

原子力委員会  
核融合研究開発基本問題検討会  
説明資料  
2003年7月1日

# レーザー核融合エネルギー開発 について

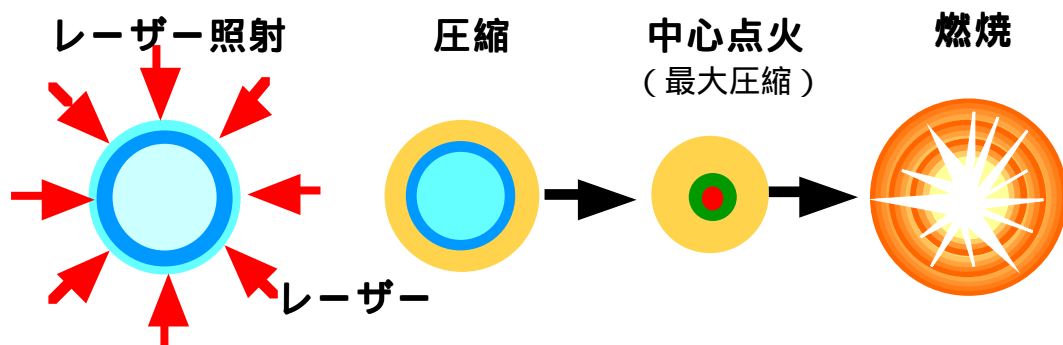


大阪大学レーザー核融合研究センター

# レーザー核融合の2つの点火方式

## 中心点火（従来方式）

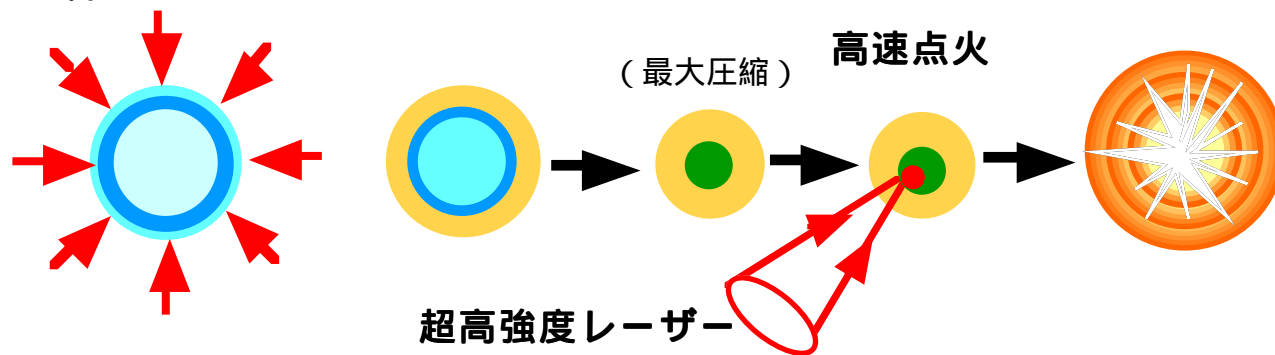
燃料ペレットに多数の強力なレーザーを照射して、表面に発生するプラズマの圧力で超高密度に圧縮（爆縮）、中心に出来る高温プラズマで核融合反応を点火、燃焼させる。



米国 ローレンスリバモア国立研究所  
ロチェスター大、海軍研究所  
フランス 原子力局

## 高速点火（新方式）

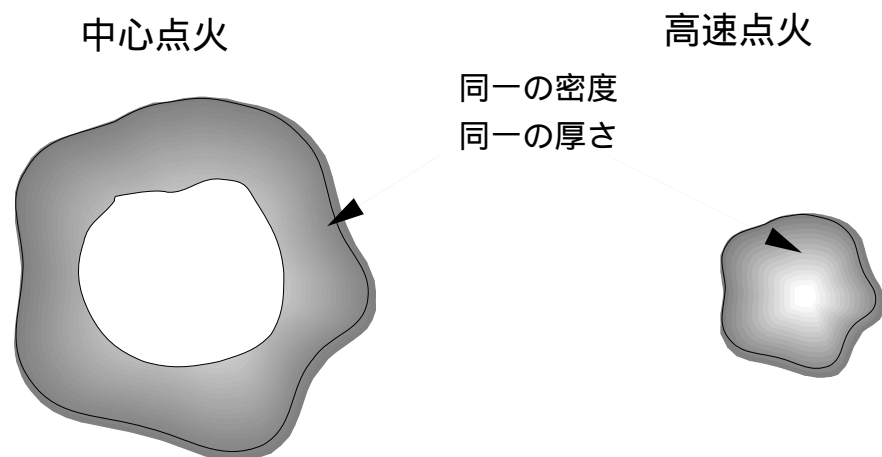
圧縮された燃料に、超高強度レーザーを照射して点火、燃焼させる。中心点火よりも小さなレーザーで高い核融合利得が得られる。



日本 阪大レーザー研  
英国 ラザフォード研  
フランス エコールポリテクニーク

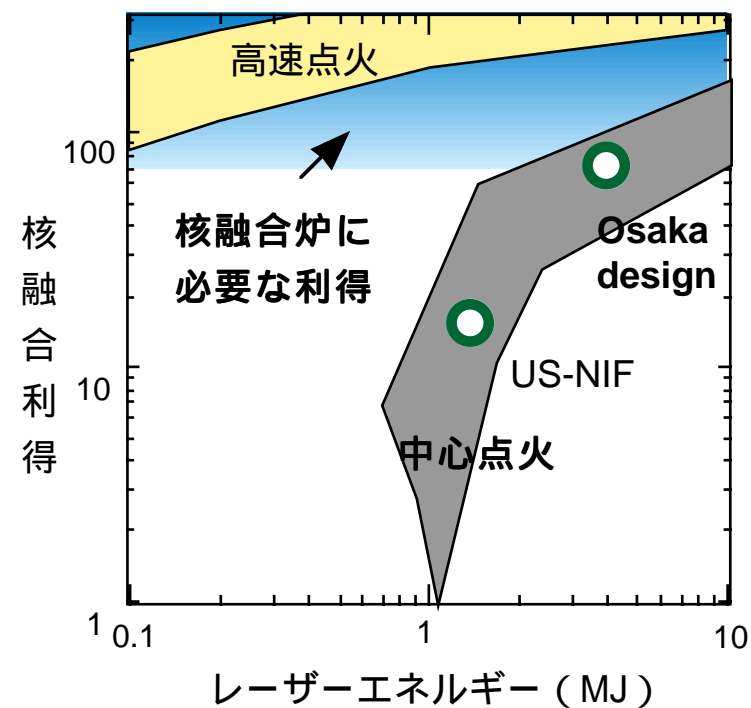
# 高速点火がコンパクトになる理由

レーザー核融合の閉じこめ時間は燃料の厚さに比例するので、燃料の密度と厚さが同じであれば（密度×閉じこめ時間）積も同じとなる．すなわち同一の核融合利得をもつ．

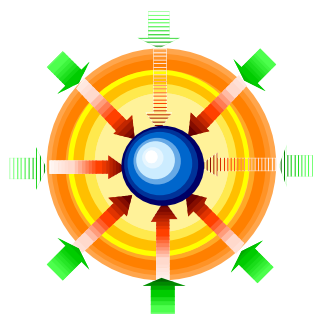


燃料が中空構造となるために、燃料の体積が大きい．このため大きなエネルギーが必要となる．

中空部が無いので、体積が小さい．このため小さなエネルギー（約10分の1）でよい．

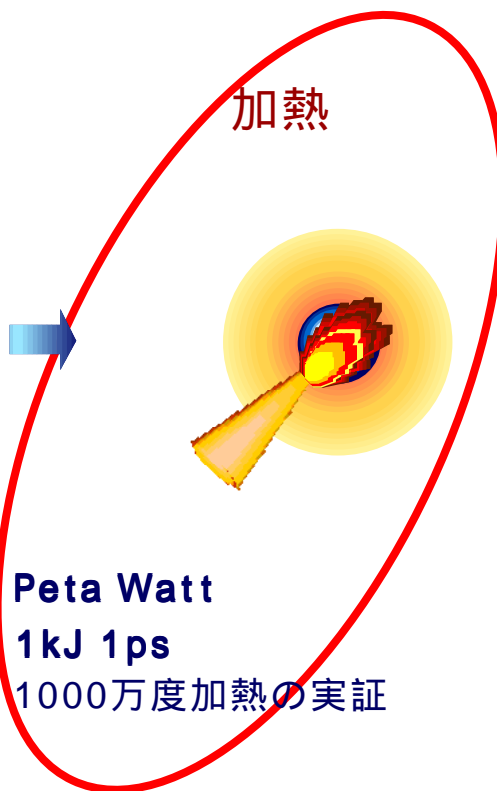


高密度圧縮



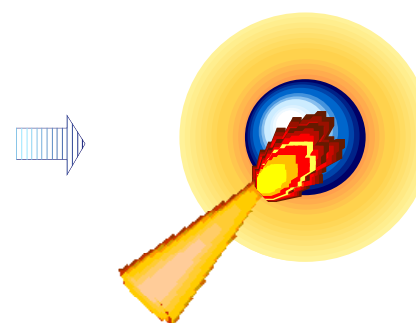
**GEKKO-XII**  
600倍の固体  
密度の実証

加熱



**Peta Watt**  
**1kJ 1ps**  
1000万度加熱の実証

点火・燃烧



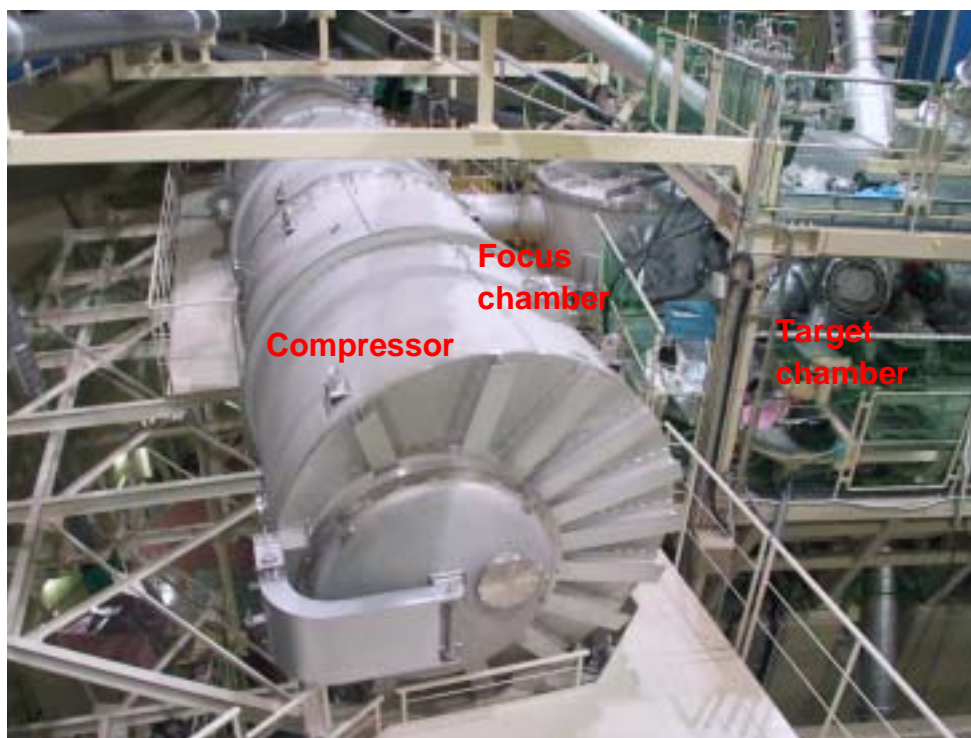
**FIREX-I**  
**10kJ 10ps**  
点火温度への加熱  
0.5-1億度

**FIREX-II**  
自己点火実証

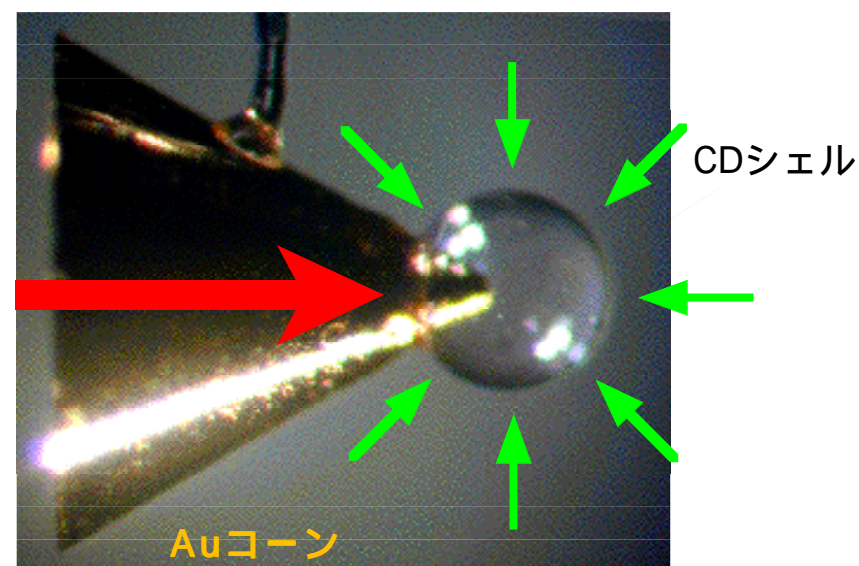
平成14年度の到達点

高速点火実証計画 FIREX  
(Fast Ignition Realization Experiment)

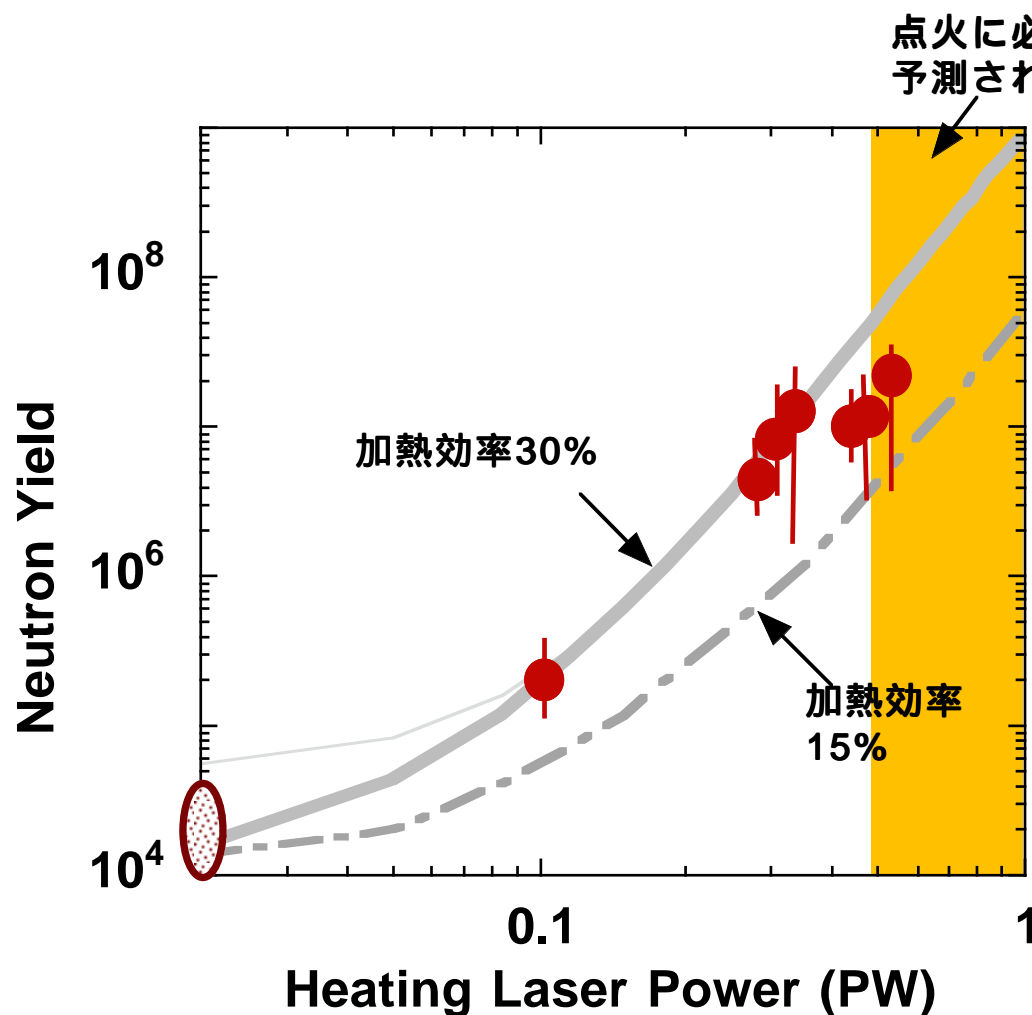
# コーン付き燃料ターゲットによる加熱効率の改善



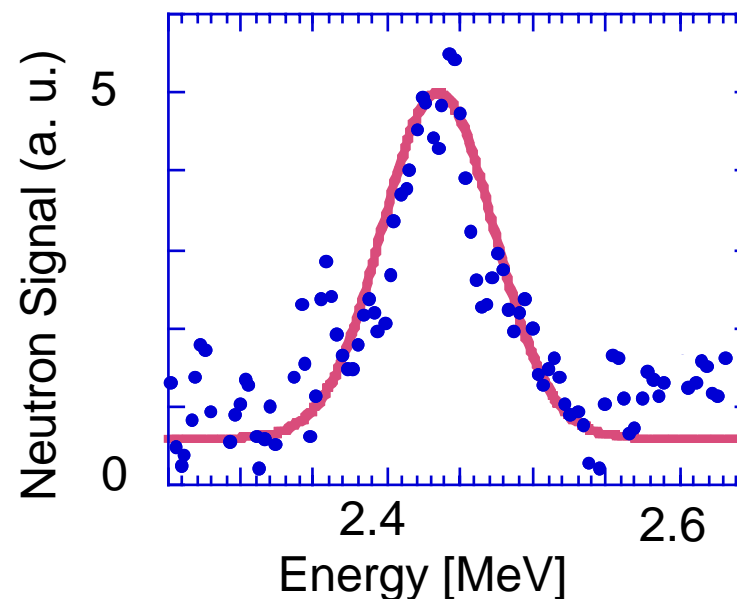
加熱レーザー  
1 PW  
波長  $1.053\mu\text{m}$



爆縮レーザー  
激光XII号, 9ビーム  
1.2 kJ / 1ns  
波長  $0.53\mu\text{m}$



中性子飛行時間法による  
温度測定  $T_i \approx 1000$  万度



R. Kodama et al. Nature 2002.

点火に必要とされるレーザーパワーにおいて、十分な加熱効率  
が得られることが分かった。



FIREX

# Proposed FIREX-II

## Heating Laser

$\lambda = 1053 \text{ nm}$

4 beams

50 kJ/10 ps

F/5, 100 cm $\phi$

## Implosion Laser

$\lambda = 351 \text{ nm}$

92 beams

50 kJ/3 ns

F/8, 15 cm $\phi$

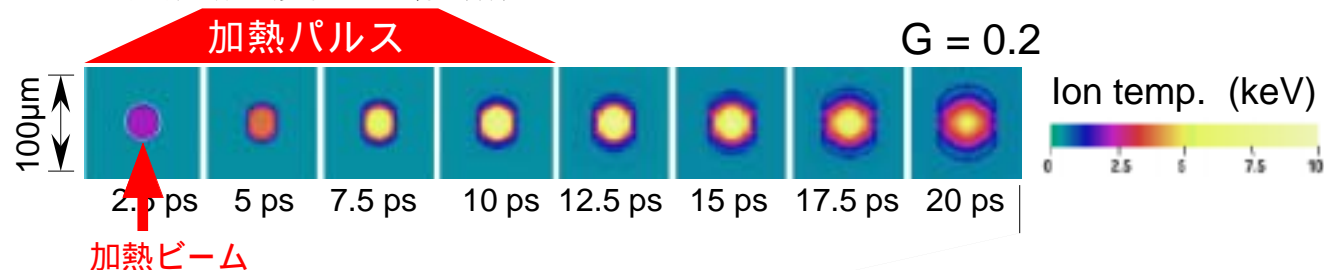
5 m

# FIREX 計画における燃料加熱・点火の予測と高利得への見通し

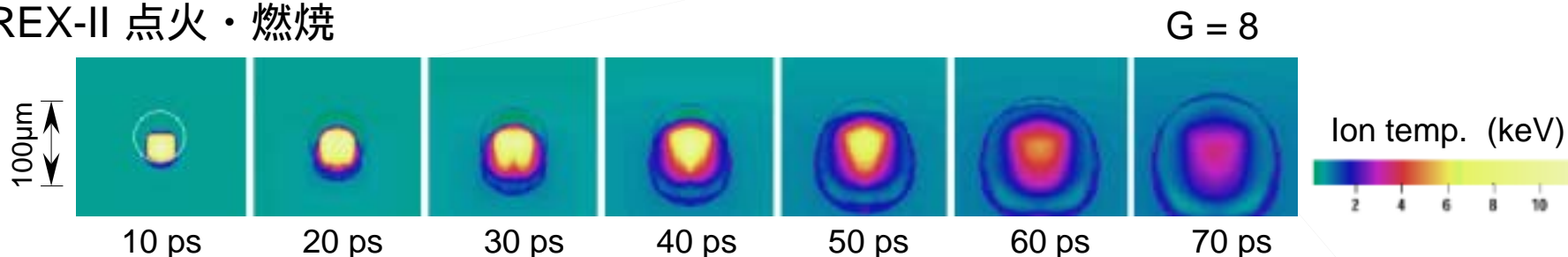


ILE OSAKA

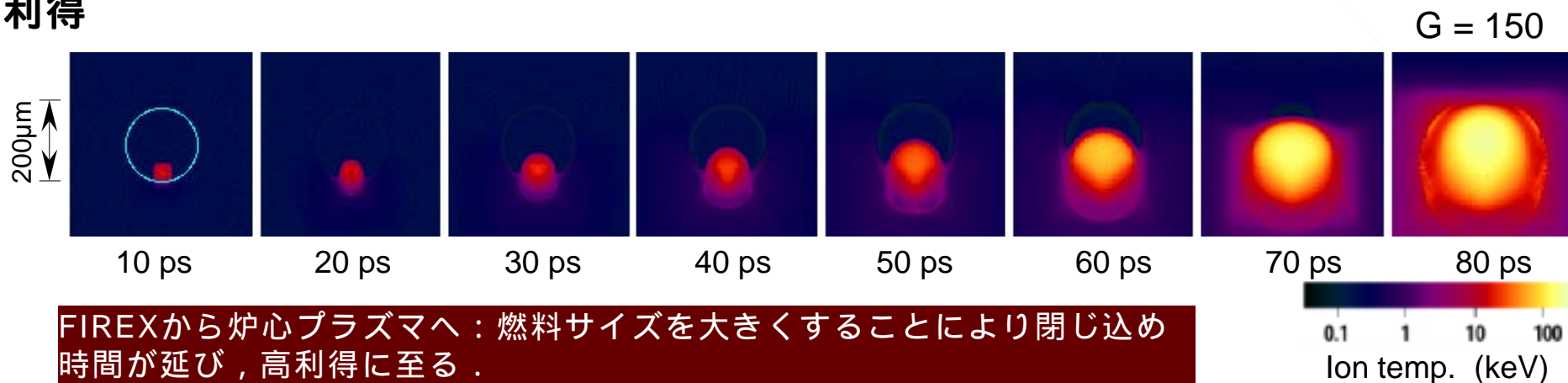
## FIREX-I 点火温度への加熱



## FIREX-II 点火・燃焼



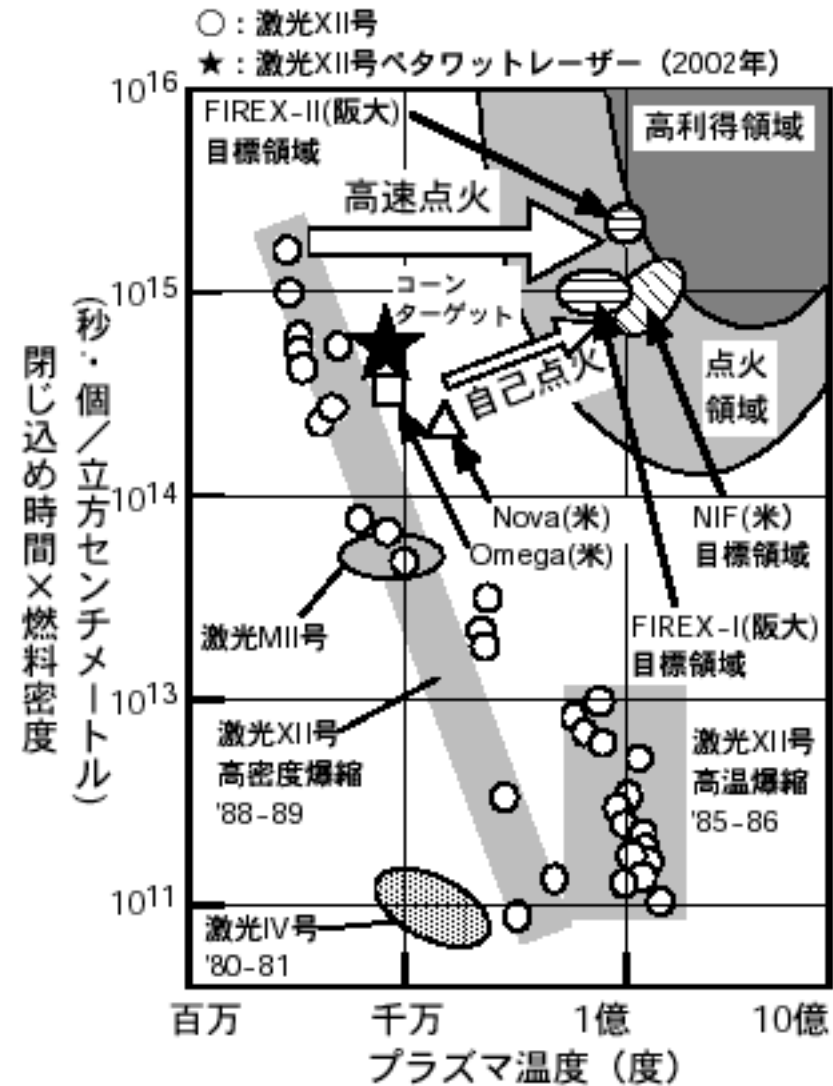
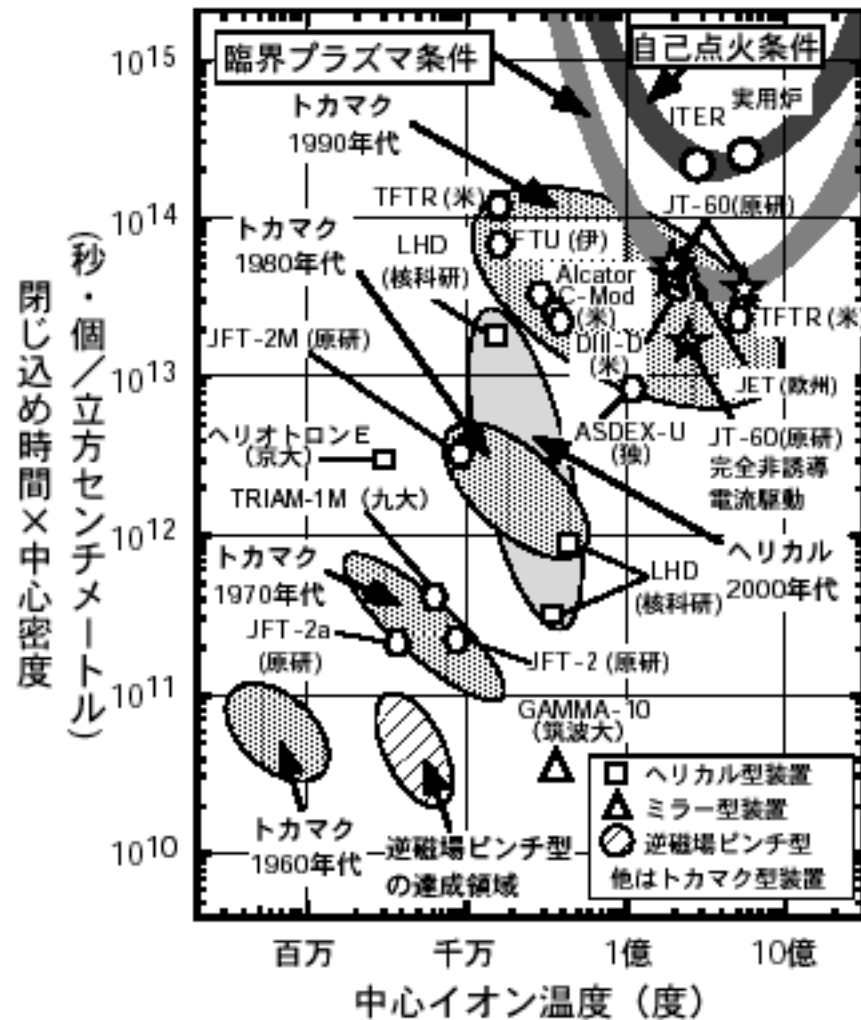
## 高利得



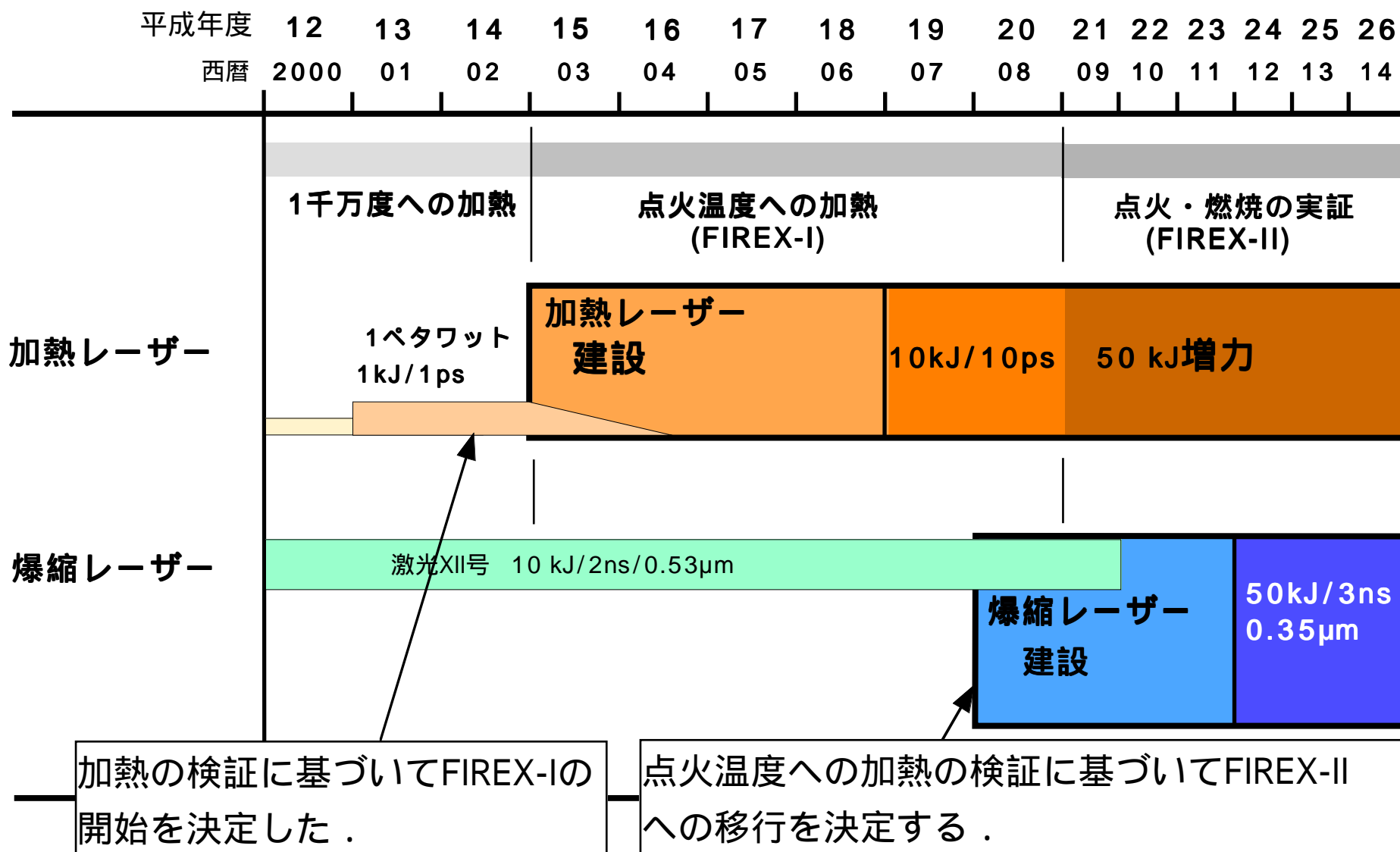
FIREXから炉心プラズマへ：燃料サイズを大きくすることにより閉じ込め時間が延び、高利得に至る。



# 磁場核融合とレーザー核融合の進展



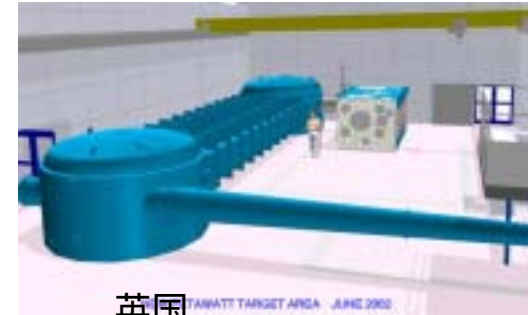
高速点火の点火条件については厳しい方向に改訂の必要がある。



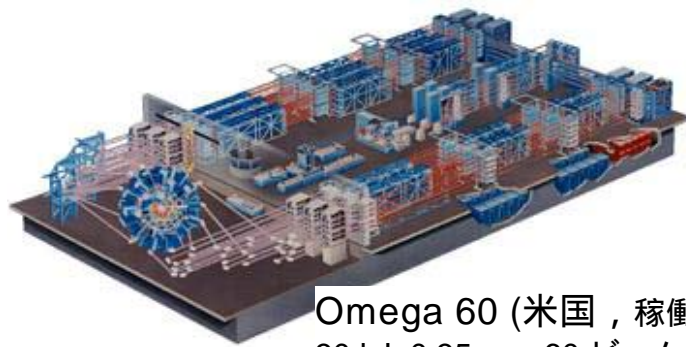
# 世界のレーザー核融合装置



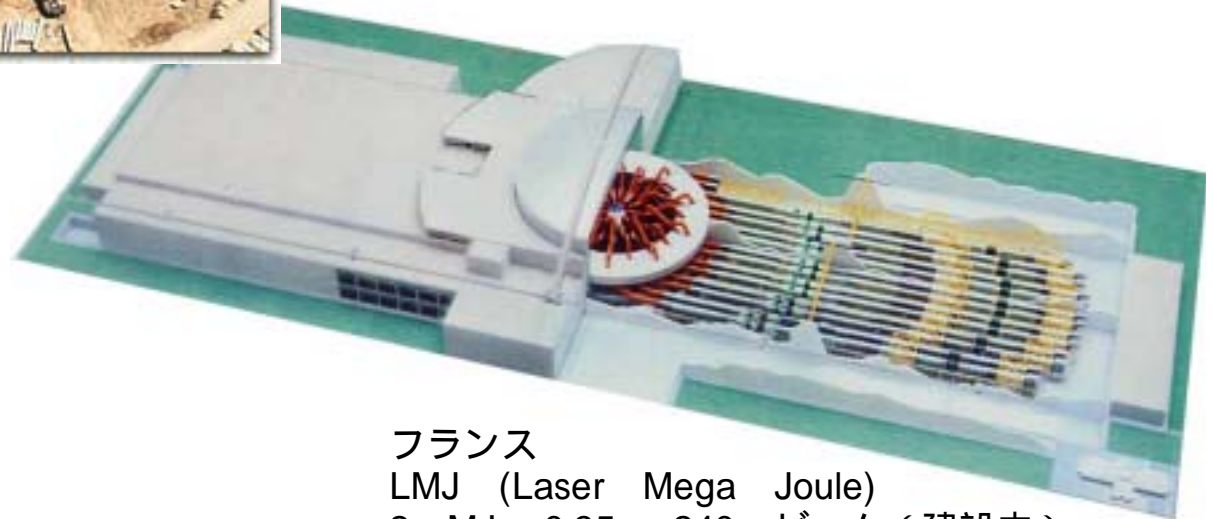
NIF (米国立点火実験装置, 建設中)  
1.8 MJ, 0.35  $\mu\text{m}$ , 192 ビーム  
間接照射中心点火方式 (+高速点火)



英国  
Vulcan PW  
1 PW, 1.05  $\mu\text{m}$ , 1 ビーム  
・高速点火基礎実験  
・高強度光科学



Omega 60 (米国, 稼働中)  
30 kJ, 0.35  $\mu\text{m}$ , 60 ビーム  
直接照射中心点火方式 (+高速点火)



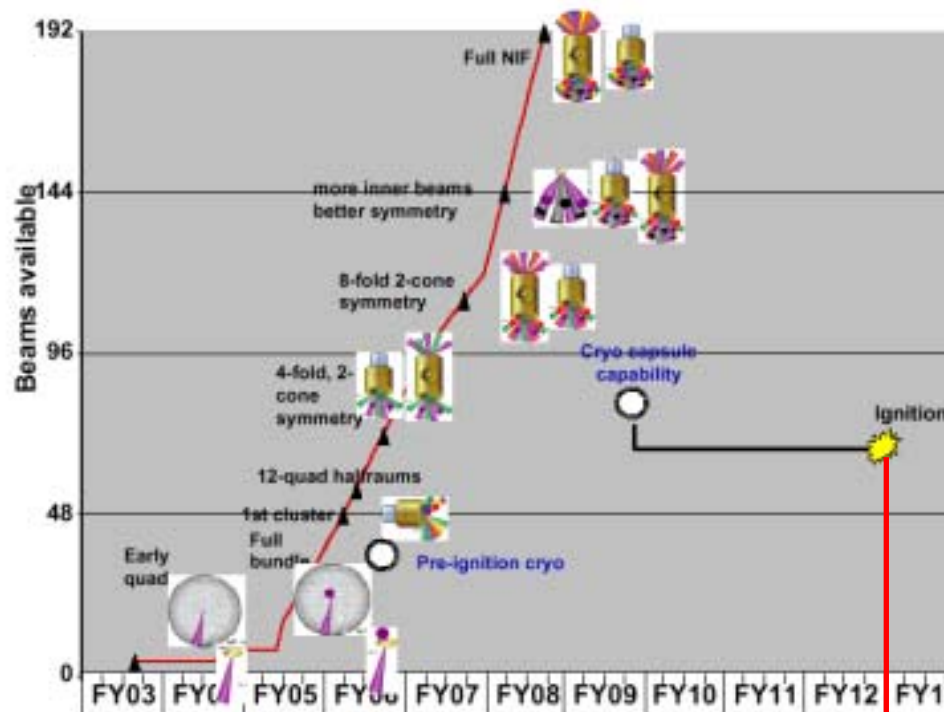
フランス  
LMJ (Laser Mega Joule)  
2 MJ, 0.35  $\mu\text{m}$ , 240 ビーム (建設中)  
・間接照射中心点火方式

# FIREX-IIの早期立ち上げにより，わが国が人類初の核融合点火・燃焼を実現する可能性がある．

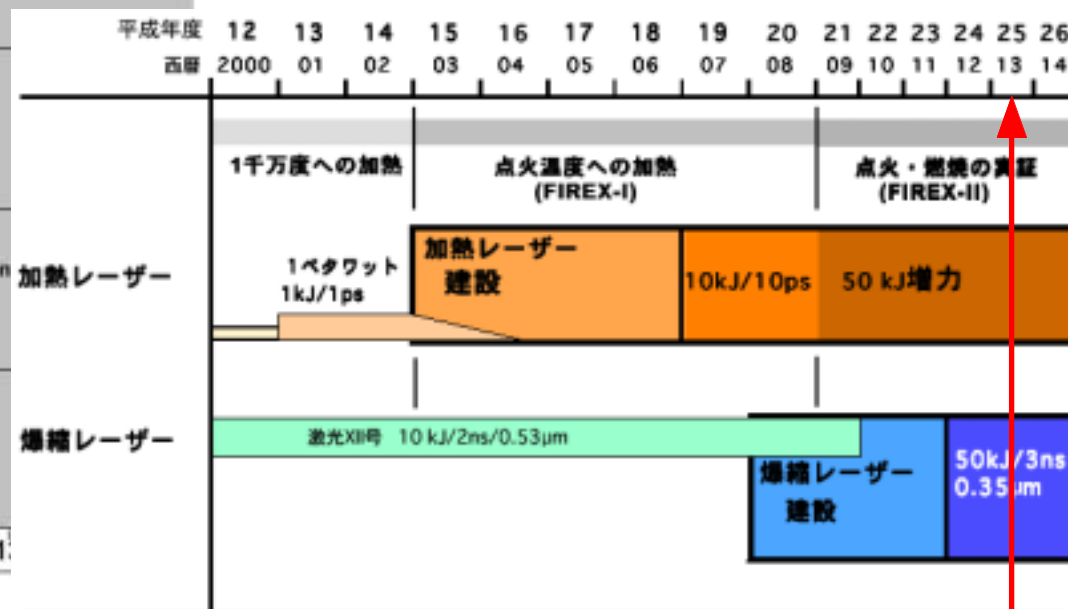


米国NIF年次計画

Ignition is expected in ~ 2013, several years after completion of the NIF cryogenic system



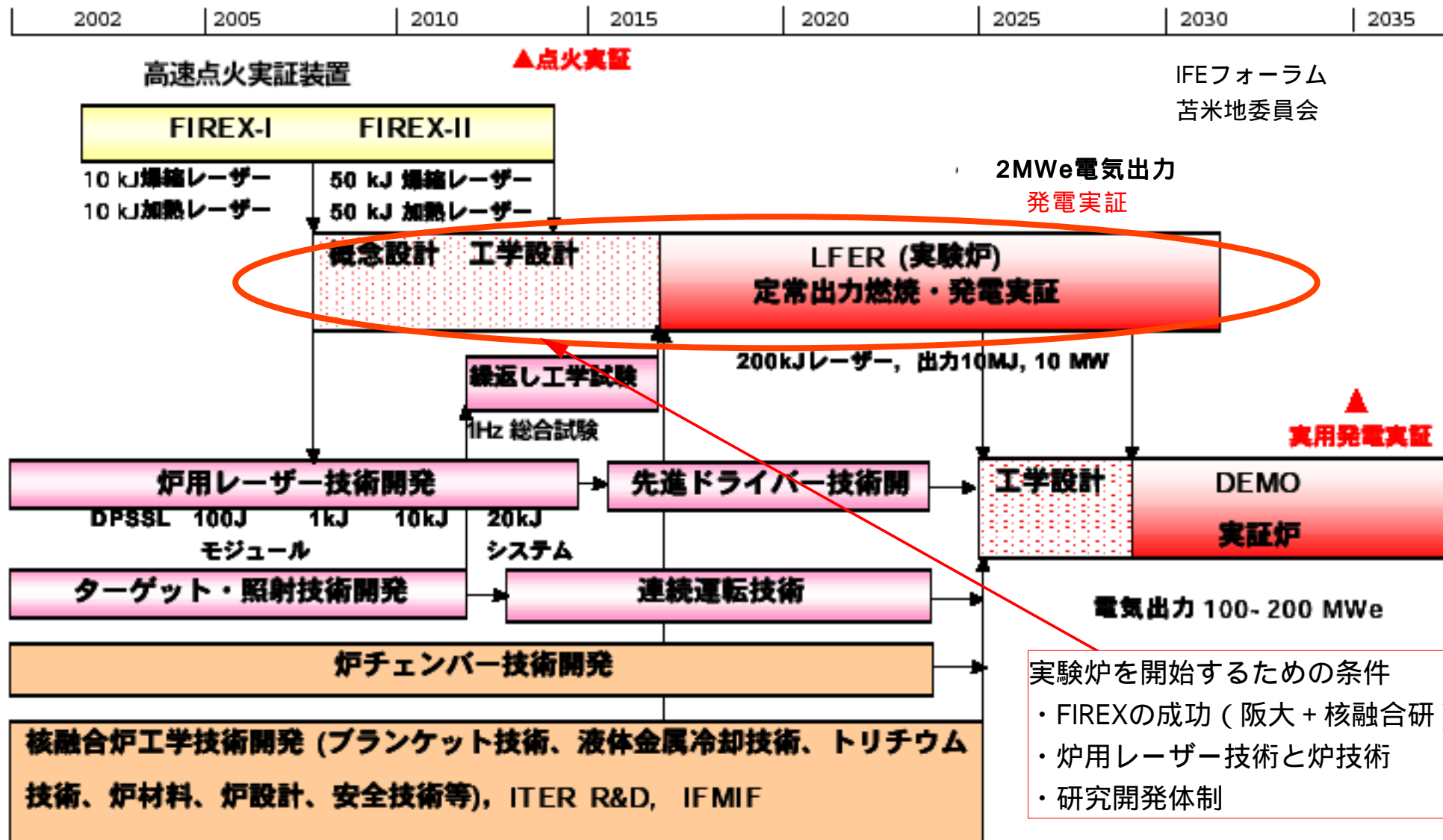
日本FIREX年次計画



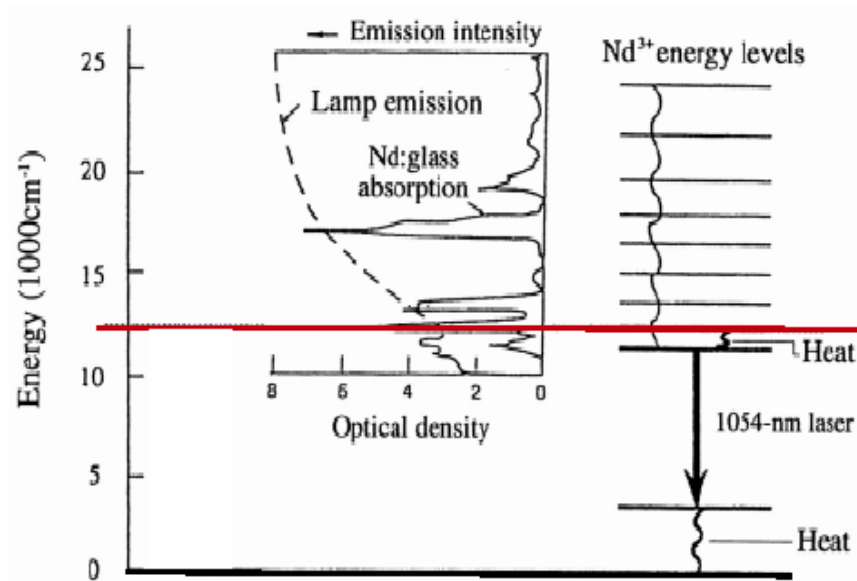
米国NIF点火



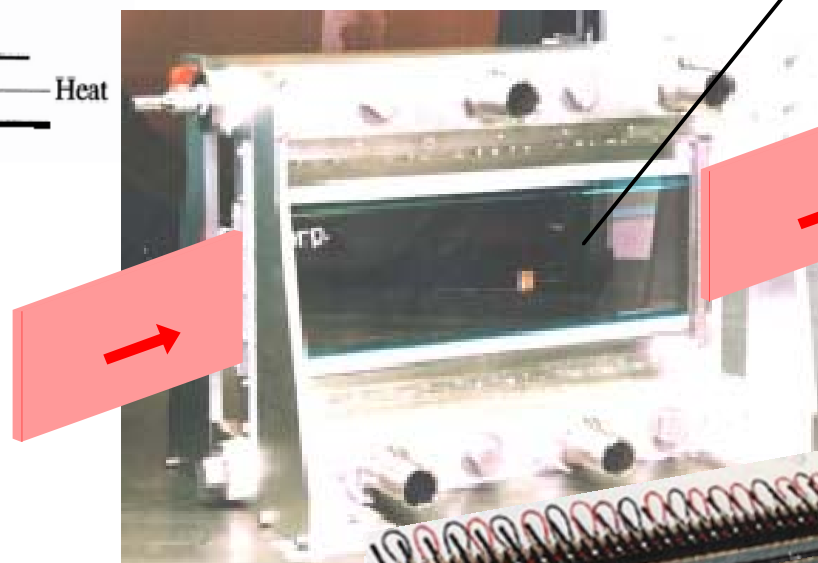
# レーザー核融合炉開発のロードマップの想定例



# 半導体レーザー励起固体レーザー (DPSSL) の開発



HAP-4 (増幅媒質)  
非晶質 帯域幅広い  
寿命が短い



レーザービーム

LD



## レーザー核融合炉開発の主要装置の建設費のおよその見積もり（億円）

装置名	実験炉 LFER	原型炉	商用動力炉
レーザーエネルギー	200kJ(内加熱用100kJ)	1 MJ	1 MJ
核融合パルス出力	10 MJ	200 MJ	200 MJ
パルス繰り返し率	1Hz	3 Hz	3 Hz × 5基
核融合出力	10 MWth	240 MWe	1200 MWe
レーザーシステム	800	1800	1800
内訳	LD 500	1200	1200
光学素子	200	400	400
電源	50	100	100
冷却系	50	100	100
炉チェンバー系	個体壁200 (+液体壁200)	300	900
ペレット燃料系	100	100	200
建家等周辺設備	200 (+発電系等200)	400	1200
建設費合計	1300 (+400)	2600	4100

LDコスト6円/W

LDコスト3円/W

光学素子6万円/Jを仮定

光学素子3万円/Jを仮定

# 結 論



1. レーザー核融合の実現に必要な高密度圧縮と，高速点火方式による 1 千万度の加熱がわが国で実証され，新しい計画を開始すべき段階に入った．
2. 科学技術・学術審議会 核融合WGにおいて，核融合温度への加熱を行うFIREX第1期計画がわが国の重点化の柱の1つとなり，同審議会研究計画・評価分科会ではEUV計画で建設されるレーザーは計画終了後，FIREX用レーザーとして使用することが認められた．
3. 人類初の点火・燃焼を目指すFIREX第2期計画には圧縮用レーザーの建設と加熱用レーザーの増力が必要である．第1期計画の評価の上に第2期計画を実施することが望まれる．
4. レーザー核融合実験炉を開始するための条件に関する共通認識が必要である．
  - ・ FIREXの成功
  - ・ 炉用レーザー技術と炉技術の確立とそれを実施する研究体制