

核データ部会、加速器・ビーム科学部会合同セッション [「シグマ」特別専門委員会共催]

小型加速器中性子源と核データのニーズ

Compact Accelerator Neutron Source and Nuclear Data Needs

(3) 医療応用を中心とした小型加速器の産業応用と核データ

(3) Industrial applications (mainly medical) of small accelerators and nuclear data for those applications

*田所 孝広

日立製作所 研究開発グループ

1. はじめに

加速器は、電子線あるいはイオンビームの発生を電源のON/OFFにより容易に制御できること、及び、各種小型加速器が開発されていることから、様々な産業分野で活用されている。日立では、これまで医療応用を中心とした小型加速器の産業応用に関する検討を進めており、本講演ではその内容を報告する。検討においては、実験とシミュレーションが必須であり、各種核データは重要である。

2. 小型電子線形加速器利用医療用核種製造システムの検討

診断用核種として広く使用されているテクネチウム 99m(Tc-99m)は、親核のモリブデン 99(Mo-99)からの分離精製により製造されているが、現在、Mo-99の9割以上は、世界に6カ所ある研究用原子炉で製造されており、日本は、その100%を輸入に依存している。また、海外研究炉のうち3カ所が建設から50年以上、2カ所が40年以上経っており、近年、老朽化が問題となっている。上記状況を受け、各種小型加速器を用いたMo-99の製造システムが検討されている。

日立では、京都大学と協力して、小型で低製造コストが期待される電子線形加速器を用いたMo-99/Tc-99mの製造システムについて検討を進めている。

図1に光子と原子核の反応を示す[1]。比較的低エネルギーの光子において、巨大共鳴領域と呼ばれる反応断面積が大きい領域があり、核種製造反応として利用可能である。電子線形加速器を利用したMo-99の製造には、電子が重い元素に衝突した時に生成する制動放射線とMo-100との反応であるMo-100(γ, n)Mo-99を用いる。図2に、Mo-99/Tc-99m製造量の評価結果の一例を示す。加速エネルギー35MeV、加速電流値1mAのシステムにおいて、1340GBqのMo-99を製造でき、3システムで国内需要を賄うことが可能である。原料であるMo-100の部分进行他の元素に交換することで、他の医療用核種の製造が可能となり、システムの付加価値が向上すると考えている。今までに、診断と治療を同時に可能な銅67(Cu-67)、PET診断用核種としてのゲルマニウム68/ガリウム68(Ge-68/Ga-68)等の医療用核種に関して、実験とシミュレーションを合わせた製造量評価を進めている[2]。

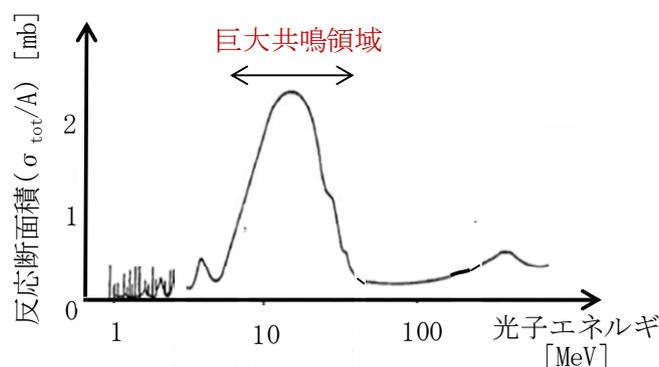


図1 光子と原子核との反応

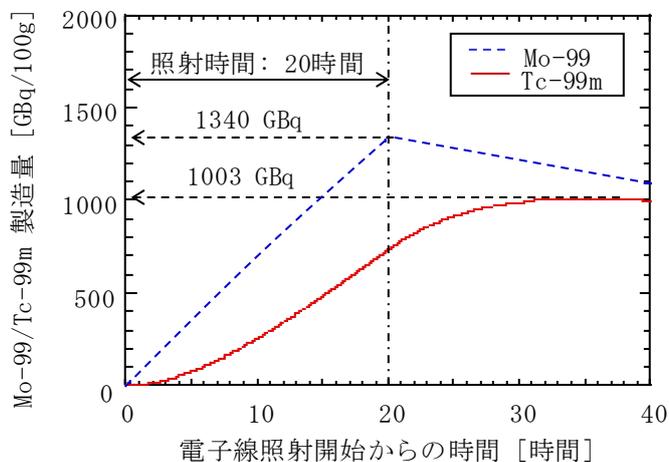


図2 Mo-99/Tc-99m製造量評価結果の一例

3. 小型陽子線形加速器のホウ素中性子捕捉療法(BNCT)への適用

小型加速器中性子源の有力な応用先に、ガン治療法である BNCT がある。BNCT は、悪性腫瘍に選択的に集積したホウ素化合物に中性子を照射し、ホウ素と中性子との核反応で生成する α 線とリチウムによって細胞レベルで悪性腫瘍を死滅させる治療法である。従来原子炉中性子源が必要であったため一般的な治療法ではなかったが、病院に設置可能なサイクロトロンを利用した装置が開発されており、近年、治療適用の広がりを見せている。現在 BNCT においては、ホウ素薬剤であるパラボロノフェニールアラニン(BPA)に陽電子放出核種である F-18 を付加した薬剤(F-18-BPA)を用いて、PET によるホウ素薬剤濃度の患部への集積特性を事前に評価し、患者が BNCT に適しているかどうかを判定している。そこで、PET 用放射性核種製造と BNCT 用中性子発生との共用が可能なシステムであればメリットが大きいと考え、PET 用薬剤製造に適した比較的低エネルギーである 11MeV の陽子線形加速器の BNCT への適用を検討した[3]。図 3 にシステムの一部を示す。中性子発生用ターゲットとしてベリリウム 9(Be-9)を用いることで、3mA の加速電流値において、原子炉中性子源と同等の治療が可能である。

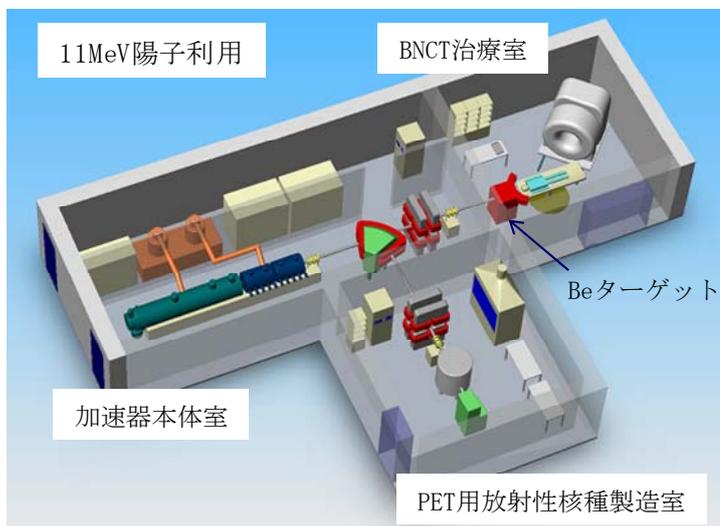


図3 小型陽子線形加速器を用いたシステムの一部

4. 中性子発生管の産業応用

中性子発生管は、トリチウム(T)と重陽子(D)、または、重陽子(D)と重陽子(D)との核融合反応によって中性子を発生させる装置であり、海外では、主に油田探査用として使用されている。小型で安価であることから、様々な産業応用が考えられ、日立では、今まで、化学プラントの外表面腐食検査用水分計や、危険物検知装置への適用を検討している。

4-1. 中性子水分計

化学プラントの塔(反応塔、蒸留塔、抽出塔等)及び配管類は、省エネルギー対策のために保温材で断熱されている。屋外設備のため、保温材の表面は亜鉛メッキ鋼等でカバーされているが、一部隙間からの雨水侵入等により保温材下の等及び配管材の外表面腐食が進行する。そこで、直接外部から錆の状態を調べるため点検と補修作業を計画的に実施し、設備の安全確保に努めている。しかし、カバー及び保温材の撤去作業が必要であり、検査補修に関する費用が大きい。また、検査補修時間も長くなってしまふことから、プラント稼働状態での非破壊診断技術の開発が望まれている。外表面腐食は、塔及び配管材外表面とカバー間の保温材部分に水分が無いところでは起こっていないことから、プラント稼働

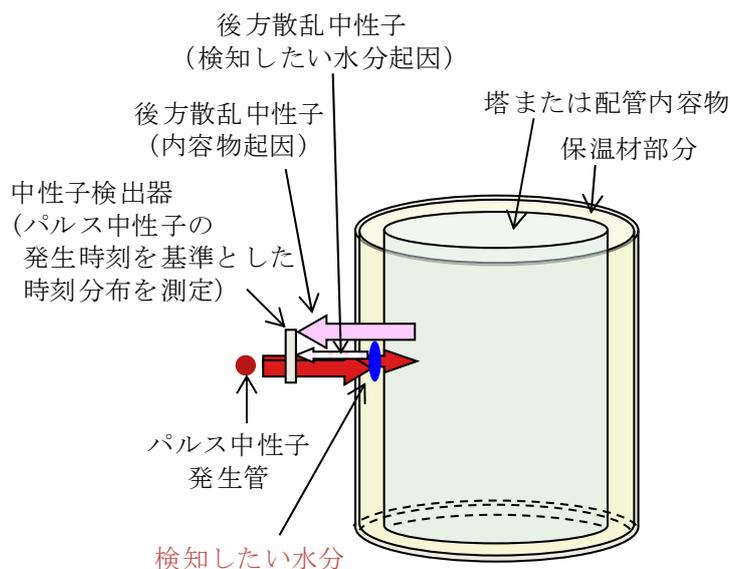


図4 パルス中性子発生管を用いた水分検知の概要

状態でこれらの水分を非破壊で検知できれば、点検補修に関する費用を大幅に低減できる。しかし、プラント稼働中は、塔及び配管内容物からのバックグラウンドが大きという課題があった。その解決法の一つとして、日立パワーソリューションズと協力して、パルス中性子発生管の適用を検討してきた。図4にパルス中性子発生管を用いた水分検知の概要を示す。パルス中性子発生時刻を基準とする後方散乱中性子の時刻分布を測定することで、検知したい水分起因の後方散乱中性子に対する内容物起因の中性子の割合を低減させることができ、水分検知性能を向上させることが可能である[4]。

4-2. 危険物検知

爆発物、薬物等の危険物は、荷物などに隠ぺいされて運搬されることが多いことから、その検知のための各種手法が開発されており、荷物を開けずに検査する手法として、X線透過及びCT装置が空港及び税関等に導入されている。中性子は、透過能力が高い、元素分析が可能という性質をもっていることから、熱中性子放射化法、高速中性子放射化法等の様々な検知法が研究開発されている。日立では、元素の種類と位置を同定可能な随伴粒子イメージング(API)法を適用した爆発物の検知装置を開発してきた。

図5に試作API装置の概要を示す。DT核融合反応において生成する α 線と高速中性子が180度方向に飛行することを利用し、 α 線と同時に生成する中性子と元素との反応で発生した即発 γ 線を同時計測する方法である。試作装置を用いて性能評価した結果、爆発物検知に必要な炭素、酸素及び窒素計測のS/Nが、 γ 線計測のみと比較して40倍以上となることを確認している。

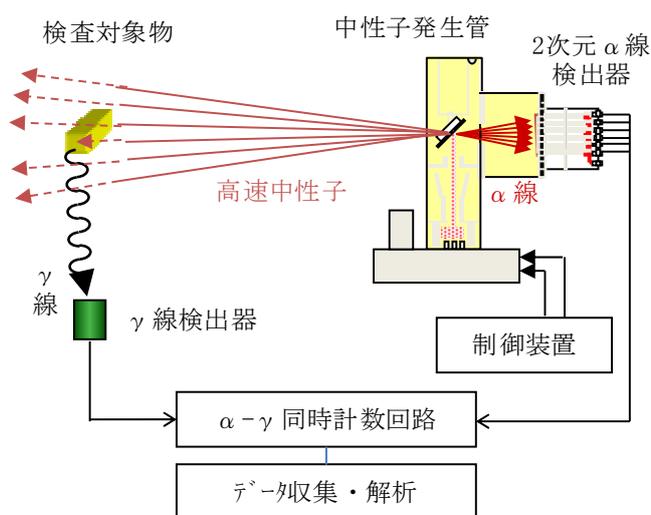


図5 試作API装置の概要

5. おわりに

本講演において、医療応用を中心とした小型加速器の産業応用に関する検討内容を紹介した。それぞれ実用化には課題が多いが、今後も、小型加速器の産業応用の検討を進めて行く予定である。

参考文献

- [1] F. Jallu, et al. Photoneutron production in tungsten, praseodymium, copper and beryllium by using high energy electron linear accelerator. Nucl Instr Meth. 1999;B155:373-381.
- [2] T. Tadokoro, et al. Examination of a Ge-68/Ga-68 production amount in a medical radionuclides production system using an electron linear accelerator. Atomic Energy Society of Japan, 2017 Fall meeting.
- [3] T. Tadokoro, et al. Feasibility study on a common use accelerator system of neutron production for BNCT and radionuclide production for PET. Proc ICNCT-12. 2006;304-307.
- [4] T. Tadokoro, et al. Development of a neutron moisture meter for moisture under heat insulation of tower and pipe (2) Basic study for a moisture meter using time measurement methods. Atomic Energy Society of Japan, 2009 Fall meeting.

*Takahiro Tadokoro

Hitachi, Ltd. Research & Development Group.