

# 第1回 イノベーション政策強化推進のための有識者会議

## 「核融合戦略」

### (4)核融合を巡る技術・国際動向について

9月30日(金)1530~1700

小西哲之

京都大学・京都フュージョニアリング(株)

FUSION for the FUTURE

中央合同庁舎第8号館8階 特別大会議室



# 核融合の新たな流れと動向

- 1) これまで起きたこと
  - 世界で民間核融合企業が起業
  - 低炭素資金を背景に大規模資金を獲得
  - 民間による核融合開発競争が開始
  
- 2) 今起きていること
  - 一部の国が「核融合産業」の重要性に着目
  - 民間の活動を取り込んだ新たな核融合産業化に着手  
(将来に向けた核融合計画の二極化)
  - 新たなエネルギー技術地政学の問題意識
  
- 3) これから起こること
  - 国際的な核融合計画の再編成
    - 特に民間を中心に連携と淘汰
  - 核融合産業の市場シェア競争と国家戦略
  - 人材と技術の交流と分配

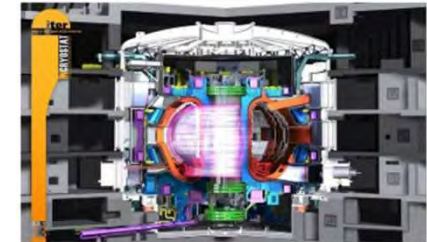
# 「官」主導の核融合

## ■ 国際協力機関であるITERと各国が開発を推進

国際機関



- International mega project, participated by US, Japan, EU, China, India, Russia, and South Korea
- First plasma in 2025, plant operation in 2035.
- Estimated cost is \$20-30 billion



© ITER Organization



「官」  
主導



EUDA

JADA

CNDA

“Science” としての開発  
” Pilot Plant”

Public Private  
Partnership

「民」  
主導

日本、EU、韓国、中国は  
国の政策として原型炉  
(DEMO) を開発する計画



UK Atomic  
Energy  
Authority

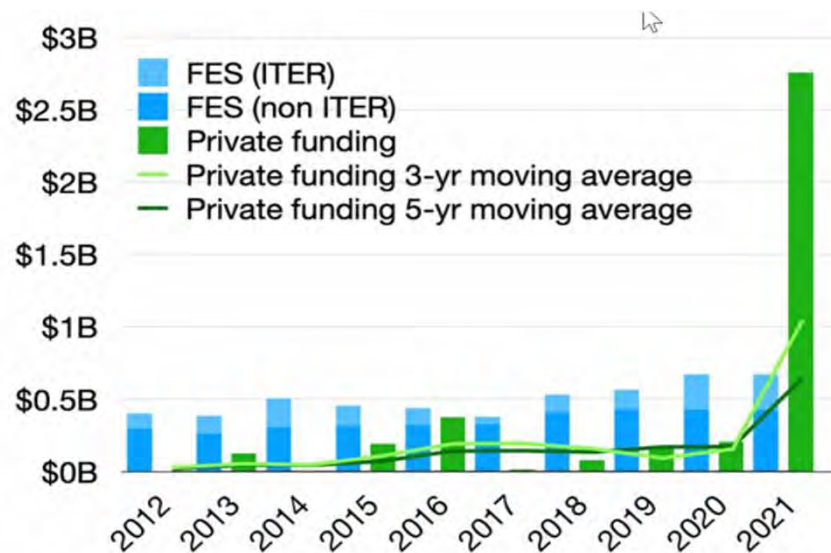
Brexit  
公開公募による調達

- ・ 民間計画はほとんどない
- ・ 国の機関が装置を開発
- ・ 販売しない
- ・ 企業は調達に対応

# 民間核融合の活動

## 民間に重心が移り始めた核融合開発投資

- ・ 核融合研究開発はこれまで一貫して公的資金で実施。
- ・ ここ数年で私企業への投資の拡大により比率が逆転。
- ・ 実験装置の開発に総額3,000億円以上投じられている。



Credit: Sam Wurzel



# 英米中心の新たな核融合計画



## 背景

ベンチャー企業のビッグサイエンス領域への進出  
(e.g., SpaceX)

これまでの研究成果と  
新たなEnabling  
Technologies

パリ協定  
グリーンニューディール

## 変革

ESG投資・ダイベストメント  
核融合を選択する投資

核融合炉の実現見通し  
(ITER+それ以降)

自国に核融合産業を創り出す  
政治意向

発電に  
向け  
加速



2040年



2035年



20年後

15年後

8年後!

# 英国の動向

核融合業界における官民パートナーシップの広がり  
英国で進む官民実験炉建設（英国原子力公社＋民間核融合）

## 公的プログラム

Demonstrate the commercial viability of fusion by building a prototype power plant

Build a world-leading fusion industry which can export fusion technology around the world

Spherical Tokamak for Energy Production (STEP) targeting 2040.

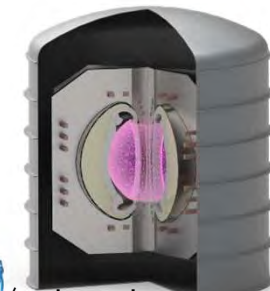


<https://step.ukaea.uk/>

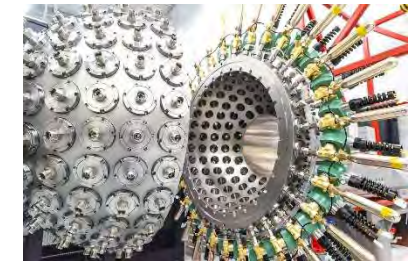
## 世界の民間企業と協力



<https://tokamakenergy.co.uk/>



<https://generalfusion.com/>



輸出用国内産業としての核融合に重点。

# 米国の動向

## 宇宙領域における官民パートナーシップの成功

公的プログラム -  
長期ビジョンに基づく戦略的プロジェクト

スタートアップ -  
民間資金によるアジャイルなイノベーション



官民パートナーシップ -  
長期ビジョンと民間のイノベーション

4/19にホワイトハウスから商業核融合イニシアティブの発表。  
Private Sectorのリソースを活用したコンソーシアムで推進。

2022/4/19 Commercial Fusion Energy実現を目指すと明確に示し、  
三つのイニシアティブを発表

風力や太陽光で米国内に産業を創ることができなかった覇権を取り戻すべく、核融合で“新産業”を創るという

1. Community Engagement
2. Department of Energy Agency-Wide Fusion Initiative  
: ARPA-Eの枠組みを使ってコンソーシアムを形成しながら推進
3. Funding to Advance the Science for a Fusion Pilot Plant: DOE announced two funding opportunities totaling \$50 million
4. 核融合業界からはこの金額では不十分であるという認識

この声明には民間の業界団体であるFIA(Fusion Industry Association)の  
声も反映

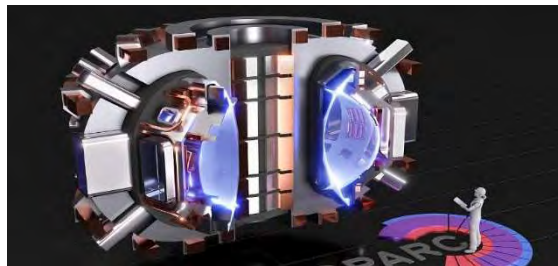
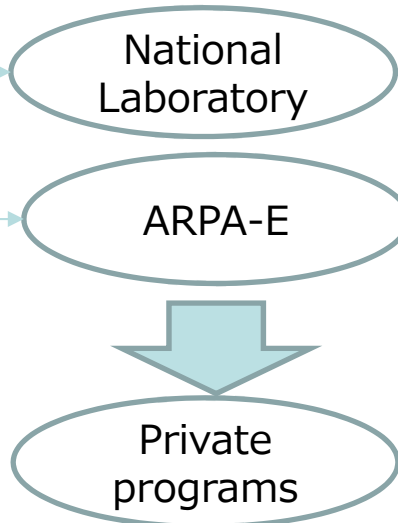


## 米国の戦略

4/19にホワイトハウスから商業核融合イニシアティブの発表。  
Private Sectorのリソースを活用したコンソーシアムで推進。



政府が直接的な核融合炉を運営するのではなく、プログラムを通じて、民間が開発推進を進める仕組み



<https://cfs.energy/>

MIT発のCommonwealth Fusion Systemなど  
スタートアップを積極的に活用・育成



## 欧州の戦略

- ・基本的にはITER-原型炉路線(公的計画)
- ・民間に、多数のITER調達対応企業が存在
- ・ITERにより産業界は隆盛
- ・「核融合産業の基礎」は認識されている
- ・ITER調達後への不安がすでに発生している。

## 欧州各国の動向

- ・欧州は単一ではない
- ・すでに「核融合を持つ国」と「核融合を持たない国」の差が顕在化
- ・今後の産業化への国家の寄与が開始されている

# 民間の資金

## 累計5,000億円の資金調達

Company	Location	Launch date	Concept	Investment (US\$) as of March 2020
TAE Technologies	Orange County, CA, United States	1998	Field Reversed Configuration (FRC)	~770M
General Fusion	Vancouver, BC, Canada	2002	Magnetically confined acoustic compression	~300M
Commonwealth Fusion Systems	Cambridge, MA, United States	2017	Tokamak (with HTS magnets)	180M
Tokamak Energy Ltd.	Oxford, United Kingdom	2009	Spherical tokamak (with HTS magnets)	~150M
First Light Fusion Ltd	Oxford, United Kingdom	2011	Hypervelocity inertial confinement	~73M
ZaP Energy Inc.	Seattle, WA, United States	2015	Sheared-Flow-Stabilized Z-pinch	~14M
Helion Energy	Redmond, WA, United States	2013	Field reverse configuration (FRC)	~12M
MIFTI Fusion	Tustin, CA, United States	2008	Z-pinch	~8M
Lawrenceville Plasma Physics	Middlesex, NJ, United States	2003	Dense Plasma Focus (DPF)	~7M
Proton Scientific	Oak Ridge, TN, United States	2012	Electron Beam Fusion (EBF)	~5M
Compact Fusion Systems	Santa Fe, NM, United States	2017	Stabilised Linear Compression	~4.4M
CTFusion	Seattle, WA, United States	2015	Spheromak	3M
Hyperjet Fusion	Chantilly, VA, United States	2017	Plasma-jet liner compression	~2M

2021年投資額  
Additional

➡ 1 billion  
USD  
➡ Additional  
2 billion  
USD

➡ Additional  
0.5 billion USD

3,000億円  
(2021年単年)

累計2,000億円  
(2020年まで)

# 核融合の実現に足りない「装置」は？



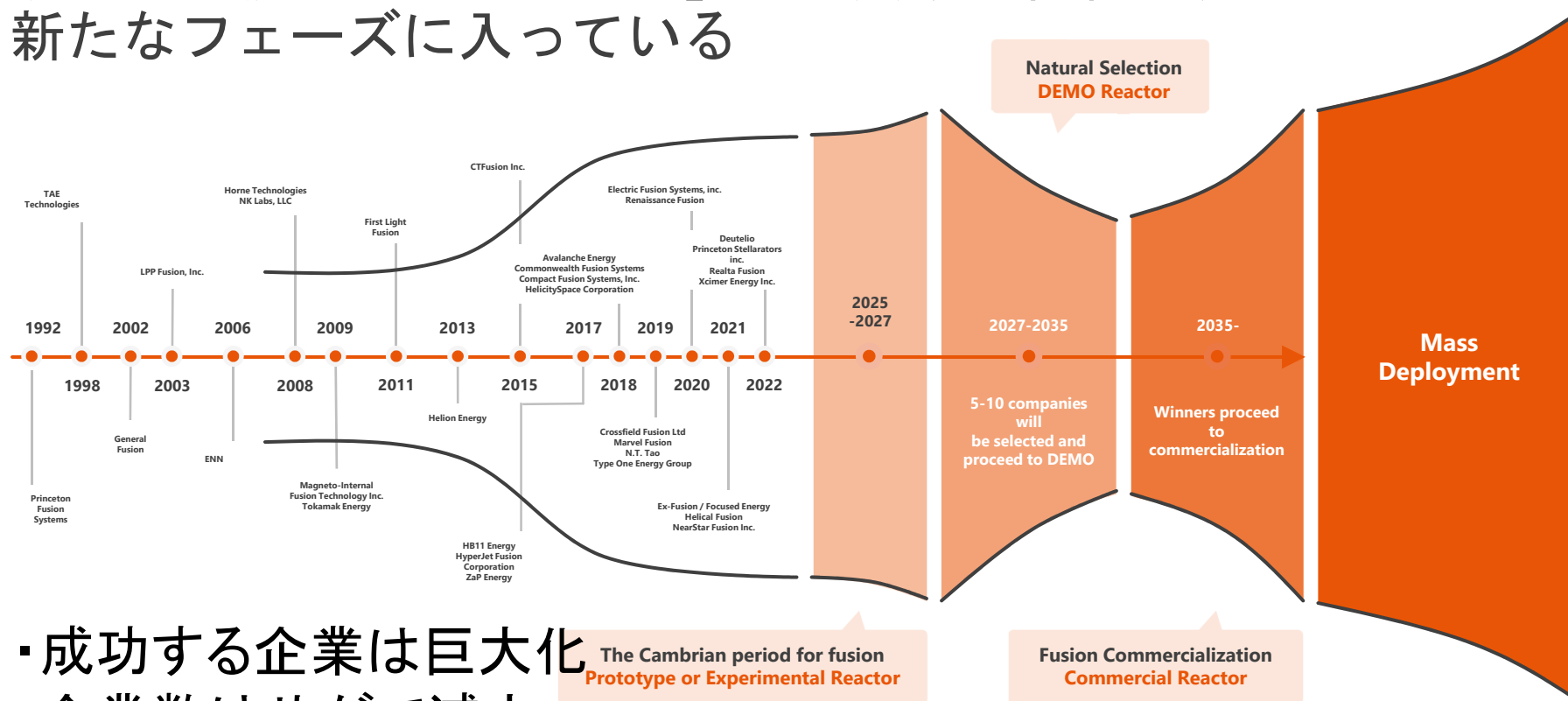
- 意思決定。「建設しよう」と意思決定する主体。
  - ・コンセンサスやピアレビュー、全会一致では決まらない
  - ・「やろう」という意思を共有する人たちが実行できる
- 資金。経済的に核融合プラントを成立させるメカニズム。
  - ・電力会社は当面必要としていない(電力市場は飽和しつつある)
  - ・発電で(少なくとも当初は)黒字になる見込みはない
- 人員と知識、経験
  - ・プロジェクトを実行する強力な組織とその人員。
  - ・急速に人数を確保し機動的に組織化する主体。
  - ・蓄積された知識、技能の継承と伝達、教育

## 足りないのは主に社会的技術？

- 産業技術
  - ・モノを作り、売る「サプライチェーン」
  - ・イノベーション。今、公的研究機関も大企業も保守的

# 起こりつつある変化

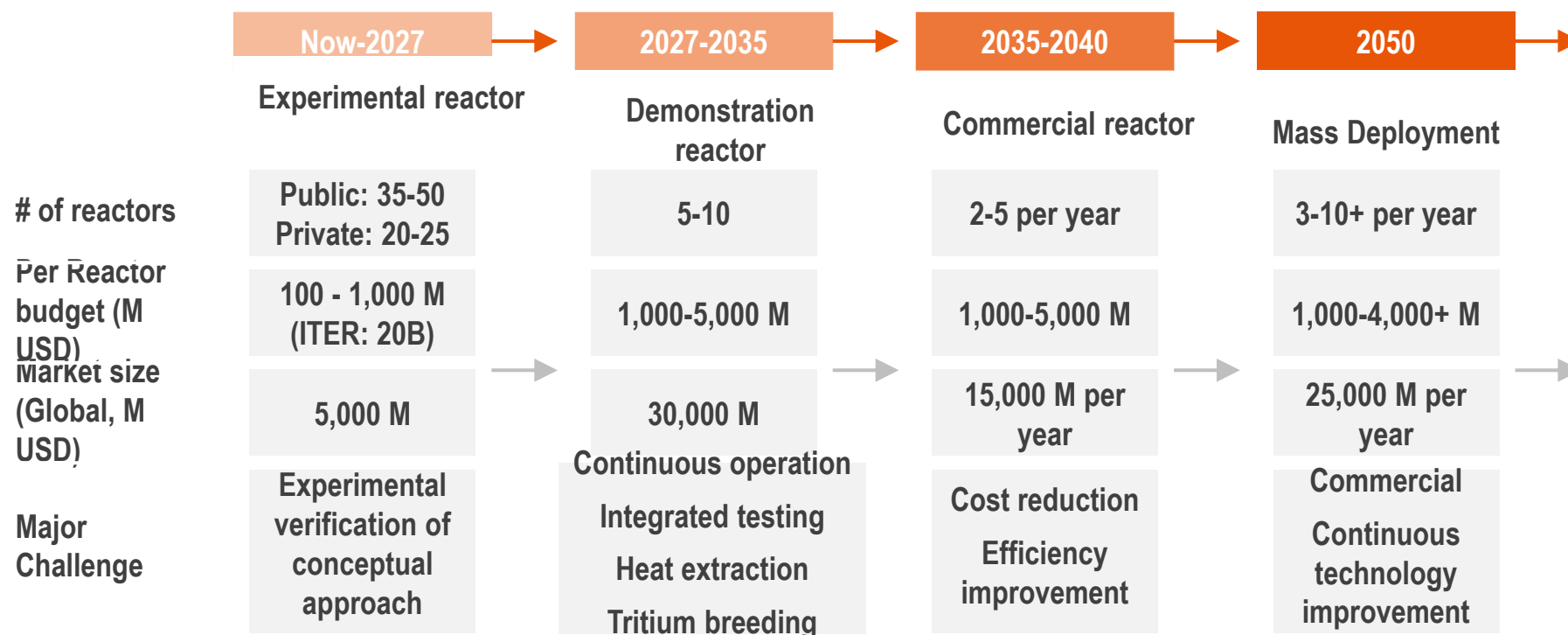
すでに「核融合ベンチャー」の勃興期は終わり、  
新たなフェーズに入っている



- ・成功する企業は巨大化
- ・企業数はやがて減少へ
- ・政府の関与、企業間の協力関係、合従連衡
- ・サプライチェーンの統合と構築

# これからの核融合市場

「発電」より前に市場は存在している。（実験装置が巨大な市場）  
その分配は2040年頃までには終わる。



# まとめ

- ・ 核融合の動向は、すでに民間情報なしには語れない。
- ・ 米英中心に核融合企業と国家計画が連携。
- ・ 各国は核融合産業の国産化政策を開始
- **核融合産業の国際競争**はすでに開始
- **産業化、基幹技術**の育成は急務
  - ・ その主体はスタートアップによるイノベーション
- ・ 民間新興企業は**核融合開発の新たなルート**
- ・ わが国は、「モノづくり」で技術優位
- ・ しかし、**産業化**では遅れをとる
  - ・ 将来の**核融合炉建設の主体も民間企業**