

レーザー核融合研究の進展



原子力委員会核融合専門部会（第13回）
ヒアリング資料
平成20年 4月25日

Implosion



Heating



Ignition/Burn



- FIREX計画
- 重点化以後の進展
- 人材育成、社会への発信

大阪大学
レーザーエネルギー学研究センター
白神 宏之

FIREX計画

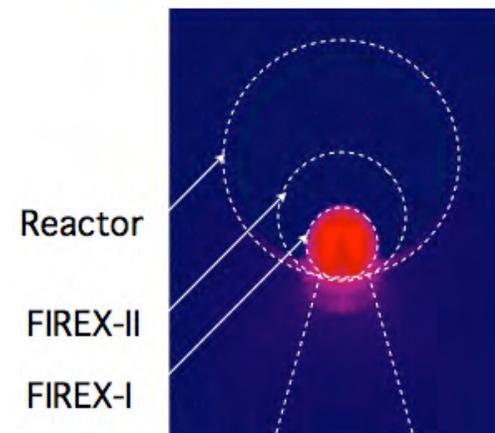
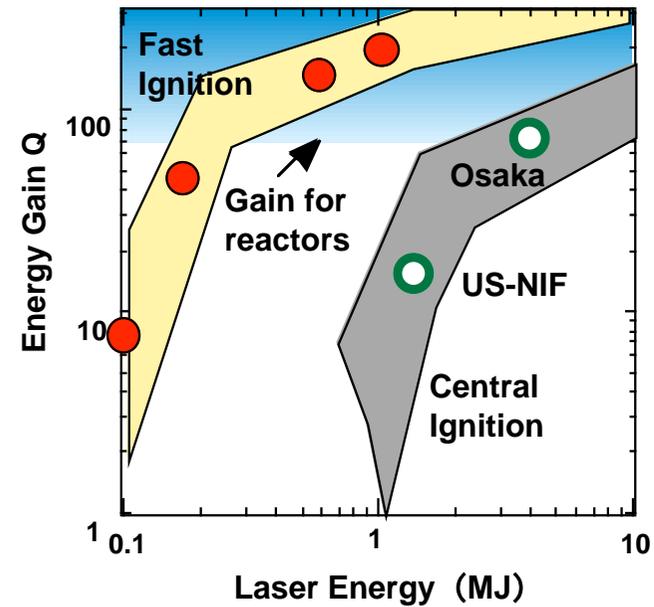
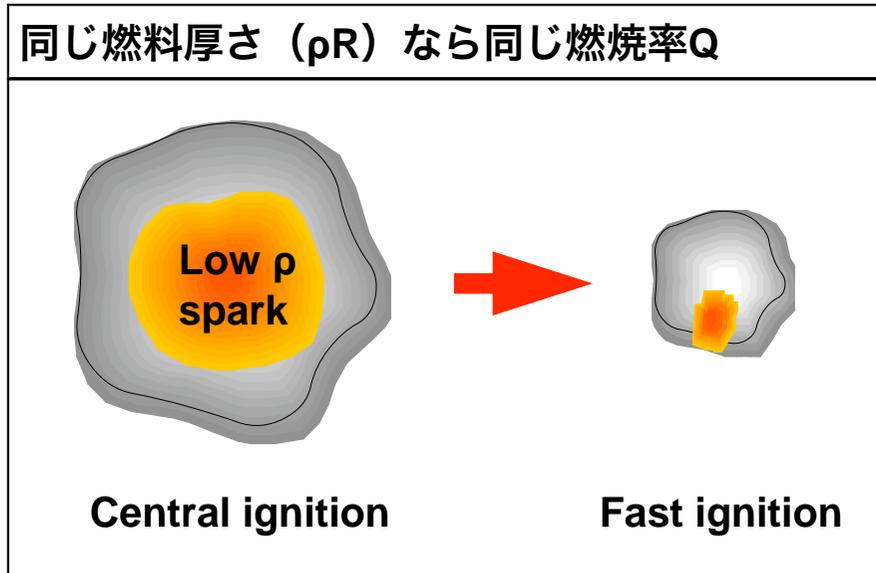
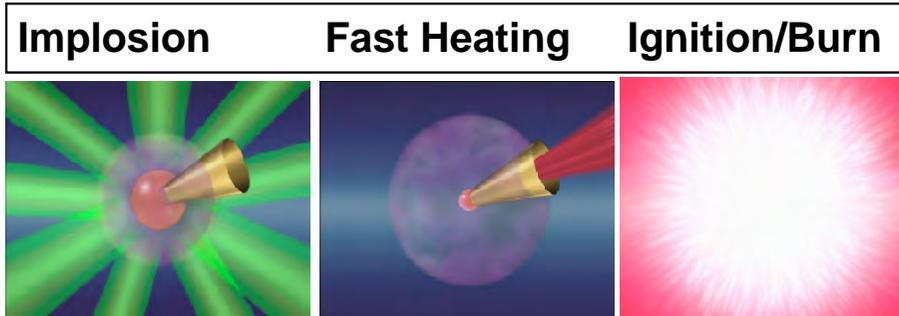
: 高速点火レーザー核融合

- 高速点火シナリオ
- FIREXプロジェクト
- 世界の動向

高速点火方式はコンパクトな核融合発電として有望である



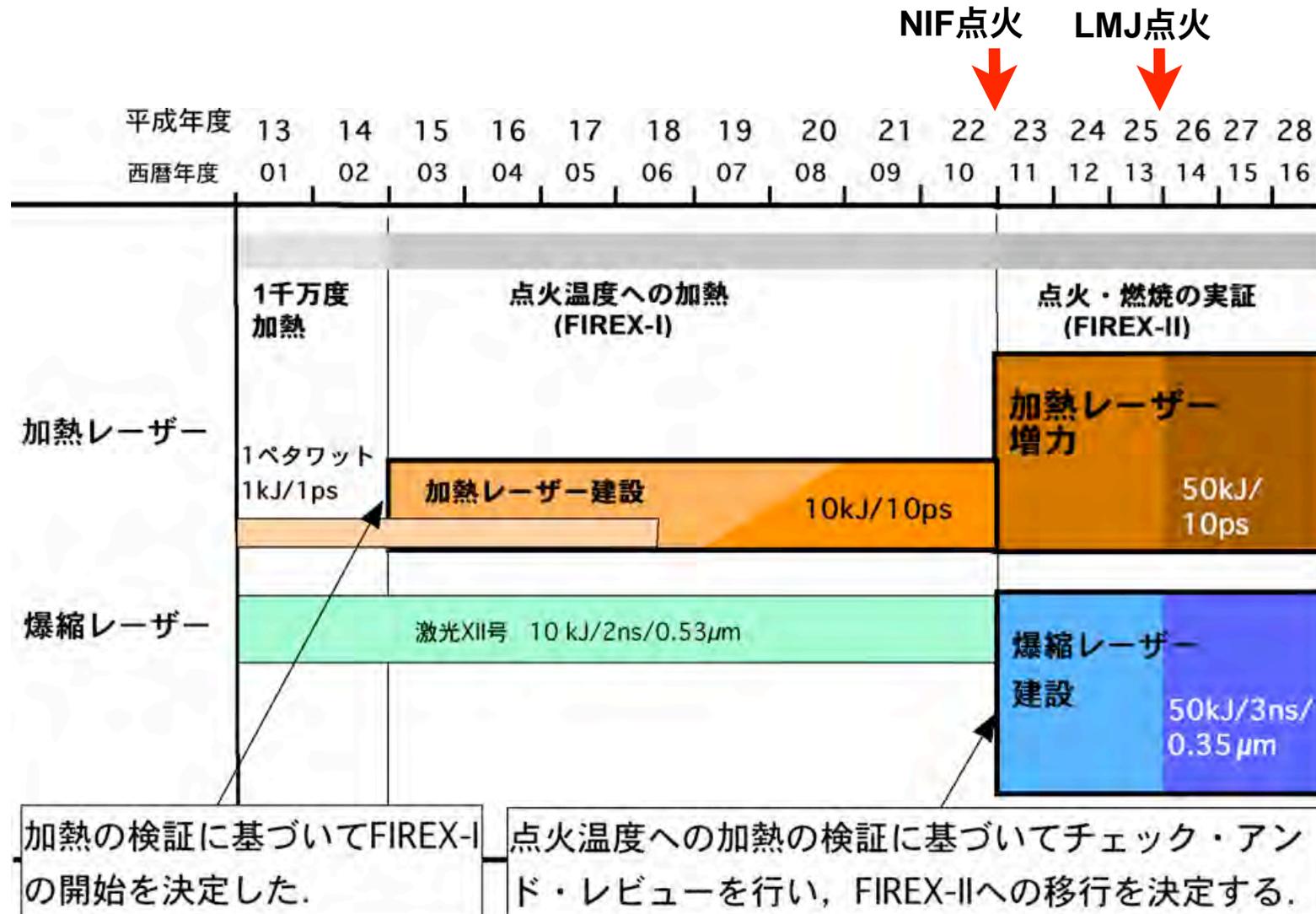
ILE OSAKA



FIREX-IIの早期立ちあげにより, NIF・LMJと合わせて 核融合点火・燃焼の実現を目指す



ILE OSAKA



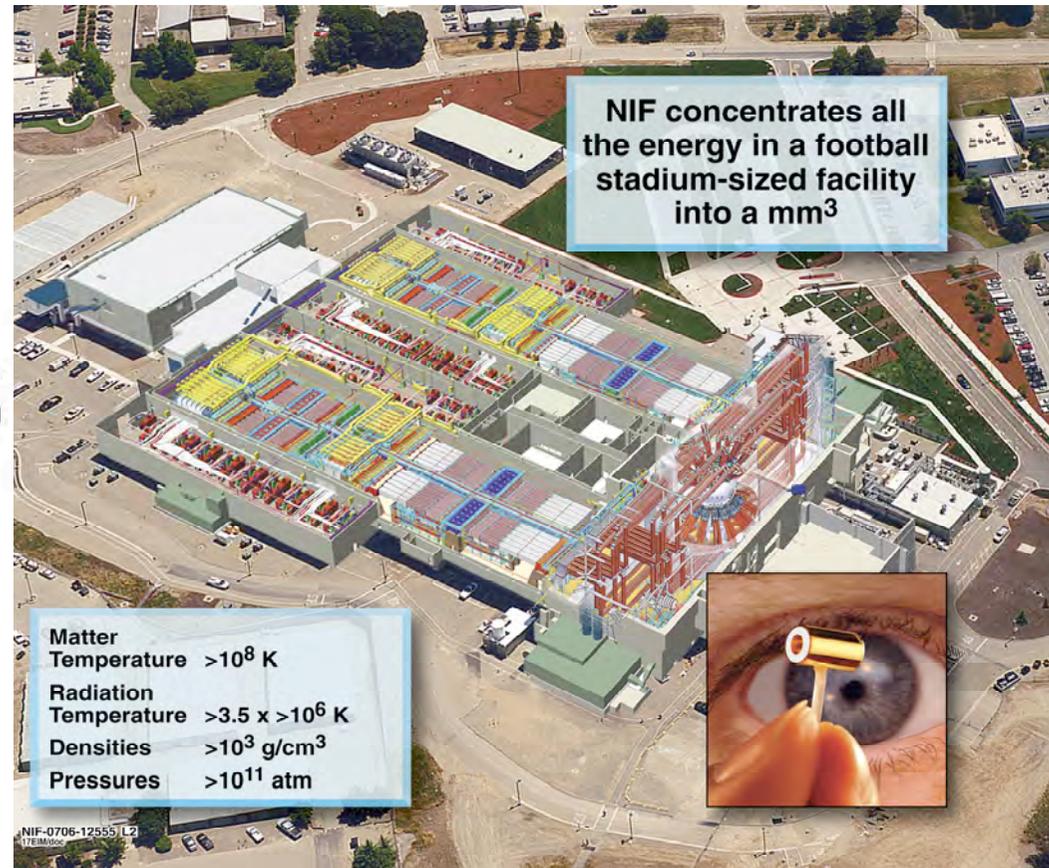
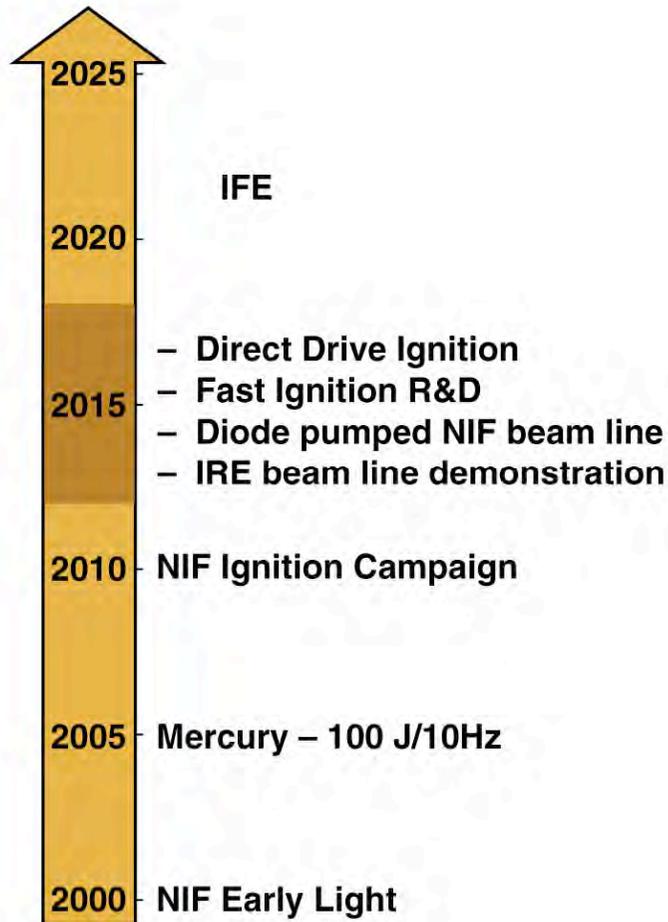
NIFにおける点火・燃焼～IFE計画



ILE OSAKA



The National Ignition Facility



重点化以後の進展

： FIREX-Iプロジェクト

- ・ プラズマ物理
- ・ ターゲットデザイン
- ・ レーザー建設

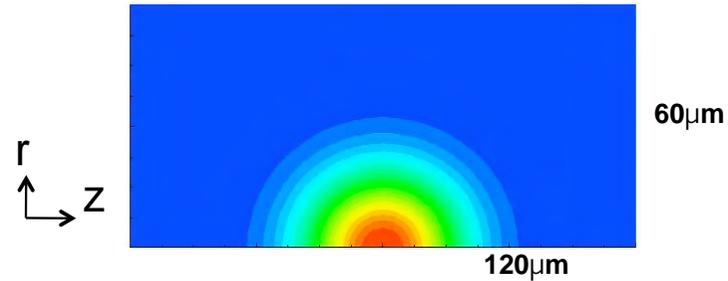
重点化以後の進展：FIREX-Iプロジェクト

5-keV 加熱が期待される

燃料加熱2Dシミュレーション

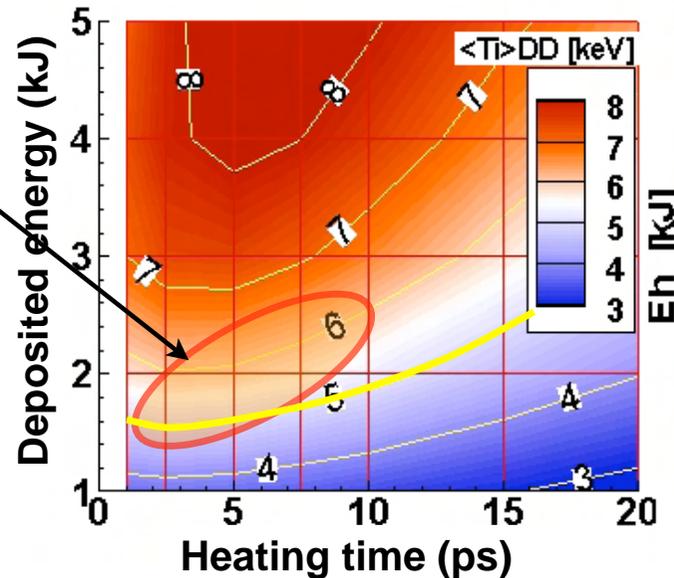
- Core heating by fast electron is treated with uniform heating model
- Compressed core :
 $\rho_0 = 200\text{g/cc}$, $M_f = 2\text{mg}$ and $\rho R = 0.2\text{g/cm}^2$

Density : Gaussian profile: $\rho_0 = 200\text{g/cc}$



CD

FIREX-I
パラメータ
(加熱効率実績に基づく)



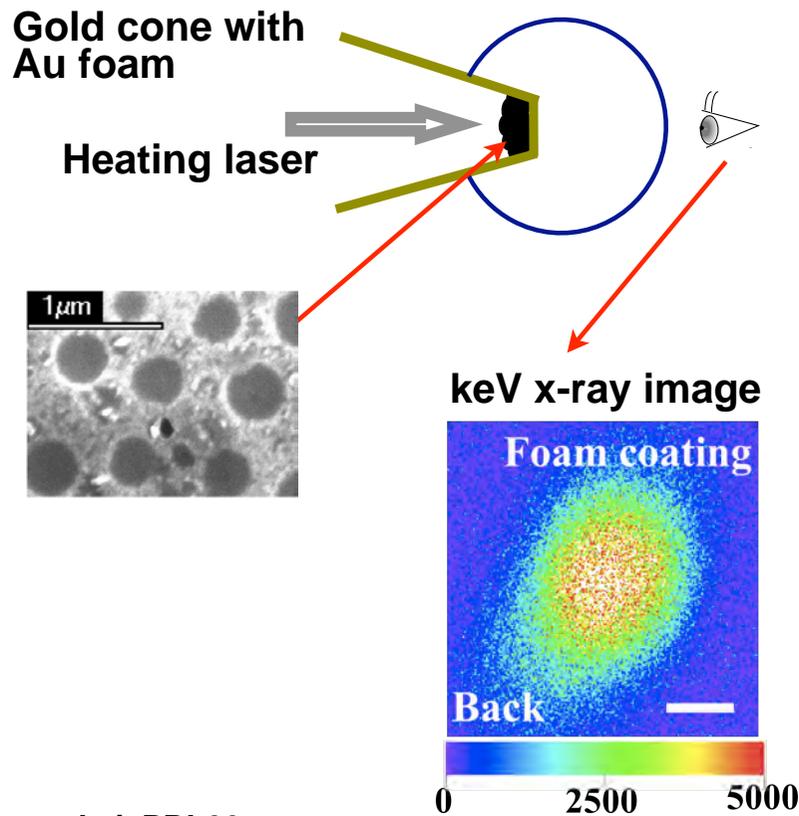
Johzaki 07

コーン性能の向上



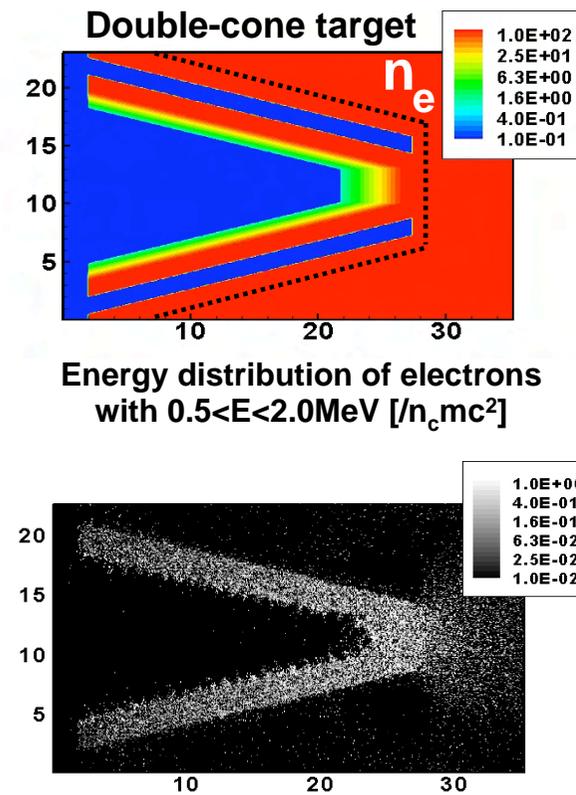
ILE OSAKA

- ① 低密度金フォームにより
結合効率が向上する



Lei, PRL06

- ② 2重コーンにより
高速電子輸送が改善される



Nakamura, PoP07

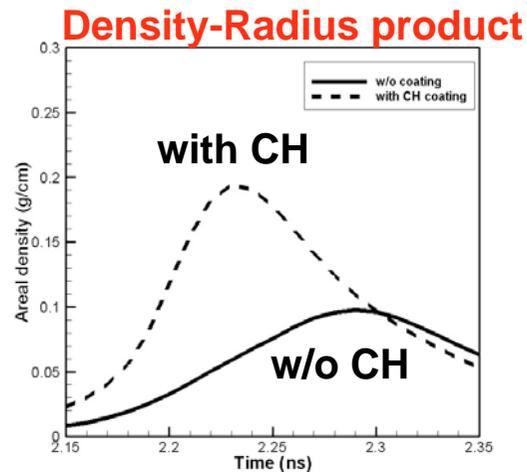
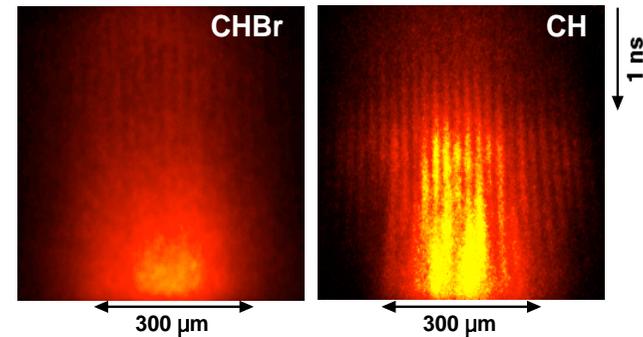
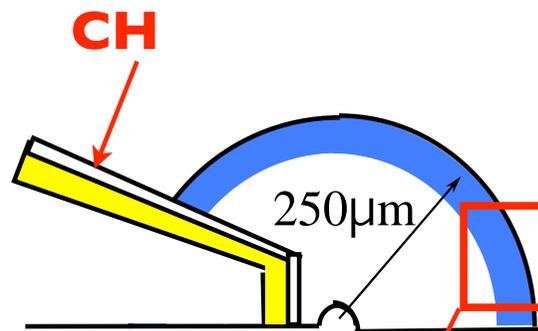
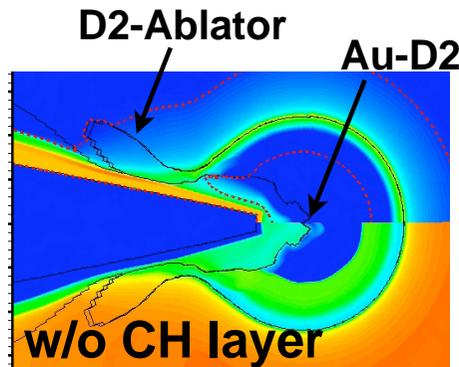
爆縮密度の向上、さらにアブレーションの安定化



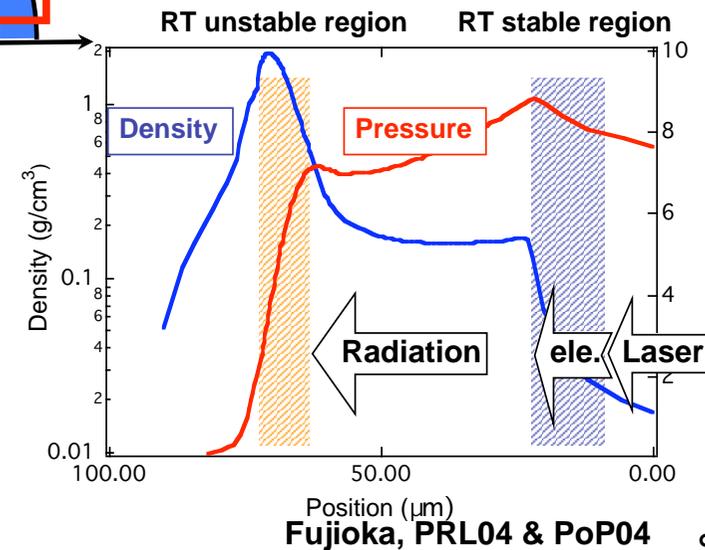
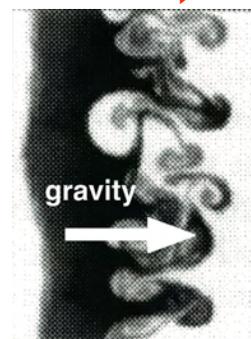
ILE OSAKA

低Z物質 (CH) コートによりコーン
材質の金の膨張を抑制、燃料密度向上

ダブルアブレーションにより
レーリーテラー不安定性抑制



Nagatomo



Fujioka, PRL04 & PoP04

ガス除去によりジェットによるコーン破壊を避ける

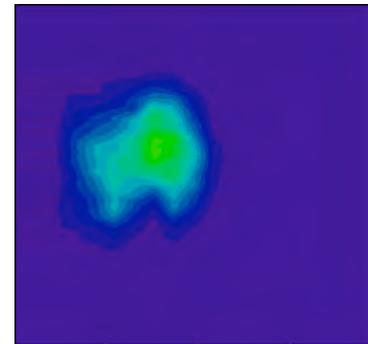
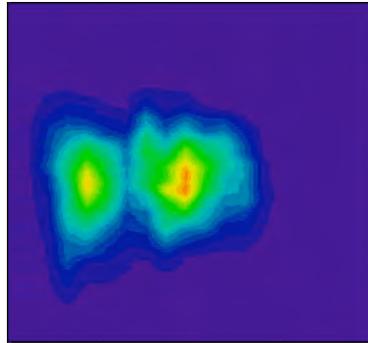
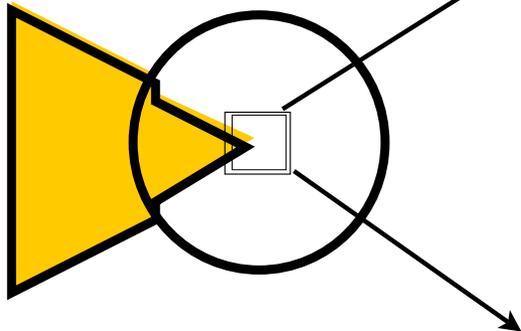


ILE OSAKA

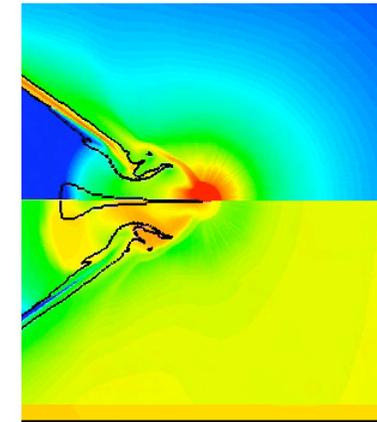
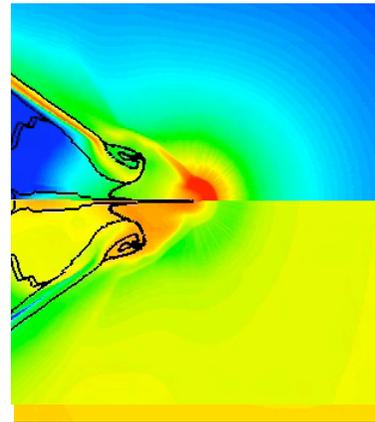
(DD 10atm)

(DD 0atm)

Ultra fast X-ray imaging ($t_{res}=13$ ps, $t_{interval}=10$ ps)



2D Hydro simulation PINOCO



0.2 0 0.6
2.20ns

0.2 0 0.6
2.20ns

[US-Japan Collaboration](#)

@Rochester

Shiraga, RSI 04

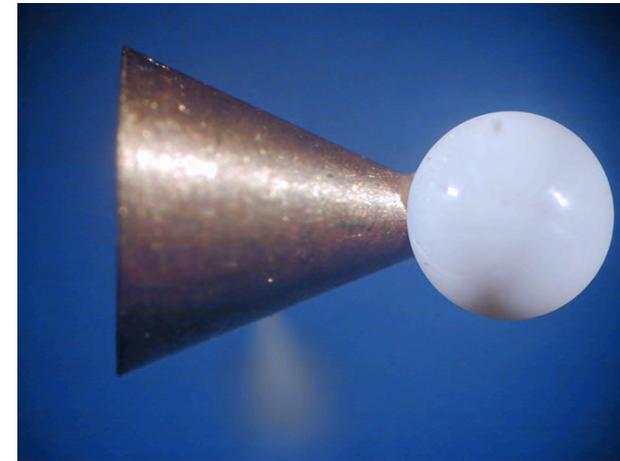
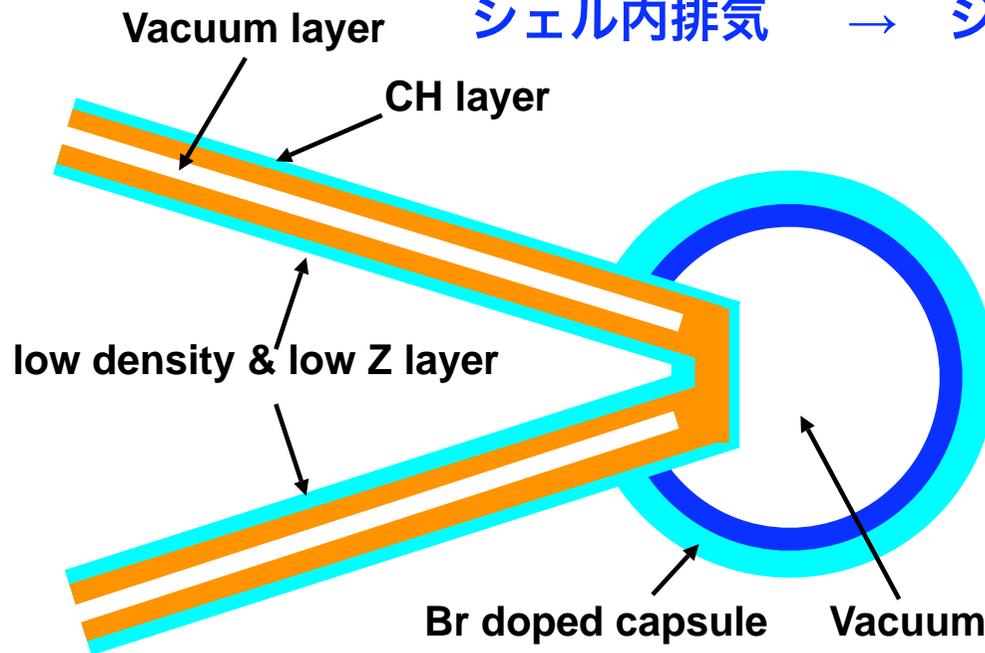
Stehenes, PoP05

FIREX-I 改良型ターゲット



ILE OSAKA

- 内部フォーム → 吸収
- ダブルコーン → 高速電子輸送効率
- 外部CHコート → 膨張抑制
- Brドーピングシェル → 流体不安定性抑制
- シェル内排気 → ジェット発生抑制



シェル内排気のため重水素は固化温度にする

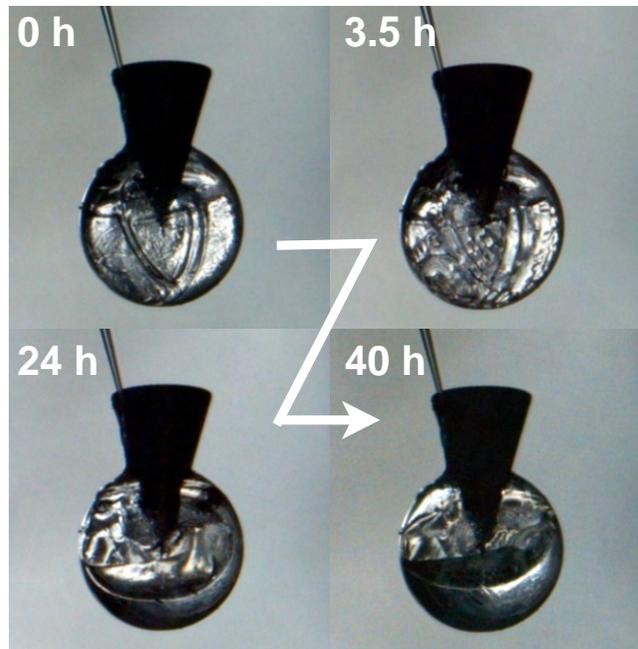


オルト=パラ変換による燃料層の均一化が期待される

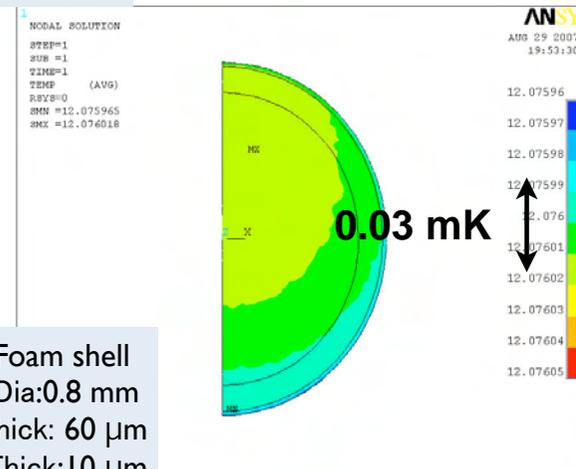
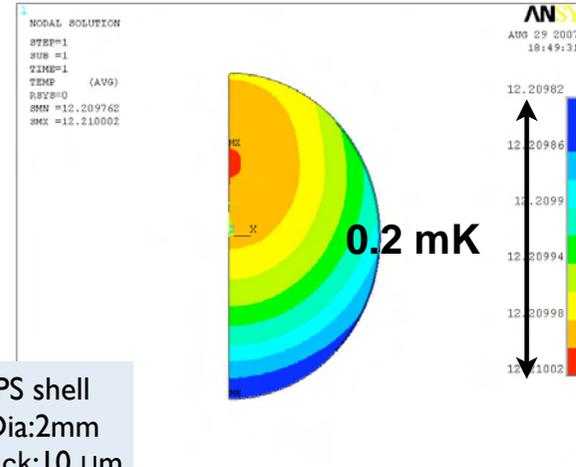


ILE OSAKA

History after solidification at 12.4 K



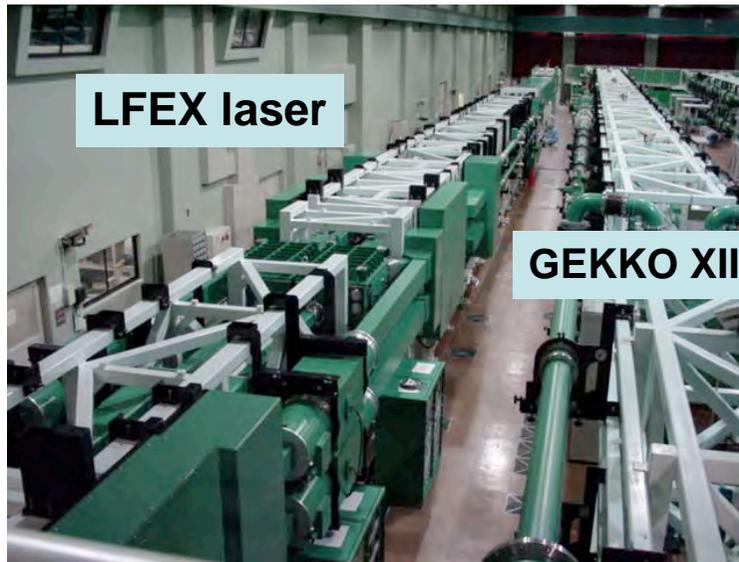
Iwamoto 07



高速点火のための加熱レーザー： LFEX（世界最強）が完成



ILE OSAKA



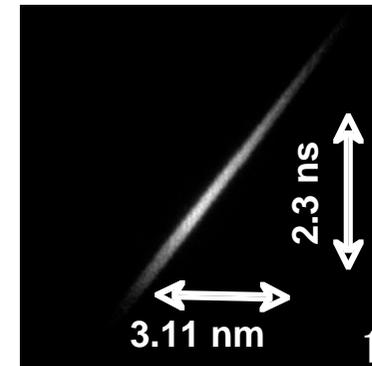
08.02.29 全システム動作確認
First light

09.01 全4ビームによる高速点火実験
を開始

ビーム形状とチャープパルス形状



32.5 cm



3.11 nm

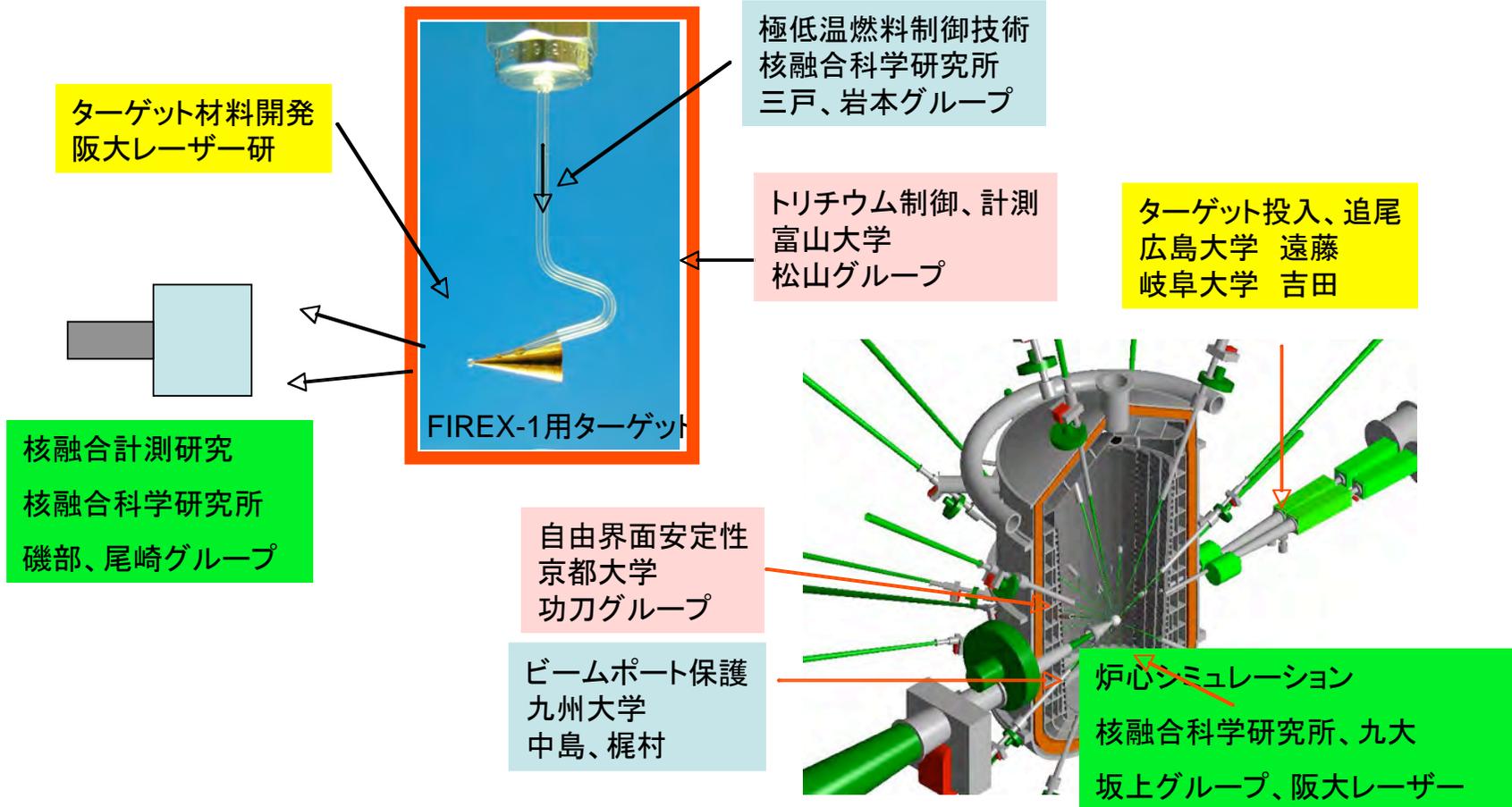
2.3 ns

1

双方向型共同研究で、ターゲット開発、計測器開発、シミュレーション、炉工関係の研究が進展している



ILE OSAKA



FIREX-I 年次計画



ILE OSAKA

年度	レーザー建設	マイルストーン
2007	パルス圧縮系稼働開始	
2008	7~8月: 1ビーム稼働 1月~ : 全ビーム稼働	<i>Nature</i> 実験追試
2009	可変形鏡による波面補正	CD 加熱実験
2010	波面合成	CD 加熱実験 (5keV)
FIREX-II will be judged by Council for S&T, Atomic Energy Committee.		
2011		D2 加熱
2012		DT 加熱 (Q=0.1)

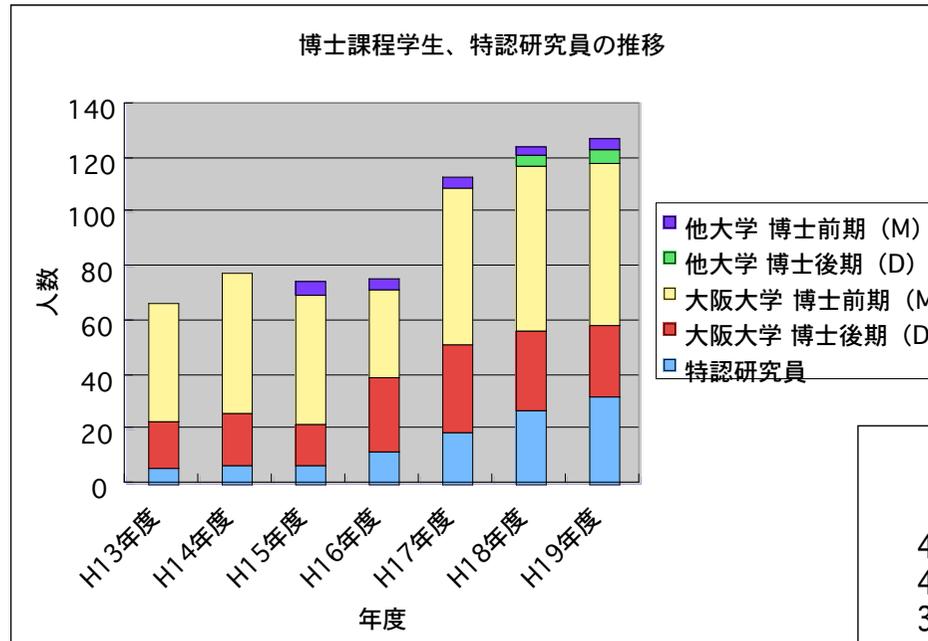
人材育成、社会への発信

- 組織制度
- 共同利用体制
- 社会への発信

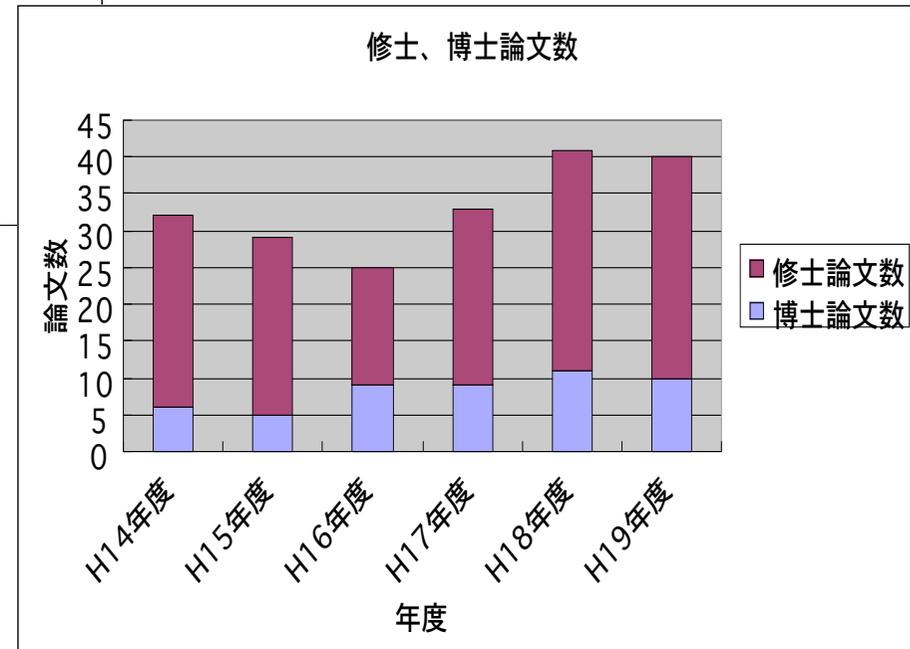
研究及び研究者の積極的な交流・流動化 を可能にする組織・制度

- 全国共同利用施設化を行い激光XIIレーザーなどによる実験グループの育成を開始。
平成19年度には21件のGXII共同実験と8件のグループ形成提案を受け入れ。
- 双方向型共同研究及びレーザー連携により核融合科学研究所及び大学との研究協力を推進。
- 共同利用を促進し新しい人材育成のため任期付ポスト（5名5年間）を大学の支援により設置。
- 15年度より20年3月までに
合計7名（教授1名、助教授4名、助手2名）の教員を公募、7名を外部から採用。
- 平成15年度より19年度の間米国、英国、フランス、中国等と75件の国際共同研究を実施。内20件は激光XIIレーザー実験。
- 「高出力レーザーによる単色量子ビームの生成と応用」に関する連携融合事業を日本原子力研究開発機構と18年度より開始して研究交流を進めている。また、国立天文台との連携研究を19年度より開始。
- 「先端研究施設共用イノベーション創出事業」により、19年度より大型装置マシンタイムを産業界に提供。

人材育成: 学生の受け入れと学位論文数



双方向共同研究、全共化、テラヘルツ統合などにより、若手研究者は増加傾向にある



順次大型装置群を全国・国際共同利用に供し 体制を整備する



- 組織の公開性 → (外部委員を含む) 運営協議会、
透明性 参与会、共同研究専門委員会、
外部評価委員会、自己評価の開示
- 知の循環 → グループ形成による共同研究と連携プロジェクト
- 教育・人材育成機能 → 学生受入(H19)：国立大学 (104名) 私立大学 (8名)



EUVレーザー

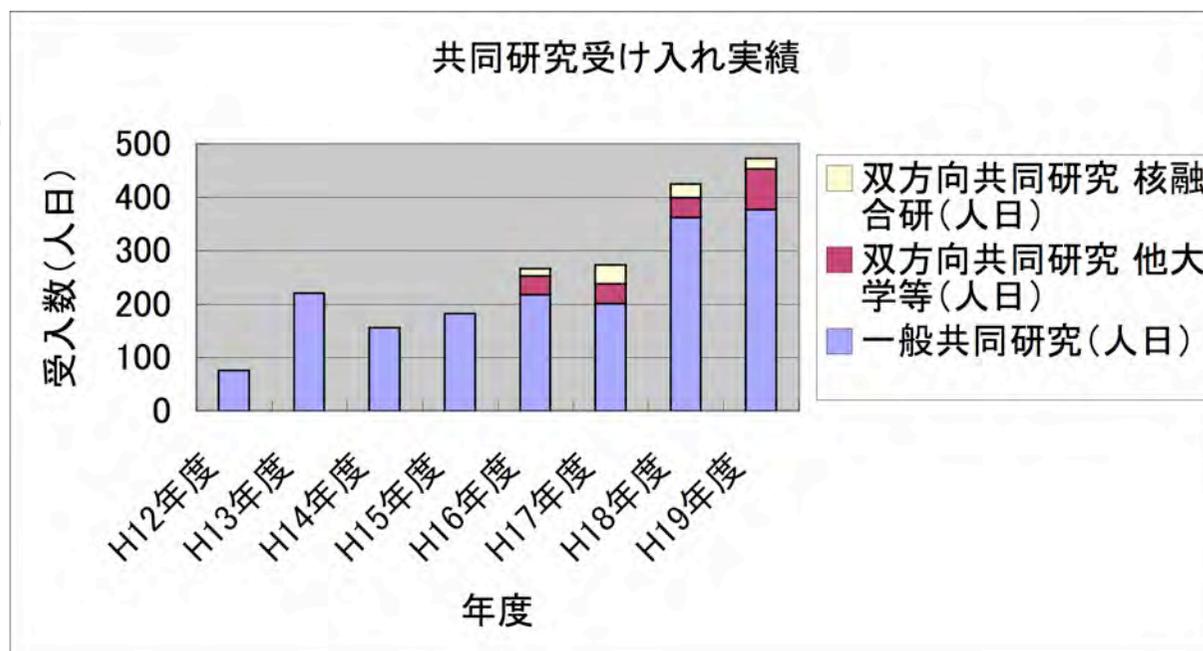


- 人的支援体制
教員 30名 + 兼任教員 5名 + 客員 2名 + 招聘研究員 4名
+ 特任研究員 36名 + 技術職員 11名 + 技術補佐員 3名
+ 外部委託技術員約 30名 + 民間常駐共同研究員 17名

全国共同利用施設化に伴う核融合共同研究の強化

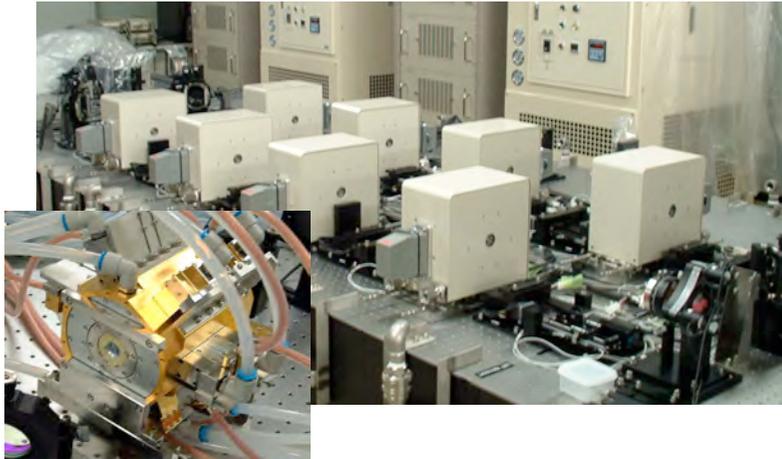
全共化の考え方: 激光XII号レーザーの全国共同利用への開放により形成される共同利用者コミュニティを、レーザー核融合研究の人材の登竜門として活用する。他方、核融合の基盤を利用して核融合の枠を越えた基礎学術、産業応用の展開を図る。国内からの研究を活性化するために、激光XII号ショット数を2交代制の採用により増加し、全ショットの半数までを外部の研究者に開放。

採択課題の内訳: (H19年度)
大型レーザーに関連した
共同研究
大規模レーザー実験
(A-1区分): 21件
(うち国外申請 7件)

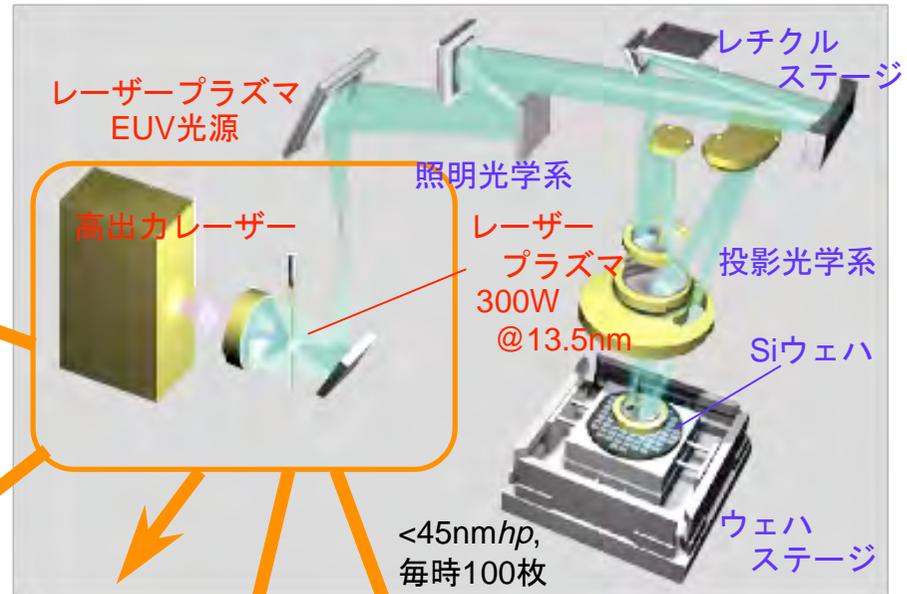


産業界への貢献：レーザープラズマEUV光源の開発

LD励起 5kW, 5kHz 高平均出力レーザー



目標：2010年実用化



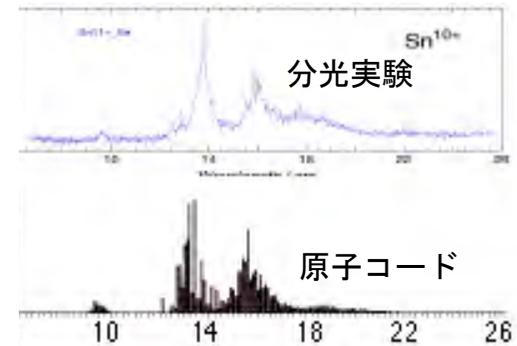
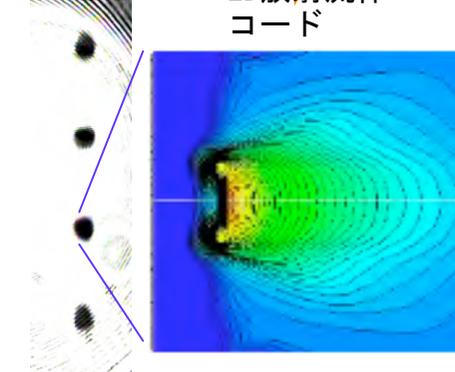
EUV発生実験共同利用設備



液滴ターゲット
の連続供給

2D放射流体
コード

原子物理：EUV放射スペクトル



文部科学省
リーディング・
プロジェクト
11大学、3研究機関
光源基盤物理・
技術開発

産業界と
強力に連携

経済産業省
NEDOプロジェクト
技術研究組合EUVA
装置化・
システム化技術



レーザー核融合研究の資源（ハード・ソフト）を活用

- ・レーザー
- ・ターゲット技術
- ・プラズマ診断
- ・理論・シミュレーション

わが国の核融合研究全体への貢献

- 共同利用・共同研究によるコミュニティの拡大
- 磁場核融合研究への貢献
 - ・ トムソン散乱用レーザー (→JAEA)
 - ・ 燃料供給用ペレット (→NIFS)
 - ・ 中性子シンチレータ (→NIFS)
- 炉設計における磁場, 炉工学研究グループとの協力



波多江 (原子力機構), 中塚 (阪大), 吉田 (阪大)
プラズマ・核融合学会第10回技術進歩賞受賞
誘導ブリルアン散乱位相共役鏡を用いたトムソン散乱
診断法の改善

研究成果は様々なメディアを介して発信され、 研究交流がなされている。

研究成果の公開

新聞、TV、年報、各種成果報告書、学会、国際会議

研究活動の紹介

オープンハウス、展示室、レーザー研ビデオ、レーザー研要覧、
公開ホームページ、セブンスターズ誌発行、学生見学会、等

レーザー核融合研究の動向報告

レーザー研シンポジウム、各種委員会、IFEフォーラム活動

各種共同研究の実施



科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会
原子力分野の研究開発に関する委員会
核融合研究作業部会 における評価 (平成19年)

核融合研究の重点化に関するチェック・アンド・レビュー実施結果
レーザー核融合研究

【重点化後の進展】

重点化後、高速点火において大きな成果を挙げており、学術研究としてのプラズマ物理や宇宙物理等へも貢献している。また、他分野や産業技術への展開が進展している。次段階へ進むためには、FIREX-IIにおける原理実証に加えて、炉システムの実現性を示す炉工学研究の展開が必要である。

【共同利用・共同研究】

重点化後、全国共同利用施設化などを通じて、共同利用・共同研究が強化されている。今後は、分野の展開を含めてオールジャパンの課題や体制の構築に向けた一層の取り組みが望まれる。

【人材育成】

若手研究者育成への積極的な取り組みや、国内外の研究機関等への人材派遣によって人材育成に貢献している。

【国際的寄与】

高速点火方式の研究成果等により国際的にも重要な役割を果たしている。

【社会的寄与】

EUV光源開発等、核融合外への技術や知見の波及効果大きい。今後はレーザー核融合と磁場閉じ込め核融合との相違点を明らかにしつつ、研究の位置づけを社会へ発信する必要がある。