを運転しながら実験ハッチ内において試料交換等を行ったりできるように安全設計されています。電子を加速・蓄積する加速器は、実験ホールへの放射線の漏洩を防ぐために、厚いコンクリート遮蔽の中に格納されています。一方、実験ホールに設置される実験ハッチは、利用される放射光のエネルギーがレントゲン検査等で用いるX線と同等かそれ以下であるため、比較的薄い鉛で遮蔽されています。運転の際には常時、各所に設置されたガンマ線用と中性子用の放射線エリアモニタで放射線の漏洩の有無を監視するとともに、放射線安全インターロックを充実させるなど様々な工夫をしています(Fig.12参照)。また、施設全体で200個もの環境用積算線量計で空間線量の測定を行っているということです。



Fig.12 放射線安全インターロックの一例

8. 新しい産学共創のスキームとリサーチコンプレックス形成の取り組みについて

なお、ナノテラスでは、官民地域パートナーシップという新しい枠組みの下、地域パートナーにおいてはコアリション（有志連合）コンセプトという産学共創の新しい仕組みを

創り、メンバーとして施設建設に充当する加入金を拠出したユーザー企業のニーズに応じて学術研究者等との一対一の研究開発の連合（コアリション）を組み、企業秘密を保全しつつ製品開発や技術開発等の「競争領域」で施設を利活用し課題解決に取り組める仕組みを導入しています。多くの企業、大学、国研がこの枠組みに参画する予定です。

これに加え東北大学では異分野融合により優れた研究成果の創出や社会課題の解決、そして新たな社会価値の創造を行う「創造のプラットフォーム」の構築を目指した取り組みが進められています。

具体的には、新しい制度として、企業が東北大学内に拠点を設置し活動できる「共創研究所」制度を設け、2023年10月時点で19の共創研究所が設置されています。また、ナノテラスに隣接する4万㎡の敷地「サイエンスパーク」において、現在は国際放射光イノベーションスマート研究センター棟や青葉山ユニバース（仮称）の建設が進んでいます。ここにナノテラスや共創研究所制度を活用する国内外の産学官の研究グループが集い、グローバルオープンイノベーションのエコシステムを構築することにより、リサーチコンプレックス形成の核となることが期待されています。

9. ナノテラスのアドバンテージについて

ナノテラスの大きな強みとして、実験ホールが非管理区域になっていることは前述したとおりですが、これは、多くの利用者が本来、放射線業務従事者に課せられる電離健康診断・被ばく管理が不要になり、その分のコストが削減できるということであり、また、一般企業など放射線施設を持たない利用者も、他のX線装置と同じような感覚で放射光利用を行うことができるということです。つまり、

従来煩雑だった施設の入構手続きも大幅に簡素化され、より利便性が高い安全な実験環境が利用者に提供されることで、ナノテラスは国内外から多くの研究者が集まる、開かれた「使いやすい」放射光施設となり、当該分野の科学技術の国際競争力が確保されるとともに、一般企業等の新規参入利用者によってイノベーションが創出されることが期待されます。

今回、見学させていただいて印象的だったのは国内の英知を結集してナノテラスが作られているということでした。設置されている装置そのものは言うまでもなく、設置の精度や建屋に施された様々な工夫を目の当たりにして、とても感動しました。さらに、まだまだビームラインを増設できることや、XFELの装置の増設も視野に入れていること等、未来に向けてのお話を伺うことができたことも印象に残りました。



Fig.13 ナノテラス入り口前にて
右より高橋、中村、萩原基盤技術グループリーダー、伊藤、高雄

この度はお忙しいところご対応いただきました萩原グループリーダーにこの場を借りて感謝申し上げます。

FBNews編集委員の中村、高橋、仙台事務所の伊藤、後藤、事務局の高雄がお伺いさせていただきました。

（文責：高雄 勝也）



中川 恵一

東京大学医学部附属病院

日本人の起源とがん

1 万年以上前から日本列島に住んでいた縄文人と、約 2～3 千年前に朝鮮半島から渡来した弥生人との混血が日本人のルーツといわれます。

縄文人の顔の特徴は、彫が深く、眉は太く濃く、まぶたは二重で、鼻が大きいといった、いわゆる「ソース顔」です。弥生人の方は、面長で彫が浅く、一重まぶたで、鼻も小さい、「醤油顔」。

47都道府県で縄文人由来と渡来人由来のゲノム比率を調査した研究があります。縄文人由来のゲノムの比率が最も高かったのは、沖縄県で、鹿児島、青森、岩手が続きました。

渡来人由来のゲノム成分が最も高かったのは滋賀県で、京都、奈良などが続きました。

お公家さんを思わせる醤油顔の人が近畿地方に多く、野性味溢れるソース顔は九州・沖縄や東北に多いということです。

稲作を武器に大陸から渡来し、大和朝廷を樹立した渡来人が、もともと住んでいた縄文人を列島の辺境に追いやったと考えてよいと思います。

さて、成人T細胞白血病（ATL）という特殊な白血病があります。ATLは、日本で発見された「成人T細胞白血病ウイルス1型」（HTLV-1）というウイルスの感染が原因となる特殊な白血病です。感染ルートとして母乳を介したものが重要となります。

HTLV-1の感染とATLの発症は沖縄、南九州に多く、岩手から宮城の太平洋側にも見られます。

有名人では、広島カープ一筋で通算213勝を挙げ、名球会投手となった北別府学さんが

6 月、この病気のため亡くなっています。65 歳でした。宮城県知事を務めた浅野士郎さんも ATL の経験者です。

北別府さんは鹿児島出身、浅野さんは岩手県大船渡出身で、彫りの深いソース顔です。

興味深いことに、このタイプの白血病は韓国や中国にはほとんど見られません。

最近では、HTLV-1は縄文人に特徴的なウイルスで、渡来人に感染はなかったという説が有力です。ATLの地域差を説明するカギになると思います。

がんに関連して、逆に弥生人が日本に持ち込んだ遺伝子変異もあります。

エタノールが分解されてできる発がん物質「アセトアルデヒド」が体内にたまると顔が赤くなります。このアセトアルデヒドを解毒する「2型アセトアルデヒド脱水素酵素（ALDH2）」の変異型は縄文人には見られませんでした。今でも、縄文人の末裔が多い九州や東北にお酒が強い人が多いのはそのためだと思います。

ALDH2の突然変異は今から2万年以上も前に中国東部付近で発生したものです。世界的には例外的な変異で、黒人、白人や多くのアジア人にもみられません。

この遺伝子変異を渡来人が日本に持ち込み、大和朝廷を樹立しました。近畿一帯にお酒で赤くなる人が多いのはこのためでしょう。

この遺伝子変異のため、4割近い日本人が飲むと赤くなり、発がんリスクも高くなります。

もっとも、人の移動が容易となった現代、がんにまつわる地域性も急速に失われつつあります。HTLV-1の感染者も、東京や大阪などの大都市で増えており、注意が必要です。実際、醤油顔やソース顔といった表現も死語になりつつあります。



大学生を対象とした CMOS論理回路の実習例について



高橋 浩之*



1. はじめに



筆者が現在所属している東京大学工学部システム創成学科システムデザイン&マネジメントコースにおいては、将来、原子力工学に進む学生を含む教育を行っているが、普遍化したシステムを対象とした幅広い範囲を扱っているために、原理の説明や計算機シミュレーションの基礎などに多くの時間を割いている。したがって、机上の理論が中心となり、学生が実際にモノを扱う機会はそれほど多くない傾向がある。そのために、筆者の担当している電子回路に関する演習においては、なるべく学生に苦労させて、現実存在しているモノを触って、どうやって動いているのかを実感させるように工夫しているが、本稿においては、そのような

試みの一つとして、最近行っている、コンピュータの原理の説明の基礎として、CMOS論理回路の実習について紹介することとしたい。

2. 実習の内容



学生には、半導体の前提知識を要求せずに、実習の中で講義も含めて実施している。まず、講義としては、金属・絶縁体とは異なる半導体の原理を説明し、結晶中に不純物を加えることで、N型とP型の半導体が製作できることを説明、その後にPN接合の動作を記述してダイオードとバイポーラトランジスタのデバイスができることを説明する。次に、図1のように、P型の半導体上にN型の領域を2

CMOS -> Complementary Metal-Oxide-Semiconductor

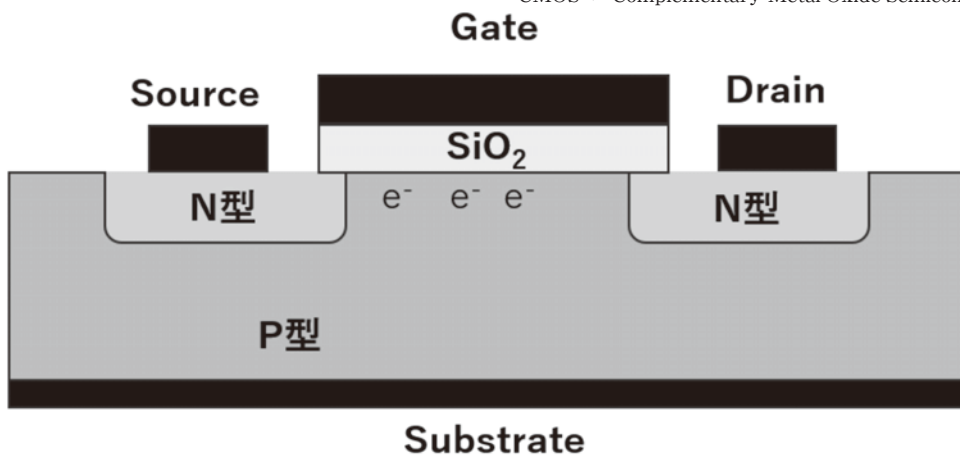


図1 NチャネルMOS FETの構造
通常SubstrateはSourceに接続され、三端子デバイスとして扱われる。

* Hiroyuki TAKAHASHI NPO法人放射線安全フォーラム 理事長

か所電極として作りソースとドレインとし、この2つの電極間のP型の領域に絶縁層である SiO_2 の酸化膜を介してゲート電極に正の電圧を与え、P型半導体内部に電界を形成することで、電子を絶縁層の近傍に引き寄せてNチャネルを生成させて、ソースとドレイン間に電流を流す仕組みを説明し、NチャネルMOSトランジスタが構成されることを示す。

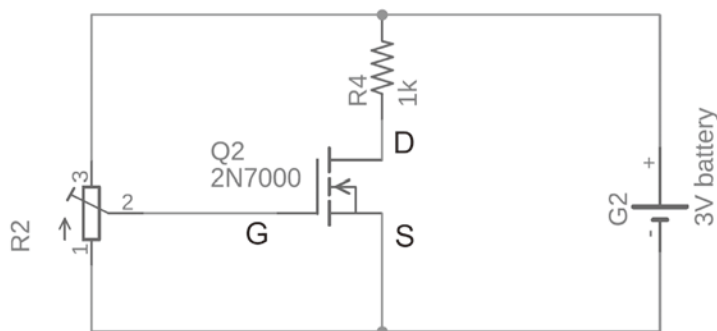
同様にPチャネルMOSトランジスタが構成されることを示す。ここで、ディスクリート半導体として、NチャネルとPチャネルのMOSトランジスタ素子を実際に学生に渡して、ドライバーで半固定抵抗を回して、ゲート電圧を変化させたときのドレイン・ソース間の電流をテスターを用いて測定し、まず、トランジスタ単体としての動作を理解させる。

学生には、ブレッドボードと、MOSトランジスタ、可変抵抗、固定抵抗、単三乾電池2個などを与えて、自身で回路を組んでもらい、電圧を変化させて電流を記録するというを行う。具体的には2.1節に示すような指示を与えている。実際に用いるディスクリート素子としては、ブレッドボードに直接させるTO-92パッケージのMOSトランジスタとしてNチャネルの方は比較的入手しやすい2N7000があるのですが、PチャネルのMOSトランジスタの適切なサイズの素子はあまり流通していないので、ROHM社の表面実装型の素子をブレッドボードに挿入できるように変換基板をつけて用いている。

2.1 MOS回路の特性測定

課題：以下の回路を組んでポテンショメータの2の位置の電位を変えて、ゲート・ソース間電圧 V_{GS} とドレイン電流 I_D との関係を求め、それらをプロットした図を作りなさい。

1) 2N7000 (NMOS) の特性測定



参考図(ON Semiconductor社データシートより)

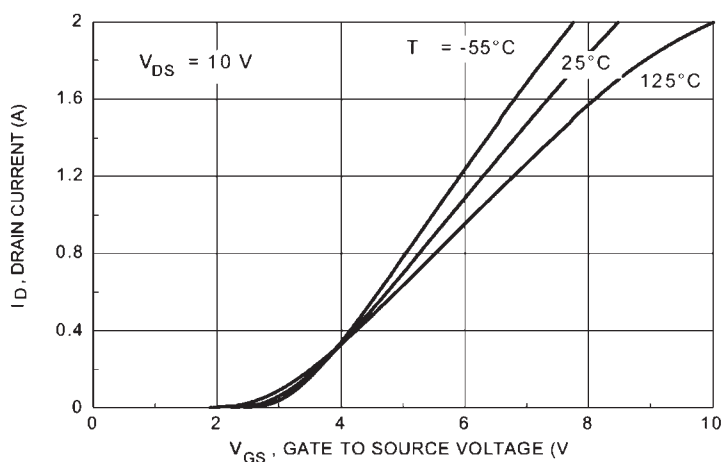
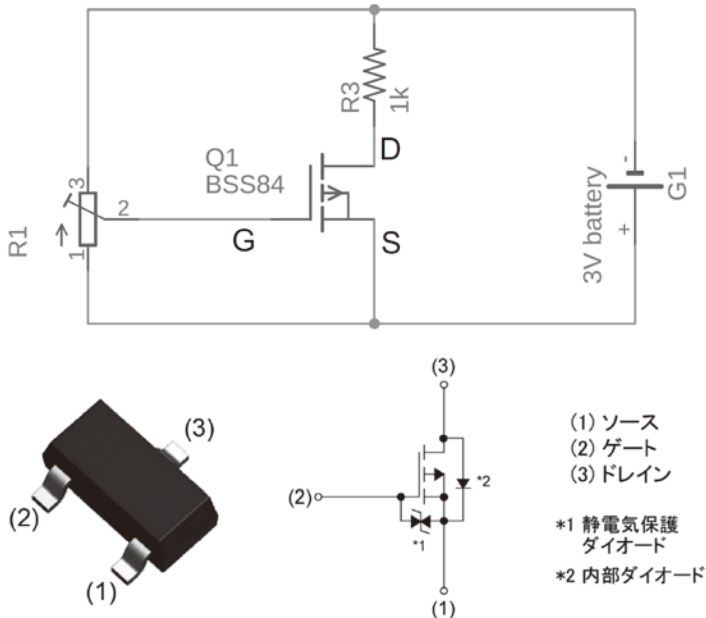
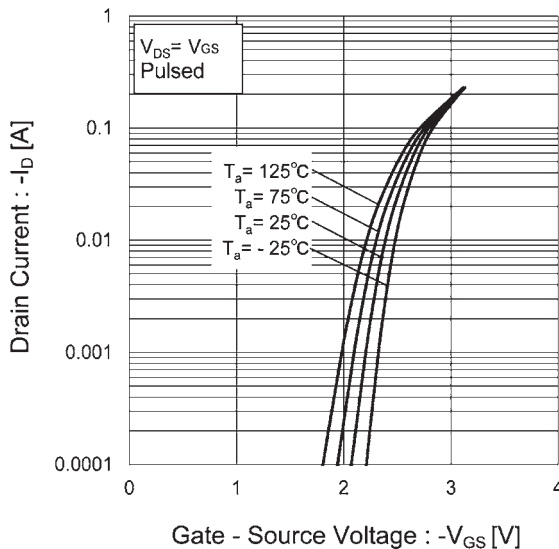


Figure 5. Transfer Characteristics

2) BSS84 (PMOS) の特性測定



参考図 (ROHM社データシートより)



2.2 CMOS論理回路の説明

以上で、一通り、MOSトランジスタがどのようなものであるかが理解されるので、次に再び講義に移り、論理回路の原理と動作の

説明を行う。半導体の初期に用いられていたDTLやTTLなどの論理回路の説明については、時間が限られているのと、学生に混乱を招くこともあるので省き、Intelの8080やZilogのZ80に用いられたNMOS論理回路の説明から入る。この場合は、状態を保持する際に常時電流が流れるので、消費電力が大きくなり、大規模な回路構成が難しいことを説明し、NMOSとPMOSを直列に接続することで、静止時には電流が流れずに、電圧のみで回路が制御できることを説明する。その後は、講義と実習を組み合わせで実施している。既に学生に特性測定をさせたNMOSとPMOSを用いてブレッドボード上にインバータを実際に構成してもらい、その動作を確認してもらい、その後に隣の席の学生と一緒に4個のMOSTランジスタを用いて、NANDゲートを作り、その後は別の学生のペアとともに、NANDゲートを2個用いて、RSフリップフロップを構成し、だんだん回路規模が大きくなることで複雑な機能を実現できることを実感してもらうようにしている。さらに、RSフリップフロップのSET入力に、フォトトランジスタの出力を与えて、

光センサが暗くなったことを記録し、メモリとして動作することができることを理解させることとしている。具体的な実習内容と課題としては2.3節のようにしている。

DTL -> Diode-Transistor Logic (ダイオードとトランジスタを用いた論理回路の方式)

TTL -> Transistor-Transistor Logic (トランジスタとトランジスタを用いた論理回路の方式、Texas Instruments社の7400シリーズなどが有名)

NAND -> Not AND (論理積の否定)

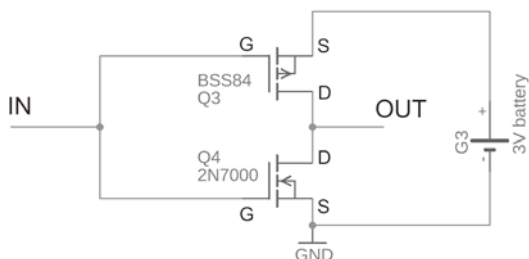
RS -> Reset Set (Flip Flopの一つの方式)

2.3 CMOS論理回路の実習資料の例

これまでにみたように、MOSトランジスタはゲートの電圧によって、ONまたはOFFの特性を制御することができる。これをスイッチとみたとて、トランジスタを組み合わせることで、入力電圧のパターンに応じた出力電圧の応答を実現し、論理演算などを行うことが可能である。この場合、あるしきい電圧を決めて、それより大きな電圧をH (High) レベル、それより小さな電圧をL (Low) レベルとし、それぞれ、論理回路では1または0として扱うことで、デジタル値の取り扱いが可能となる。このような回路構成はNMOSまたはPMOSのどちらかだけで可能であるが、電圧を生成するのに先の実験をみてわかるように負荷抵抗を用いて電流から電圧への変換を行わなくてはならないので、常時回路に電流を流すことが必要となり、待機時にも消費電力が生じる。

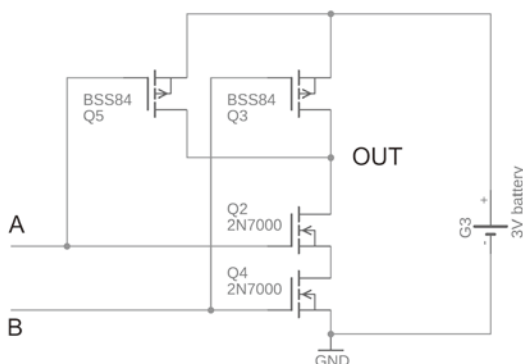
NMOSとPMOSを反転させて直列に接続し、Complementary MOS回路を構成することで、通常動作時には電流が流れずに、電圧のみを出力する回路が実現できる。これをCMOS回路といい、低消費電力を実現するため、大規模集積回路を作ることが可能になり、現代の集積回路では広く用いられている。本演習では、このCMOS回路をMOSトランジスタを用いてブレッドボード上に構成して、その動作を理解することとする。

- 1) 課題：以下の回路 (NOT回路) を作り、入力を電源電圧にした場合に出力がどうなるか、逆に入力を接地した場合にどうなるか、について調べなさい。



- 2) 課題：以下の回路 (NAND回路) を作成し、その入出力の関係を真理値表として求めなさい。

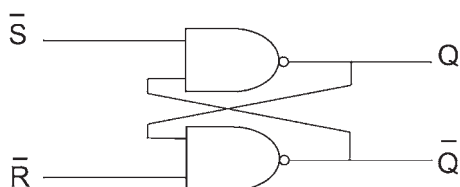
ただし、しきい電圧は1.5Vとし、Hレベルは1、Lレベルは0としなさい。



上の回路を論理回路の記号で書くと次のようになる。以下は、この記述を用いる。

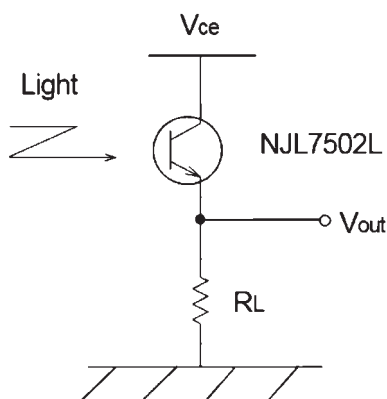


- 3) 課題：NAND ゲートを2個用いて、以下のようなRSフリップフロップを作成し、真理値表をかきなさい。ただし、 $S = 1$ 、 $R = 1$ ($\bar{S} = 0$ 、 $\bar{R} = 0$) の入力は禁止とする。



- 4) 応用例 センサによる状態変化の信号を検知した後、その状態を保持する回路
光センサにより、暗くなった場合に、LEDを点灯させる。

フォトトランジスタは光入力により大きな電流がながれる素子である。ここでは新日本無線のNJL7502Lを用いて、周囲の光の検知を行う。次の図で負荷抵抗 R_L は1 M Ω とする。



図のVoutをRSフリップフロップのセット入力に接続する。通常はフォトランジスタが周囲の光を検知して出力電圧はHレベルになるが、フォトランジスタを手で覆うなどして暗くすると、RSフリップフロップのセット入力はLレベルになる。これに伴い、RSフリップフロップの出力QはHレベルになり、その状態を保持する。なお、出力とGNDの間にLEDと1kΩの抵抗を直列に接続することで論理回路の出力状態を見ることができる。

3. 学生の反応

原理の説明だけでは、なかなかピンとこない学生が多いが、以上に示したような実習を行うと、CMOS回路の動作については、一通り理解ができるようになる。また、学生によっては、実際のデバイスが示す挙動に興味をそそられて、没入して楽しみながら実習に取り組む様子がみとれる。一方、学生によっては、ただ課題をこなすだけのものもあり、また、規模が大きくなると、接続ミスをして、うまく動かないという場合もある。ブレッドボードの横一列が導通していることを忘れて、デバイスをショートさせている場合や、場合によっては、ドレインとソースを逆につなぎ、トランジスタを破壊してしまうこともある。失敗をさせないということでは、あらかじめ、塗り絵

*GND -> Ground (接地電位)

のように実体図を示して、同じようにデバイスを接続させて、その通りに作るというのが確実ではあるが、それでは自分の体験にならないので、回路を実際にどう接続するかについては自ら考えて構築させるようにしている。この点でリスクはあり、予備の部品やバッテリーを用意しておくことは必須である。

4. おわりに

ブレッドボードは配線のやり直しが簡単にできるので、初学者に経験をさせるには有効であり、また、複雑な回路を構成することも可能である。実際の実習では、この後には、もう少しハードルの高い、はんだ付けをさせて、FTDI社のFT245RLという素子を用いたUSBインタフェースの製作とDAC/ADCチップの制御と、FTDI社などから提供されているAPI (Application Programming Interface) を利用してC言語によるプログラミングでSPIインタフェースを介してDACやADCとデータのやりとりを行うことで機器制御やセンサのデータ読み取りなどを行わせている。シリアルデータを用いたデータの伝送などは論理回路が直接関係するところである。実際にチップを用いても、既にそれらの素子が大分、高機能になっていて、ブラックボックス化されてしまっているので、まず最初に一番プリミティブなレベルを体験させることが必要と思い、トランジスタレベルでの論理回路の実習を行うこととしている。

著者プロフィール

- | | |
|---------|---------------------|
| 1987年 | 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了 |
| 1989年 | 東京大学工学部助手 |
| 1993年 | 東京大学工学系研究科講師 |
| 1996年 | 東京大学工学系研究科助教授 |
| 2000年 | 東京大学人工物工学研究センター助教授 |
| 2005年 | 東京大学工学系研究科教授、現在に至る |
| 2016年より | NPO放射線安全フォーラム理事長 |

「個人放射線被ばく線量測定サービス規約」および「環境線量測定サービス規約」改定のお知らせ

この度、「個人放射線被ばく線量測定サービス規約」および「環境線量測定サービス規約」を全面的に改定いたしましたので、お知らせいたします。

なお、この改定規約は2024年1月1日から適用させていただきます。

改定後の「個人放射線被ばく線量測定サービス規約」および「環境線量測定サービス規約」は2023年12月28日以降、以下URLのページよりご確認ください。

①<URL> <https://www.c-technol.co.jp/glassbadgesite/> を開く

②「各種カタログ・サービス規約・申込書」をクリック



③「サービス規約」の各規約をクリックするとPDFがダウンロードいただけます。

各種カタログ・サービス規約・申込書



改定後の規約は右下に「2024.01改定」と記載されます。

サービス部門からのお願い

測定依頼票のご記入のお願い

平素より弊社のガラスバッジサービスをご利用くださりまして、誠にありがとうございます。
ガラスバッジ・ガラスリング・DOSIRISを測定依頼される際は「測定依頼票」に返却される線量計の個数のご記入をお願いいたします。

線量計をお届けする際に同封しております「お届けのご案内」の「測定依頼票」部分を切り離し、ガラスバッジ・ガラスリング・DOSIRISの返却個数をコントロール線量計がある場合はコントロールの個数も含め、ご記入をお願いします。(X線用ガラスバッジには、コントロールはありません)

お客様のご理解とご協力をよろしくお願い申し上げます。

返却個数(コントロールガラスバッジ・ガラスリング・DOSIRISを含む)記入欄 (X線用ガラスバッジには、コントロールガラスバッジはありません)		
ガラスバッジ	ガラスリング	DOSIRIS
5 個	3 個	個

株式会社千代田テクノロ 行

測定依頼票

ガラスバッジ・ガラスリング・DOSIRISの測定を依頼します。

事業所名
千代田テクノロ診療所

科
放射線科

担当名
千代田 太郎 様

電話番号
03-3816-5210

ご利用期間
2024/01/01 - 2024/01/31

※測定依頼される際には、返却されるガラスバッジ・ガラスリング・DOSIRISの個数をご記入ください。また、X線用ガラスバッジには、コントロールガラスバッジはありません。

ガラスバッジ	ガラスリング	DOSIRIS
5 個	3 個	個

※返却個数は、コントロールガラスバッジ・ガラスリング・DOSIRISを含む個数です。

※X線用ガラスバッジには、コントロールガラスバッジはありません。

※ガラスリング・DOSIRISの個数もご記入ください。

※測定依頼票は、測定依頼書と一緒に提出してください。

※測定依頼票は、測定依頼書と一緒に提出してください。

編集後記

- 読者の皆さま明けましておめでとうございます。昨年は新型コロナウイルス感染症が5類感染症に移行され、対面での学会も行われるようになり活発な活動が4年ぶりに再開した年だったと思います。
- 本年最初のご寄稿として徳森律朗センター長、鍛冶直也様、土田佳裕様より「大熊分析・研究センターの施設整備状況と課題」についてを掲載させていただきました。連載中の東京大学病院の中川恵一先生のコラム、NPO法人放射線安全フォーラムの高橋浩之理事長から、「東京大学において、大学生を対象にしたCMOS倫理回路の実習例」をご寄稿いただきました。
- 施設訪問記では、東北大学内に建設中の「ナノテラス」3 GeV高輝度放射光施設を内海渉セン

ター長と萩原雅之グループリーダーの協力で紹介できました。

加速器施設として、将来を見据えた拡張を考えられており、物質の構造開設、機能理解ができる施設としてより短時間にデータが得られるという特徴を備えています。特筆すべきは、これまでの加速器施設では、すべての入室者が放射線従事者として登録が必要であり、電離健康診断・被ばく管理がある中、放射光のみの利用者には実験ホールが非管理区域となっていることが紹介されています。

- この編集プロセスを通じて、読者の皆様へ魅力的で有益な情報をお届けし、より良い年をお過ごしただけですよう努めます。(小山)

FBNews No.565

発行日/2024年1月1日

発行人/井上任

編集委員/小山重成 小口靖弘 中村尚司 野村貴美 古田悦子 青山伸 福田達也 藤森昭彦
篠崎和佳子 高橋英典 東元周平 廣田盛一 丸山百合子 山口義樹

発行所/株式会社千代田テクノロ

所在地/〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル

電話/03-3252-2390 FAX/03-5297-3887

<https://www.c-technol.co.jp/>

印刷/株式会社テクノサポートシステム

一禁無断転載一 定価400円(本体364円)