

## 研究レポート

## 小型RFQ線形加速器のビーム加速試験に成功 普及型重粒子線がん治療装置実現に大きく前進

放医研、重粒子医科学センター加速器物理工学部の山田 聡部長らの研究チームは、平成16年度から2ヶ年計画で重粒子線がん治療の普及に向けた医療用重イオン加速器の小型化に関する研究、ならびに普及型重粒子線がん治療装置の全体設計を進めているが、このほど、重粒子線がん治療装置(HIMAC)の小型化のキーとなる高効率小型入射器「小型RFQ線形加速器」のビーム加速試験に成功しました。

### ■ 研究の経緯

重粒子線がん治療装置(HIMAC)の加速器は、入射器と主加速器に大別され、そのうち入射器はイオンを生成するイオン源と予備的な加速を行う線形加速器からなっているが、現在のHIMACでは線形加速器の全長が32mを超えるため極めて大型です。入射器の小型化に関する研究はがん治療装置施設全体の小型化、さらには重粒子線がん治療の普及を図る上で大変重要な位置を占めることから、全体設計上の重点課題として取り組んできました。新しく開発された高効率小型入射器は、32mを越す現装置の線形加速器を6mに小型化するばかりでなく、高価な装置である高周波増幅機器の削減や根本的な省電力設計などにより、大幅なコスト削減を可能となります。

今回の成果は、16年3月に開発成功した「永久磁石型ECRイオン源」と併せて普及型重粒子線がん治療装置の開発を大きく前進させるものであり、別途基本開発を完了し製作を進めている世界初の[APF収束\\*IH型DTL\\*](#)(ドリフトチューブ線形加速器)との組合せによって、平成17年度には高効率小型入射器のビーム総合試験を実施する予定です。

### ■ 高効率小型入射器の開発

現在、開発を進めている高効率小型入射器は[小型Electron Cyclotron Resonance\(ECR\)イオン源\\*](#)と[Radio Frequency Quadrupole\(RFQ\)線形加速器\\*](#)、Interdigital H-mode型ドリフトチューブ線形加速器([IH型DTL\\*](#))により構成されております。まず、すでに開発した小型ECRイオン源は、必要な磁場をすべて永久磁石で形成している点に大きな特徴があります。これにより従来のイオン源に組み込まれていた電磁石や大型電源が不要となり、大幅な小型化および低コスト化が可能となりました。また電磁石を用いたイオン源では、電磁石による発熱を抑えるための冷却水を循環させる冷却機構が必要だったが、永久磁石を用いることで冷却の必要がなくなり、取り扱いや保守性の点でも多くの利点を持っています。

初段のRFQ線形加速器は全長2.5 m、直径0.4 mの共振器と高周波増幅器により構成されます([図-1参照](#))。

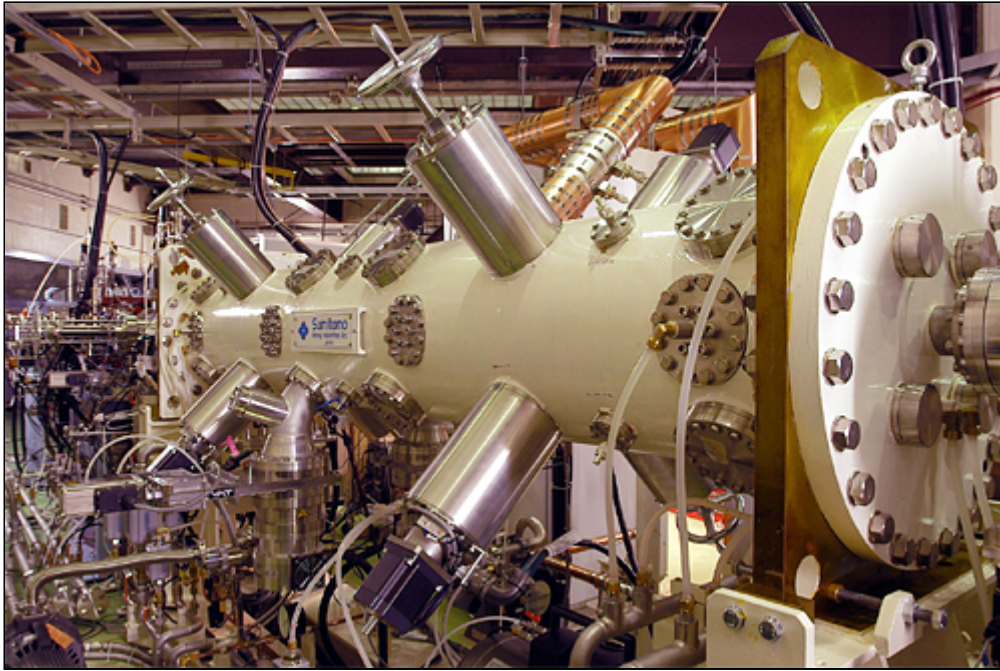


図-1 今回、開発したRFQ線形加速器共振器のサイズは全長2.5 m,直径0.4mと大幅な小型化を実現

共振器長はHIMACで用いられているRFQ線形加速器と比較して約1/3と大幅に小型化が実現され、所要高周波電力も100kWと大幅な省電力設計となっています。ここでは共振器の周波数を200 MHzとし、治療に必要な炭素イオンの加速に最適化したことで小型化および省電力化を実現しました。

後段のIH型DTLには200 MHzの周波数を持つIH型共振器を利用した線形加速器を採用しました。IH型DTLの原理は1950年代に発明され、高効率な線形加速器として知られてきましたが、同DTLはIH型共振器内に発生する電圧分布が共振器全体の構造で決定されるため、従来用いられてきた[二次元電磁場計算コード](#)\*では計算できないことから、これまでほとんど実用化されていませんでした。

一方、近年の[三次元電磁場計算コード](#)\*の発展により、IH型共振器の電磁場分布が直接計算できるようになったことから共振器の設計が可能となりました。問題となるコードの計算精度およびIH型共振器の製作性を評価するため、本研究チームはIH型モデル共振器を製作して電磁場測定を行いました(図-2)。

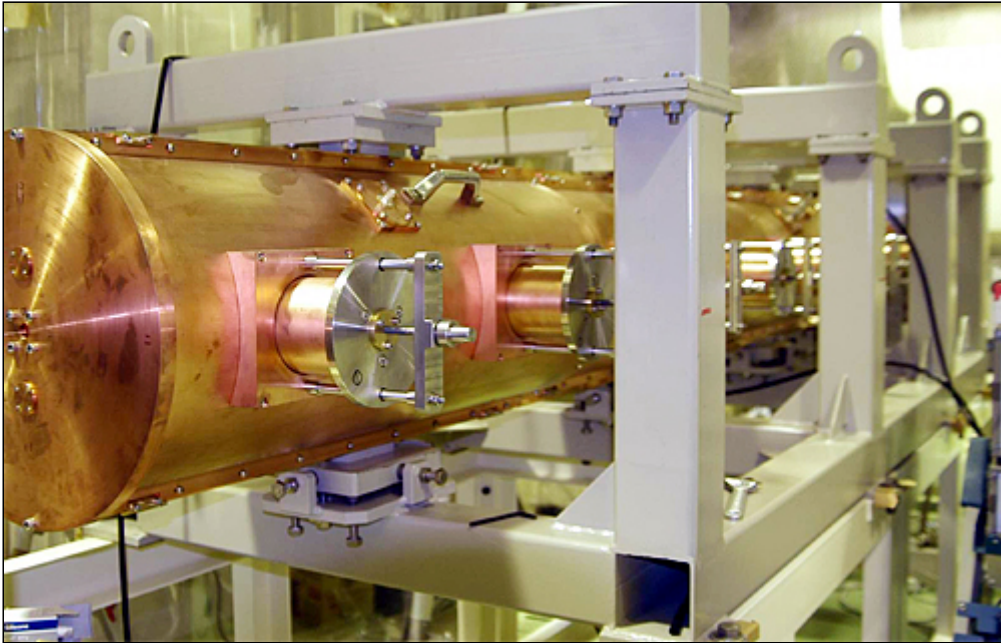


図-2 IH型モデル共振器

さらに、測定されたギャップ電圧値と計算値を比較した結果、計算値は測定値を良く再現することが判明しました。(図-3)この結果は、三次元電磁場計算コードを用いたIH型共振器の設計が十分可能であることを示しています。

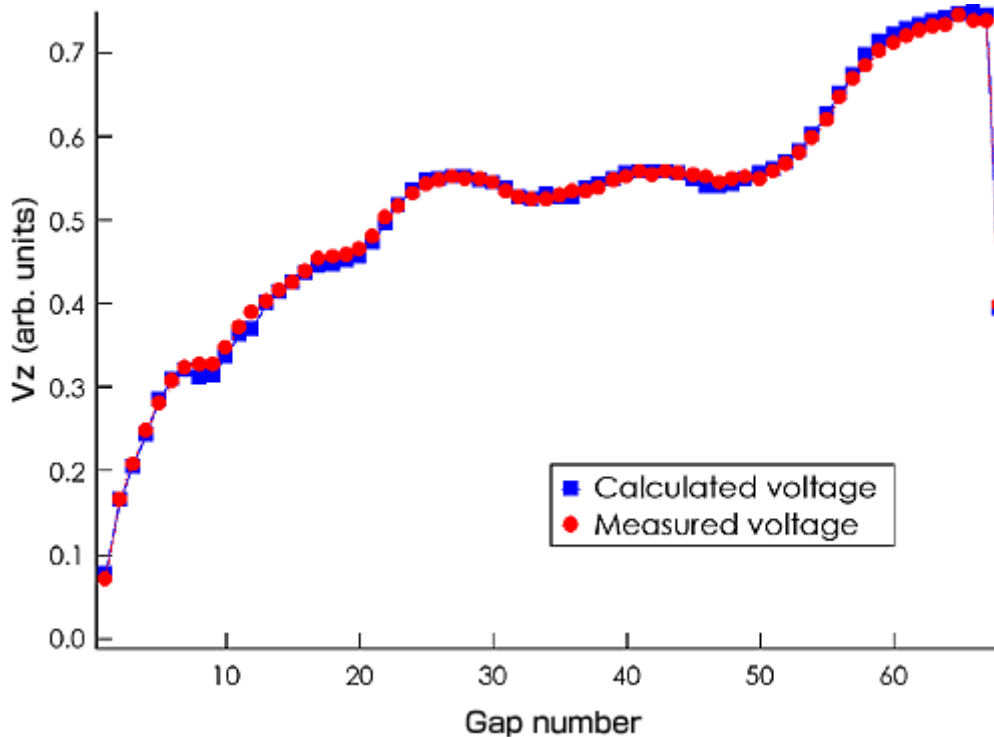


図-3 IH型モデル共振器に関する、ギャップ電圧の測定値と計算値の比較、計算値は測定値を良く再現している

線形加速器では加速途中にビームを失わないよう、常にビームの収束を行う必要があります。従来の線形加速器では四極電磁石などの収束要素を共振器内部に組み込んで収束を行っていましたが、今回開発しているIH型DTLではAlternating Phase Focusing(APF)方式を採用しています。APF収束方式ではビーム収束お

よび加速のすべてが高周波加速電場のみで行われるため、収束要素が全く不要となることから、装置の製作コスト削減が期待できます。このIH型共振器とAPF収束方式を組み合わせたAPF収束IH型DTLは、共振器は全長3.5m、直径0.4 mとHIMACのアルバレ型DTLと比較して全長で約1/7、直径で1/5の大幅な小型化の実現が可能となります。また所要電力も約400 kWと省電力であるため、[アルバレ型DTL](#)\*に必要であった3台の1MW級高周波増幅器が、最大出力500kWの高周波増幅器1台で済むこととなります。大電力の高周波増幅器は高価であるため、建設コストの大幅な削減が期待されます。

## ■ これまでの成果と今後の計画

放医研では、小型化に向けた重粒子線がん治療装置の入射器のうち第一段目となるRFQ線形加速器までの製作が完了し、そのビーム試験を行い所期の結果を得ました(図-4、図-5参照)。

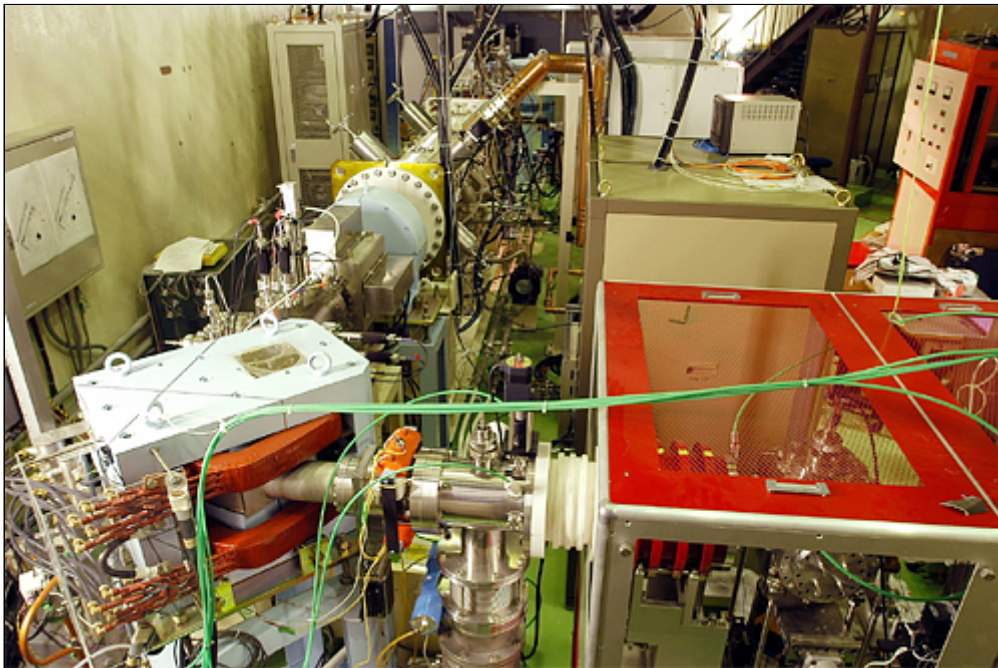


図-4 RFQ線形加速器のビーム試験風景、手前右が小型ECRイオン源、手前左がビーム分析磁石、奥に見えるのがRFQ線形加速器およびビーム分析ライン

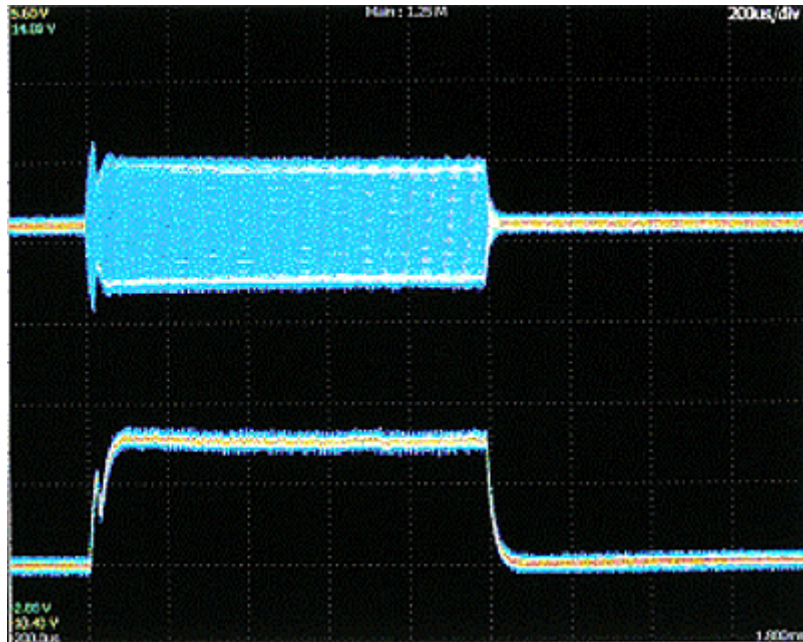


図-5 高周波電力の波形(上段)と加速されたビームの波形

さらに、世界初となるAPF収束IH型DTLの製作は順調に進められており、17年度中に完成する予定です。今後は17年度内にRFQ線形加速器とAPF収束IH型DTLを組み合わせた高効率小型入射器のビーム総合試験を行い、装置の全体設計に目処をつけることとなります。

今回、開発した高効率小型線形加速器の全長は約6mであり、HIMACと比較して大幅な小型化が実現されます(図-6)。

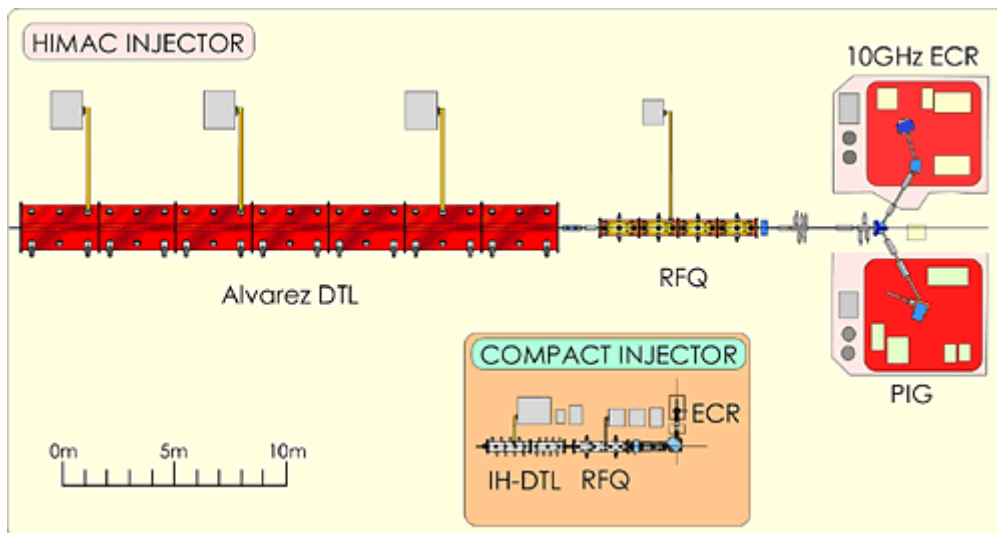


図-6 HIMAC入射器と現在開発を進めている小型加速器のサイズ比較、HIMAC線形加速器の全長は30mを超えるのに対し、小型線形加速器の全長は約6mと大幅な小型化を実現

これにより重粒子線がん治療施設装置の小型化が可能となるため、施設全体の建設費を削減することができます。また、2つの線形加速器は省電力設計であり、運転維持費を大幅に削減できます。さらに、今回開発された高効率線形加速器は常時安定した性能を得ることができることから、医療用のみならず、物理研究の

ための高エネルギー重イオン加速器用入射器としても幅広い応用が期待されます。

(重粒子医科学センター 加速器物理工学部 部長 山田 聡、研究員 岩田 佳之)

### <\*用語解説>

**ECRイオン源**：電子サイクロトロン共鳴(Electron Cyclotron Resonance)という現象を利用して得られた高速電子を強い磁場によって閉じ込め、その高速電子と中性原子の衝突により原子をイオン化する装置。

**APF (Alternating-Phase-Focusing) 収束**：APFとは共振器内に発生する高周波電場によりイオンの加速と収束を同時に行うという収束方式。これにより従来の線形加速器において、ビーム収束に必要であった四極電磁石等の収束要素が一切不要となる。

**IH型DTL (Interdigital H-mode型Drift-Tube-Linac)**：共振器内部の上下に据え付けられたリッジと呼ばれる板にドリフトチューブと呼ばれる中空の円筒形導体が上下交互に取り付けられている構造を持つ線形加速器 (図-[1]参照)。従来の線形加速器と比べ、小型かつ高効率(低消費電力)という特徴をもつ。

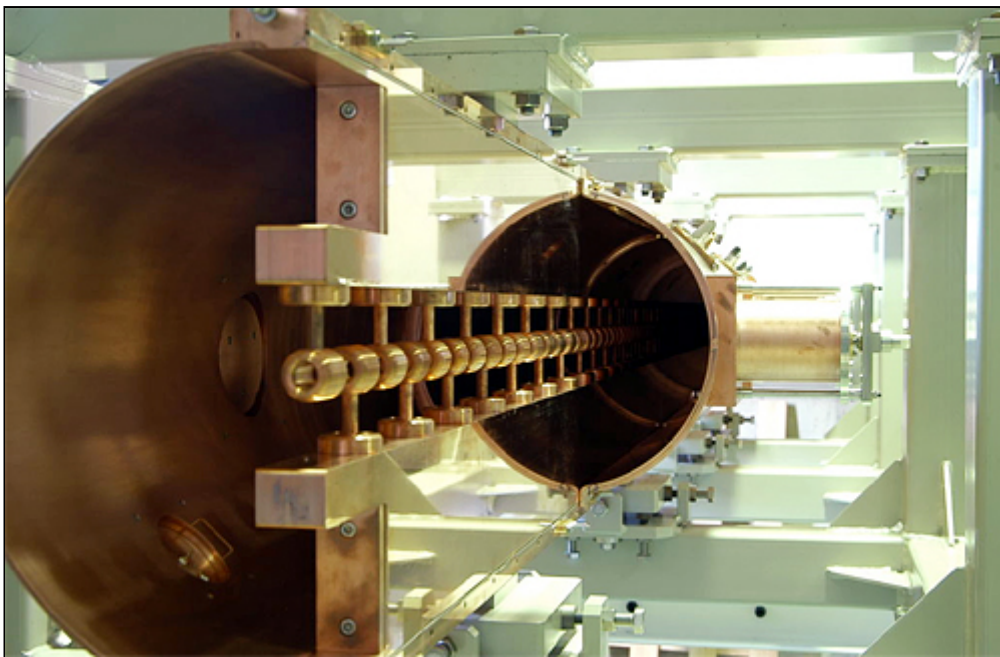


図-[1] IH型DTLのモデル共振器 (側板を取り外した状態)

**RFQ (Radio-Frequency-Quadrupole) 線形加速器**：RFQは共振器内にベインと呼ばれる4枚の電極が取り付けられている構造を持つ (図-[2]参照)。各ベインの先端にモジュレーションと呼ばれる波形形状の加工を行うことで、隣り合うベイン間に四重極の収束電場が形成され、その電場によりイオンの加速と収束が同時に行われる。

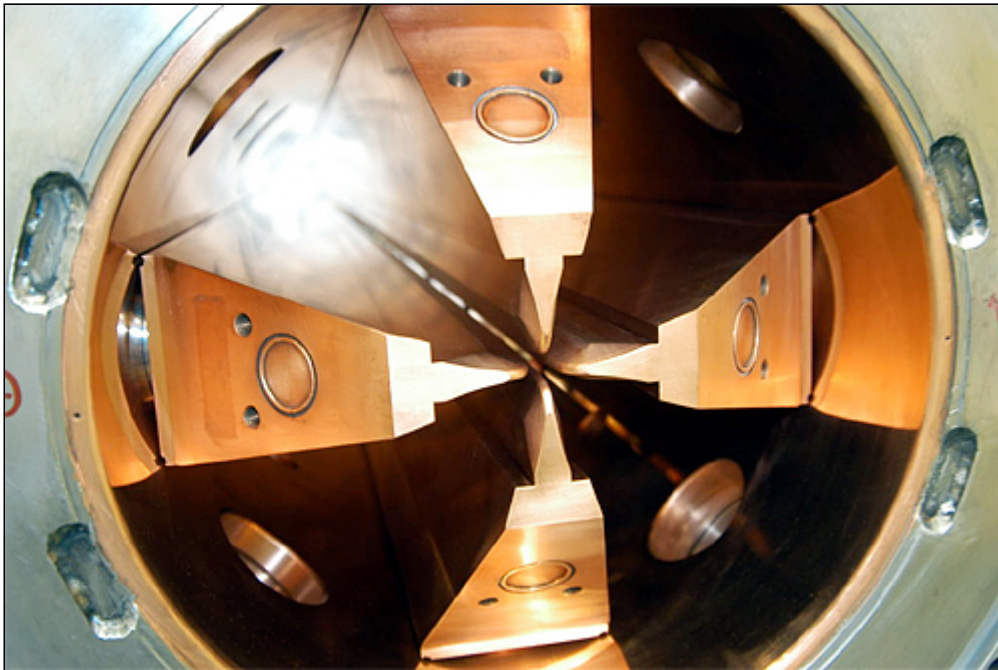


図-[2] RFQ線形加速器  
4枚のベインが共振器内部に取り付けられている。

**二次元電磁場計算コード**：空間的に対称な問題（この場合、共振器）に対して、2次的にマクスウェル方程式を数値計算し、電磁場分布を求める計算コード。アルバレ型DTLのような軸対称な共振器の電磁場計算に有効。

**三次元電磁場計算コード**：3次的にマクスウェル方程式を直接数値計算し、電磁場分布を求める計算コード。IH型DTLのような対称性のない共振器についても電磁場分布を計算することができる。

**アルバレ (Alvarez) 型DTL (Drift-Tube-Linac)**：1946年にAlvarezが開発した、共振器の中心軸状にドリフトチューブとよばれる中空の円筒形導体を並べた構造を持つ線形加速器（図-[3]参照）。共振器内に高周波電力を供給することで、隣接するドリフトチューブ間に高周波電場が発生する。イオンは高周波電場により次々と加速される。

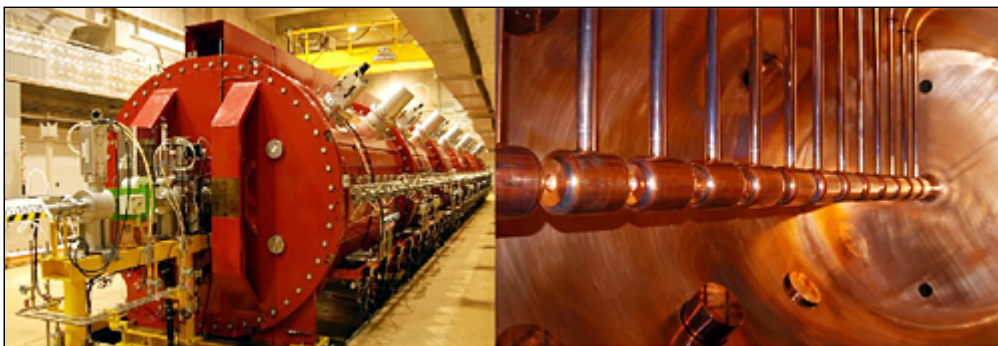


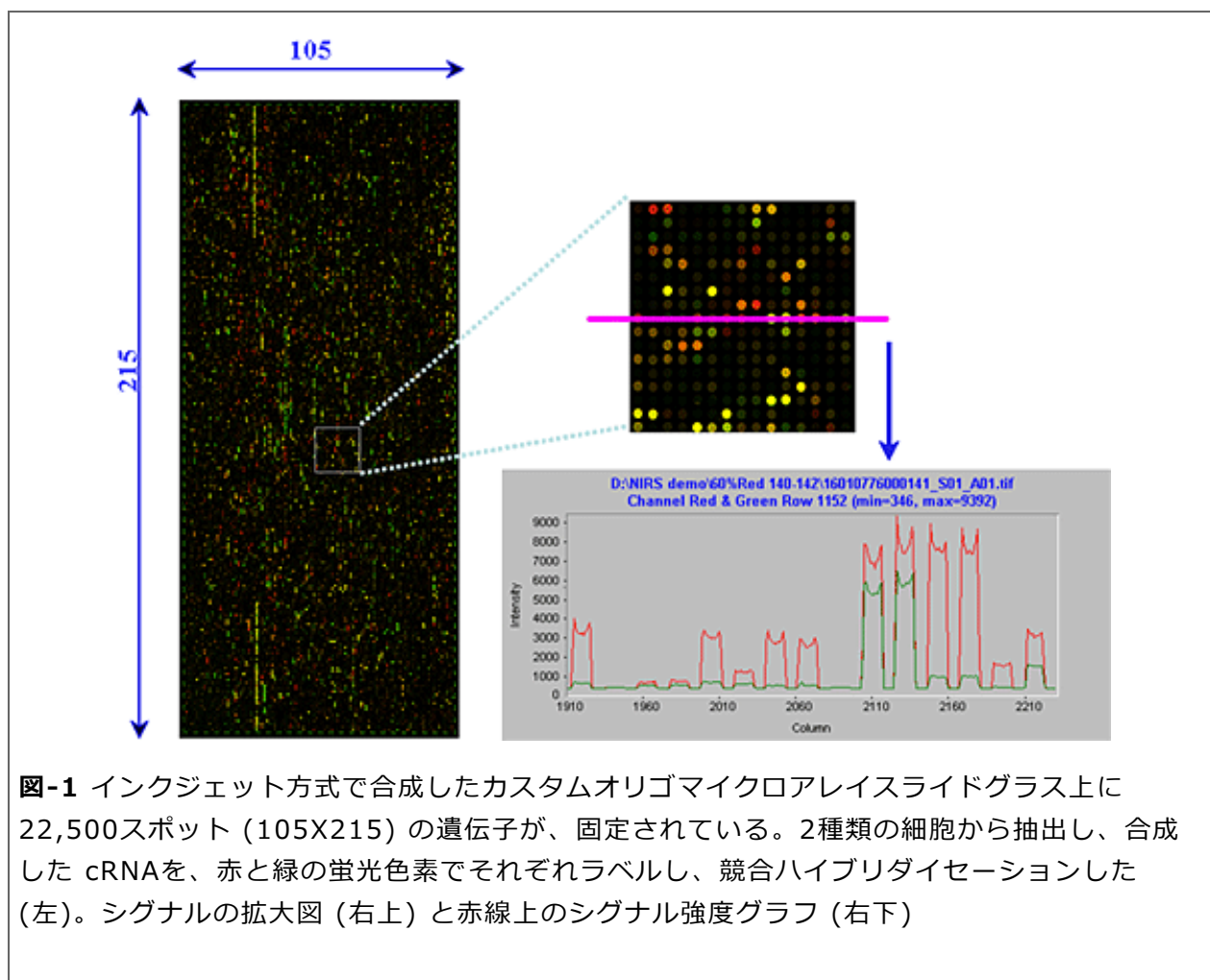
図-[3] アルバレ (Alvarez) 型DTL

## 放射線抵抗性細胞に 特異的な遺伝子発現プロファイル

がんの中には放射線抵抗性を獲得した細胞が存在し、治療上大きな問題となる。放射線抵抗性の原因のひとつとして、がん化に伴うゲノム上の変異の蓄積が考えられる。そこで、放射線抵抗性細胞における特徴を明らかにするために、放射線感受性が互いに異なる培養細胞株の遺伝子発現プロファイルと比較した。

### ■ はじめに

2001年にヒトゲノムドラフト配列が発表されて以降、ヒト全遺伝子を網羅すべく、我々独自に遺伝子配列の選択をし、アジレント社に依頼して、一枚のスライドガラス上に約22,500種類のオリゴプローブ(遺伝子)を搭載したカスタムオリゴマイクロアレイ(以下、本アレイ)を作成した。本アレイの特徴は、プローブが60merの長さであるため特異性が高く、またインクジェット法によるスライドガラス上での合成のため、均一なスポットが得られ、非常に高いシグナル/ノイズ比が得られることである (図-1)。





我々は、このカスタムオリゴマイクロアレイの正確性を評価するために、複数の細胞株において放射線により発現誘導あるいは抑制される遺伝子について、本アレイとリアルタイム定量PCR法による結果を比較検討した。合計335個のデータポイントについて調べた結果、correlation coefficient = 0.83という高い相関を示し、以後の解析方法として本アレイを用いることとした。

## ■ 15種類のヒト培養細胞株を実験に採用

対象とする放射線感受性の異なる細胞株は、放医研所有の細胞株を有効に活用した。すなわち、鈴木博士ら(宇宙放射線防護プロジェクト)が線量-生存率曲線を公表していた扁平上皮癌、グリア芽腫、星状細胞腫、正常皮膚線維芽細胞などに由来する15種類のヒト培養細胞株を実験に用いた(参考文献1、2)。放射線抵抗性の指標としては、細胞生存率を10%に減少させる線量、D10、を用いた。これら15細胞株のD10値は2.7から8.2の範囲であった。

まず、初期の発現応答に注目し、15種類の培養細胞株にそれぞれX線2Gyを照射し、照射1時間後、3時間後及び非照射の細胞株からRNAを抽出した。抽出したRNAサンプルをそれぞれ蛍光ラベル化し、上述したカスタムオリゴマイクロアレイを用いた発現解析を行った。組織特異的な発現遺伝子の影響を避けるため、放射線により発現誘導または抑制される遺伝子群を統計学的手法を用いて選択した。

15種類の細胞株をトレーニングセットとテストセットに分け、まずトレーニングセットに含まれる抵抗性細胞株(本研究ではD10 > 6 Gyと定義)に特徴的な発現遺伝子群を2次元クラスタリング法を用いて抽出した。次に、選ばれた遺伝子群の発現パターンが、テストセットに含まれる抵抗性細胞株と一致するかどうかを検討することを繰り返し行い、正しく抵抗性細胞株を選択することができる遺伝子群を同定した。これら放射線抵抗性細胞株を予測するために必要であった遺伝子群を、ジーンオントロジーやパスウェイ解析から機能的に分類したところ、アポトーシス亢進に関わる遺伝子は放射線非抵抗性細胞群で高い発現を示し、アポトーシス抑制に関わる遺伝子は放射線抵抗性細胞群で高い発現を示す傾向を見いだした。その他、細胞分化やエネルギー産生等に関わる遺伝子群は放射線抵抗性細胞群で高発現を示し、細胞接着や細胞間コミュニケーションに関わる遺伝子群は非抵抗性群で高発現を示す傾向が見られた。

次に、放射線抵抗性細胞と非抵抗性細胞の間で放射線応答に違いを示す遺伝子群を選び出した。その中で、既に放射線応答に関わることが知られている遺伝子機能群、例えば"損傷DNA修復"や"細胞周期調節"などに関わる遺伝子群の遺伝子発現に着目したところ、放射線抵抗性細胞においてはこれらの遺伝子群は発現が誘導され、非抵抗性細胞においては発現が抑制される傾向が見られた(図-2)。

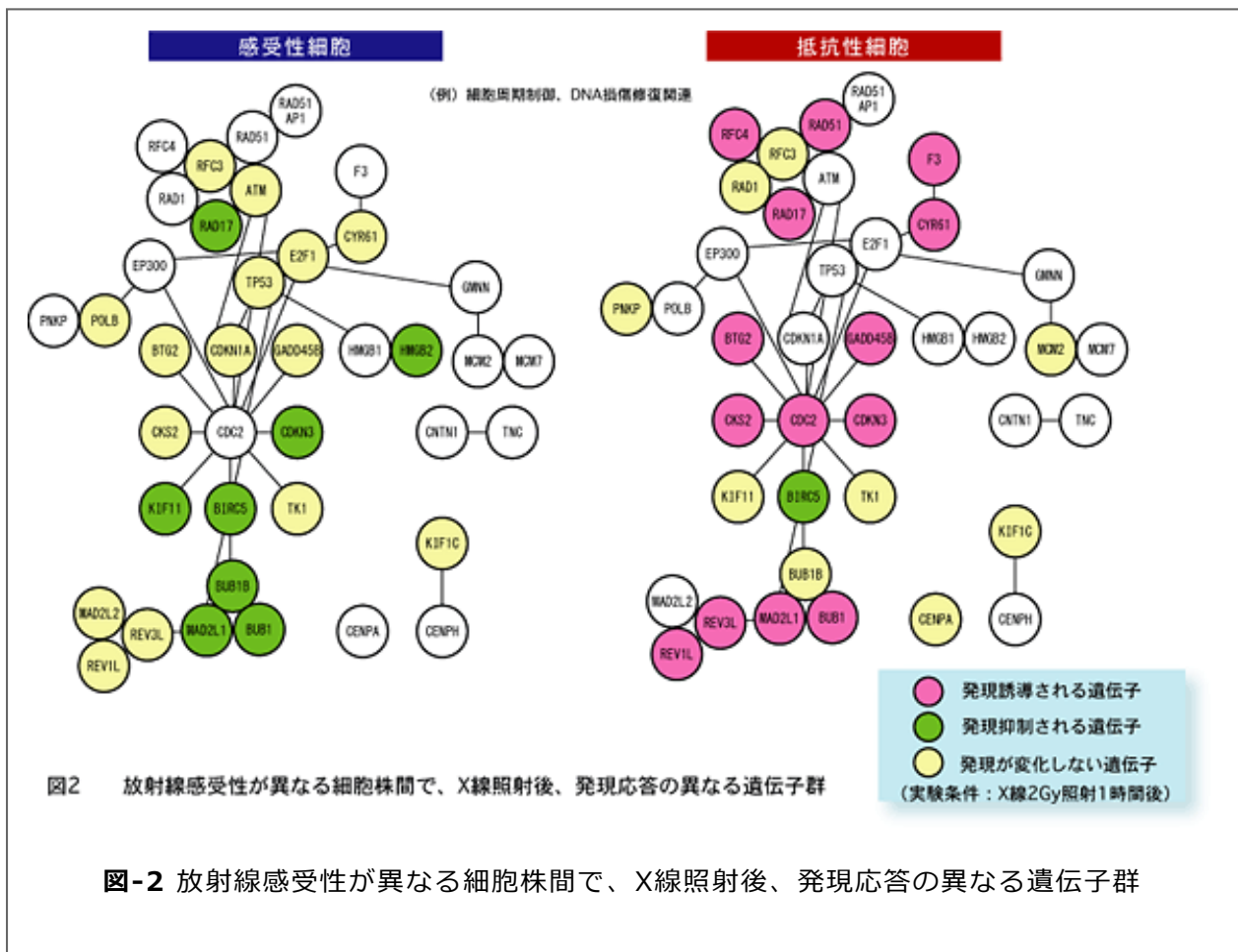


図-2 放射線感受性が異なる細胞株間で、X線照射後、発現応答の異なる遺伝子群

以上、ヒトの培養細胞株を実験材料としてD10を指標にした遺伝子発現解析を行った結果、

1. 細胞株を放射線抵抗性群と非抵抗性群に大きく区分する遺伝子群を検索し、その機能を分類したところ、放射線抵抗性細胞群ではアポトーシスを抑制する遺伝子や、分化、エネルギー産生に関与する遺伝子が高発現を示し、非抵抗性細胞群ではアポトーシスを誘導する遺伝子や細胞接着、細胞間コミュニケーションに関与する遺伝子が高発現を示していた。
2. さらにはこれら培養細胞株の放射線応答に着目したところ、"DNA修復"や"細胞周期調節"に関わる遺伝子群は、放射線抵抗性細胞において発現誘導されていたのに対して非抵抗性細胞では発現抑制される傾向がみられたことが明らかとなった。

## ■今後の研究

本研究は、転写されているRNAの発現解析であるが、これらの結果から作成したパスウェイマップを利用して感受性細胞と抵抗性細胞で発現量が大きく異なる膜表面タンパクや分泌タンパクなど臨床検査で検出が容易なマーカーを探索し、腫瘍の抵抗性予測につなげることを試みている。また、放射線抵抗性と対応した発現パターンを示す遺伝子群の中に、発現や機能の変化に影響を与えうる多型が見つかっており、現在、これらの多型と機能との関係に注目した解析を進めている。

(フロンティア研究センター 石川 顕一)

## \*参考文献

1. Suzuki, M., Kase, Y., Kanai, T., and Ando, K. 2000, Correlation between cell killing and residual chromatin breaks measured by PCC in six human cell lines irradiated with different radiation types, *Int. J. Radiat. Biol.*, 76, 1189-1196.
2. Suzuki, M., Kase, Y., Yamaguchi, H., Kanai, T., and Ando, K. 2000, Relative biological effectiveness for cell-killing effect on various human cell lines irradiated with heavy-ion medical accelerator in Chiba (HIMAC) carbon-ion beams, *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 48, 241-250.

## 頭の体操

### ボート遊び

ある橋を挟んで、その上流及び下流10kmの間の川の流れは時速2km/時と一定であるとします。ある人が時速5km/時(静止水で)のボートに乗って橋のたもとから上流へ向かって1時間上っていきました(橋より3kmの地点)。そこで出発の時(橋の位置で)帽子を川に落としたことに気が付きました。この時帽子はすでに橋から2km下流にあります。あわててボ-トを下流へと引き返し、帽子を拾いに戻りました。そしてやっと帽子を拾って安心したのも束の間、今度はポットを引き返した地点で川に落としたことに気が付きました。そこでまた上流へとポットを取りに戻りました。この間帽子もポットも川の流れの早さと同じ早さで流されていたとします。いったい何時間後に帽子の所に着き、また何時間後にポットを拾ったのでしょうか。

出典:不明

(加速器物理工学部 藤澤 高志)

(答えは[最後のページ](#))

## 紹介コーナー

## 緊急被ばく医療研究センターの研究・業務

- ▼ 9月12日 (月) 文部科学省の研究炉等安全規制検討会(第21回)に出席。
- ▼ 9月13日 (火) ~ 14日 (水) 第21回救護所活動実務講座に講師として参加。
- ▼ 9月13日 (火) 平成17年度福井県国民保護実動訓練への参加および第1回調整会議への出席。
- ▼ 9月13日 (火) 平成17年度地域緊急被ばく医療連携協議会(北海道)を開催。
- ▼ 9月14日 (水) 第2回「緊急被ばく医療初期初動対応検討委員会」に委員として出席。
- ▼ 9月15日 (木) 平成17年度原子力防災研修事業第1回共通基礎講座教材検討サブグループに委員として出席。
- ▼ 9月16日 (金) 平成17年度原子力防災訓練に係る第3回調整会議に出席。
- ▼ 9月21日 (水) ~ 9月22日 (木) 第22回救護所活動実務講座に講師として参加。
- ▼ 9月26日 (月) タイ、インドネシアからの緊急被ばく医療施設見学者に対応。
- ▼ 9月26日 (月) 茨城県原子力総合防災訓練に係る東海村との打ち合わせに参加。
- ▼ 9月27日 (火) 地域緊急被ばく医療連携協議会(宮城県)を開催。
- ▼ 9月28日 (水) 海上保安庁職員を対象に「海上原子力防災研修」を開催。
- ▼ 9月30日 (金) 平成17年度茨城県原子力総合防災訓練に参加。
- ▼ 10月3日 (月) ~ 7 (金) 第57回緊急被ばく救護セミナーの開催、受講生約30名に対し上記セミナーを実施した。
- ▼ 10月4日 (火) 原子力安全委員会原子力施設等防災専門部会(第12回)に委員として出席。
- ▼ 10月4日 (火) 千葉県原子爆弾被曝者健康管理手当等認定委員会に委員として出席。

- ▼ 10月5日 (水) 平成17年度鹿児島県原子力救護研修会に講師として参加。
- ▼ 10月6日 (木) 原子力安全委員会の三次被ばく医療機関(放医研)の調査に対応。
- ▼ 10月6日 (木) 第23回救護所活動実務講座に講師として参加。

(緊急被ばく医療研究センター 調整管理室)

## お知らせ

## 海外からの来所者

平成17年9月～

来所期間/用務	所属	国籍
<b>台湾緊急時医療関係者向け研修会参加</b>		
9月1日～2日	台湾 三軍總医院 (15名)	台湾
<b>緊急被ばく医療における早期線量評価</b>		
9月1日～ 11月27日	マレーシア 原子力技術研究所 (1名)	マレーシア
<b>国際宇宙ステーションにおける放射線モニタリングに関するワークショップ出席</b>		
9月3日～22日	米国 ローレンスバークレー国立研究所 (2名) 米国航空宇宙局ジョンソン宇宙センター (2名) 米国オクラホマ州立大学 (2名) ヒューストン大学 (1名) ワイル研究所 (1名) チェルマー技術大学 (1名) 王立技術研究所 (1名) チャルメッシュ工科大学 (2名) 太陽地球物理影響研究所 (1名) Physically technical Federation Institute (1名) キエール大学 (1名) 科学アカデミー原子力研究所 (3名) 原子力研究所 (1名) 英国保健省 (1名) 核物理研究所 (1名)	米国     スウェーデン   ブルガリア ドイツ  ハンガリー ベルギー 英国 イタリア
<b>局所進行消化器癌に対する放射線化学療法に関する研究</b>		
9月4日～ 12月3日	ソエトモ病院エアランガ大学 (1名)	インドネシア
<b>分離リンパ球を用いた培養法および染色体標本作成法 / ヒト染色体特異的プローブを用いたFISH法</b>		
9月5日～ 12月3日	ベトナム 原子力研究所 (1名)	ベトナム
<b>頭頸部腫瘍における炭素イオン線による治療計画と強度変調放射線治療(X線)による治療計画の線量分布の比較研究</b>		
9月7日～ H18年3月4日	バングラデシュ 原子力委員会 (1名)	バングラデシュ

## 国際宇宙ステーションにおける放射線モニタリングに関するワークショップ出席と 加速器ビーム実験への参加

9月5日～18日	米国 エリル研究所 (1名) 米国 オクラホマ州立大学 (1名) 米国 航空宇宙局ジョンソン宇宙センター (3名) ベトナム 原子力研究所 (1名) オーストリア 研究センタ(1名) オーストリア 大学 (1名) オーストリア ARC Seibersdorf research (1名) チェコ 核物理研究所 (1名) 航空宇宙センター (3名) 原子核物理研究所 (1名) 科学アカデミー原子力研究所 (1名) 太陽地球物理影響研究所 (1名) 生物医学問題研究所 (3名)	米国    ベトナム オーストリア   チェコ ドイツ ポーランド ハンガリー ブルガリア ロシア
----------	--	--

## 自然起源の放射性物質の産業利用による線量評価に関する研究

9月11日～ 12月10日	フィリピン 原子力研究所(PNRI) (1名)	フィリピン
------------------	-------------------------	-------

## 加速器ビーム実験への参加

9月11日～19 日	米国 Jacobs Sverdrup ESC Group (1名)	米国
---------------	-----------------------------------	----

## 国際原子力安全技術研修事業-指導教官研修-

9月26日	インドネシア原子力庁(BATAN) (1名) タイ原子力庁(OAP) (2名)	インドネシア タイ
-------	--	--------------

## 医学物理士養成に関する教育内容についての情報交換

9月27日～ 10月4日	King's College Hospital (1名) 韓国 カソリック大学 (1名) セントジョージ大学 (1名)	英国 韓国 オーストラリア
-----------------	---	---------------------

## 小型リングでの電子ビーム冷却によるビーム蓄積法を確立するために実験的研究を行う

9月29日～ H18年1月9日	ドイツマックスプランク原子核研究所 (1名)	ドイツ
--------------------	------------------------	-----

## 超高磁場MRIに関する打合せ及び講演

9月30日～ 10月10日	米国 コロンビア大学 (1名)	米国
------------------	-----------------	----



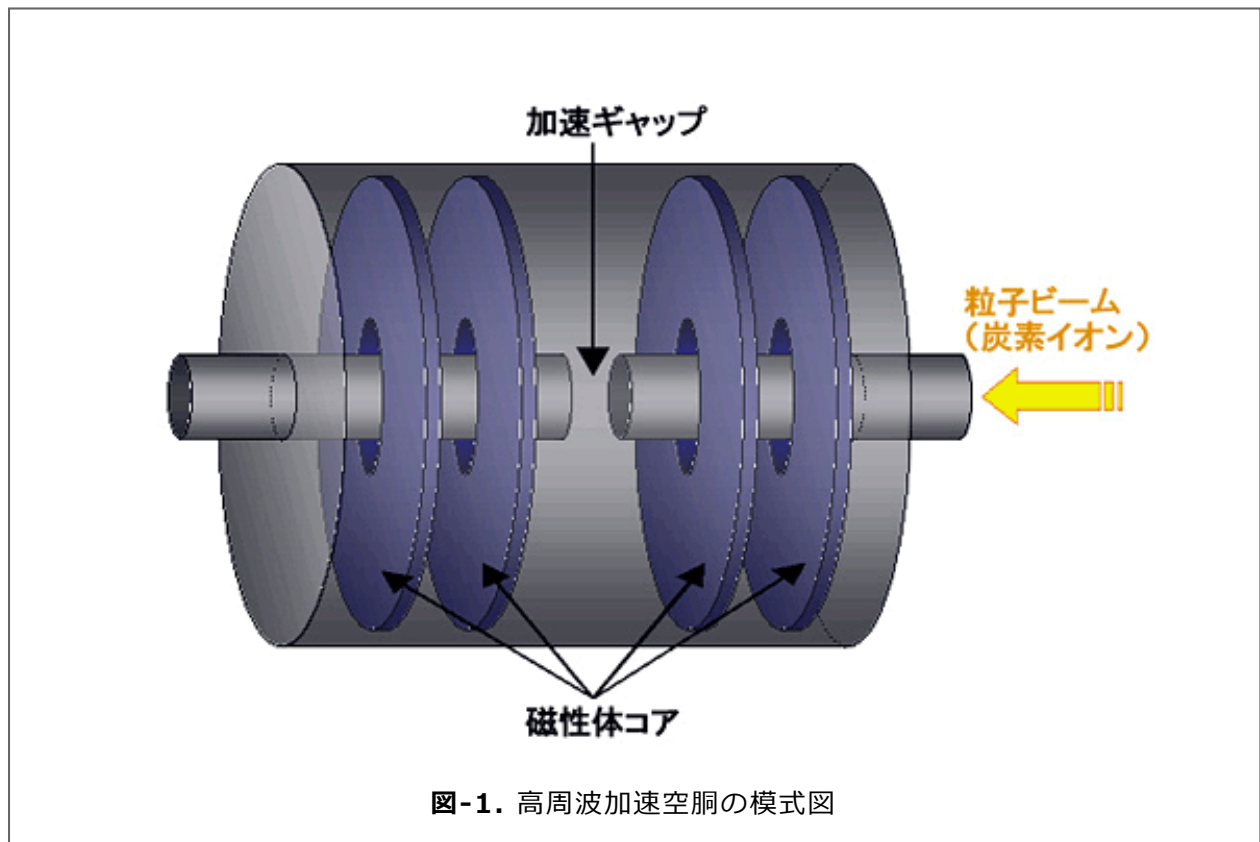
## 高周波加速装置の小型化を可能にする 高性能磁性体コアの開発

### ■ はじめに

放医研ではこれまでのHIMACを使った重粒子線がん治療の実績を踏まえて、普及を目指した小型治療装置の研究開発を行っています。HIMACの主加速器であるシンクロトロンの直径は約43mですが、現在検討中の普及型加速器はHIMACの半分程度のサイズに小型化される見込みです。その加速器を構成する装置の1つに、ビーム(炭素イオン)の加速を担う高周波加速装置があり、ここではこの高周波加速装置の小型化を可能にする磁性体コアの開発について紹介します。

### ■ 高周波加速装置の仕組み

高周波加速装置は、炭素イオンを高周波電場で加速する高周波加速空洞とそれに電力を供給する電源に大きく分けられます。特に、高周波加速空洞は複数枚の円盤状の磁性体コアによって構成され、それらの中心軸を貫く円筒形のパイプの中をビームが通過します(図-1)。

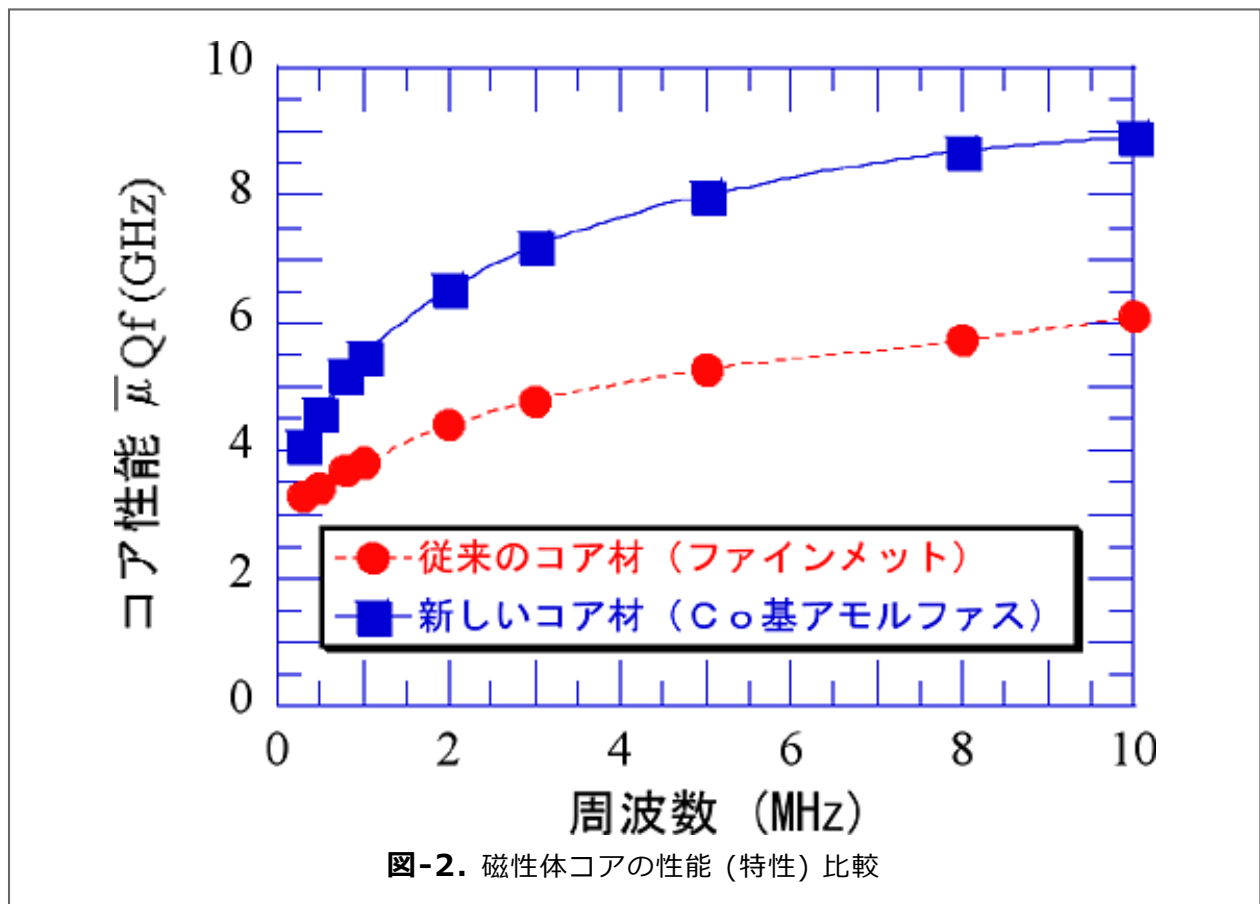


高周波加速空洞の中ほどにある加速ギャップでは高周波電場が形成され、ビームはそのギャップを横切る際に高周波電場によって加速される仕組みです。実は、同じ電力消費量であっても、これら磁性体コアの性能(透磁率)が高いほど、1枚の磁性体コアにより作られる高周波電場も強くできることから必要な磁性体コアの枚数が減らせ、高周波加速空洞も小型になります。

## ■ 高性能磁性体コアの開発

現在検討中の普及型加速器では、高周波加速空洞は主加速器リングの限られたスペース(最大2m程度)に配置できる大きさまで小型化する必要があります。また、普及を考慮する場合、電源の省電力化やメンテナンスの軽減も要求されます。これらの諸条件をクリアするために、コバルト基アモルファスと呼ばれる磁性材料を高周波加速空洞に利用する事にしました。従来、磁性体コアとしてはファインメットと呼ばれる材料が利用されてきましたが、新しい高性能(高透磁率)磁性材料を使う事により高周波加速空洞のさらなる小型化と省電力化が見込まれます。

まず、コバルト基アモルファス材を使って小型コアを製作したところ、従来のファインメットコアよりも使用周波数帯域において約1.6倍も高い性能を得ることができました(図-2)。



次に、実際の加速器に応用する際の問題としては、実用的な大きなサイズの磁性体コアで同様の高性能が実現できるのか、高電力を投入する際にコア特性が劣化しないか等の確認が必要です。我々は、様々な特性試験を通して、新規磁性体コアがこれらの問題をクリアし、安定な性能を示す事を確かめました。

## ■ 高性能磁性体コアを使った小型 加速装置

新しい磁性体コアが大型サイズでも安定した性能を示す事から、これらのコアを使って実際の高周波加速空洞と電源の試作を行いました(図-3)。



高周波加速空洞には合計12枚の磁性体コアが装荷され、2つの加速ギャップを使ってビームを加速する仕組みになっています。新しい磁性材料を採用した事で、高周波加速空洞の性能も従来のものに比べて2倍近く向上しました。そして、この高周波加速空洞は現在のHIMACで使用している高周波加速空洞よりもサイズが半分程度に小型化され、電力も1/4程度と省電力化に成功しています。この省電力化により、半導体アンプを電源として利用する事が可能になり、従来の真空管アンプを使った電源のように定期的に部品交換をする必要もなくなりました。今後は、試作した高周波加速空洞をHIMACの主加速器に設置してビーム試験を行うとともに、磁性体コアのさらなる高性能化を目指した基礎開発を行う予定です。

(重粒子医科学センター 加速器物理工学部 三須 敏幸)

## TOPICS

## 重粒子線治療を受けたがん患者による 「HIMAC友の会」の第1回総会開かる

HIMACによるがん治療を受けた患者の間で、病気に関する情報を集め、治療後の養生を大切にするという趣旨で、ほぼ1年前に発足した「HIMAC友の会」の第1回総会が、去る10月13日、放医研の会議室において開催された。

HIMAC友の会は、当初わずか16名の登録会員で発足したが、現在では全国各地からの参加者も増え、65名を数えるまでになっている。

総会では、忍澤会長より1年間の活動報告および会計報告をはじめ、会としての今後の方向性や具体的な取り組みについての話し合いが行われた。また、当日出席した16名の会員から、病状や治療に至った経緯、副作用やその後の回復状況などの経験談を含めた自己紹介が行われた。

総会の席で忍澤会長は、放医研で受けた質の高い治療を、がんで悩み苦しむ多くの人に普及啓発していくと同時に、次世代のために、高額な先端医療費の低額についても考えていかなければならないとこれからの活動の方向性について述べた。

意見交換では、出席者の多くが前立腺がんの患者であることから、薬の投与期間をはじめ、身体のはてりや頻尿といった副作用についての意見などが交わされた。そのうち副作用については、ホルモン療法を受けていない人にも同様の症状が現れていることから、症状の原因やホルモン投与の必要性についての疑問にまで話が及んだ。また、会員の中で唯一がん患者ではない技術者の熊田先生は、重粒子線治療の技術的な解説をした上で、より多くの人を救えるよう、装置の改良を進めていきたいと抱負を述べた。一方、出席者の中には、インターネットを通じて重粒子線治療を知った人も多く、主治医と相談してさまざまな治療を検討した結果、放医研での治療を選択したという。

友の会では今回の総会を契機として、今後、本格的な普及活動を進めていくこととし、全国各地でがんに対するさまざまな取り組みが増え、横のつながりも広がっていることから、友の会もその一員として積極的に参加し、情報収集に努めていくこととした。また、特定非営利活動法人「がん患者団体支援機構」への参加の意向が示され、平成18年3月に東京で開催予定の第2回がん患者大集会に3～5名を参加させることも予定し、さらに、情報を広く発信していくため、HIMAC友の会のホームページを立ち上げることも決定した。

一方、今後の治療に役立てることを目的に、放医研に対しては重粒子線治療を受けた後の経過についての情報提供を行い、患者集会に対しては今回のような会場提供などの放医研からのバックアップを期待したいという意見が述べられた。



意見交換をする会場風景

## TOPICS

## 第10回公開講座のご案内 「放医研の国際活動と重粒子線がん治療」

今回の公開講座では、放射線の安全研究や緊急被ばく医療、放医研の国際活動、また、医学利用の分野では、体に優しい治療として脚光を浴びる重粒子線がん治療の「普及型がん治療装置開発の展望」、「肺がん」への取り組みについてわかりやすくご紹介します。

- 日時：2005年12月21日 (木) 14:00～17:00
- 場所：放射線医学総合研究所 重粒子治療推進棟2階大会議室
- 定員：140名 入場無料 (事前申込みが必要)
- 申込み：放射線医学総合研究所 広報室
- TEL：043-206-3026 FAX：043-206-4062
- E-mail：[kouen@nirs.go.jp](mailto:kouen@nirs.go.jp)

### <プログラム>

- 14:00～14:10 開会
- 14:10～14:45 「放医研の国際活動」  
立崎 英夫 研究推進室 国際室長
- 14:45～14:50 質疑応答
- 14:50～15:25 「緊急被ばく医療における放医研の役割」  
藤元 憲三 緊急被ばく医療研究センター長
- 15:25～15:30 質疑応答
- 15:30～15:45 コーヒーブレイク
- 15:45～16:20 「普及型重粒子線がん治療装置開発の展望」  
山田 聡 重粒子医科学センター 加速器物理工学部長
- 16:20～16:55 「重粒子線がん治療:肺がんへの取組み」  
馬場 雅行 重粒子医科学センター病院医長
- 16:55～17:00 質疑応答
- 17:00～ 閉会

## TOPICS

## 放医研の独法成果活用事業報告をかね " 超高磁場MRIの現状と将来 "で国際シンポを開く

去る10月2日の日曜日、皇居平川門近くの一橋記念講堂において重粒子医科学センター画像医学部で4ヶ年かけて研究開発を行ってきた7Tesla大型動物実験用MRIシステム完成の成果報告を兼ねた超高磁場MRIの再開に関する国際シンポジウムが『超高磁場MRIの現状と将来』をテーマに、関連領域の外国からの研究者6名を招いて開催されました。

午前中は新潟大学の中田教授の基調講演と、放医研からの7Tesla装置の研究開発報告ならびに独立行政法人物質材料研究機構の木吉博士による10Teslaを越える大型マグネット開発を行う場合の問題点の話がありました。午後は9.4Teslaや7Teslaという超高磁場MRIを先駆けて臨床研究に使用されている外国の施設からの報告がありました。

このシンポジウムは開催の計画時から日本磁気共鳴医学会をはじめとする関連領域の研究者と、MRIやNMR計測機器関連業界から興味と関心が寄せられ、参加者数は約200名に近く、非常に盛大で楽しいシンポジウムとなりました。ご協力頂いた各方面の方々に心からお礼申し上げます。



当日、写真は、ミネソタ州立大学とマックスプランク研究所の教授をされているKamil Ugurbil教授が質問されているスナップショット

## エッセイ・ぱるす NO.47 「頭の中はいつも音楽祭」

「一体何時聴くの」と家内に言われても、止められないのがクラシック音楽のCD収集だ。小学生の頃から関心を持ち、楽団の指揮者に憧れた。近いうち指揮者として活躍するぞとの夢がある。と云う訳で、CDのコレクションも95%が交響曲、オペラなどオケのもの。色々な楽器の音を聴き続けるには気力と体力がいる。それでも、楽譜片手に指揮者の勉強(?)をすることも。決して、飽きることはない。作曲家が何を求め、何に苦しんだかが音楽を通して再現される様は感動的。時を忘れる。

特に、オペラは、現実離れたストーリーが多いが、芝居と合わさった音楽の効果は絶大。15年前に欧州に赴任した時に加速度的にのめり込んだ。最近是新国立劇場のおかげで日本のオペラ環境は一変した。先日も5時間も続くワグナーの楽劇を観たが、ドイツらしさにこだわった人生観が色濃く反映された響きの好演だった。

オペラもオケも100人以上の人が協力してことを成し遂げる芸術。個人が優れた器量を持つことは重要だが、それだけではだめ。高度なアンサンブルが必要だ。世界一流のオケと言えば、ベルリンフィルだ、ウィーンフィルだ、と論が分かれるが、スタープレイヤー揃いのベルリンに比べ、個々人は地味だが音が見事に揃うウィーンは驚異だ。弦楽は一つの大きな楽器が鳴っているようだ。多彩な楽器の共鳴が、最も惹かれる魅力だ。最近ではドレスデン歌劇場のオケがこれを凌ぐと思う。日本のオケは残念ながらまだまだ。

最近の懸念は、「優しい」演奏が多いこと。優しさが芸術の本質だろうか。否、芸術家が生に対する思いを抽象化したものだから、非日常的、挑戦的、刺激的であるべきだ。往年の巨匠の演奏はその辺の彫り込みが凄いが、最近のものは上辺だけのものが多く、心に響くものは、少ない。

思うに、研究所も、数百人の人が構成する点ではオケのようなもの。当所も良いアンサンブルで素敵な共鳴が起こるか問われますよ。

退職して悠々自適になれたら、年250日聴いて6年間で全部聴ける勘定だ。おっと、DVDを勘定し忘れていた。早く引退してもっと時間を作らなくちゃ。人生はいつまで経っても忙しい。





自宅のCDコレクションの前で

(総務部長 大竹 暁)

◆ 答え ◆

川の流れはどこでも一定なので流れに乗ってすべてを考えればよい。すなわち流れは無く、逆に橋と岸が2km/時の早さで上上流へ移動していると考ええる。従って帽子を落としたのに気づくまでに1時間ボ-トが走ったのなら、引き返す時間も当然1時間。またそこからポットを拾うまでも1時間かることになります。川の流れを電車の中と考えればもっと判り易いでしょう。