



革新的研究開発推進プログラム (ImPACT)

# 「ユビキタス・パワーレーザーによる 安全・安心・長寿社会の実現」

ご説明資料

平成29年2月16日

プログラム・マネージャー  
佐野 雄二

# ご報告内容

---

1. ①研究開発の構想  
②研究開発プログラムの実施内容
2. ハイリスク・ハイインパクトな取組みのポイント
3. 研究開発プログラムの出口目標
4. 研究開発の実施体制
5. 平成28年度の取組み・進捗および成果
6. 特筆すべき進捗・成果
7. 研究開発プログラムの見直し内容について
8. 見直し後の研究開発スケジュール

# 1. ①研究開発の構想

X線自由電子レーザー (XFEL) とパワーレーザー を超小型化し  
いつでも・どこでも・誰でも使えるようにしたい (ユビキタス化)

## XFEL

- たんぱくの構造解析・創薬
- 触媒や電池の反応、など
- フェムト秒の時間分解能

国内に1台 (利用機会が少ない)



X線自由電子レーザー SACLA

Pj-1

レーザー加速  
XFEL実証

XFELを超小型化して各機関に配備  
研究開発のサイクルを短縮



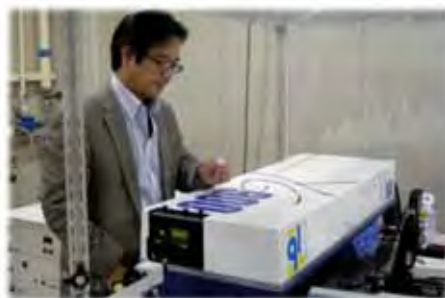
ImPACT終了時:  
XFEL実現に必要な  
基盤技術の確立

目指す姿: 10m以下

## パワーレーザー

- インフラ保守
- 製造の革新
- 高感度分析
- 医療応用、など

高額で、海外勢がシェア独占



数十kg、1千~2千万円

Pj-2

超小型パワー  
レーザー

小型で使い易い国産のパルス  
レーザーを開発し、産業を革新



ImPACT終了時:  
製品化とユーザー  
による試適用

目指す姿: 1kg以下

# 1. ②研究開発プログラムの実施内容 (Pj-1)

X線自由電子レーザー  
SACLA



400mの電子加速器と  
200mのアンジュレーター  
(磁石の列: X線を発生)で  
構成されている

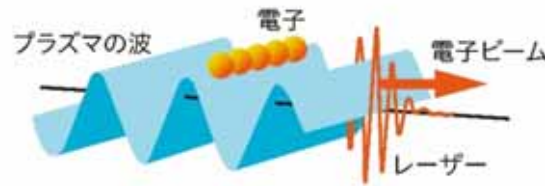
**日本のレーザー加速技術で加速器を10m以下とし、1GeVの電子ビームを発生**



電子加速器 (20keV/mm)



カットモデル



レーザー加速 (100MeV/mm)



レーザー加速実験装置

**日本の磁石技術でアンジュレーターを10m以下とし、1keVのX線ビームを発生**

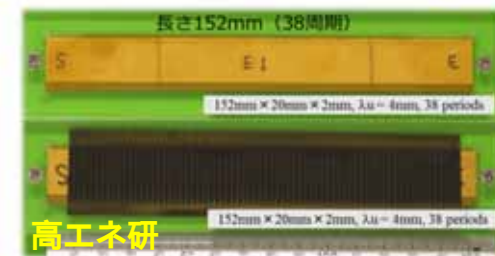


アンジュレーター

拡大



磁石列 (最小周期18mm)

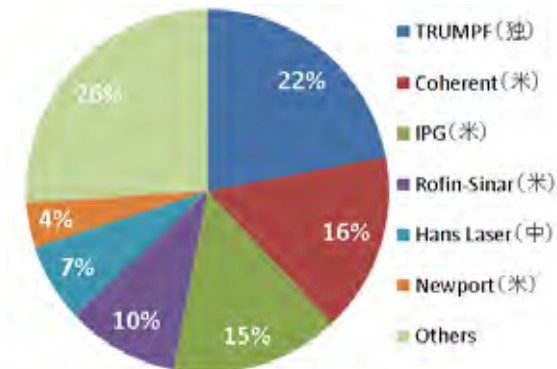


76個の磁石を一体化 (周期4mm)

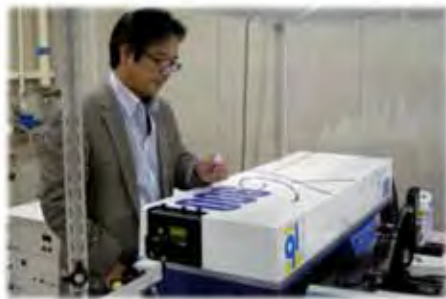
**kmオーダーのXFELを10m以下に小型化して各機関に配備  
フェムト秒の反応解析や生体イメージングに活用し開発力を強化**

# 1. ②研究開発プログラムの実施内容 (Pj-2)

- 日本の独自技術により、超小型のパルスレーザーを開発。新しい市場を創出
- 材料開発など基礎研究段階からニーズを取込み、製品化までを一貫して推進
- レーザーは多くの分野で使われる「Key Enabling Technology」
- パワーレーザーの市場（5~6千億円）は **独・米・中** が占有
- 日本のレーザー製品は競争力が低く、自動車などの主力産業の製造設備においても海外製品が主流



パワーレーザーの市場シェア (2014)



超小型・低価格化

製品化

適用・普及



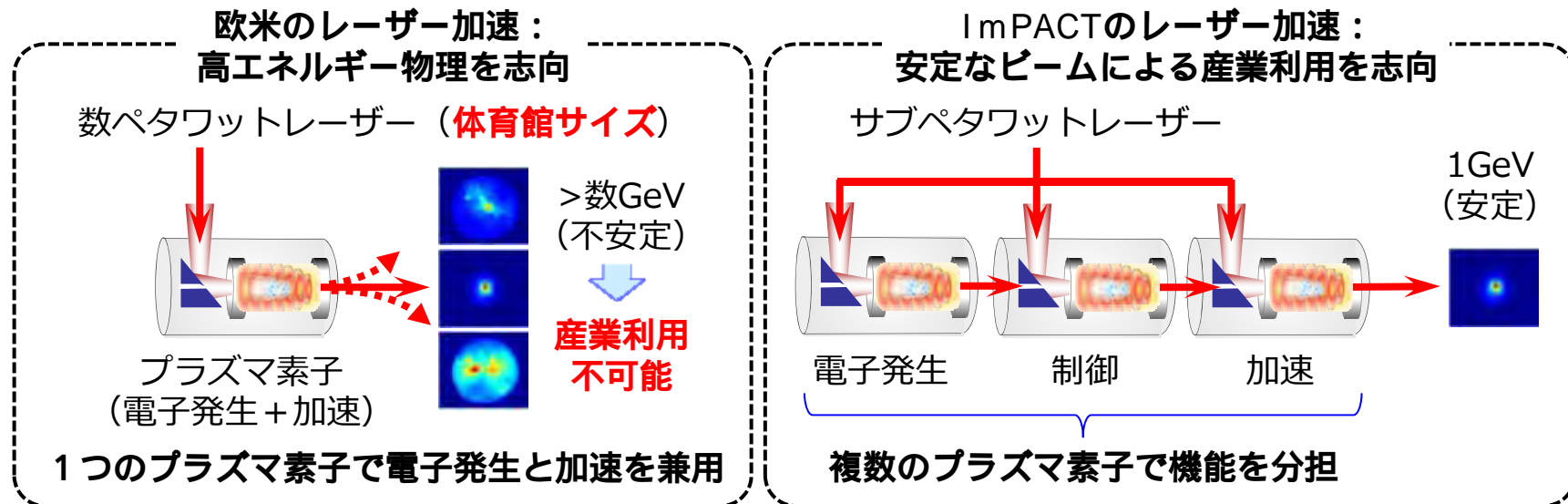
**国産技術によるレーザーでソリューションを提供し産業を革新  
レーザー装置・応用システムのシェアを海外勢から奪還**



## 2. ハイリスク・ハイインパクトな取組みのポイント

### Pj-1：従来の1000倍の加速能力をもつレーザー加速に着目

- レーザー加速は原理確認段階。実用化には加速の安定化と装置の小型化が必須
- **プラズマ素子の機能分担**により、世界一小型で安定な電子加速を実現



### Pj-2：日本独自のレーザー媒質・接合・冷却技術に着目

- 安価で使い易く、小型で高出力のパルスレーザーを開発し、レーザーの概念を一新。ファイバーレーザーやディスクレーザーでは成し得ない市場を創出
- ユーザーの参画で確かなニーズに基づいた開発を推進し、実用化を達成

## 3. 研究開発プログラムの出口目標

---

### Pj-1 レーザー加速XFEL実証

- 超小型XFELの実現に必要な**基盤技術の確立**
  - ・ レーザーによる超小型電子加速器の実現 (1GeV、<10m)
  - ・ レーザー加速とアンジュレーター (<10m) によるX線ビーム (1keV) 発生
  - ・ 播磨拠点における組合せ試験と、XFEL実現に必要な要素技術の実証

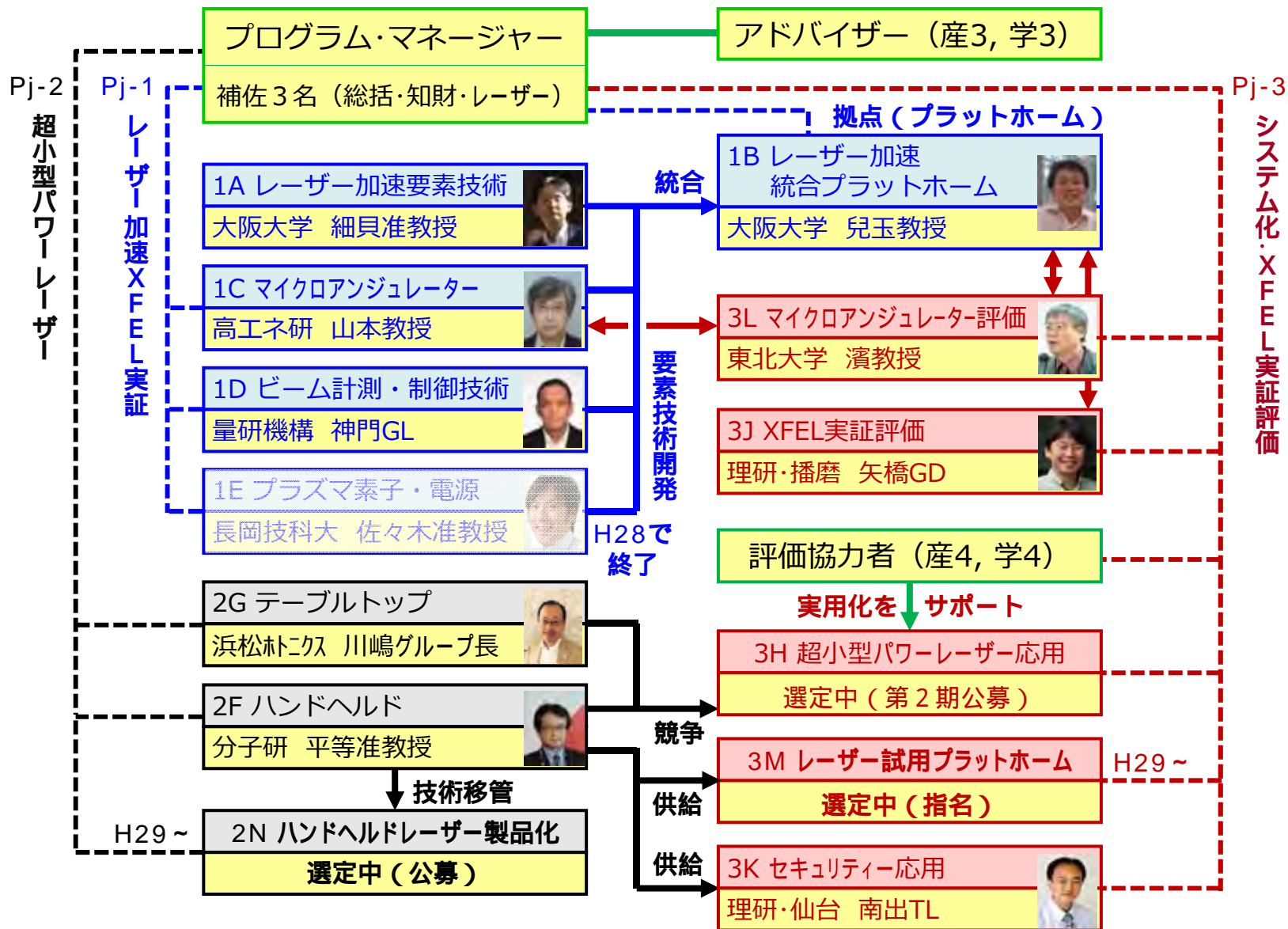
### Pj-2 超小型パワーレーザー

- 超小型パワーレーザーの開発・**製品化**
  - ・ 掌サイズの高出力パルスレーザー開発 (1.06 $\mu$ m, サブナノ秒, 20mJ, 100Hz)
  - ・ 国内企業による製品化 (ImPACT期間内の販売開始)

### Pj-3 システム化・XFEL実証評価 (H28~)

- Pj-1・Pj-2による開発技術・装置の**ユーザーによる評価**
  - ・ ユーザーによるレーザー加速電子およびX線ビームの実用性評価
  - ・ 超小型パワーレーザーを用いた応用システムのユーザーによる開発
  - ・ ユーザーによる超小型パワーレーザーの試用・生産デモ、実用性評価

# 4. 研究開発の実施体制 (H29年度)



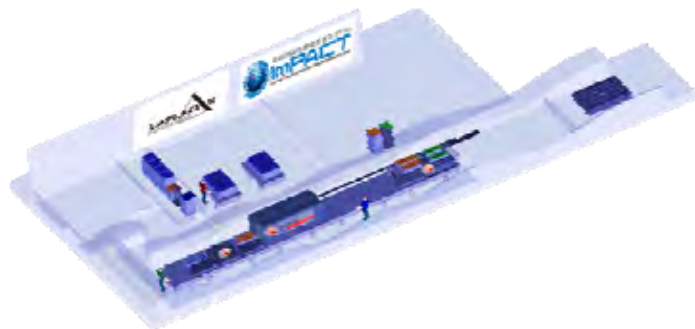


## 5. 平成28年度の取組み・進捗および成果 (1/2)

### Pj-1 レーザー加速XFEL実証

電子加速およびX線ビーム発生のため、播磨拠点（プラットフォーム）に設置するレーザーシステムの開発と環境整備を進めている。また、播磨拠点での実証試験に先立ち阪大で組合せ試験を行うため、マイクロアンジュレーターおよびプラズマ波・電子ビーム計測の準備を進めている。H28年度の主な成果を以下に示す。

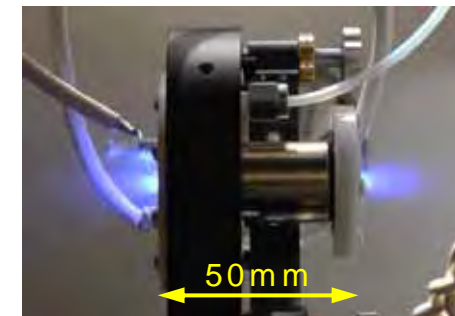
- 播磨拠点に設置するレーザーシステムの製作が進捗。今年度末に搬入の予定
- レーザーパルスの波形制御により、世界最高効率の電子加速に成功（後述）
- GeV加速のためのプラズマ素子を開発し、長尺の放電チャネルの形成を確認
- マイクロアンジュレーターの磁石接続法を開発し、XFEL実現に必要な長尺化に目途
- プラズマ波および電子ビームのリアルタイム計測に成功。



播磨拠点（H29年3月完成予定）



拠点レーザーシステム



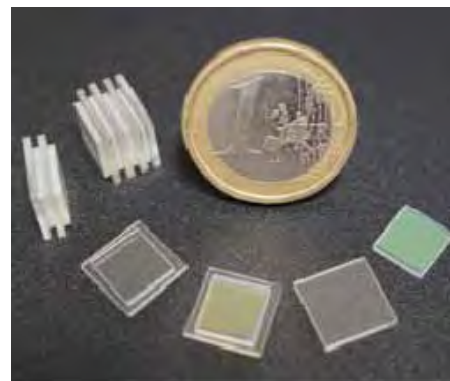
プラズマ素子（加速部）

## 5. 平成28年度 of 取組み・進捗および成果 (2/2)

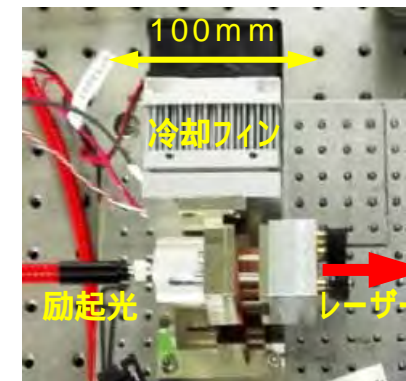
### Pj-2 超小型パワーレーザー

市場で競争力のあるレーザーを提供するため、**小型高出力化・ロバスト化**を推進。ImPACT期間内に製品化を行う。H28年度の主な成果を以下に示す。

- Nd:YAGなどのレーザー媒質とサファイアなどの透明冷却基板の常温接合に成功
- **発振器のみでパルスエネルギー20mJを達成（世界最高出力密度：後述）**



常温接合したNd:YAGとサファイアの積層体



20mJを達成した発振器の外観

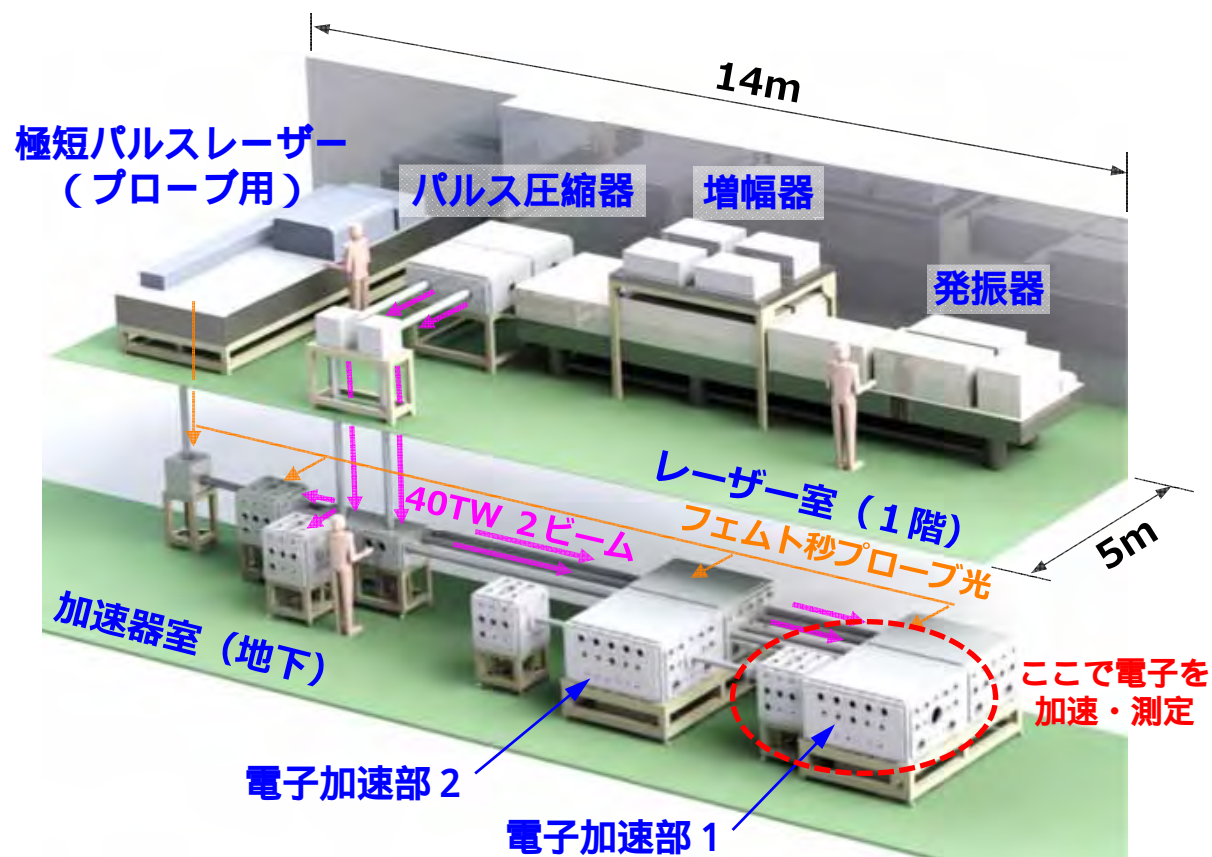
### Pj-3 システム化・XFEL実証評価

Pj-1「レーザー加速XFEL実証」およびPj-2「超小型パワーレーザー」で開発した技術・装置の**ユーザーによる評価**を行っている。H28年度の主な成果を以下に示す。

- **加速器電子ビームとマイクロアンジュレーターの組合せで放射光発生に成功（後述）**
- THz波による大気中微量化合物の検出試験を行い、1ppmのメタノールを1秒で検出できることを確認
- 超小型パワーレーザーの応用・システム化の公募を実施。受託者を選定中

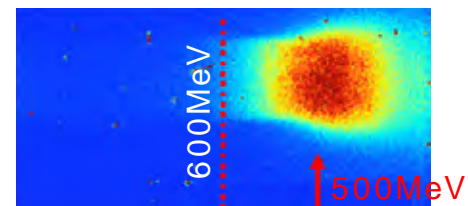
## 6. 世界最高効率のレーザー電子加速に成功

- レーザーパルスの波形制御技術を開発することにより、レーザーのパルスエネルギー 0.3J で 500MeV の電子加速に成功（世界最高効率）



レーザー電子加速実験装置（阪大；パルスエネルギー 2J）

電子エネルギー測定結果



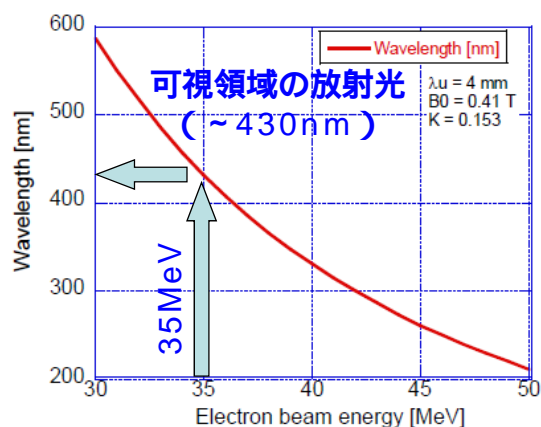
電子エネルギー測定装置

世界最高効率の電子加速技術により、レーザーの小型化（10m以下）も目途



# 6 . マイクロアンジュレーターによる世界初の放射光発生

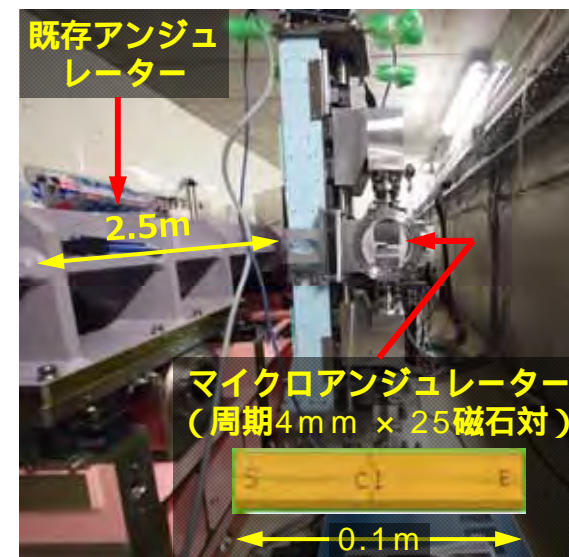
- マイクロアンジュレーターと電子ビーム (35MeV) の組合せによる**世界初の放射光**を観察
- シミュレーションとの比較により、マイクロアンジュレーターの**性能を検証**



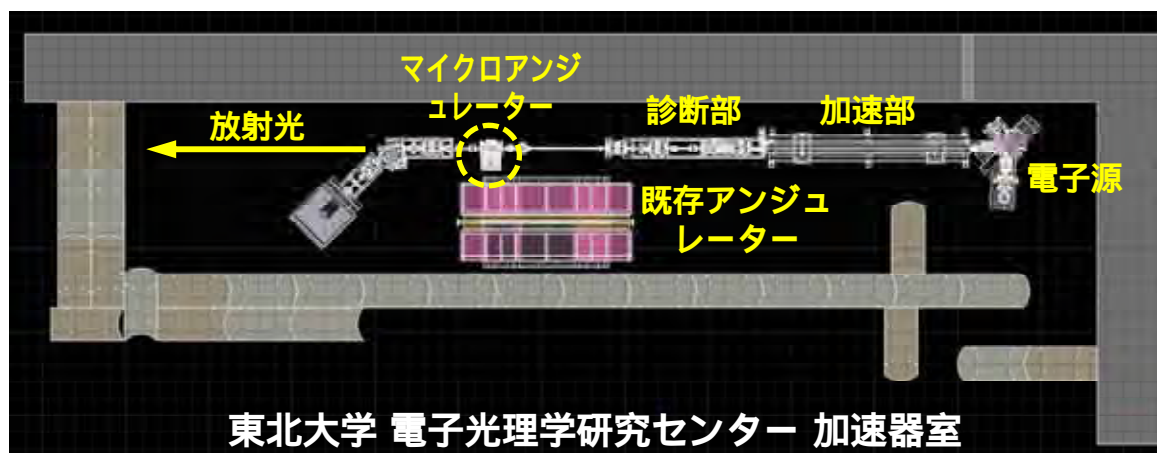
放射波長のシミュレーション



マイクロアンジュレーター設置前の状況



設置後の状況



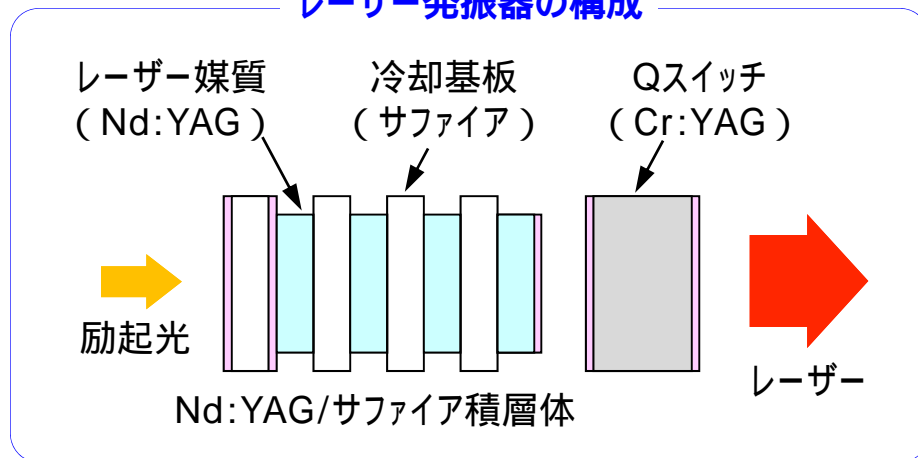
東北大学 電子光理学研究センター 加速器室

性能検証によりアンジュレーターの小型化 (10m以下) と製品化が前進

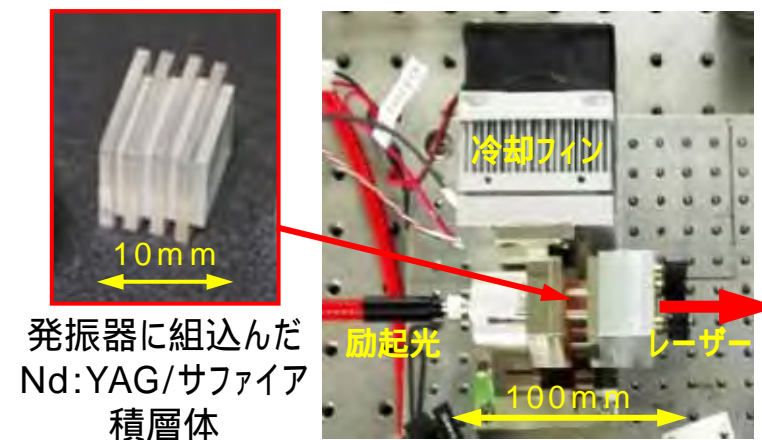
## 6. 超小型のレーザー発振器で出力 20mJ を達成

- **レーザー媒質**と透明な**冷却基板**（サファイアなど）を**接合**する新技術を開発
- 発熱部（レーザー媒質）を分割して冷却を促進する**新たな発振器**を実現
- 多層化による**高出力化が容易**（3mJ/1層 20mJ/4層；ImPACTの目標）

レーザー発振器の構成



発振器の外観



従来のパルスレーザー



小型化      ImPACT製品イメージ      応用



製造



インフラ



ヘルスケア



セキュリティー

種々の応用が可能なパルスエネルギー 20mJ を達成  
レーザーの利用・購入希望が多数、製品化を加速



## 6. 世界最大規模の光・レーザー展示会に出展



### Japanese team develops tiny micromachining laser

Representatives of the Japanese government's heavily funded "ImPACT Program" are exhibiting at the Moscone Center this week, showcasing the two projects (out of 16 in all) involving novel lasers.

One of the projects is aiming to develop an ultra-compact pulsed solid-state source. The resonator is barely the size of a postage stamp, and designed for integration with robots and drone platforms. Based around a heat-sink comprising alternating layers of millimeter-thin Nd:YAG and sapphire, the source is said to have delivered pulse energies in excess of 20 mJ with a pulse duration of 400 picoseconds.

Future work will involve further reducing the thickness of those alternating layers to just 0.2 millimeters, with commercialization penciled in for around

wavelengths instead of using broadband emission from a Ti:sapphire laser.

Currently being prototyped, the laser system in development uses 756 nm and 797 nm emission tuned for hemoglobin absorption, with applications in vascular imaging and breast cancer screening anticipated around five years from now. Among the big-hitters involved in the program are Canon and Hitachi.

Another Japanese company working on a novel source for photoacoustic imaging during BIOS was PreXion, whose AcousticX system does away with lasers entirely - instead relying on pulsed LEDs combined with a pre-amplifier to boost signal-to-noise performance.

Currently being tested in pre-clinical studies on animals, the full system is expected to sell for around \$50,000

<http://email.crmlabs.co.uk/t/r-l-ykhiwik-jrljgkht-r-i/> より抜粋

## 7. 研究開発プログラムの見直し内容について

---

### Pj-1 レーザー加速XFEL実証

- XFELの実現に必要な高品質のX線ビームを得るための加速電荷（電子数）の増大に関する検討を実施
- レーザー加速電子ビームの応用検討など、Pj-1で開発した要素技術（安定な電子ビーム・マイクロアンジュレーター）の応用展開・製品化の前倒し
- アンジュレーター製品化に必要なデータ取得の前倒し（今回申請分：後述）

### Pj-2 超小型パワーレーザー

- レーザー媒質と冷却基板の接合技術を開発、レーザーの超小型化を達成
- レーザー製品化の受託者を複数とし、競争による安価なレーザーを実現

### Pj-3 システム化・XFEL実証評価

- ImPACTで開発したレーザーの応用システム化・製造などへの試適用をユーザーが自ら行うことにより、開発の有用性を評価
- 開発・製品化したレーザーを公設試に配備し、ImPACT期間のみならず終了後のユーザー利用の仕組みを構築。ImPACT成果の普及を図る（今回申請分：後述）

## 7. 研究開発プログラムの見直し（今回申請分）

### レーザー・プラットフォームの構築（公設試の活用）

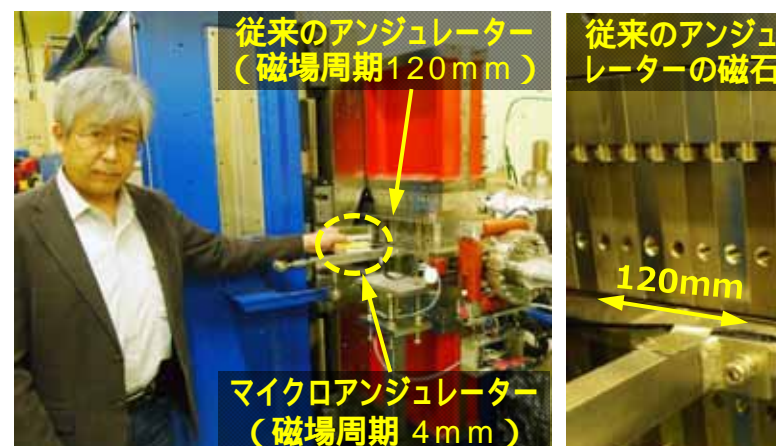
- **公設試**に ImPACTレーザーを設置。公設試のユーザー対応に関わるノウハウを活用
- ファイバーレーザーなどの**既存装置**との比較が可能で、**ユーザーメリット**が大きい
- ImPACT後も**試用機会**をユーザーに提供し、ImPACTの**成果創出を恒久化**



浜松工業技術支援センター  
(レーザー利用に関し年間400件の技術相談)

### アンジュレーター製品化に向けた電子ビーム試験の加速

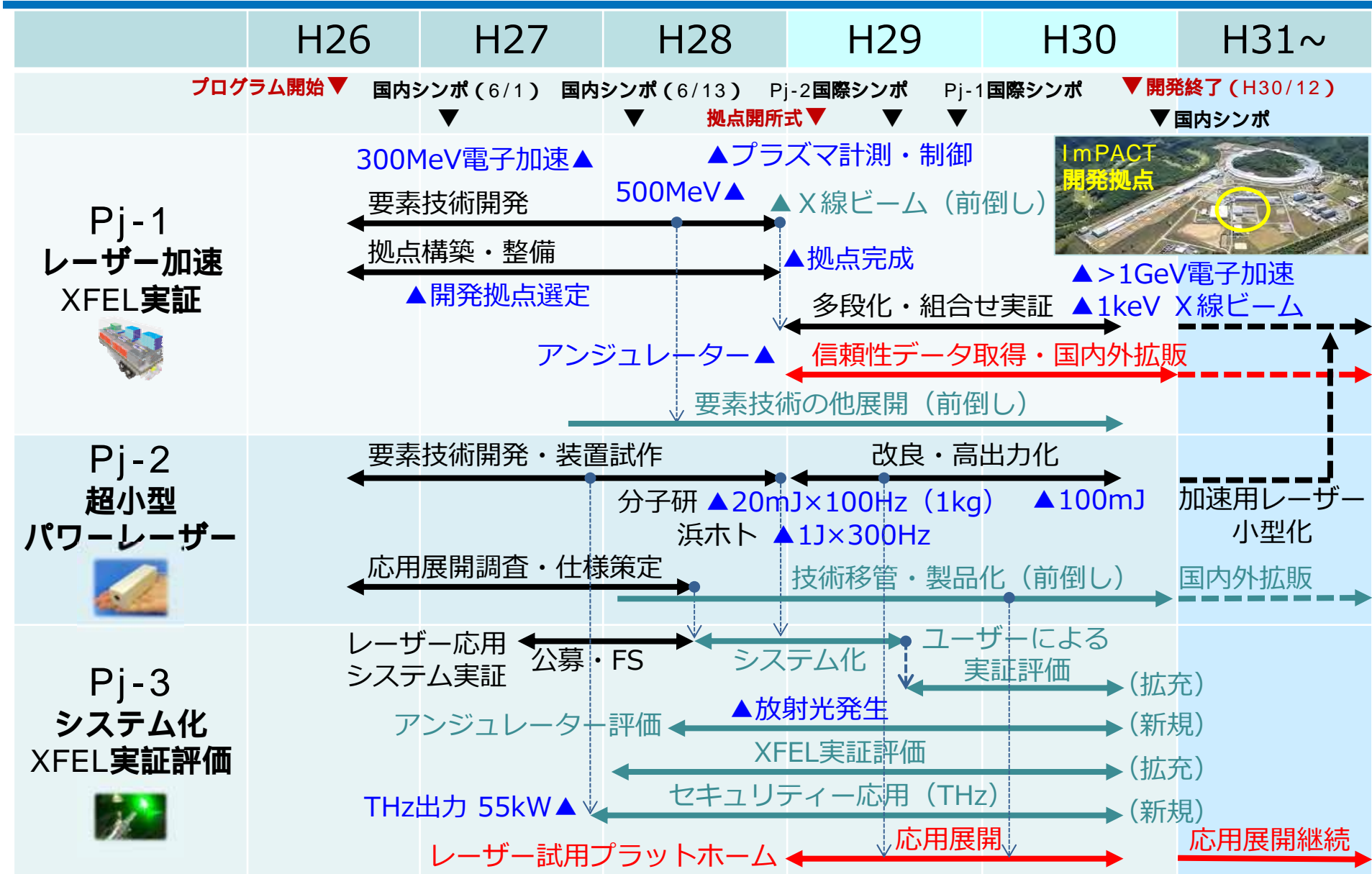
- 東北大・阪大での電子ビームとの**組合せ試験を前倒し**で行い、**成果創出・製品化を加速**
- 早期**標準化**により、国内外加速器・放射光施設への**導入を促進**、ImPACTの成果をPR
- 従来の長尺アンジュレーターをマイクロアンジュレーターで置換えることにより、**建屋設計や機器配置の自由度が拡大**



従来のアンジュレーターとマイクロアンジュレーター



# 8. 見直し後の研究開発スケジュール





<http://www.jst.go.jp/impact/index.html>

<http://www8.cao.go.jp/cstp/sentan/about-kakushin.html>