



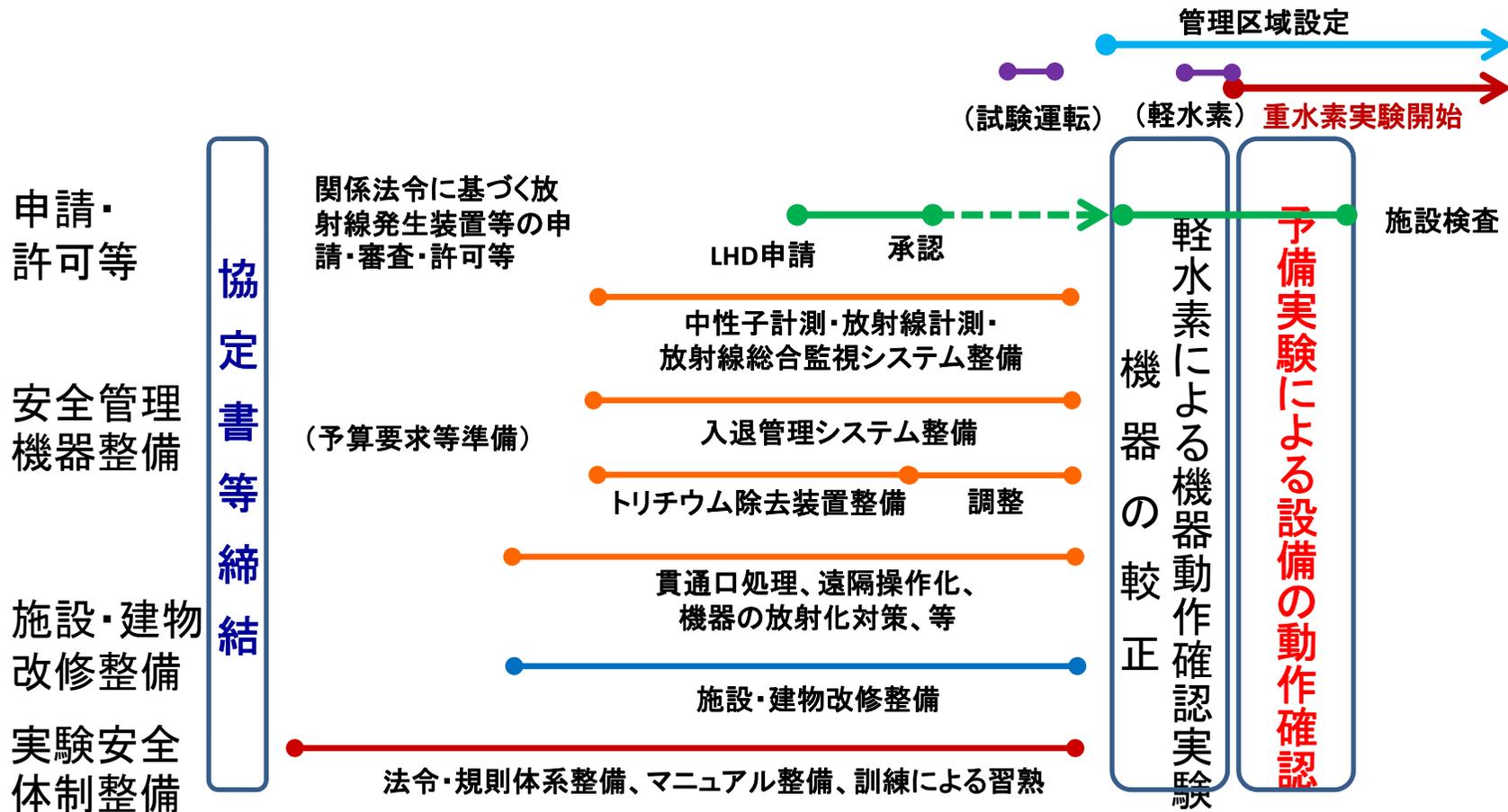
「大型ヘリカル装置における重水素実験の  
安全管理計画」に基づく実施状況

3. 重水素実験の実施手順について



# 重水素実験開始に向けたスケジュール(予定)

H25年度(2013) ————— H28年度(2016)



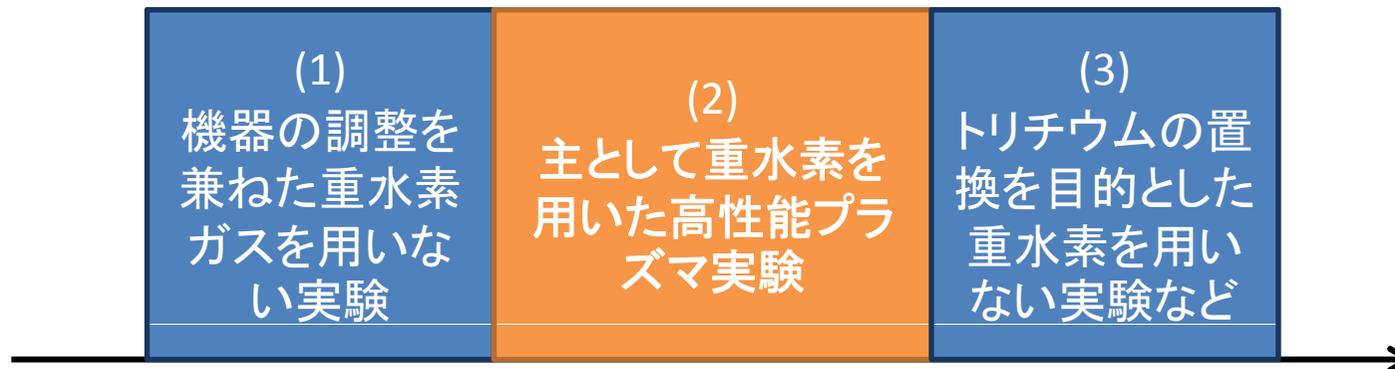
(スケジュールは予定であり、予算状況等により変更あり)

予備実験: 本格的な重水素実験に先立って行い、安全管理機器等の機能等を確認する実験



# 重水素実験サイクル中の運転計画

1. 実験サイクルの当初は、加熱機器などの調整運転を含めた数週間の重水素ガスを用いない実験(軽水素、ヘリウムによる実験)を行う。
2. 実験サイクル中盤は、主として重水素を用いた高性能プラズマの実験を実施するが、各実験サイクルの実施計画に従って適切にガス種(重水素、軽水素、ヘリウム)を選定して実験を実施する。
3. 実験サイクル終盤は、真空容器壁に付着したトリチウムを置換することを目的とした重水素ガスを用いない実験(軽水素、ヘリウムによる実験)などを数週間実施する。





# プラズマ実験実施に関わる放射線発生量の基準(前半6年間)

---

- ・中性子総発生量(トリチウム総発生量)
  - 年間: $2.1 \times 10^{19}$  個(37GBq)
- トリチウム発生量は中性子発生量から評価する。
- 上記、年間中性子発生量に対して、
  - 60%レベルで警告表示を行い、その後は必要最低限の実験を協議して実施
  - 80%レベルでインターロック動作により実験停止
  - 重水素実験においては、プラズマの生成は、中性子総発生量に注意しながら1回毎に手動で起動する。



## プラズマ実験の実験時間は、各実験で発生する中性子の総量によって大きく制約を受ける。

- 各実験提案者は、実験サイクル開始前の実験時間提案時に中性子発生量の概算量を申告する。
- 実験提案者から申告された中性子発生量の総量を考慮して、各実験テーマグループが実験時間の調整・割り振りを行う。
- 実験時間の調整に当たっては、前述した基準に準じた年間の実験計画を策定する。
  - 年間総発生量の60%を目安として、実験サイクル全体の実施計画を策定
- 実験実施にあたっては、
  - 翌週の中性子総発生量をLHD実験会議\*にて事前審議して週間実施計画を策定。
  - 策定された週間実施計画をもとに各実施日の中性子発生総量が計画を超えないように実験責任者が確認しながら実験を実施する。
  - 重水素実験においては、**中性子総発生量に注意しながら、1回毎にプラズマの生成を手動で起動**する。

\* LHD実験会議: 実験責任者、装置担当責任者等から構成されるLHDの実験方針を策定する会議



# 計画しているプラズマ実験 I

- 標準的な運転
  - 磁場強度:3T
  - 加熱電力:
    - NBI加熱
      - 接線入射:  
180keV/5.4MW(H)+3MW(D)
      - 垂直入射:80keV/10.8MW(D)
  - プラズマ性能:
    - ヘリカル型装置のプラズマ性能を示す国際的な指標の1.5倍の性能をもつ
    - 電子温度とイオン温度が等しい

1ccあたり10兆個の密度で7千万度のイオン温度及び電子温度のプラズマを生成

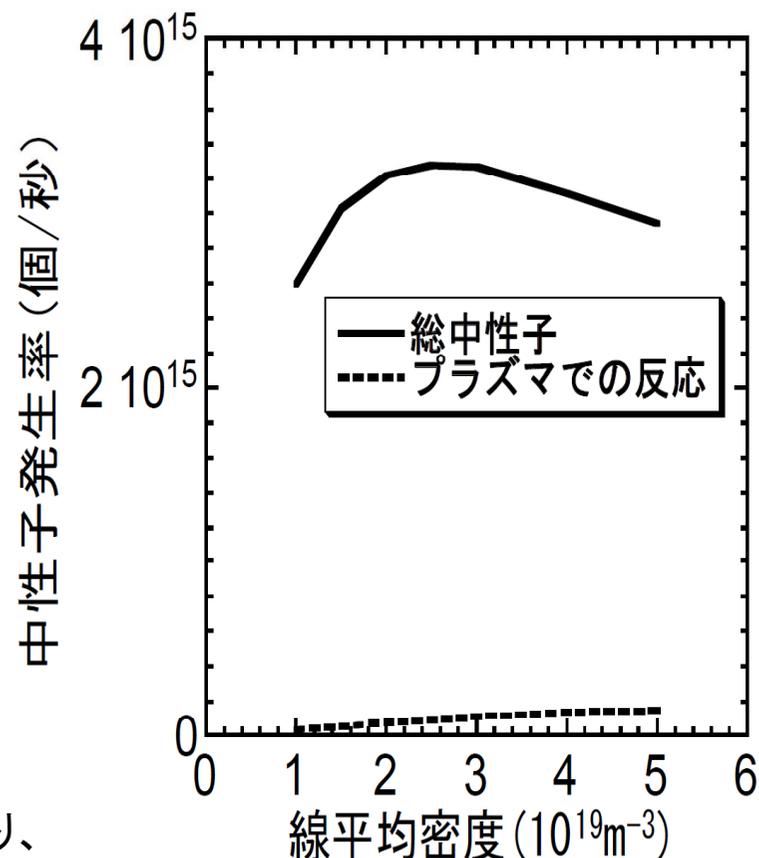
線平均密度:  $2.5 \times 10^{19} [\text{m}^{-3}]$ 程度で中性子発生率が最大となり、  
 $3.3 \times 10^{15} [\text{個/秒}]$

安全管理計画では、遮へいなどの検討のために3秒のプラズマ維持時間を仮定  
→ 実際の実験では、イオン温度が6千万度を超える高性能プラズマの維持時間は1秒以下  
→ 1日30回、15分に1回、1回あたり1秒の実験実施を仮定:

1日あたりの中性子発生量は、 $3.3 \times 10^{15} [\text{個/s}] \times 1 [\text{s/回}] \times 30 [\text{回/日}] = 1.2 \times 10^{17} [\text{個/日}]$



年間6,000回以上の実験が可能(17週の実験期間では基準値以下)





# 高性能プラズマ放電(プラズマ実験)は全体の一部

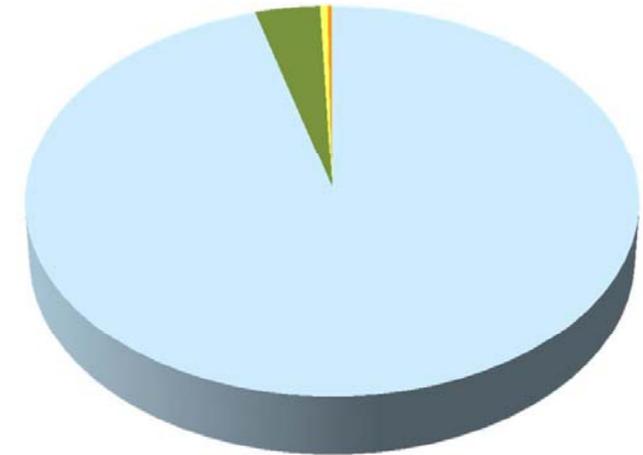
## 平成26年度実験実績

総プラズマ実験回数	6441回
5,000万度を超えた実験回数は	279回
そのうち、7,000万度を超えたのは	43回
さらに、8,000万度を超えたのは	16回

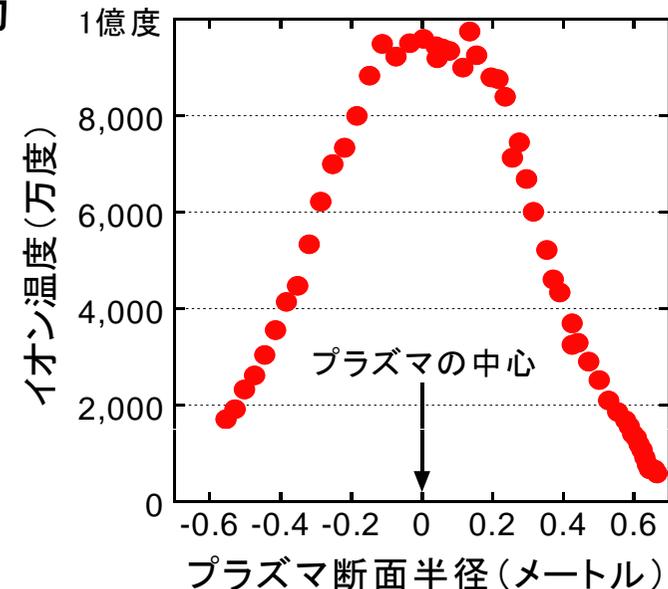
- ✓ 8,000万度を超えたプラズマ実験は全体の0.4%以下
- ✓ 95%のプラズマ実験は5,000万度以下

→ 通常は、いろいろな学術的研究を進めるため、比較的  
温度の低いプラズマを数多く生成

- これまでの最高イオン温度 9,400万度 →
  - ✓ 真空状態、加熱電力、磁場など全ての  
運転条件が最高の状態でのみ実現可能
  - ✓ イオン温度が6千万度程度を超えるプラズ  
マの維持時間は1秒以下



5000万度以下 5000~7000万度  
7000~8000万度 8000万度以上

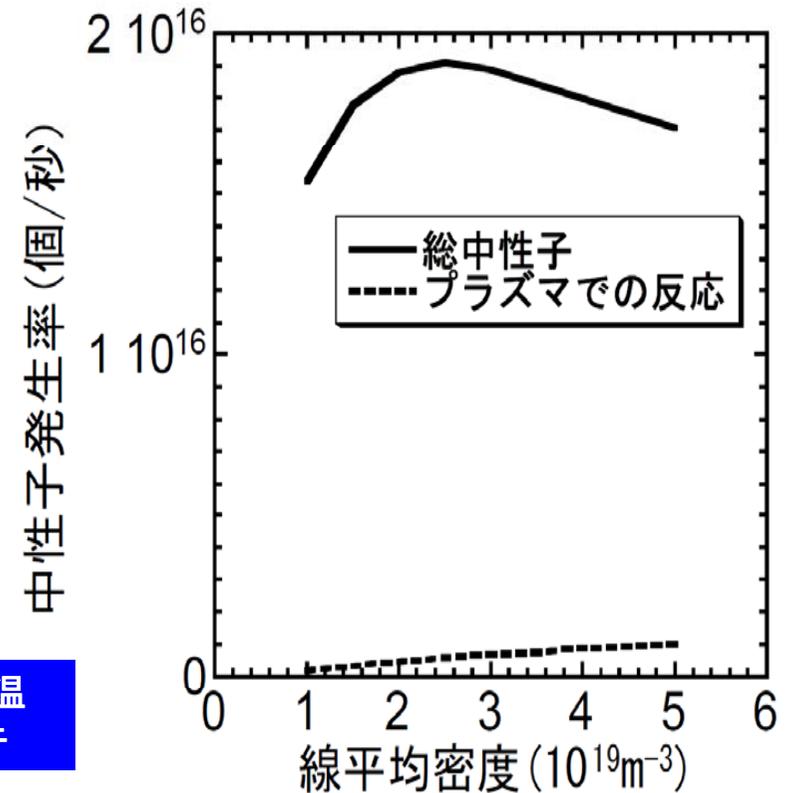




# 計画しているプラズマ実験 II

- 最高性能のプラズマを生成する運転
  - 磁場強度:3T
  - 加熱電力:
    - NBI加熱
      - 接線入射:180keV/14MW
      - 垂直入射:80keV/18MW
    - ECH等の電磁波加熱: 3MW
  - プラズマ性能:
    - ヘリカル型装置のプラズマ性能を表す国際的な指標の2倍の性能をもつ
    - 電子温度とイオン温度が等しい

1ccあたり20兆個の密度で1億2千万度のイオン温度及び電子温度を達成するというLHDの最終目標を達成するための運転条件



中性子発生率は、平均密度 $2.5 \times 10^{19} [\text{m}^{-3}]$ で最大となり、 $1.9 \times 10^{16} [\text{個/秒}]$

安全管理計画では、遮へいなどの検討のために3秒のプラズマ維持時間を仮定

→ 実際の実験では、イオン温度が1億度を超えるような最高性能プラズマの維持時間は1秒以下

中性子発生量 =  $1.9 \times 10^{16} [\text{個/s}] \times 1 [\text{s/回}] \times 30 [\text{回/日}] = 5.7 \times 10^{17} [\text{個/日}]$  (15分毎、30回/日)

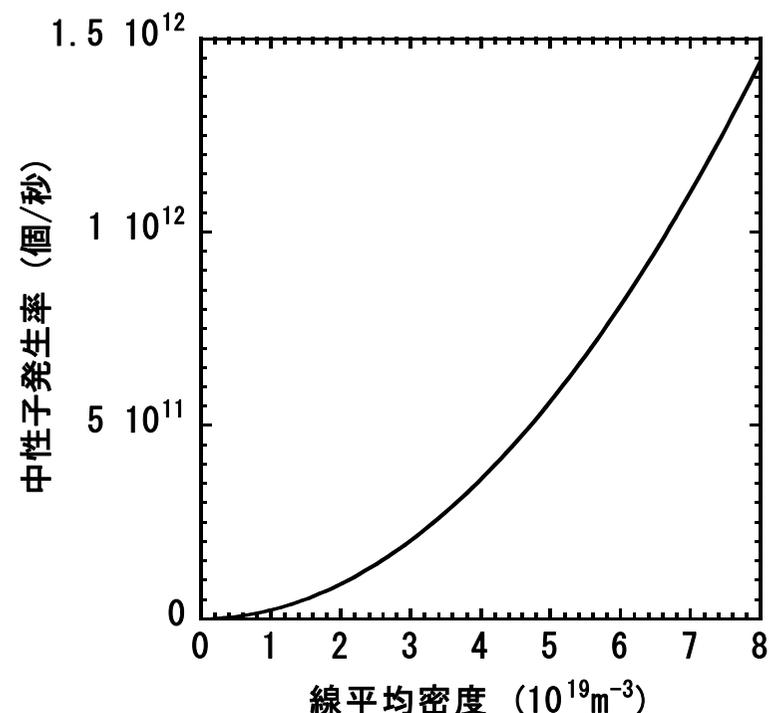


最高性能プラズマの生成は、最大でも全体の1%以下 → 年間基準値への影響は小さい



# 計画しているプラズマ実験 III

- 電子サイクロトロン加熱等による長時間運転
  - 磁場強度:3T
  - 加熱電力:
    - ECH加熱:  
5MW(77GHz:3MW, 154GHz:2MW)
  - プラズマ性能:
    - これまでの電子サイクロトロン加熱を用いた実験結果に基づき、イオン温度は密度の変化に依存せずに1200万度で一定と仮定
      - 加熱に用いるマイクロ波は、 $7.4 \times 10^{19} [\text{m}^{-3}]$  (1ccあたり74兆個)の密度を超えると、プラズマ中に侵入することが困難になり、これ以上密度を上げることは難しい



中性子発生量は密度の二乗に比例して増加し、マイクロ波の侵入が困難になる  
 $7.4 \times 10^{19} [\text{m}^{-3}]$  (1ccあたり74兆個)の密度においては $1.2 \times 10^{12} [\text{個/秒}]$

⇒ 計画しているプラズマ実験 II の中性子発生率の1万分の1程度

プラズマを1時間維持しても、予想される1回あたりの中性子発生量はプラズマ実験 II の約1/3。

このような長時間運転の可能な学術的研究を目的とした実験では、プラズマの維持時間や実験間隔は、中性子発生率や加熱機器の性能などにより決める。