

「光医療産業バレー」拠点創出

実施予定期間: 平成 19 年度～平成 28 年度

総括責任者: 岡崎 俊雄 ((独) 日本原子力研究開発機構)

協働機関: 浜松ホトニクス (株), ウシオ電機 (株), (株) 東芝, 兵庫県立粒子線医療センター, (株) 島津製作所, (株) 豊田中央研究所, ペンタックス (株), (株) フジクラ, 日本アドバンステクノロジー (株), (有) HOC

I. 概要

レーザー小型加速器による粒子線がん治療器などの光医療機器の開発とそれらを通じた関連研究者、技術者、企業家などの人材を育成し、その成果による光医療産業の創出を目的とする。この為の「光医療産業バレー」拠点として、日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所を中心に、一定の手続きの下で企業が自由に参加表明できるオープンな概念を有する現代版「楽市楽座」とも言うべき「リサーチ・コモンズ」のシステムを構築する。この下に組織される融合研究体としての研究事業では、生み出された知的財産の保護、蓄積、活用の展開と同時に途中段階での事業参画などの柔軟性の確保を行い、参画する企業の事業展開を促進する。

1. 機関の現状

a. 提案機関及び協働機関の研究ポテンシャル

(1) 提案機関 (原子力機構 関西光科学研究所) の研究ポテンシャル

本提案は、レーザー駆動陽子加速による超小型粒子線がん治療器の開発を目標とする研究開発拠点「光医療産業バレー」の創出を目的としている。

原子力機構の研究者は、世界に先立ってレーザー駆動の超小型粒子加速器を提唱し (1979, Tajima and Dawson, Phys. Rev. Lett.)、実証してきている (1995, Nakajima et al., Phys. Rev. Lett.)。また、そのがん治療への応用の提唱も世界に先駆けて行った (1994, PTCOG 会議において; 1998, Tajima)。2000 年には米国リバモア研究所でレーザー駆動の粒子加速 (約 60 MeV) の最初の報告がなされた (本提案の総括責任者代理者は当時 LLNL の研究管理に参画していて、この研究の管理にも携わっていた)。一方、原子力機構 (旧原研) は日本でレーザー加速研究の可能性を広げることをミッションの一つとして位置付け、1995 年に世界に先駆け、高強度レーザーと大型放射光とを双方持つ研究所として関西光科学研究所を開設した。ごく最近ではこれらの研究に一層弾みが付

いてきている。2006 年には、2-3 cm の短距離で GeV 級の電子の単色加速を実現しているが、原子力機構は、同様の結果を中国工程物理研究院 (CAEP) 等との共同実験 (2006) で得ている。また、本提案の協力機関であり、主に加速器分野での共同研究を従来から続けている放射線医学総合研究所 (放医研) は、ハーバード大学/マサチューセッツ総合病院やローレンスバークレー国立研究所の研究に続き、先駆的粒子線がん治療の研究に世界での指導性を発揮している。

表 1-1 拠点の連携機関

提案機関	(独) 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所
協働機関	浜松ホトニクス (株)
	ウシオ電機 (株)
	(株) 東芝
	兵庫県立粒子線医療センター
	(株) 島津製作所
	(株) 豊田中央研究所
	ペンタックス (株)
	(株) フジクラ
	日本アドバンステクノロジー (株)
	(有) HOC
研究協力機関	電気通信大学
	大阪大学
	神島化学工業 (株)
	(独) 放射線医学総合研究所
	京都大学
	(財) 電力中央研究所
	光産業創成大学院大学
	同志社大学
	京都府立医科大学
	奈良県立医科大学
	広島大学 原爆放射線医科学研究所
	(社) 関西経済連合会
	京都府
	けいはんな新産業創出・交流センター
(財) 医用原子力技術研究振興財団	
(財) 放射線影響協会	

(2) 協働機関の研究ポテンシャル

本拠点創出における次の (a)～(f) の六つの研究開発課題や役割に対し、表 1-1 に示す協働機関は、それぞれ以下の研究ポテンシャルを有する。

(a) 「粒子加速に適合したレーザー」の開発

浜松ホトニクス(株)は、日本を代表する高強度レーザーの製造メーカーであり、光科学機器の開発力で世界から注目される技術力を有している。ウシオ電機(株)は、産業用ランプの世界トップメーカーであり、光システムメーカーとしても、有数の開発力、生産力を有している。

(b) 「レーザー駆動粒子加速器」の開発

(株) 東芝は、日本を代表する世界的電気機器や加速器などの開発力を持つ企業である。特に、医学用機器にも大きい技術力を持っている。システムの統合の力にも秀でている。

(c) 「レーザー駆動粒子線治療器」の臨床実証

兵庫県立粒子線医療センターは陽子線及び炭素線の両方を扱う唯一の医療機関であり、また日本では放医研に続く粒子線治療実績を有する等、様々の臨床経験を有する医療機関である。最近では対応する患者数をさらに増加させ、多くの臨床機会を有している。

(d) 小型化と高精度化を両立する新たな治療法の確立及び装置開発

(株) 島津製作所は、田中耕一氏のノーベル賞にもみられるように、レーザーや光機器などのイノベティブな装置開発で秀でており、多くの製品を世に送り出している。本提案の構想では、PET 関連技術を生かし、「病巣を確認しながら治療する」治療法の確立とその小型化技術の開発を担う。

(e) 光医療システムの産業応用・展開

(株) 豊田中央研究所は、自動車工業の根幹を成す技術の研究で世界標準を誇る研究開発拠点である。ペンタックス(株)は光学の機器、医用機器の開発において日本で1,2を争う企業である。(株) フジクラは、光ファイバーの開発で深い技術的蓄積がある。これらの技術は陽子線治療器の超小型化にも供すると考えられる。

(f) 拠点の構築・運営

日本アドバンステクノロジー(株)は、技術的人材・高度科学装置の操作に必要な人材を提供できる。(有) HOC は光学素子開発の技術開発を行っている。

b. 提案機関における研究開発及び人材育成の実績

(1) 研究開発の実績

2001年より、電源開発促進対策特別会計による「先進小型加速器」事業が放医研を軸として、原子力機構や京都大学などを含めて5年計画で開始された。原子力機構の幹部は、原子力委員会加速器専門部会(2004)や文部科学省量子放射線研究課(当時)「粒子線がん治療普及に向けた勉強会」(阿部光幸会長 2004)で、当課題であるがんの粒子線治療の有効性とその普及の重要性、そのための研究戦略、波及する光産業創

生の可能性を先見的に指摘し、事実各種報告書にそうした提言が(例えば「文部科学省、勉強会報告書」)盛り込まれた。一方、現在の粒子線装置のコストの高さも指摘され、普及のための小型化の重要性も指摘されている。

原子力機構・京都大学・電力中央研究所・放射線医学総合研究所・東京大学の共同実験チームは、小型高強度超短パルスレーザーを薄膜ターゲットへ照射し、MeV エネルギーの陽子の生成とそのメカニズムの解明を行い、基礎試験を完了させた。また、イオン生成に向けたターゲット開発においても二重層薄膜ターゲットやテープターゲット等の高度化を行った。レーザー生成イオンビームの特性改善に関しては原子力機構、京都大学が協力し、位相回転等の新しいアイデアの提示とそれに基づくシステム構築を行い、レーザー生成イオンを用いた実証実験を成功させた。

さらに、2006年3月の韓国GISTとの共同実験、平成18年度フイービリティスタディ(FS)期間における電力中央研究所との共同実験、原子力機構での京都大学との共同実験を通じ、4 MeVの陽子の生成を行い、位相回転等を使った陽子のエネルギーの単色化の研究に大きく寄与した。

原子力機構と兵庫県立粒子線医療センターは、レーザーで加速された粒子からなる粒子線による治療の特性の解明と、それを活用した新しい粒子線治療法と、眼の黄斑変性症や浅在性のがん等、従来の大きな粒子線治療施設で行うに難があるニッチ治療とを研究した。またその中で、レーザー駆動粒子加速という新しい技術を持ち込むことが粒子線がん治療に巻き起こすイノベーションについても解明した(平成18年度FS事業)。これを基本論文としてまとめ、International Journal of Radiation Oncology・Biology・Physics に投稿した。さらに、この新しい粒子線治療法を支援する技術的イノベーションを行い、3件の特許出願に結びついている。

前述したとおり2000年の米国ローレンスリバモア研におけるレーザーによるエネルギー約60 MeVの陽子線発生以降、全世界でレーザー駆動粒子加速とそれががん治療への利用研究が急速に進展した。陽子以外の粒子線(炭素を含む)の加速も観察されている。上記の日本における先見性にもかかわらず、現状では欧州ではLASERLAB-EUROPEや「レーザー駆動がん治療コンソーシアム」の設立(2005)、全米第2位のがんセンター、FCCC(Fox Chase Cancer Center)、でのレーザー駆動粒子線治療事業の立ち上げ(2004)と、今や日本を圧倒する勢いになっている。米国やフランスなど欧州では、高強度レーザー技術とその利用研究は、国からの研究投資において少なくとも我が国よりも一桁多く(約20億ドル/5年)、多くの光産業を輩出している。ドイツでは、レーザー開発が国家施策として産学官の連携で組織的に行われ、自動車産業などに利用されるようになってきている。日本ではこうした産業分野においては、高度なレーザーやその付随装置を国内で調達することさえ難しい状況となってきている。

このような国際情勢のもと、原子力機構関西光科学研究所が

極短パルス高強度レーザー研究開発の実績に基づき本事業のような産官学連携地域事業を実施することは、理論面での世界的な先行に加わり、レーザー加速器開発のような先進的レーザー利用技術開発において、我が国が国際的リーダーシップを発揮することに大きく貢献することとなる。

(2) 人材育成の実績

人材育成に関して、原子力機構では「原子力研修センター」を設置し、旧日本原子力研究所時代から長年わたり国内研修による原子力技術者の育成を行い、原子力の研究、開発及び利用を支える中核的技術者の育成を目的に法定資格等の取得や放射線利用等に関する研修を行っており、平成17年度は計32回の研修を実施した。

さらに、大学との連携による人材育成において、平成17年度には、東京大学大学院原子力専攻（専門職修士課程）への協力については15名の学生を原子力研修センターが受け入れ、原子力機構内の各拠点、部門が連携し、各施設での実習（38課題）、客員教員5名・非常勤講師32名の派遣、教科書作り等を実施した。また、東京大学大学院原子力国際専攻への協力については、客員教員4名を派遣し、講義・教育指導に当たるとともに、東京大学の「派遣型高度人材育成協同計画」に協力して核不拡散に関する学生研修を実施した。

連携大学院制度については筑波大学等11大学に対し、大学側の要請に基づいて共通的科学技術基盤、量子ビーム利用等の教育研究分野について、客員教員51名の派遣及び大学院生28名の受け入れを行った。このうち、光量子ビームレーザー利用に関しては研究者の2名が京都産業大学の客員教授を、3名が岡山大学の非常勤講師を勤めている。さらに、金沢大学、東京工業大学及び福井大学と連携大学院制度を活用し、連携大学院ネットワークの構築に向け、実施内容・実施体制の検討を実施した。千葉大学等と平成18年度契約に向けた準備を行った。

関西光科学研究所に限れば、平成18年度には原子力機構が議長を務めるAILNなどの主催で、「レーザープラズマ加速器と放射線に関するアジア夏の学校（第1回）」（JST事業の一環として実施）が北京の中国科学院物理学研究所で開催された。5名が講師として赴き、200名近いアジアやその近隣諸国に大学院生が参加した。参加国は日中韓に限らずインド、イラン、ロシア、ウクライナなどまで含まれていた。

このように原子力機構、京都大学などでは、上記の放医研を中心とする「先進小型加速器」事業を通じ、多くのレーザー及び加速器科学の若手研究者を育ててきた。また、上記のJST事業を通じ多くの粒子線治療計画にかかわる若手研究者を育成している。本提案は、上記の「先進小型加速器」事業を引き継ぎ発展させ、さらに人材の持続的、飛躍的発展を目指すものである。一方、原子力機構と大阪大学は古くから光源開発などで研究協力を続けており、今後連携融合も含めより緊密な融合研究体の形成に踏み込んでいる。

また、国際的な観点では、原子力機構や京都大学の位置する

けいはんな学研都市は、北京中関村学研都市とも交流覚書きを交わし（京都府と北京市）、様々な人材交流と育成策を図っている。特に京都府やけいはんな機構は「光医療バレー」や「先進診断治療センター」の構想を推進しており、当拠点もこうした地域自治体などと交流を進める中で大きな地域貢献ができる。

c. 協働機関における技術開発の実績

(1) 浜松ホトニクス（株）

（平成12年12月～平成17年12月）

1. 静岡県地域結集型共同研究事業「超高密度フォトン産業基盤技術開発において全固体高強度フェムト秒レーザーの開発（松岡伸一、吉井健裕、佐藤方俊、中野文彦、玉置善紀、王(WANG T)、加藤義則、伊山功一、西畑実、菅博文、中井貞雄：レーザー研究34（2006）610.）

（平成17年4月～平成19年3月）

2. 地域新生コンソーシアム研究開発事業「フェムト秒レーザーを使った省エネルギー・長寿命部品加工機の開発」において全固体高強度フェムト秒レーザーの開発

（平成16年～現在）

3. ポリウム・ブラッグ・グレーティング(VBG)を用いた固体レーザー励起用高機能半導体レーザーの開発（鄭宇進、宮島博文、渡辺明佳、古田慎一、曾根明弘、菅博文：レーザー研究34（2006）633. Y. Zheng, X. Gao, H. Miyajima, and H. Kan: Jpn. J. Appl. Phys. 43（2004）L1299. Y. Zheng and H. Kan: Opt. Lett. 30（2005）2424.）

(2) ウシオ電機（株）

（平成15年）

1. 半導体アニール用大出力フラッシュ装置の開発（平成17年）
2. 医療用マイクロTAS光測定装置の開発（平成18年）
3. 赤外線治療器の開発

(3) (株) 東芝

（平成11年～平成12年）

1. 放射線医学総合研究所向け二次重粒子線照射装置の開発（平成16年～平成17年）
2. 京都大学向け電子ビーム冷却装置の開発（平成17年～平成18年）
3. 豪州ビクトリア州向け豪州放射光施設・蓄積リング高周波システムの開発

(4) 兵庫県立粒子線医療センター

以下の論文、学会発表で成果を報告した。

（論文発表）

1. 村上昌雄、菱川良夫、他「病巣局部を限定照射 レーザー駆動陽子線治療への期待」エネルギーレビュー、2006.
2. 青木学、秋元哲夫編集、村上昌雄、菱川良夫「陽子線治

療の適応と役割」金原出版、2006。（“前立腺癌 放射線治療のすべて 局所限局前立腺癌を中心に”を分担執筆）

3. 山田省吾編集、村上昌雄、菱川良夫「早期のがん治療法の選択」金原出版、2006。（“粒子線治療 [1] 陽子線”を分担執筆）

4. Murakami M, Miyajima S, Sutherland K, Bulanov S, Esirkepov T, Koga J, Yamaji K, Yamagiwa M, Hishikawa Y, Tajima T: Possibility of laser-accelerated proton beams in radiotherapy. The European Cancer Conference (Parisfrom, 30 October - 3 November, 2005)

5. M Murakami, S Miyajima, KL. Sutherland, SV. Bulanov, TZh. Esirkepov, J Koga, K Yamaji, M Yamagiwa, Y Hishikawa, T Tajima: Necessity of laser-accelerated proton beam radiotherapy from the point of view of experiences in a synchrotron accelerator facility PTCOG 43 2005. 12. 10-14

6. M Murakami, Y Oda, R Sasaki, S Miyajima, Y Hishikawa, T Tajima, Kagawa, T Akagi, D Suga, S Watanabe, M Yamagiwa: Proton Radiotherapy for Patients with Prostate Cancer 4-year Experiences In HIBMC and Perspectives of Laser Ion Accelerators. RSNA2006, 2006. 11. 27

(学会発表)

1. 宮脇大輔、村上昌雄、菱川良夫 他「頭蓋底腫瘍に対する粒子線治療後の脳 MRI の変化」第3回日本粒子線治療臨床研究会、2006. 6. 23

2. 村上昌雄「兵庫県立粒子線医療センターの現況：治療基準と臨床」第3回日本粒子線治療臨床研究会、2006. 6. 23

3. 村上昌雄「兵庫県立粒子線医療センターの現況とレーザー駆動陽子線治療への期待」“光医療産業バレー”拠点創出プロジェクト キックオフミーティング、2006. 7. 6

(5) (株) 島津製作所

(平成17年～平成18年)

1. 新エネルギー・産業技術総合開発機構「分子イメージング機器研究開発プロジェクト/悪性腫瘍等治療支援分子イメージング機器研究開発プロジェクト/悪性腫瘍等治療支援分子イメージング機器に関する先導研究」において三次元放射線検出器を用いた部位別 PET 装置の実現可能性およびマルチモダリティ化に必要な要素技術について網羅的に把握。

(平成18年～平成21年)

2. 新エネルギー・産業技術総合開発機構「分子イメージング機器研究開発プロジェクト/悪性腫瘍等治療支援分子イメージング機器研究開発プロジェクト/悪性腫瘍等治療支援分子イメージング機器の開発」において近接撮像型部位別PET装置の開発および高分解能PET-CT/MRI システムを開発。

(6) (株) 豊田中央研究所

(昭和62年～平成元年)

1. 薄層放射化法を利用した高感度実働時摩耗計測法(累積法及び残留法)の構築

(平成2年～平成17年)

2. 当該技術(主として累積法)のエンジン部品摩耗計測への適用及び技術改良

(平成17年～)

3. 残留法の高精度化検討

4. 鉄系以外の材料の放射化法検討

(委託研究で実施のため、公開可能なデータ無し)

(7) ペンタックス(株)

(平成12年度～平成17年度)

1. 新エネルギー・産業技術総合開発機構「内視鏡等による低侵襲高度手術支援システムの開発」において、多機能内視鏡を開発

(平成14年度～平成18年度)

2. 厚生労働科学研究費 ナノメディシン研究事業「微細鉗子・カテーテルとその操作技術の開発」において、微細鉗子及び内視鏡操作技術を開発

(平成17年度～平成19年度)

3. 厚生労働科学研究費 身体機能解析・補助・代替機器開発研究事業「新たな手術用ロボット装置の開発に関する研究」において、内視鏡用ロボットアームを開発

4. 厚生労働科学研究費 身体機能解析・補助・代替機器開発研究事業「ハイリスク胎児の子宮内手術におけるナノインテリジェント技術デバイスの開発研究」において、内視鏡を開発

(8) (株) フジクラ

(平成16年7月1日～平成18年3月31日)

1. 治療用レーザー源装置の開発

2. 複合型光ファイバ用先端光学系の開発

(9) 日本アドバンステクノロジー(株)

(平成16年度)

1. 量子科学研究センター低繰り返し T キューブレーザーを利用した実験のための測定機器開発においてトムソンパラボラ本体の設計、イオン検出部の設計、真空容器の設計を行った。

(平成17年度)

2. T キューブレーザーを用いた非加熱加工による材料改質、生体物質の超高速分光分析等の物質科学に関する研究開発を行った。

3. T キューブレーザーや産業用小型レーザー光の発生に必要な各種レーザー結晶の開発を行った。

(10) (有) HOC

(平成16年度)

1. 新機能光ナノ構造デバイスの偏光計測カメラの開発都市エリア産学官連携促進事業(科学技術振興機構)に参画。

2. 自立分散制御アルゴリズム活用の快適・省エネ照明システムの開発中小企業地域新生コンソーシアム研究開発事業（経済産業省）に参画。

（平成17年度）

3. 高屈折率透光セラミックスを用いたデバイスの創製産業クラスター連携事業（経済産業省）に参画。

2. 拠点化の対象とする先端融合領域及び研究開発

a. 拠点で取り組む領域及び研究の内容

本提案では、レーザーを導入することで超小型粒子線がん治療器を開発することを目標としている。

拠点の事業の柱は、レーザー駆動粒子線治療器を量産可能とする超小型化と、治療と診断の融合により精密な治療を可能とする高精度化とを同時に実現する革新的技術の開発・検証である。これらの知見は、より遠い将来には炭素線の装置などにも役立つことを念頭に入れて研究する。（以下では「粒子線」とは、主にイオンである陽子からなる陽子線を示すが、炭素イオンからなる炭素線も含める概念である。）

(1) 粒子線医療イノベーションのための放射線源の確立

(a) コンパクト粒子線治療器

従来型の陽子線治療装置では高エネルギーの陽子線ビームを色々な角度から照射するために、大型の偏向電磁石を積載できる総重量100トン以上の重量物で構成されるガントリー（架台）が必要である。コンパクトなレーザー陽子加速器の場合、陽子を加速する場がTeV/mと桁違いに大きい狭小な空間で加速できる。しかも粒子線輸送が省け、大きなガントリーも不要となる（せいぜい1-10トン）。これによりレーザー陽子加速器はX線リニアック装置の筐体内部に組み込める程度まで超小型化（コンパクト化）することが可能となる。既存のX線リニアック治療器の操作性を保持させつつ、数十MeV陽子線を出力できる治療器は全く新しいがん治療器となり得る。X線、電子線、陽子線の3種類の放射線を自在に組み合わせたコンパクトな放射線治療環境が実現できれば、国内外の放射線治療医に大きなインパクトを与え、「切らずに治す」がん治療の流れが一層加速すると期待できる。

(b) スポット照射医療

レーザー陽子加速器は従来の加速器とは異なり、エネルギー変換に必要なビームパラメータをリアルタイムで制御できる点が特徴であるため、高精度粒子線治療器により負担の無い時間内に治療を終了させることが可能である。レーザー照射の柔軟性を利用し三次元照射で微小ビームを用いたスポットスキニングを行えば、線量の集中度は極めて向上する。こうした方法が確立できれば、現状は粒子線治療の対象外である乳房がんのような疾患の治療にも利用できる。

(c) PETとリンクした治療

レーザー陽子線治療器なら小型ガントリー（架台）にPETカメラを容易に装着できる。陽子線を照射しながら、生成される自己放射化によるポジトロン核種をPET撮像できる。

このイノベーションにより粒子線照射の位置精度の飛躍的向上が図れ、しかも半減期の極めて短いポジトロン核種によるPET撮像は格段にS/N比が向上する。そのことが飛躍的高精度治療器の実現と精密な粒子線治療を可能とする。更に、将来分子イメージング法などで腫瘍抵抗性領域が分かるようになるとすれば、腫瘍全体を均一に治療している現在の治療法から脱却し、抵抗性領域を重点的に照射する、精細で個々の患者に最適（テーラーメイド医療）なイメージガイド陽子線治療に発展できるかもしれない。

(2) レーザー駆動粒子加速による上記イノベーションの妥当性

(a) レーザー駆動粒子加速手法の物理イノベーション

レーザー駆動粒子加速を粒子線治療に適用する場合、現状のレーザー駆動陽子発生の実験ではターゲット物質から生成する電子から陽子へのエネルギーの変換効率が低いことが課題となっている（0.1%より低いことが多い）。この主な理由は、レーザー物質相互作用の条件が最適化されていないためである。一般にレーザーによる固体照射後の電子の加速構造の位相速度はまず殆ど光速となった後、急激に0ないしは負へと逆戻ってしまう。このような電子の突然の加速に陽子は付いて行くことができない。こうした加速過程を「非断熱的（“急な”あるいは“突然の”）加速」と呼ぶ。我々の物理的イノベーションの中心的概念は、こうした現状の実験条件と軌を異にし、レーザー照射時の電子の加速構造の位相速度を殆ど0にし、それから「断熱的（“緩やか”ないしは“徐々”）に加速」し、かつ位相速度を増やすようにターゲットなどを設計することである。このように、大概のエネルギーは電子から陽子に変換することができる。必要とされる0.1%以上の効率の達成に対し、「断熱的加速」は十分以上のマージンがあるであろう。創出される「光医療産業バレー拠点」では、この概念の実証実験を早期に行う。従来の実験の大部分で行われている非断熱加速（突然加速）では、レーザーのエネルギーを吸収した電子は、急激に静電乖離を誘起し、そのエネルギーはポテンシャルエネルギーとして蓄えられる。このポテンシャルエネルギーが、また電子の運動エネルギーへと転換されるという振動（プラズマ振動）が固体の表面を中心にして起こるといのが第零近似となる運動になっている。「断熱的加速」とは、電子の得た運動エネルギー以上の振動をする前に断熱的（“緩やか”）に系の制御パラメータを変え、物理用語で言う臨界振動減衰を起こさせるということでもある。

10年後のがんの診断の進歩を考えると早期発見による早期治療が大きな流れになると考えられるので、レーザー駆動による粒子線治療器の小型化・スポット治療という特質は、時代の要求を先取りしていると考えられる。仮に1gの腫瘍を発見できるようになるとすれば、腫瘍治療に必要な線量は約70Gyとして、この1gの腫瘍の治療には僅か0.07Jの陽子のエネルギーがあればよい。1ショット10Jで10Hzのレーザーを用いて100秒以内で照射すると仮定すれば、レーザー

エネルギーの僅か10⁻⁵を陽子に転換するだけで必要な線量が実現されるので、陽子へのエネルギー転換過程が断熱的(緩やか)である限り容易な事が原理的に理解される。徐々にするためには、断熱的(緩やか)にターゲットと相互作用するようなターゲットやレーザーの密度、形状にすれば良い。詳しくはここでは記述しないが、相互作用点での光の速度を十分に遅くするように工夫してやればよい。実際、Bulanovらの論文によれば、ターゲットの密度(など)の断熱的(緩やか)アレンジにより、緩やかなイオン加速の可能性を示す結果も得られている。

こうしたことから、10 J/ショットのレーザーで必要な線量、イオンエネルギーを十分まかなえるということが分かる。これ自体がイノベーションと考えられる。

以上が、最も重要な物理のイノベーションと考えている。さらに、制御された高いエネルギーの陽子をコンパクトに発生させること、そして医療イノベーションと密接に結びつけることによって以下の展開を考えている。例えば、加速された陽子エネルギーのエネルギーを揃えるためのイノベーションである。従来の大部分の実験では、加速された陽子のエネルギーは広がっている。このままでは治療に使う上で様々な手段でエネルギーの揃ったビームにする必要がある。腫瘍の最も厚い部分にあわせブラッグピークをビーム軸方向に拡大(spread-out Bragg peak: SOBP)した陽子ビームとするために、Fourkal, 田島, Maらは、一定の磁場配位を持ち込むことで、陽子の線量がSOBP化できることを示した(2003)。この磁場を作る磁石はコンパクトに出来る。さらに、レーザーが当たるターゲットの形状などを制御することで単色の陽子線を発生させることをEsirkepov, Bulanov, Mourou, 田島らは示した(2004)。このターゲット形状を用い、欧州と当所の研究者は実験的にこのターゲットから発生する陽子のエネルギーの幅が狭められることを示し、結果は2006年のNature誌に掲載された。また京都大学と当所の共同実験で、ビームのパルス幅とエネルギー広がり積は一定であることから、レーザー加速された陽子ビームの狭い幅を広げることで、陽子のエネルギー幅を小さくする(位相回転という)ことの実証を行っている(野田ら, 2006)。さらに、レーザーパルスを

二つに分け、最初のパルスはイオン生成に、より長い次のパルスのレーザーは断熱的加速に用いるという2パルス方式も考えている(加藤, 2007)。こうして、レーザー加速によるイオンビームの質が医療利用に適するようになると思われる。

(b) エネルギー向上のためのイオン加速の最適化と必要な技術開発

粒子(主に陽子)のエネルギーの増大には、原子力機構が発見したパラメータ選択戦略を採用する。時間・空間形状の制御された超短パルス高強度レーザー光を厚さ、形状等の最適化されたターゲットへ照射を行う。

原子力機構の研究(Esirkepov, 山極, 田島, 2006)で、与えられたレーザー強度(a^2)では、ターゲットの厚さと密度の積(線形密度・という)を最適化することで加速エネルギー(ϵ)が最大化する($\epsilon \propto a^2$)ことが分かった。一方、2000年の最初の実験報告からわずか数年であるが、レーザーを照射するにあたり薄膜が適正な厚みになった場合にはイオンエネルギーが飛躍的に向上する。これは、あるレーザー強度では線形密度が特定の値で最適値を取ると解釈できる。さらに、これらは特定の密度で最適になることが分かっている(田島ら; 特許出願2007)。ただし、ここで述べたような薄膜をレーザー照射ターゲットに用いる場合には、レーザーのコントラスト比を現状よりも数桁向上させてプレパルスによりイオン加速領域が破壊されないようにする必要がある。このような高コントラスト化技術としてOPCPA(光パラメトリックチャープパルス増幅)などの新しい技術が確立されつつあり、10¹⁰の高いコントラスト比も報告されるようになってきた。

また、我々は発生した粒子線の伝送について新しい方式を発明した(余語ら, 特許出願準備中2007年)。この発明は、前述の粒子線治療のイノベーションを支えるものとして、新しい治療領域(例えば、乳がん治療)を切り開くだろう。

(c) ガントリ設計のイノベーション

レーザー生成イオンビームのイオン種選別と、イオン生成ターゲット部の発生放射線の局所遮蔽は治療器の重要な要素である。これについてMaらは、従来型の粒子線加速器より遥かにコンパクトな磁石や構造体をデザインしている。

レーザー駆動粒子線治療器の特性を表2-1に示す。

表 2-1 レーザー駆動陽子線治療器の特徴

	従来の加速器	レーザー加速器
ビーム輸送、遮蔽防護	荷電粒子を曲げるために多量の大きな磁石が必要。輸送部全体に遮蔽が必要。	レーザーはミラーで輸送し小さい装置で曲げる事が可能。レーザーには遮蔽は不要。
加速器	加速のために多量の大きな磁石が必要。装置が大きくなりかつ加速器全体に遮蔽が必要。	磁場はターゲット部分のみでよい。装置の小型化が可能。
照射機	ガントリーで荷電粒子を90度曲げるため、3~5mの大きな磁石が必要。	10度程度曲げるだけなので、小さな磁石でよい（従来の加速器の数分の1）。
ガントリー	ガントリーが大きいので、患者の周囲に診断機器を配置し難い。 質量：100~250 トン	ガントリーが小さいのでガントリーと診断機器を結合できる。 質量：1~10 トン程
スキャンニング	主にロングパルスで照射。 最近、スキャンニング方式が始まった。	ショートパルスの重ね合わせ。 スキャンニング方式が主。
技術	1930年代に始まった成熟した技術。	1990年代に始まった若い技術なので開発要素が多い。
その他		防護めがねが必要。

b. 関連分野における国内外の研究開発動向

本提案の中核をなす物理イノベーションであるレーザー駆動陽子線発生は、1979年田島らの世界に先立ったレーザー駆動の超小型粒子加速器の提唱から始まる(1979, Tajima and Dawson, Phys. Rev. Lett.)、(1995, Nakajima et al., Phys. Rev. Lett.)。2000年における米国リバモア研究所でのレーザー駆動の粒子加速(約60 MeV)の最初の報告も本提案の総括責任者代理者(田島)が当時LLNLの研究管理に参画していて、この研究の管理にも携わっていたものである。一方、原子力機構は2006年には、2-3 cmの短距離でGeV級の電子の単色加速を実現している。同様の結果を世界中でレーザー駆動の陽子線発生の研究が行われている。しかしながらいずれも、前述の「非断熱的加速」によるものばかりである。本提案はこれに新しい機会である断熱的加速のイノベーションを持ち込み、それによって、レーザー駆動陽子線加速器を実現しようとするものである。

粒子線がん治療では、本提案の協力機関であり、主に加速器分野での共同研究を従来から続けている放射線医学総合研究所(放医研)は、ハーバード大学/マサチューセッツ総合病院やローレンスバークレー国立研究所の研究に続き、先駆的粒子線がん治療の研究に世界での指導性を発揮している。

また、海外においては、米国有数のフォックスチェースがんセンター、フランス応用光学研究所(LOA)を核にしたレーザーイオン源のがん治療への応用を目指した事業が相次いで開始され、激しい競争環境となっている。このような研究開発は英国ラザフォード・アップルトン研究所、ドイツ重イオン加速器研究所等においてそれぞれの国の中核になり進められている。これらの国では、産業用レーザーの技術は我が国を大きくしのいでおり、さらにそれらの技術をレーザー加速器

用レーザーシステムに持ち込もうとする意欲が旺盛である。世界に先駆けて実施した「先進小型加速器計画」の資産、成果を無駄にせずさらに発展させるためにも、今、わが国政府の支援が強く望まれる。これは、次項で述べる文部科学省「粒子線がん治療普及に向けた勉強会(2004)」の結論でもある。本プロジェクトの採択により、世界のこの分野での開発の方向に大きな影響を与えることが期待できる。これら諸外国の研究チームとは共同研究、情報交換、相互訪問などで極めて良好な関係にあり、プロジェクト採択後はさらに連携を密にすることとなる。

c. 先端融合領域として取り組む必要性・重要性

粒子線治療は、治癒率が高く「切らずに治せる」すばらしい治療法であるが、必要とされる加速器が大ききコストがかさむ問題点が普及への足かせになっている。当イノベーションはこれを見事に解決するものである。

レーザー駆動粒子線治療器は、従来のX線治療装置に置き換えられる程度の大きさまでコンパクト化することで、一般の病院への普及が可能になり粒子線がん治療の普及への道を開くことになる。

また我々は、新しい治療技術「病院既設のX線照射器のインフラに収まるコンパクト粒子線治療器」と「放射線治療医が病巣を確認しながらのがん病巣の自己放射化PET(Positron Emission Tomography)診断と連動させたスポット照射治療」(特許出願済 2006年)の概念を平成18年度「先端融合領域イノベーション拠点の形成プログラムにおける光医療産業バレー拠点創出」の実現可能性の検討(FS)の中から生み出してきた。そのために必要とされる物理技術のイノベーションを創出した。

粒子線治療に、今日発展が著しいレーザー加速という技術を

持ち込むことで粒子線がん治療装置を画期的に小型化（超小型化）し、さらに病巣を確認しながら治療できる等の治療の精密化というイノベーションが惹起できる。

粒子線がん治療は、今では放医研に続き兵庫県、福井県、静岡県などでも粒子線治療器が導入され、その治療症例数は数千を数えるようになって来た。これらの症例や調査より、前述の「粒子線がん治療普及に向けた勉強会（2004）」（以下、「勉強会」）では、

1. 粒子線治療率が手術とほぼ同程度である
2. 粒子線による治療のQOL（生活の質）は肝要局所の切除を伴わないなどはるかに高い
3. 粒子線治療はその装置や操作に資金がかかり、普及が難しい

ということを見出ししている。「勉強会」報告書では、より安価、より小型で、普及に適する治療装置の開発を推奨し、そのためのロードマップを提出している。レーザー駆動による超小型粒子線治療器の開発は、その第3段階と位置付けられる。上記の研究開発とそれから派生してくる装置開発とその製品化により、「勉強会」ロードマップの第3段階実現への扉が開けるわけである。

d. 先端融合領域として見込まれる将来性（イノベーションのもたらすもの）

当拠点で推進する光科学と医療の融合により、我々は以下のイノベーション創出を見込んでいる。

1. 「切らずに治せる」コンパクトな粒子線治療器：レーザー駆動による超小型加速器で、従来の電子加速によるX線治療のインフラに納める。
2. 「小さな内に見つけ早く治す」治療技術：レーザー加速器の特徴である粒子線ビームのスポット性、容易な可変性を利用する。
3. 「病巣を確認しながら照射する」治療：コンパクトなガントリー構造を利用し、PETと連動する。
4. 低侵襲性レーザー診断・治療機器
5. 医工融合領域での実践的養成：医学物理士、レーザー技術者、診療放射線技術士などを現場で養成する。
6. レーザー駆動粒子線がん治療器の普及を通じた人材雇用：低廉化した量産器の普及に伴い、治療器を操作する人材を確保する。

以上のイノベーションの中心を示すレーザー駆動粒子線治療器の概念には以下に示すように医療革命をもたらす新しい革新的技術が含まれている。

- 1) 低エミッタンスの性質を利用したスポットスキャンシステムによる小規模な患部の徹底治療が可能となる。
- 2) PET装置を用いて陽子照射の状況をリアルタイムでモニターする。これによりポジトロン生成核種として従来から用いられてきた¹¹Cのみでなく、半減期が2分と短い、断面積は圧倒的に大きい¹⁵Oも用いることが可能になり、精度や時

間分解能や（患部PETガンマ線以外の）ノイズの減少によるより鋭敏で迅速な診断が可能となる。

3) 照射診断をリアルタイムで結合することにより、より精密で安全な治療が可能となる。

こうしたイノベーションを生み出す道程で、3年程でレーザー励起の陽子加速器による放射化装置へ応用する。7年程で新しい医療の開拓により、加齢性黄斑症や浅部がん用治療器プロトタイプを開発する。10年程でがん一般の治療をコンパクトな装置で行えるよう開発する。これにより、レーザー駆動深部がん用治療器のプロトタイプ開発へ貢献する。

3. 拠点化構想の内容

a. システム改革の内容

我々が提起する拠点は、全体の運営方針を決定する運営委員会とその下に構成される協働機関、独立行政法人、研究機関、大学などにより構成されるプロジェクト運営会議によってリードされる研究プロジェクトを構築し、それによって技術移転を目指す「光医療・産業バレー」の形成・出現を目指すものである。さらに、その中軸ないしは受け皿としての「リサーチ・コモンズ」を形成する。これは先端光と医療の融合領域でイノベーションの湧出する有機的結合体である。この拠点は、一定の手続きと同意を得られれば本提案書提出時の団体にとどめず、一定の手続きのもと自由に参画ができるという、末広がりな「楽市楽座」的機能を担う中軸である。拠点ではがんの粒子線治療の格段の普及と低廉化などを目指す長期的研究開発を旗印に、一方ではそれから派生する光医療産業の振興とそれらの成す密着・相互作用的共同体（先端光医療産業の「楽市楽座」）の創出とその中軸の形成を図る。

日本の研究機関の欠陥のひとつは、融合的研究を行うために研究者が他の研究機関へ属して研究開発を行うことが難しいことである。このため深い融合や柔軟な組織運営ができないきらいがある。特に、共同研究への企業の参画に対する柔軟性と知的財産の保護の確保が極めて重要である。また、共同研究の効果的な遂行には、互いに公表していることだけに限定せず、腹藏なく討論できる環境が必要である。本提案の拠点はこの環境を制度として実現しようとするものである。この場合、知的財産活用の保護とその活用の両立が鍵となる。

(1) 企業が研究資源を提供しやすくするための特別な方策：具体的には、「リサーチ・コモンズ」の下に融合研究体としての研究事業を組織する。この融合研究体は、柔軟(Flexible)で、原子力機構、協働機関、研究機関、大学、さらに後から参画の企業などが一定の簡単な手続きで（一定の時期）何時でも参加できる一方、参画者（社）はメンバー内でお互いに認知されていて、そのメンバー内では研究成果としての知的資産を共有できる（Free）。その一方でメンバー内でも共有された知的資産は他へは開示されない（Exclusive）。そして参画の企業はその知的資産を自由に（自社だけでも、また他の事

業形態でも事業展開可能 (Expandable) とする。すなわち、「FFEE」(フィー: ちょうどゲームへの参加料のように) 原理が働いている。参画する際には、「秘密保持契約」(NA: nondisclosure agreement) (1 ページの簡単な様式) に署名し参加が表明される。既存のメンバーは、当然であるが新たなメンバーの参入が気に入らなければ、拒否権を発揮できる。こうした知的財産の運用法は、国際高等研究所で研究(北村ら)されてきているので、その成果を取り入れる。融合研究体は、幾つでも「リサーチ・commons」の中にあって良い。複数の融合研究体は輻輳して重なっていても良い。これは、先端における光と医療の接点として多重な集積でもある。知的資産に基づく起業や、企業活動による収益の取り分は、「汗」をかいたもの「知恵」を出したものそれぞれが、それぞれのインセンティブがあるような配分とする。今までは、日本の方式は「汗」のみに偏りがちであるが、一方「知恵」のみを強調するきらいもある。このバランスが大事である。

「FFEE」原理は、fee (参加料または資源の提供) を払ったメンバーは上記のように知的資産を享受し、その事業展開を出来る。一方、「リサーチ・commons」は、オープンで、一定の手続きと既参画メンバーの同意が得られれば「FFEE」を広げることでもできるし、「FFEE」以外のメンバーが参画の検討等をするのを妨げない。実際、彼らは「リサーチ・commons」に入ってきて、共用化されている機器を(共用化のルールに従って)自由に利用は出来る。ただし、知的資産は共有出来ないし、ましてやその事業展開は出来ない。さらに、自らの融合体と事業展開に有効であり、「FFEE」には fee を払う限り、外国資本の企業を予め拒否する理由はない。勿論、既に入っているメンバーがそれぞれの理由で拒否権を発動できるので、それで承認されねば駄目である。こうしてオープンで、国際性も保有した「リサーチ・commons」(研究広場)が確保される。この「リサーチ・commons」の運営は、それ自体で運営できるように障壁となる多くの規制を免除する。こうして信長の作り出した「楽市楽座」が500年の後に新しい形でここに創出される。「拠点」に参集するFFEE協働機関はさしずめ当時の自由貿易都市堺の「だんな衆」(組合)を彷彿とさせる。本提案が提起するのはそうした仕組みとその実現、それを通じた光医療産業の振興である。

我々は、この一年間の科学技術振興調整費調査研究を通じ、当拠点および知的資産について企業と討議する際には、まず簡便な「秘密保持契約」の署名を交わし、二者の間での知的資産の共有が行われる場合、それが関係の無い第三者に流出することを阻み、資産の価値低下を招かないよう配慮をしながら、必要かつ十分のメンバー (need to know) の間での情報が共有化されるような行動原理を実践し慣例化してきた。企業からはこうした慣行は、企業の「リサーチ・commons」への参画に安心感をもたらすと評価されている。「リサーチ・commons」のもう一つの役割は、二者間の知的資産を尊重しつつ、他の多機関との接触の機会を高め、異種の力量やアイデ

アが触れ合い、新しい知的資産へと発展する条件をより豊かに提供することである。これらの「接触」は、上記の秘密協定を尊重し合意の上でなされるべきものである。これが、「リサーチ・commons」で高い付加価値を生む原動力となる。これを支える「秘密保持契約」および特許、ライセンスなど知的財産保護の事務・管理を行う「オフィス」を拠点内に設置する。さらに重要な点は、当事業が起爆剤となり、原子力機構の運営に新しい方式を導入するように向かっていることである。従来の原子力機構の組織や人事の方式を超えて、全く柔軟で迅速な融合研究に適した組織設計や人事設計が始まった。具体的には「事業推進オフィス(室)」と仮称する組織で、この「オフィス」は原子力機構 関西光科学研究所に新たに設置され、当「拠点」創出に当たり多くの協働機関、協力・連携機関や「光医療産業バレー」の住人が自由に「楽市楽座」的に交流できる機能を保証する推進機構を意味する。この組織原理は原子力機構にとっても試金石で、こうした努力を積み重ねることで総合科学技術会議(2006年5月)の提案する研究体制の提言や国の要求するニーズに向かった柔軟な研究の体制を整備する努力を行う。

(2) 多様な人材の活用方策(若手研究者、女性研究者の積極的活用、国際公募による優れた研究者の確保と外国人研究者の受入れ態勢の整備等):

人材の柔軟な登用と育成を図るために、日本で欠けている点は、複数の組織にわたって所属する柔軟性が普通は許されない点である。当「リサーチ・commons」では、上記の事業融合研究体内では、Aの社員は同時にBの社員としてもその期間活動ができるような措置を取るための積極的努力を行う。国際標準の透明な運用が必須であり、これは外国人にも同様に適用する。人口減少期に直面した日本社会で、人材活用の2大命題は女性人材の抜擢と外国人の大々的登用(特に「安くて優秀な」)である。こうした多彩な人材登用が、挑戦的なゴールの達成には不可欠と考える。いろいろな考えや経歴の研究者の多様集団であって初めて、困難に直面した際、思わぬイノベティブな新しい解決法を思いつくものである。提案機関である原子力機構では、大学院生を対象とした「特別研究生」の制度があるが、これを拡充するだけでは不十分である。若手研究者の積極的活用方策として研究補助員(Research Assistant: RA)制度を設け、自らが研究のアシスタントとして関わるという自覚を醸成するために事業の効果的推進、研究体制の充実を図る。研究の場は、「拠点」内とは限らず研究のため協働機関や協力機関内でも行うこともありうるように配慮する。すなわち、拠点の推進する光医療に関する研究開発に携わる大学院生(外国からの留学生も積極的に受け入れる)をRAとして採用し、プロ意識の育成と同時に経済的基盤を与えて研究に専念させる。こうして育った多くの外国人RA達は、本プロジェクトに多大な貢献をするだけでなく、いずれ身に付けた医学物理とか、レーザー医療器の知識を祖国に持ち帰ったりし、当事業の技術の移転や展開に寄与すること

になるであろう。

女性研究者の積極的活用については、同程度の能力を有する場合には優先的に採用する方針を明確にするほか、キャリアサポートネットワークなどへの紹介や出産・育児の支援策として既存の休暇制度に加えて、フレックスタイム制などの導入の可能性などを検討する。原子力機構では「男女共同参画推進委員会」が設置され、これらの活動を支援する。

全てのポジションにおいて国際公募による優れた研究者の確保を図るが、それには原子力機構やJSTなどの公的機関、関連学会のホームページなどを積極的に利用するほか、採用時の業績審査、面接などにテレビ会議システムを活用するなどの柔軟な対応を図る。外国人の受入体制としては、外国語（英語）に堪能な事務補助員を配置するほか、外国語（英語）による受入時の安全教育、英語を取り入れた研究環境の整備を図る。事務処理に英語も許すような方途を検討する。

(3) 人材流動化の促進（現給保障・能力給・個人年金制度の導入・充実、産学の人材交流の促進等）：

訪問研究員（Visiting Researcher：VR）制度を設け、全世界からの研究機関及び協働研究企業からの研究者を一定期間4週間～2年程度研究員として多量に受け入れ、拠点における産学の人材交流を促進し、「リサーチ・コモンズ」が異人種・異文化交流のハブたらしめ、新しい知的資産創出のための交流と雰囲気を高める。また、柔軟な兼職制度を拡充し企業や国外からの優秀な人材を受け入れ易くし、人材流動化の促進を図る。短期的研究員が不利益を被らないように、個人年金制度の導入・充実を検討する。

b. 企業との協働体制

(1) 企業からのコミットメントの具体的な内容

(a) 「粒子加速に適合したレーザー」の開発

拠点の現有の高強度チタンサファイアレーザーは、極短パルス性を利用し、低いエネルギーで高い強度を発生し得る。この高度化を目指す。ウシオ電機（株）と協働しこの事業にあたる。

さらに、「断熱的（緩やかな）加速条件」を満たすためには、よりパルスの長い高エネルギーのレーザーが適合すると考えられるので、新型のYb系のセラミックレーザーの開発を行う。この事業は浜松ホトニクス（株）を協働機関とし、電気通信大学と神島化学工業と協力して開発を行う。また、大阪大学とも協力する。

(b) 「レーザー駆動照射器」の開発

スポットスキニングもできるペンシル型のビームを生成することに長けたレーザー加速による照射器を開発する。この事業を（株）東芝と協働して行う。

また、上記のような新照射野の研究を放医研や京都大学などの協力機関と共に行う。

ガントリーは、従来の粒子線治療器の100トンを超えるものを10分の1以下に下げる設計を行う。また、必要な磁石もこのガントリーでは小さく出来る。

(c) 「レーザー駆動粒子線治療器」の臨床実証

兵庫県立粒子線医療センターと協働して、同機関のビームラインを先行利用して照射実験・実証を行う。さらに、この研究用照射室に開発された照射器や診断器を設置し実証実験を行う。さらに、当該ビームラインを用い、医学物理士候補などの実地訓練といった実践の人材育成に役立てる。

(d) 小型化と高精度化を両立する新たな治療法の確立及び装置開発

ガントリーのコンパクト化が図れるので、患者の周辺に診断装置を並置できる。PETを置くことで、粒子線照射の効果・線量をリアルタイムに測定し、それに応じて後の照射線量を調節するという、新しい、より精密な治療法「病巣を確認しながらの治療」を確立できる。これが我々の主要なイノベーションの一つである。この診断系の開発を（株）島津製作所と協働して進める。

(e) 光医療システムの産業応用・展開

レーザー照射による陽子加速は、生体照射のみならず、金属照射により、その放射化をまねくことができる。材料の放射化により、その金属材の機械工業的摩耗のリアルタイムでの精密測定が工場内で可能となる。この可能性については、（株）豊田中央研究所と協働して行う。

必要な光学系の開発や、光学系を用いたレーザーによる低侵襲性の医療機器開発への産業利用を、ペンタックス（株）、および（株）フジクラと協働して行う。

医療用途の研究開発における中間成果の応用を担う。その応用の成果もまた超小型陽子線治療器の開発に供すると考えられる。

(f) 拠点の構築・運営

以上の研究開発・製品化の事業を支えるものとして拠点構築・運営においては、（有）HOC、および日本アドバンステクノロジー（株）と協働して行う。

(2) 研究者・技術者の確保方策

原則的には、協働機関からは、専門分野における第一人者が参画することとする。新規に研究員・技術者を採用する場合は、国際公募とし、随時必要に応じ（また、国際的有用人材の出現に応じ）、厳正で国際テレビ面接などを活用した迅速な審査により選抜する。もって人材の多様な国際化、多彩化により国際標準やその先導的人材スタッフィングを図る。日本の旧へいである単一的人材登用の常をこうして打破する。また優秀な人材を発掘した場合には、随時採用できるように弾力的な人材確保方策を採る。

(3) 協働体制の運営方法

運営委員会（Board of Directors）の設置：このボードは、医学界で指導性を発揮している放射線医学の最高権威により、医学のニーズと着地点を定めていただき、計画の方向性を指し示す役割を演じて頂く極めて戦略性の高い位置づけの委員会とする。

委員長：阿部光幸（京都大学医学部名誉教授、兵庫県立粒子

線医療センター名誉顧問)

委員：辻井博彦 (放射線医学総合研究所重粒子医科学センター長)

森田皓三 (愛知県がんセンター名誉院長)

村上昌雄 (兵庫県立粒子線医療センター放射線医学部長)

成瀬昭二 (京都府保健福祉部理事 保健医療政策担当)

C-M Charlie Ma (Director, Radiation Physics Dept. of Radiation Oncology Fox Chase Cancer Center)

James Cox (M.D. Anderson Cancer Center)

Vladimir Khoroshkov (ITEP Moscow)

運営委員会で決定された内容については、統括責任者に事業推進責任者として自由裁量権を与え、その遂行に当たらせる。具体的には、協働機関の研究代表者からなる会議を組織し、統括責任者をそのリーダーとし、強いリーダーシップのもとに事業運営システムを構築する。

この運営システムでは、協働機関のコミットメント (役割意識) をタスク毎に明確に位置づけ、各機関が主体的に役割を果たし、その成果が事業全体を活性化するような機構とする。

(4) 協働成果の取扱方針 (技術移転の活動)

研究成果の実用化・産業化へつなげるための方策として、原子力機構の産学連携推進部の支援を得ると同時に、「リサーチ・コモンズ」の内に「けいはんな新産業創出・交流センター」の参画を得る。同センターは、研究機関が持つ様々な制約をNPOのような柔軟な運営でその不足する部分を補う。具体的には、

- ・共同研究遂行支援事業
- ・共同研究環境整備事業
- ・研究成果に関する知的所有権保護支援事業
- ・研究成果の紹介や企業化推進などの社会還元事業
- ・研究成果の普及事業

などの活動を行う。

(5) その他

当事業達成のためには五つの研究開発・製品化の領域と一つの拠点構築・運営の領域がある。当イノベーションの達成には一つならず、多種の医療的・技術的ブレークスルーの融合が必要で、そのため、多種の企業群の参画が必要となる。各領域の遂行に最適な日本で最良の協力団体の参画を得られたと確信している。

当事業に参画する協働機関 (10 機関) は、前述の企業からのコミットメントの具体的な内容に示しているように、それぞれの担当分野が明確になっており、また、その分野は当事業の実現に必要と考えられる領域に過不足なく及んでいる。また、総括責任者は、強いリーダーシップの下に運営委員会を通じて協働機関との協働体制を明確にし、拠点化構想の実現を妨げることがないよう当拠点の運営を行う。

c. 人材育成

(1) 人材育成のための具体的な仕組み

人材育成の対象はレーザー粒子源開発者、治療器の運転・維

持・治療技術者、関連諸分野の学生、技術者、科学者などである。育成目標は、実証器開発の担当、商品化、運転、治療などである。

(a) 技術者育成コース：

アジアを中心とする開発途上国からの研究者・技術者を積極的に交流し受け入れ、「レーザー加速と光源の夏の学校」(2006年夏季第1回北京開催、第2回2007年京都府木津開催予定)、「加速器スクール」(2006年夏季、北京)、「粒子線照射技術スクール」等を開催し、こうした技術を開発途上国に根付かせ、粒子線治療がこうした国々に普及可能となる条件を整える。これは、我が国の大きな国際貢献にもなると考えている (原子力機構には、既に中国、韓国やアジアとの連携の実績がある：JST 日韓中の極短パルス高強度レーザー研究協力のための連携体構築、アジア高強度レーザーネットワーク [AILN] その支援のための JSPS の資金援助がある)。さらに、「国際超高強度レーザー会議体」(ICUIL) の共同議長を当所長が努めるなどしている。

(b) 理、工、医、薬、農にまたがる大学院との広い連携パートナーシップ：

人材養成をさらに広げるため、大阪大学、京都大学、同志社大学、京都府立医科大学などとの連携大学院大学などの枠組みについて検討を始める。現在すでに大阪大学とは「連携融合」プログラム、京都大学とは振興調整費「若手研究者の自立的環境整備促進プログラム」、同志社大学と京都府立医科大学などとは「けいはんな光医療産業バレー研究会」、並びに京都府での検討など、既に重層的関係を築いてきている。こういう関係の礎に立って、より発展した連携体制の検討に入る。具体的にまず、「けいはんなコンソーシアム大学院大学」構想を立ち上げる。事実、同志社大は既に「京都大学コンソーシアム」の代表校をつとめていて、この構想の推進を行う。この枠組みを利用して研究のみならず教育面でも積極的な連携を図る。京都府精華町に所在する医療法人医聖会学研都市病院と包括的連携協定を結ぶ同志社大学は、平成20年度より大学院生命医科学研究科をスタートさせる予定であり、本事業に対する積極的な協力体制構築を約束している。「拠点」に隣接する広大な京田辺キャンパスに加え、同志社大学は学研都市病院と直接行き来できる専用通路を設けた学研都市キャンパスを有しており、本事業に適した講義教育スペースのみならず、実施機関・連携機関に対する実験スペースの提供を計画している。こうして新鮮な人材をこの分野に流入するよう図る。特に複数研究科にまたがる有機的教育 (例えば理の物理と医にまたがる医学物理士の教育・養成) の実現を図る。医学物理士の育成については、日本で弱い学際的人材の育成が大切だが、従来からある「RI・放射線技術者」(第一種放射線取扱主任者など) の実践教育を含むレーザー駆動の放射線発生体の取扱いの実践教育、医療現場における放射線の取扱いの訓練などを統合した養成制度を目指す。そのために、放射線利用振興協会 (RADA) の「国際原子力技術協力センター」

及び拠点である原子力機構の「原子力研修センター」での実践教育を活用し、幅と深みのある人材育成に実を挙げるよう貢献する。さらに、将来においてレーザーを用いた粒子線治療器を扱える人材を育成するために、その基盤となる医学物理士の育成を、関連する大学、医療機関等と連携して実施する。

粒子線治療の普及には加速器技術者、医学物理士、放射線技師のみならず看護師、各種腫瘍を取り扱う医師などの医療関係者の人材育成が不可欠である。兵庫県立粒子線医療センターでは陽子線および炭素イオン線治療ができる世界で唯一の粒子線治療施設であるため、この臨床の場で実際的な研修することは大いに意義深いものと思われる。本事業において兵庫県立粒子線医療センター開発照射室における粒子線ビームの基礎実験施設などの研究体制を整えば、臨床面だけでなく生物学的・物理学的な基礎研究の基盤が整うこととなる。従来型のシンクロtron加速器から照射された陽子線をベースとして、新たに開発されたレーザー駆動装置から照射される陽子線を相互に比較検討する基礎実験を行う過程で、各領域の人材育成に大きく貢献することが予想される。

また、わが国には現在6施設の粒子線治療施設が稼動しており、今後施設数の増加も見込まれている。臨床的にはこれら施設間で日本粒子線治療臨床研究会が構築されているが、本事業遂行の過程で日本粒子線治療臨床研究会や他の粒子線治療施設との相互連携・技術交流も期待され、粒子線治療全体のレベルアップに貢献すると予想される。

(c) 基盤技術（レーザー、照射技術等）の産業化のための「バレー」の形成：

基盤技術の産業化のための資金融資の仕組みを作り、商品化に至るまでの企業の資金的リスクの軽減を図ると共に、斬新な情報に触れることによる最新技術開発の可能性を高める。企業家育成資金を拠出する仕組みを構築する。「バレー」にはベンチャー投資会社も存在する。育成された多様な人材は、一つにはこうしたベンチャーの設立や雇用に生かされる。「関経連」と連携して「バレー」の中での産業化・企業振興の支援を行う。

(2) 育成された人材の活用方策（医学物理士など）

(a) レーザー加速治療器開発による医学物理士の新たな活躍の場の創出

上記の育成策と並び、育成された人材は、レーザー加速粒子線治療器が病院に普及するようになるとこの操作・運用に必要とされるようになる。医学物理士は研究能力などの高度な能力を有するが、現在の治療器の操作・運用には日本では放射線技師が携わり、医療機関での医学物理士のポジションが明確でないくらいがあって、その起用が難しいが、新たな治療器の導入で日本での医学物理士の雇用に道を開くことになる。

(b) 自治体による育成された人材の雇用支援

研究協力機関である京都府は、育成された人材の活用場所

を提供したり、紹介したり、斡旋、情報提供などを行い、治療レベルの向上に資する。がん対策基本法では、「がん診療連携拠点病院」の強化をうたっている。「拠点」は、自治体の上記の使命に協力し、自治体はこうして育成された人材の雇用やその援助をする。また京都府のがん治療の均てん化を図るため、放射線治療の中で医学物理士の所掌できる範囲を広める仕事を行政として行っていく。

また、「がん診療連携拠点病院」には「都道府県がん診療連携拠点病院」と「地域がん診療連携拠点病院」がある。京都府立医科大学附属病院は、京都府唯一の「都道府県がん診療連携拠点病院」となっており、がん診療連携の中心的役割をなしている。従って、この施設で協働しての、研修、臨床応用などは、粒子線治療の発展に欠かせないものといえる。

d. 波及効果

拠点を形成する各研究機関は現時点においても、高出力レーザー、放射線医療、光産業等で高い実力を有している。今回、拠点化してネットワークを形成し、それぞれの力を結集して事業推進に向かうことになる。拠点の取りまとめ機関である原子力機構関西科学研究所はけいひんな学術研究都市に位置しており、京都大学、同志社大学、島津製作所などとともにレーザーによる超小型粒子線治療システム開発計画実施に伴う集中的な施設整備、人材育成等により関連分野の地域の中のセンターとしての機能が育まれ学際的かつ産業界も巻き込んだ共同利用研究施設として実質的に機能して行くことが期待できる。地域に立地する他の研究機関に対して、レーザーを基軸にした医療工学の牽引的役割が期待できる。また、大阪大学とはレーザー開発やそれから出る放射線源の開発で連携融合事業や共同研究を既に結んでいる。大阪大学は日本における高強度レーザーの開発の中軸であり、この研究力量を地域や産業化へと技術移転してゆく土台を有する。またけいひんな地区に立地しない研究機関、企業とも開発分担、人的交流を通じて集中した研究開発を実施する。これにより拠点ネットワークとして成果を積み上げ、内外の高出力レーザーの関連研究機関に対し、医療利用の牽引車としての役割を担って行くことが期待される。

レーザー加速器の生体・医療への利用に至る前でも、10 MeV程度でできる放射化装置の需要が明らかになった。これにより機械工業における金属の磨耗をリアルタイムで正確に測定できる。小型の装置であれば、工場に設置できるようになる。現在は、放射線医療機の圧倒的多数を占めるX線治療器はバイ・アメリカ政策以来、日本企業の市場占有率はゼロになった（日本でも、世界市場でもゼロ）。当加速器が開発され製品化されれば、再び日本企業ががん治療器において市場を確保できるようになる。がん患者は世界中で増大し、日本でも死因の1/3を占める最大の疾病である。一方、「切らずに治す」放射線（X線）治療は、がん治療の1/3（欧米では1/2）を占めている。もし、レーザー加速器が開発され小型陽子線治療器が製品化されれば、同じくらい低廉でより低侵襲なので、

X線治療器に取って変わりうると考えられる。従って、その市場規模は極めて大きいと予想される。

前述したレーザー駆動粒子線治療器の市場価値に加え、それを支援し先導してゆく診断器（「小さい内に見つけ早く治す」）や付属光機器の創出が大きく広がり、この研究開発を通じ広く多彩な光医療産業が創出されることが考えられ、これらの市場規模は上記の粒子線装置の幾倍にもなる。これがまさに「光医療産業バレー」における産業創出である。

4. 具体的な達成目標

a. 3年目における具体的な目標

医療応用に向けた新しい照射法の開発として、従来の陽子加速器を活用した高品質陽子ビームの実現と、それをを用いた精密照射技術の開発、治療室（兵庫県立粒子線医療センター）の整備、従来型を含む粒子線の導入とPET診断装置の設置、PET診断と連携したスポット治療法などの予備試験を実施する。

また、レーザー駆動小型加速での陽子線発生数の増大を図るとともに、陽子線のビーム品質を既存の加速器と同等以上なレベルまで向上させ、商品化が可能な装置へと展開する。

さらに、陽子スペクトロスコーピーなど、各種の測定装置の創出を目指す。これと並行して、陽子線照射の際の線量評価法を確立し、また、レーザー駆動法特有の放射線発生特性のデータベース化と放射線遮蔽技術を推進させ、安全な取り扱い

基準作りを開始する。これら技術の産業への移転として、放射化装置の機械工業における金属材料の磨耗のリアルタイムでの計測器として作り上げる。また、医用に適合したレーザーのシステムの実証機を開発する。

b. 7年目における具体的な目標

医療応用に向けた新しい照射法の実証機として、スキャン法、強度変調法、PET診断と連携したスポット治療法などを確立する。生体を模擬したファントムへの照射法の実証機を開発、および、新しい照射野形成の研究を行う。新しい治療領域（眼の疾患、頭けい部疾患など）に向けたファントムでの実証試験を実施し、治療体系を構築する。また、開発の過程で医療利用の前段階としてラジオグラフィ、材料照射などへの応用を目指す。新しい治療法や照射野形成の研究を行い、産業への移転を図る。

c. 実施期間終了時における具体的な目標

眼の治療などの低エネルギー治療器および治療計画の構築に続き、体の深部がん治療を目指した高エネルギーの陽子線発生とそのビーム輸送、照射技術を確立する。並行して治療計画を開発する。ここでは本格的治療器および治療システムとしての技術的基礎を固め、産業移転可能なプロトタイプの実証機を開発する。これを支える医用に適したレーザーシステムの完成と製品化を図る。

本研究が目指すイノベーションの展開を表3-1に示す。

表3-1 本研究が目指すイノベーションの展開（10年後に実現したいイノベーションの内容とロードマップ）

達成目標・波及効果 開発課題・要素技術	前期（初年度～3年度）	中期（4年度～7年後）	後期（8年度～10年度）	10年後のイノベーション
○レーザー駆動超小型加速器				
・医療用小型高性能レーザー	・既存チタンサファイアレーザーの高度化 ・LD励起新型固体レーザーの開発	・既存チタンサファイアレーザーの高度化 ・LD励起新型固体レーザーの高出力化	・超小型粒子線加速器に組み込んだレーザーの安定性、信頼性などの総合評価	○「切らずに治せる」 コンパクトな治療器
・レーザー駆動陽子ビーム発生・輸送技術	・5-10 MeVの陽子線発生、選別・輸送技術の開発 ・遮蔽技術の開発	・40-80 MeVの陽子線発生、陽子線別輸送技術の開発 ・遮蔽技術の確立	・100-200 MeVの陽子線発生と輸送技術の開発 ・レーザー駆動放射線の安全取扱技術基準の確立	
・システム統合	・エネルギー5-10MeV陽子加速器の実現とその機械部品消耗検査用放射化装置などへの応用	・40-80MeV陽子加速器の実現とそれを用いた黄斑変性症及び浅部がん用治療器プロトタイプの実証機	・100-200MeV陽子加速器とそれを用いた深部がん用治療器のプロトタイプの実証機	
○新しい照射・治療技術				
・スポット照射技術（高精度化）	・精密照射技術（スポットスキャン法、強度変調法など）の開発と既存加速器を用いた試験	・精密照射技術の開発とレーザー駆動陽子線加速器(40-80MeV)を用いた試験	・精密照射技術の開発とレーザー駆動陽子線加速器(100-200MeV)を用いた試験	○「小さな内に見つけ早く治す」
・PETとリンクした治療技術	・従来のPET装置を用いた短半減期核種(¹⁸ O)の観測技術	・PET診断技術とスポット照射技術の統合に係る性能試験	・PET診断技術とスポット照射技術の統合に係る性能試験	○「病巣を確認しながら照射する」治療
・照射治療計画技術	・超短パルス陽子ビームの照射線量評価のための計測装置と評価技術の開発とファントムなどによる検証	・放射線発生特性のデータベースと左記線量評価法を用いた精密照射技術の高度化	・PETによる陽子線照射状況のモニタリングとその視覚化	
○診断機器				
・PET装置	・照射領域及び照射線量の評価機能を有するPET装置の研究	・照射領域及び照射線量の評価機能を有するPET装置の開発 ・ファントムを用いた照射線量評価試験	・PET装置のガントリーへの統合	○低侵襲性レーザー診断・治療機器
・ファイバー診断・治療器	・複合型ファイバーシステム開発	・低侵襲レーザー治療装置の開発	・低侵襲レーザー治療装置の高度化	
○人材育成				
・医学物理士、レーザー加速技術者等の育成	育成カリキュラム策定 既存の粒子線加速器施設を活用したOJT研修 (兵庫県立粒子線医療センターなど)	レーザー粒子線加速器施設を活用したOJT研修 (原子力機構 関西科学研究所など)		○医工融合領域での実践的養成
・アウトリーチ活動	研究成果報告会、国際フォーラム、等の開催。学会発表、学術誌への投稿、プレス発表、PR誌の発行等による成果の発			○レーザー駆動粒子線がん治療器の普及を通じた人材雇用

5. 実施期間終了後の取組

小型レーザー駆動陽子線がん治療器の開発と付随した一連の医用機器、システムの開発により 1) 人材、2) 技術の集積、3) 開発組織、4) 開発した試作機器、5) 産業移転により形成された市場が残る。これはこのプロジェクトの財産であり引き続き自立的に拡大発展させて行くべきものである。その原動力は、上述したように、この研究開発が点火する（20兆円とも概算される）超小型のレーザー駆動粒子線がん治療器の他、さらに大きく広汎な光医療産業の展開と市場の出現である。こうした活動に誘引されながら京都府の計画している「先進診断治療センター（仮称）」に当拠点の主たる機能を移入し、中軸的役割として貢献して行く。

拠点の取りまとめ機関である原子力機構に事務局を置く体制は実施期間終了後も継続する。これに必要な資金は原子力機構をはじめとする参加機関の持ち出しによるものとする。そのもとに、以下に記載した計画を引き続き行う。

まず技術、人材の一部は京都府が中心となって提唱されている先進医療機器による治療とその治療器開発を行う「先進診断治療センター」計画や自治体が紹介する病院に合流し、その中で医療機器開発、治療活動を継続させる。人材は企業家、開発研究者、医療従事者等となり引き続きこのプロジェクトの発展・深化を担っていただく。特に企業化に関しては、わが国のこの分野の優位性を確保するためにも経済的育成支援は官・民を挙げて行うことが望まれる。開発組織は参加団体の持ち寄りにより、引き続き機能させ、新課題立ち上げの拠点として機能できるように力を保ち続ける。開発した試作機は引き続き装置の改良等に用いる。これの資金は原子力機構の装置共用化の収入や自治体等によりまかなう。

6. 期待される波及効果

拠点を形成する各研究機関は現時点においても、高出力レーザー、放射線医療、光産業等で高い実力を有している。今回、拠点化してネットワークを形成し、それぞれの力を結集してプロジェクト推進に向かうことになる。拠点の取りまとめ機関である原子力機構 関西光学科学研究所は、けいはんな学術研究都市に位置しており、京都大学、同志社大学、連携企業などとともにレーザーによる超小型粒子線治療システム開発計画実施に伴う集中的な施設整備、人材育成等により関連分野の地域の中のセンターとしての機能が生まれ、学際的かつ産業界も巻き込んだ共同利用研究施設として実質的に機能していくことが期待できる。地域に立地する他の研究機関に対して、レーザーを基軸にした医療工学の牽引的役割が期待できる。また、大阪大学とは、既に原子力機構とレーザー開発やそれに伴う放射線源の開発で「連携融合事業」や共同研究、また、提案中の「グローバルCOE」事業での連携を結んで、日本における高強度レーザーの開発の中軸となり、この研究力量を地域や産業化へと技術移転してゆく土台を有する。こうした努力は、現在検討中の国の「イノベーション25」にお

ける施策とか、文部科学省において検討中の「光施策」などに積極的貢献ができるものと考ええる。

また、けいはんな地区に立地しない研究機関や企業とも開発分担・人的交流を通じて集中した研究開発を実施することにより、拠点ネットワークとして成果を積み上げ、内外の高出力レーザーの関連研究機関に対し、医療利用の牽引車としての役割を担ってゆくことが期待される。

以上が期待される波及効果である。前述したレーザー駆動粒子線治療器の市場ニーズに加え、それをサポートしガイドしてゆく診断器や付属光機器の創出が大きく広がり、この研究開発を通じ広く多彩な光医療産業が創出されることが考えられる。これを通じ、国内、国外市場の殆ど全てを失った治療機器（特に現在のX線等のがん治療放射線機器一数千億の市場一）の失地回復に寄与することになるであろう。また、新しいより広い光医療機器やそれを支える産業の発展につながるであろう。同時に、医療応用を超えた、広い産業利用（機械工業へなど）が始まるであろう。

7. 実施体制

拠点で実施する内容は外部有識者で構成する運営委員会で決定し、その決定事項にしたがって、総括責任者が強いリーダーシップのもとに事業を遂行する。実際の研究推進は、関連機関の責任者、研究事業リーダーで構成する事業運営会議で調整し、実施計画を作成のうえ、効率的な運営を図る。

研究支援に関する体制は、総括責任者のもとに業務室、推進室、知的財産評価室を置き、研究事業を強力に支援する。こうした体制の下に、リサーチ・コモンズが有機的にかつオープンに機能して地域や技術コミュニティーや医療界の交流と創出の場となってゆく。技術移転に関し、「けいはんな新産業創出・交流センター」が技術移転の潤滑剤として機能する。粒子線治療やそのための加速器開発で先駆的研究開発を推進してきた放医研は、この事業で研究協力機関として拠点の連携機関の重要なメンバーである。放医研は、その中期計画で先端技術の開発を謳っており、当拠点で開発するレーザーベースのより抜本的技術開発で臨床用に結びつけるというミッションと相互補助的・協力的関係にあり、これにより、全日本のこの方面の知恵と研究力量を十二分に展開できる。これは、当計画達成の重要な条件である一方、当計画は放医研にも貢献でき、相互互惠の関係になる。

さらに、京都大学、京都府立医科大学、同志社大学、大阪大学、奈良県立医科大学は、いずれも医療研究または生命科学における日本の峰であり、この参画を得ることで、拠点は著しく強靱な布陣を敷いたことになる。一方、大阪大学は、世界でも名だたるレーザー開発の先進的の大学であり、拠点は光源開発においても世界の峰となる条件を有している。

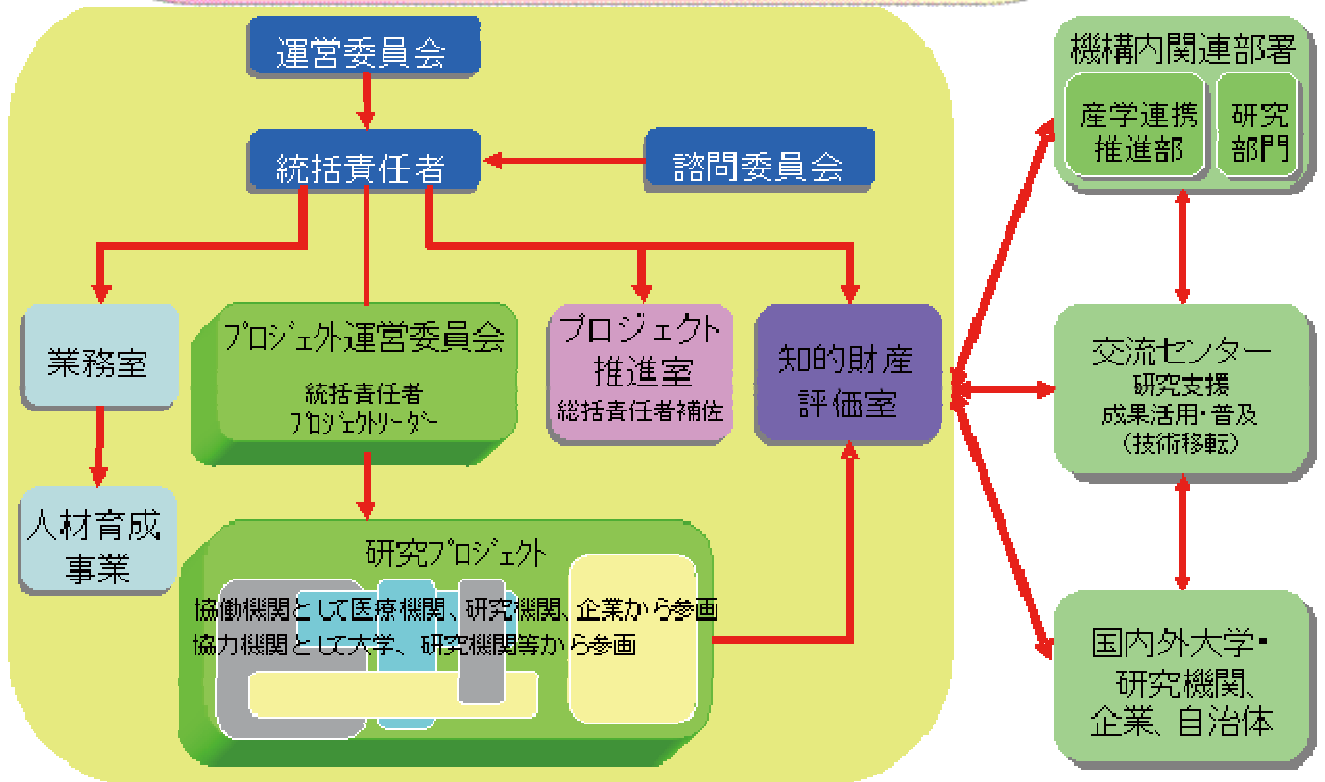
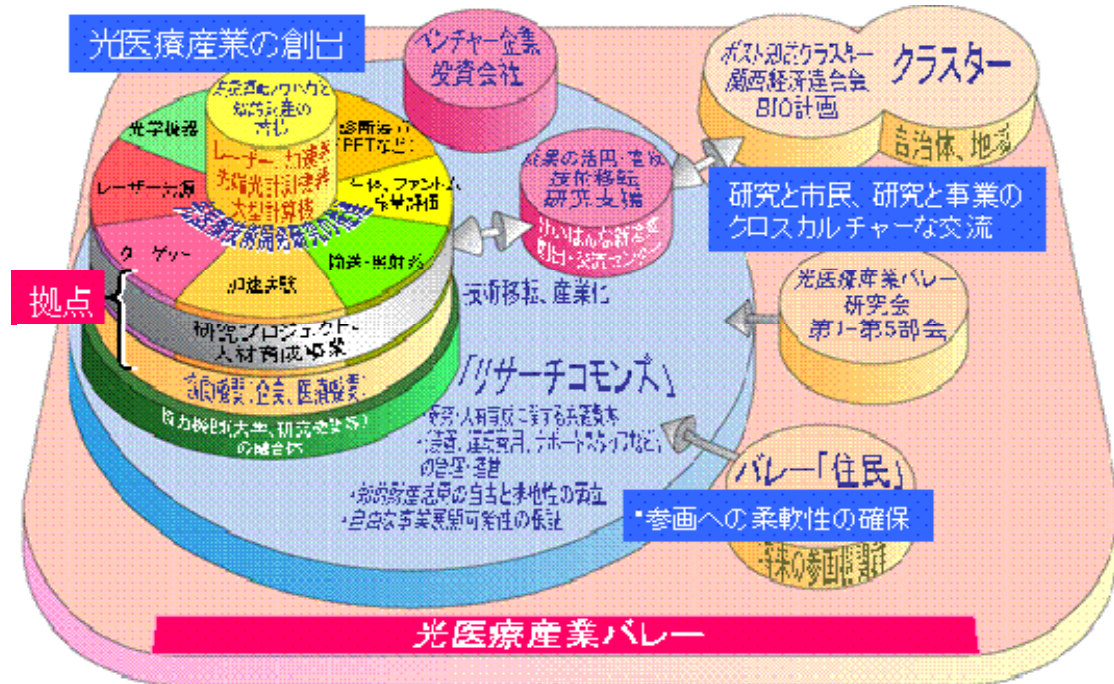
こうした研究力量の多様な集積を重層的に有機的、弾力的、互恵的に取り組み合わせる体制が「リサーチ・コモンズ」で、その舞台の上で、多くの協力機関や他の企業体の参画が、市

場を目指した付加価値の高いプロダクト創出の原動力となる。
最後に、当けいはんな地域は古より、文化や学術の香りの高い伝統がある一方、進取の気風にも優れ、多くの創造的文化

や学術、商業、産業、自由貿易の気風などを生み出してきた。
この伝統が拠点の血の中にも流れている。

拠点の目指す体制

リサーチ・コモンズと「光医療産業バレー」の創出



「光医療産業バレー」拠点の構成

氏名	所属部局・職名	当該構想における役割
◎岡崎 俊雄	(独) 日本原子力研究開発機構 理事長	原子力工学
田島 俊樹	(独) 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所・所長	レーザー加速
木村 豊秋	(独) 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所 量子ビーム応用研究部門・ユニット長	原子力工学
河西 俊一	(独) 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所量子ビーム応用研究部門 研究推進室・室長代理	レーザー化学
佐藤 隆司	(独) 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所 管理部・管理部長	経営管理
大道 博行	(独) 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所・量子ビーム応用研究部門・研究主席	レーザー科学
長島 章	(独) 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所 施設共用課・研究主席	レーザー計測
土田 昇	(独) 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所・技術主幹	原子力工学
山極 満	(独) 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所・量子ビーム応用研究部門 光量子シミュレーション研究グループ・GL	計算科学
Bulanov Sergei	(独) 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所・量子ビーム応用研究部門 レーザー電子加速研究グループ・GL	高強度物理
岡 潔	(独) 日本原子力研究開発機構 産学連携推進部 産学連携技術開発チーム・研究副主幹	レーザー技術
吉田 宏	(独) 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所 量子ビーム応用研究部門 研究推進室・副主幹	財務
浅井 利紀	(独) 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所 量子ビーム応用研究部門 研究推進室・技術開発協力員	計算機ソフト
山根 芳文	(独) 日本原子力研究開発機構 財務部・部長	財務
平松 冴枝	(独) 日本原子力研究開発機構 産学連携推進部 研究協力課	契約
織茂 聡	(独) 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所・量子ビーム応用研究部門・研究員	高強度場科学
高井 満美子	(独) 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所・量子ビーム応用研究部門・研究員	放射線測定
匂坂 明人	(独) 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所・量子ビーム応用研究部門・研究員	レーザー照射
桐山 博光	(独) 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所・量子ビーム応用研究部門・研究副主幹	レーザー光源
森 道昭	(独) 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所・量子ビーム応用研究部門・研究員	レーザー加速
小倉 浩一	(独) 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所・量子ビーム応用研究部門・研究員	原子力
根本 孝七	(財) 電力中央研究所 電力技術研究所・上席研究員	レーザー加速
藤井 隆	(財) 電力中央研究所 電力技術研究所・上席研究員	レーザー加速
大石 祐嗣	(財) 電力中央研究所 電力技術研究所・主任研究員	レーザー加速
名雪 琢弥	(財) 電力中央研究所 電力技術研究所・主任研究員	レーザー加速
菱川 良夫	兵庫県立粒子線医療センター・院長	粒子線癌治療

村上 昌雄	兵庫県立粒子線医療センター 放射線科・医療部長	粒子線癌治療
吉田 多見男	(株) 島津製作所 取締役	分析・計測
熊澤 良彦	(株) 島津製作所 基盤技術研究所・主任研究員	放射線計測・核医学診断装置
植田 裕久	ペンタックス(株)・上級執行役員 研究開発本部 本部長	精密機械工学
河口 雅弘	日本アドバンステクノロジー(株)・代表取締役社長	経営・原子力
北本 篤史	(有) HOC・取締役社長	研磨加工
北本 仁志	(有) HOC・研究員	研磨加工
北本 健二	(有) HOC・新事業推進担当 研究員	研磨加工
野田 章	京都大学 化学研究所・教授	加速器・ビーム物理学
岩下 芳久	京都大学 化学研究所・助教授	加速器
白井 敏之	京都大学 化学研究所・助手	ビーム物理学
三間 罔興	大阪大学レーザーエネルギー学研究センター・センター長	プラズマ物理
西村 博明	大阪大学レーザーエネルギー学研究センター・教授	レーザー開発
宮永 憲明	大阪大学レーザーエネルギー学研究センター・教授	レーザー技術
萩行 正憲	大阪大学レーザーエネルギー学研究センター・教授	電磁学
和田 元	同志社大学 知的財産センター リエゾンオフィス・所長	プラズマ物理
成瀬 昭二	京都府保健福祉部・理事	診断、MRI
大西 武雄	奈良県立医科大学・教授	放射線生物 生物影響評価
高橋 昭久	奈良県立医科大学・講師	放射線生物 生物影響評価
山岸 久一	京都府立医科大学・学長	腫瘍外科学 腫瘍免疫学 腫瘍学一般
秋濱 一弘	(株) 豊田中央研究所・研究室長、主席研究員	燃焼計測
藤川 武敏	(株) 豊田中央研究所・主任研究員	燃焼計測
山田 研一	(株) 豊田中央研究所・主任技師	RI 計測
植田 憲一	電気通信大学 レーザー新世代研究センター・所長、教授	量子エレクトロニクス (固体レーザーの物理と技術)
米田 仁紀	電気通信大学 レーザー新世代研究センター・教授	量子エレクトロニクス・プラズマ物理 (超短パルスによるプラズマ物理)
白川 晃	電気通信大学 レーザー新世代研究センター・助手	量子エレクトロニクス (固体レーザー、非線形光学)
横田 利夫	ウシオ電機(株) ランプカンパニー 技術本部・主席技師	レーザ装置
妻沼 孝司	(株) フジクラ 光応用製品事業推進室 室長	光ファイバの応用製品の設計・開発
金田 恵司	(株) フジクラ 光応用製品事業推進室 モジュールグループ グループ長	レーザ装置の設計・開発
瀬木 武	(株) フジクラ 光応用製品事業推進室 モジュールグループ 主査	レーザ装置の設計・開発
鳥谷 智晶	(株) フジクラ 光応用製品事業推進室 応用グループ 主管部員	光ファイバ応用製品の設計・開発
松岡 伸一	浜松ホトニクス(株) 中央研究所材料研究室 (部員)	高強度レーザー開発
玉置 善紀	浜松ホトニクス(株) 中央研究所材料研究室	高強度レーザー開発
吉井 健裕	浜松ホトニクス(株) 中央研究所材料研究室	高強度レーザー開発
佐藤 方俊	浜松ホトニクス(株) 中央研究所材料研究室	高強度レーザー開発
小平 政宣	(株) 東芝 電力システム社 新技術応用事業推進統括部	加速器
吉行 健	(株) 東芝 電力システム社 新技術応用事業推進統括部	加速器
末武 則夫	(株) 東芝 電力システム社 新技術応用事業推進統括部	加速器

毎田 充宏	(株) 東芝 電力システム社 新技術応用事業推進統括部	加速器
永渕 照康	(株) 東芝 電力システム社 京浜事業所 機器装置部	加速器
神谷 研二	広島大学 原爆放射線医学研究所 教授, 緊急被ばく医療推進センター長	放射線誘発癌

8. 各年度の計画と実績

a. 平成 19 年度

(1) 計画

(a) 「光医療産業バレー」拠点創出

初年度としては、レーザー駆動小型粒子加速器によるがん治療器などの光医療機器の開発が急務であり、これを促進するために先端的研究を行う諸外国の研究所での実験および光診断治療機器の開発分野の世界的な第一人者の招聘を含め研究開発に資するべき知見を得る。これらの研究開発を通じて研究者、技術者、企業研究者などの人材の育成を図りながら、原子力機構 関西光科学研究所を中心に、計画の進展に即し企業が自由に参加表明出来るオープンなコンセプトを有する「リサーチ・コモンズ」のシステムの構築・整備に着手することで、将来の「光医療産業バレー」拠点創出を図る。

(1. 革新的運営システムの構築・運営

初年度として、以下の各革新的運営システムを構築・運営する。

(a. 諮問委員会

拠点化構想、ミッションステートメント及び調整費充当計画の実現状況についての評価を行うため、外部有識者で構成される本会を設置し、必要な助言を仰ぐ。

(b. 運営委員会

医学のニーズと着地点に適合するよう業務の計画や遂行の舵取りを行うため、医学界で指導性を発揮している放射線医学の最高権威により構成される本会を設置する。

(c. プロジェクト運営委員会

実施機関と協働機関（10 機関）の研究代表者からなる本会を設置し、プロジェクトリーダーの下、プロジェクト推進、拠点運営、研究の各チームの活動に関し方針を定める。

(d. プロジェクト推進会議

実施機関、協働機関（10 機関）に加えて研究協力機関（16 機関）などの代表者からなるプロジェクト推進会議を設置し、知財管理を含めた「リサーチ・コモンズ」の活動を推進する。この他、国際会議（IFSA サテライト会議）を開催し、国際的研究ネットワークの構築および研究状況などについて情報交換を行う。

(2. レーザー駆動小型照射装置の開発

レーザー駆動加速による陽子発生数の増大やビーム品質向上を目指した実験を行なうとともに、本実験に必要な各種の測定装置の開発を行なう。また、既存の高品質陽子加速器を用いた精密照射技術（スポットスキャン法、強度変調法など）の検討・設計研究を行なう。これと並行して、陽子線照射の際の線量評価法の確立を目指した研究を開始する。

(3. 医療応用に向けた新しい照射法の開発

既存の陽子加速器を活用した高品質陽子ビームの実現とそれを用いた精密照射技術の開発を開始する。具体的には、病巣を確認しながらのスポットスキャンに重要なリアルタイムモニターとしての自己放射化 PET 装置開発を開始し、装置設計のための検討を行なう。

(4. レーザー駆動粒子線治療器の臨床実証

上記の照射装置と新しい照射法の開発、それらの臨床実証のためのファントムや動物実験に向け、兵庫県粒子線医療センターの研究用「開発照射室」整備のための検討を行なう。

(5. 光医療システムの産業応用・展開 および 低侵襲レーザー治療装置の開発

光医療システムの産業応用・展開については、機械工業における金属磨耗のレーザー駆動リアルタイム計測器として放射化装置の開発を開始し、その設計検討を行なう。

また、低侵襲レーザー治療装置の開発を開始し、消化器系及び整形外科系に適用可能な低侵襲レーザー治療装置の設計検討とともに、これに関する低侵襲レーザー治療装置の各要素機器の開発を開始し、この低侵襲レーザー治療装置に必要な技術となる、レーザー源の制御系の研究、血流計測手法の研究などを行なう。並行して、試験用外径 1mm の複合型光ファイバースコープ、試験用レーザー入力用小型カップリング装置、試験用 50W ファイバレーザ装置、血流計測装置、試験用観察用カップリング装置、画像処理装置、試験用イメージファイバースコープをそれぞれ試作する。併せて、画像及び解析データ保存用機材、マイクロスコープ用高倍率レンズ及びスタンドセットをそれぞれ整備し、試作した各装置の基礎試験に適用する。

(6. 医用に適合したレーザーシステムの実証機開発

小型、高安定性、高操作性、高信頼性を備えた高出力 Yb（イッテルビウム）系レーザーシステムの実証機実現のため、要素技術の開発を開始する。このため、レーザー媒質励起技術の研究開発を開始し、固体レーザー材料の調査検討を行なう。また、チタンサファイアレーザーの高度化として、レーザー媒質の励起用レーザーの試作設計を行なう。

b. 平成 20 年度

(1) 計画

(a) 「光医療産業バレー」拠点創出

レーザー駆動小型粒子加速器によるがん治療器などの光医療機器の開発を引き続き推進し、それらを通じて関連研究者、技術者、企業家などの人材を育成し、その成果による光医療産業の創出を図る。引き続き「リサーチ・コモンズ」のシステムの整備、運営を行う。

(1. 革新的運営システムの構築・運営

原子力機構 関西光科学研究所と協働機関とで形成する「研究拠点」のシステムの制度整備、およびこれを中心に、計画の進展に即し企業が自由に参加表明出来るオープンなコンセプトを有する「リサーチ・コモンズ」のシステムの運用を行う。また、人材育成に関し、原子力機構の既存のシステムの活用のほか、協働機関や協力機関での取り組みなどとも連携し、本拠点での人材育成プログラムの枠組みを明確にし、具体的なカリキュラム策定を行ない、人材育成プログラムを開始する。

(2. レーザー駆動小型照射装置の開発

引き続き、レーザー加速による陽子線発生数の増大やビーム品質向上を目指した実験を行なう。本実験に必要な陽子スペクトロスコープなど各種の測定装置の開発を行なう。また、既存の高品質陽子加速器を用いた精密照射技術（スポットスキャン法、強度変調法など）の検討・設計研究を行なう。これと並行して、陽子線照射の際の線量評価法の確立を目指した研究を継続する。

(3. 医療応用に向けた新しい照射法の開発

従来の陽子加速器を活用した高品質陽子ビームの実現とそれを用いた精密照射技術の開発を行う。具体的には、病巣を確認しながらのスポットスキャンに重要なリアルタイムモニターとしての自己放射化PET モニター装置を導入し、原理実証のため研究計画を策定し、実施する。

(4. レーザー駆動粒子線治療器の臨床実証

上記の照射装置と新しい照射法の開発、それらの臨床実証のためのファントムなどの照射実験に向け、兵庫県立粒子線医療センターの研究用「照射室」の整備を行なう。

(5. 光医療システムの産業応用・展開 および 低侵襲レーザー治療装置の開発

光医療システムの産業応用・展開については、機械工業における金属磨耗のレーザー駆動リアルタイム計測器として放射化装置の原理実証実験を行い、その設計検討を行なう。

また、低侵襲性医療装置の開発を開始し、設計検討とともに、小集光径レーザー源の開発、血流計測手法の研究などを行ない、マイクロスコープ用高倍率レンズやスタンドセット、試験用外径1mm 複合型光ファイバー、試験用レーザー入力用小型カップリング装置、試験用50W ファイバーレーザー装置、血流計測装置、試験用観察用カップリング装置、画像処理装置、試験用イメージファイバースコープ、画像及び解析データ保存用機材を活用する。

(6. 医用に適合したレーザーシステムの実証機開発

小型、高安定性、高操作性、高信頼性を備えた高出力Yb（イッテルビウム）系レーザーシステムの実証機実現のため、モデル機の試作を開始し、要素技術の確立を目指す。

c. 平成21年度

(1) 計画

(a) 「光医療産業バレー」拠点創出

レーザー駆動小型粒子加速器によるがん治療器などの光医療機器の開発を引き続き推進し、それらを通じて関連研究者、技術者、企業家などの人材を育成し、その成果による光医療産業の創出を図る。引き続き「リサーチ・コモンズ」の運営を行う。

(1. 革新的運営システムの構築・運営

原子力機構 関西光科学研究所と協働機関とで形成する「研究拠点」の運営システム「リサーチ・コモンズ」の運用を行う。また、人材育成に関し、原子力機構の既存のシステムの活用のほか、協働機関や協力機関での取り組みなどとも連携し、本拠点での人材育成プログラムを推進する。

(2. レーザー駆動小型照射装置の開発

引き続き、レーザー加速による陽子線発生数の増大やビーム品質向上を目指した実験を行なう。本実験に必要な陽子スペクトロスコープなど各種の測定装置の実用化を図る。また、既存の高品質陽子加速器を用いた精密照射技術（スポットスキャン法、強度変調法など）の実用化の研究を行なう。これと並行して、陽子線照射の際の線量評価法の確立を目指した研究を継続する。

(3. 医療応用に向けた新しい照射法の開発

従来の陽子加速器を活用した高品質陽子ビームの実現とそれを用いた精密照射技術の開発を行う。継続して、病巣を確認しながらのスポットスキャンに重要なリアルタイムモニターとしての自己放射化PET モニター装置を用い、原理実証のため研究を実施する。

(4. レーザー駆動粒子線治療器の臨床実証

上記の照射装置と新しい照射法の開発、それらの臨床実証のためのファントムなどの照射実験を、兵庫県立粒子線医療センターに整備した研究用「照射室」で行なう。

(5. 光医療システムの産業応用・展開 および 低侵襲レーザー治療装置の開発

光医療システムの産業応用・展開については、機械工業における金属磨耗のレーザー駆動リアルタイム計測器として放射化装置の実用化の研究を行なう。

また、低侵襲性医療装置の開発では、小集光径レーザー源の開発、血流計測手法の研究などを行ない、臨床応用の機器を開発する。

(6. 医用に適合したレーザーシステムの実証機開発

小型、高安定性、高操作性、高信頼性を備えた高出力Yb（イッテルビウム）系レーザーシステムの実証機を試作し、性能試験を実施する。

d. 平成25年度までの計画（平成22-25年度の計画）

(1) 計画

レーザー駆動小型高性能レーザーの開発において、医療用の高性能レーザーの高度化、高出力化を図り、40-80MeV 陽子加速器の実現と、それを用いた浅部がん治療器のプロトタイプの開発を目指す。新しい照射・治療技術の開発では、PET モニ

ター技術とスポット照射技術の統合にかかる性能試験などを行う。診断機器の開発では、ファントムを用いた照射線量評価試験、低侵襲性レーザー治療装置の開発を進める。

e. 平成 28 年度までの計画（平成 26-28 年度の計画）

(1) 計画

レーザー駆動小型高性能レーザーの開発において、医療用の高性能レーザーの安定性、信頼性などの総合評価を行い、

100-200MeV 陽子発生とその輸送技術を開発する。それを用いた深部がん治療器のプロトタイプの開発を目指す。新しい照射・治療技術の開発では、PET モニター技術とスポット照射技術の統合にかかる性能試験などを行う。診断機器の開発では、PET 装置のガントリーへの統合、低侵襲性レーザー治療装置の高度化を進める。

9. 年次計画

項目	19年度	20年度	21年度	22年度	23年度
●光医療産業バレー拠点化構想 革新的運営システムの導入・運営	← リサーチ・コモンズ導入・運営 → 50 50		← 30	→ 30	→ 30
光応用診断機器開発	← 安定化技術開発 → 200 200 220			← プロトタイプ開発 → 550 500	
小型がん治療器開発	← 210	→ 高出力化技術開発 → 210 210		→ 420	← 安定化技術開発 → 470
●調整費充当計画 革新的運営システムの導入・運営のうち 運営	← リサーチ・コモンズ導入 → 25 25		← 20	→ 20	→ 20
光応用診断機器開発のうち構成機器・計 測機器購入等	← 安定化技術開発 → 75 75 80			← プロトタイプ開発 → 230 230	
小型がん治療器開発のうち構成機 器・計測機器購入等	← 130	→ 高出力化技術開発 → 130 130		→ 250	← 安定化技術開発 → 250
総計	百万円	百万円			
うち調整費分	298百万円	百万円			

項目	24年度	25年度	26年度	27年度	28年度
●光医療産業バレー拠点化構想 革新的運営システムの導入・運営	30	30	30	30	30
光応用診断機器開発	← プロトタイプ開発 → 500				
小型がん治療器開発	← 安定化技術開発 → 470 970		← プロトタイプ開発 → 970 970 970		
●調整費充当計画 革新的運営システムの導入・運営のうち 運営	20	20	20	20	20
光応用診断機器開発のうち構成機器・計 測機器購入等	← プロトタイプ開発 → 230				
小型がん治療器開発のうち構成機 器・計測機器購入等	← 安定化技術開発 → 250 480		← プロトタイプ開発 → 480 480 480		
総計	百万円	百万円			
うち調整費分	百万円	百万円			

10. 諮問委員会

委員	所属	備考
(外部有識者) ○金森 順次郎 岸本 忠三 佐々木 康人 西本 清一	(財) 国際高等研究所所長 大阪大学大学院 生命機能研究科 招聘教授 国際医療福祉大学副学長 大学院教授 京都大学 副学長	委員長