



TOHOKU
UNIVERSITY

大学加速器施設からの近況報告

先端量子ビーム科学研究センター（三神峯） 東北大学大学院理学研究科・原子核理学講座

柏木 茂*

東北大学 先端量子ビーム科学研究センタ（三神峯）
加速器・ビーム物理研究部

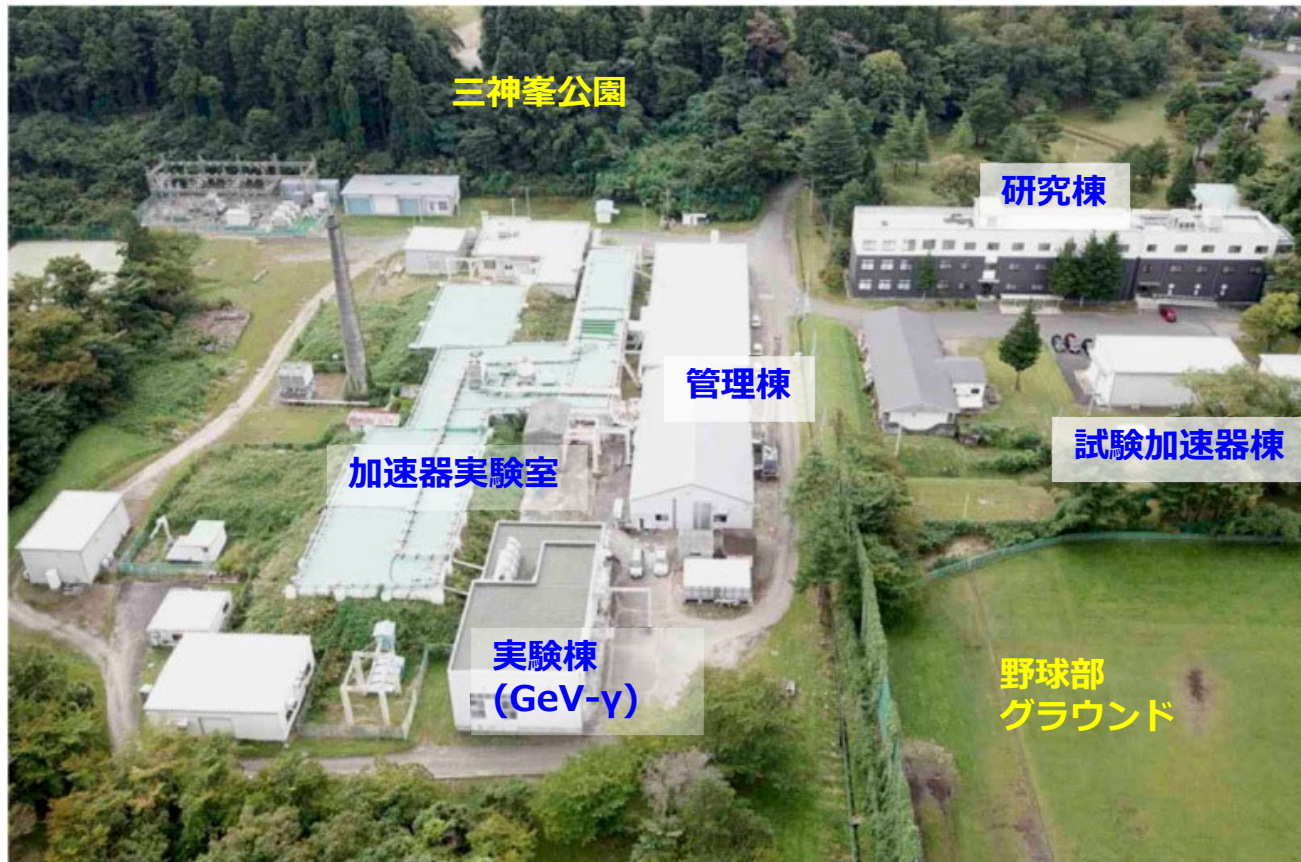
*kashiwagi@raris.tohoku.ac.jp

RARiS三神峯はどこにある？



理学部がある東北大青葉山キャンパスからちょっと離れている。
 *Googleだと6.5 km (徒歩で約1時間30分、車16分)

Research Center for **A**ccelerator and **R**adio-**i**sotope **S**cience: **RARiS**



1966年
理学部附属原子核理学研究施設
(核理研) として設置された

2009年
電子光理学研究センターへ
(全国共同利用共同研究施設になる)

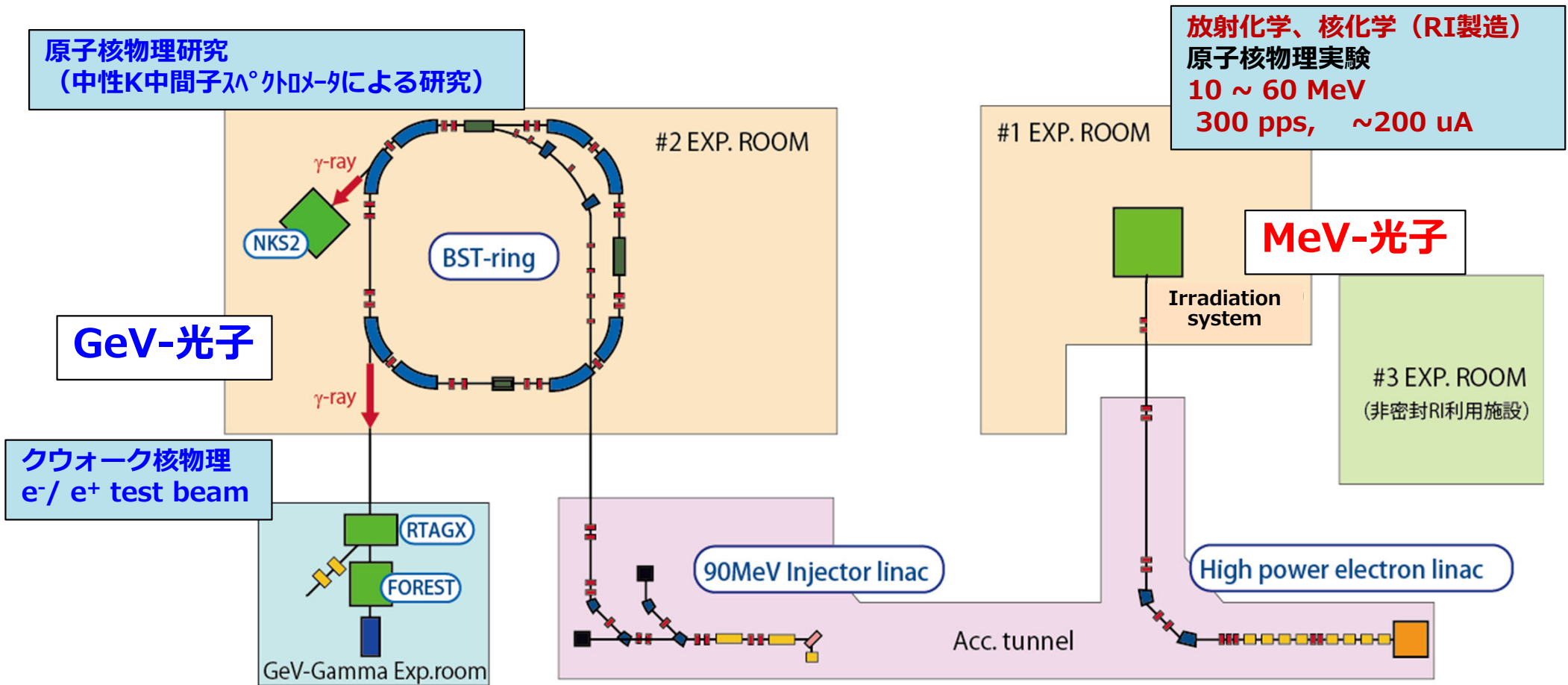
2024年
先端量子ビーム科学研究センター
(青葉山のサイクロと合併)

教員: 9
(教授:2, 准教授:2, 助教:4, 加^ア1)
技術職員: 4
事務: 5
学生: 12 (D:4, M:6, B4:2)

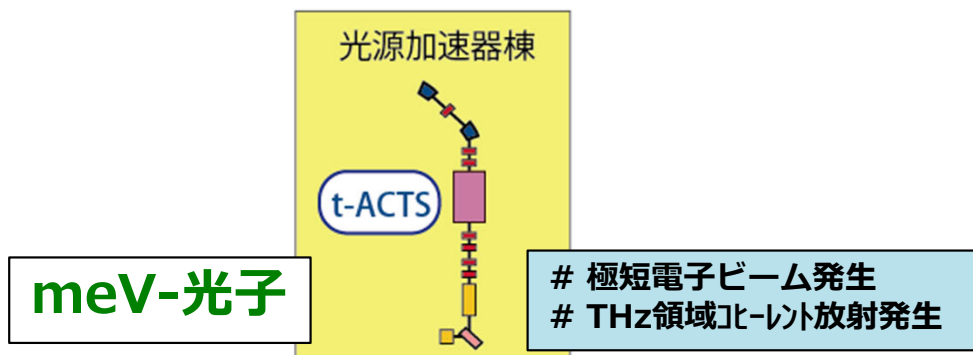
- クォーク核物理研究部
- 加速器ビーム物理研究部
- 同位体科学研究部 (原子核研究G, 放射化学G)

センターの加速器を使って
原子核物理、放射化学、ビーム物理研究を展開！

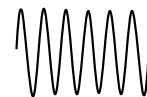
～国内外の研究機関と連携して研究を推進～



Research Center for **E**lectron **P**hoton Science



電子 光

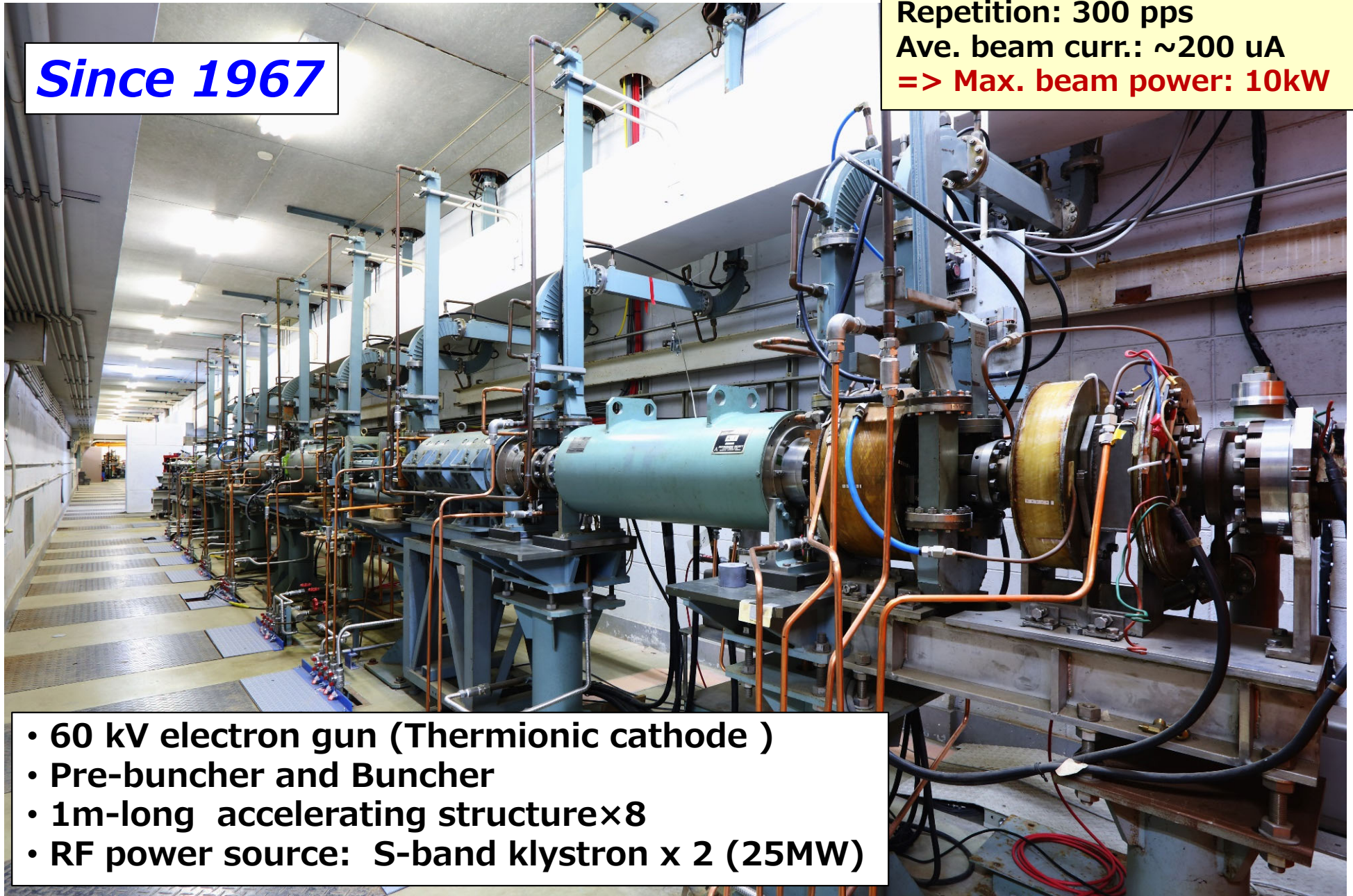
$e^- \rightarrow$ 

GeV **MeV** **meV (THz)**
(幅広いエネルギーの光子ビーム)

Since 1967

Beam energy: 10~60 MeV
Repetition: 300 pps
Ave. beam curr.: ~200 μ A
=> Max. beam power: 10kW

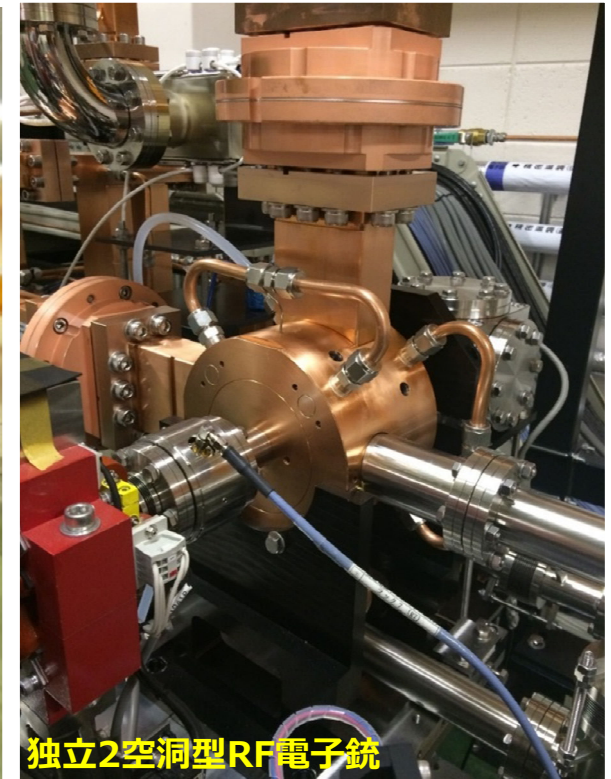
- 60 kV electron gun (Thermionic cathode)
- Pre-buncher and Buncher
- 1m-long accelerating structure $\times$ 8
- RF power source: S-band klystron x 2 (25MW)



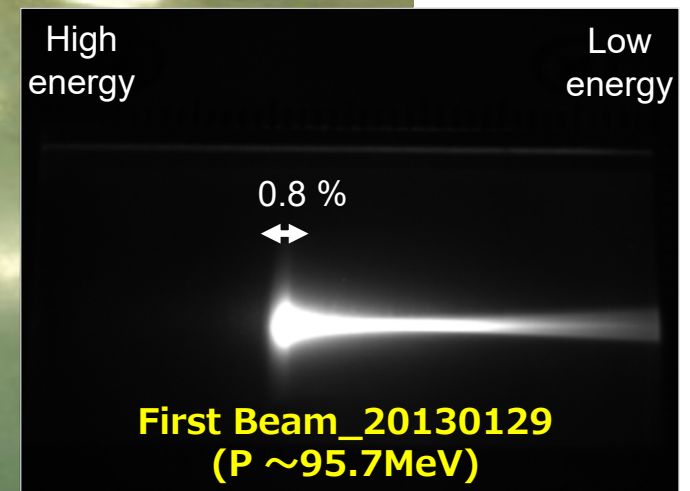
Since 2013



- Thermionic cathode RF-gun
- α -magnet
- 3m-long S-band accelerating structure $\times 2$



独立2空洞型RF電子銃



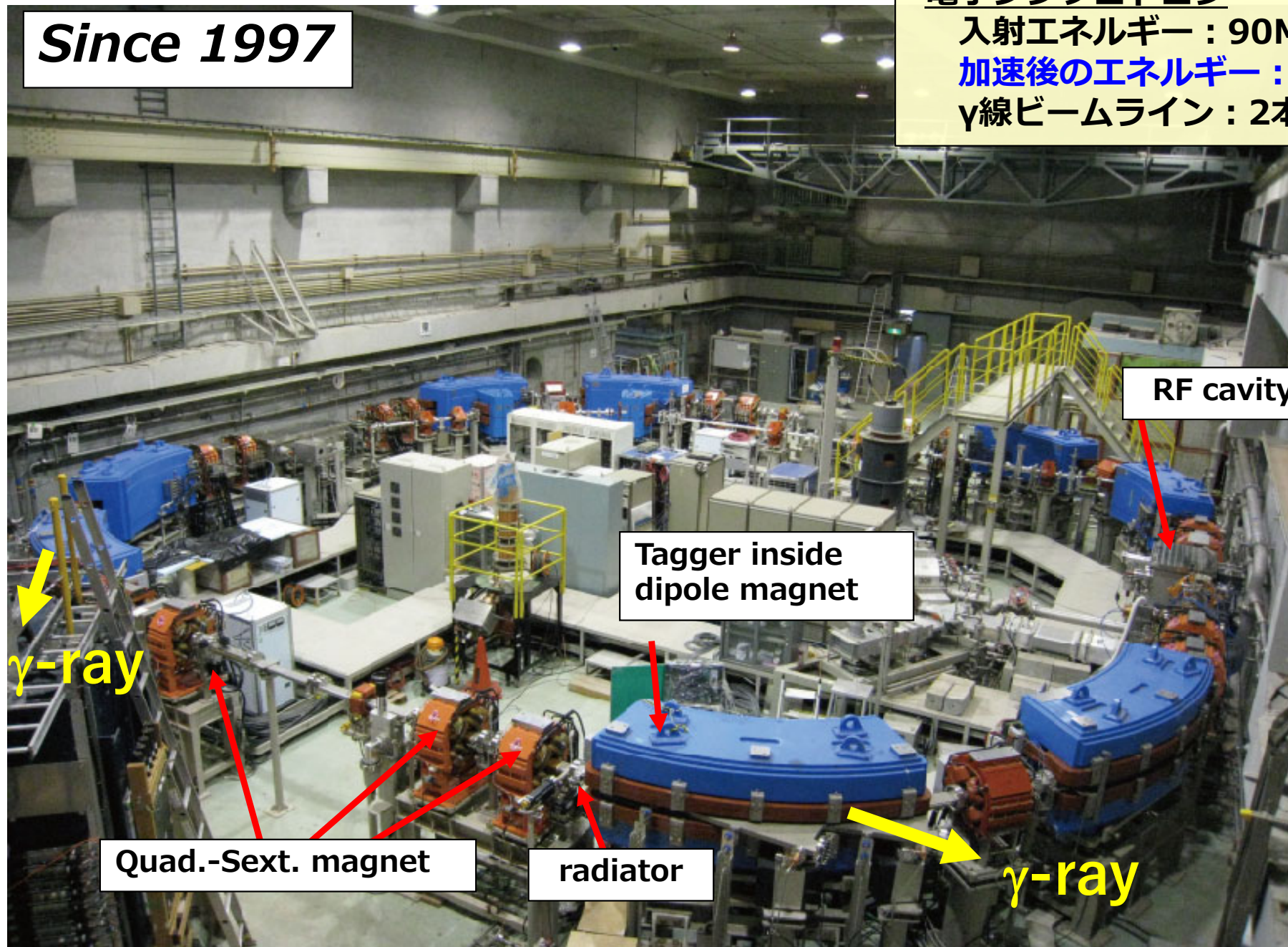
Since 1997

電子シンクロトロン

入射エネルギー：90MeV

加速後のエネルギー：1.3GeV

γ 線ビームライン：2本



極短電子ビームパルスを使ったコヒーレントテラヘルツ波源の開発

Since 2013

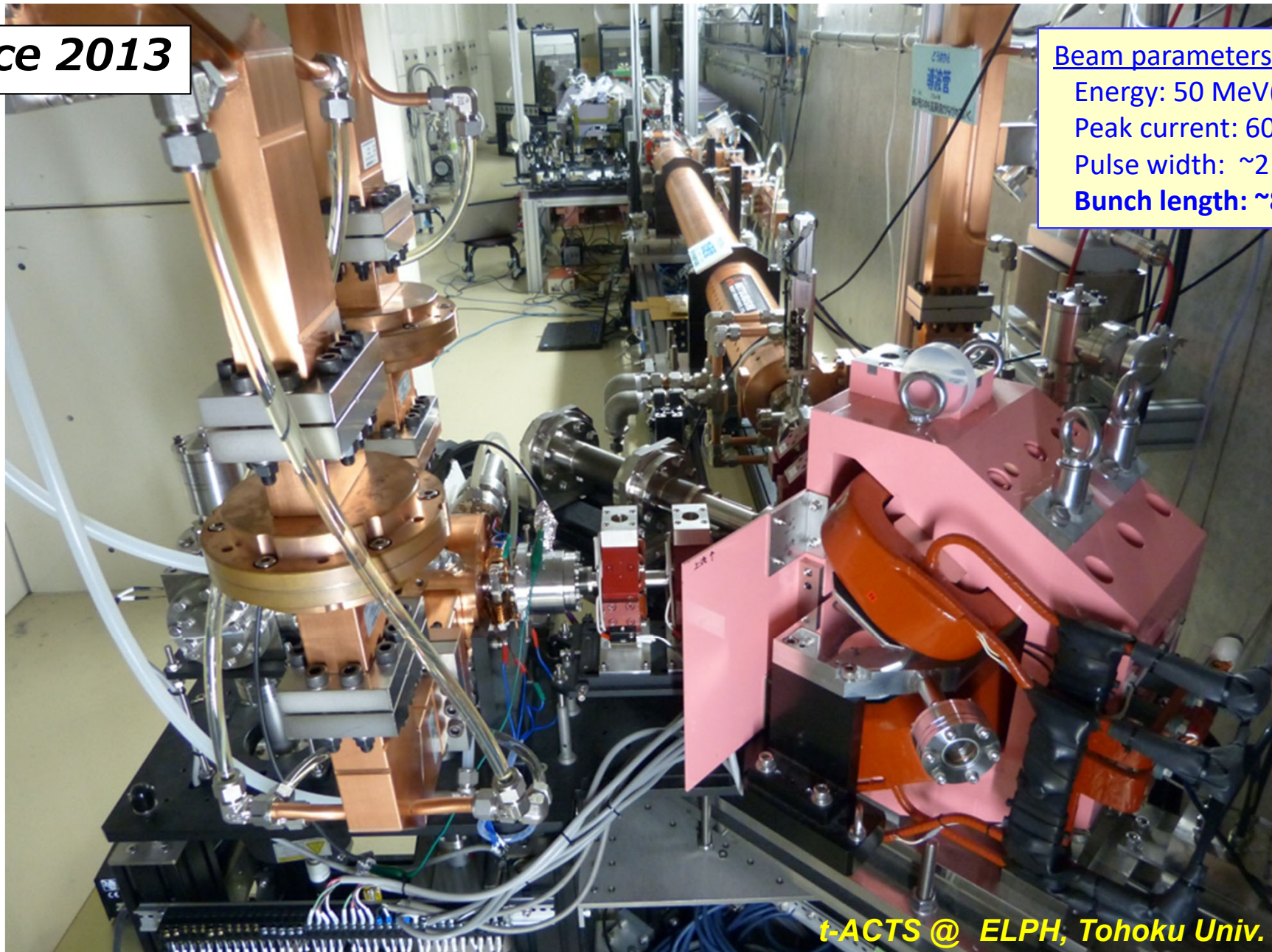
Beam parameters

Energy: 50 MeV(max)

Peak current: 60 mA

Pulse width: ~2 usec

Bunch length: ~80fs



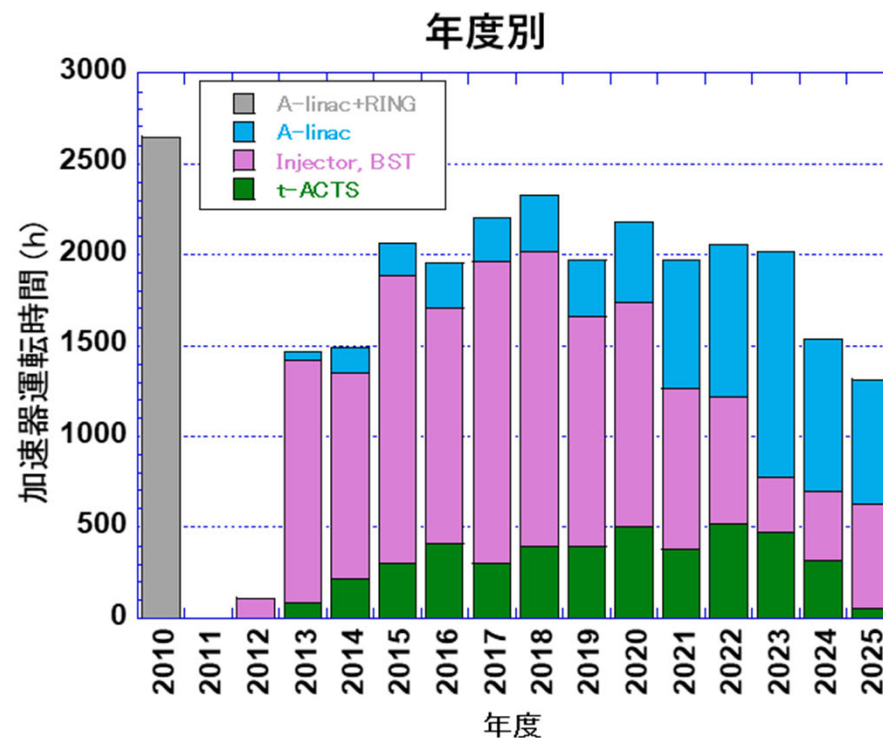
t-ACTS @ ELPH, Tohoku Univ.

(単位：時間)

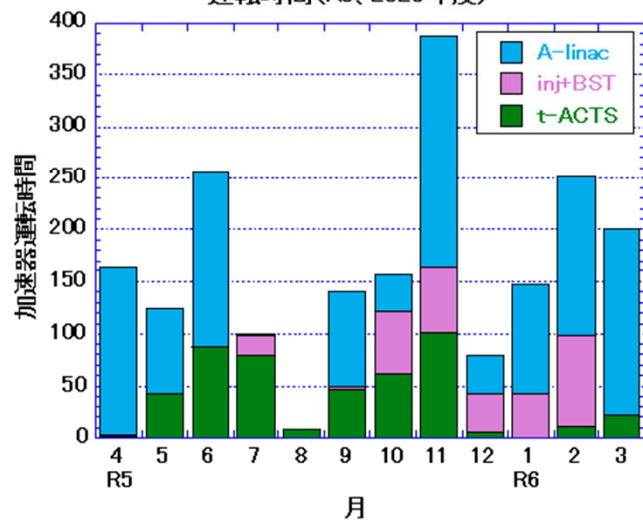
	A部 #1	入射器+BST #2	光源棟
H30 (2018) 年度	299.5	1627.4	396.6
R1 (2019) 年度	310.9	1268.7	394.1
R2 (2020) 年度	430.6	1242.6	501.9
R3 (2021) 年度	699.9	887.3	381.3
R4 (2022) 年度	834.8	698.5	523.5
R5 (2023) 年度	1238.0	310.7	470.9
R6 (2024) 年度	840.7	378.9	315.4
R7 (2025) 年度	687.6	570.3	57.3

#1 Beam-ON 時間 A部

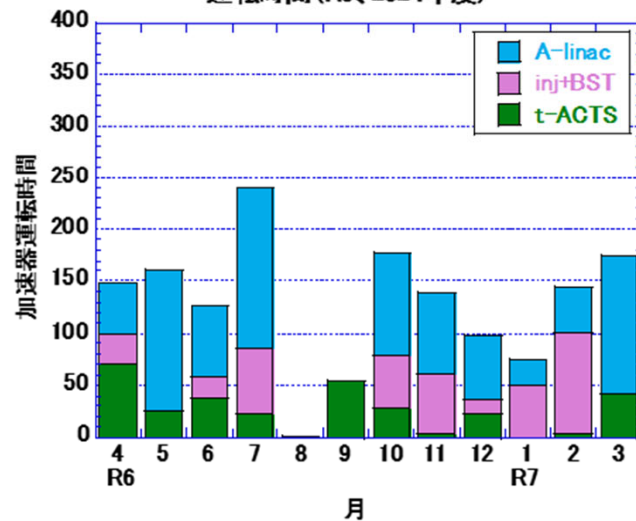
#2 リング入射器NV-ON時間 (入射器単独運転: II系ライン共同利用)を含む



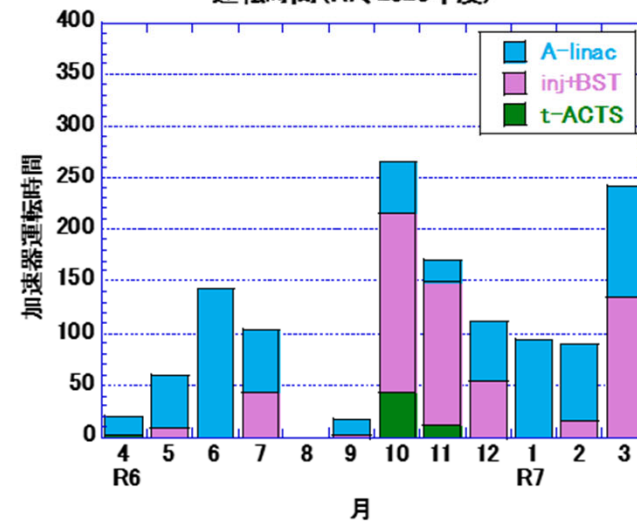
運転時間 (R5、2023年度)



運転時間 (R6、2024年度)



運転時間 (R7、2025年度)



ビーム動力学に基づく、加速器・ビームの開発

メンバー： 柏木茂 (教授)、 日出富士雄 (准教授)、 橋本敏和 (助教)、
Pitchayapak Kitisri (D2)、 坂木祥太郎(M1)、 Badal Kumar(D1、2026秋～)

最近5年間の卒業生：

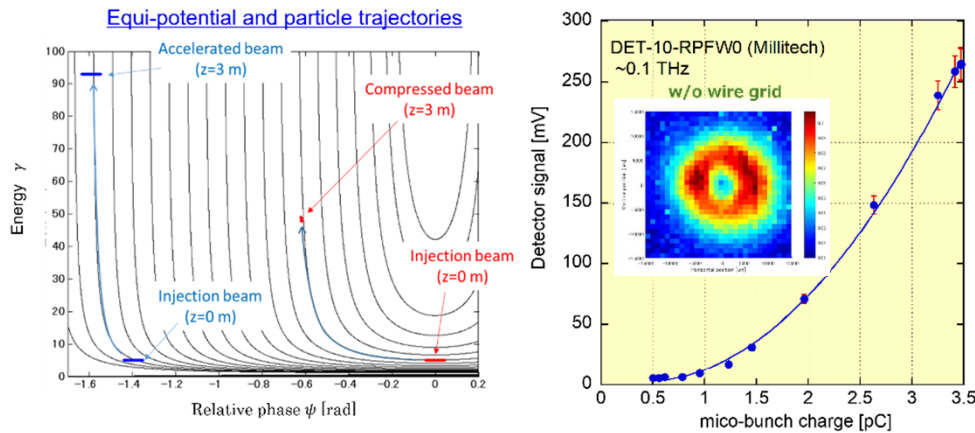
山田 悠樹(博士、2026春、若狭湾I研セ)、 安彦颯人(修士、2026春、古河電工)
Anjali Kavar (博士、2025秋、KEK)、 工藤滉大 (修士、2025春、高校教員)
熊谷航平 (修士、2024春、三菱電機)、 山田志門 (修士、2023春、村田製作所)
山本大喜 (修士、2022春、宮城県警)、 齊藤寛峻 (博士、2021年春、KEK)
寺田健人 (修士、2021春、メーカ)、 石附勇人 (修士、2021春、メーカ)

- ・ **ビーム物理学研究**
 - ・ 極短電子パルス発生とその診断技術開発
 - ・ コヒーレント放射光発生・偏光操作
- ・ **電子加速器技術開発**
 - ・ 超伝導高周波空洞開発 (Nb₃Sn超伝導加速器)
 - ・ 機械学習を用いた加速器ビーム制御

共同研究： 高エネルギー加速器研究機構 (KEK・つくば)、 物質・材料研究機構(NIMS)、
ナノテラス、京都大学エネ研、大阪大学産研、東京大学工学研究科、
チェンマイ大学 (タイ)

- 速度変調法による極短電子パルス発生
- 極短電子パルスを使ったコヒーレント放射発生（偏光操作）

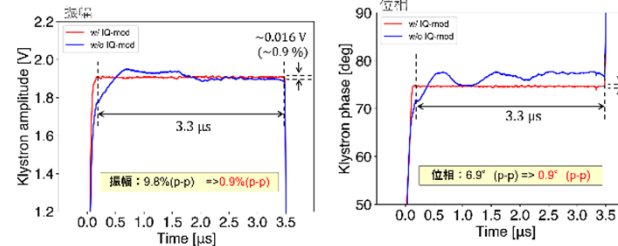
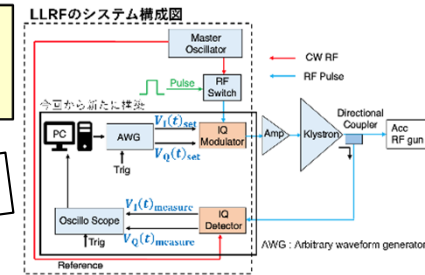
極短電子パルス発生（速度変調法）



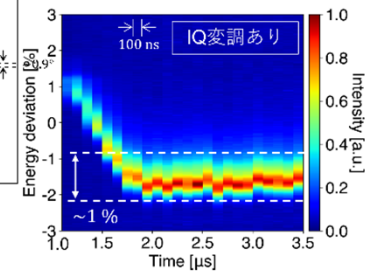
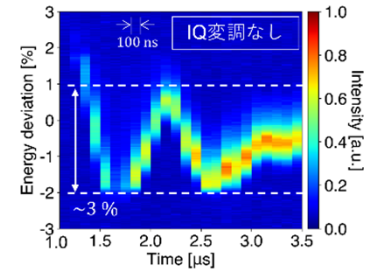
S. Kashiwagi, Energy Procedia **89** (2016) 346-352.

加速高周波 振幅位相変調

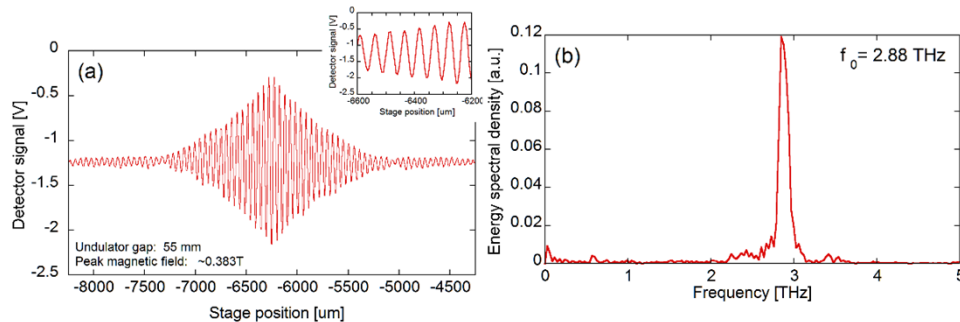
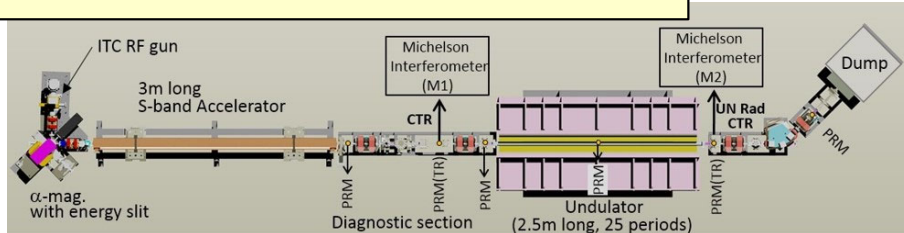
機械学習の導入



S. Yamada, S. Kashiwagi et al., Particles 2023, **6**, 793.



コヒーレントアンジュレータ放射発生

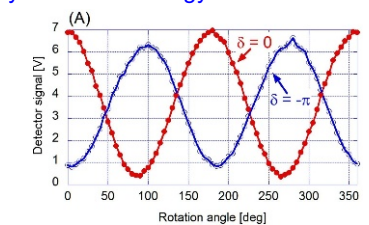
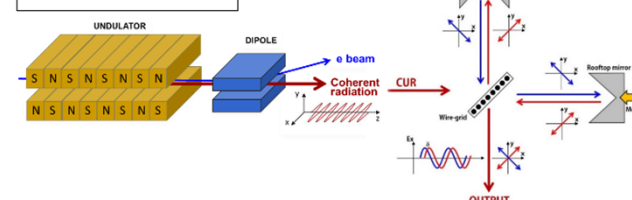


S. Kashiwagi, Infrared Physics & Technology **93**, (2018) 335-339.

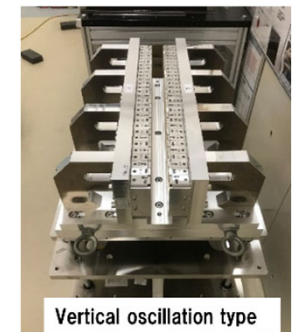
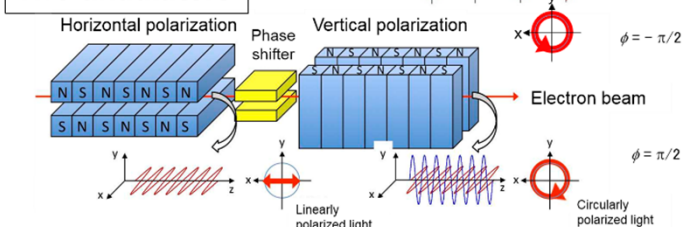
THz-CURの偏光操作

S. Kashiwagi, Infrared Physics & Technology **106** 103274.

One undulator



Two undulators



2021年 齊藤寛峻 博士論文(東北大学)

H. Saito et al., Infrared Physics & Technology **136** 105076 (2024)

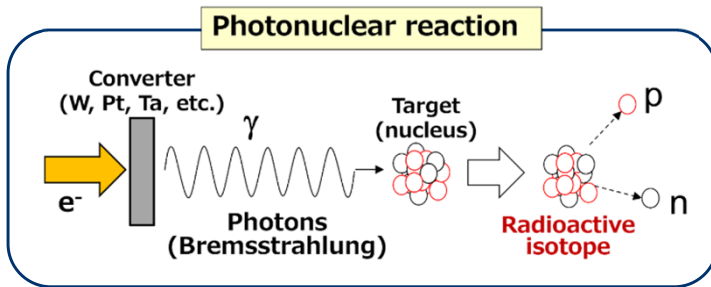
- 放射性同位元素(RI)製造に用いる**電子加速器の大強度化**
- 大規模RI製造を実現するための**ニオブスズ超伝導高周波空洞の開発**

電子ビームを用いたRI製造

ELPH研究会

「大強度電子加速器とその利用」

2015/03/16-17@東北大学 電子光



2016～2017年度、日本メジフィジックス株式会社

「核医学診断に用いられる放射性同位元素の商業製造技術開発」



2017～2019年度、JFEエンジニアリング株式会社

「電子線加速器を用いたMo-99製造実験」

「電子線加速器を用いた放射性核種製造」



2021～2025年度、(株)日立製作所

「医療用放射性核種製造用電子線形加速器システムの検討」

「医療用放射性核種の大規模製造に向けた電子線形加速器の大電流化、詳細仕様及び制御手法の検討」

「電子線形加速器を利用したAc-225の高効率大量製造実証、

及び、Ac-225製造及び分離精製システムの検討」

「電子線形加速器を利用したAc-225の大規模製造及び分離精製の検討」

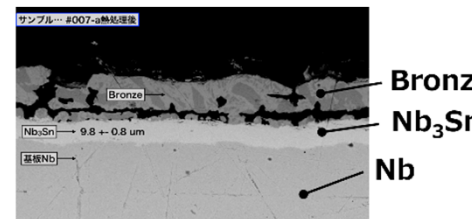


ニオブスズ超伝導空洞開発

□ 超伝導の一番のハードルは「冷却」

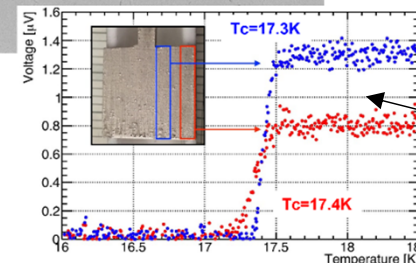
□ 欧米中のX線FELは、ニオブ空洞を2Kまで冷却

□ ニオブスズ ($T_c = 18K$) 空洞 $\leq 4K$ 冷却 OK



✓ KEK、NIMS、東北大学の
3機関で開発をスタート

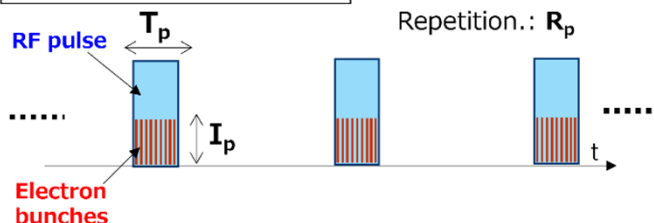
✓ 科研費などに共同で応募



東北大学金研 アルファ放射体実験室
(PPMS) で測定



Normal-conducting



共研で10.5kW (35MeV, 300uA)の
常伝導電子加速器システムを設計

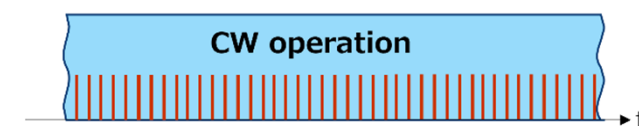
パルス運転

RF duty < 1%

$I_{ave} < 1mA$

Super-conducting

$$T_p [s] \times R_p [Hz] \Rightarrow 1$$



CW運転も可

RF duty $\sim 100\%$

$I_{ave} > 10mA$

✓ QSTから共同研究の提案

共同研究件名：

線型加速器先端放射光源のための高輝度電子ビーム源に関する基盤研究



■ 電子銃技術開発

- ✓ 直流高圧印加方式
- ✓ 極低エミッタンスビーム生成

■ ビーム診断技術開発

- ✓ 遷移放射光を用いた周波数解析
- ✓ 6次元位相空間分布測定
(RFディフレクター+分散部)
- ✓ ストリークカメラ

□ 挿入光源開発 (リング共通)

- ✓ 短周期アンジュレータ
- ✓ 集束型アンジュレータ

学生の研究テーマ
は沢山ある

■ ナノテラスではSX-FEL建設のために入射器部 (BC1上流) までの改造を予定。

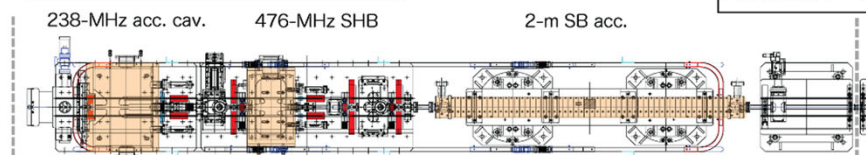
■ テストベンチを建設し、ビーム診断法などを確立する。

東北大・ニュートリノセンターOB
(上島さん、小原さん)

Nano
Terasu

SX-FEL

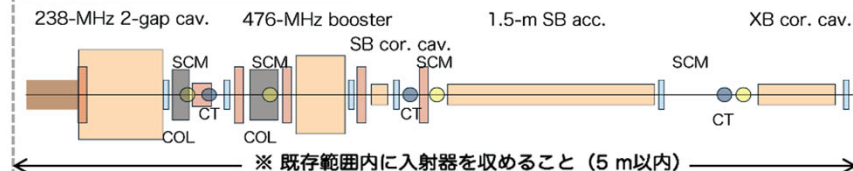
現状の入射器の構成機器配置



資料提供 安積隆夫 (QST)

40MeV,
0.4nC/5ps

新入射器の構成機器配置



30MeV,
0.3nC/20ps