

平成30年度放射線医学オープンスクール
報告書
～最先端技術にふれる～

公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団
医師のキャリアパスを考える医学生の会
医学物理若手の会

目 次

はじめに	1
I. 概要報告	3
II. スケジュール	5
III. オープンスクールガイド（見学先施設紹介、特別講演抄録）	7
IV. 講師からのメッセージ	17
V. 参加者の声	19
VI. 参加者の概要及び反応（アンケート）	27
VII. まとめ	31
<参考資料1>開催実績	35
<参考資料2>東芝エネルギーシステムズ株式会社 講義資料	37
<参考資料3>東京女子医科大学病院 講義資料	51
<参考資料4>特別講演資料	67
明日への人材を育てる企業一覧	89

はじめに

公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団

放射線医学オープンスクールは、医学・医療系および物理工学系学生が、普段なかなか接することの出来ない最先端技術である放射線医学の現場の見学により、取り巻く状況に関心をもち、その面白さ・素晴らしさに触れることを目的として平成20年度より毎年開催しています。また、本事業は参加者が将来同分野を進路の選択肢とするだけでなく、よき理解者、支援者となることで幅広い分野の人材交流および技術展開を促進することにつながり、放射線医学分野の裾野が広がることを期待しています。11回目となる本年は(公財)医用原子力技術研究振興財団主催、医師のキャリアパスを考える医学生の会および医学物理若手の会共催で実施しました。

(公財)医用原子力技術研究振興財団は、粒子線等による先端のがん治療をはじめとする各種放射線による疾病の治療および診断等に関する医用原子力技術を推進するとともに、その普及を図ることを目的として、講演会・講習会・セミナー・施設見学会等の開催、広告媒体・資料の作成・発行、情報収集・発信、関連施設整備促進・患者支援活動、および線量校正等、放射線治療施設の品質管理支援事業を行っております。

医師のキャリアパスを考える医学生の会は、医学生有志で構成する自主組織で「主体的な活動が出来る医学生をつくる」を理念とし、大学では学ぶ事の出来ない医学全般を知り、視野を広げ、医師および医療の取り巻く課題と将来あるべき姿を考え、講演会、施設見学会等に関する活動を通じて学生自身がキャリアについて学び、考え、発展していこうというネットワークです。

医学物理若手の会は、2017年に発足した、日本全国で医学物理に携わる若手研究者、学生の有志で構成する自主組織です。若手同士の交流や勉強会等における議論を通して、自分自身の研究が放射線医学の臨床における課題の解決、及び将来の放射線医学の発展にどのように寄与できるか考えるきっかけを提供し、さらに、日本全国に広がる医学物理若手の会ネットワークを駆使することで、若手の幅広いキャリアパスの提示に資することを目指しています。

このたび、本事業の成果報告として、参加した学生等が執筆した「平成30年度放射線医学オープンスクール報告書～最先端技術に触れる～」を冊子として発行いたしました。活動内容を全国のより多くの学生、医療関係者および協賛組織等に知っていただき、本事業への理解を深めていただければ幸いです。医療の未来を築き、支えていく学生に対して、

放射線医学が医療現場でいかに重要な役割を果たしているかを実際に目にし、肌で感じていただく貴重な機会を提供する本事業は、同分野に於ける優秀な人材の確保および医療全体の発展に大いに貢献するものと期待されます。「放射線医学オープンスクール」の開催および報告書の発行に際し、その趣旨をご理解賜り、ご協力ご協賛をいただいた関係各位に対し、心よりお礼を申し上げますとともに、今後ともさらなる発展のため、暖かいご支援を賜りますようお願い申し上げます。



東京女子医科大学病院

I . 概要報告

平成 30 年度放射線医学オープンスクール～概要～

医師のキャリアパスを考える医学生の会

浜松医科大学 医学部医学科 4 年

徳山 喜心

平成 30 年 8 月 20 日から 21 日にかけて、公益財団法人医用原子力技術研究振興財団主催、医学物理若手の会、医師のキャリアパスを考える医学生の会の共催により「放射線医学オープンスクール～最先端技術に触れる～」が開催されました。

本オープンスクールは、放射線医学見学ツアーとして 2008 年に開催されて以来、今年で 11 回目の開催となりました。今年度は、全体で 33 名の学生が参加し、内訳は医療系の学生と工学系の学生がおおよそ半数ずつ、学年は学部から大学院博士課程までと多種多様な学生が集まりました。

今回のオープンスクールでは、「東芝エネルギーシステムズ株式会社 京浜事業所 本工場」、「東京女子医科大学病院」の 2 施設を見学させていただきました。

1 日目は、東芝エネルギーシステムズ株式会社に伺いました。京浜事業所の紹介、重粒子線がん治療装置についての講義を拝聴し、その後製造現場の見学をさせていただきました。私たち学生の質問にも快く答えてくださり、重粒子線治療装置に対する理解が深まりました。1 日目の夕方からは特別講演として、東京女子医科大学大学院医学研究科医学物理分野の西尾禎治教授より「放射線治療における医学物理学の重要性」、同大学画像診断・核医学科の阿部光一郎教授より「核医学治療について」の講演を拝聴しました。講演後には懇親会が開かれ、学生をはじめ、東芝エネルギーシステムズ株式会社、東京女子医科大学の先生方も参加して下さり親睦を深めることができました。

2 日目は、東京女子医科大学病院に伺いました。はじめに東京女子医科大学理事・医学部長 放射線腫瘍学講座教授・講座主任の唐澤久美子先生より「放射線腫瘍学総論」の講演を拝聴しました。その後、「CT/MRI」についての講義を診断学・核医学講座の遠藤先生、「手術支援ロボティクス」を先端生命医科学研究所の岡本先生、「重粒子線治療」を放射線医学総合研究所の瀧山先生、「IVR」を診断学・核医学講座の森田先生、「放射線治療におけるチーム医療」を放射線腫瘍学講座の恒田先生、「診断画像を撮影するには」を同講座の松原先生より拝聴しました。また、東京女子医科大学病院内の見学も行いました。4 班に分かれて、CT、MRI、マンモグラフィー等を見学しました。東京女子医大の講義・見学では、放射線医学の基礎から、実践されている現場、最新の放射線治療機器までを教えていただき、

放射線医学の具体的なイメージと全体像をつかむことができました。

2日間のオープンスクールを通して、放射線医学の理論・放射線治療機器開発から患者さんに治療が実施されるまでの流れを実感することができました。また、放射線医学に興味を持つ同世代との学生と交流することで刺激を得ました。このような場を提供して下さった方々に、この場を借りて御礼申し上げます。



東芝エネルギーシステムズ株式会社 京浜事業所

II. スケジュール

2018年8月20日(月)

- 12:15 集合 鍛冶橋駐車場(東京都千代田区)
12:25~13:15 移動 → 東芝エネルギーシステムズ株式会社 京浜事業所

東芝エネルギーシステムズ株式会社 京浜事業所

- 13:30~13:45 開会挨拶
13:45~14:45 講義 「重粒子線がん治療装置」 佐藤講師
14:45~15:45 見学 製造現場
15:45~16:15 質疑応答
16:30~17:30 移動 → 東京グリーンパレス(東京都千代田区)
17:30~17:40 チェックイン
17:40~18:25 特別講演「放射線治療における医学物理学の重要性」
東京女子医科大学大学院医学研究科 医学物理学分野
西尾 禎治 教授
18:25~19:10 特別講演「核医学治療について」
東京女子医科大学 画像診断・核医学科
阿部 光一郎 教授
19:10~21:00 懇親会

2018年8月21日(火)

- 9:30~ 10:00 移動 → 東京女子医科大学病院

東京女子医科大学病院

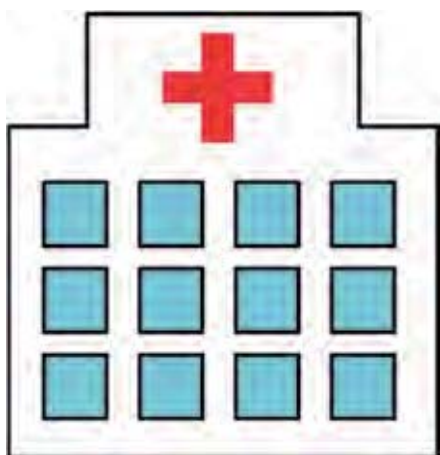
- 10:00~11:00 講義 「放射線腫瘍学総論」 唐澤先生
11:00~11:30 講義 「CT/MRI」 遠藤先生
11:30~12:30 昼食
12:30~14:00 見学 マンモ・核医学・CT・MRI・計画 CT・治療計画・小線源・外部照射
14:00~14:45 講義 「診断と治療を融合するスマート治療室」 岡本先生
14:45~15:30 講義 「重粒子線治療」 放射線医学総合研究所 瀧山先生
15:30~16:00 講義 「IVR」 森田先生
16:00~16:45 講義 「放射線治療におけるチーム医療」 恒田先生
「診断画像を撮影するには」 松原先生
16:45~17:00 閉会挨拶
17:00 解散

Ⅲ. オープンスクールガイド

平成30年度 放射線医学オープンスクール

～最先端技術に触れる～

オープンスクールガイド



2018年8月20日（月）～21日（火）

公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団

医師のキャリアパスを考える医学生の会

医学物理若手の会

東芝エネルギーシステムズ株式会社 京浜事業所 本工場



京浜事業所 本工場

所在地

京浜事業所 本工場

〒230-0045
神奈川県横浜市鶴見区末広町 2-4
TEL：(045) 510-5016 (代表)

会社概要

東芝エネルギーシステムズ株式会社は2017年10月1日に株式会社東芝より分社し発足しました。

弊社は、エネルギーを「つくる、おくる、ためる、かしこくつかう」ためのシステム・サービスの提供により、より良い生活のための基盤づくりに貢献しています。

具体的には、エネルギーの安定的な供給を実現する火力・原子力発電システムをはじめ、自然エネルギーを利用した水力・太陽光・地熱・風力などの発電システムを提供しています。また、つくったエネルギーを家庭や商業・産業向け施設などに確実に届けるための送変電システム、エネルギーを無駄なく効率的に蓄える二次電池システム、そして分散するエネルギーを統合し、電力の需給バランス調整を行うエネルギーアグリゲーションサービスを展開しています。さらに、原子力技術を応用した重粒子線がん治療装置やエネルギーの地産地消を可能にする自立型水素エネルギー供給システムなどさまざまな事業を行っています。

弊社は、「人と、地球の、明日のために。」という東芝グループのスローガンの下、今回ご見学いただく重粒子線がん治療装置の普及を目指し、質の高いがん治療の実現を通して社会に貢献していきます。

研修内容

重粒子線治療装置の講義および同装置の製造現場を見学して頂きます。実際の物作りの現場を見ていただくことにより、より深く重粒子線治療装置を学んで頂きたいと考えます。



回転ガントリー装置 (量研/放射線医学総合研究所納品)



超伝導電磁石

※写真は参考例です (当日の製造状況により、見学対象物が異なることがあります)

プログラム

1. 東芝エネルギーシステムズ 京浜事業所のご紹介
2. 重粒子線治療装置のご説明
3. 見学(重粒子線治療装置 (製造中)、他)

東京女子医科大学病院



東京女子医科大学

所在地：〒162-8666 東京都新宿区河田町 8-1

TEL: 03-3353-8111

大学病院 URL: <http://www.twmu.ac.jp/info-twmu/>

放射線腫瘍科 URL: <http://twmu-rad.info/>

画像診断・核医学科 URL: <http://www.twmu.ac.jp/RAD/ign/>

放射線腫瘍科の紹介

特徴

東京女子医科大学病院 放射線腫瘍科は、放射線治療専門医 3 名と放射線科専門医 2名、医学物理士 4 名、大学院生 5 名（うち 4 名は医学物理分野）が所属しており、日々の診療のほか臨床研究や基礎研究、教育に取り組んでいます。当科では、3 台の直線加速器を用いて外部照射を行ない、また積極的に小線源治療も実施しています。建学の精神である「至誠と愛」の心で患者さんに最善の医療を提供するため、放射線腫瘍医、医学物理士、診療放射線技師、看護師、事務職員などがチーム一丸となり、日々治療にあたっています。

【診療】 2 台の直線加速器（Varian 社製

TrueBeam, Elekta 社製 Synergy）を用いて、強度変調放射線治療（Intensity-modulated radiotherapy: IMRT）や体幹部定位放射線治療（Stereotactic body radiotherapy: SBRT）といった高精度治療を行なっています。当科の対象疾患は脳腫瘍、頭頸部腫瘍、乳癌、食道癌、肺



Varian 社製 TrueBeam

癌、膀胱癌、直腸癌、子宮頸癌、前立腺癌など多岐にわたっています。これらの疾患について他の診療科とカンファレンスなど連携を取り、集学的にがん治療を行なっています。また、安全な放射線治療の実施のため医学物理士や診療放射線技師が装置の品質管理を実施しています。

【研究】当科の研究は、臨床放射線腫瘍学分野と医学物理学分野、放射線生物学分野の大きく3つに分けられます。臨床放射線腫瘍学分野では、他施設との臨床試験や寡分割照射の有用性、新規照射法の開拓などを進めています。医学物理学分野では、外部の研究施設・他大学と連携を取り、高精度放射線治療や粒子線治療にフォーカスした最先端の研究を行なっています。放射線生物学分野では、各種培養細胞を用いて放射線増感効果等の研究を行っています。放射線医学総合研究所、国立がん研究センター東病院との連携で粒子線治療の研究を行っているのも特徴です。

画像診断・核医学科の紹介

特徴

放射線科は、放射線治療、放射線診断（IVRを含む）、核医学に分けられ、東京女子医科大学画像診断・核医学科は後者2つを含む診療科として、診療、研究、教育に携わっています。

当科の特徴は何といてもその検査件数の多さで、2017年度の検査件数はCTで41,000件、MRIで24,000件、PETを含めた核医学検査で8,300件に上ります。また、核医学では診断のほかにRI内用療法（核医学治療）も積極的に行っています。

【診療と研究】

当科では、豊富な症例数をベースとして、最先端の診断装置を駆使し、関係する診療科から信頼される精度の高い診断を行っています。経時的に3D-CTを撮影する4D-CT（4次元CT）、MRスペクトロスコピーやfunctional MRIなどの脳機能画像、Whole Heart Coronary MRAなど低侵襲の循環器MRI画像、methionineを含むアミノ酸製剤を用いたPET画像などを用いた臨床研究も施行しています。

<CT> 現在6台のMDCT(マルチスライスCT)が稼動しており、320列が2台、64列が3台、16列が1台です。MDCTによる高速かつ詳細なデータを利用し、診療に有用な3D像などの再構成画像の提供も行っています。緊急検査にも迅速に対応し、診断・治療方針決定に役立つような画像情報を提供しています。

<MRI> 現在 6 台が稼動しており、磁場強度の内訳は 3 テスラが 2 台、1.5 テスラが 4 台です。通常の検査のほかに、MR スペクトロスコピー、functional MRI といった機能的画像の臨床応用や腹部領域の拡散強調画像、脳神経外科などの治療計画用の撮影などにも活用しています。

<Interventional Radiology (IVR)> 管内治療、CT や超音波を用いた生検、ドレナージなどの特殊検査、マンモトーム生検などを行っています。

<核医学> 現在 SPECT カメラ 3 台、SPECT/CT カメラ 1 台、PET/CT カメラ 2 台で検査を行っています。¹⁸F 標識 fluoro-deoxyglucose (FDG) のほかに、¹¹C-methionine、¹³N-ammonia を用いた特殊検査も行っていきます。



Siemens 社製 Biograph mCT

オープンスクールでの研修内容

放射線腫瘍科では、放射線治療・腫瘍学の講義をはじめ、実際の治療室を見学していただきます。また、当院で実施している光子線治療だけではなく、放射線医学総合研究所から重粒子線治療の講義・紹介をしていただきます。

画像診断・核医学科では CT、MRI、IVR、核医学など画像作成、読影など画像診断の実際を見ていただき、CT、MRI の基礎、IVR 検査/治療について講義を受けていただきます。また、先端生命医科学研究所から、実用化途中の次世代手術室 SCOT (Smart Cyber Operating Theater) の紹介もさせていただきます。

講師紹介

からさわ くみこ

氏名 : 唐澤 久美子

最終学歴 : 1986年3月 東京女子医科大学卒業

現職名 : 学校法人 東京女子医科大学 理事 医学部長
放射線腫瘍学講座 教授・講座主任



経歴 : 1986年 5月 東京女子医科大学放射線科 研修医
1986年 10月 スイス国立核物理研究所 見学生
1989年 5月 東京女子医科大学放射線医学講座 助手
1994年 2月 東京女子医科大学医学博士号取得
2000年 3月 東京女子医科大学放射線医学講座 講師
2002年 8月 順天堂大学医学部放射線医学講座 講師
2005年 7月 順天堂大学医学部放射線医学講座 助教授
大学院医学研究科放射線医学 助教授併任
2006年 1月 同大学院 先端放射線治療・医学物理学講座助教授、講座責任者
2007年 4月 同 先任准教授
2008年 4月 立教大学理学研究科兼任講師
2011年 7月 独立行政法人 放射線医学総合研究所
重粒子医科学センター病院治療課第三治療室長
2012年 4月 立教大学理学研究科客員教授
千葉大学看護学研究科兼任講師
2015年 4月 東京女子医科大学放射線腫瘍学講座 主任教授
2015年 5月 同 教授・講座主任(呼称変更)
2018年 4月 学校法人東京女子医科大学 理事 医学部長
現在に至る。

専門医 : 放射線治療専門医、がん治療認定医、乳癌学会乳癌専門医

専門分野 : がん放射線療法(とくに乳癌など)、粒子線治療

委員等 : 日本放射線腫瘍学会代議員・がん放射線治療推進委員・渉外関連学会委員、日本医学放射線学会代議員、医学物理士認定機構副代表理事・渉外委員長・教育コース認定委員、日本乳癌学会評議員・働き方検討委員、日本医学物理学会代議員・教育委員・国際交流委員など

所属学会 : 日本放射線腫瘍学会、American Society for Radiation Oncology、European Society for Radiation Oncology、日本医学放射線学会、日本癌治療学会、日本乳癌学会、日本食道学会、日本頭頸部癌学会、日本医学物理学会、日本サイコオンコロジー学会、日本粒子線治療臨床研究会など

受賞歴：第 72 回 日本医学放射線学会総会 Gold Medal. 2013. 4
Medical Women's International Association Award of Excellence 2013. 8
第 15 回 乳癌最新情報カンファランス優秀演題賞 2014. 8

主な著書：頭頸部癌の放射線治療（金原出版 1995）

癌放射線治療（篠原出版 1995）

癌放射線療法マニュアル（金原出版 1997）

婦人科癌治療学（中山書店 1997）

放射線医学サブノート（教育広報社 1997）

臨床放射線のコツと落とし穴（中山書店 1999）

21 世紀耳鼻咽喉科 頭頸部腫瘍 放射線治療（中山書店 2000）

癌放射線治療 2002（篠原出版新社 2002）

乳癌治療のコツと落とし穴（中山書店、2004）

乳腺疾患（医歯薬出版、2004）

乳癌診療ガイドライン（金原出版 2005）

必携 診療マニュアル（中外医学社 2005）

乳癌診療ガイドラインの解説（金原出版 2006）

乳癌 基礎・臨床研究のアップデート（日本臨床社 2007）

エビデンス放射線治療（中外医学社 2007）

造血幹細胞移植のすべて（科学評論社 2007）

がん放射線治療の理解とケア（学研、2007）

がん医療入門（朝倉書店 2008）

放射線治療分野の医学物理士の基礎知識（篠原出版新社、2009）

患者さんのための乳がん診療ガイドライン（金原出版 2009）

がん放射線療法 2010（篠原出版新社、2010）

がん放射線療法 2010 別冊（篠原出版新社 2010）

乳癌診療ガイドライン（金原出版 2011）

米国医学物理レジデント研修記（篠原出版新社、2011）

がん放射線治療と看護の実践（金原出版 2011）

医学物理の理工学（養賢堂 2012）

根拠がわかるがん看護ベストプラクティス（南江堂 2012）

がん看護パーフェクトガイド放射線療法（学研メディカル秀潤社 2012）

臨床放射線腫瘍学（南光堂 2012）

放射線治療計画ガイドライン 2012（金原出版 2012）

チームで取り組む乳がん放射線療法（メディカル教育研究社 2013）

Carbon-Ion Radiotherapy. Principle, Practice, and Treatment Planning (Springer, 2014)

がん放射線治療ガイドブック（学研メディカル秀潤社 2016）

放射線治療学（南山堂 2017）

Radiotherapy in Cancer Care: Facing the Global Challenge, IAEA Human Health Series (IAEA 2017)

がん放射線療法 2017（学研メディカル秀潤社 2017）

「放射線治療における医学物理学の重要性」

東京女子医科大学大学院医学研究科
医学物理学分野

西尾 禎治

がんの放射線治療では、放射線と照射する人体との相互作用による物理反応を切っ掛けに、化学反応、生物反応が連鎖し、腫瘍細胞を殺傷します。医学物理学とは基礎物理学を基盤とする、放射線物理学、原子核物理学、原子・分子物理学、放射線計測学、電磁気学、物理数学、情報工学、医学、生物学などの幅広い学問の結集体であり、その知識及び成果を医学へ展開する学術分野が医学物理学分野です。

放射線治療が高度化する一方、その治療装置や技術の品質保証及び管理の項目は、より一層の複雑化を招いています。その結果、治療装置や技術の品質保証及び管理の業務は非常に幅広い領域で多岐に渡っており、現場の医療従事者の負担増になっています。そのため、それらの業務の中心的役割を担う人材が必要となります。また、放射線治療の高精度化には、医学物理学の研究開発が重要です。それ故に、大学や研究所においては革新的な医学物理学研究及び開発、研究者の育成を主体的に実施する人材が必要です。それらの業務を専従で実施するのが医学物理士です。今後の放射線治療の高度化に伴い、臨床現場や大学・研究所で活躍出来る医学物理士の研究教育と人材育成は大変重要です。

本講演では、高精度放射線治療の紹介とそれに伴う医学物理学の重要性を説明する予定です。



講師紹介

西尾禎治 (にしおていじ)

- 1992年 立教大学理学部物理学科卒業
- 1994年 立教大学大学院理学研究科物理学専攻博士前期課程修了
- 1997年 立教大学大学院理学研究科物理学専攻博士後期課程満期退学
(博士 (理学))
- 2011年 東京大学大学院医学系研究科生体物理医学専攻医学博士課程修了
(博士 (医学))
- 1997年 放射線医学総合研究所医用加速器工学研究部客員研究官
- 1998年 国立がんセンター東病院放射線部物理専門官
- 2008年 国立がんセンター東病院臨床開発センター
粒子線医学開発部粒子線生物学室室長
- 2012年 国立がんセンター東病院臨床開発センター
粒子線医学開発分野ユニット長
- 2015年 広島大学大学院医歯薬保健学研究院応用生命科学部門特任教授
- 2016年 東京女子医科大学大学院医学研究科医学物理学分野教授

「核医学治療について」

東京女子医科大学
画像診断・核医学科
阿部 光一郎

核医学治療とは、ある病巣に選択的に取り込まれる放射性医薬品を、経静脈的あるいは経口的に投与して目的病巣に集積させ、放射線治療を行う治療法である。国内で保険診療として認められている核医学治療は、分化型甲状腺癌および Basedow 病に対する放射性ヨウ素治療、転移性骨腫瘍の疼痛緩和を目的とするストロンチウム治療、悪性リンパ腫に対するイットリウム治療、骨転移を伴う去勢抵抗性前立腺癌に対するラジウム治療であるが、標的分子に集積するライガンドの開発により今後新たな核医学治療製剤が承認される可能性がある。

しかしながら一方で、治療のタイミング、投与量、効果判定指標など、依然エビデンスが十分でなく、核医学治療の普及において必要な社会的要件の整備も不十分である。

本講演では核医学治療とその課題について概説する。

1. 分化型甲状腺癌に対する放射性ヨウ素治療

放射性ヨウ素治療はその治療効果についてよく知られており、本邦でも 1960 年代に開始された。治療病室の不足が大きな問題であるが、2010 年には 30mCi 外来アブレーションが認められ、治療患者数は年々増加傾向にある。しかし、本邦での 30mCi 外来アブレーション治療の対象のほとんどが high risk 患者であり、30mCi が適当な投与量であるかどうか疑問が大きい。現在、核医学会では 100mCi の外来投与承認を目指して活動している。

2. CD20 陽性の再発又は難治性悪性リンパ腫に対するイットリウム治療

抗 CD20 抗体を用い放射線免疫療法として知られたイットリウム-イブリツモマブチウキセタン治療は、CD20 陽性悪性リンパ腫細胞に集積し近傍の CD20 の発現の低い細胞にもクロスファイヤー効果にて治療効果をもたらす。完全マウス抗体であるためマウス抗体に対するヒト抗体が出現する可能性があり、一人の患者に対して生涯 1 回しか治療を施行できない。どのような患者にいつ治療を行うか、が問題となる。

3. 転移性骨腫瘍に対するストロンチウムおよびラジウム治療

転移性骨腫瘍の疼痛緩和に対するストロンチウム治療の奏効率は 7-8 割とされている。一方、生存率の改善についてラジウム治療では効果が認められているが、ストロンチウム治療では証明されていない。この差はベータ線とアルファ線の物理的性質の違いによるところが大きいと考えられるが、なぜ骨転移局所に対する治療が生命予後を改善するのか、腫瘍局所の微小環境におけるそれぞれの放射線の影響など、まだ解明されていない事象が多い。

4. 今後期待される核医学治療

Lu-177 DOTATATE、Lu-177 PSMA など、今後期待される核医学治療製剤について紹介する。

講師紹介



阿部光一郎

1990	九州大学医学部卒業
1990-1992	京都保健会病院 内科研修医
1992-1993	九州大学附属病院放射線科 医員
1993-1995	松山赤十字病院放射線科 医師
1995-1999	九州大学生体防御医学研究所免疫学教室 大学院
1999-2001	NIH, NCI-Frederick, Division of Basic Sciences, Laboratory of Molecular Immunoregulation, research fellow
2001-2003	上尾中央総合病院放射線科 医長
2003-2004	九州大学大学院医学研究院臨床放射線科学分野 医員
2004-2008	同 助教 (助手)
2009-2013	同 講師
2013-2014	東京女子医科大学画像診断・核医学講座 准教授
2014-現在	同 教授

IV. 講師からのメッセージ

東京女子医科大学 放射線腫瘍学講座
恒田雅人

2018年8月20日、21日の2日間、第11回放射線医学オープンスクールが開催されました。初日は、東芝エネルギーシステムズ株式会社 京浜事業所にて重粒子線がん治療装置の講義・見学と東京グリーンパレスにて特別講演のプログラムを実施しました。2日目は、東京女子医科大学にて講義、放射線診断部門と放射線治療部門の見学を行いました。この会は、公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団が主催しており、今年は、医師のキャリアパスを考える医学生の会と医学物理若手の会が共催でした。放射線医学オープンスクールの開催実績を見ると例年参加人数が増え、近年では定員に近いことがわかります。これは、放射線医学に興味を持つ学生の増加であり、大変嬉しく思います。それと同時に、医用原子力技術研究振興財団の活動成果でもあり、心から感謝申し上げます。

今回の放射線医学オープンスクール開催について、5月頃、医用原子力技術研究振興財団の担当者の方から東京女子医科大学 唐澤久美子教授へ問い合わせがあり、今年度は当科で引き受けることになりました。私はこの話を聞いた時、「ぜひ女子医大で引き受けたい！」と思いました。なぜならば、私は京都大学と株式会社島津製作所にて開催された第8回放射線医学オープンスクールの参加者であり、見学で“実際の放射線医学”に触れ、とても参考になったという経験があったためです。(私は、放射線医学オープンスクールの卒業生？といったところでしょうか?) 今年度の参加学生にも“実際の放射線医学”に触れてもらいたいと思い、放射線腫瘍科や画像診断・核医学科、現場スタッフの協力のもと講義と見学を企画しましたが、参考になりましたでしょうか。少しでも参考になり、放射線医学のイメージが湧いたと思っていただけたら嬉しいです。講義と見学の企画をするにあたり、各々の学生が満足できる講義内容、かつそれぞれが何かしらの新しい知見を得て欲しいと考えました。しかしながら、医学部生や保健学部生、理工学部生といった幅広い学域の学生が参加する

ということは、バックグラウンドが異なることを意味します。よって、参加学生全員に対してわかりやすい内容、かつ興味ある講義の企画が難しいと感じました。この点について、もう少し工夫できたのではと反省しております。講義では、放射線診断分野、放射線治療分野の解説だけではなく、工学系の話題提供として「次世代手術室 SCOT (Smart Cyber Operating Theater)」の開発についても、先端生命医科学研究所の協力のもと取り入れました。見学では、放射線診断部門にてCT、MRI、マンモグラフィ、核医学の見学、放射線治療部門にて治療計画用CT、高精度放射線治療計画、小線源治療、医療用直線加速器の見学を行いました。講義で聞いた内容を見学することでより一層の理解につながったのではないのでしょうか。

2日間、私は学生のみなさんの積極的な質疑応答や見学姿勢をみて、学ぼうとする熱意を感じました。また、懇親会では講師の先生や学生同士で楽しそうに語り合い、時には意見交換など互いに高め合い、とても刺激になったのではと感じています。私自身も多くの学生さんと様々なお話ができ、有意義な時を過ごせました。今回の放射線医学オープンスクールを通じて、他大学の、他分野の学生と交流できたと思います。目指す職種や研究内容は異なるかもしれませんが、今回知り合った学生は大切な仲間だと思いますので、今後も交流を続けてください。その中で、他職種や他分野の研究者を尊重し、上手く連携できる能力を身につけてください。私はこの連携こそ、互いに成長するきっかけになると信じています。放射線医学オープンスクールに参加した皆さんの今後の活躍を期待しています。



放射線治療学 講義の様子



核医学部門 見学の様子

V. 参加者の声

東京理科大学

理学部 物理学科 2年

清代 梨乃

この度私は平成30年8月20日、21日の2日間におきまして、放射線医学オープンスクール～最先端技術に触れる～に参加させていただきました。世の中には様々な病で苦しむ人がいます。そのような人々のために微力でも助けになればと日頃から思っている中、物理学を学ぶ理学生でも医療で人を助けることができる職があることを知り、その日から私は医学物理士を目指すことを決めました。しかし、同じような夢を目指す仲間は周りに皆無であったためこのオープンスクールで少しでも放射線医学の世界を知りたいという思いで参加することを決意いたしました。

一日目はまず、東芝エネルギーシステムズ株式会社にて重粒子線治療についての講義、そして重粒子線治療装置の見学をさせていただきました。講義では重粒子線治療の利点や欠点を学びました。重粒子線治療は現在発展中である最先端な治療であります。この治療法は従来の光子線治療に比べ治療効果が高いだけでなく副作用が少なく患者さんのQOLの向上にもつながります。これは重粒子線がブラッグピークを持つ特性のためです。にもかかわらずこの治療法が主流でないのは装置の小型化の発展不足が問題ですが、私はこれに対する研究が足りていないように思います。したがって私は重粒子線治療への発展に貢献したいと改めて感じました。また、夕方からの特別講義では放射線治療における医学物理学、また核医学について勉強させていただきました。私はこれまで放射線治療は3大療法の中で最も有効な治療法だと信じていました。もちろんそうであることを信じてやみませんが西尾先生の講義で放射線治療は現在沢山の課題を抱えていることも学ばせて頂きました。がんは日々動きを伴います。従って今後は動きに対応するためのイメージング技術が重要となってきます。また放射線治療が適切に行われたかどうかは目に見えない放射線を可視化する技術も必要なのです。このような様々な課題に立ち向かい医学の進歩に貢献するために、今自分が理学部物理学科として深く物理を学ぶ重要性を改めて感じる良い機会となりました。

二日目は東京女子医科大学にて様々な分野の先生方による講義、また治療室や実際の治療計画などについての見学をさせていただきました。放射線治療が日本では盛んであるとは言えない現状に対し唐澤先生がおっしゃっていたことは、放射線はその線量により危険かどうかが決まるのであって悪いものと良いものの違いをしっかりと理解するべきである、とバランス感覚を養う大切さを訴えてくださりました。よって私は科学を極める者として物事を理論的に正しく考える力を養っていきたいと感じています。また医学物理士という職についても沢山の話を聞き出すことが出来ました。今後想定されている治療の高度化に対応するためには医学物理士が必要不可欠であると学ぶのと同時に放射線治療ではいかにチーム医療が大切かを学びました。それは治療現場の見学を通して見取ることが出来

ます。更に、この見学を通して自分にはない医学部生の方々の持つ考え方や疑問点の視点に良い刺激を受けさせて頂きました。

最後になりますが、放射線医学オープンスクールでは沢山の経験をさせて頂き将来の視野を広げるきっかけとなり、また今後の課題を見つけることに繋がりました。そして同じ分野を目指す良い仲間にも出会うことが出来、共に高め合っていきたいと感じております。今回、素晴らしい機会を与えてくださった公益財団法人医用原子力技術研究振興財団の皆様、医師のキャリアパスを考える医学生の会の皆様、医学物理若手の会の皆様に心より感謝申し上げます。ありがとうございました。



東芝エネルギーシステムズ株式会社

獨協医科大学

医学部 医学科 1年

宮澤 公輔

今回放射線医学オープンスクールに参加させて頂いたきっかけは、今後のキャリアパスを考える上で指標の一つとしたいと考えたからでした。

東芝エネルギーシステムズ株式会社の方による説明・見学を通じてX線や重粒子線の特徴をどのように医療応用しているかということや、重粒子線の加速器や照射の方向を変えるガントリーは大掛かりな装置だが、高度な技術が求められるかなり繊細なものだということ学びました。

また、東京女子医科大学での講義では、CTやMRIも時に造影剤を使用して撮像する方法があるといった初歩的なことも分からず大変恥ずかしかったですが、IMRTや、BNCTなどの小線源療法といった放射線治療にもさまざまな方法があることを学ぶことができました。一番印象に残っていることは、患者様の術前・術後のCT画像を見たことです。肺にできた癌の像が放射線治療によって消えたのを見たとき、「侵襲がないにもかかわらず外科的療法と同じように完治できるものなのだ」とかなり驚いたことを今でも鮮明に覚えています。

また、病院内の放射線治療部門の見学をさせていただく中で、患者様にどのように放射線治療が行われていくのかイメージが湧きました。

実際に唐澤先生や阿部先生、また放射線医学総合研究所の瀧山先生など放射線治療の第一線で働かれている先生方による講義を受ける中で放射線腫瘍医としてのキャリアも将来の選択肢の一つとしたいと思うようになりました。

今回の放射線医学オープンスクールを通じて、それまで画像診断のみだと思っていた放射線医学に対するイメージがガラッと変わり、大変興味深く、面白い分野であることが分かりました。これは、参加したからこそ気付けたことだと思います。また、自分が勉強不足だということを痛感し、これからもっともっと勉強していきたいと思うようになりました。

最後にこうした素晴らしい会を催してくださいました、医用原子力技術研究振興財団、医師のキャリアパスを考える医学生の会、医学物理若手の会の皆様に心より感謝しております。本当にありがとうございました。

国際医療福祉大学

保健医療学部

放射線・情報科学科 4年

落合 祐友

この度、平成30年8月20日～21日の2日間、放射線医学オープンスクールに参加させていただきました。自分が普段学ぶものとは違った観点から放射線医学について学び、知識を深めることができればと思い、参加を決意しました。

1日目は東芝エネルギーシステムズ京浜事業所にて、重粒子線がん治療装置についての講義をしていただいた後、実際の重粒子線がん治療装置の製造現場を見学させていただきました。重粒子線治療装置の概要は今まで学習したことがあり、実際の照射室は見学したことがありましたが、回転ガントリーや加速器の構造などを見学するのは初めてでした。小型化が進んだといっても、実際に見る回転ガントリーのスケールには驚きました。あれほどの大きさでありながら、精度よく作り上げられているということもまた驚きました。加速器に用いられる超電導コイルの製作工程は繊細で、興味深いものでした。作業を行う方からも詳しいご説明をいただき、より一層理解が深まったように感じました。

東芝エネルギーシステムズ京浜事業所の見学後は、西尾禎治先生、阿部光一郎先生から特別講演をしていただきました。西尾先生からは近年の高度化する放射線治療とその品質保証・管理について、医学物理学の観点と絡めてご説明いただきました。私が現在学んでいる分野であり、改めて現在の放射線治療における品質保証・管理の重要性を認識できました。阿部先生からは核医学治療の分野についてお話をいただきました。現在広く行われている治療の概要や問題点、今後の発展が期待される新しい核医学治療製剤についてご説明いただきました。この分野は私自身も興味があり、現在の核医学診断・治療に対する考え方などをより理解できて大変有意義でした。

2日目は東京女子医科大学にて、講義と施設見学をさせていただきました。放射線を用いた画像診断や治療、放射線腫瘍学などの講義に加え、理工学分野と医学分野を融合させた新しい手術室のお話などをいただきました。医学分野は多くの他の分野と融合して絶えず進化しており、単一の分野の理解だけでは不十分であるということを実感しました。

東京女子医科大学の見学では、画像診断や放射線治療の臨床現場を見学させていただきました。検査機器は大変豊富で、心臓などの動く臓器も素早く撮影できるCT装置や、腫瘍を狙い撃ちできる放射線治療装置、など多くの最新機器を見学させていただきました。各部門で、どのような流れで検査・治療が行われているかを説明していただき、それぞれの機器についての理解を深めることができました。

今回参加させていただいた放射線医学オープンスクールでは、医療分野をはじめ理工学分野など多くの分野を学ぶ方が全国から参加されており、放射線医学には多くの分野が関わっていることを実感することができました。研修の2日間はあるという間で、見学や懇

親会などを通し、周りの方々から多くの刺激を受けることができたと感じています。

最後に、このオープンスクールを企画・運営していただいた公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団、医師のキャリアパスを考える医学生の会、医学物理若手の会の皆様、また研修をさせていただいた東芝エネルギーシステムズ京浜事業所、東京女子医科大学の皆様には、この場を借りて心より御礼を申し上げます。ありがとうございました。



東京女子医科大学病院 見学の様子

大阪大学

医学部 医学科 2年

戸塚 健介

私は工学系の大学院を修了した後に医学部に編入学しており、医療機器開発などの医工連携分野に関心があります。放射線医学は医療機器が診断・治療に直結している分野であり、詳しく知りたいと思い、8月20日～21日の2日間、「放射線医学オープンスクール～最先端技術に触れる～」に参加しました。

1日目は東芝エネルギーシステムズ株式会社の京浜事業所を見学し、重粒子線治療装置の原理の説明を受けたり、製造現場を見学したりしました。重粒子線治療では炭素原子を加速させがん細胞を狙い撃ちし、がん細胞にダメージを与えるとのことでした。X線を用いた治療に比べると体表面での吸収線量が低く抑え、腫瘍組織の深さで吸収線量を最大にできるため、正常細胞へのダメージを最小化できることに加え、より大きなエネルギーを持っているため一回当たりの治療効果が高く、照射回数が少なくて済むといったメリットがあることがわかりました。

その後、ホテルに移動し、西尾先生と阿部先生の特別講演がありました。西尾先生の講演では医学物理学の重要性について学びました。医学工学・物理学に壁を感じていた私にとって医学物理士という選択肢はとても興味深いものでした。阿部先生は核医学治療についてお話されていました。病巣に選択的に取り込まれる放射性医薬品を投与することで治療を行うとのことでしたが、放射線ヨウ素治療は外来アブレーションでは30mCiしか投与が行えないこと、イットリウム治療は生涯に1度しか行えず、どのような患者を対象にいつ行うかが問題であることなど様々な障害があることを知ることができました。

懇親会では、医学系だけでなく工学系や理学系の方々とも話しする機会がありました。1日目の講義や講演の中で理工学系の学生にとって難しかった部分や医学系の学生にとって理解しにくかった部分を聞くことができ、医工連携の壁を考えるうえで有意義な時間となりました。

2日目は東京女子医科大学での講義と見学でした。唐澤先生の講義では、日本は放射線療法が十分に利用されていないこと、その背景には放射線は悪いものという認識があること（おそらく原爆や福島原発の事故などによる）、放射線療法について正しい情報を発信し信頼を得ることで治療法の選択肢と考えられるようにする必要性などの説明をされており、放射線療法への並々ならぬ思いが感じられました。大学病院での見学ではCTやMRI、マンモグラフィなどの撮影に利用している機器を実際に見つつ、使い方や得られる画像の説明を受けました。また、治療として外部照射する際の照射範囲をPCを使ってどのように立てているのかについても知ることができました。外部照射だけでなく、小線源治療という体内に線源を留置して病変部に放射線を照射する治療法があることを知り驚きました。

2日間を通して、切らずに済む治療法への理解が深まり大変有意義な時間となりました。放

射線医学オープンスクールの企画・運営をしてくださった皆様、講義や講演、見学の案内をしてくださった東芝エネルギーシステムズ株式会社の社員の方々と東京女子医科大学の先生方に心から感謝申し上げます。



東芝エネルギーシステムズ株式会社 講義の様子

VI. 参加者の概要及び反応（アンケート）

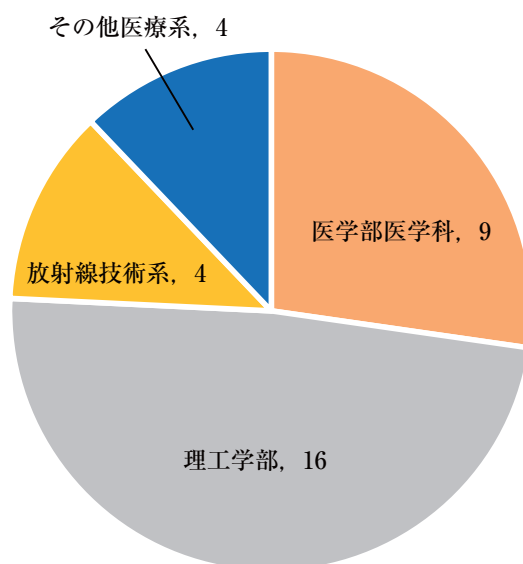
【回答者属性】

参加者数 33名

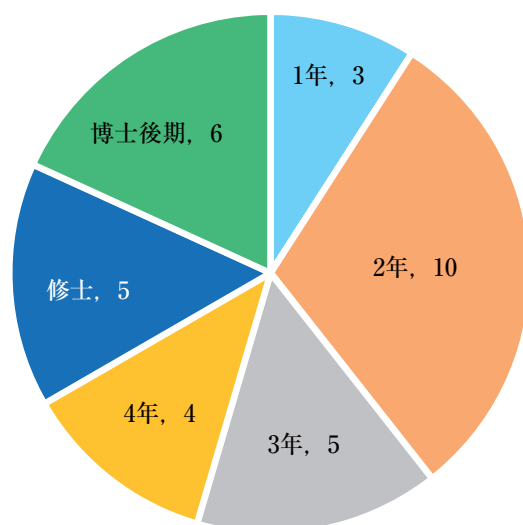
参加大学 24校（五十音順）

大阪大学、九州大学、京都大学、群馬大学、神戸大学、国際医療福祉大学、順天堂大学、東京大学、東京女子医科大学、東京理科大学、東邦大学、東北大学、東洋大学、獨協医科大学、新潟大学、日本医科大学、日本女子大学、浜松医科大学、広島大学、藤田保健衛生大学、北海道大学、山形大学、横浜国立大学、琉球大学

学部



学年



1. 今回のオープンスクールを通じて放射線医学に対するイメージの変化【抜粋】

- 人体に悪い影響があり、余り良いイメージを持っていなかったが、放射線治療は副作用が少なく、日本で主流の治療法となっている外科手術と異なって器官の機能や形態を維持できるといったメリットが多いイメージが変わった。また、欧米のがん治療は約 60%が放射線治療だが、日本ではまだ 30%以下ということを知り、日本で放射線治療の有用性がより広まるべきだと思った。
- 漠然と副作用の大きな、患者の負担の大きい治療だと思っていたが、高速スキャニングや粒子線など、副作用を減らし、治療効果を上げる努力が進んでおり、とても先進的な治療であることがわかった。また、とてもシステマティックで正確な治療が可能であり、将来的にもっと需要が高まっていくのだろうなと感じた。
- 物理(放射線)、医学を専門とする人々が集合しているイメージで、臨床との接点、関わっている人々のイメージがいまいちつかめていなかったが、開発者、技師さん、放射線科医の方々と関わって、開発から臨床までの全体像のイメージがつかめた。
- 放射線治療には色々な可能性や種類があるということを初めて知り、驚きました。今までがんの治療というと、どうしても手術、化学療法が頭に浮かんでいたのですが、放射線治療が有用であるということを知ることができてよかったです。

2. 東芝エネルギーシステムズ株式会社(講義・見学)の感想【抜粋】

- 普段一般人が入れないような工場現場に入り見学できた経験は本当に貴重なことだと思います。日本で粒子線治療が上手く発展してきた裏側には東芝さんの従業員の努力や工夫があったからだと思いました。
- 工場見学が最も有益であった。製造現場を知ることで、メーカーの苦労や技術力の高さを実感できた。座学も分かりやすかった。
- 実際に製造を見学できたことで、規模、精密さ等を自分の目で見る事が出来、貴重な体験になりました。
- 検査装置の原理を説明していただき、開発・製造の現場を見ることができ、医療器具を見る目が変わった。多くの人の知恵、労力が詰まっていることを感じた。また、医療器具がどんどん進歩していくことも分かった。

3. 東京女子医科大学病院(講義・見学)の感想【抜粋】

- 診療や治療の話だけでなく、様々な分野の講義を受けられたので有意義なものになった。
- CT・MRI・核医学など、大学で座学では学んだ内容だったが、実際に装置を見て、働いている方に説明をしていただくと、頭に入りやすく、臨床のイメージができた。開発者、エンジニアの方の知恵の集大成を技師さん、医師が患者に還元していく流れに感動を覚えた。

- 日本における放射線治療の現状や最先端の医工連携手術について学べておもしろかった。
- 思ったより女性の医師が多く感じられたのが嬉しかったです。
- 放射線治療の印象がガラッと変わった講義でした。
- 現場での治療装置を見学し、物理がどのように生かされているか、ということを実感することができた。また、現場における「医学物理士」の役割を具体的に知ることができたので、大きな糧となったと思う。
- 重粒子線治療の治療効果におどろいた反面、まだ沢山の課題があるため、それに貢献できる人材になりたいと思った。
- Linacの説明がとてもわかりやすく実機を初めて見ることができエキサイティングでした。治療の実機だけでなく、計画で用いるイメージングや他の関連する部屋も見学できたおかげで、各役割とその関連が有機的に結びつけて記憶に焼きつけることができました。

4. 特別講演の感想【抜粋】

- 宇宙で起こる物理現象がヒトの身体でも同じようなことが起きているという話をきき、非常におどろいた。
- 放射線が人体にどのように用いられているのか知ることができ、おもしろかった。
- ガンの転移が激しい患者さんも放射線治療によってあれほど治ってしまうということを知り、大変印象的でした。
- 照射法の技術よりも照射の定量評価のイメージング技術の方が優先課題ということが印象に残った。
- 粒子線の特性や最近の研究まで幅広くそして簡略化されていて分かりやすかったです。

5. 懇親会の感想【抜粋】

- 普段関わることができない東芝の方や、他の大学院で研究されている方の話を聴くことができ、とても貴重な体験をさせていただきました。
- 多くの専門領域、多くの地域からの方々が集まっており、その方々から刺激をいただける良い機会であった。
- 教授とお話しできて、とても有意義な時間でした。

6. オープンスクール全体を通しての感想【抜粋】

- 全く知識のなかった放射線医学について、東芝では工学・技術の面から、東京女子医科大では医学の面から学ぶことができ、大学の普通の授業で聞くことができないような最新の医療機器や医療方法についても講義を受ける事ができて大変充実したオープンスクールだったと思う。
- メーカーと医療機関の両方を見学できるのは素晴らしい。
- 講義では様々な職種の方から放射線医療という1つの共通のテーマでお話を聴くことが

でき、他職種の人々がチーム医療としてカバーし合って高め合っていることを知ることができた。

- 以前から興味があった放射線分野、難しいイメージを抱いていたが、少し身近なものに感じられるようになった。



懇親会

VII. まとめ

医師のキャリアパスを考える医学生の手記

浜松医科大学 医学部医学科 4年

徳山 喜心

現在、日本の死因別死亡数の第一位は悪性新生物（がん）です。日本人の3人に1人ががんを発症し、2人に1人ががんで亡くなる現代において、いかにがんを治療し、患者さんの生活の質を維持していくかは重要な課題であると言えます。

現代のがん治療の3本柱は手術療法、化学療法、そして放射線療法です。がんの治療目標は、根治・延命・緩和に分類できますが、放射線療法はこれら全てに利用されます。また、放射線治療は侵襲度が低く、臓器の機能と形態の維持という点において優れていることから、今後のがん治療で大きな役割を果たすと考えられています。

今回の放射線医学オープンスクールでは、放射線治療の理論・開発から実際に患者さんに実施される現場を拝見しました。東芝エネルギーシステムズ株式会社の放射線治療機器の開発・製造現場と、東京女子医科大学で放射線治療を実践されている現場を見学し、多くの専門家の方々の熱意と知恵が、がん患者さんの治療に注がれている様子を目にすることができました。

また、このように放射線治療では工学系・医療系の多くの専門家の方々が協力していますが、今回の放射線医学オープンスクールでは、放射線医学に興味を持つ工学系・医療系の学生が交流し、親睦を深めることができました。この経験が種となり、将来どこかの放射線医学分野で芽を出すことを期待しています。

最後になりましたが、このような貴重な機会を与えてくださった土屋了介先生、辻井博彦先生、そして東芝エネルギーシステムズ株式会社京浜事業所の皆様と、東京女子医科大学病院放射線腫瘍科と画像診断・核医学科の先生方、そして参加していただいた全ての学生に心より御礼申し上げます。

参 考 资 料

< 参考資料 1 >

開催実績

1 回	<p>日程:2008 年 8 月 13 日(水)～14 日(木)</p> <p>見学先:国立がんセンター中央病院、放射線医学総合研究所</p> <p>特別講演:「PET 装置のもつ可能性に挑戦する放射線の技術」 放射線医学総合研究所 分子イメージング研究センター 村山秀雄先生</p> <p>参加者:23 名</p>
2 回	<p>日程:2009 年 8 月 25 日(火)～26 日(水)</p> <p>見学先:癌研有明病院、国立がんセンター東病院</p> <p>特別講演:「放射線医学の魅力ー将来の進路を考える若者たちへー」 市立堺病院・元国立がんセンター中央病院 池田 恢先生</p> <p>参加者:10 名</p>
3 回	<p>日程:2010 年 8 月 17 日(火)～18 日(水)</p> <p>見学先:癌研有明病院、放射線医学総合研究所</p> <p>特別講演:「放射線医学の魅力」 京都大学大学院医学研究科 平岡真寛先生</p> <p>参加者:28 名</p>
4 回	<p>日程:2011 年 8 月 15 日(月)～16 日(火)</p> <p>見学先:兵庫県粒子線医療センター、SPring8、兵庫県立がんセンター</p> <p>特別講演:「放射線腫瘍医になろう」 近畿大学医学部放射線腫瘍学部門 西村恭昌先生</p> <p>参加者:22 名</p>
5 回	<p>日程:2012 年 8 月 27 日(月)～28 日(火)</p> <p>見学先:放射線医学総合研究所、がん研有明病院</p> <p>特別講演:筑波大学附属病院陽子線医学利用研究センター 櫻井英幸先生</p> <p>参加者:26 名</p>
6 回	<p>日程:2013 年 8 月 22 日(木)～23 日(金)</p> <p>見学先:東芝メディカルシステムズ、東芝電子管デバイス、群馬大学重粒子線医学研究センター、 がん・感染症センター都立駒込病院</p> <p>特別講演:「放射線腫瘍医として27年で学んだこと」 放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター 唐澤久美子先生</p> <p>参加者:20 名</p>
7 回	<p>日程:2014 年 8 月 22 日(金)～23 日(土)</p> <p>見学先:北里大学病院、神奈川県立がんセンター、エレクトラ株式会社</p> <p>特別講演:「チーム医療は楽しい」 神奈川県立がんセンター 中山優子先生</p> <p>参加者:34 名</p>
8 回	<p>日程:2015 年 8 月 27 日(木)～28 日(金)</p> <p>見学先:株式会社島津製作所、京都大学医学部附属病院</p> <p>特別講演:「私と粒子線治療」 医用原子力技術研究振興財団 辻井博彦先生</p> <p>参加者:41 名</p>
9 回	<p>日程:2016 年 8 月 24 日(水)～25 日(木)</p> <p>見学先:三菱電機株式会社、神戸低侵襲がん医療センター</p> <p>特別講演:「がん医療をリードする放射線医学」 神戸大学大学院医学研究科 杉村和朗先生</p> <p>参加者:30 名</p>
10 回	<p>日程:2017 年 8 月 29 日(火)～30 日(水)</p> <p>見学先:株式会社日立製作所ヘルスケアビジネスユニット 日立高精度放射線治療研修センター、筑波大学附属病院</p> <p>特別講演:“Particle Therapy in Asia: Current and Future Developments” Hsiang-Kuang Tony Liang (梁祥光), B.S. (Physics), M.D. National Taiwan University</p> <p>参加者:34 名</p>
11 回	<p>日程:2018 年 8 月 20 日(月)～21 日(火)</p> <p>見学先:東芝エネルギーシステムズ株式会社 京浜事業所、東京女子医科大学病院</p> <p>特別講演:「放射線治療における医学物理学の重要性」 東京女子医科大学大学院医学研究科 医学物理学分野 西尾禎治 先生 「核医学治療について」 東京女子医科大学 画像診断・核医学科 阿部光一郎 先生</p> <p>参加者:33 名</p>

<参考資料2>

東芝エネルギーシステムズ株式会社
講義資料

①重粒子線がん治療装置

東芝エネルギーシステムズ株式会社 京浜事業所

佐藤 潔 和

PB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

TOSHIBA
Leading Innovation >>>

重粒子線がん治療装置

放射線医学オープンスクール

2018-8-20

東芝エネルギーシステムズ(株)

京浜事業所

佐藤 潔和

© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

1 / 65

PB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

目次

1. 東芝エネルギーシステムズの紹介
2. 粒子加速器
3. 重粒子線がん治療
4. 重粒子線がん治療装置
 - 4-1. 加速器、ビーム輸送系
 - 4-2. 照射系、治療系
5. 最後に

TOSHIBA

© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

2 / 65

PB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

目次

1. 東芝エネルギーシステムズの紹介
2. 粒子加速器
3. 重粒子線がん治療
4. 重粒子線がん治療装置
 - 4-1. 加速器、ビーム輸送系
 - 4-2. 照射系、治療系
5. 最後に

TOSHIBA

© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

3 / 65

PB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

東芝エネルギーシステムズ(株)

Energy for sustainable life

HzOne

TOSHIBA Energy Systems & Solutions Corporation

TOSHIBA

© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

4 / 65

PB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

東芝エネルギーシステムズ 原子力事業部

Total Engineering	Restarting nuclear plant
Restoration of Fukushima site	Decommissioning
Fuel cycle	Superconducting magnet, Accelerator
Nuclear fusion	Toshiba contributes to a safe, secure, and environmentally friendly society

TOSHIBA

© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

5 / 65

PB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

東芝エネルギーシステムズ 京浜事業所

操業開始 : 1925年
 発電プラント機器製造
 エンジニアリング
 設計、製造技術
 機械加工、溶接、組立
 品質保証、試験・検査
 調達
 研究・開発
 輸出比率が高まっている

TOSHIBA

© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

6 / 65

京浜事業所の製品

FB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

蒸気タービン

タービン発電機

研究開発

熱交換器(給水加熱器)

水車/水車発電機

原子炉機器

開発機器 (ITER etc.)

Credit ©ITER Organization, <http://www.iter.org/>

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 7/65

核融合機器

FB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

TFコイル巻き線
周長精度 $\pm 0.02\%$

リモートハンドリングシステム
5tonの重量物を $\pm 2\text{mm}$ で設置

真空容器現地組立
組立精度 $\pm 2\text{mm}$

ITER

JT-60SA

TFコイル (350ton/個)
(超大量超電導コイル)

リモートハンドリング
保守システム

真空容器/現地組立

Credit ©ITER Organization, <http://www.iter.org/>

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 8/65

重力波望遠鏡 KAGRA 低温ミラー容器

FB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

KAGRA (LCGT: Large-Scale Cryogenic Gravitational Wave Telescope Project: 大型低温重力波望遠鏡)

長基線(3km)レーザー干渉計
反射ミラーを低温に保つ容器を4機納入

岐阜県神岡のKAGRAサイト

提供: 東京大学宇宙線研究所 重力波観測研究施設
<http://gwcenter.scrr.u-tokyo.ac.jp/waccontent/uploads/2014/03/2b530e80c7d0de90885a285c5d789063.jpg>

Cryostat for KAGRA (LCGT Project)

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 9/65

目次

FB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

1. 東芝エネルギーシステムの紹介
2. 粒子加速器
3. 重粒子線がん治療
4. 重粒子線がん治療装置の概要
 - 4-1. 加速器、ビーム輸送系
 - 4-2. 照射系、治療系
5. 最後に

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 10/65

粒子加速器とは

FB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

電場により電子、陽子、イオンなどを加速する(エネルギーを与える)装置

最初の加速器: 陰極線管
陰極-陽極間で電子を加速
< 数10 keV (1eV = $e(1.6E-19C) \times 1V$ [J])

cathode anode magnet

* X線の発見 W.Röntgen in 1895 出典: I,D-Kuru
* 電子の発見 J.J.Thomson in 1897
加速器を使った最初の基礎科学(物理)発見
⇒その後基礎科学のツールとして大きく発展

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 11/65

粒子加速器の高エネルギー化

FB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

High Voltage DC Accelerators < 数十 MeV

Van de Graaff Accelerator in 1931

Cockcroft-Walton Accelerator in 1932

* The first artificial nuclear Transmutation
D. Cockcroft and E. T. S. Walton in 1932
 ${}^1_1\text{P} + {}^7_3\text{Li} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 12/65

粒子加速器の高エネルギー化
RF Accelerators ~GeV~TeV

Linear Accelerator in 1928

Cyclotron in 1931

Synchrotron in 1945

* Generation of artificial radio active Isotopes E.O Lawrence in 1930s

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 13/65

ヒッグス粒子発見

CERN : The European Organization for Nuclear Research

Source : CERN HP

京浜で製造

A Super Conducting Solenoid Magnet for Particle Analysis

16 sets of Super Conducting Quadrupole Magnet for Beam Focusing

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 14/65

一般産業応用

陰極線管 * 早期より医療に応用

< 数10 keV (1eV = e(1.6E-19C) x 1V [J])

制動放射 X線

X-ray Picture by Wilhelm Röntgen in 1896

Source : Wikimedia
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:X-ray_by_Wilhelm_Röntgen%28Father_of_Albert_von_K%C3%9C%26_Silber%27s_hand_-_1896%28-02.jpg

* 電子機器へと発展
ブラウン管 in 1897
2極真空管 in 1904, 3極真空管 in 1906
マグネトロン in 1920, クライストロン in 1937

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 15/65

一般産業応用

電子機器 (出典: 東芝未来科学館HP、1号機ものがたり)

日本初のX線管 1915年

日本初の三極真空管 1917年

日本初のカラーTV 1960年

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 16/65

東芝の加速器関連機器開発の歴史

1971-93

放射光施設、電子加速器施設

電子加速器施設、衝突型加速器施設

重粒子線がん治療施設、重イオン加速器施設

医用加速器システム

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 17/65

東芝の超電導開発の歴史

3MVA Homopolar dynamo

MRI magnet

GM cryocooler

40T hybrid magnet

LHD (Fusion) magnet

Quadrupole triplet for BigRIPS(STC)

10MVA SMES

Rotating gantry magnet

1972 1973 1982 1984 1988 1993 1995 1997 1998 2002 2003 2004 2005 2008 2011

MAGLEV magnet

30T hybrid magnet

magnet for Electromagnetic ship

5MVA SMES

Fault current limiter (NEDO)

Silicon Single Crystal Puller magnet

Cryo-cooler cooled magnet

LHC-ATLAS solenoid

LHC-MOXA quadrupole

Element coil of SMES for load fluctuation compensation (NEDO)

回転ガンリ-

ヒッグス粒子発見に貢献

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 18/65

目次

1. 東芝エネルギーシステムズの紹介
2. 粒子加速器
3. 重粒子線がん治療
4. 重粒子線がん治療装置
 - 4-1. 加速器、ビーム輸送系
 - 4-2. 照射系、治療系
5. 最後に

© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 19/65

放射線がん治療

加速器を使つての放射線がん治療

1930年代から行なわれてきた

- * Radiotherapy using high Energy X-ray(1930年代)
- * Radiotherapy using high Energy Proton(1950年代)

がんは日本(先進国)の死因第一位
二人に一人はがんで患い、
三人に一人はがんで亡くなる

主な治療法

- ・外科療法
- ・化学療法(抗がん剤)
- ・放射線療法
- ・(免疫療法)

QOL(Quality of Life)の観点からは放射線療法が比較的優れている。
欧米では非常に積極的に行われている。
が、もちろん万能では無い。

日本人の死因の推移
出典:厚生労働省HP
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/geppo/nengai11/kekka03.html>

© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 20/65

放射線/粒子線がん治療

様々な放射線を利用

- ・γ線、・X線、・電子線
- ・中性子線
- ・陽子線
- ・重粒子線(Heより重い原子)

現在は主に炭素イオンを使用

患部に50~70Gy照射

一般的には正常細胞とがん細胞の放射線に対する感受性の差を利用して治療

出典:Wikimedia, Creative Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raditation_effect4tumor_ja.png?uselang=ja

医用原子力技術研究振興財団HPより
http://www.antrn.or.jp/05_treatment/0201.html

© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 21/65

放射線がん治療の効果

放射線が細胞を殺すメカニズム(一般にがん細胞の方がダメージを受け易い)

放射線が体内に侵入しエネルギーを付与することにより

- ・直接DNA鎖(片方)を切断する→細胞分裂期に効果大→分割照射要
- ・直接DNA二重鎖を切断する→回復し難く細胞周期に関係無く効果あり
- ・活性酸素を作ってDNAを傷付ける→低酸素がんには効果小

γ線、X線などは体の表面近くでのエネルギー付与が大きい
→四方八方からの照射が不可欠

陽子線、重粒子線は体の深部でエネルギー付与のピークを持つ。
→がんを狙い撃ちでき、副作用小

重粒子線は透過し難いがよりピークが鋭い

医用原子力技術研究振興財団HPより
http://www.antrn.or.jp/05_treatment/0201.html

© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 22/65

各種放射線治療装置

ガンマナイフ(国内~50台)

X線、電子線治療装置(国内~1000台)

重粒子線がん治療装置(施設)

~60m

~70m

粒子線治療装置は陽子や重イオン(炭素イオン)を高エネルギーに加速して照射するため、大型の粒子加速器が必要で高価(重粒子の方がより大型)

体内30cmまで治療するには

- * 陽子線エネルギー 250MeV
- * 炭素線エネルギー 5160MeV
- = 核子当り430MeV × 12
- 1eVは素電荷(e)を1Vで加速したエネルギー→1.6E-19 J

医用原子力技術研究振興財団HPより
http://www.antrn.or.jp/05_treatment/0201.html

© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 23/65

重粒子線治療の特徴

高い治療効果

短い治療期間

重粒子線(炭素線: ^{12}C が主流)は付与エネルギー密度が大きくDNA二重鎖を切る確率高
→治療効果高
低酸素がんにも効く

DNA二重鎖を切ることで、細胞周期に関係なく効果あり
→原理的には分割照射が不要
実際にある種の肺がん、肝臓がんでは1回~2回での治療を実施
→通院治療が可能

大型施設になるが、重粒子を用いる意味はある

医用原子力技術研究振興財団HPより
http://www.antrn.or.jp/05_treatment/0201.html

© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 24/65

重粒子線がん治療の歴史と状況

FB2-2018-00037 rev.0
FSNN-2018-0596

1. 重粒子線がん治療は元々アメリカ (Lawrence Barkley Laboratory in San Francisco) で物理研究用加速器を用いてスタート
2. 1993年に放射線医学総合研究所 (放医研) に世界初の治療専用加速器 HIMAC (Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba) が完成し、1994年より治療を開始
3. これまでに放医研だけで11,000人を超える治療を実施、他の治療法と同等以上の治療効果を確認

NIRS:QST
パンフレットより

Effect of Carbon Therapy for a Hipbone Cancer
The Patient came to be able to walk!

TOSHIBA
© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 25 / 65

放医研での治療実績(1994年6月~2018年3月)

FB2-2018-00037 rev.0
FSNN-2018-0596

放医研における重粒子線治療の登録患者数
1994年6月~2018年3月6日 ※S-スキニング

Total 11,000
※スキニング: 2,233

乳癌	1857名 (16.9%)	肺癌	1105名 (10.0%)	胆管	1942名 (17.6%)	膵臓癌	2967名 (26.9%)	骨軟部	1188名 (10.8%)
頭頸部がん	3700名 (33.6%)	食道	212名 (1.9%)	胆嚢	924名 (8.4%)	胆管癌	924名 (8.4%)	頭頸部	919名 (8.3%)
4種がん未詳	710名 (6.4%)	胃	222名 (2.0%)	膵臓	2967名 (26.9%)	膵臓癌	2967名 (26.9%)	膵臓	447名 (4.0%)
皮膚	350名 (3.2%)	子宮頸癌	138名 (1.2%)	婦人科	2992名 (27.2%)	婦人科	2992名 (27.2%)	肝臓	647名 (5.9%)
骨部リンパ腫	970名 (8.8%)	消化管	1061名 (9.6%)	脳	222名 (2.0%)	脳	222名 (2.0%)	肝臓	204名 (1.8%)
造血系	621名 (5.6%)	泌尿器	311名 (2.8%)	婦人科	2992名 (27.2%)	婦人科	2992名 (27.2%)	肝臓	204名 (1.8%)
その他	74名 (0.7%)	その他	311名 (2.8%)	その他	2992名 (27.2%)	その他	2992名 (27.2%)	その他	204名 (1.8%)

2016年より、一部のがんへの健康保険適用開始

NIRS:QST HPより
<http://www.nirs.qst.go.jp/ENG/core/cpt/imp/0-1.jpg>

TOSHIBA
© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 26 / 65

重粒子線がん治療装置の状況(国内)

FB2-2018-00037 rev.0
FSNN-2018-0596

日本の重粒子線治療施設

● 重粒子線施設
● 重粒子線施設 (建設中)

NIRS:QST HPより http://www.nirs.qst.go.jp/publication/pamphlets/pdf/himac-rnsv-jpn_201706.pdf

稼働5施設、調整・建設中2施設(大阪、山形)

TOSHIBA
© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 27 / 65

重粒子線がん治療装置の状況(世界)

FB2-2018-00037 rev.0
FSNN-2018-0596

● 重粒子線
● 重粒子線 (建設中)
● 重粒子線 (稼働中)
● 陽子線
● 陽子線 (稼働中)
● 陽子線 (建設中)

重慶原子力技術研究所提供 HPより引用
<http://www.iaea.org/infocentre/news/story/hiat>

TOSHIBA
© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 28 / 65

放医研 HIMAC への東芝の貢献

FB2-2018-00037 rev.0
FSNN-2018-0596

HIMAC は放医研の基本設計の元で主要部分を4社 (東芝、日立、三菱電機、住友重機) 共同で建設。4社とも重粒子線ないし陽子線治療装置を製品化。

東芝は加速器の心臓部である高周波加速空洞、超高真空システム、ビーム輸送系など担当

Source: http://www.nirs.go.jp/rd/collaboration/himac/imsa/function_pic_05.jpg

さらに東芝は新治療研究棟の全システムを建設

1. 新高エネルギービーム輸送系 (New HEBT)
2. 治療室 E、F (2011年治療開始)
 - ・世界初7軸ロボットアーム治療台を用いた患者ポジショニングシステム導入
 - ・世界最速3次元スキニング照射システム導入
 - ・粒子線治療管理システム導入
3. 治療室 G (2017年治療開始)
 - ・世界初超電導磁石搭載回転ガンテリ導入

新治療研究棟 (By courtesy of NIRS-QST)

TOSHIBA
© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 29 / 65

治療室の様子

FB2-2018-00037 rev.0
FSNN-2018-0596

垂直照射ポート
炭素線(イオン)ビーム
炭素線(イオン)ビーム
ロボットアーム 7軸治療台
水平照射ポート
固定ポート治療室 (By courtesy of NIRS/QST)

TOSHIBA
© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 30 / 65

PB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

東芝の重粒子線がん治療施設

放医研と培った差異化技術をベースに国内外に展開

2015 治療開始
神奈川県立がんセンター



2020 治療開始予定
山形大学病院



2018 建設開始
2022治療開始予定
延世大学 Health System





4 治療室 (2H/V, 2H)



2 治療室 (1H, 1G)



3 治療室 (1H, 2G)
世界初 複数回転カントリーを備える重粒子施設

(By courtesy of KCC) (By courtesy of Yamagata University Hospital)

© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 31/65

PB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

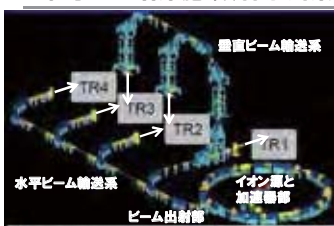
目次

1. 東芝エネルギーシステムズの紹介
2. 粒子加速器
3. 重粒子線がん治療
4. 重粒子線がん治療装置
 - 4-1. 加速器、ビーム輸送系
 - 4-2. 照射系、治療系
5. 最後に


© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 32/65

PB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

重粒子がん治療施設(神奈川県立がんセンター)




重粒子線輸送系
水平ビーム輸送系
イオン源と加速器部
ビーム出射部



http://kccch.kanagawa-pho.jp/newcenter/rock_en.html#ite3

Particle type	Carbon ion (C^{6+})	1E0pps
Facility area	3,000m ² , Use Area: 8,999 m ²	
Patients per year	Over 800	強度や部屋数決定
Beam Energy	430 MeV/u (design value)	30cm
Treatment Room	4 (H2, H/V, 2)	
Irradiation Method	Scanning	



治療室
<http://kccch.kanagawa-pho.jp/v-rock/about/te000005.html>

© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation (By courtesy of KCC) 33/65

PB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

イオン源と入射器

加速効率の良いRFQ線形加速器とIH線形加速器の組み合わせ



Linear accelerator 入射器
省スペースのため内側配置

重イオン生成に適したECRイオン源



Ion source
(By courtesy of KCC)

© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 34/65

PB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

主加速器(シンクロトロン)

電磁石(複数種類)
炭素線(イオン)ビームを曲げたり、収束したりする



入射器
イオン源
水平ビーム輸送系
真空ダクト
内部は宇宙空間並の真空度

(By courtesy of KCC)

© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 35/65

PB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

高周波加速空洞

真空ダクト
内部は宇宙空間並の真空度



高周波加速空洞
炭素線(イオン)ビームにエネルギーを与える
約100万周で光速の10%→70%(430MeV/u)

排気ポンプ
宇宙空間並の真空度を実現

(By courtesy of KCC)

© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 36/65

FB2-2018-00037 rev.0
PSNN-2018-0596

水平ビーム輸送系

Horizontal beam transporting line in Kanagawa

(By courtesy of KCC)

TOSHIBA
© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 37 / 65

FB2-2018-00037 rev.0
PSNN-2018-0596

垂直ビーム輸送系

Vertical beam transporting line installed in Kanagawa

(By courtesy of KCC)

TOSHIBA
© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 38 / 65

FB2-2018-00037 rev.0
PSNN-2018-0596

電源、制御盤室

装置機械室

(By courtesy of KCC)

TOSHIBA
© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 39 / 65

FB2-2018-00037 rev.0
PSNN-2018-0596

加速器の運転制御

イオン源、入射器、シンクロトロン の運転タイミングを μsec オーダーで正確に同期させる必要がある

イオンは加速と共に早く重くなる
→シンクロトロン の多数の電磁石類の磁場(電流)と高周波加速空洞の加速周波数を $1\text{E}-5$ レベルの精度で同期させて上げていく必要がある

本体機器: 時間追従性、再現性、S/N比
制御機器: 分解能(ビット数)、ループ速度
ソフト: 各機器の特性、伝達関数を考慮した設計
→どれか一つ不十分でもビームは加速できない

TOSHIBA
© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 40 / 65

FB2-2018-00037 rev.0
PSNN-2018-0596

実際のビーム加速、照射

シンクロ電磁石電流 (ビームエネルギー: 急激に変化する)

シンクロ内イオン数
使いきったら次の入射、加速を行なう
ビーム出射許可信号

治療室での照射強度 (Gy/min)
モニタ値によりビーム出射器にフィードバックをかけて一定に保っている

エネルギーを変えることで、照射深さを変える
照射強度は一定に保っている
出典: 竹下 隆, 「神奈川県立がんセンターにおけるESRによる放射線治療」
第12回加速器学会年次プロシーディングス, p361, 2015年8月

TOSHIBA
© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 41 / 65

FB2-2018-00037 rev.0
PSNN-2018-0596

制御室

加速器 / 照射制御室

(By courtesy of KCC)

TOSHIBA
© 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 42 / 65

制御画面例

Whole accelerator system layout screen example (HEBT)
(Linear Accelerator-Synchrotron)

照射系の要求により加速器はあらかじめ設定したパラメータによって自動運転される
 一目で機器のステータスが把握できる工夫がされている
 全て緑→全て正常 * 異常箇所は黄色表示

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 43/65

目次

1. 東芝エネルギーシステムズの紹介
2. 粒子加速器
3. 重粒子線がん治療
4. 重粒子線がん治療装置
 - 4-1. 加速器、ビーム輸送系
 - 4-2. 照射系、治療系
5. 最後に

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 44/65

治療までの流れ

Diagnosis	診断	治療開始の数週間前
Treatment Scheme	治療方針決定	
Immobilizer Fabrication	患者固定具製作	約1週間前
CT Imaging	CTで詳細画像撮影	約1週間前
Treatment Planning	治療計画作成	数日前
Conference	治療カンファレンス	
Irradiation QA	照射装置のQA	1~2日前
TPS QA Plan	治療計画のQA	
Patient Positioning	患者位置決め	治療当日
Therapeutic Irradiation	治療照射	症例により数回(日)から十数回(日)照射

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 45/65

治療を支えるシステム

GOOD DESIGN AWARD 2011
 造形 賞状
 人に優しいデザインも重要

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 46/65

患者位置決めシステム

・あらかじめCTで撮影した像と治療照射直前にX線撮影した像を比較して患者(腫瘍)が正しい位置(ビーム軸)にあることを確認する。
 ・ずれていたら治療台を動かして再度X線撮影して確認する。

(By courtesy of NIRS/QST)

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 47/65

患者位置決めシステム:自動位置決め

2D-3D位置決め (正側)
 ●自動位置決め計算10s以下

骨を参照して位置を確認する。
 スレの補正をシミュレーションし、治療台移動量を自動算出する。

(By courtesy of NIRS/QST)

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 48/65

患者位置決めシステム:治療台の移動

FB2-2018-00037 rev.0
FSNN-2018-0596

計算されたポジションに移動 (By courtesy of NIRS/GST)

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 49/65

3次元高速スキャンニング照射

従来フレーザー法による照射

3次元高速スキャンニング照射

100m/sec

- (1) ビーム利用効率向上
- (2) 複雑な形状の腫瘍にも正確に照射可能
- (3) 日々形状が変化する腫瘍にも正確に照射可能
- (4) 正常細胞へのダメージ小(特に腫瘍前縁部)
- (5) 患者固有のフィルター類不要
⇒準備時間短、放射線廃棄物無し
- (6) 中性子の発生小=余分な被ばく小
- (7) エネルギー可変により深さ方向線量分布も正確
- (8) オンラインビームモニタリングで安全性確保

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 50/65

3次元高速スキャンニング照射

FB2-2018-00037 rev.0
FSNN-2018-0596

Carbon ion beam

Cancer cells

高速スキャンニング照射

- 多段エネルギー可変 (200種~600種)
- 呼吸同期照射に対応する高速・高精度3次元スキャンニング

ビームの位置、ブラッグピーク深さ(ビームエネルギー)、照射線量を高精度で制御

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 51/65

高速スキャンニング中のリアルタイムモニタリング

FB2-2018-00037 rev.0
FSNN-2018-0596

スキャンニング照射リアルタイムモニタリング

- 治療中リアルタイムの照射ビームモニタリング (位置、線量、カウント値)
- リアルタイムモニタリングにより、誤照射のリスクをより低減できる

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 52/65

高速スキャンニングによる呼吸同期照射(シュミレーション)

FB2-2018-00037 rev.0
FSNN-2018-0596

Carbon-ion beam scanning irradiation

Gated irradiation

Accumulated dose

Respiratory cycle: 4s
Dose: 11.25GyE

Respiratory: On
Slice rescan: 8

Delay: 420ms
Volumetric rescan: 0

Respiratory-gated Irradiation simulation (Liver)

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 53/65

繰り返しスキャンニング

FB2-2018-00037 rev.0
FSNN-2018-0596

High-speed re-scanning
20 times (demonstration)

Improving uniformity of dose distribution

Conventional scanning

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 54/65

呼吸同期と繰り返しスキャンングの効果

Respiratory gating : No
Re-scanning : No

Respiratory gating : **Yes**
Re-scanning : **Yes**

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 55 / 65

呼吸同期スキャンング照射（マーカレス）

PB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

(By courtesy of NIRS/QST)

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 56 / 65

世界初 超伝導磁石搭載回転ガントリー

PB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

世界初の超伝導磁石を搭載した重粒子治療用360度回転ガントリー
⇒治療の自由度と精度を上げ、患者さんのストレスも軽減

治療シミュレーション (By courtesy of NIRS/QST)

Picture of the superconducting rotating-gantry, as installed in NIRS-QST.*

*Source: Yoshiyuki Iwata et al. "CONSTRUCTION OF A SUPERCONDUCTING ROTATING GANTRY FOR HEAVY-ION TREATMENT", Proc. of the 12th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, pp853(2015)

-Length: 14m
-Radius: 3.5m
-Weight: 300ton approx.

常伝導磁石搭載型に比べ重量～50%
さらに小型化開発継続

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 57 / 65

回転ガントリーに搭載している超伝導磁石

PB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

液体Heレス・高速励磁可能

Compact SC Magnet
Down Sizing BT-Line and Gantry

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 58 / 65

放医研 回転ガントリー治療室

PB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

現地での回転の様子

患者さん位置でのビーム

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 59 / 65

回転ガントリーの小型化

PB2-2018-000037 rev.0
PSNN-2018-0596

Magnet Arrangement

Normalconducting type

Superconducting type (QST/NIRS)

Advanced compact type for YUH
磁場強度UP

current system

new system

Gantry Size 2/3

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 60 / 65

スキャンングシステムの小型化

Size 1/3

Irradiation port

9m current system

3.5m new system

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 61/65

目次

1. 東芝エネルギーシステムズのご紹介
2. 粒子加速器
3. 重粒子線がん治療
4. 重粒子線がん治療装置
 - 4-1. 加速器、ビーム輸送系
 - 4-2. 照射系、治療系
5. 最後に

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 62/65

さらなる高度化に向けて

<p>ガンリ-小型化</p> <ul style="list-style-type: none"> Size reduction Cost reduction 	<p>エネルギー精細化</p> <ul style="list-style-type: none"> 200 steps 600 steps Active smoothing 	<p>マルチイオン</p> <ul style="list-style-type: none"> Advanced hybrid therapy P, He, O 	<p>照射野拡大</p> <ul style="list-style-type: none"> 200mm 400mm Capability for more various target 	<p>コンビームCT</p> <ul style="list-style-type: none"> Gantry+X ray
--	---	--	--	--

人に優しいデザイン

山形大学病院に適用

近未来 重粒子線治療施設の未来像

<http://www.qst.go.jp/rd/mirai-lab.html>

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 63/65

東芝はたゆまぬ技術開発により、人に優しい重粒子線がん治療の普及に貢献していきます

人と地球の明日のために。

TOSHIBA © 2018 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 64/65



<参考資料 3>

東京女子医科大学病院
講義資料

①診断と治療を融合するスマート治療室

東京女子医科大学 先端生命医科学研究所

岡本 淳

②診断画像を撮影するには

東京女子医科大学 放射線腫瘍学講座

松原 礼明

2018年8月21日
放射線医学オープンスクール

診断と治療を融合するスマート治療室

○岡本淳 村垣善浩

東京女子医科大学 先端生命医科学研究所
先端工学外科学分野



Faculty of Advanced Techno-Surgery
TWMU
東京女子医科大学先端生命医科学研究所
先端工学外科学分野

Let's the future work intelligently and give less the weight.
You will be certain to find something that you have never met before.

高倉公朋先生と伊蘭洋先生が2001年設立

- 5 脳神経外科医, 4 工学研究者,
- 放射線技師, 臨床薬剤師, 臨床心理士
- 21 大学院生(博士課程):
- 5 医師, 歯科医師, 2 放射線技師,
- 13 社会人大学院生

(Hitachi, Pioneer, Denso, Microsoft,
日本光電, Murakumo, 興和, etc.)

199 論文 including Nature genet and Brain

東京女子医科大学 先端生命医科学研究所

自己紹介

- 2001年 早稲田大学機械工学科卒業
 - 2006年 早稲田大学で博士(工学)取得
 - 2006年 早稲田大学先端科学・健康医療融合研究機構
生命医療工学研究所 客員研究助手
 - 2010年 東京女子医科大学 FATS 特任助教
 - 2016年 東京女子医科大学 FATS 特任講師
- 専門: 手術支援ロボット・スマート治療室の研究開発

受賞: 日本機械学会賞論文(2013)、第6回ロボット大賞サービスロボット部門「優秀賞」(2014)、平成26年度日本生体医工学学会荻野賞(2015)、第29回中日産業技術賞中日新聞社賞(2015)、グッドデザイン賞(2016)など



東京女子医科大学 先端生命医科学研究所



これまでの研究開発



手術支援ロボット iArmS

第6回ロボット大賞 サービスロボット部門賞
2015年 グッドデザイン・未来づくりデザイン賞
第29回中日産業技術賞 中日新聞社賞



スマート治療室

2016年 グッドデザイン賞



東京女子医科大学 先端生命医科学研究所



手術支援ロボットiArmS

For microsurgery



Shinshu University
Tetsuya GOTO, M.D.
Senior Assistant Prof.
Dept. of Neurosurgery

HOLD HOLD

東京女子医科大学 先端生命医科学研究所

術中MRI手術室 (女子医大: インテリジェント手術室)

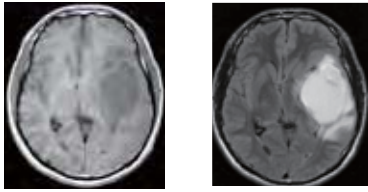


東京女子医科大学 先端生命医科学研究所



悪性脳腫瘍摘出のジレンマ (1/3)

腫瘍と正常の境目が目視出来ない



(ただし、MRIを使えば見える)

境界が分からない・・・。取り残すと再発が怖いから、大きめの範囲で取っておきたい



悪性脳腫瘍摘出のジレンマ (2/3)

脳には機能や神経線維がたくさんある



ブロードマンの
脳地図

でも麻痺が怖いから摘出は小さくしたい。



悪性脳腫瘍摘出のジレンマ (3/3)

腫瘍をたくさん
取る戦略
生存率UP
合併症率UP



正直いつも
悩んでいます・・・。

腫瘍を少なめに
取る戦略
合併症率DOWN
生存率DOWN

境界の分りにくい悪性腫瘍の部分だけを
精密に摘出するためのテクノロジーが必要

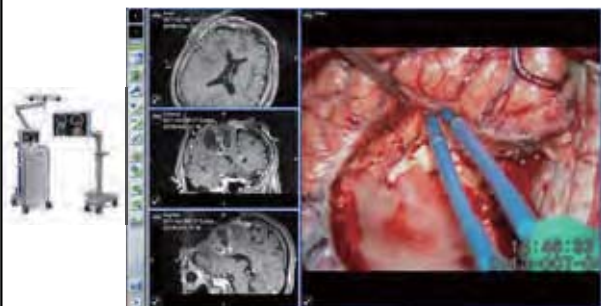
→実はもうある

脳神経外科医の最新7つ道具 (1/4)



術中MRI: 腫瘍の取り残しがないか確認

脳神経外科医の最新7つ道具 (2/4)



手術ナビゲーションシステム: 術具先端位置がどこにあるかを提示

脳神経外科医の最新7つ道具 (3/4)

取った組織が悪性腫瘍なのかどうかすぐ知りたい



術中迅速診断 (通称ゲフ)
30分~1時間



術中迅速フローサイトメータ
10分以内

脳神経外科医の最新7つ道具 (4/4)

神経機能検査装置



悪性脳腫瘍治療遂行のためのインテリジェント手術室

-7つ道具のパッケージ化-
(経産省ME連携ラボ1998~, NEDO研究助成事業 2000~)
脳神経外科1750例 消化器外科4例施行

術中MRIとMRI対応機器

術中MRIによる残存腫瘍同定とナビゲーションによる摘出支援

術中MRIによる有害事象同定

術前 術中 術後 ナビゲーション

平均摘出率90% (全国統計: 50-75%)

術後出血率0.8% (text: 1-3%)

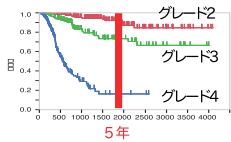
術中MRIを核とした手術室で効果安全性向上

治療遂行のためのインテリジェント手術室

-臨床成績-

国際的にも優れた悪性脳腫瘍治療成績

- 初発神経膠腫 5年生存率
 - Grade II: 89.6% (全国平均 68.3%)
 - Grade III: 74.5% (全国平均 26.1%)
 - Grade IV: 18.8% (全国平均 7.0%)
- 第66回日本脳神経外科学会総会
- 再発までの期間(WHO Grade II 神経膠腫)
 - Johns Hopkins: 4.6y, UCSF: 5.5y, 女子医: 7.5y



Muragaki et al (2008)*	0.7	Bhaskar et al (2007)*	0.7
Nemry et al (2008)*	0.5	Wirths et al (2009)*	0.3
Hattori et al (2009)*	0.5	Rehder et al (2007)*	0.1
Kanbayashi et al (2009)*	0.3	Nemry et al (2007)*	0.4
Smith et al (2008)*	0.2	Hiratsuka et al (2007)*	0.5
		Schreiber et al (2009)*	0.1

Muragaki Acta Neurochir 2006, 2011

Lancet Oncology(2012)世界12施設の中で紹介

情報誘導手術を実行するインテリジェント手術室



日本国内の術中MRI

1993	Brigham and Women's Hospital	Signa SP
1. 2000	滋賀医科大学	GE Signa SP 0.5T
2. 2000	東京女子医科大学	日立 0.3T (2013 0.4T)
3. 2002	国立成育医療研究センター	日立 0.3T
4. 2006	東海大学	Phillips 1.5T
5. 2006	名古屋大学	日立 0.4T
6. 2006	名古屋セントラル病院	Brainlab, Siemens 1.5T
7. 2007	東京慈恵会医科大学(柏)	日立 0.7T
8. 2008	山形大学	GE 1.5T
9. 2009	鹿児島大学	日立 0.3T
10. 2010	大田記念病院	日立 0.4T
11. 2011	NTT東日本病院	クロスステック 0.2T
12. 2012	国立がん研究センター	日立 0.3T
13. 2012	筑波大学	fMRIS 1.5T
14. 2012	伊勢赤十字病院	GE 1.5T
15. 2013	岡山大学	日立 1.2T
16. 2013	大西脳神経外科病院	GE 1.5T
17. 2014	京都大学	Siemens 3T

しかし手術室の状況は依然、帆船時代の航海の様である

MEP 下がりました! 理由は不明です!

船長(執刀医)

今どういう状況??

迅速処置しました! 結果はよくわからないそうです!

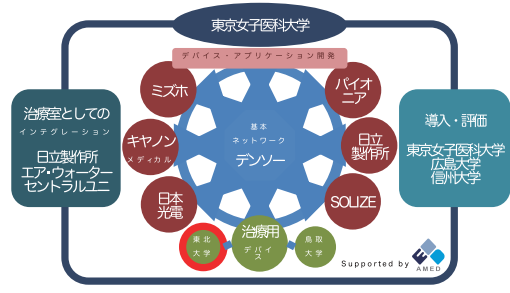
鉗子鉗くの腫瘍がまだ残っています!

うーむ、多くの情報から冷静に判断せねば...

- 情報の伝達は基本的に「声」か「大声」
- 情報が多い上に術中に増加
- 情報の統合は術者の頭の中
- 執刀医は経験ベースで意思決定
- 現状はスティックなチーム力で成立

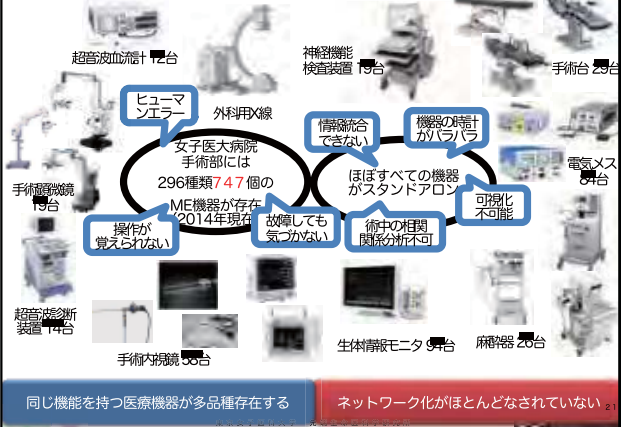
スマート治療室プロジェクト

プロジェクト実施体制



本研究開発はAMED事業「未来医療を実現する先端医療機器・システムの研究開発：安全性と医療効率の向上を両立するスマート治療室の開発」の委託を受け、5大学12企業により実施されている

多品種多年代機器が雑多にひしめき合う従来手術室



手術室のネットワーク化



他社製品機器間インターフェイスは何にする？

ORiN (Open Resource Interface for Network)

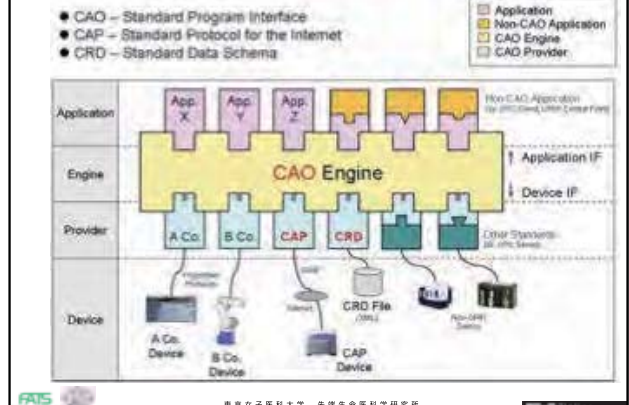
<http://www.orin.jp/e/>

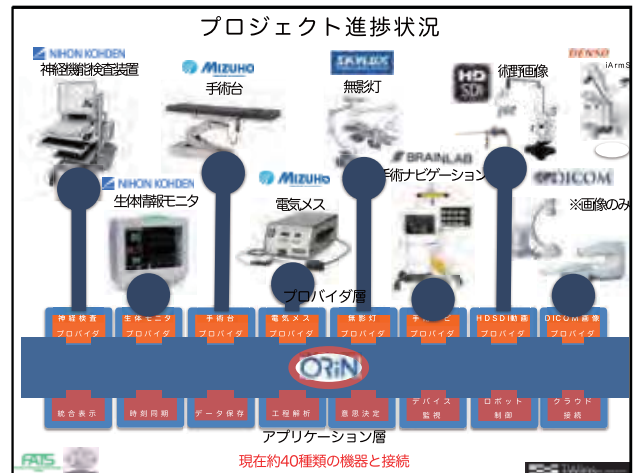
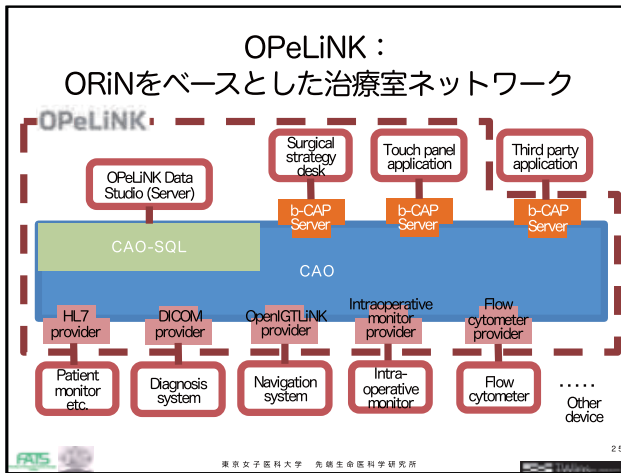
- 基本理念**
汎用性と多様性を融合した柔軟な標準化
- 設計/実装方針**
標準インタフェースとして受け入れやすい設計を実現するとともに、世の中の標準技術を活用して高機能を低コストで実装する
- 歴史**
 - 日本ロボット工業会での標準化活動でNEDO支援で始動
 - 1999 国際ロボット展において各社ロボット接続検証テスト成功
 - 2002 "ORiN協議会"設立
 - 2011 ISO 20242 Part4に仕様採択
 - 2015 ORiN ver. 2.1.17 持続的に改善
- 特徴**
アウトプットやポートさえあれば、機械内部を変更することなくネットワーク接続可能



実践的で信頼性の高いミドルウェア

ORiNのアーキテクチャ





開発中のSCOT

広島大学病院に導入した基本モデル「Standard SCOT」

- 術中MRIを中心に機器をパッケージ化
- 機器のネットワーク化
- 時間同期された情報の統合を目指す

女子医大TWInsに設置した最終モデルのプロトタイプ「Hyper SCOT」

- Standard SCOTの機能はそのまま導入
- ロボット化された新規開発中機器を追加
- 手術データベースとの連動 (予定)
- 情報統合と空間のコントロールを目指す

東京女子医科大学 先端生命医科学研究所

広島大学病院 SCOT

Standard SCOT

Smart Custom Operating Theater

安全性と医療効率の向上を再興するスマート治療室の開発

東京女子医科大学 先端生命医科学研究所

治療室インタフェース OPeLiNK

治療室インタフェース OPeLiNK

アプリケーション連携

麻酔科

手術戦略デスク

術後解析

手術室

東京女子医科大学 先端生命医科学研究所

Hyper SCOT プロトタイプ

Hyper SCOT プロトタイプ

有機EL照明

ロボティック顕微鏡

スマートサイバーディスプレイ

手術戦略デスク

ロボティック手術台

術中MRI装置

術者コックピット

DESIGN AWARD 2016年度受賞

東京女子医科大学 先端生命医科学研究所

Hyper SCOT プロトタイプ



術者コックピット (CockpitS)



- インテリジェント手台「ArmS」をベースに、座位・立位の両方に対応した統合システムとして開発
- 術者の手のふるえ、疲労の軽減を目指す



ドクターXに出演も・・・



ロボティック手術台



- 患者をMRIガントリ内へ自動搬送し、撮像後に元の手術位置へ正確に復帰させる
- 術中の画像診断 (MRI撮影) の省力化・迅速化を目指す

ロボティック手術台



手術戦略デスク



- 手術ナビゲーション、神経機能検査装置、迅速診断フローサイトメータ、生体情報モニタ、術野映像、術中MRI画像、電気メス、術者コックピット、等の使用状況を「時刻同期」して表示・保存
- メーカーの違う装置からのデータを「融合」して表示する

約20種類の機器からのデータを収集

術者コックピット 室内カメラ DICOM画像 室内カメラ PDTレーザー

電気メス DICOM画像 神経モニタリング装置 術中迅速診断装置

データ融合ナビゲーションシステム

東京女子医科大学 先端生命医科学研究所

ワールドビジネスサテライト

東京女子医科大学 先端生命医科学研究所

データ融合ナビゲーション

MEPの振幅

MAPS	MEP	IQQual
81%	98%	
686	544	

パイポーラの出力

MAPS	MEP	IQQual
86%	45%	
729	844	

37.4% III

術中迅速診断装置で計測した組織の悪性度

- 術中情報を自動的に更新・表示
- 腫瘍切除範囲に関する意思決定のサポート

東京女子医科大学 先端生命医科学研究所

Comprehensive Advanced Medical Ward

SCOT Operation Room

東京女子医科大学 先端生命医科学研究所

Standard SCOT in Shinshu Univ. Hosp.

東京女子医科大学 先端生命医科学研究所

Shinshu University: Optical Line

Integrated Intelligence Center

Neurosurgical Office "Strategy Desk"

Hospital Server

Hospital Area

SCOT Operation Room

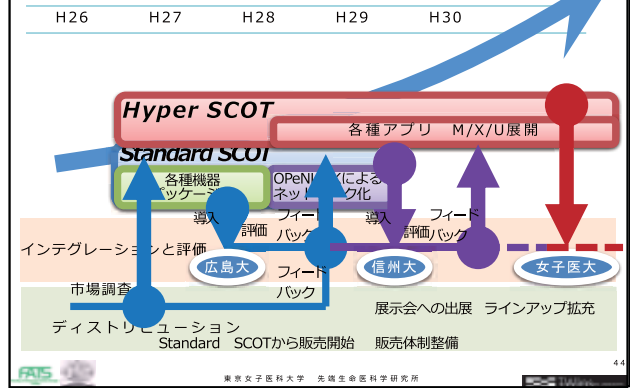
東京女子医科大学 先端生命医科学研究所

2018/7/23 信州大学で臨床使用スタート

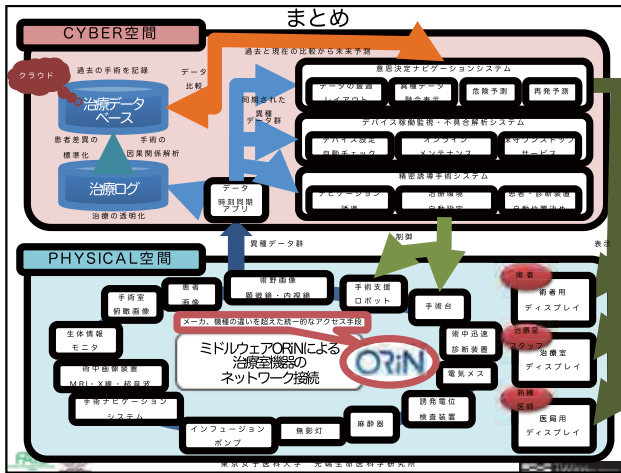


東京女子医科大学 先端生命医科学研究所

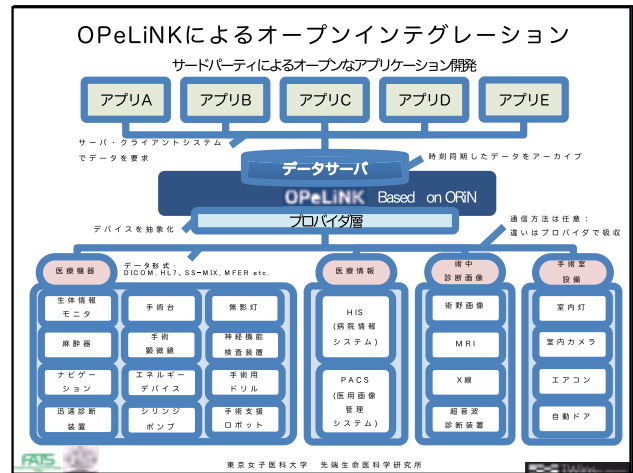
SCOTプロジェクト開発計画



東京女子医科大学 先端生命医科学研究所



東京女子医科大学 先端生命医科学研究所



東京女子医科大学 先端生命医科学研究所

課題と展望

- 機器インテグレーションに関するガイドラインが必要
- 接続機器を増やすための枠組みづくり
- アプリケーション開発のオープン化を目指す
- 2018年度中のHyper SCOT稼働を目指す
- 将来的には「スマート可算」を実現する
- 医療機器のコモディティ化とどう向き合うか？



東京女子医科大学 先端生命医科学研究所

診断画像を撮影するには

1. PET/SPECTの撮影装置 (学部生向け)
2. MRIの検出原理 (大学院生向け)

東京女子医科大学
放射線腫瘍学講座 助教
医学物理士 松原礼明

1. PET/SPECT(シンチカメラ)の原理

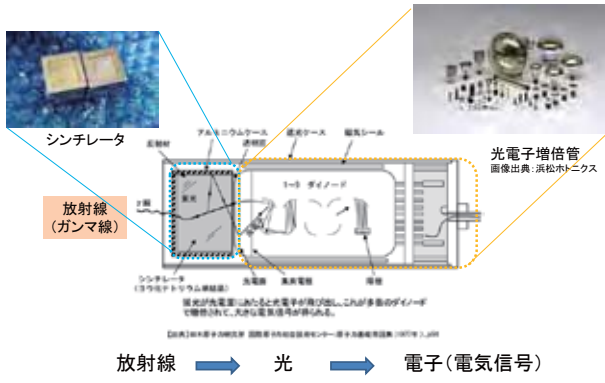
1. 放射性物質を含む薬剤を体内に投与する
2. 薬剤は生理的機構に従って集積/代謝される
3. **崩壊した放射性物質を検出することで、**
薬剤の集積部位(病巣)が特定できる



放射線はどうやって測定するのだろう!?

画像出典: wikipedia, PET検査ネット

シンチレーション検出器を使う



シンチレーター

放射線が入ると発光する物質。透明色。
様々な材質があるが、医療用にはヨウ化ナトリウム
という無機物がよく使用される。

無機物: 高価、有機物(プラスチック): 安価

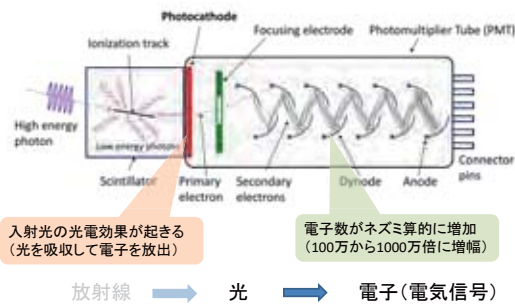


ヨウ化ナトリウム
(潮解性があるため
ケースに入っている)

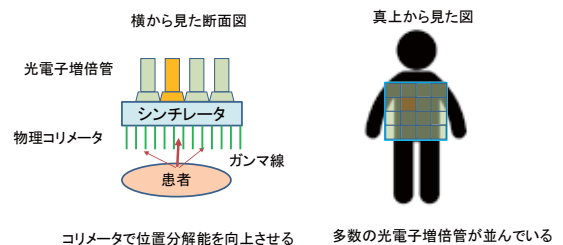
放射線 → 光 → 電子(電気信号)

光電子増倍管

光(可視光)を受けると電気信号を出す装置。
(これでエレクトロニクスで処理できるようになる)



シンチカメラ



反応した検出器の位置から薬剤集積部位がわかる

平面撮影



数10分程度の時間をかけて
シンチカメラをスライドさせて撮影する



画像出典: <http://juntendo-urolgy.jp/treatment/pharmacotherapy/>

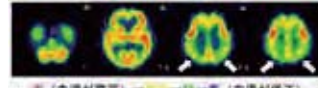
SPECT

単一光子放射線断層撮影 (single photon emission computed tomography)



シンチカメラを回転して撮影する。
CTと同様の撮影原理である。
(3D情報が得られる)

血流量や代謝機能の診断に使用する。
(脳血管障害、心疾患)



脳血流SPECT

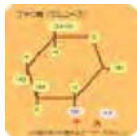
画像出典: <http://www.hbhc.jp/section/houshasen/inspection.html>

PET

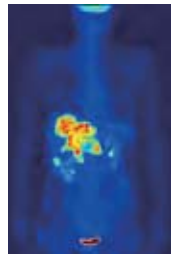
ポジトロン断層法 (positron emission tomography)



がん細胞はエネルギー(糖)消費量が多い



ブドウ糖で18Fを置換した薬剤投与

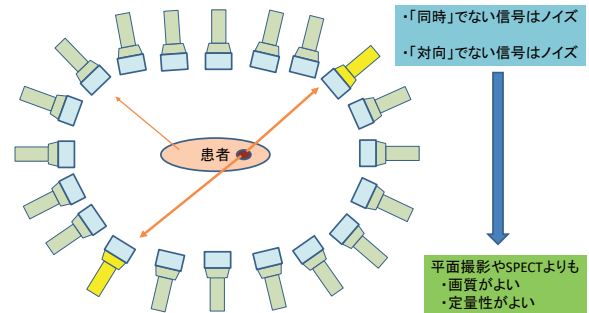


集積部位はがんと診断できる

画像出典: wikipedia, PET検査ネット

PETの撮影原理

PETで使用するガンマ線は「2個」が「反対方向」に「同時」に放出される



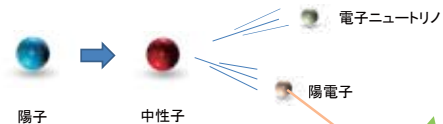
なぜ2個のガンマ線が放出される？



反物質が「蒸発」するから

なぜ2個のガンマ線が放出される？

PETではβ崩壊で放出される陽電子(電子の反物質)を利用する



- 1、反物質同士は対消滅(蒸発)する
- 2、消滅する前の質量エネルギーを
光エネルギー(ガンマ線)の形で放出する
:エネルギー保存則を満たすため
- 3、運動量を相殺するには逆方向に出るしかない
:運動量保存を満たすため

反物質はエネルギーを放出して消える!

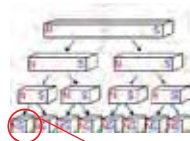
電子

磁石を考える

出典: 日本磁気学会



折るとどうなる!?



小さな磁石になり、最終的に原子1個になる

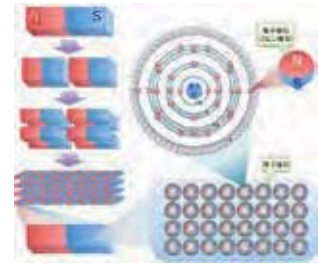
電子1個が1つの磁石相当になる
これはスピンという素粒子の性質の一つ



スピン

- 素粒子(電子や原子核)の性質
- 電子や原子核は全て「マイクロな磁石」である

この「マイクロな磁石」であるスピンのアボガドロ数個集まってできたのが磁石です。



画像出典: 日本磁気学会

MRI画像は陽子スピンの見えている



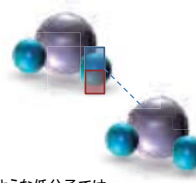
T2画像

T1画像

T1画像(脂肪強調)、T2画像(水強調)の違いは?

T1/T2画像の違いの起源

磁石(核スピン)は周辺の磁場の影響をうける



水のような低分子では、周辺の原子の磁場の影響をあまり受けない



T2画像: 水の陽子スピンを強調する撮影

コレステロールの分子式と構造式(出典: wikipedia)



脂肪のような高分子では周囲に多くの原子があり、それらの磁場の影響を受ける



T1画像: 変調した陽子スピンを強調する撮影

MRI画像は陽子スピンを見ている



T2画像

T1画像

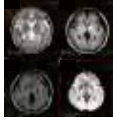
撮影モードの違いも理解できた!

素朴な疑問

- MRIでは水素の陽子スピンを検出する
- 他の元素はどうなっている?
 - 見える? 見えない?
 - なぜ都合よく水素原子核スピンだけが見える?

例えば酸素

- 単純に考えると、人体は水 (H_2O) でできている。
- 酸素原子の数は水素原子の半分である。
 - 結構沢山あるはず
- MRI画像で酸素は見えているのか？



MRI画像は陽子スピンを見ている
→ 酸素は(ほとんど)見えない

なぜ酸素は見えないのか？

答え (結構難しい)

- 酸素原子核の核スピンのゼロだから
 - 陽子、中性子が偶数個だとスピンは相殺してゼロになる
 - 核スピンゼロだとMRI信号にひっかからない



酸素原子核: 陽子8個、中性子8個
(原子番号が8)
→ スピンゼロ



水素原子核: 陽子1個 だけ
→ スピンがある

偶数個の核子はなぜスピン相殺するのか? → そういう物理法則だから(核力)

酸素の同位体

実は自然界には3種類の酸素原子が存在する
(陽子は8個だが、中性子の数が異なる)

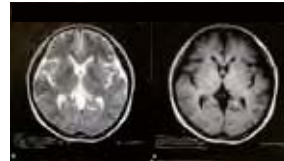
同位体	NA	半減期	DM	DE (MeV)	DP
^{16}O	99.76%				中性子8個で安定
^{17}O	0.039%				中性子7個で安定
^{18}O	0.201%				中性子10個で安定

← MRIの信号で見える(可能性がある)
が、 ^{17}O の数が圧倒的に少ないので
(ほとんど)見えない

他の元素はどうか？

- 炭素、カルシウムなど大体はスピンゼロ
 - 炭素: 原子番号6、陽子6個、中性子6個
 - Ca : 原子番号20、陽子20個、中性子20個

→ MRI信号として検出されない



だから頭蓋骨を無視して脳内が診断できる

他の元素はどうか？

窒素、リンは核スピン有り

- 窒素: 原子番号7、陽子7個、中性子7個
- リン: 原子番号15、陽子15個、中性子16個

→ MRI信号として検出される!

しかし実際はほとんどMRI画像に写らない

- 水素より個数が少ない(窒素で4%、リンで3%)
- 水素より磁石としての力が小さい(窒素で7%、リンで3%)
: 磁石量(スピン量)は質量に反比例する物理性質がある

トータルで水素と比較して0.1~0.3%程度の信号になる(ので通常無視される)

では電子は？

- MRI画像で電子は見えてるのか？

- 水素原子は必ず1個電子を持つ
 - 数はたくさんある



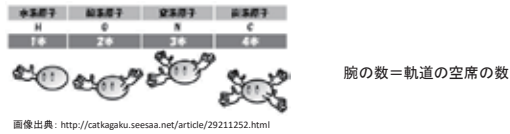
MRI画像は陽子スピンを見る

- 質量は1800倍小さい
 - 信号は1800倍大きいはず

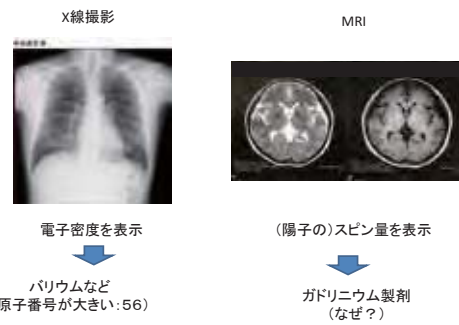
答え: 見えない。 理由は？

• 体内電子のスピンは相殺されている

- 体内に自由電子は存在しない
- 分子を構成する「糊」としてのみ電子は存在する
- 化学結合は電子軌道を埋めるように働く
- 電子は必ず偶数個のペアになりスピンは相殺する
- スピンゼロの結果、MRIに検出されない



造影剤を考える



• ガドリニウム(原子番号64)

- 不対電子を7個持つ ((恐らく)元素で最大数)
- そのまま分子内に存在する
- 軌道上の電子スピンの高信号になる



電子1個のMRI信号強度はプロトン1個の何倍でしょう？

(難しい) 電子のMRI信号は657倍

- 電子と陽子の質量比は1840倍
- 磁石量(スピン量)は質量に反比例する
- しかし電子のMRI信号強度は陽子の657倍
- なぜか？
 - 素粒子の性質として、陽子と電子に2.8倍のスピン力の差がある。g-因子と呼ばれる。
(電子のg因子が2.8倍小さく、スピン量も2.8倍小さい)

$$\frac{1840}{2.8} = 657$$

後半のまとめ

- MRI画像は陽子のスピン量分布を表示する。
- 陽子以外の体内元素の核スピン、電子スピンは相殺されている。
- だから陽子スピンしか見えない。

<参考資料 4>

特別講演資料

①「放射線治療における医学物理学の重要性」

東京女子医科大学

大学院医学研究科 医学物理学分野

西尾 禎 治

②「核医学治療について」

東京女子医科大学

画像診断・核医学科

阿部 光一郎

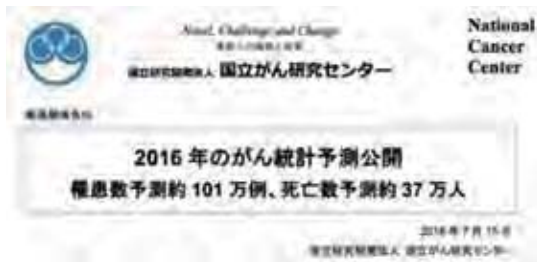
放射線治療における 医学物理学の重要性



東京女子医科大学大学院
医学研究科医学物理学分野
西尾 禎治

がんの放射線治療とは

日本のがん事情

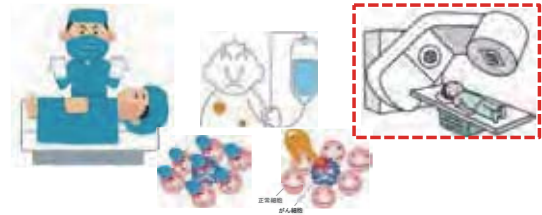


現在、国民の二人に一人が、がんで亡くなる時代となっている。

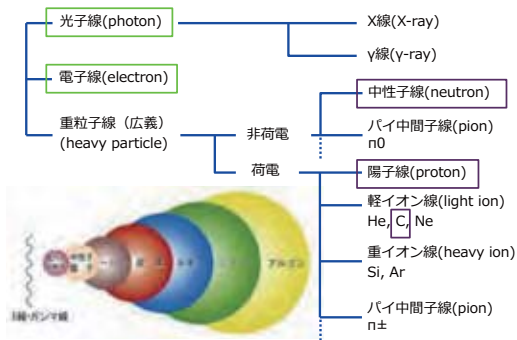
現在の欧米では、がん治療の60%は放射線治療が関与。

がんの三大療法

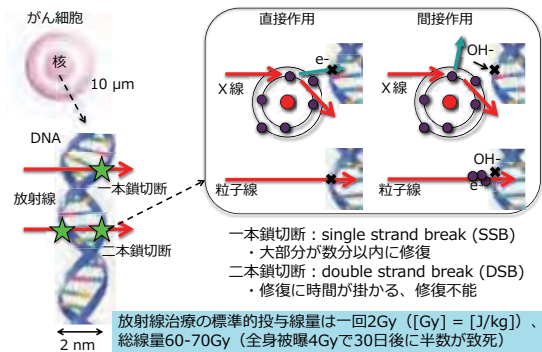
- 手術療法
- 化学療法（抗がん剤治療）
- 放射線療法（放射線治療）



がん治療で利用されている放射線

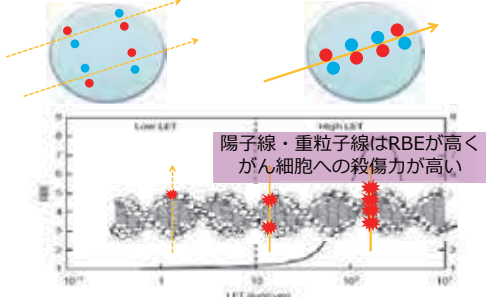


がん細胞に対する放射線の作用



放射線による異なるがん細胞殺傷力

X線治療の場合 陽子線・重粒子線治療の場合



陽子線・重粒子線はRBEが高く
がん細胞への殺傷力が高い

RBE (Relative Biological Effectiveness) : 生物学的効果比

放射線 (X線・電子線) 治療装置

TrueBeam/Varian

STx/Brainlab



Synergy/Elekta

CyberKnife/Accuray



TomoTherapy/Accuray

Vero/三菱重工

放射線 (ガンマ線) 治療装置

192個のCo-60線源 RALS (Remote After Loading System)



Perflexion/Elekta

microSelectron/Elekta

I-125, 0.8mmφ, 4.5mL



OncoSeed/Oncura

放射線 (重粒子線) 治療装置



陽子線/IBA

炭素線/東芝



BNCT (硼素中性子捕捉療法) /住友重機

放射線がん治療の高度技術例

高精度X線治療

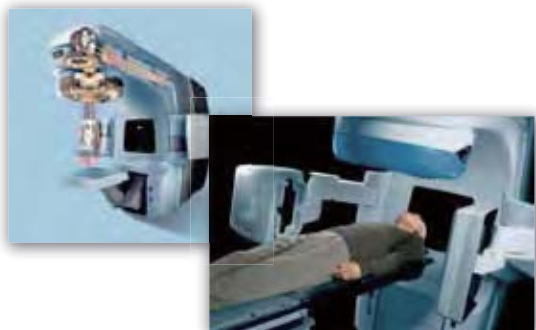


陽子線治療



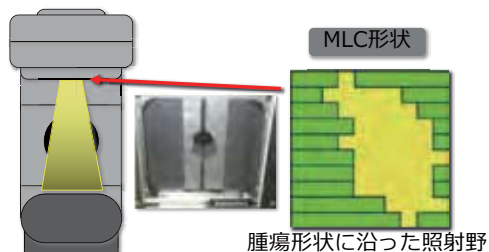
最先端放射線治療—その1
強度変調放射線治療 (IMRT)

放射線（X線・電子線）治療装置



一般的な放射線治療

通常の一般的放射線治療では、



強度変調放射線治療（IMRT）

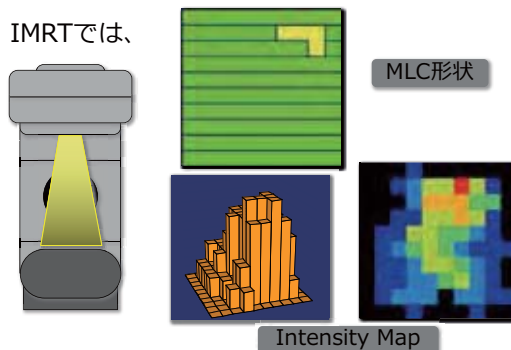
照射場所毎に放射線（X線）に強弱を設けて、腫瘍に線量を集中させる方法。



コンピュータ技術を駆使した放射線治療。
Inverse planning：腫瘍には均一で高線量、重要臓器は可能な限り低線量になるように照射線量強度を最適化計算。

強度変調放射線治療（IMRT）

IMRTでは、

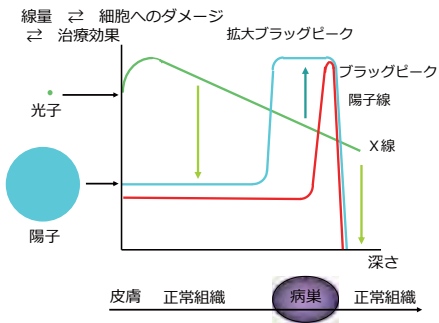


強度変調放射線治療（IMRT）



最先端放射線治療—その2 陽子線治療

陽子線の特徴



陽子線治療システム



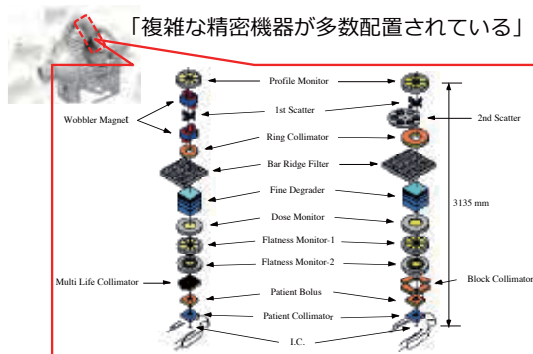
陽子線加速器



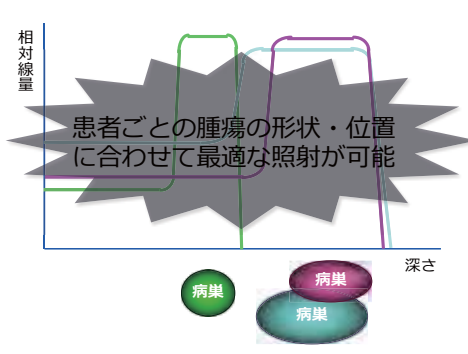
陽子線回転ガントリー装置



照射領域形成装置



照射領域形成システム



加速器から患者までの陽子の飛行時間

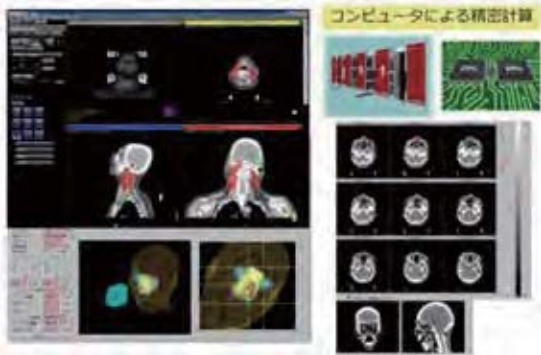


陽子は加速器から患者へ照射されるまでの距離30mを僅か150ns= 1.5×10^{-7} s= 0.00000015 秒で飛行する

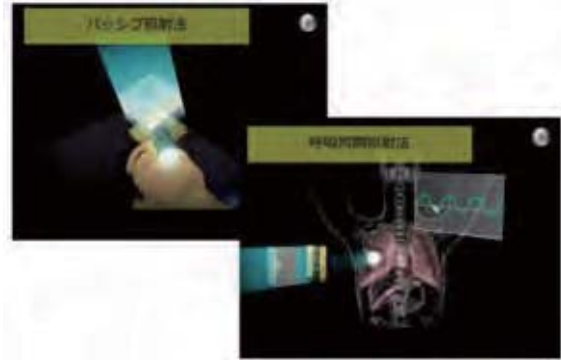
体内中のがんの位置を見る装置



陽子線治療計画装置



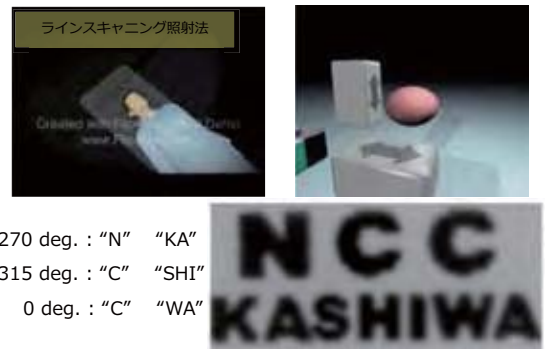
腫瘍形状線量分布形成法



陽子線治療線量分布



強度変調陽子線治療：IMPT

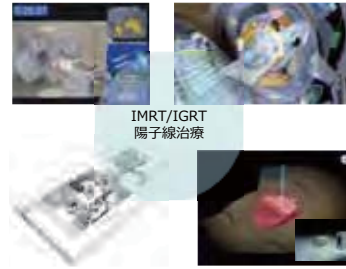


陽子線治療装置の小型化



近年の高精度放射線治療は…

近年の様々な技術進歩に伴い、放射線治療の高精度化が急速に進んだ。
→ 高精度放射線治療：予防的・緩和的治療から根治治療への展開



高精度放射線治療は、

- 放射線物理学
- 放射線計測学
- 電磁気学
- 加速器物理学
- 統計物理学
- 原子核物理学
- …

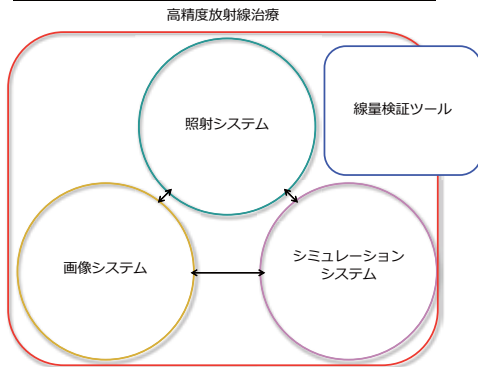
幅広い物理学及び工学の結集体

最先端の医学物理学研究

高線量を腫瘍へ集中させるためには



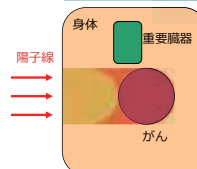
4つの先端技術に関する研究開発



陽子線治療の高い線量集中度

ターゲットへの線量集中度が高い反面、精度の良い事前計画及び陽子線が腫瘍に照射されなければ、ターゲットへの線量投与ができていないことを直接的に観測できないだろうか…

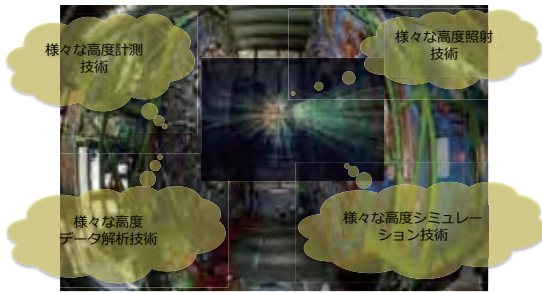
がんが残るまたは再発する・障害が発生する



精度の良い照射が行なわれた場合



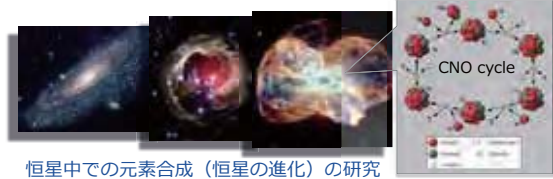
基礎物理研究から医学物理研究への展開



未知の物理現象を究明する観測システム
 → 未知の体内中線量を究明する観測システムへ展開

基礎物理研究から医学物理研究への展開

学生時代は天体核物理の研究に従事



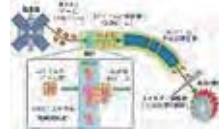
恒星中での元素合成（恒星の進化）の研究

CNO cycle : ... $^{13}\text{N}(\beta^+)^{13}\text{C}(p,\gamma)^{14}\text{N}$...

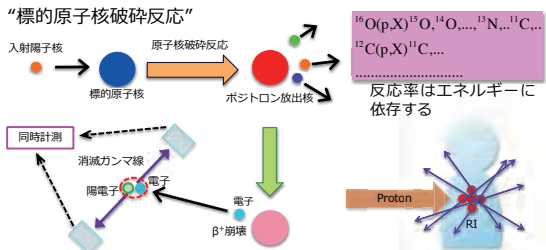
hot-CNO cycle : ... $^{13}\text{N}(p,\gamma)^{14}\text{O}(\beta^+)^{14}\text{N}$...



RIビーム生成手法からヒントを得る

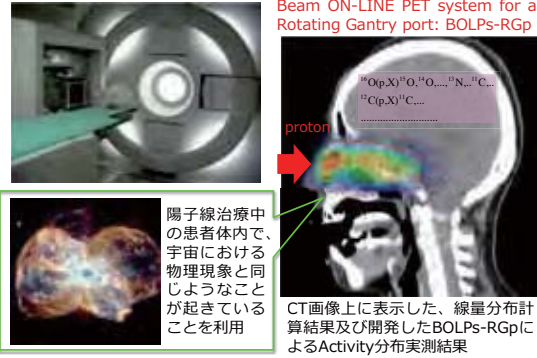


陽子線照射領域可視化の原理

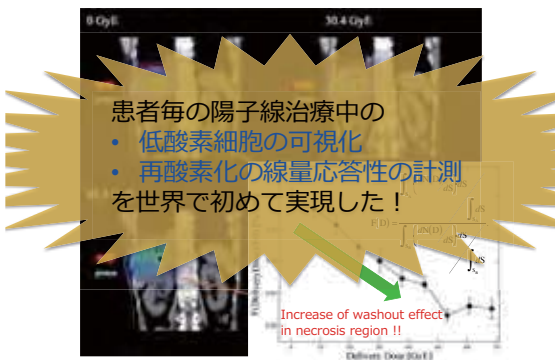


放射線照射により体内で起こる標的原子核破砕反応から生成されるポジトロン放出核を情報因子（マーカー）とする照射領域の画像化とその時間的変化を計測する。

体内中での陽子線照射領域の可視化



患者個別の線量応答の計測



放射線治療の未来を担う
 医学物理士

医学物理士とは

病院、学校、研究所に所属し、物理学の面から医学および医療に貢献し、かつ医学物理士の試験を受けて合格した人々を「医学物理士」といいます。（現在、国内に約1,000名）

高精度な放射線治療

高品質の放射線治療を多くの患者へ提供するにはチーム医療が最も重要

医学物理士

治療装置や技術の向上だけでは、精度の高い放射線治療を患者へ提供出来ない

医学物理士とは



- 患者ごとの治療計画実施や投与線量精度管理。
- 臨床現場において、治療装置の精度や性能の維持管理及び向上に貢献すること。
- 医学物理分野の発展・進歩において、研究開発面で貢献すること。
- 医学物理士の人材育成や教育に貢献すること。

医学物理士の魅力とは

- “がん患者の治療のため”といった明確な目的を持つことが出来る。
- “医療人としての自覚と責任感”を持つことが出来る。
- 様々な職種の方との協力体制の基で、研究面だけでなく人格形成面でも“幅広い視野”を養うことが出来る。
- 短期間で結果が出せるものから結果が出るまで長期間必要となるものなど“研究テーマが数多く存在”する。
- 国内では確立されていない分野であるので、努力次第では“医学物理分野のパイオニア”になることが出来る。

医学物理学研究の魅力とは



医学物理学研究の魅力とは

ほぼ同じ個数

銀河系の恒星の数：2,000億個
(全宇宙の恒星の数： 10^{22} 個)

星間距離が長い
(平均で4光年、太陽-地球：光速で8分)
「星間の相互作用は無視出来る」

人体構造の仕組みは宇宙の恒星構造の仕組みより複雑で難しい

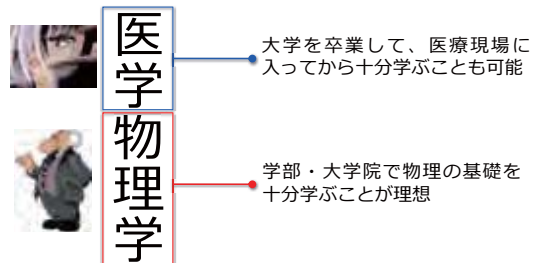
コップ一杯のがん細胞の数：2,000億個
(人体の細胞の数：37兆個)

人体

人体の細胞や分子などは電磁的相互作用をしている

医学物理学とは…

医学物理学とは、名前の通り、医学と物理学です。



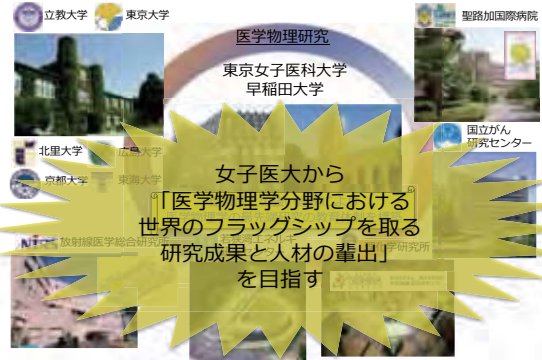
医学物理学とは…

医学物理の場合は、
医工連携 → 医学、理学、工学、保健学 → 医理工保連携

医学
物理学

物理学を幅広く学び、しっかり支える土台作り

産学官連携による医学物理学研究と教育



ご清聴有り難うございました

「東京女子医科大学大学院医学研究科医学物理学分野」
- 最先端の医学物理学の研究教育を実施する専門の大学院 -
医学物理学教員4名



国内初の医学物理学分野 御興味ある方は下記まで御連絡下さい
nishio.teiji@twmu.ac.jp

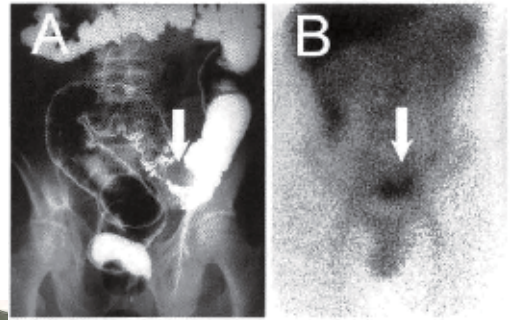
核医学治療の現状と展望

東京女子医科大学
画像診断・核医学科
阿部光一郎



2018年8月20日 18:15-19:00 東京グリーンバース

S状結腸癌の¹¹¹In標識抗CEA抗体シンチグラフィ



(近畿大医誌 2008;33:193-198)

核医学治療とは・・・

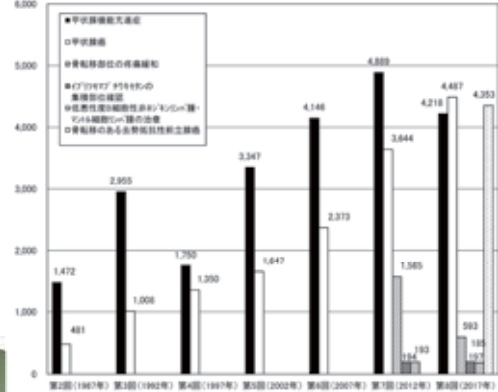
ある病巣に**選択的**に取り込まれる放射性医薬品を、
経静脈的あるいは経口的に投与して目的病巣に**集積**
させ、放射線治療を行う治療法

様々な呼称

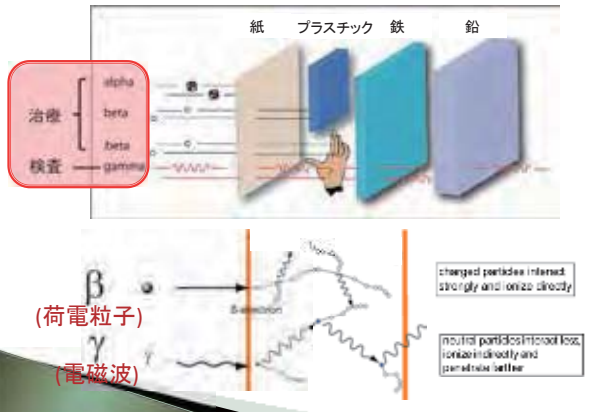
- ・RI: 最大の特徴
副作用がほとんど無い! therapy, radionuclide therapy, nuclear medicine therapy
- ・ヨウ素治療、放射性ヨウ素治療、radioactive iodine therapy (RAI)
- ・放射免疫療法、radioimmunotherapy
- ・ペプチド受容体放射性核種療法、peptide receptor radionuclide therapy (PRRT)

非密封RIを用いた核医学治療件数(年間)

(RADIOISOTOPES 2018, 87:339-387)



電離放射線の物質透過性



核医学治療に用いられる放射性核種

放射性核種	β 線放出核種				α 線放出核種
	I-131	Y-90	Sr-89	Lu-177	Ra-223
半減期(日)	8	2.7	50.5	6.6	11.4
主な γ 線 (keV)	+ (364)	-	-	+ (208, 113 keV)	+ (83.1, 特性X線)
主な β / α 線のエネルギー (MeV)	0.61	2.28	1.49	0.498	5.72
組織中での最大(平均)飛程 (mm)	2(0.6)	11(5.3)	8(2.4)	1.7 (0.23)	<0.1
シンチでの画像化	可	不可	不可	可	可
入院	投与量 > 30mCiで要	不要	不要	要?	不要

患者さん自身が放射線源 → 退出基準を満たす or 要隔離入院

退出基準

放射線科 第1号
平成29年5月31日

当院放射線科
診療科目
診療科目
診療科目

東京大学医学部附属病院放射線科
放射線科 第1号
平成29年5月31日

放射線科 第1号
平成29年5月31日

本指針では、1に述べた公衆及び介護者について抑制すべき線量の基準を、**公衆**については、1年間につき1ミリシーベルト、**介護者**については、患者及び介護者の双方に便益があることを考慮して**1件あたり5ミリシーベルト**とし、退出基準を定めた(注)。

具体的には、以下の(1)から(3)のいずれかの基準に該当する場合に、退出・帰宅を認めることとする。

(注) ICRP, Publication 60(1990年勧告): 公衆に対する線量限度 $\leq 1\text{mSv/年}$
ICRP, Publication 73(1996年勧告): 介護者に対する線量限度 $\leq 5\text{mSv/件}$
IAEA, Safety series No. 115(1996年): 介護者に対する線量限度 $\leq 5\text{mSv/件}$

(1) 投与量に基づく退出基準

治療に用いた核種	投与量又は体内残留放射能 (MBq)
ストロンチウム-90	200 *1)
ヨウ素-131	500 *2)
イットリウム-90	1100 *3)

* 1) 最大投与量
* 2) ヨウ素-131の放射能は、患者身体からの外部被ばく線量に、患者の呼吸とともに排出されるヨウ素-131の吸入による内部被ばくを加算した線量から導かれたもの。

(2) 測定線量率に基づく退出基準

治療に用いた核種	患者の体表面から1メートルの点における1センチメートル線量率 (μSv/h)
ヨウ素-131	30 *1)

* 1) 線量当量率は、患者身体からの外部被ばく線量に、患者の呼吸とともに排出されるヨウ素-131の吸入による内部被ばくを加算した線量から導かれたもの。

(3) 患者毎の積算線量計算に基づく退出基準

治療に用いた核種	線量率 (μSv/h)	滞在時間 (h)	積算線量 (mSv)
ヨウ素-131	30 *1)	1	0.3

* 1) 実施条件: 関連学会が作成した実施要綱(「残存甲状腺組織を目的としたI-131(1.110MBq)による外来治療」)に従って実施する場合に限る。
* 2) ヨウ素-131の放射能は、患者身体からの外部被ばく線量に、患者の呼吸とともに排出されるヨウ素-131の吸入による内部被ばくを加算した線量から導かれたもの。

¹³¹I-NaIによる放射性ヨウ素治療

¹³¹I-NaI経口

β線: 放射線治療

γ線: 撮像測定

甲状腺組織 and/or 甲状腺癌

放射性ヨウ素治療のための準備

甲状腺癌 / 正常甲状腺 = 1 / 10-100

甲状腺全摘が基本

治療用放射性ヨウ素中のヨウ素: 0.24 μg/30 mCi

厳重なヨウ素摂取制限
血中TSH上昇
チラーヂン中止
または、rTSH (THYROGEN®)

Negative feedback

Pituitary gland

TSH

Stimulate

T3, T4

Thyroid gland

Thyroid cancer

Iodine

分化型甲状腺癌に対する放射性ヨウ素 (I-131 NaI) 治療 アブレーション治療 (30mCi)

1回目 2回目 3回目 4回目

Theranostics = Therapeutics (治療学)+Diagnosis (診断学)

アブレーション(強いて訳せば「焼灼」)治療

甲状腺全摘術後に残存甲状腺組織が存在する確率は約90%
特にハイリスク患者では、微小な腫瘍の残存が局所再発につながる。

アブレーションの2つの意味

① Remnant ablation (残存甲状腺組織の廃絶)

測定 ← サイログロブリン

Remnant thyroid tissue

Thyroid ca.

② Adjuvant therapy (微小癌細胞の根絶)

Remnant ablationおよびadjuvant therapy
に必要なI-131投与量 (ATA2015)

Remnant ablation (残存甲状腺組織の焼灼)

RAI as remnant ablation is performed after total thyroidectomy for ATA I-IIa,b,c (based on size) or intermediate-risk (based on histologic features) low-volume central neck nodal metastases with no other known gross residual disease or any other adverse features, a low administered activity of approximately **20 mCi** is generally favored over higher administered activities.
(Strong recommendation, High-quality evidence)

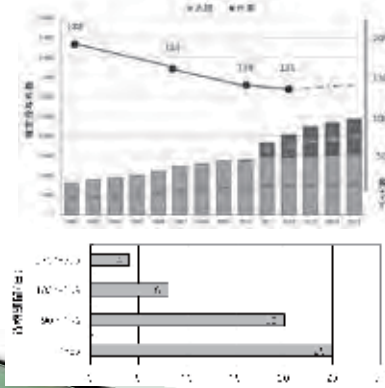
Adjuvant therapy (補助療法としての焼灼)

When RAI is intended for initial adjuvant therapy to treat suspected microscopic residual disease, administered activities above those used for remnant ablation (**up to 150 mCi**) are generally recommended (in absence of known distant metastases). It is uncertain whether routine use of higher administered activities (>150 mCi) in this setting will reduce structural disease recurrence for T3 and N1 disease.
(Weak recommendation, Low-quality evidence)

せめて100mCiは投与したい!

放射性ヨウ素治療患者数とベッド数の経年変化と待機期間

(核医学 54:579-586, 2017)



厚生労働科学研究費補助金「地域医療基盤研究推進研究事業」
「新たな治療手法に対応する医療放射線設備に関する研究」
(研究代表者：細野 真)

5年研究課題

「甲状腺癌の放射性ヨウ素（¹³¹I）内用療法：甲状腺全摘術後の残存甲状腺組織の焼灼（アブレーション）（1）～¹³¹I（1.110MBq/30mCi）を超える線量による外科治療における安全管理に関する研究～」報告

- | | | |
|-------|--------|---------------------------|
| 研究代表者 | 細野 真 | 近畿大学医学部放射線医学教室 |
| 研究協力者 | 横倉 洋輔 | 金沢大学医学部基礎研究域医学系核医学 |
| | 河原 光一郎 | 東京女子医科大学放射線科学・核医学講座 |
| | 池田 秀徳 | 一般社団法人日本核医学会 |
| | 金野 和子 | 東京女子医科大学病院放射線科・核医学科 |
| | 志賀 真 | 北海道大学大学院医学研究科放射線科学分野核医学教室 |
| | 棚田 徹悟 | 富士フイルム RII アフォーブ |
| | 東 雅博 | 富士フイルム RII アフォーブ |
| | 棚田 幸子 | 一般社団法人日本アイソトープ協会 |

揮散したヨウ素の除去



計算による介護者の被ばくの積算線量

$$X [\mu \text{ Sv/h}] \times (0.05 \times 7.3[\text{d}] + 0.95 \times 0.6[\text{d}]) \times 24[\text{h/d}] / (0.693 \times 1000[\mu \text{ Sv/mSv}]) \times 0.25 \times 1.045$$

$$\approx X [\mu \text{ Sv/h}] \times 0.0084 [\text{h} / \mu \text{ Sv} \cdot \text{mSv}]$$

$$= \text{_____} [\text{mSv}]$$

- ✓ X: 患者体表面から1mの点における線量率
- ✓ 頸部: 摂取率5%、実効半減期7.3日
- ✓ 頸部以外: 摂取率95%、実効半減期0.6日
- ✓ $\int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{\ln 2} = \frac{T}{0.693}$ (λ: 崩壊定数、T: 半減期)
- ✓ 介護者の被ばく係数: 0.25
- ✓ 吸入摂取による内部被ばく4.5%を考慮

介護者の被ばく積算線量 (ガラスバッジによる7日間の実測値)

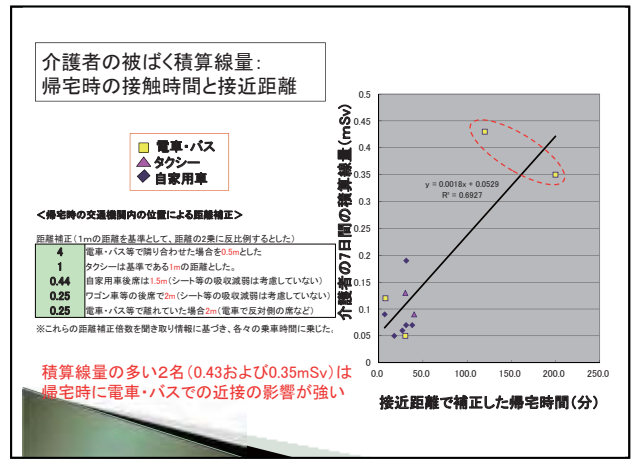
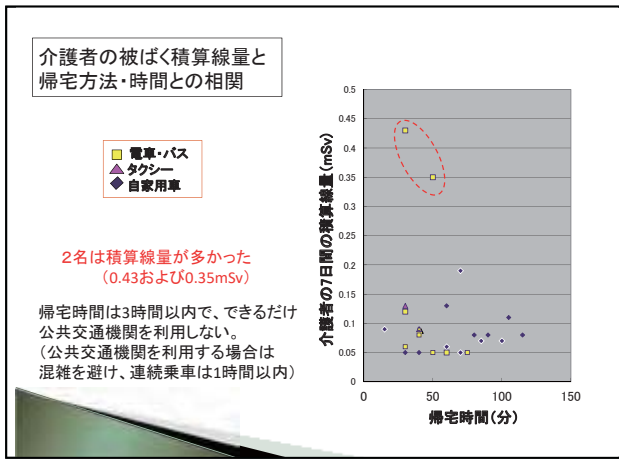
介護者積算線量
平均: 0.11mSv
最大: 0.43mSv

氏名	性別	年齢	職種	積算線量 (mSv)
山田 太郎	男	45	看護師	0.12
佐藤 花子	女	38	介護士	0.15
鈴木 健一	男	52	医師	0.18
高橋 美穂	女	41	看護師	0.21
田中 誠二	男	58	医師	0.25
渡辺 真理	女	35	看護師	0.28
松本 隆夫	男	60	医師	0.32
伊藤 由美	女	43	看護師	0.35
山崎 浩二	男	55	医師	0.38
佐々木 千恵	女	39	看護師	0.41
中村 健太	男	48	医師	0.43

患者体表面線量率から予測計算した介護者積算線量

0.52 mSv
0.46 mSv
0.97 mSv
0.80 mSv
介護者積算線量
平均: 0.54mSv
最大: 0.97mSv

0.34 mSv



結果

- 1) 実測値が計算上の被ばく積算線量を超えるものはなかった。
被ばく積算線量(実測) : 0.05~0.43mSv (m:0.11)
計算上の被ばく積算線量 : 0.25~0.97mSv (m:0.54)
- 2) 計算上の被ばく積算線量の大きかった症例
(0.8mSv以上:2例)は、いずれも実測では検出感度以下であり、退出時の線量率の影響は大きくないと考えられた。
- 3) 実測値の大きかった2例(0.3mSv以上:2例)はいずれも1-2日目の接触時間が長い介護者であった。

30mCi → 100mCi外来投与

- 1) 介護者の積算線量(線量限度5mSv/1件)
患者表面線量からの計算で平均0.54mSv(最高0.97)
→100mCi(3.33倍)でも平均1.80mSv(最高3.23)
30mCiの実測値から平均0.11mSv(最高0.43)
→100mCi(3.33倍)でも平均0.37mSv(最高1.43)
- 2) 一般公衆の被ばく線量(線量限度1mSv/年)
介護者の実測積算線量の最高値0.43mSvがすべて帰宅時の被ばくとすると、線量限度を越える(0.43×3.33=1.432)。
→「公共交通機関の利用を制限」
「行動制限の期間を延長」等の対策が必要。

計算による介護者の被ばくの積算線量

$$(a) \frac{[\mu\text{Sv/h}] \times (0.05 \times 7.3[\text{d}] + 0.95 \times 0.6[\text{d}]) \times 24[\text{h/d}]}{(0.693 \times 1000[\mu\text{Sv/mSv}]) \times 0.25 \times 1.045}$$

$$\approx (a) [\mu\text{Sv/h}] \times 0.0084 [\text{h}/\mu\text{Sv}\cdot\text{mSv}]$$

$$= \text{_____} [\text{mSv}]$$

5%は多い!?

(a): 患者体表面から1mの点における線量率
頸部: 摂取率5%、実効半減期7.3日
頸部以外: 摂取率95%、実効半減期0.6日
介護者の被ばく係数: 0.25
吸入摂取による内部被ばく4.5%を考慮

小括

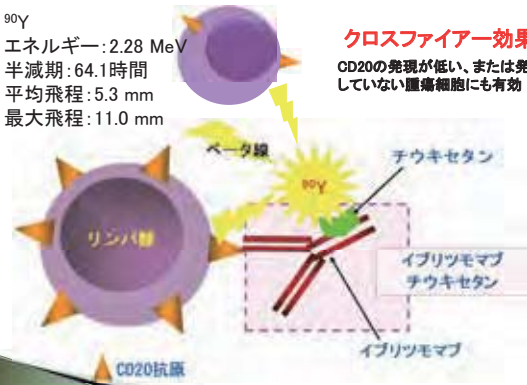
- 分化型甲状腺癌に対するアブレーション治療は標準治療
- アブレーションには、残存甲状腺の破壊(remnant ablation)と補助療法(adjutant therapy)の2つの意味
- 補助療法のためにはせめて100mCi投与が必要
- 頸部のヨウ素摂取率は多くて3%強
- 3%であれば、一般公衆の被ばく1mSv/年、介護者の被ばく<5mSv/件を超えずにアブレーション治療を施行可能
- 2019年度には外来100mCi実施へ!

CD20陽性の再発又は難治性悪性リンパ腫に対するイットリウム治療(ゼヴァリン治療)

24

^{90}Y
 エネルギー: 2.28 MeV
 半減期: 64.1時間
 平均飛程: 5.3 mm
 最大飛程: 11.0 mm

クロスファイアー効果
 CD20の発現が低い、または発現していない腫瘍細胞にも有効



25

ゼヴァリン治療の適応

[適応]

CD20陽性の再発又は難治性の下記疾患
 [低悪性度B細胞性非ホジキンリンパ腫]
 [マントル細胞リンパ腫]

[重要な基本的注意]

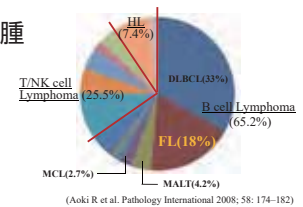
イットリウム(^{90}Y)イブリツモマブ チウキセタン(遺伝子組み換え)注射後の再投与の有効性及び安全性は確認されていないので、患者の前治療の内容を十分に確認し、投与経験を有する患者に対して再投与しないこと。



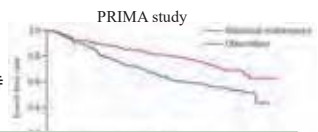
ヒト抗マウス抗体 (HAMA)

低悪性度リンパ腫

- 初発時進行例が多い。
- 化学療法は奏効するが再燃を繰り返す。生存期間を延長しないとされてきた。



- watchful wait
- 治療開始基準
 BNLI (British National Lymphoma Investigation)
 GELF (Groupe d'Etude des Lymphomes Folliculaires)
 GLSG (German Low-Grade Lymphoma Study Group)
- PRIMA以降、リツキサン維持療法が一般的?

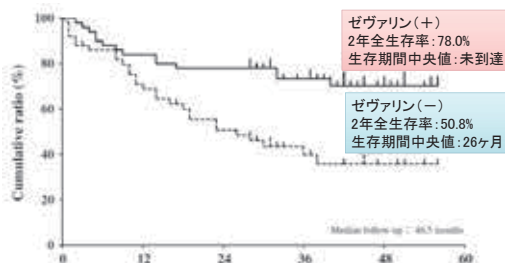


依然、標準的治療が無いのが現状

months
 (Salles G et al. Lancet 2011;377:42-51)
 27

九州がんセンターでの94例の解析

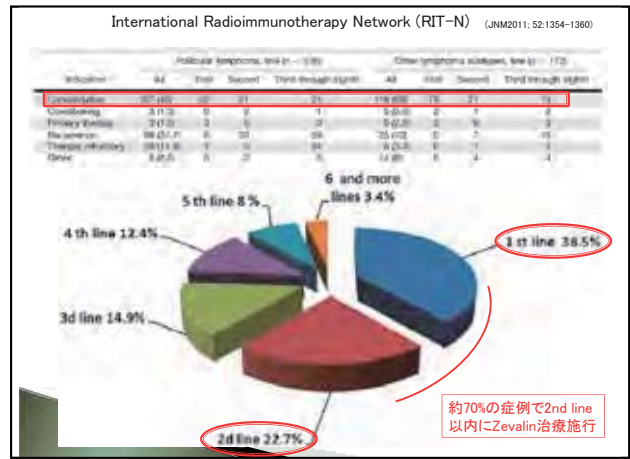
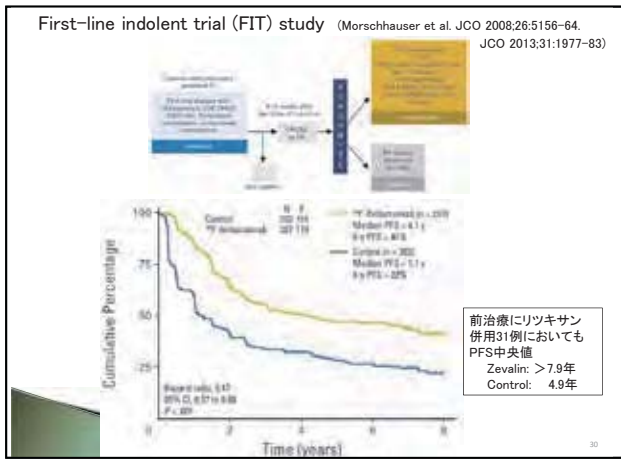
(Uike et al. Int J Hematol 2014;100:386-392)



どんな患者さんに効くか?

Multivariate analysis	HR	95%CI	p
Stage just before RIT: I/II vs. III/IV	2.903	1.251-6.733	0.0130
Numbers of prior treatment regimens: <2 vs. ≥3	0.224	0.091-0.551	0.0011
Response: CR vs. non-CR	5.958	2.458-14.444	<0.0001





小 括

- ✓Zevalin治療の効果が期待できる患者
 - 病初期
 - 前治療回数が少ない
 - 腫瘍径が小さい
- ✓Zevalin治療でCRを得ることができれば、寛解を長く保つことができる。
- ✓有害事象の発生が少なく、高齢者でも使用可能。
- ✓地固め療法の保険適応へ。

²²³Raによる骨転移治療

The randomized phase III trial Alphasradin in Symptomatic Prostate Cancer (ALSYMPCA)

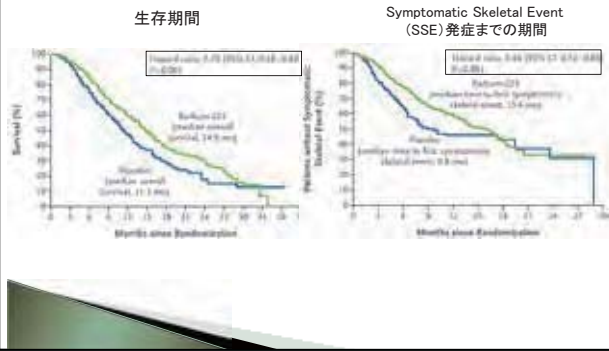
(N Eng J Med 2013; 369: 213-23)

- 19カ国、136施設で実施。
- 登録期間: 2008年6月~2011年2月
- フォローアップ期間: 3年間
- 主要評価項目: OS

症候性CRPC	層別化因子	無作為化	塩化ラジウム-223 (n = 614)	プラセボ (n = 307)
<ul style="list-style-type: none"> • 2カ所以上の骨転移 • 内臓転移がない • ドセタキセル既治療不適格、あるいはドセタキセルを希望しない 	<ul style="list-style-type: none"> • ALP (U/L): <20 vs ≥20 • ビスホスホネート: 投与あり vs なし • ドセタキセル: 投与あり vs なし 	→	<ul style="list-style-type: none"> • 55 kBq/kg IV 4週毎 6回投与 • + Best Standard of Care 	<ul style="list-style-type: none"> • 生理食塩水 IV 4週毎 6回投与 • + Best Standard of Care

Best Standard of Care: Local EBRT, 副腎皮質ステロイド, 抗アンドロゲン剤, エストロゲン, エストラムスタン, ケトコナゾール等

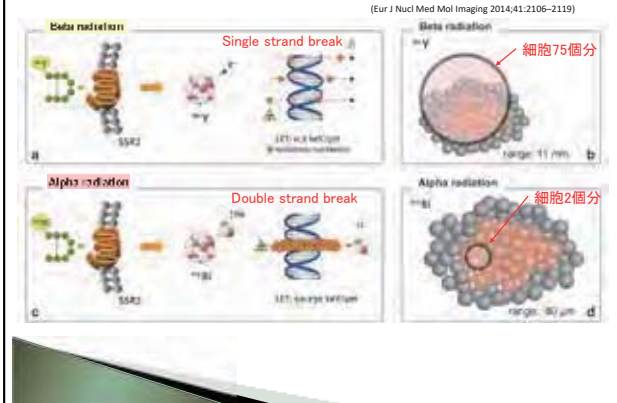
生存期間と症候性骨関連事象発生までの期間



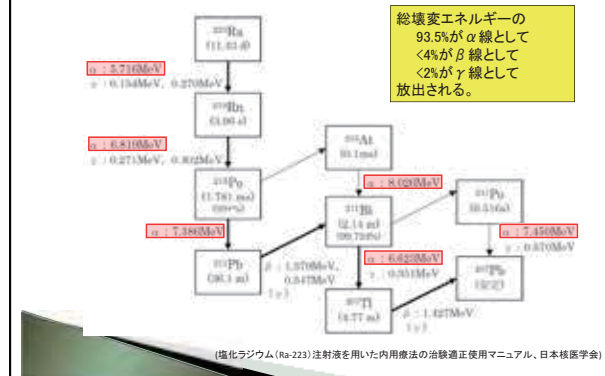
α線(放出核種)の特徴

- 飛程が短い
50-80 μm; 正常組織への被ばくが少ない
- 高LET(Linear Energy Transfer)
50-110 keV/μm; RBE(Relative Biological Effectiveness)が高い
- 複数の壊変を行う

β線とα線の違い



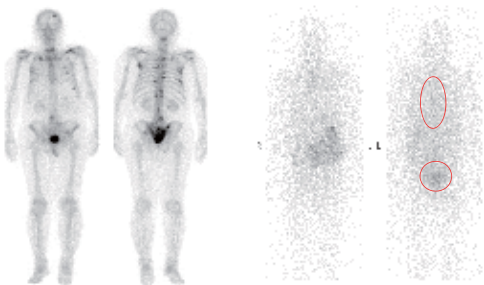
アクチニウム(4n+3)系列



70才代 男性

治療前骨シンチグラフィ

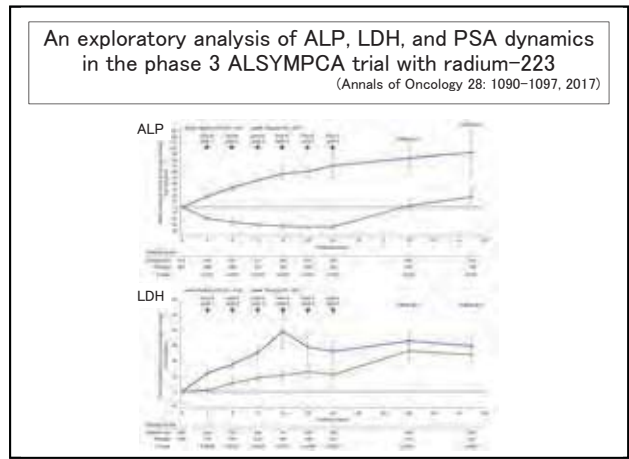
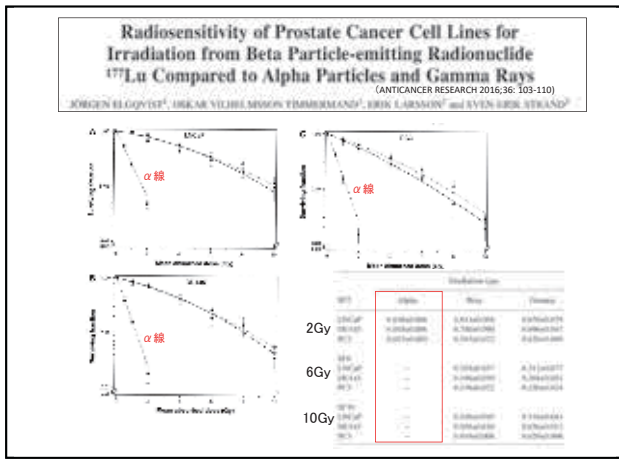
初回Xofigo



エビデンスレベルでのα線とβ線による骨転移治療の比較

放射性核種	放射線	生存率	疼痛緩和	QOL改善	有害事象
Ra-223	α線	3.6ヶ月延長	+	+	6%の患者で、骨髄抑制、血小板減少
Sm-153	β線	NA	+	NA	20-40%の患者に、用量制限毒性として骨髄抑制、血小板減少
Sr-89	β線	NA	+	NA	25-80%の患者に、用量制限毒性として骨髄抑制、血小板減少

(2014 ASCO EDUCATIONAL BOOKより改変)



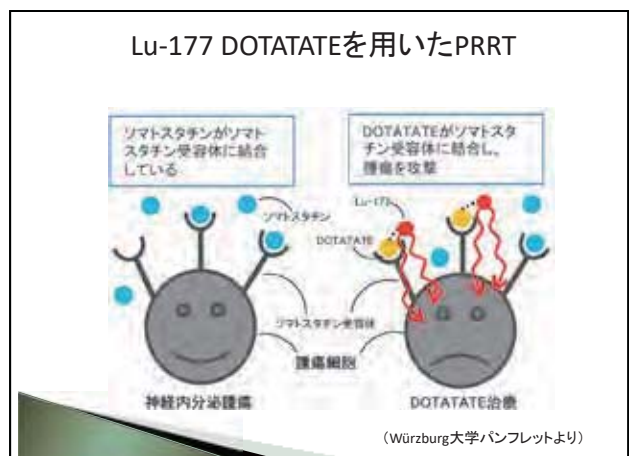
- ### 小 括
- ALSYMPCA試験では、Xofigoがcontrolに比べてSSE発現までの期間および生存期間を有意に延長した
 - 有害事象は軽微
 - 生存期間延長のメカニズムは不明
 - 治療効果判定の指標としてALPの有用性が示唆されたが、骨シンチやFDG-PETなどの画像を含めさらなる検討が必要

これからの核医学治療

PRRT (Peptide Receptor Radionuclide Therapy)


一画によると... (100個以上) **ペプチド** (2-数10個) **アミノ酸**

タンパク質を構成するアミノ酸 (20種)
 バリン、ロイシン、イソロイシン、アラニン、アルギニン、グルタミン、リジン、アスパラギン酸、グルタミン酸、プロリン、システイン、スレオニン、メチオニン、ヒスチジン、フェニルアラニン、チロシン、トリプトファン、アスパラギン、グリシン、セリン

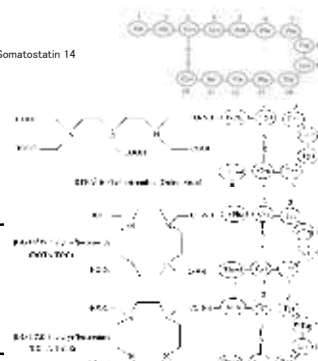


Somatostatin analogs


(Source: Gaenssler, 2010; 50:740-747)



In-111標識で
診断に用いる



Somatostatin 14

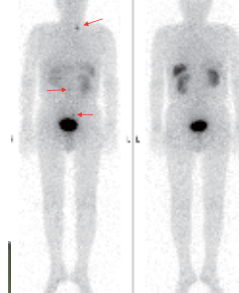


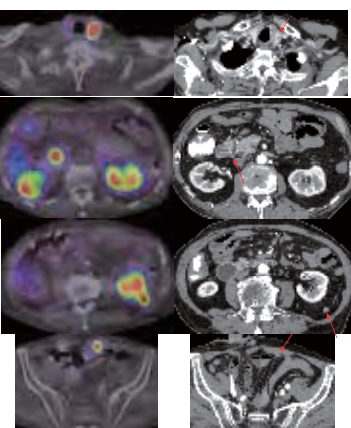
Ga-68標識で
診断、Lu-177
あるいはY-90
標識で治療に
用いる。

(Theranostics 2012; 2:481-501)

オクトレオスキャンシンチ (インジウムペンテトレオチド(¹¹¹In))

80歳代、男性
肝NEC(13cm)に対し肝切除後
直腸NET(2.3cm)、LN転移手術






NETTER-1

[対象] 手術適応のない進行性のSSR陽性の中腸NET患者(grade 1 or 2)
[方法] Lutathera (¹⁷⁷Lu-DOTATATE) vs Sandostatin LAR (Octreotide LAR)
[Primary end point] PFS

41 centers in 8 countries

TREATMENT AND ASSESSMENTS



PROGRESSION FREE SURVIVAL IS RECIST EVERY 12 WEEKS

(http://www.adcap.com/netter-1/)

Phase 3 trial of ¹⁷⁷Lu-Dotatate for midgut neuroendocrine tumors

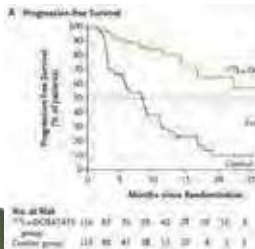
(Strosberg J et al. N Engl J Med 2017;376:125-35)

20ヶ月でのPFS
Lu-177: 65.2% (CI, 50.0-76.8)
Control: 10.8% (CI, 3.5-23.0)

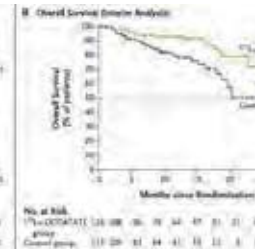
PFS中央値
Lu-177: 未到達
Control: 8.4ヶ月 (CI, 5.8-9.1)

死亡
Lu-177: 14例
Control: 26例

Lu-177で60%死亡率低下
(HR: 0.40, p=0.004)



A Progression-Free Survival



B Overall Survival (Intent-to-Treat)

²¹³Bi-DOTATOC receptor-targeted alpha-radionuclide therapy induces remission in neuroendocrine tumours refractory to beta radiation: a first-in-human experience

C. Krauss et al., Eur J Nucl Med Mol Imaging 2014; 41:2106-2119

Patient	Gender	Therapy	Dose (mCi)	²¹³ Bi-DOTATOC		²¹³ Bi-DOTATOC		Response (RECIST)	Status of follow-up
				Activity (mCi)	Activity (mCi)	Activity (mCi)	Activity (mCi)		
1	M	Carotid paraganglioma	1.8	1.8	1.8	1.8	CR	Alive	
2	F	Small intestine neuroendocrine tumour	1.8	1.8	1.8	1.8	CR	Alive	
3	F	Small intestine neuroendocrine tumour	1.8	1.8	1.8	1.8	CR	Alive	
4	M	Small intestine neuroendocrine tumour	1.8	1.8	1.8	1.8	CR	Alive	
5	F	Small intestine neuroendocrine tumour	1.8	1.8	1.8	1.8	CR	Alive	
6	M	Small intestine neuroendocrine tumour	1.8	1.8	1.8	1.8	CR	Alive	
7	F	Small intestine neuroendocrine tumour	1.8	1.8	1.8	1.8	CR	Alive	
8	M	Small intestine neuroendocrine tumour	1.8	1.8	1.8	1.8	CR	Alive	



a



b



c



d



e



f

Fig. 1. Patient 1 (male, 68 years old) with a 1.8-cm ²¹³Bi-DOTATOC-avid neuroendocrine tumour (NET) in the small intestine. PET/CT (a) shows uptake of ²¹³Bi-DOTATOC in the tumour. Axial (b) and coronal (c) CT images show the anatomical location of the tumour. PET/CT (d) shows uptake of ²¹³Bi-DOTATOC in the tumour. Axial (e) and coronal (f) CT images show the anatomical location of the tumour.

First Experience with SPECT/CT Using a ^{99m}Tc-Labeled Inhibitor for Prostate-Specific Membrane Antigen (PSMA) in Patients with Biochemical Recurrence of Prostate Cancer
 J Reinfelder, M Beck, P Goebell, P Ritt, J Sanders, T Kuwert, B Wullich, D Schmidt; University of Erlangen
 (404 SNMMI2015 Presentation)

# Cases Studied	% Cases Reported to be PSMA Positive	Reference
271	98%	Wright et al
184	100%	Stohrke et al
51	94%	Hanneman et al
42	88%	Kubota et al
21	100%	Almouzni et al
909	99.8%	Liotta et al

The diagnostic value of PET/CT imaging with the ⁶⁸Ga-labelled PSMA ligand HBED-CC in the diagnosis of recurrent prostate cancer
 (Eur J Nucl Med Mol Imaging 2015;42:197-20)

Ali Akbar-Ossaydi · Elmi Ardi · Friedrich L. Giesel · Tim Hoffend-Latz · Heiko G. Lohr · Matthias Eder · Michael Eisenhut · Silvio Bode · Boris A. Haidich · Christian Kratochwil · Wilko Weichert · Klaus Kopka · Jürgen Pösch · Uwe Haberkorn

Lu-177 PSMA-617治療
 (J Nucl Med 2017; 58:85-90)

全経過中のPSAの95例の症例毎の変化

Patient A

- Leuprolide
- Zoledronic acid
- Docetaxel (16 cycles)
- Chemotherapy/resection in hypernatremia
- Apixastatin
- Erythropoietin
- Enzalutamide
- Enzalutamide (not tolerated)

Patient B

- Medical prostatectomy
- Radiotherapy of lymph node metastases
- Leuprolide
- Leuprolide plus testosterone, 150 mg/d
- Docetaxel (11 cycles)
- Caspitakin (10 cycles)
- Apixastatin
- Enzalutamide (not tolerated)

The Image of the years in SNMMI

2009年 Toronto: ¹³¹I-tositumomab (Bexxar), ⁹⁰Y-ibritumomab (Zevalin)

2012年 Miami beach: Bi-213 DOTATOC治療効果をGa-68 DOTATOCで評価

2013年 Vancouver: Lu-177 PSMA-617治療効果をGa-68 PSMA-617で評価

2015年 Baltimore

Theranostics

Imaging (Diagnosis) ↔ Radionuclide therapy (Therapeutics)

明日への人材を育てる企業一覧

<敬称略・五十音順>

広告協賛企業

- ・ 安西メディカル株式会社
- ・ キヤノンメディカルシステムズ株式会社
- ・ 東芝エネルギーシステムズ株式会社
- ・ 東洋メディック株式会社
- ・ 株式会社日立製作所
- ・ ブレインラボ株式会社
- ・ ユーロメディテック株式会社

寄附金協賛企業

- ・ 大阪重粒子線施設管理株式会社

技術、^な生る、^め愛づる

時間効率を優先とする呼吸性移動対策として、
呼吸同期システムAZ-733VI with ABLE(エイブル)
をお奨めいたします。



呼吸同期システムAZ-733VI with ABLEは、呼吸同期システムAZ-733VIの呼吸センサーから得られた呼吸波形情報をBluetooth通信によりABLEに転送します。ABLEには、患者様自身の呼吸情報が表示されるため「患者様自身が参加する(がん)治療」の実現が可能となります。



呼吸同期システムAZ-733VI(標準構成)



ABLE(タブレットと専用ゴーグル)

コンパクト陽子線治療システム



PROTEUS® ONE

THINK BIG, SCALE SMART



医療機器承認番号：22800BZX00441000

Compact

患者様へのアクセスが容易な
オープンガントリと小型化した加速器

IMPT

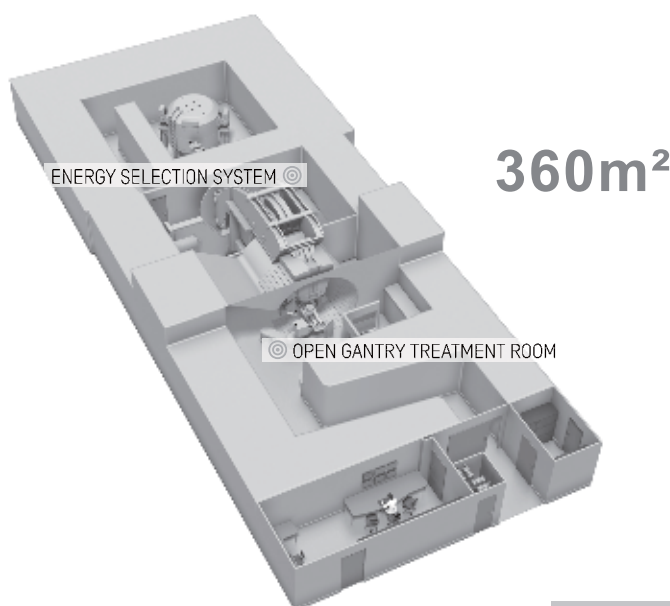
最新のスキャニング技術によって
腫瘍への線量集中と正常組織への線量低減

Easy Workflow

LINACと同じワークフローで治療が可能

User Network

世界中のユーザーネットワークにより
最先端の治療技術を共有



360m²

PROTECT +
ENHANCE +
SAVE LIVES

* Proteus®ONE is the brand name of a configuration of the Proteus®235 in the US and Europe and a certified product in Japan.

IBA社 正規販売・代理店

キヤノンメディカルシステムズ株式会社 <https://jp.medical.canon>

東芝メディカルシステムズ株式会社は、2018年1月に「キヤノンメディカルシステムズ株式会社」へ社名変更いたしました。

Made For life

TOSHIBA



Pursuing New Possibilities

長年培った先進技術で
重粒子線がん治療に貢献します

医療機器承認番号：22700BZX00391000 販売名：東芝粒子線治療装置 CI-1000 | 医療機器承認番号：22800BZX00096000 販売名：重粒子線治療装置 CI-1000S

東芝エネルギーシステムズ株式会社

原子力営業第三部 粒子線治療システム担当 ☎044-331-0556 https://www.toshiba-energy.com/heavy-ion/index_j.htm

PerFRACTION

2D&3D

患者QAソフトウェア

放射線治療において、毎回の分割照射がプラン通りに行われたかを確認できることが理想的ですが、取り扱うデータ量が膨大になるため、実現は困難でした。PerFRACTIONはそうした課題に対して、新しいソリューションを提供するソフトウェアです。



- 撮影後のEPID画像の取得と解析を自動で実行
- SNCサーバにインストールされており、ウェブベースのソフトウェアのため、ネットワーク接続されたどのPCからも閲覧可能
- 事前検証と治療ビーム検証を実施
- EPIDで測定を行うQAソリューションは、独立性とエラー検知精度が向上

For All Your Tomorrows
TOYO MEDIC<http://www.toyo-medice.co.jp/> E-mail info@toyo-medice.co.jp

東洋メディック株式会社

本社：〒162-0813 東京都新宿区東五軒町2-13
TEL. (03) 3268-0021 (代表) FAX (03) 3268-0264
大阪支店：〒550-0002 大阪府大阪市西区江戸堀1-25-7
TEL. (06) 6441-5741 (代表) FAX (06) 6441-5745
福岡支店：〒812-0007 福岡県福岡市博多区東比恵2-2-40
TEL. (092) 482-2022 (代表) FAX (092) 482-2027
支店・営業所：名古屋・札幌・新潟・仙台・岡山

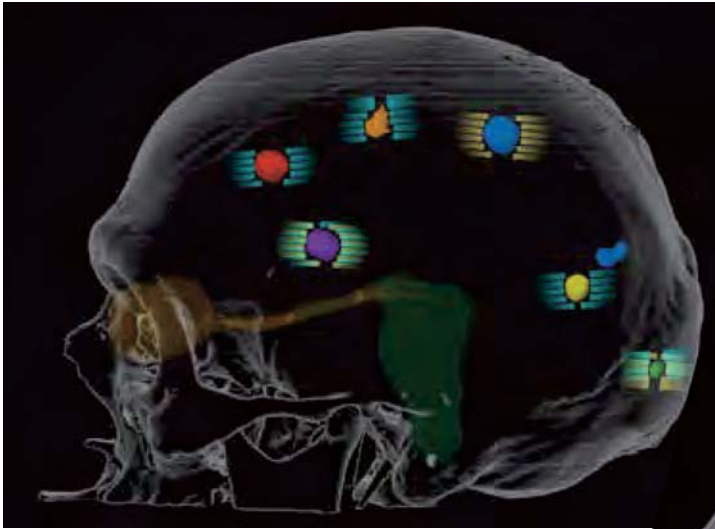
HITACHI
Inspire the Next

PARTICLE BEAM THERAPY SYSTEM



**Innovating Healthcare,
Embracing the Future**

 **Hitachi, Ltd.**
www.hitachi.com/healthcare



ELEMENTS MULTIPLE BRAIN METS SRS

EFFICIENT TREATMENT
OF MULTIPLE TARGETS



多発性転移性脳腫瘍治療専用 治療計画ソフトウェア

Multiple Brain Mets SRS

製造販売元

ブレインラボ株式会社

〒108-0023 東京都港区芝浦 3-2-16 田町イーストビル 2F
TEL. 03-3769-6900 FAX. 03-3769-6901 jp_sales@brainlab.com
brainlab.com/ja/

製品の仕様は予告なく変更されることがあります。
販売名: iPlanステーション 医療機器承認番号: 22000BZX01548000
iPlan RT 放射線治療計画装置 医薬品医療機器等法の経過措置品
エレメント 医薬品医療機器等法の経過措置品



✓ 自社Golden Beam Data搭載システムによりビームデータ測定の必要なし※
 ※Varian社, Elekta社, Siemens社製リニアック, TomoTherapy データ編集も可能

✓ 線量計算アルゴリズムにCollapsed Cone Convolution Superpositionを採用
 ・高精度線量計算アルゴリズムによる確かな検証結果
 ・GPU並列処理による高速線量計算

✓ 患者DICOMデータ転送後はすべて自動処理
 ・全フラクションのLog-fileやCBCT画像を自動取得・自動解析
 ・院内のどこからでもブラウザを通して結果の確認が可能

✓ すべてのLog-file情報を使用する唯一の線量検証システム
 ・EPIDより高解像度にメカニカルエラーを検出
 ・米国を中心に300以上の施設(1日あたり1万件以上)で臨床使用中

Hardware-Based	MobiusFX
30-90 Minutes Per Patient	1-5 Minutes Per Patient
Homogeneous Plastic Phantom	Heterogeneous Patient CT
2D Planar Dose Evaluation	3D Volumetric Dose Evaluation
Low-Res Arrays (~7mm)	High-Res MLC Log Data (~0.1mm)
Manual Import of TPS Dose	Automatically Imports TPS Dose
No Segregation of Error Sources	Calculation vs. Delivery Error
Pre-Treatment Only	Pre-Treatment & Every Fraction



Adaptive Radiation Therapyで必須となる
 次世代線量検証ソフトウェア線量検証を実現した
 Only One線量検証ソフトウェア(システム)



< 本社 > 〒141-0022 東京都品川区東五反田2-20-4 NMF高輪ビル
 TEL; 03-5449-7585 FAX; 03-5449-0234
 < 大阪支店 > 〒530-0041 大阪市北区天神橋1-15-7 クリスタルビル
 TEL; 06-4800-3060 FAX; 06-4800-3061
 URL <http://www.euro-meditec.co.jp/>

「平成30年度放射線医学オープンスクール報告書 ～最先端技術にふれる～」

発行：公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団

103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町 7-16 ニッケイビル 5 階

TEL 03(5645)2230 FAX03(3660)0200

HP： <http://www.antm.or.jp/>

E-mail： info@antm.or.jp