

大阪大学レーザー科学研究所の紹介

■ 大阪大学レーザー科学研究所の概要

■ レーザーニュークレオニクスの開拓

レーザー科学研究所

マトリクス共創推進センター准教授 有川安信



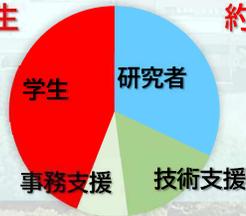
大阪大学レーザー科学研究所
兒玉 了祐

レーザー科学研究所概要

- 1972 工学部附属レーザー工学研究施設
(レーザー工学に関する学内施設)
- 1976 レーザー核融合研究センター
(レーザー核融合研究のためのセンター)
- 2004 レーザーエネルギー学研究センター
(2006～全国共同施設)
- 2017 レーザー科学研究所
(レーザー科学の国際的拠点)
- 2022 レーザー科学研究所
附属マトリクス共創推進センター

約230名+委託業者等(100名弱)

教員・研究員 約70名
技術職員 約10名
事務職員 約30名
学生 約120名



研究部門

- 光量子ビーム科学研究部門
- 高エネルギー密度科学研究部門
- レーザー核融合科学研究部門
- 理論・計算科学研究部門
- 共同研究部門(産業界主導):**

8-10部門

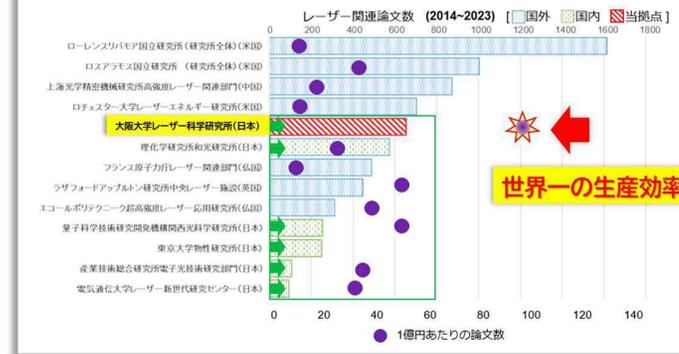
レーザー研
スタートアップ

(3つのフォーラム活動)
延べ184社との協奏の場

共同研究の増加(若手、海外の増加)
>130件の共同研究



レーザーに関する論文数と生産効率



国際グランドアライアンスを活用したグローバル人材育成： 地域ネットワークと地域ネットワークの連携による新しい国際連携

国際ネットワークでの次世代のグローバル人材育成

Felicie Albert (米国)
LLNLのJUPITER施設長
LaserNET USのネットワーク
施設委員会委員長

Calin Alexandru Ur (ルーマニア)
ELI-NP所長
ELI-Eric (欧州研究基盤コンソーシアム)

Ulrich Schramm (独)
HZDR放射線物理研究所所長
ヘルムホルツ国際極限場ビームライン
(HIBEF)ユーザー・コンソーシアムの
幹事機関

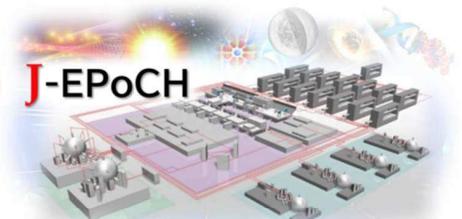
若手グループリーダーと構成 (6 + 24)

高西宏伸 (ISRL)	N. Hartley (SLAC)	若田夏弥* (阪大工学部)	田中周太 (青学理)	中野信彦 (QST関西研)	安部秀輝 (阪大工)
+3名 (若手2, 院生1)(若手1, 院生2)(若手1, 院生5)	+3名 (若手2, 院生2)	+4名 (若手2, 院生2)	+4名 (若手2, 院生1)	+4名 (若手1, 院生3)	

*若手グループ幹事

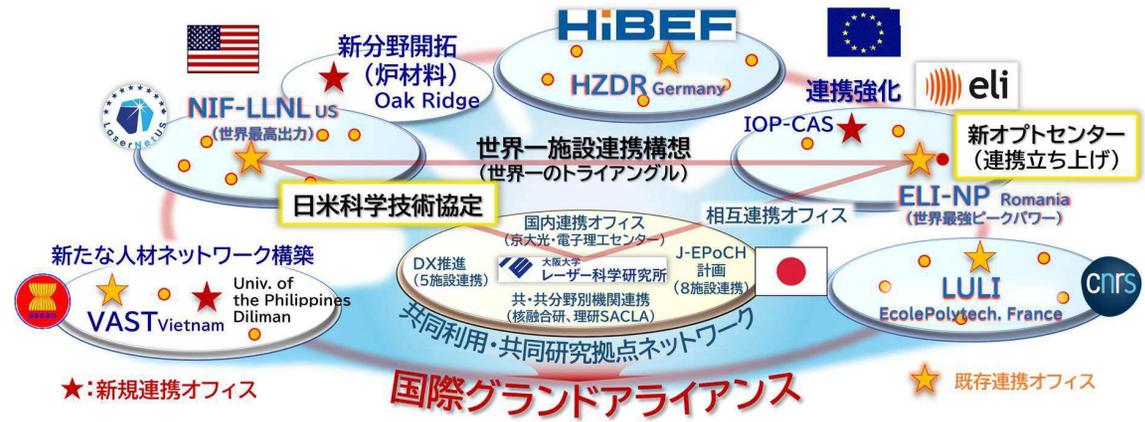
日本の強みを活かした革新技術

文部科学省ロードマップ2023
多様な知が活躍できるパワーレーザー国際
共創プラットフォーム



世界一の3大施(日・米・ルーマニア)の
連携と頭脳循環システム

科研費国際先導研究 (2023-2029)



- LaserNetUS: 米国パワーレーザー施設連携ネット
- HiBEF: 欧州XFEL + パワーレーザーによる高エネルギー密度科学国際ユーザーネット
- ELI-Eric: 欧州超高強度レーザーELI施設による高強度場科学国際コンソーシアム
- IRN: 仏国CNRS国際共同研究ネットワーク

国内施設連携: パワーレーザー-DXプラットフォーム

大阪大学レーザー科学研究所 京都大学化学研究所 東京大学物性研究所

理化学研究所放射光科学研究センター 技術者・人材 QST関西科学研究所

文科省先端研究基盤共用促進事業 (2021-2025)

博士コース学生による国際的な成果例

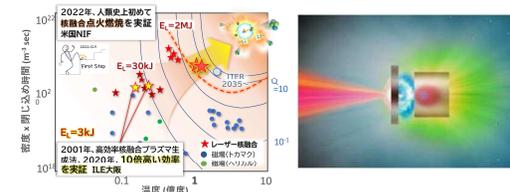
大型パワーレーザーで学術開拓と技術イノベーション創出

● 学際領域開拓で世界を先導

- 世界初、物質が壊れ始めるメカニズムを解明
K. Katagiri et al., Science 382, 69 (2023)
- 複雑な太陽炎の謎を解き明かす鍵を発見
K. Sakai et al., Scientific Rep. 12, 10921 (2022)

● 技術イノベーション創出で世界を先導

- 高効率核融合で世界を先導
K. Matsuo et al., Phys. Rev. Lett. 124, 035001 (2020)
- 世界を先導する、レーザー駆動パルス中性子源
Z. Lan et al., Nature Comm. 15, 5365 (2024)



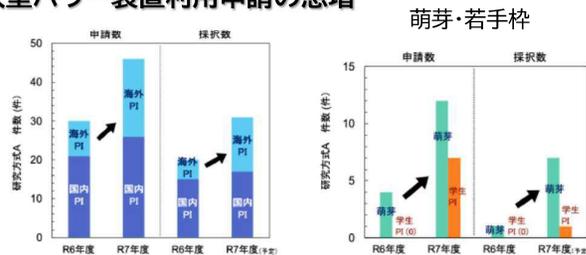
次世代高繰り返しパワーレーザーの早期利用が喫緊の課題

急増する国内外のパワーレーザーの利用申請者に対応するために、次世代高効率パワーレーザーモジュールの利用を早期に実現する必要

● 共同研究の増加 > 130件の共同研究



● 大型パワー装置利用申請の急増



国内増:地道なコミュニティ活動(学生枠の新設、若手中心の萌芽枠増)
 海外増:レーザー核融合研究にマシンタイムをとられた高エネルギー密度科学の研究者が流入

新たな高効率パワーレーザーの利用法を構築するために若手人材を配置し、J-EPoCH計画(ロードマップ2023)実現の準備を開始



モジュール

ロードマップ2023



既存のモジュールレーザーの速やかな利用並びにその為の整備が喫緊の課題

部分的には、2030年頃より、利用

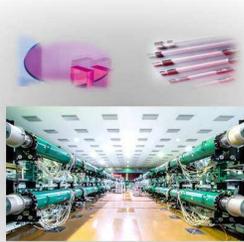
ユーザーの多様な要望に応えるための新開発高効率パワーレーザーを利用した実験共用システム(R7中に整備・利用開始)

高効率パワーレーザー利用方法構築

高効率: 利用率 1万倍以上(従来比)
 電気効率 20倍以上(従来比)

変革するパワーレーザーで、より多様な知が活躍できる環境を実現し、 新たな学際的学術領域の開拓が期待

文科省学術大型研究12課題の1つ
(ロードマップ2023)

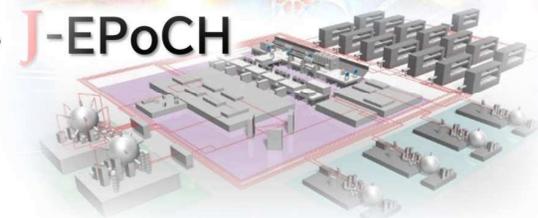


50年来の革新技術

日本の強み



J-EPOCH



世界初の大型繰り返しレーザー:

- スマート化し超高精度制御された大型システム
- データサイエンスを活用しやすい大型システム

高効率: 利用効率 1万倍以上(従来比)
電気効率 20倍以上(従来比)

学術フロンティアの開拓:

高いエネルギー密度状態の量子科学

- 量子ゆらぎのある“量子真空”
- 新たな量子凝縮系“1億気圧の量子固体”
- 繰り返しレーザー核融合反応で“フュージョンエネルギー”

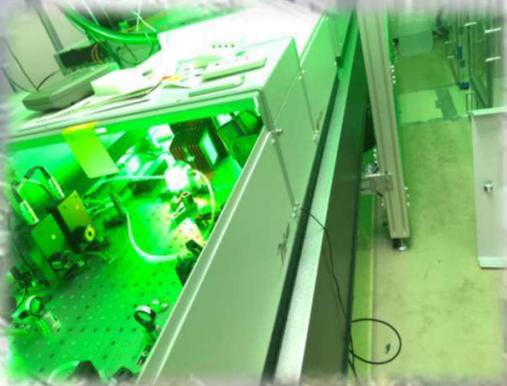


国内外の連携機関と協力した、
プロジェクト推進体制を構築中

文部科学省と国立大学附置研究所・センター 個別定例ランチミーティング
若手研究者プレゼンテーション

Ti:Sapp laser
1J/25fs/10Hz
高繰り返し

GEKKO-XII +LFEX
single shot



有川安信 (准教授,41歳)
大阪大学レーザー科学研究所



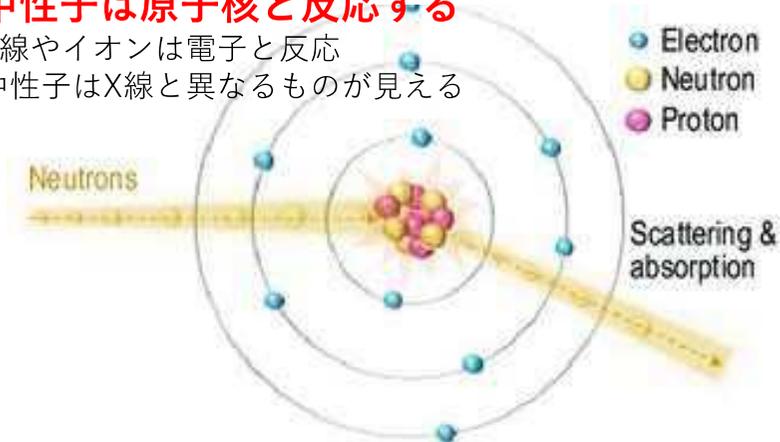
小型中性子源によるさまざまな応用が期待されている



ILE Osaka

中性子は原子核と反応する

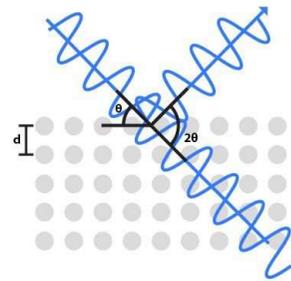
X線やイオンは電子と反応
中性子はX線と異なるものが見える



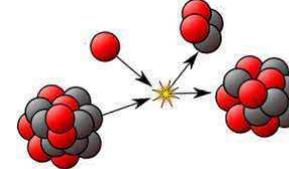
中性子によるレントゲン
鉛の中の花が見える



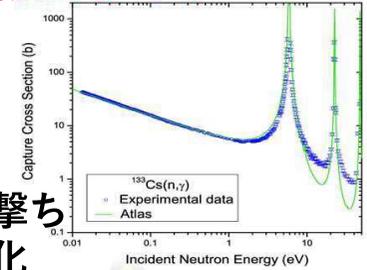
中性子には波動がある 中性子回折 で有機材料の構造解析



中性子には共鳴反応がある

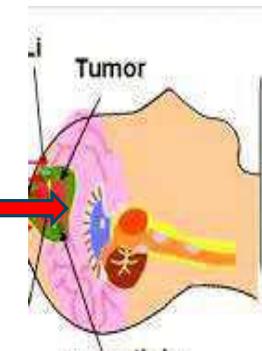


特定の核反応を狙い撃ち
放射性廃棄物の無毒化



Boron 中性子ホウ素ガン治療 (BNCT)

手術をしないでガン治療が可能、被曝が少ない。





今の研究目標（3年後に完成させたい） ～ 一病院に一台の中性子ビーム～



ILE Osaka

CASE
03 Associate Prof. Yusunobu Arikawa

核物理学の常識を打ち破る、
超指向性をもった
「中性子ビーム」実現をめざして。

有川 安信 准教授
中性子ビーム / 大阪大学 レーザー科学研究所
2010年大阪大学大学院工学研究科博士課程修了。11年同大学レーザーエネルギー学研究中心(現・レーザー科学研究所)助教。12年講師を経て22年から現職。

世界的に見てもニッチな、
中性子の制御に挑戦。

私が日々研究で向き合っているのは、「中性子」と呼ばれる粒子。中性子は陽子とともに原子核を構成する物質で、物理に興味があればピンとくる方も多いでしょ

仲間が少ないからこそ、基本的にひとりで研究を進める必要がありますが、自分が実現したことのおかげで「世界初」となっていくため、達成感も大きい研究領域だと考えています。

原子力って、カッコいい。
ビュアな気持ちがあるから、
苦勞も楽しさになる。

私が取り組む中性子ビームは、全く同じことをやっ

が難しい粒子。そのため現在のBNCTは、巨大な装置を使って中性子を大量に生成し、トンネルを用いて一部の中性子のみを患部まで誘導する、という手法をとっています。しかし、生成後ランダムに飛び出す中性子のほとんどは、トンネルに向かいません。そのため、患部に当てることができているのは、全発生数のうちわずか10億分の1のみ。つまり現状の技術では、がん細胞を破壊するために必要な中性子を10億倍のスケールで生成しなくてはならない、ということなのです。当然、大量に中性子を発生させられる装置は巨大で、建設費用も超高額。このような背景から、現時点でBNCTは各地の病院が気軽に導入できる治療法にはなっていません。

こういった問題を解決するのが、指向性の高い中性子ビームです。ビームで直接患部を狙い撃つことができれば、患者さんの被曝量を抑えながら、的確にがんを消滅させることができるようになります。また使用する中性子の量も必要最低限で済むため、中性子発生装置を小さくすることが可能に。中性子ビームの存在は、病院の一室に収まるようなサイズ感、手軽に導入することができる費用感で、BNCTを普及させる助けになるはず。

大阪大学の広報誌に取り上げられた



BNCTに求められる中性子ビームについて



ILE Osaka

大阪大学提供 頭頸部癌



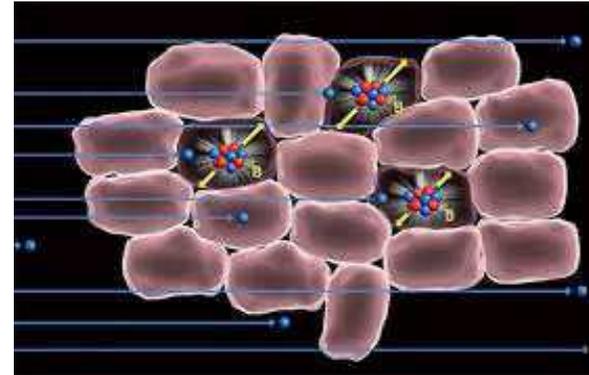
BNCT実施前

著しい成長により、がんが体内にとどまらず、皮膚をも破りさらに拡大。



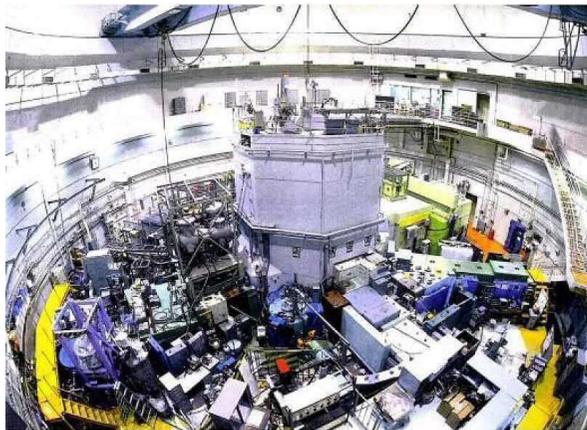
BNCT実施後

腫瘍はほぼ完全に縮退、高いQOL(生活の質)を達成

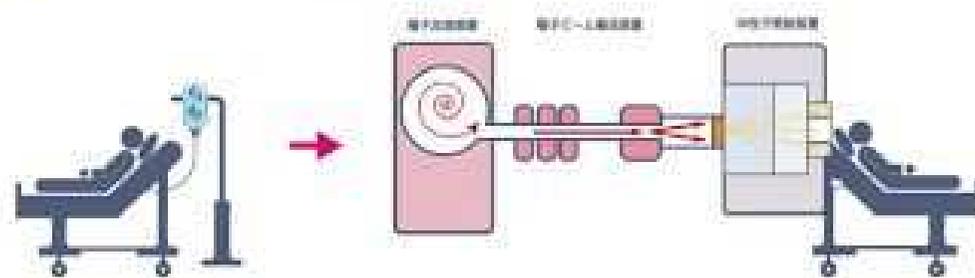


- ① ホウ素薬剤 (^{10}B) を点滴投与
- ② 中性子照射

従来BNCT治療装置 (京都大学原子炉)



Kyoto University Research Reactor



しかし、実際には大量の中性子（およびX線）を人体が浴びてしまうため、献上組織の被曝量が多い。

中性子のエネルギー制御性できない、人体の表層部の治療しかできていない。BNCT治療ができる施設は、加速器か原子炉を保有する大規模施設に限定。

高い指向性をもつ中性子ビームが必要。



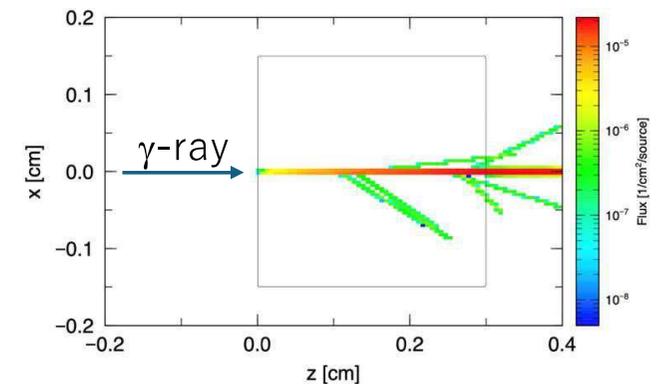
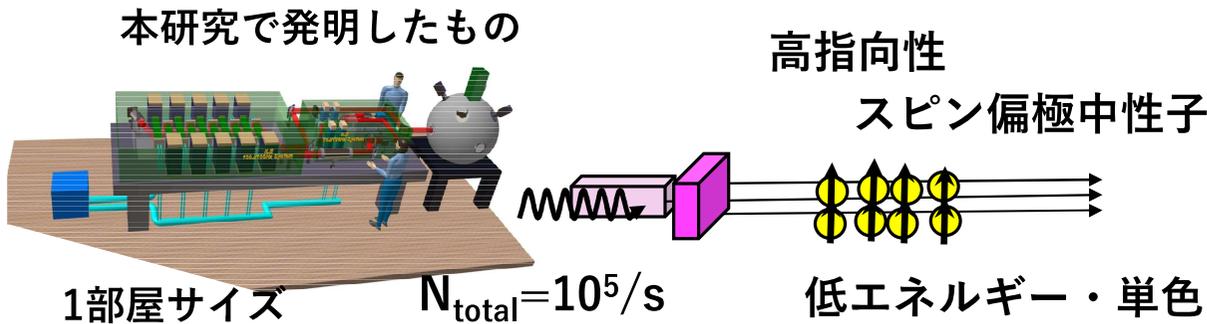
我々の研究で新中性子発生手法を発見 中性子をまるでレーザーのように発生させることができる



ILE Osaka

中性子がレーザーのように
飛んでいる

中性子利用効率を**10億倍に***



中性子の発生方向を描画したシミュレーション結果。
カラーバーは中性子の密度を示す。

*従来の加速器中性子原を比較対象とし、中性子発生ターゲットで発生した中性子が非検体 1cm^2 に届く割合を計算。



核融合研究のスピノフから生まれた新アイデア

核融合の燃料である重水素と中性子計測の研究が発見の源となった



ILE Osaka

重水素(のみ)は単純力学で核反応を制御できる



結合切断は0エネルギーでそっと切り離す

結合エネルギー

$$E_\gamma - E_{th} = En + Ep$$

$$P_\gamma = Pn + Pp$$

$$P_\gamma = \frac{E_\gamma}{c}$$

結合切断後のエネルギーは当方的に作用

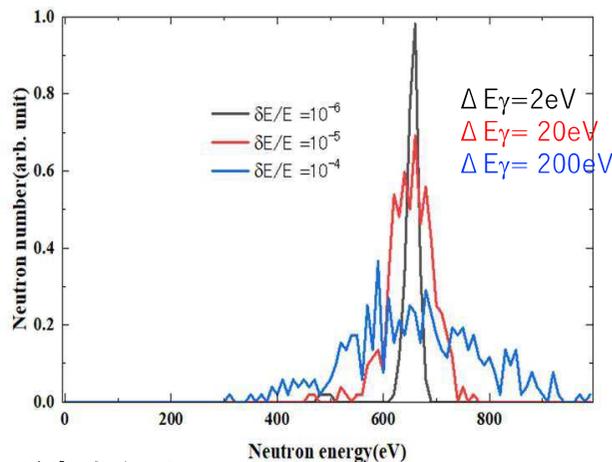
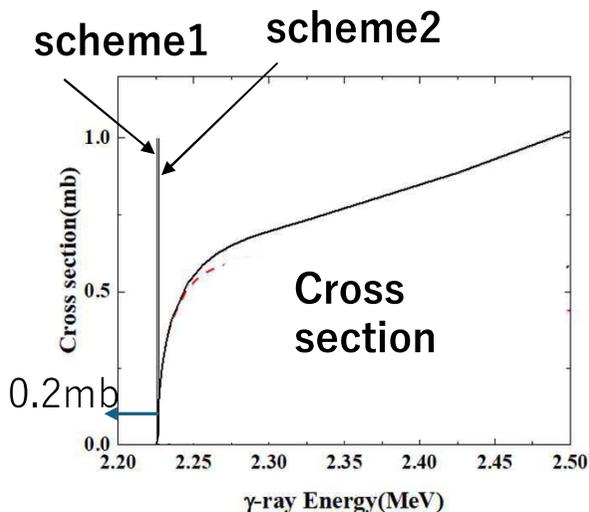
重心運動

$$\vec{p}_n = \vec{p}_\gamma / 2 \pm \sqrt{\frac{m}{2} (E_\gamma - E_{th})}$$

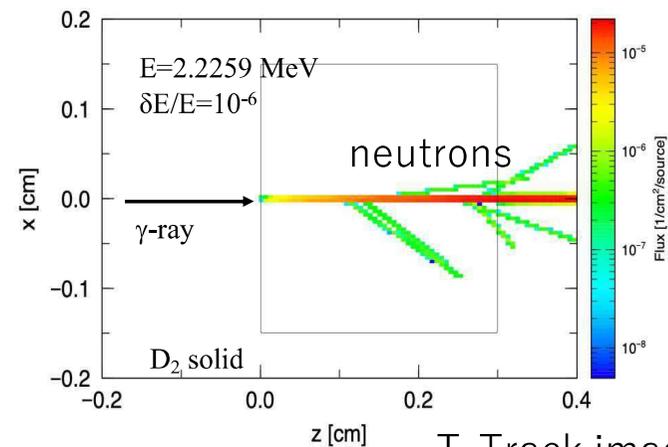
~0

$$E_\gamma = E_{th} + 0\text{eV} = 2.22588 \text{ MeV}$$

中性子のエネルギーが単色
dE/E=10%



Neutron飛行方向が $\theta < 1^\circ$



メリット; 指向性が高い中性子が生まれる。

E=660eVの中性子はBNCTにはやや不向、むしろ核物理実験に適切。

デメリット; 発生効率が低い ($\sigma=0.2$ mbarn)。超単色の γ -ray線2.22588MeVが必要だが、存在しない。

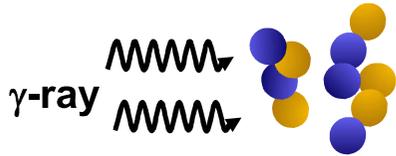


scheme2



ILE Osaka

より低いエネルギーの中性子ビームを発生させたい



$$E_\gamma - E_{th} = E_n + E_p$$

$$P_\gamma = P_n + P_p$$

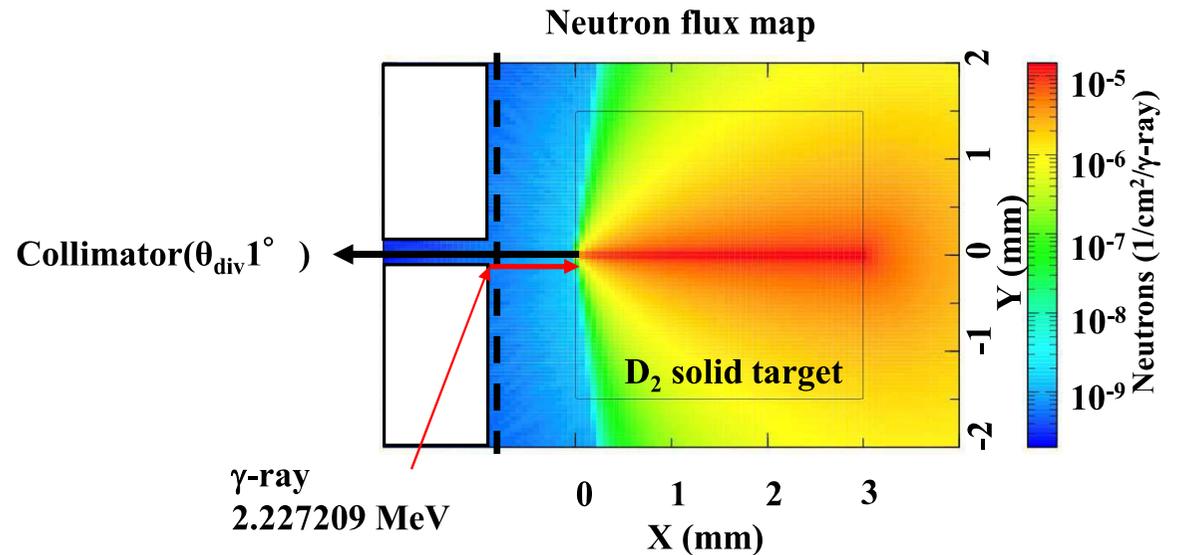
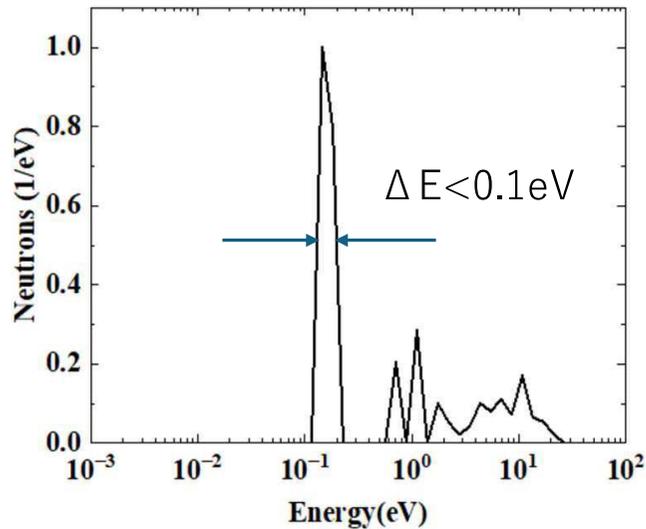
$$P_\gamma = \frac{E_\gamma}{c}$$

$$p_n = p_\gamma/2 \pm \sqrt{\frac{m}{2} (E_\gamma - E_{th})}$$

角度と中性子エネルギーの関係から
極低エネルギー中性子を選別

$E_\gamma = 2.227209$ MeV scheme1より少し高い

1° に指向性のある中性子ビーム



Thermal neutron
メリット 完全理想的な中性子原である。

デメリット; 反応率が極めて小さい。世界的にも例はない。我々なら打開できるのではないか？



大高大学の施設協力により原理実証をおこなった

加速器による電子ビームを用いた実験で熱中性子の発生を確認



ILE Osaka

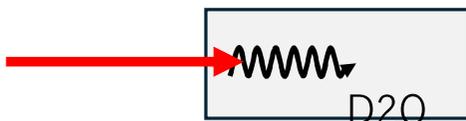
大阪大学超高压電子顕微鏡センター



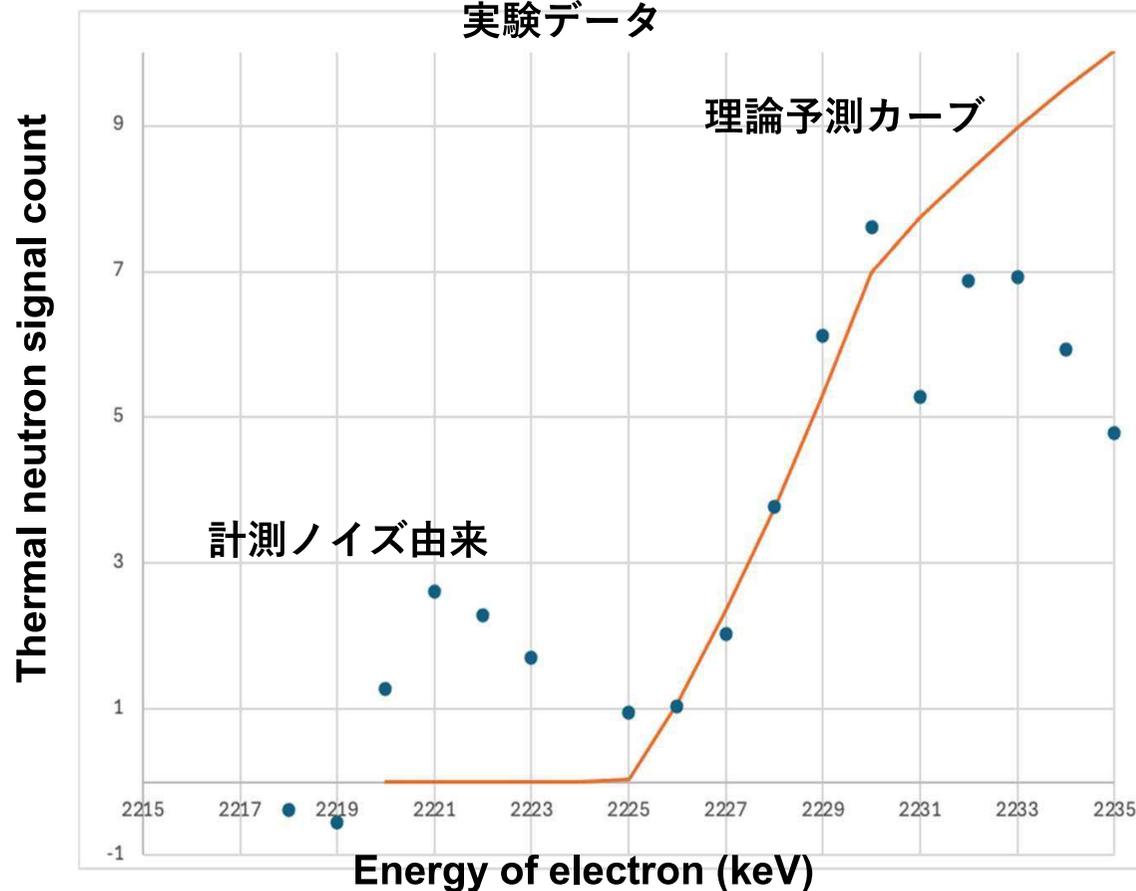
世界一単色性の高い
電子ビーム加速器

電子エネルギーを本実験のために
2.225MeVにチューニングし、同セ
ンターとしては初となる中性子発生
の実験を行った。

2.227 MeV単色電子を
重水に当てれば良い。



実験データ



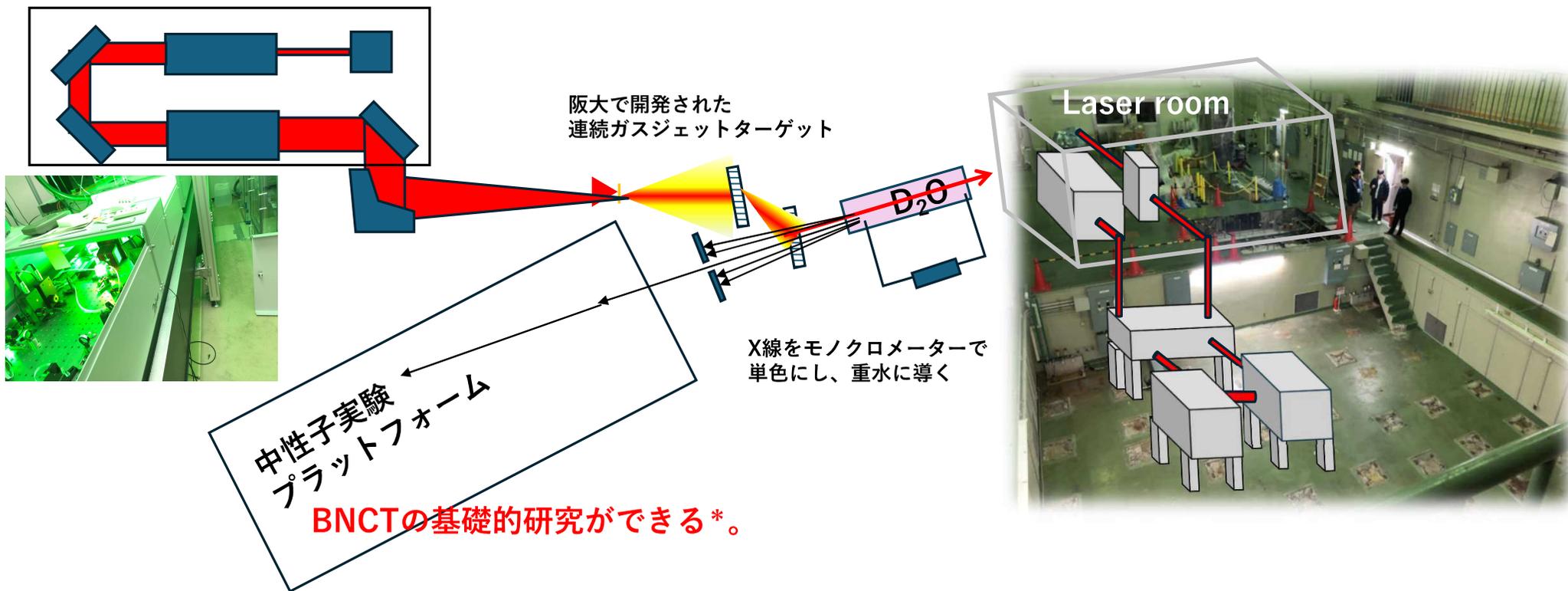


阪大レーザー研のL棟に中性子ビーム発生装置を建設中



ILE Osaka

レーザー研が開発する小型レーザー装置



現状装置で発生させられる中性子量の限界や、許認可制限から、実際の人体への治療は行わず、BNCT用ホウ素製薬の中性子吸収量の測定を行う計画。

中性子ビームによる大阪大学の強みを活かした研究展開

中性子ビーム発生

量子・ビーム工学：
産業科学研究所、
核物理研究センター
オクタビアン、
超高圧電子顕微鏡センター

ハイパワーレーザー・
高エネルギー密度科学
レーザー科学研究所

知の循環、ECOシステム

中性子ビーム発生装置

電子→ガンマ線→中性子→偏極中性子

人材育成

中性子応用研究

医療応用：BNCT

医学系研究科、医学部附属病院、
歯学研究科、歯学部附属病院

材料分析：中性子回折

基礎工学研究科、蛋白質研究所、
J-PARC、理研RANS

核物理：核共鳴、素粒子、核スピン
工学研究科、核物理研究センター

スピン偏極：スピントロニクス

基礎工学研究科、量子情報・量子生命
研究センター、核物理センター、

磁場物理：中性子スピン磁気計測
工学研、北大、東北大

計測工学：診断技術開発、

超高速中性子計測装置、
超解像コンピューショナルイメージング
阪大産研、東大、NIFS、米国リバモア研

産業応用

中性子産業



まとめ



ILE Osaka

- ・有川安信(41歳)の研究紹介。
レーザー核融合とレーザー駆動中性子原の開発。
- ・従来と異なる、中性子を反応から制御する新手法を発明。
- ・核反応の反応段面積(効率)が非常に小さいことが問題、
レーザー駆動量子ビームの高い制御性を活かして、中性子ビーム発生装置の具体設計ができた。
- ・現在中性子ビーム発生装置を建設中であり、1年以内には中性子ビームを発生させる。BNCTの基礎研究など民間・産業利用研究を発展させていきたい。