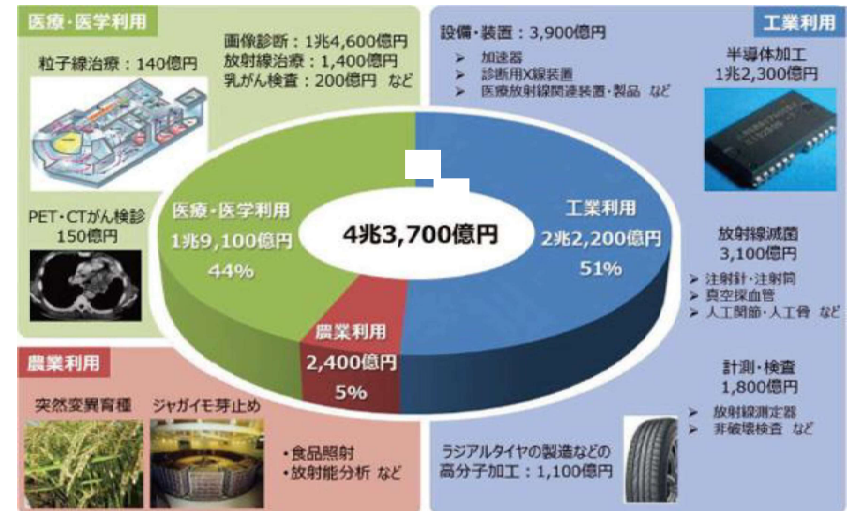


# エネルギー科学技術における レーザー駆動量子ビームの利用

(国研)量子科学技術研究開発機構  
量子ビーム科学部門 関西光科学研究所  
河内 哲哉

## 量子ビームの利用：放射線利用の経済規模（2018）



出典：平成30年度版 原子力白書



## レーザー駆動量子ビームの可能性

## 量子ビームとは

「量子ビーム」という言葉は1990年代から使われ始め、国の施策では2005年の原子力政策大綱で初出：「高度に制御された高品位の放射線、すなわち、中性子、イオンビーム、レーザー、放射光などの「量子ビーム」が利用可能となってきた。」

主要な分野における研究例及び実用例等

- 福島対応の例**
  - セシウム捕集材の開発
- 科学・技術・学術分野の例**
  - 量子ビームを用いた研究
  - ナノテクノロジー
  - 高温超伝導材料の研究開発
  - RIを利用したトレーサー研究 など
- 工業分野の例**
  - 精密計測
  - 非破壊検査
  - 材料の改良
  - 半導体素子の加工プロセス
  - 自動車タイヤ等の部品製造 など
- 医療分野の例**
  - イメージング (X線CT、PETなど)
  - 放射線治療 (X線、電子線、γ線、中性子線、陽子線、重粒子線など)
  - 医療用具の滅菌
  - RIの製造 など
- 農業分野の例**
  - 品種改良 (花・米の新品種の開発)
  - 害虫防除 (不妊虫放飼法による害虫防除)
  - 食品照射 (ばれいしょの発芽防止) など
- 環境・資源分野の例**
  - 窒素酸化物、硫酸酸化物等の分解、除去
  - ダイオキシンの要因となる揮発性有機化合物の分解 など

大強度量子加速器施設・PARC (出典) 日本原子力研究開発機構、高エネルギー加速器研究機構  
 新大綱策定会議(第1回)資料第5号 平成22年12月21日

### レーザー加速：放射線利用のキーテクノロジーである加速器の小型化

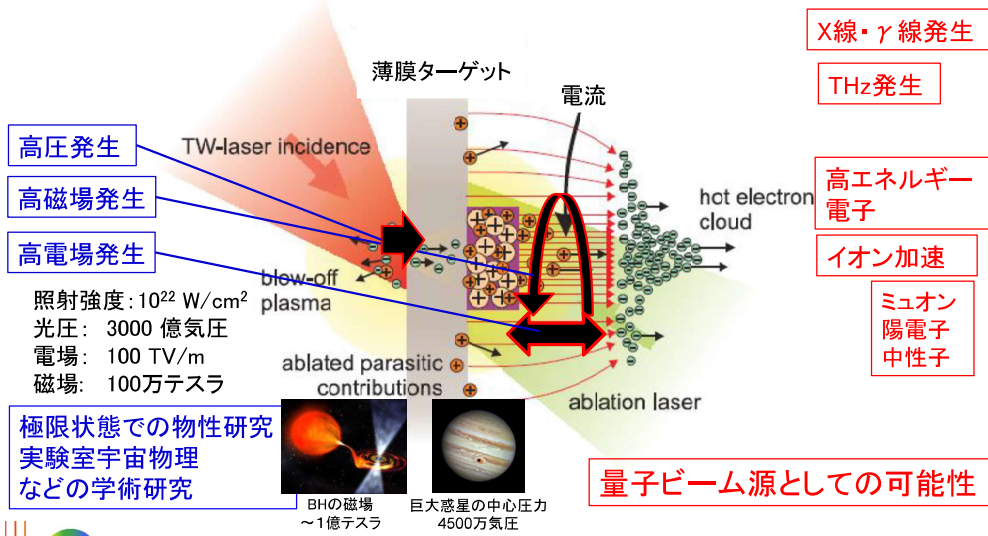
- レーザー加速による電子やイオン、加速粒子を用いた中性子、ミュオン、RI等の生成
  - レーザー駆動のエックス線、ガンマ線
  - X線と中性子の相補的利用のような「マルチビーム利用」が容易
  - 学術研究の観点：未踏の高エネルギー領域の加速器の実現
- レーザーの集光強度の高さによる高強度場科学

➡ 加速器の可搬化、低コスト化 → **新しい量子ビーム利用の創出**

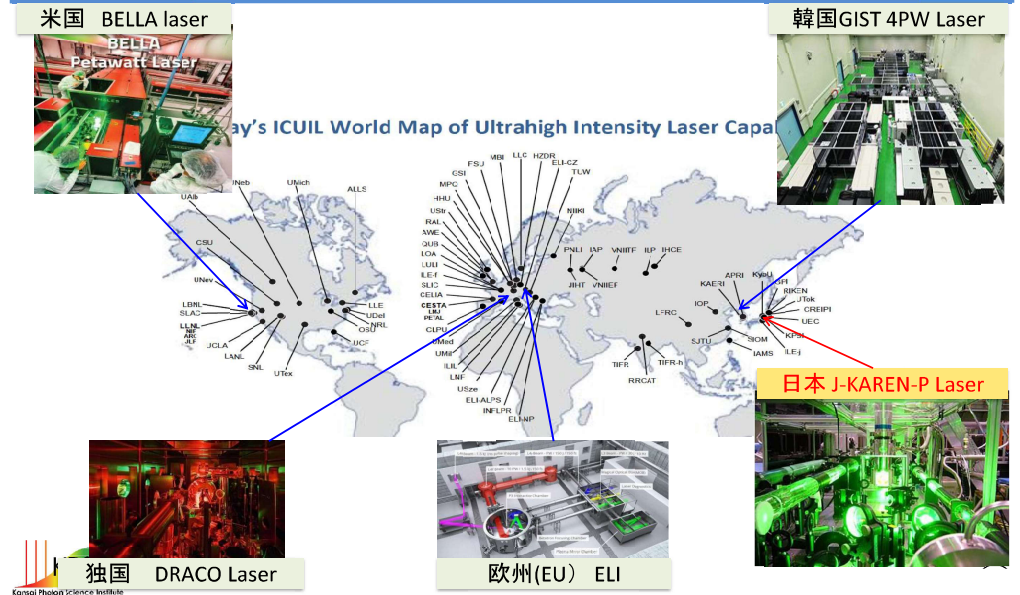
### レーザー駆動量子ビームの課題

- 安定性の向上 (レーザー及び量子ビームの)
- 平均出力の向上
- レーザーのコスト問題の解決等

## 高強度レーザーと物質の相互作用



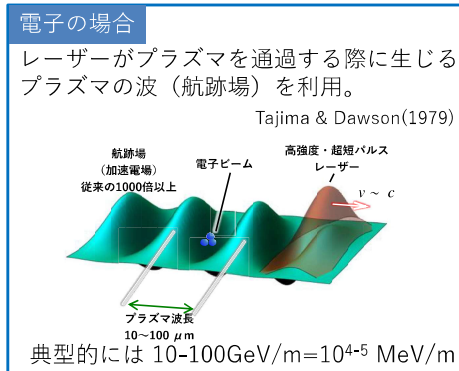
## 世界の主な高強度フェムト秒レーザー施設



## レーザー駆動量子ビームの利用

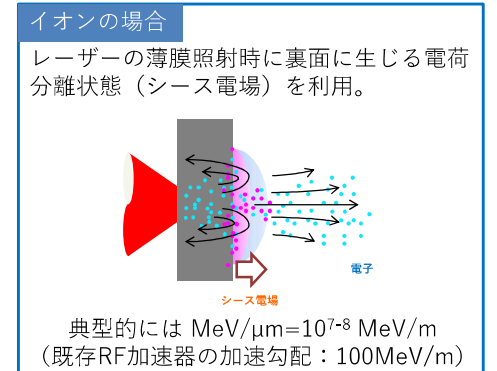


## レーザー加速手法と、原理実証に関する最近の成果



加速長20cmで8GeVの電子の発生(米国)  
A. J. Gonsalves et al., PRL (2019).

レーザー加速電子からFEL信号を観測(中国)  
W. Wang et al., Nature (2021).



94MeVまでの陽子加速を確認(英国)  
Higginson et al., Nature Commun, (2018)

$8 \times 10^7 \text{ MeV/m}$ の静電場発生を確認(日本)  
Nishiuchi et al., Phys. Rev. Res., (2020)



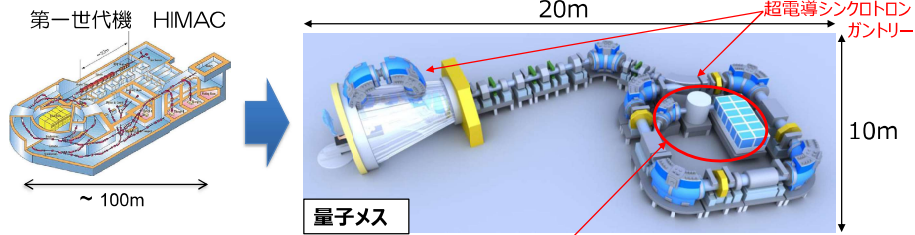
## 例：医療応用に向けたレーザーイオン加速器開発：量子メス

量子メスプロジェクト：

がん死ゼロ健康長寿社会実現に資する重粒子線がん治療装置の大幅な小型化をめざす。

- ・超電導技術を用いた小型サイクロトロン
- ・レーザー加速によるイオンビーム入射器

量子メス (第5世代量子線がん治療装置)



H28.12に量子メス実現に向けた、重電メーカーとQSTの間で研究開発包括協定を締結



レーザーイオン入射器  
要求性能  
10<sup>7</sup> C<sup>6+</sup> ions  
@4MeV/u/mSr/sec

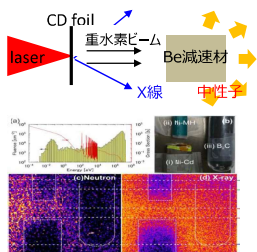
→ ~10J, ~100Hz, で  
高安定に稼働する  
フェムト秒レーザーが必要

世界初のレーザー加速器、健康長寿社会実現に向けた貢献



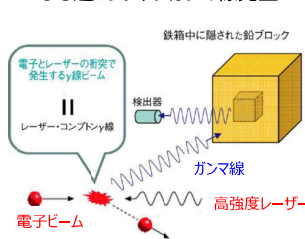
## 例：非破壊検査に向けた応用

中性子線発生  
レーザー加速重水素ビームとBeを衝突



蓄電池内部の透過像をX線と中性子線の相補利用により取得  
A. Yogo et al. APL (2021)

ガンマ線発生  
レーザー加速電子とレーザーの衝突による逆コンプトンガンマ線発生



核共鳴蛍光散乱法により、遮蔽容器内部の物質の検出の実証  
C.T. Angel et al. NIM-B (2014)

レーザー  
レーザーによるコンクリート内部の遠隔センシング技術



レーザー打音法によるトンネル内部欠陥検査技術を実用化 (R3.国交省技術カタログ掲載)



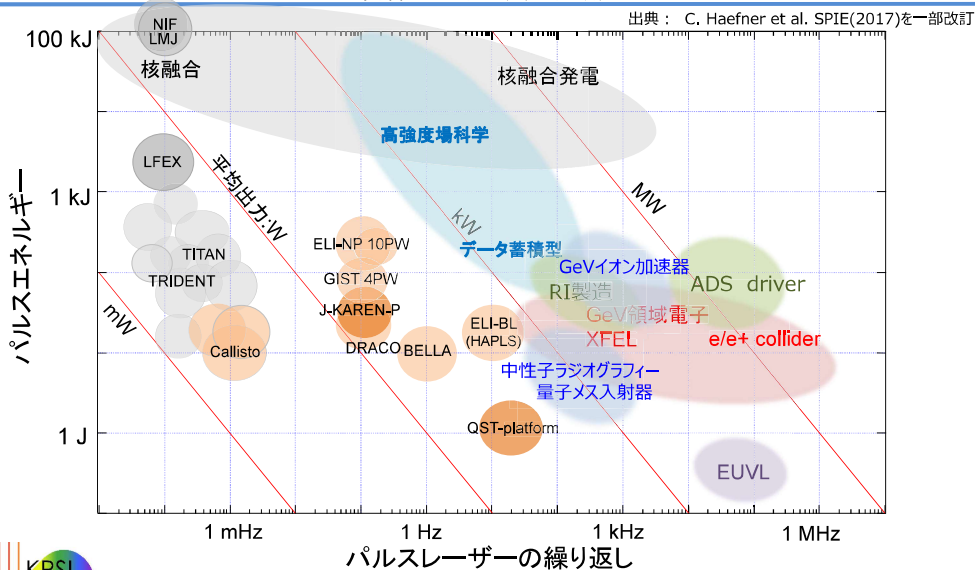
250W 車載用レーザー 5J, 50Hz (1.8mx0.8m)  
N. Hasegawa et al. 計測と制御 (2021)

### 将来の安全安心な社会実現への貢献



## レーザー駆動量子ビームの実用化に向けたパワーレーザー性能

いくつかの応用が、フェムト秒レーザーの高繰り返し化で実用化研究のフェーズに入る

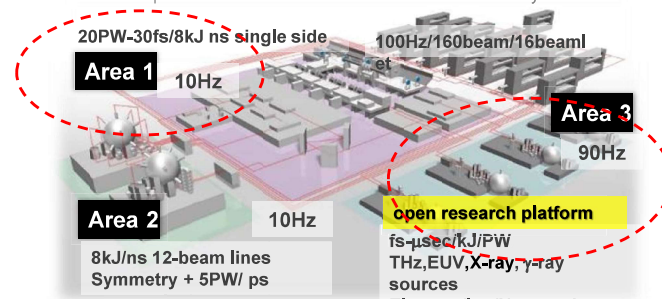


## 大型レーザー施設への期待

レーザー駆動量子ビームの応用の観点から期待すること：

- ・ 高強度レーザーの高安定・高繰り返し化技術の継続的な底上げ
- ・ 量子ビームの新しい産業・学術応用に向けた様々な分野の方が集う場

J-EPOCH: Japan Establishment for a Power-laser Community Harvest



マスタープラン2020への提案  
「パワーレーザーインテグレーションによる新共創システムの構築」より



## まとめ

---

- 1) 高強度レーザーは、従来の加速器の大幅な小型化する可能性を持っており、
  - ・加速器の可搬化、低コスト化等による従来の量子ビーム利用の拡大
  - ・マルチビーム利用を含む、新しい量子ビーム利用の開拓、などが期待される。
  
- 2) 大きな課題としては、安定に高い平均出力を出せるレーザー技術の確立であり、その技術を継続的に底上げできるような、大型レーザー施設建設が望まれる。
  
- 3) 量子ビーム応用の観点からは、医療用イオン加速器や中性子非破壊検査技術等、あと少しのレーザー性能向上で、実用化フェーズに入る技術がある。  
これらのショートスパンの技術課題を着実に解決したうえで、より高度なレーザー性能を必要とする量子ビーム発生・応用・実用化に進んでいくことが望まれる。