

# 中国が誇る先進型超伝導核融合設備EAST

## 中国科学院プラズマ物理研究所

(ASIPP: Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences)

### 視察報告

上海・合肥訪中交流団報告会

—中国が誇る最新原子力開発状況—

平成19年12月19日

日本原子力研究開発機構

核融合研究開発部門

伊世井宣明

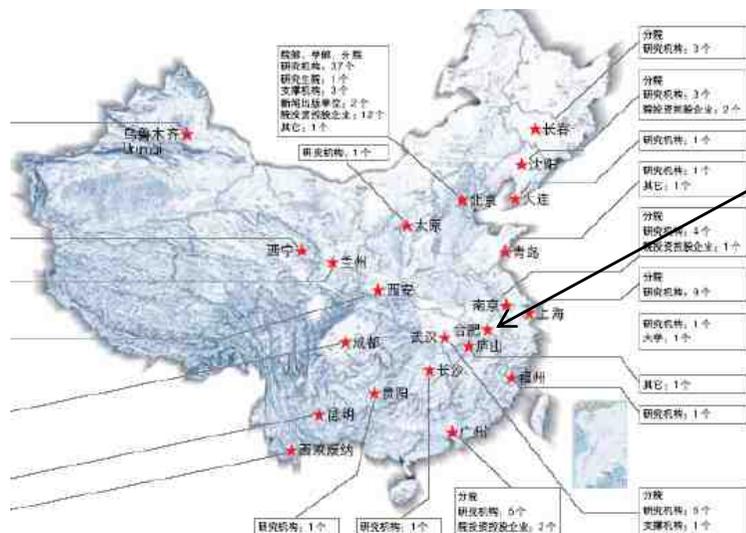
# 訪問の概要



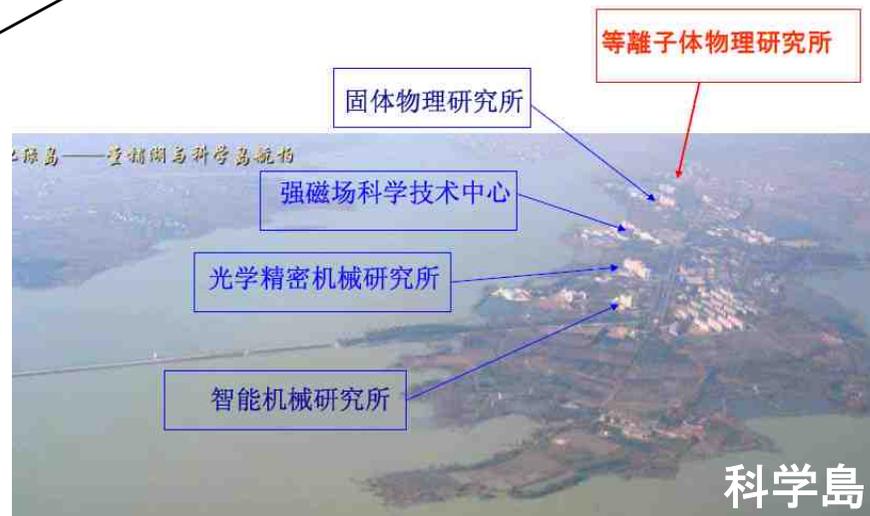
1. 視察日 : 2007年10月22日(月) 9:00~12:00
2. 訪問先 : 中国科学院等離子体物理研究所 (安徽省・合肥市)
3. 対応者 : Jiangang Li(李建剛・所長)、Chimin Liu(助教授)
4. 訪問者 : 山脇、榎本、永崎、木村、四塚、佐藤、磯野、欧陽、植田、米、富永、高尾、松川、中平、野本、藤沢、竹内、伊世井 (計18名、敬称略)

# プラズマ物理研究所 (ASIPP) の位置付け

中国科学院: 全国に120の研究所



合肥物質科学研究院



合肥物質科学研究院に属する五つの研究所の一つ

- プラズマ物理研究所 : 核融合科学、超伝導トカマク、炉工学、理論シミュレーション
- 固体物理研究所 : 材料物理、ナノテクノロジー
- 光学精密機械研究所 : 環境観測、環境光学、大気光学、レーザー技術
- 知能機械研究所 : 人工知能、センサー技術
- 強磁場科学技術センター : 強磁場科学技術

# プラズマ物理研究所 (ASIPP) の概要

1978年9月に設立、12に研究室を設置

職員400名 (教授49名、助教授78名)

大学院生300名

研究内容:核融合発電を実現するための基礎研究



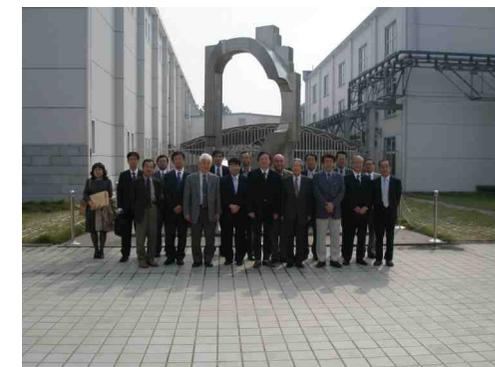
## <12の研究室>

トカマク物理実験、プラズマ理論、電気機器設計、炉技術、高出力マイクロ波技術、応用計算技術、電源・制御工学、低温工学技術、超伝導磁石、プラズマ生物学、低温プラズマ応用、太陽発電工学

プラズマ研究は全体の40%程度。  
核融合炉材料などの工学研究が60%。

ASIPPは核融合エネルギーの実現をめざす総合的な研究所  
→ JAEAの那珂核融合研究所と同じスタンスをもつ

ただし、トリチウムに関する研究は、現在、行われていない。



# プラズマ物理研究所 (ASIPP) における核融合研究

- 1978年9月 ASIPP設立
- 1994年 超伝導トカマクHT-7を完成
- 1997年 EAST設計活動を開始
- 2001年 EAST着工
- 2006年3月 EAST建設完了
- 2006年9月 EAST ファーストプラズマ着火
- 2007年3月 国家検収を完了



EAST (HT-7U)

→ EASTの完成を「十年磨一劍」と形容し、誇っている。



HT-7

日本では、

- 1961年 名古屋大学プラズマ研究所開設  
原研にて核融合研究を開始
- 1972年 中型トカマクJFT-2運転開始
- 1985年 大型トカマクJT-60運転開始 (原研)
- 1986年 超伝導トカマクTRIAM-1M (九州大学)
- 1996年 JT-60臨界プラズマ条件を達成、世界最高温度5.2億度
- 1998年 JT-60世界最高エネルギー増倍率1.25
- 1998年 大型超伝導ヘリカル装置LHD完成 (核融合科学研究所)

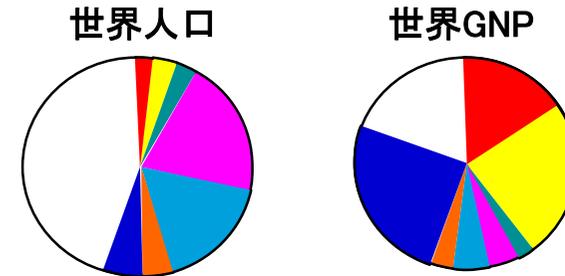
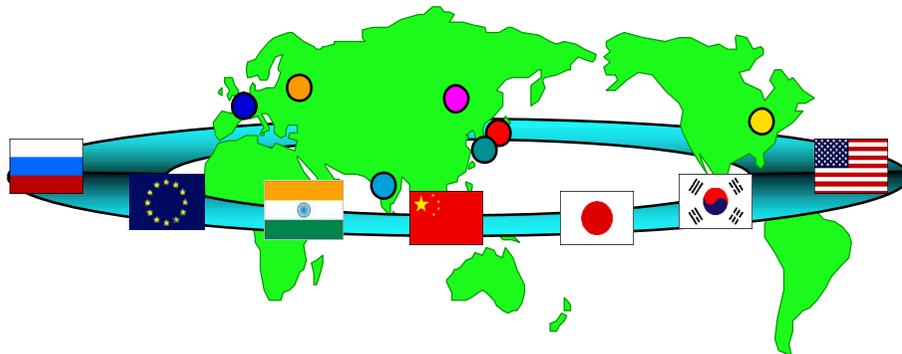
# ITER計画とASIPPについて

核融合 : 太陽や星のエネルギー源  
地上では、以下のような利点がある。

- 燃料資源が豊富
- 安全性が高く、核暴走がない
- 二酸化炭素を放出しない
- 高レベル放射性廃棄物が生じない
- 核兵器の製造とは無関係

ITER計画 : 核融合エネルギーの科学的・技術的実現性の実証  
を目的とする国際協力プロジェクト (ITER=国際熱核融合実験炉)

1988-1990: 概念設計活動  
1992-2001: 工学設計活動  
2001-2002: 調整技術活動  
2003-2006: ITER 移行措置  
2005 6月 : サイト決定 (カダラッシュ、仏)  
2007- : ITER 建設開始



世界人口56%と世界GNP 80%  
による英知を結集



中国 : 2003年2月よりITER計画に参加

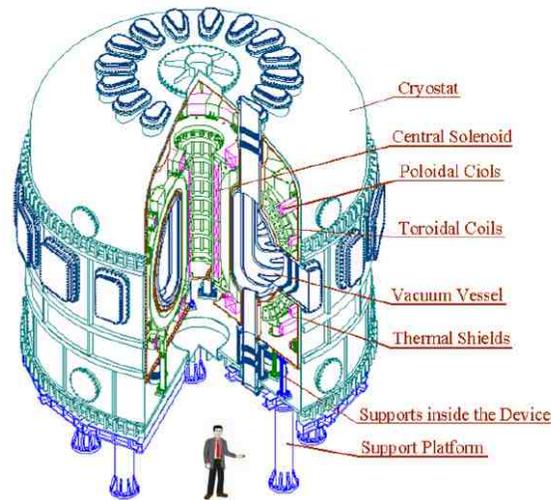
中国科学院 プラズマ物理研究所 : ITERタスクの75%  
中国核工業集团公司 西南物理研究所 : ITERタスクの20%  
その他の研究所 : ITERタスクの5%

→ 技術的な仕事を適切に割り振ることにより、協調的な状態を維持

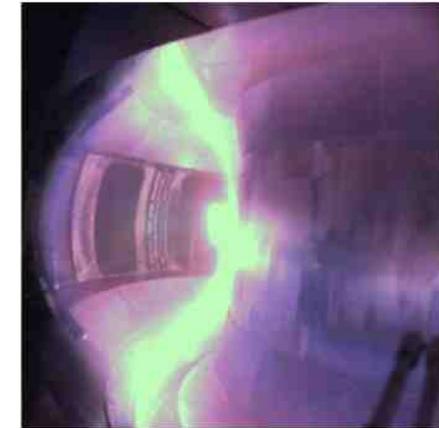
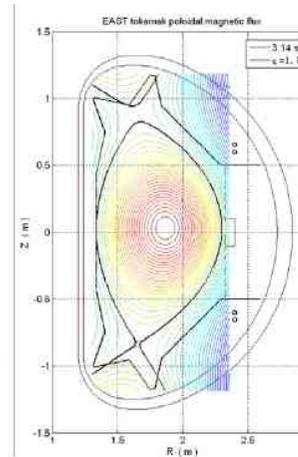
日本 : 1988年より参加

JAEAがITER国内機関  
に指定されている

# 超伝導トカマクEASTの概要



Toroidal Field, $B_0$	3.5 T
Plasma Current, $I_p$	1-1.5 MA
Major Radius, $R_0$	1.7 m
Minor Radius, $a$	0.4 m
Aspect Ratio, $R/a$	4.25
Elongation, $K_x$	1.6-2
Triangularity, $\delta_x$	0.6-0.8
Heating and Current Driving:	
ICRH	6 M
LHCD	6 MW
NBI	4(10) MV
ECRH	0.5 (2) MW
Pulse length	1000 s
Configuration:	DN, SN



2006年9月28日 ファーストプラズマの着火に成功

2007年1月23日 ダイバータ配位プラズマの生成に成功

## 特長

- 1) トカマク型では世界で初めて全部のコイルを超伝導化。
- 2) 非円形装置(ダイバータ配位が可能)であること。

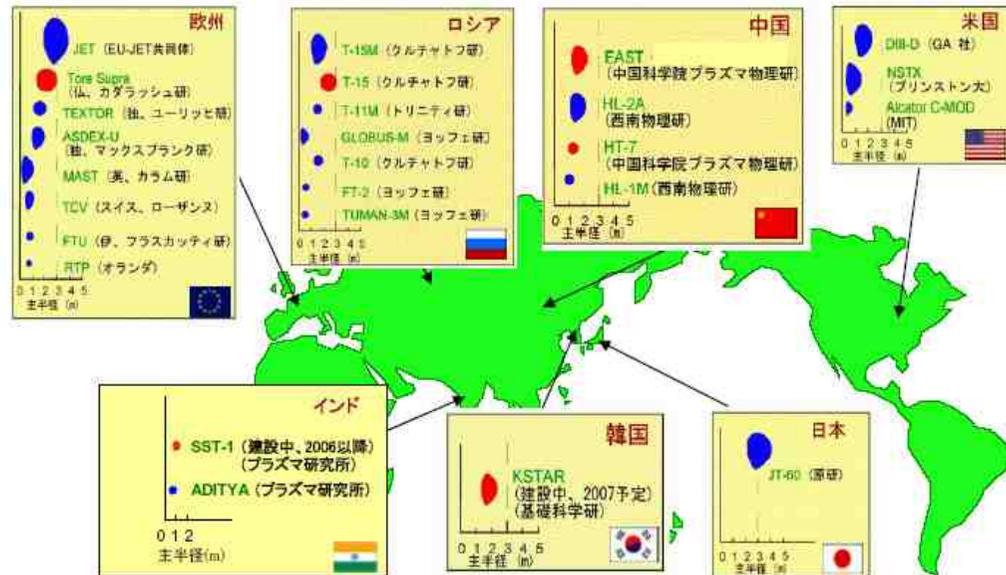
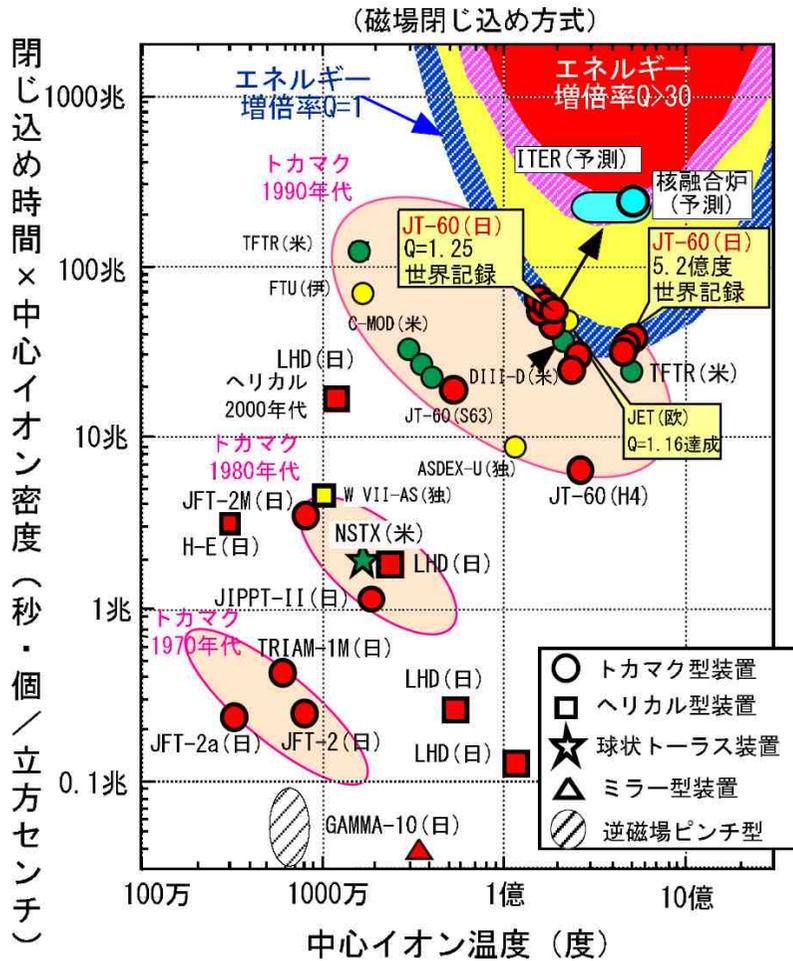
主要諸元	EAST	JT-60SA	ITER
主半径(m)	1.7	3.06	6.2
副半径(m)	0.4	1.15	2.0
トロイダル磁場(T)	3.5	2.7	5.3
プラズマ電流(MA)	1.5	5.5	15
プラズマ体積(m <sup>3</sup> )	10	128	837

# 超伝導トカマクEASTと世界のトカマク

エネルギー増倍率: Q

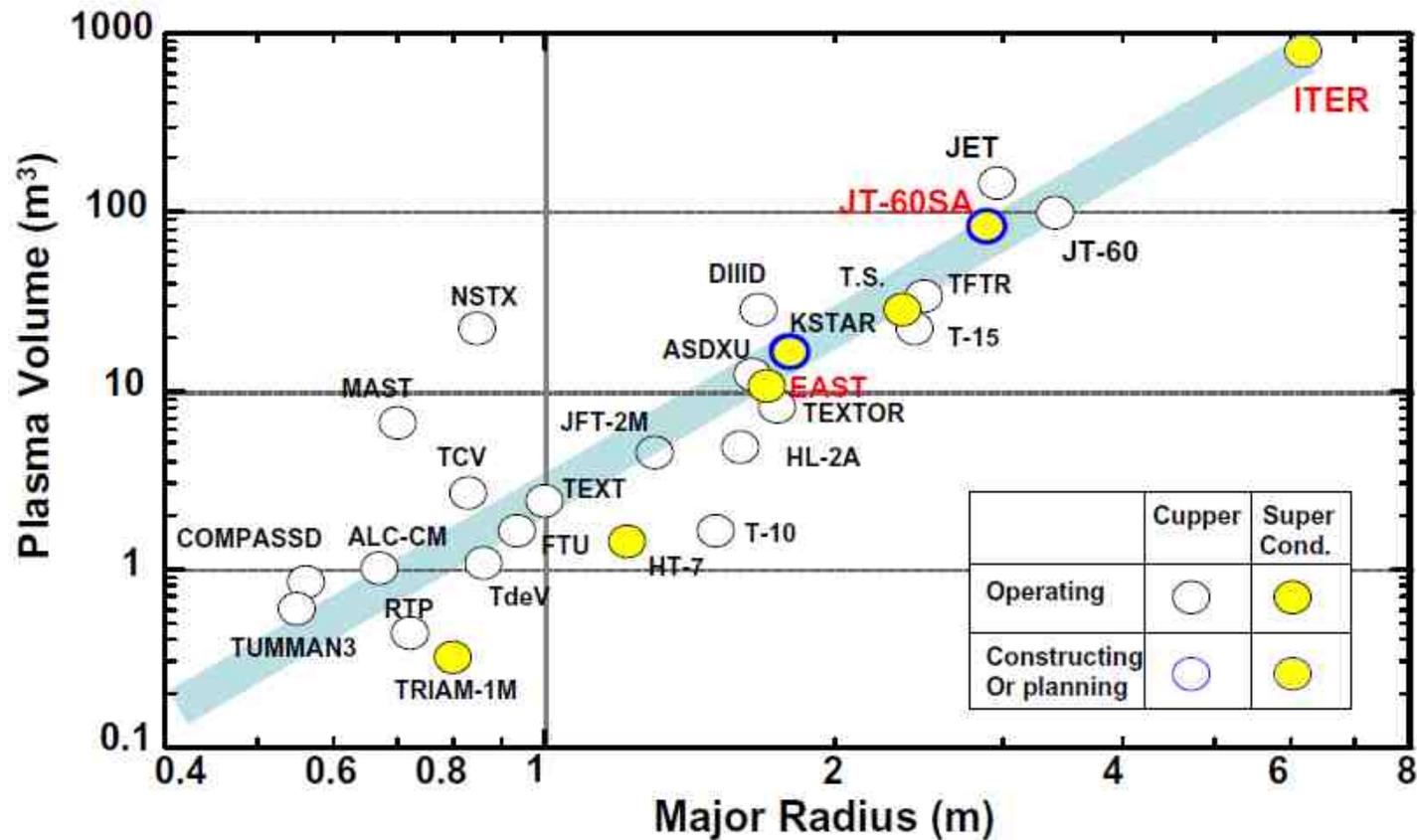
$Q = \text{核融合出力} / \text{外部加熱入力}$

- Q = 1 : 臨界プラズマ条件
- Q = 5 - 20 : ITER
- Q = 30 - 50 : 核融合炉



→ 中国 : 他国に先駆けて先進型超伝導トカマクを完成

# 超伝導トカマクEASTの位置付け



EAST( $10^1 m^3$ )、JT-60SA( $10^2 m^3$ )、ITER( $10^3 m^3$ )

共同した実験を行うことにより、将来の核融合炉の設計へ向けて、非常に有用なデータベース(各種のスケージング則)を構築できる。

# EASTの現状と今後の計画

## 現状

- ・2006年9月に初放電に成功して以来、5千ショット程度の実験放電を実施。
- ・0.5MAのダイバータプラズマを生成。
- ・最長の放電時間は10秒程度。
- ・加熱装置は未整備。
- ・現在、長パルス放電に備えて、強制冷却装置を取り付け中。
- ・2007年4月より、真空容器の内壁に黒鉛タイル(約1万2千個)を0.2mmの精度で設置する作業を進めており、装置は大気開放の状態。
- ・2008年の3月には運転再開の予定。

## 今後の計画

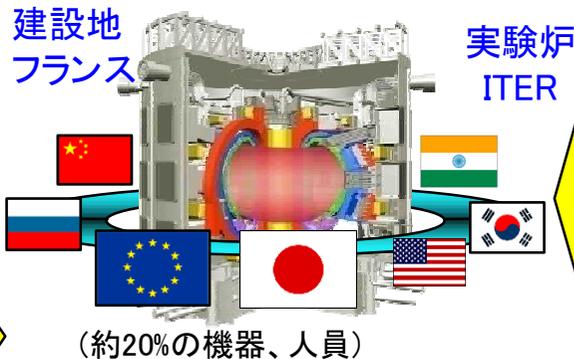
- ・3-5年以内に、10-15MWの加熱を可能とし、放電時間は数百秒にする。
  - ・その後の8年間で25MWの加熱装置を整備し、10keV程度のプラズマ温度が得られるようにする。
- ITERのテストベッドとしてEASTを活用していく

# ブローダーアプローチ(BA)計画について

原型炉に向けた日欧共同プロジェクト ⇒ **核融合の早期実現**

建設地: 青森県六ヶ所村  
茨城県那珂市  
実施期間: 10年間

原型炉  
発電実証  
統合化による実現

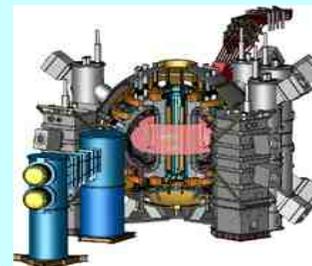


BA  
ITER建設と並行して我が国で実施

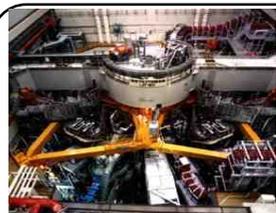


**国際核融合エネルギーセンター**  
計算機、炉設計R&D、  
遠隔実験センターの有機的運営  
早期実現への戦略的取組み

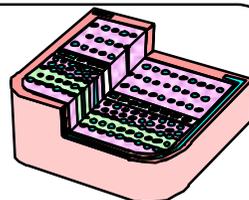
**材料照射施設設計活動**  
施設の工学設計とR&D  
国際共同設計チームをホスト



**サテライトコマク**  
炉心プラズマの改良  
人材育成



炉心プラズマ:  
JT-60



核融合炉工学:  
ブランケット、  
超伝導コイル、加熱等

# ブローダーアプローチ(BA)計画への参加について

## 李所長

我々には、超伝導トカマクを建設した経験があり、それをJT-60SAの工学設計などに活かすことは可能だと思う。一方、とくに加熱技術やNb3Snを用いた超伝導技術について、我々は、ブローダー・アプローチから学びたいと考えている。また、シミュレーションや原型炉設計、IFMIFに対しても、非常に強い関心がある。

それで、実際、JAEAの常松所長に申し入れたこともあるのだが、常松所長からは、

「参加形態については検討中なので、とにかく、もう少し待ってくれ。」

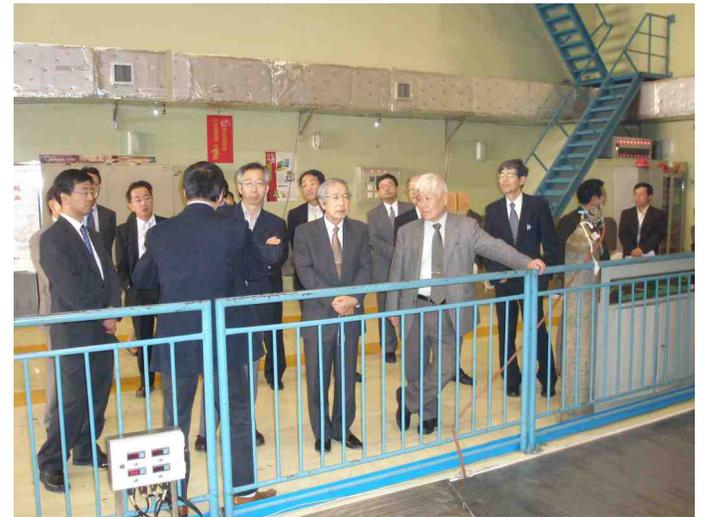
と言われている。

ぜひ、近い将来、参加できることを願っている。

- 自国の技術と実績に対して強い自信を持ちながらも、さらに謙虚に学び続けようとする姿勢が非常に印象的であった。

# 装置の見学について

- ・日本では、通常、トカマク装置は、小規模なものでも強いエックス線を発生するため、設置エリアは管理されており、入退室のチェックがなされるが、ASIPPの場合、トカマク装置の設置場所は、まったくフリーにアクセスできる環境になっていた。おそらく、今後、放射線管理に関する各種の法整備がなされるのだろう。
- ・真空容器は、超高真空の状態を用いる機器であるため、大気開放をして真空容器内作業をする場合でも、内部に粉塵などができるだけ入らないように、十分な養生を行うのが普通であるが、EAST装置の作業では、そのような配慮がまったく見られず、普通の工事現場と同様の環境で作業が行われていた。細かいことは気にしない方が作業効率は高くなるが、品質管理としては問題が残るのではないかと思う。
- ・超伝導コイル開発施設には、製作した超伝導コイルを試験する設備あった。EASTで使用する超伝導コイルは、すべて、ここで試験したとのことであり、中国の底力を感じた。



# 中国における核融合の早期実用化プラン

中国 : 大気汚染の深刻化 → **核融合エネルギーを他のどの国よりも早く必要としている。**

現在は核分裂による原子力発電所を急ピッチで建設

核分裂の場合、高レベル廃棄物処理の問題やウラン燃料資源の有限性に関する問題は避けられない。

→ 「**核分裂と核融合のハイブリッド炉**」の検討が続けられている。

両者を組み合わせることにより、両方の利点をうまく活用

## 核分裂

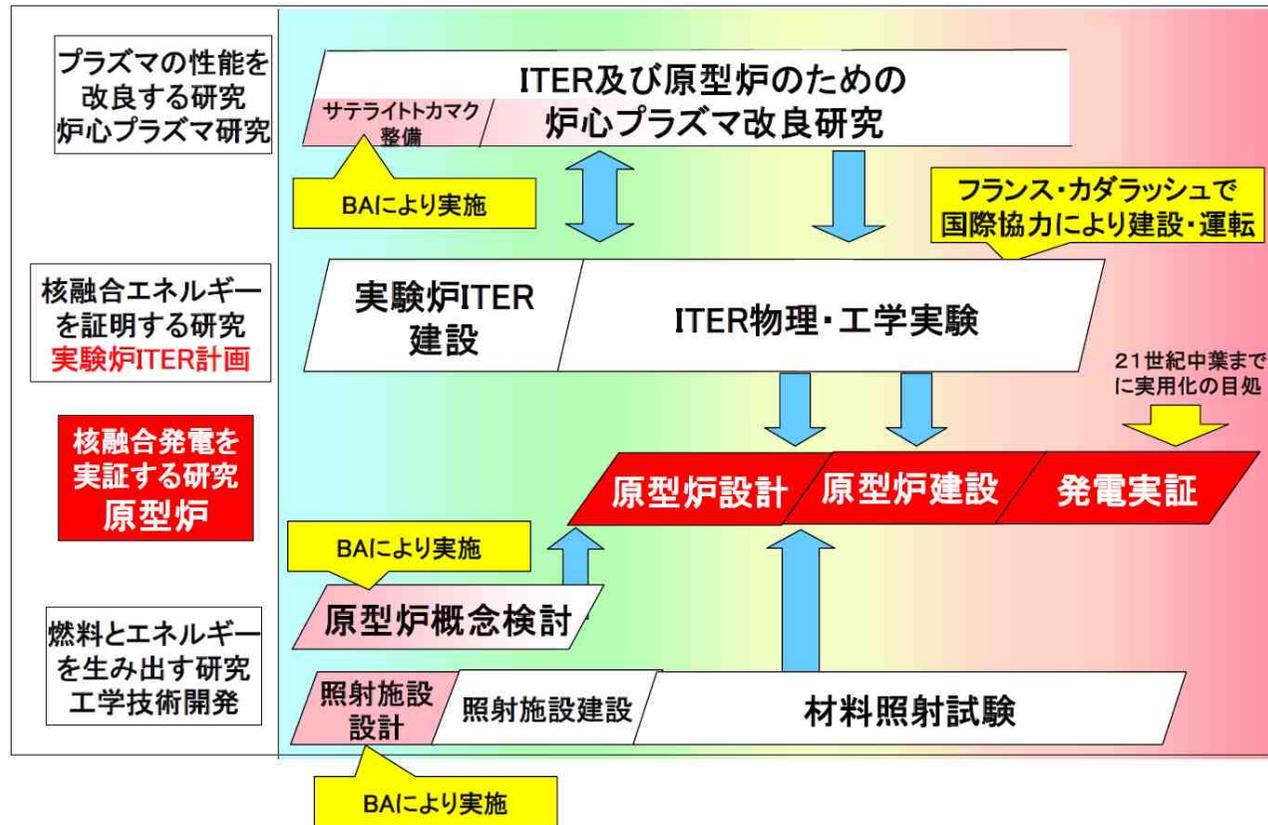
- ・高いエネルギー増倍率(Q)を容易に達成可能。
- ・連鎖反応により多量の中性子が得られる。

## 核融合

- ・Q値を高めることは、現時点では簡単ではない。
- ・核融合反応により、14MeVの高速中性子が得られる。

- ・JT-60のような**Q=1程度の装置**でも、Q=30程度の核分裂炉と組み合わせれば**十分に利用可能**。
- ・高エネルギーの核融合中性子を、**高レベル廃棄物の核変換処理**や**核分裂燃料の増殖**などに有効活用することができる。
- ・核融合部分のQ値が低いため、核融合材料に要求される照射耐性を大幅に下げることが可能であり、**既存の材料で十分に対応**することができる。
- ・核分裂中性子を利用することにより、核融合燃料の一つである**トリチウムの生産が容易**になる。

# 核融合の早期実現をめざして



十年磨一剣



四十年磨一核融合炉

日本と中国が研究協力を続けることにより、一つの核融合炉を早期に築き上げたい