

静岡県 原子力経済性等検証専門部会(第5回)

2012年11月13日

原子力とレーザー・光技術

加藤 義章

光産業創成大学院大学



(光産創大:静岡県浜松市西区呉松町)

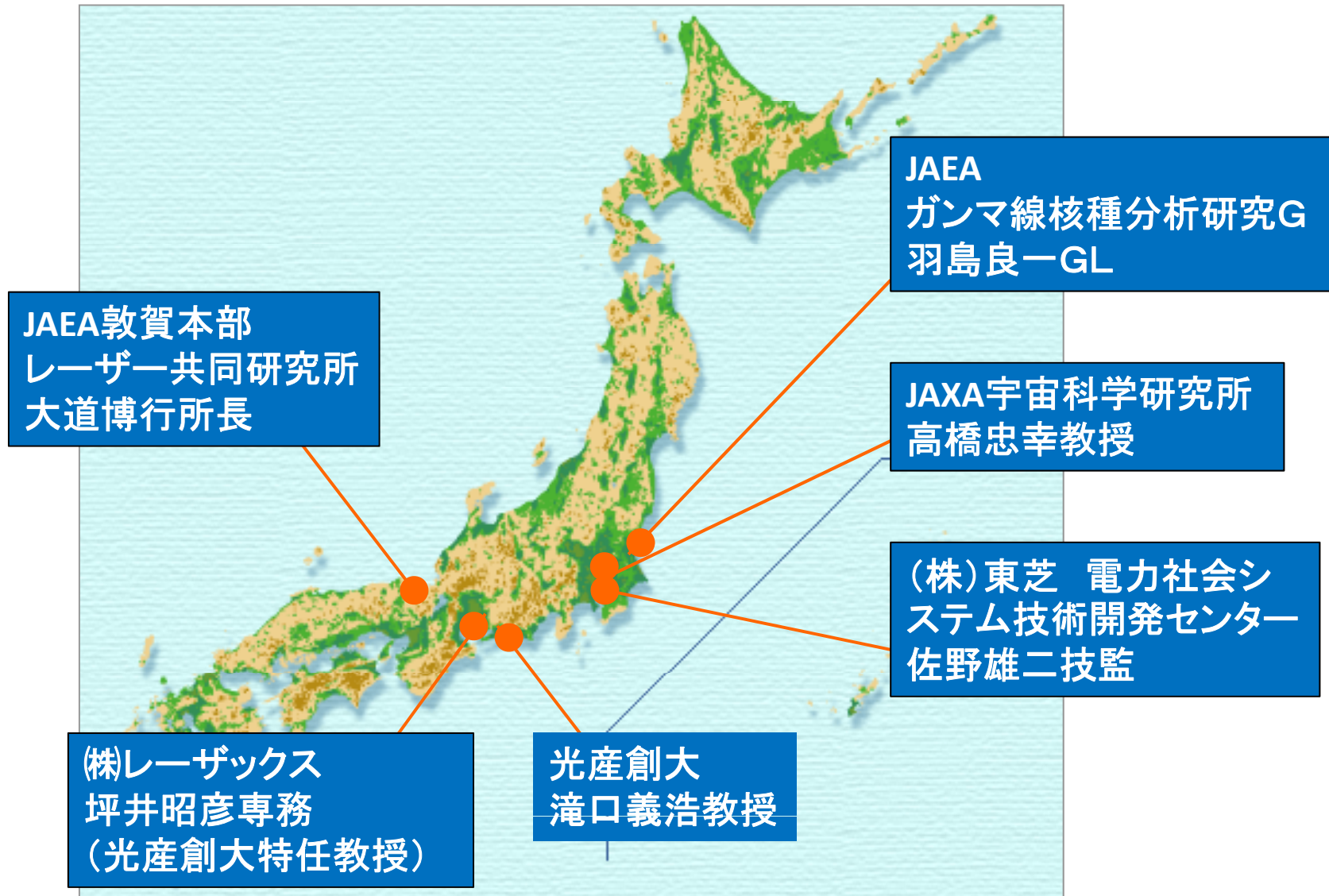


光産業創成大学院大学
The Graduate School for the Creation of New Photonics Industries

原子力とレーザー・光技術

- 原子力とレーザーは、アインシュタインが奇跡の年(1905年)に発表した論文から生まれた。
- 原子力分野で、レーザー・光技術はどのように利用されているか？
- 新技術開発の状況は？
- レーザーは原子力に新展開をもたらすか？
- 基礎科学と原子力分野との交流は？

ご協力下さった方々

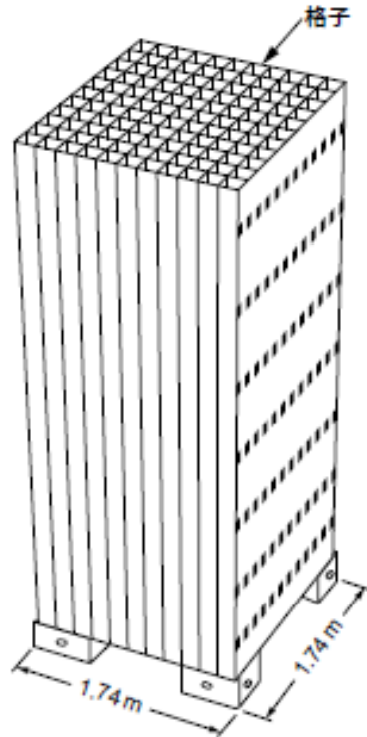


原子力機器製造

原子力機器製造への適用

原子力機器の加工：高精度、低ひずみ、低入熱が必要 → **レーザー加工が不可欠**

精密切断



使用済燃料貯蔵ラック

(ボロン添加ステンレス鋼の精密無酸化切断)

精密溶接



制御棒(核反応を制御)

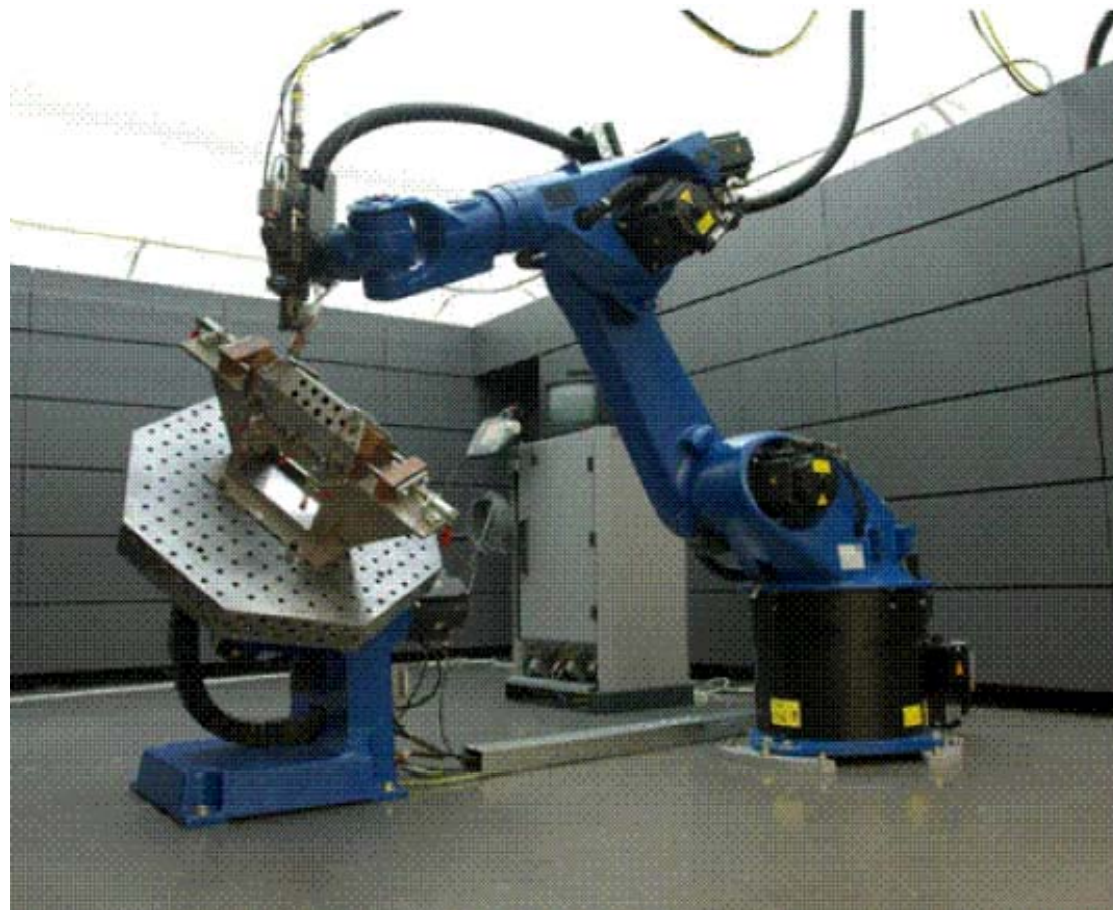
(ステンレス板内に中性子吸収棒を組み込み)

レーザー表面熱処理

- ・局部硬化
- ・応力腐食割れ防止

資料： 山田、前川、牧野
東芝レビュー 55 (10), 53, 2000

レーザー加工：複雑形状構造物の精密・高速加工



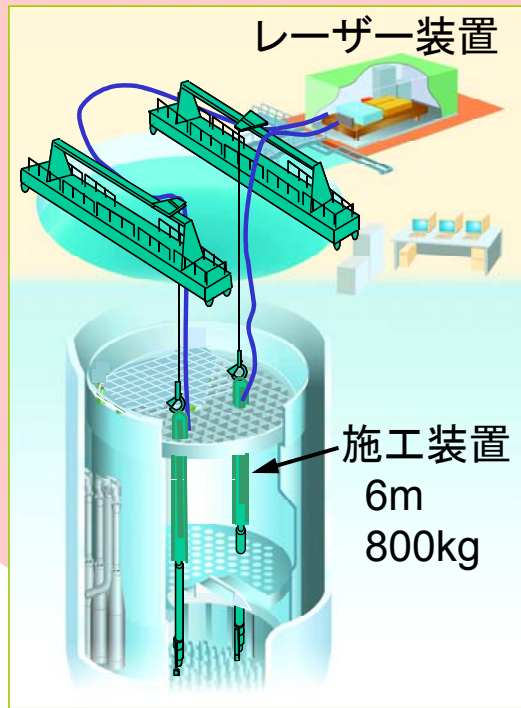
(株)レーザーックス

多関節ロボット搭載フレキシブルレーザー加工システム

原子炉保全

レーザーピーニングによる原子炉の予防保全

従来システム(1997)

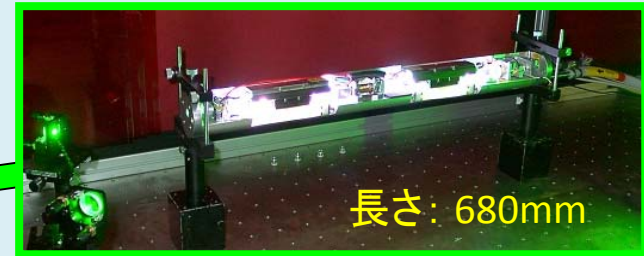


原子炉10基、14定期点検で実施済み

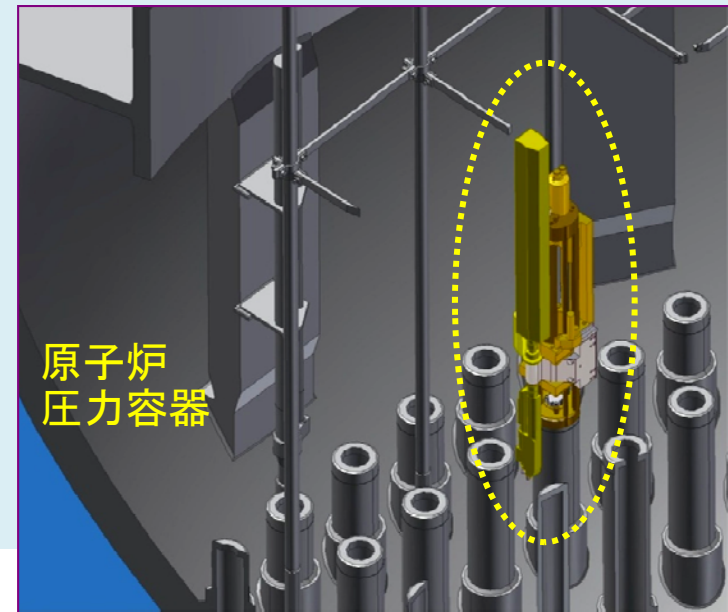
小型システム(2006)



レーザー発振器(80mJ、100Hz)



適用概念



タービン、航空機の疲労対策への適用開始

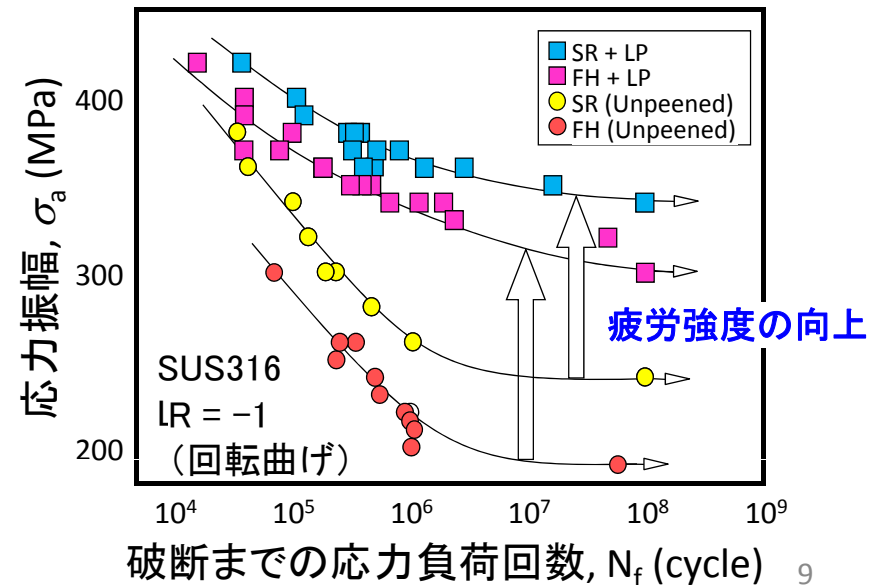
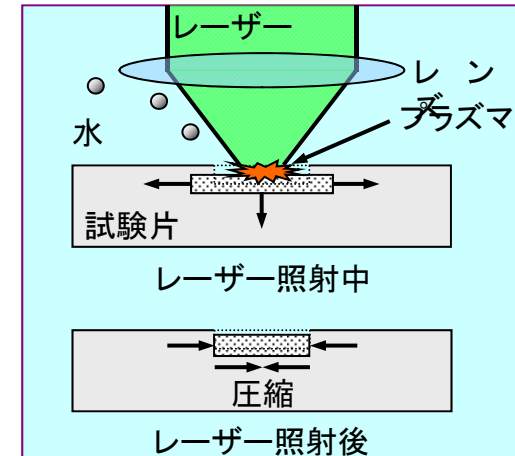
レーザーピーニングによる 残留応力の改善と疲労強度の向上

株式会社東芝
電力社会システム技術開発センター

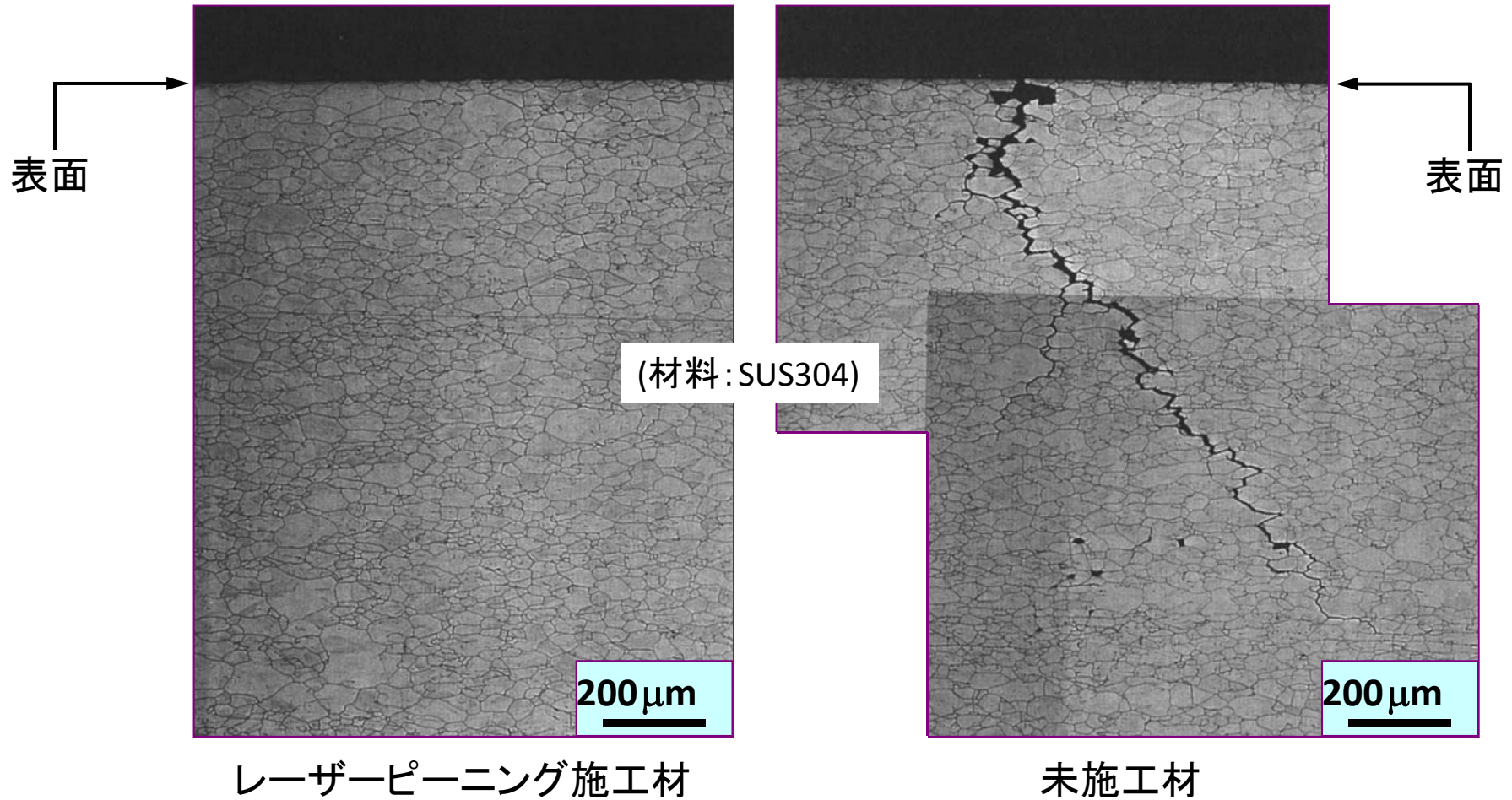
レーザーピーニング:

水中でパルスレーザーを照射したときの衝撃力を利用して、材料表面の残留応力の改善を行う技術

- 1994年に原理確認(東芝)
- 施工面の前処理が全く不要
- 反力がなく狭い部位に適する
- 水中施工が可能(可視レーザー)
- 水中施工のため、放射線遮蔽が容易
- 施工条件の制御が容易なため、効果が確実で再現性が高い



レーザーピーニングによる応力腐食割れの予防



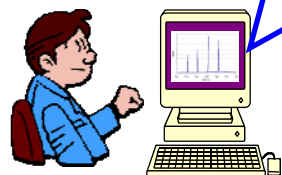
株式会社東芝 電力社会システム技術開発センター

高温機器・配管オンライン監視技術の開発

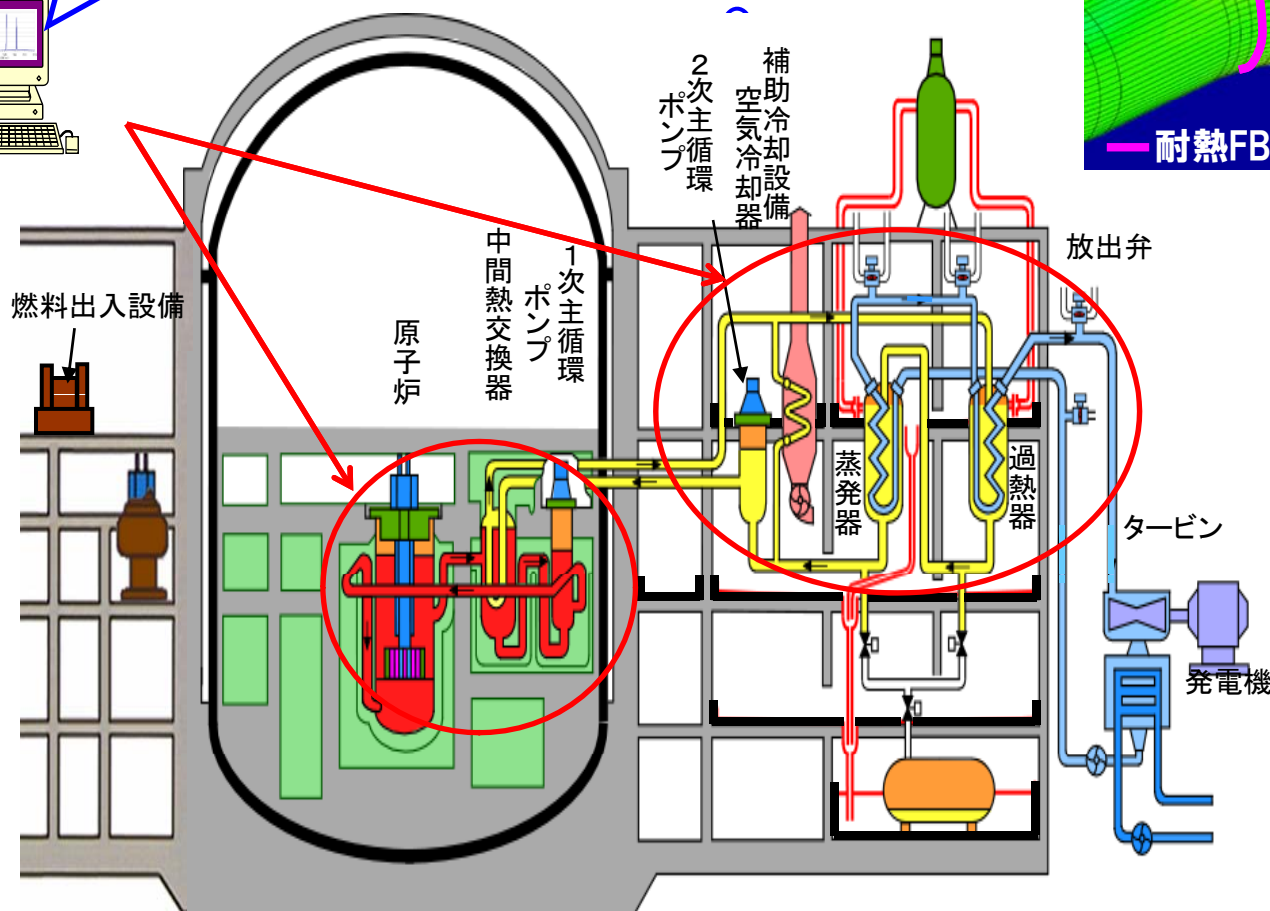
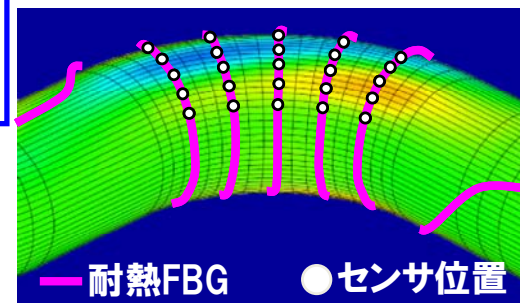


JAEAレーザー共同研究所

高温機器の遠隔、
多点モニタリング



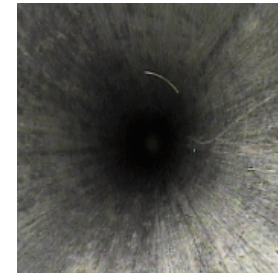
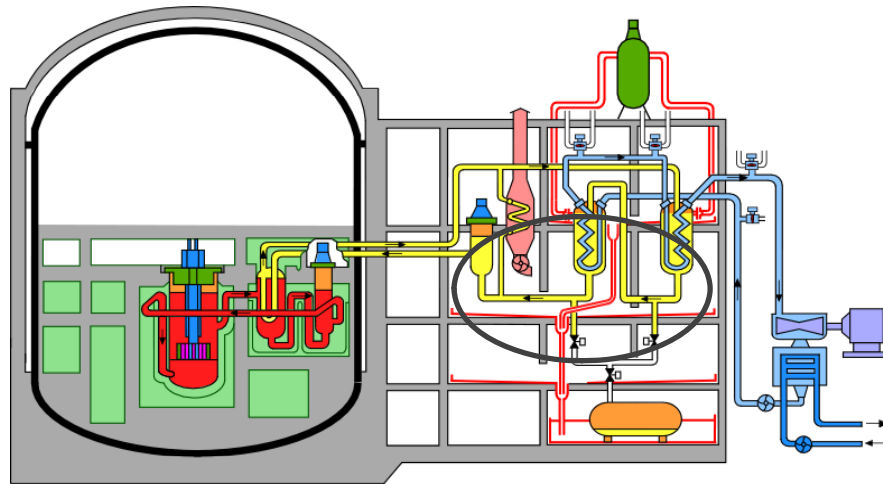
エルボ部等の変形が集中する
部位に高温用センサを設置、歪、
振動等の遠隔監視を行う。



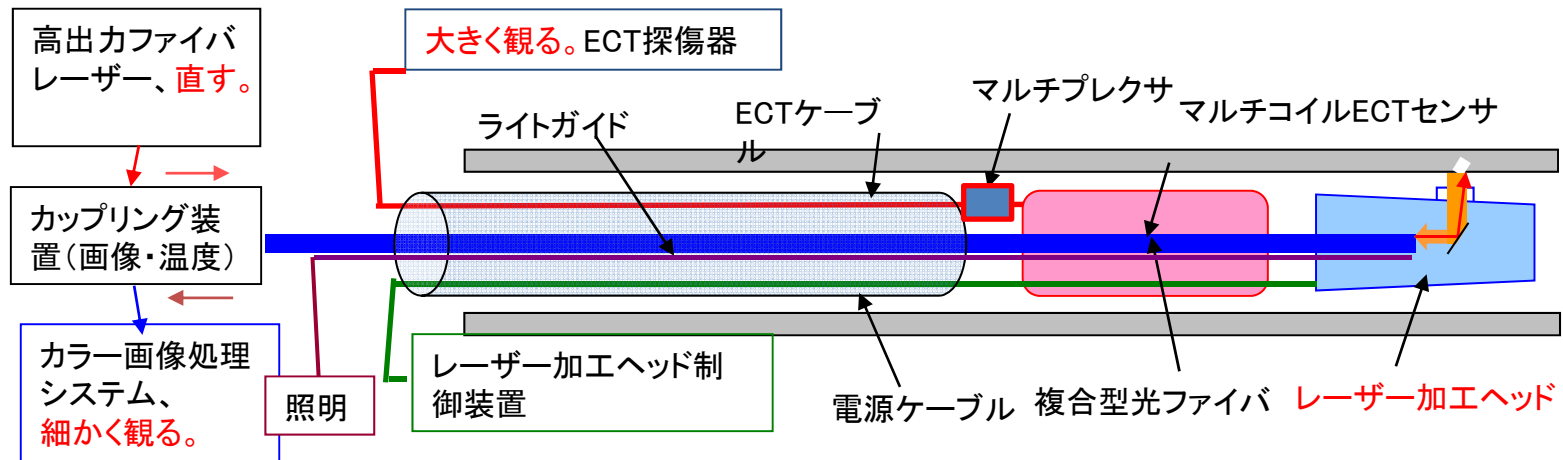
観ながら直す・造る レーザー溶接補修技術の開発



JAEALレーザー共同研究所



検査・補修する1インチ径伝熱管内壁画像
(人為的に傷を付与)



水中レーザー溶接も重要

廢爐措置

廃炉措置へのレーザー利用

工期、人員、放射性廃棄物の低減（「ふげん」に関する検討）



JAEALレーザー共同研究所

材料に係る課題

- 放射能レベルが比較的高い（放射化材料）
- 材料の一部にジルコニウム合金鋼を使用

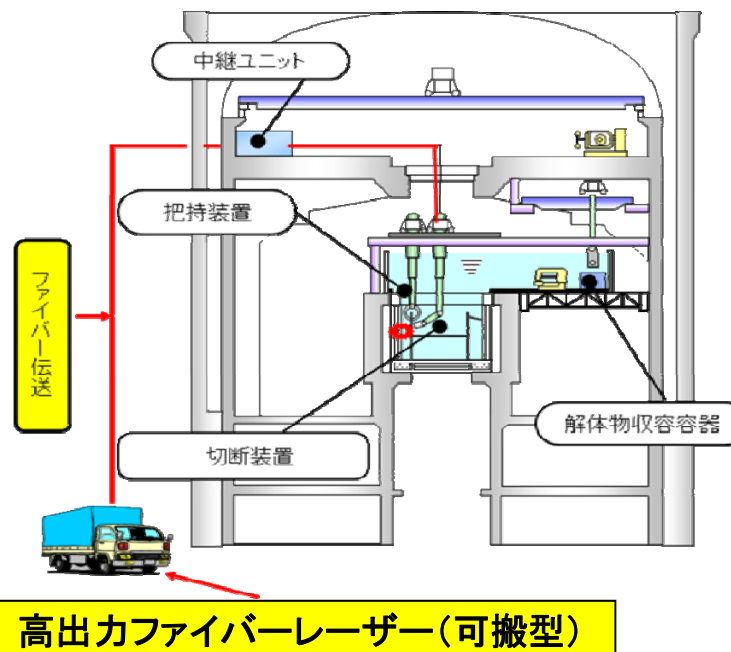
構造に係る課題

- ・カランドリア管と圧力管の二重管など狭隘構造、多様な配置により切断箇所が多い

- ・切断時に発生する放射性粉じん等による被ばく低減
- ・ジルコニウム合金鋼切断時の発火防止

- ・二重管を同時に切断

工期短縮が図れる水中遠隔解体切断工法



【解体の流れ】

① 準備

- ・遠隔解体装置設置
- ・解体用プール設置等

② 1次切断（粗断）

- プラズマアーク
- レーザ
- AWJ* - 等

②' 2次切断（細断）

- 水中バンドソー - 等

③ 解体物収容容器に収容／搬出

④ 解体装置及び解体用プール等の撤去、片付け

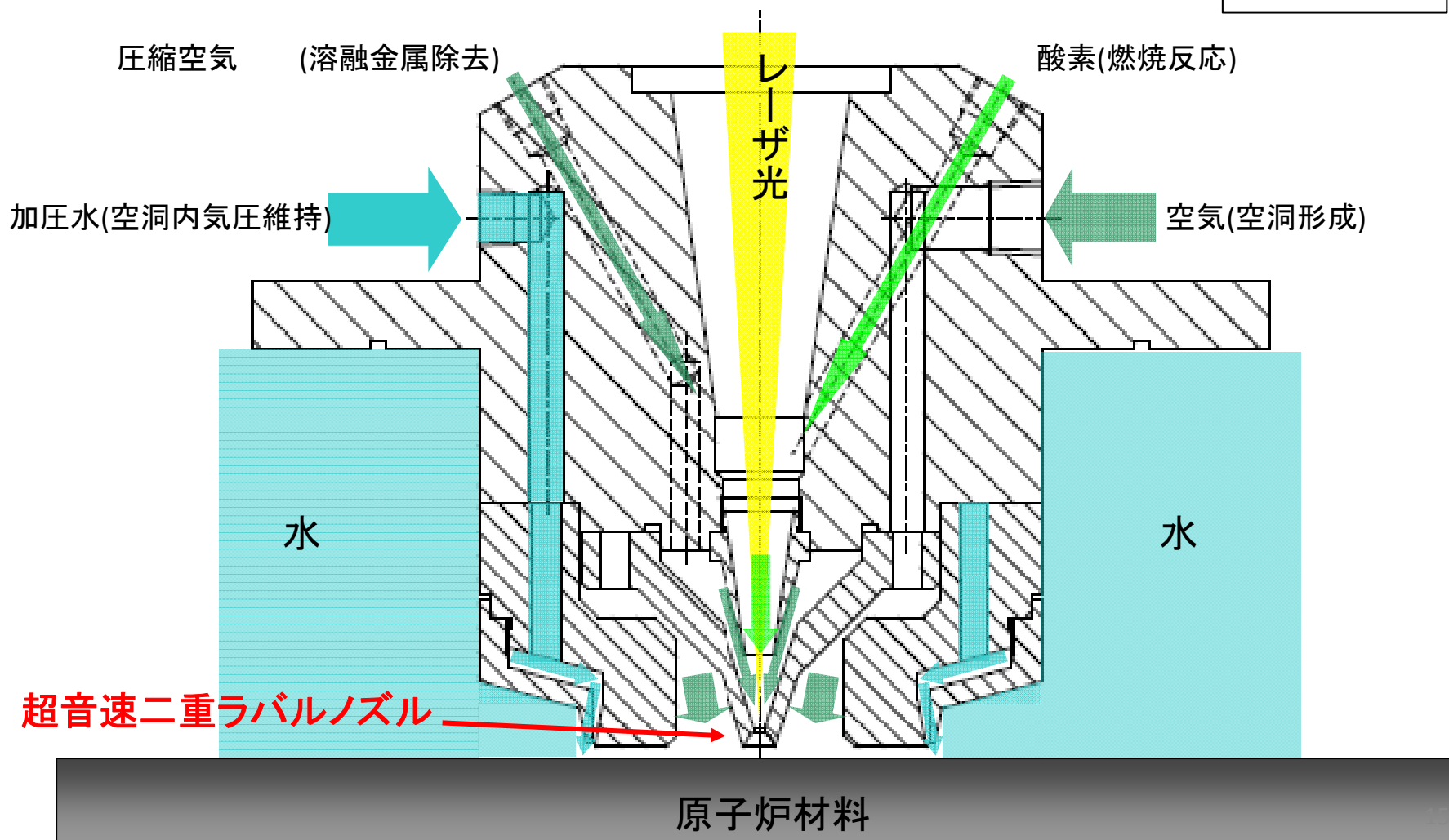
総廃棄物36万トン、内 放射性廃棄物として処理1万トン、高レベル廃棄物 500トン

*AWJ：アブレイシブウォータージェット

将来の原子炉廃止措置(原子炉容器の解体等)に要する水中切断

開発した水中切断用レーザーノズルシステム

(株)レーザーックス



ステンレス厚板の水中切断実験

(株)レーザーックス



フランス原子力庁における廃炉技術開発

提供： JAEAレーザー共同研究所

High thickness laser cutting for dismantling

Configuration on dismantling facility

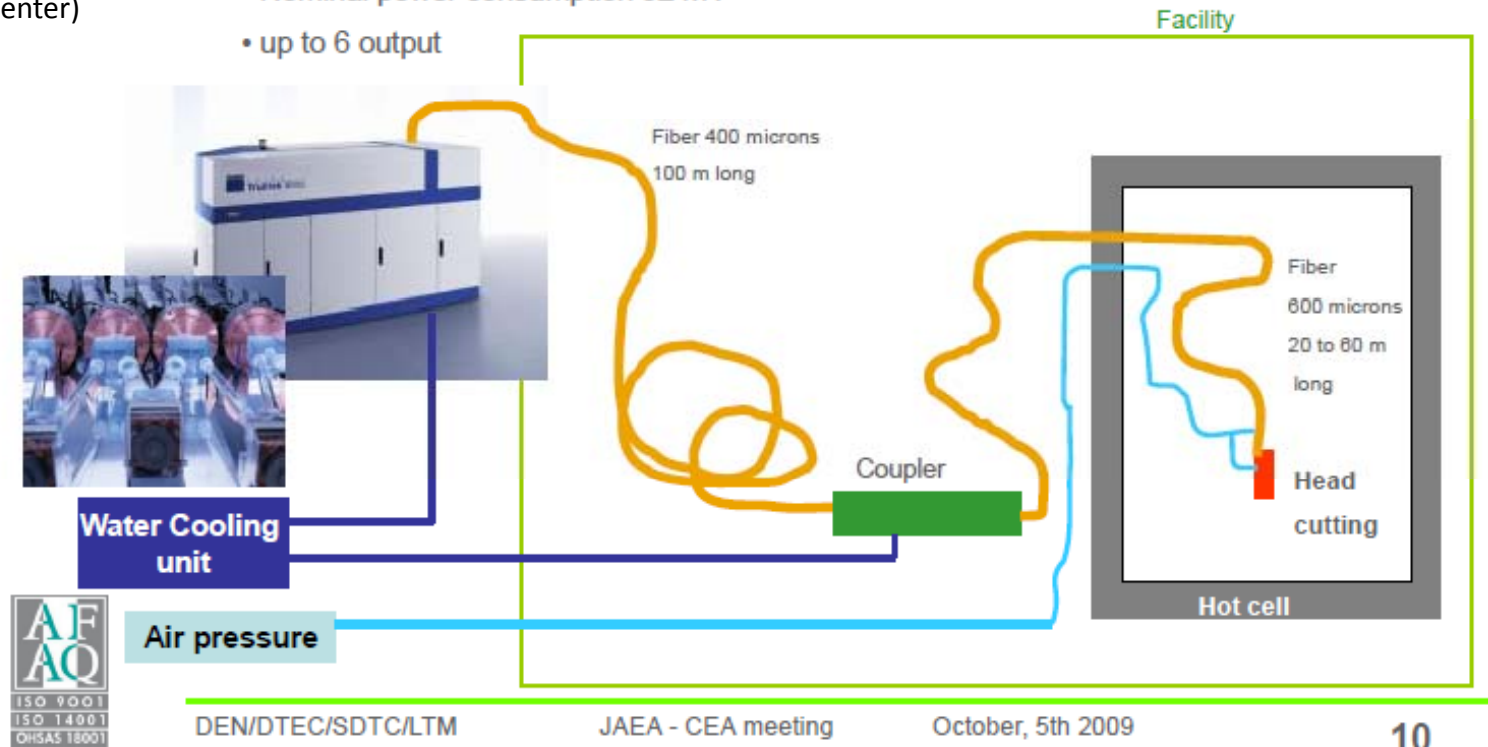


Disk Laser Power with pumped diode 8kW

- high efficiency up 25%
- Good beam quality
- Nominal power consumption 32 kW
- up to 6 output

- 仏：原子力への新技術導入に積極的な取組み
- レーザークリーニング除染は実用化
- モバイル型レーザー解体装置を開発中

(Nuclear Energy Division
-Marcoule center)



屋外で活躍するレーザー 20kWファイバレーザー モバイルシステム



パイプラインレーザー溶接システム
(直径1m, 16mm厚パイプを
2.5分で溶接)
(独Vietz社)

提供 (株)レーザックス

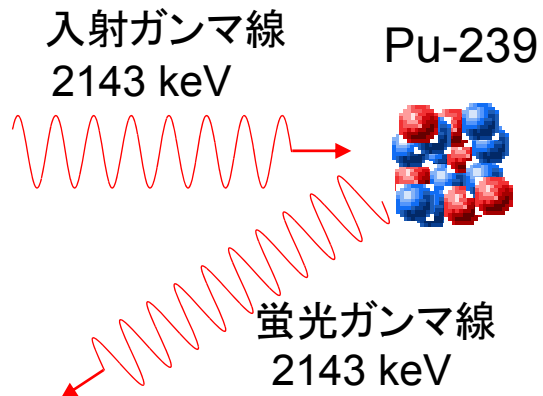
使用済核燃料の処理・処分

原子核の識別

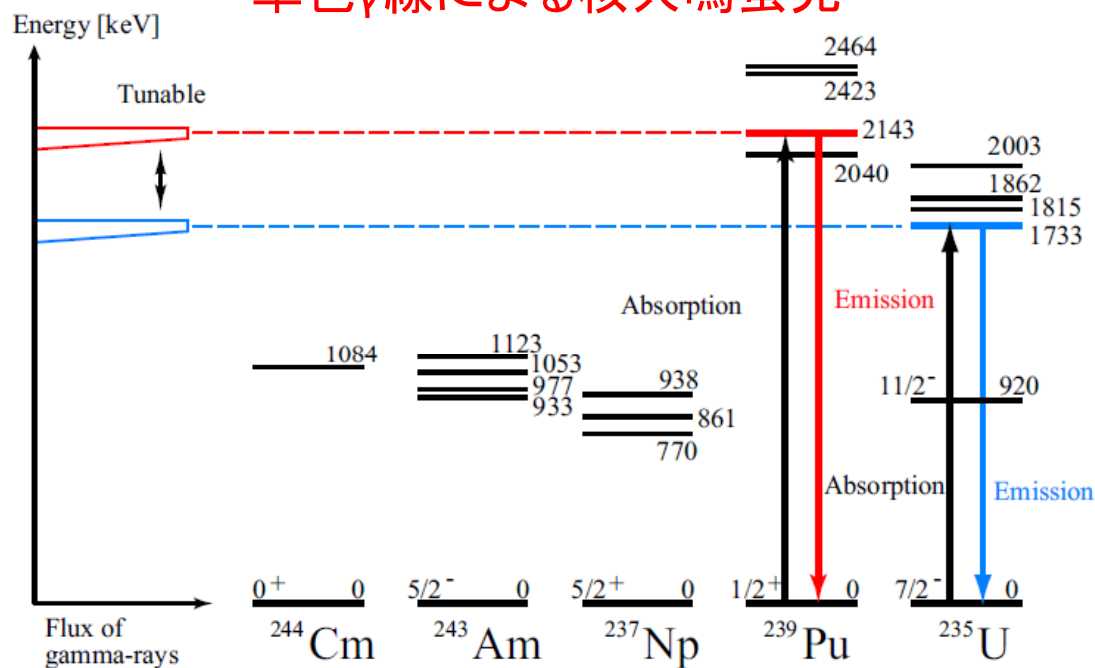


原子力機構 ガンマ線核種分析研究G

レーザー光と電子線を衝突させて発生



単色γ線による核共鳴蛍光



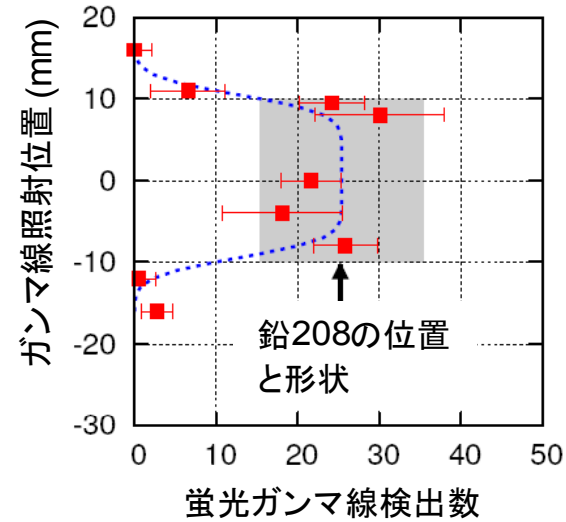
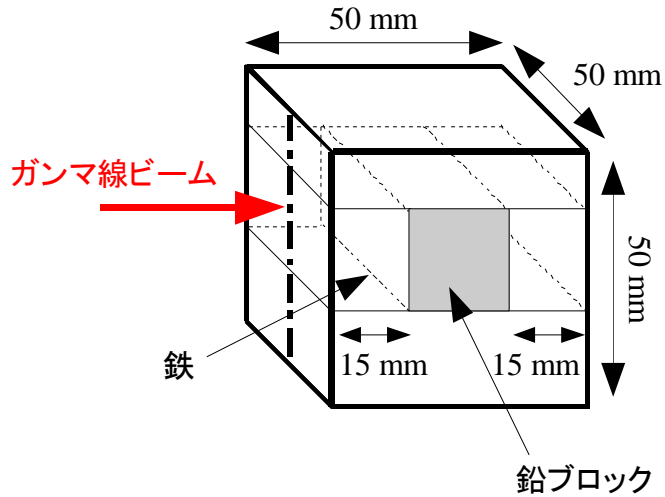
エネルギー可変、
単色γ線ビーム



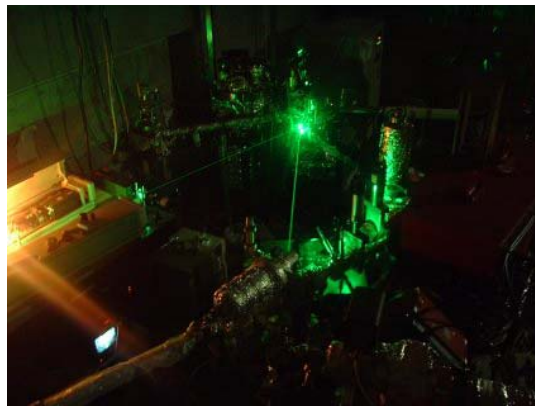
原子核を選択的
的に励起

核共鳴蛍光による同位体の非破壊検出

原子力機構 ガンマ線核種分析研究G



N. Kikuzawa et al., App. Phys. Exp. 2 (2009)



産総研TERAS: レーザコンプトンγ線源

同位体検出

「同位体」は原子核の中性子の数が異なる「同位体」を、遮蔽物越しにガンマ線を当てただけで検出すること、日本原子力研究開発機構と京都大エネルギー理工学研究所、産業技術総合研究所のグループが成功した。使用済み核燃料の濃度測定や放射性廃棄物の検査などに役立つ。

実験では、鉛のブロックの縦高さを、鉛を厚さ5mm、鉛の鉄板で覆い、外から強力なガンマ線を照射、鉛に5%含まれている同位体、鉛208だけが出す特殊な波長のガンマ線を検出し、ブロックの大きさや形を透視できた。

照射するガンマ線の波長を変えれば、元素や同位体の種類を見分けることができるといふ。

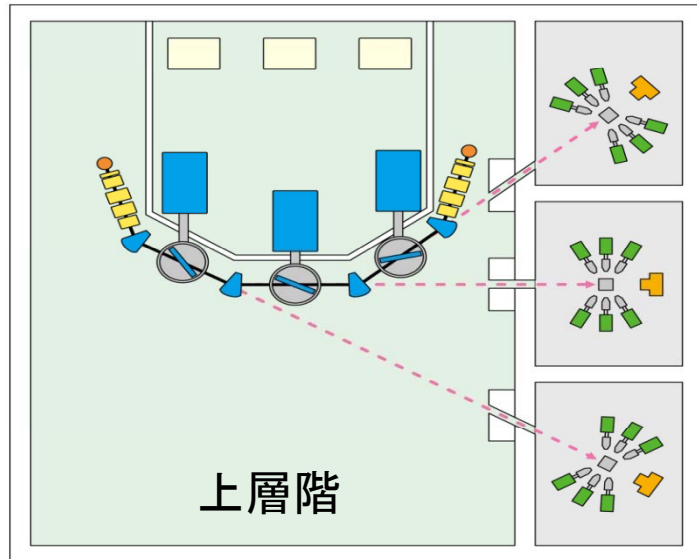
使用済み核燃料や放射性廃棄物に含まれるウラン238などの放射性同位体は、現在はサンプルを取って分解し、測定しているが、この技術を活用すれば、安全で経済的な検査が可能になるという。

京大など 覆い越しに成功

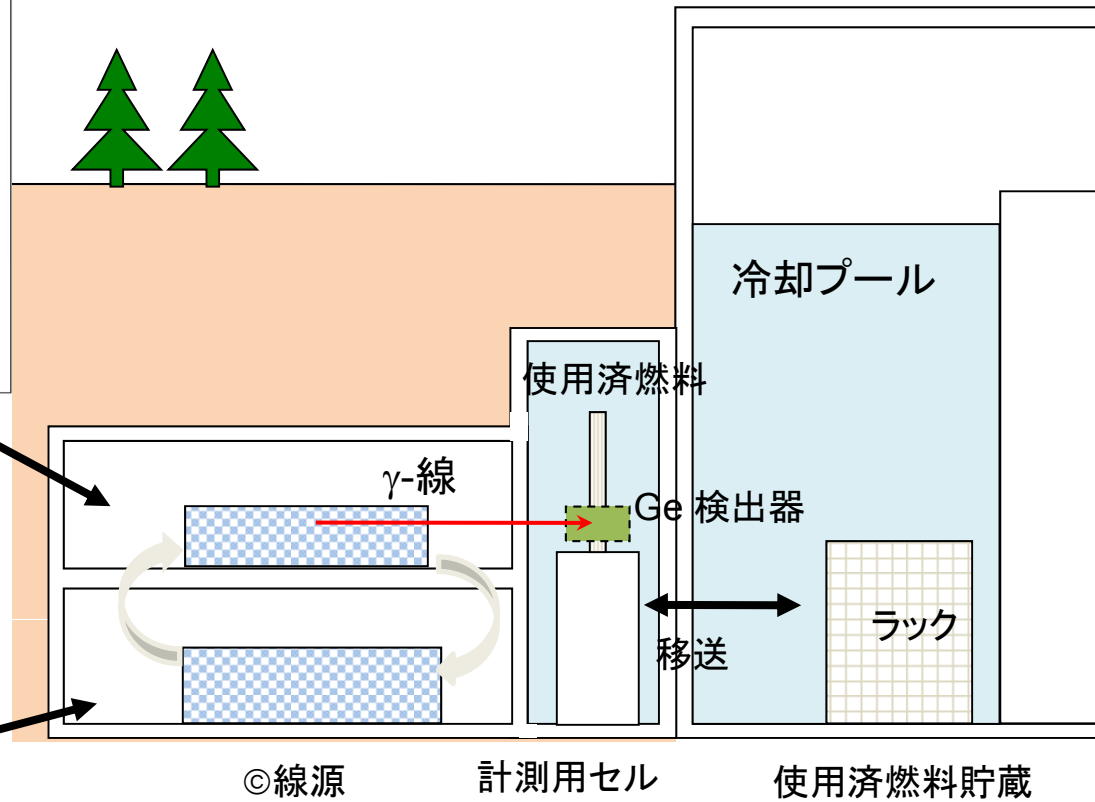
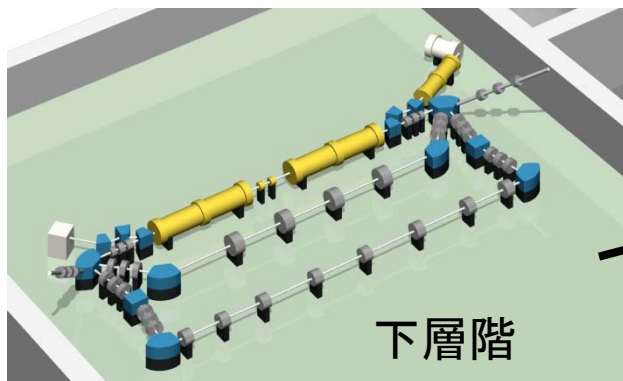
読売新聞(21.4.20, 11面)

使用済核燃料の分析：U、Pu、MA の計量管理

原子力機構 ガンマ線核種分析研究G



- ✓燃料集合体を貯蔵プールから計測用セルに移送
- ✓全てのプロセスを水中で行える

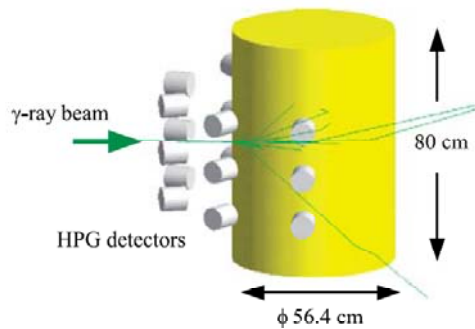


放射性廃棄物の検査：安全性と経済性の向上

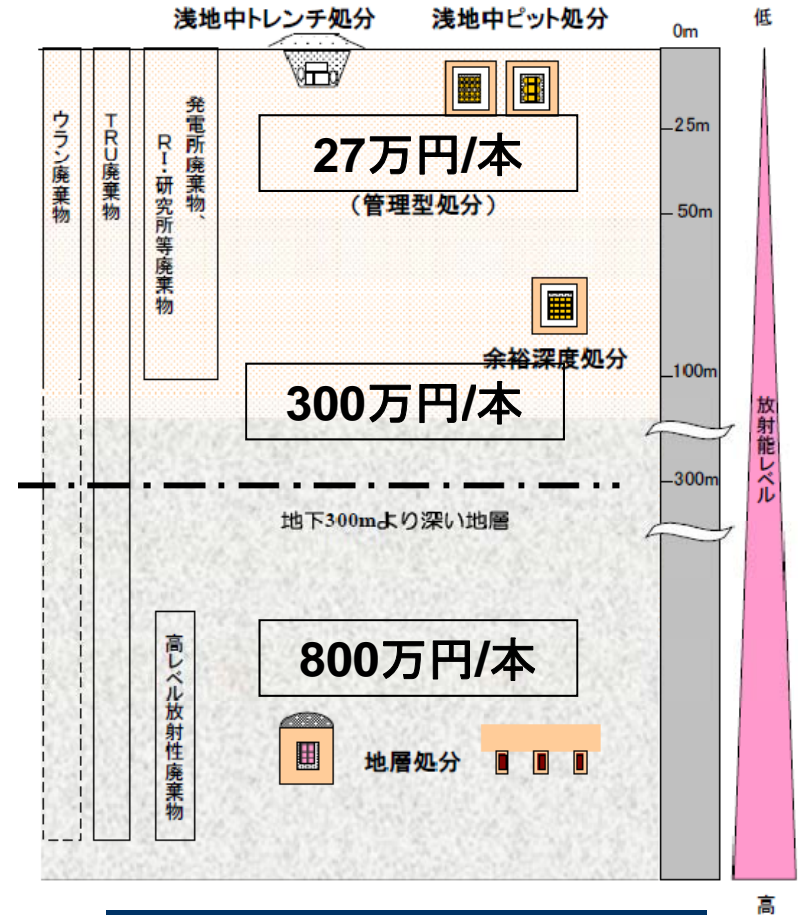
原子力機構 ガンマ線核種分析研究G



貯蔵中の放射性廃棄物(JAEA)
処理処分 2兆円,80年



ドラム缶中のU-238, Th-232の非破壊分析



ガンマ線コンプトンカメラも適用可能

廃棄物の核種測定で
処分コストを低減

先端光科学の原子力への貢献例： X線放射光が3兆円の税金節約

提供 原子力機構 羽島良一氏

Physics Today, Sep. 2006.

核兵器工場の廃止措置

Science-based cleanup of Rocky Flats

David L. Clark, David R. Janecky, and Leonard J. Lane

feature article

The chemical and physical interactions of radioactive compounds are key to understanding how they can contaminate the environment and, more importantly, how best to remove them.

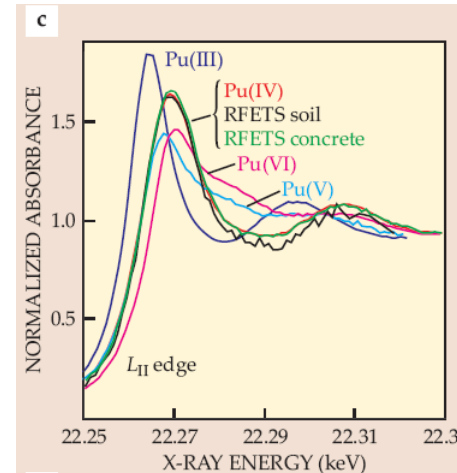


Figure 1. A 1995 photograph of the Rocky Flats Environmental Technology Site : become as a nuclear production facility, with more than 800 structures built on 1.4 square kilometers of open space. The inset shows the same area in October 2005.

放射光計測: Pu結合状態は水溶性か否か？
→Pu環境中移動の再評価

In March 1995 the US Department of Energy estimated that the cleanup for Rocky Flats would cost in excess of \$37 billion and take 70 years to complete. By 1996, DOE and independent contractor Kaiser-Hill Co had initiated a massive effort that eventually resulted in a credible plan to accelerate the closure of Rocky Flats by 31 December 2006 at a contracted cost of \$7 billion. After a troubled start, Kaiser-Hill completed the task nearly a year ahead of schedule.

\$37B(70年計画)→\$7B(10年で完了) 3兆円の節約

環境計測

超広角コンプトンカメラによる 放射性物質の可視化実証試験

JAXA宇宙科学研究所

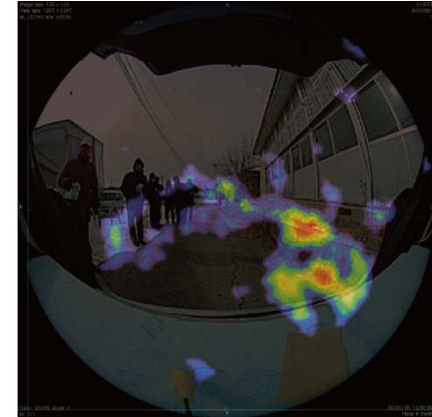
発表 平成24年3月29日
宇宙航空研究開発機構
日本原子力研究開発機構
東京電力

測定
福島県飯館村草野地区
平成24年2月11日

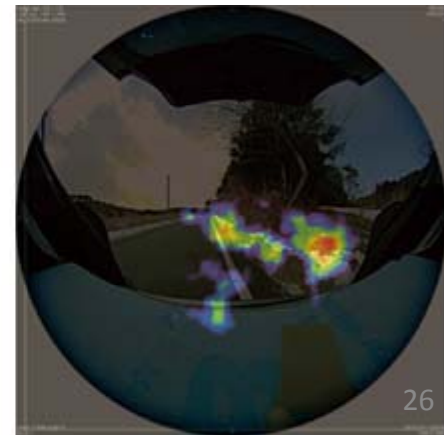
魚眼カメラ画像

セシウム137の分布

① スーパー裏手 (4-31 μ Sv/h)



③ 山林と道路 (4~6 μ Sv/h)



宇宙科学研究で開発された高性能ガンマ線カメラ

JAXA宇宙科学研究所

X線天文衛星ASTRO-H (2014年打ち上げ予定)

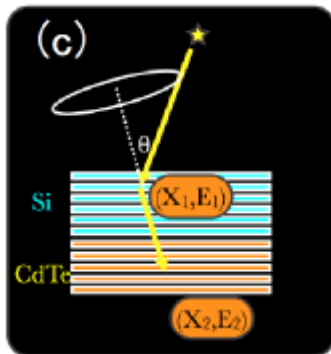


ASTRO-H

- ・軟X線分光検出器 (SXS)
- ・軟X線撮像検出器 (SXI)
- ・硬X線撮像検出器 (HXI)
- ・軟ガンマ線検出器 (SGD)

ブラックホール、中性子星、銀河団などの
X線観測

超広角高感度コンプトンカメラ(SXI, HXI) 開発
JAXA宇宙科学研究所
高橋忠幸教授、渡辺伸助教、武田伸一郎研究員



ISAS/JAXA 高橋研究室が
提唱してきた Si/CdTe コン
プトンカメラの原理



コンプトンカメラ実証モデル



車載されたコンプトンカメラ

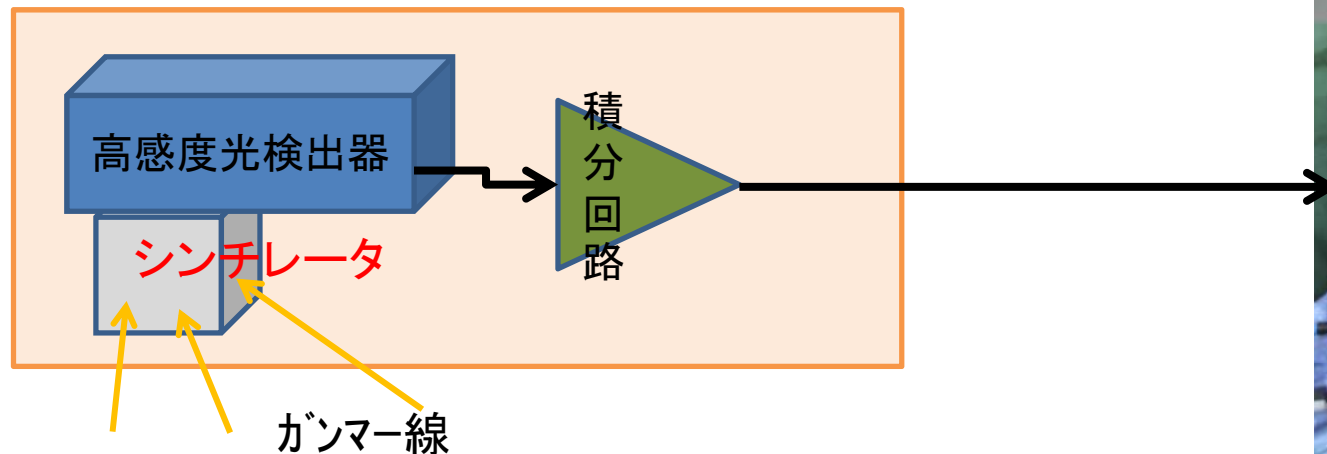
福島原子力発電所事故に対する緊急行動

光産創大 滝口義浩教授

セシウム汚染を車載(時速100km)で測る 2011.5.30実測

- 福島原子力発電所における放射能物質の放出・風と雨による拡散を実際に確認。
 - セシウム134と137

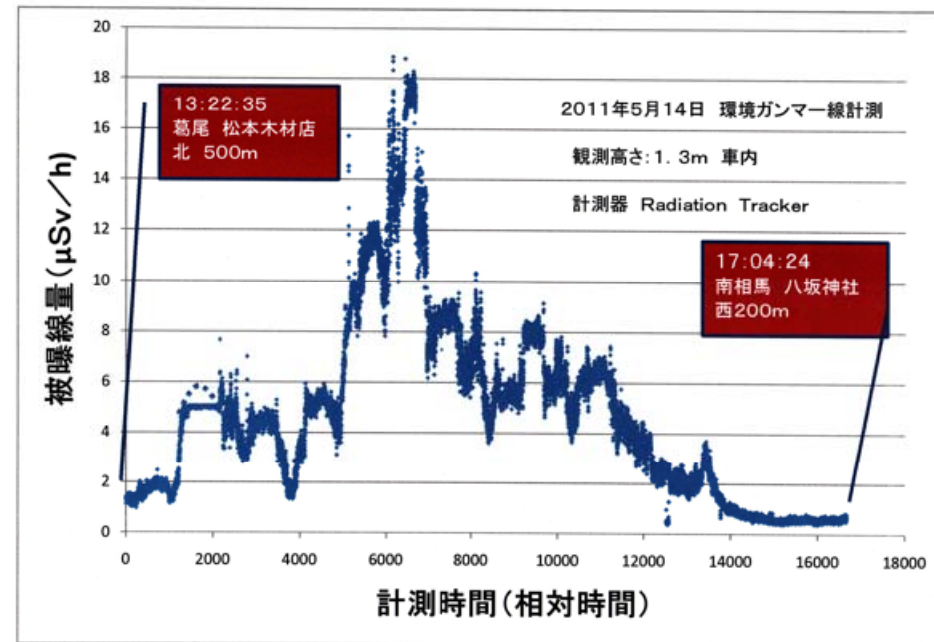
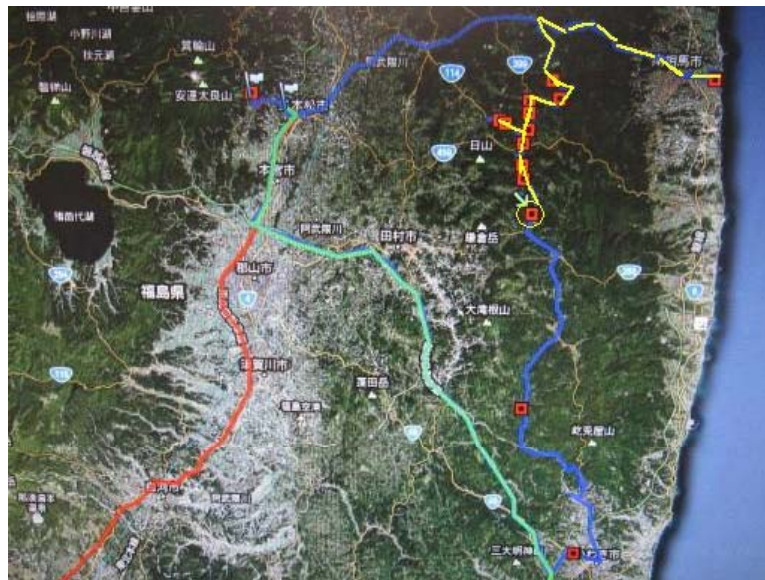
装置: 特殊シンチレータ採用。
リアルタイム計測(応答時間25ミリ秒)。



福島での計測 (2011.5.30実測)

光産創大 滝口義浩教授

- ホットスポットの確認
- トンネルによる遮蔽の確認
- 不安をいただいている地元の方に助言



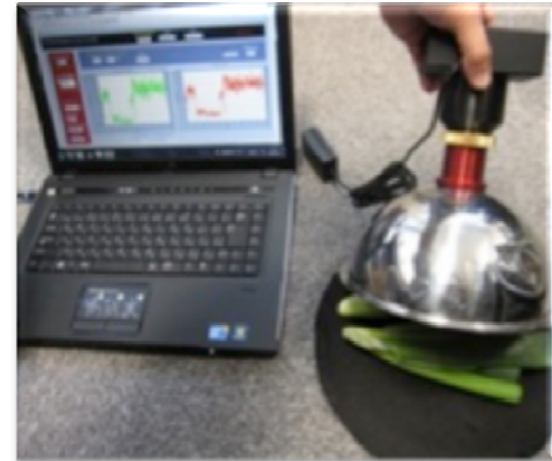
左の地図の黄色い線に沿って、現地計測

食の安全確保

- シェフとのコラボレーション



光産創大 滝口義浩教授



食材検査



30kgの鉛で遮蔽
迅速計測、全数検査

まとめ

- レーザー・光技術は、原子力分野で不可欠
- レーザー・光技術の、原子力への積極的な利用を！
- レーザー・光技術の積極的な活用による、廃炉、処理・処分等の**安全性向上、期間短縮、コスト低減**。