



2026年1月29日
慶應義塾大学 日吉キャンパス

京都フュージョニアリング（株）
フュージョン産業の現在地 — ブランケ
ット・トリチウム・DEMO設計から読
み解く日本の戦略

小西 哲之 創業者・代表取締役

- ・そもそもエネルギー環境問題とは
- ・エネルギーとリスク
- ・二酸化炭素とエネルギー
- ・スタートアップの戦略

小西 哲之

- エネルギーと物質の流れとして、その問題を分析し、答えとして核融合研究をしてきました。
- エネルギー・環境と社会の関係は、この数年で大きく変わりました。
- この歴史的転換の意義と、将来の展望についてみてみましょう。
- さらに、「核融合の世界の最新の状況」をご説明します。
- その結果、どうして「核融合の会社を創業する」という結論になるのかをお話したいと思います。



今、新たな挑戦が必要です。



地球の気候と
環境を守るため



子供たちと未来の世代の
健康で安全な生活のため



人類という生き物の
生存のため



世界の平和と安定のため

エネルギーは
何ができるでしょう？

もうすこし問題をかみ砕いてみると。。。。

エネルギーは人類の持続を可能とするか？できるとしたら？

- エネルギー技術開発として何を解決するか（学生として）？
- 資源、環境、社会への影響評価と対応
- 食料、水、資源、経済成長、人口等の問題とどう関係するか？

エネルギー研究者、教育者、さらには**ただの科学者？市民？**として。

- エネルギー研究開発の意義と目的



エネルギー研究は、今何を目指していて、これからどこへ行くのか？

人類の持続可能な発展が究極の目標？



第1部：

エネルギー問題ってなんだろう

SDGs —現在の価値観の枠組み

Sustainable Development Goals : SDGs

- 国連の Sustainable development Summit 2015で採択。
- 2030 アジェンダとして2016 から 2030に達成すべき 17 のゴールが設定された。

- ⑦エネルギーをみんなに
そしてクリーンに
- ⑧働きがいも経済成長も
- ⑨産業と技術革新の基盤を
つくろう
- ⑪住み続けられる街づくりを
- ⑫つくる責任つかう責任

他にもいろいろ関連するが…



http://www.unic.or.jp/activities/economic_social_development/sustainable_development/2030agenda/sdgs_logo/

エネルギー問題って？

誰でもが、エネルギーの消費者であり、利用者。場合により、生産者。

世の中の誰でもが、関わっていて、かなりの人に関心を持っている。

一部のエリート？専門家？はよく知っているはず。本当？

工学だけではない。生物も、経済も、環境も、文系の感覚も必要だし、説明できないといけない。はず。

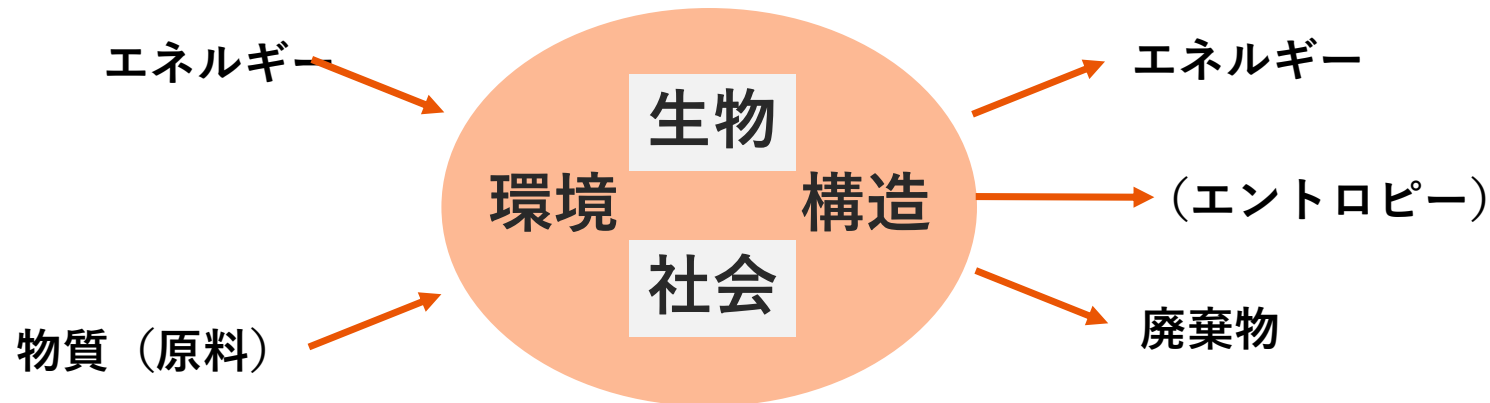
**エネルギーについての情報は多い。
考えなければならないのは、「技術」だけではない。**

- エネルギーの生成、変換、利用の技術
- 製品、価格、市場性（エネルギーそのものだけでなくその資源、原材料、装置、輸送も。）
- （地球）環境問題、気候変動、環境影響
- 社会、経済、国際関係。知財権、核拡散。
- 安全性、環境汚染、廃棄物、環境適合性
- 持続可能性→人類の持続可能な生存のために。

では「社会が必要とするエネルギー」って何だ？今の考え方では、

「持続可能な発展」 っていうらしい。(Lohas:Lifestyle of Health and Sustainability)

安定なシステム (の必要条件)




入ったものと出たものがバランスしている

全体として成長、あるいは衰退することも、崩壊することも。

今起きていること

- エネルギー技術の本来目的は、人類の“**持続可能な発展**”
 - ➔エネルギー技術は現在および将来のエネルギー市場、地球環境問題への対応が必要。
- エネルギーは本当に足りない？
 - ➔**実は枯渇の恐れは当面ない。**
 - それどころか、供給過剰、自由化市場で電力卸売り価格はゼロ円以下になることも。（エネルギー自体の価値下落）
- パリ協定に大部分の国が調印し、削減目標に合意。
- 人類は**カーボンバジェット**を近い将来使い切る（2040）

A large orange circle graphic containing text.

二酸化炭素「**削減**」の方が
エネルギー問題の**主役**

A sunset over the ocean with a white horizontal bar in the middle containing text. The sky is a mix of blue, orange, and purple, with clouds catching the low sun. The sun is a bright yellow circle on the horizon, reflecting on the water. Waves are breaking on a rocky shore in the foreground.

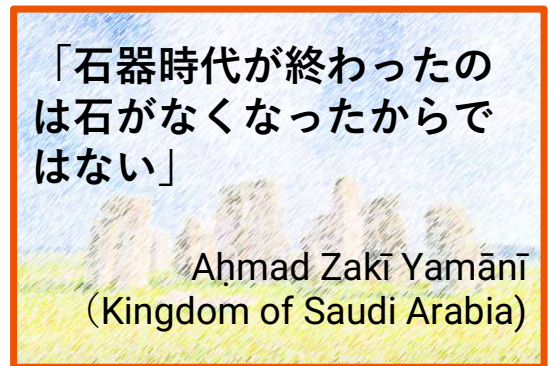
「枯渇」なんておこらない！

でも、供給の制約はある。供給の「不安」もある。

「枯渇」は本当にあるのか？

「枯渇」は物理的な欠乏ではない。

- 可採年数R/P比とは、つまり探す理由の切実さ。
 - つまり、「いない」「ほしくない」ときは探さない。
 - 今見つけた資源は、可採年数後までお金にならない→可採年数が減れば、資源探査が進み、見つかる。
- 高くなれば不採算で資源とみなされなかったものが算入され、
 - 資源は何もしなくても増加する（遠隔、低品位、非在来。。。）
 - 高くなれば消費が抑制され、可採年数は伸びる。
 - 採掘技術、生成技術、利用技術が進歩する。
 - 代替される。（技術が進む。）



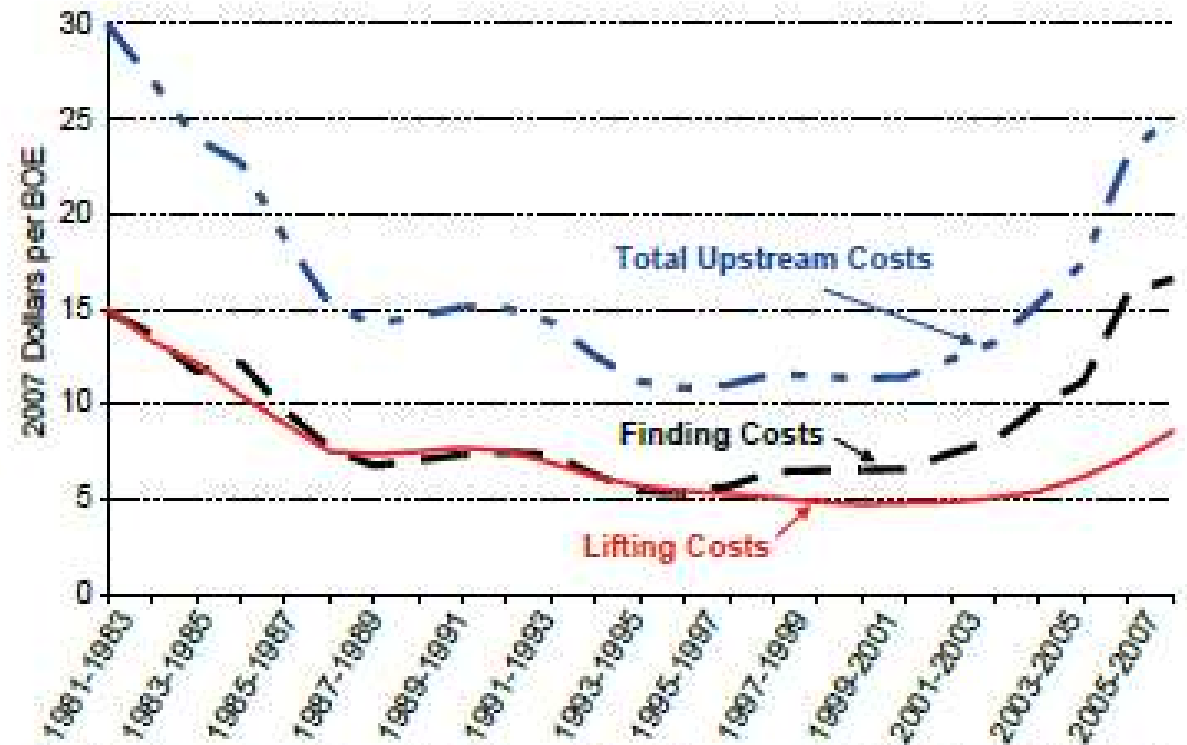
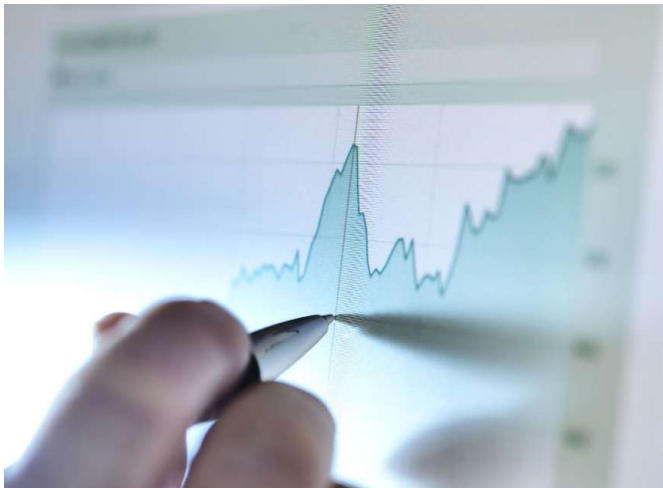
にもかかわらず、

「枯渇」は起こるし、資源制約も存在する。

石油の原価

石油の原価は、昔からそんなに変わっていない。

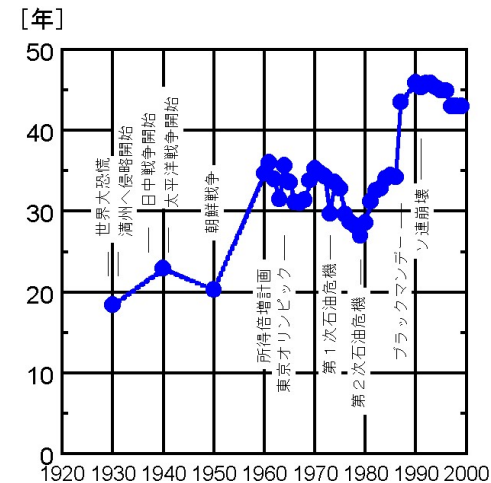
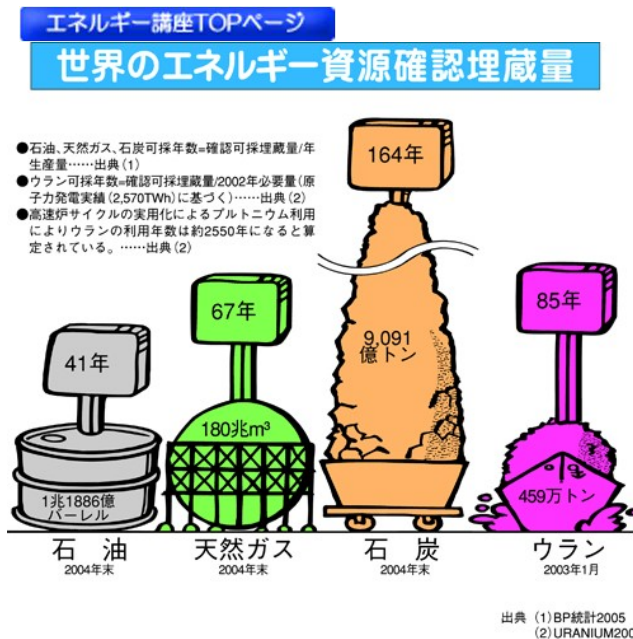
むしろ、技術開発で幾分安くなった。生産量は2桁以上増えた。



Note: Upstream costs are finding costs plus lifting costs for each three-year period. BOE = Barrels of oil equivalent.
Source: Energy Information Administration, Form EIA-28 (Financial Reporting System).

可採年数R/P比とは何か？

可採年数R/P比とは、あるとわかってる量/一年に使った量。
毎年見つかるし、コストが合わないとなかったことにされる。



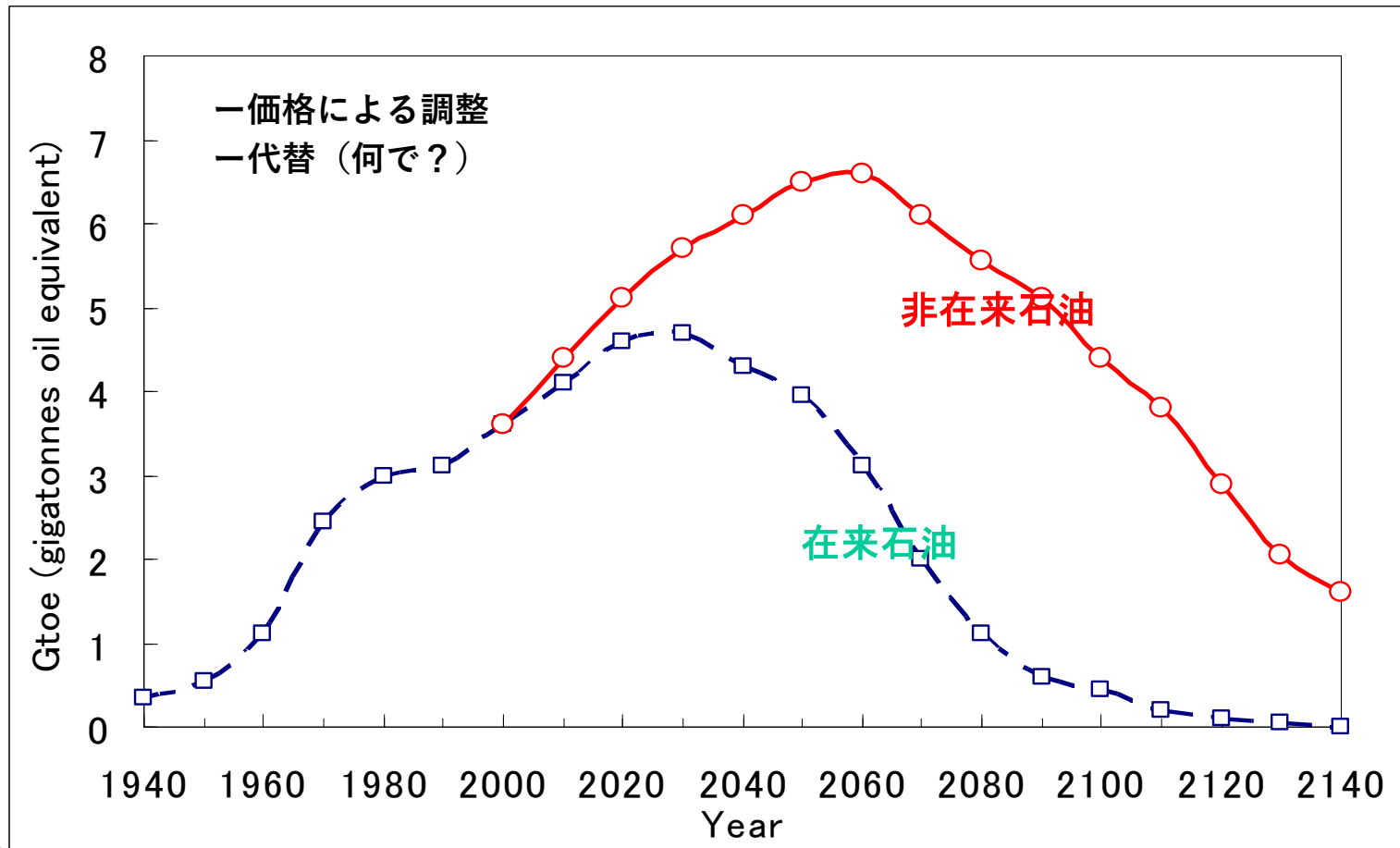
石油の可採年数推定値の変遷

通商産業省資源エネルギー庁官庁企画調査課編、「総合エネルギー統計」, 通商産業研究社(1999).

日本石油(株)編、「石油便覧」燃料油誌新聞(1988).
矢野恒太記念会、「日本国勢協会1999/2000」国勢社(2000)などのデータより作成

使えば確かに減るが…

資源制約

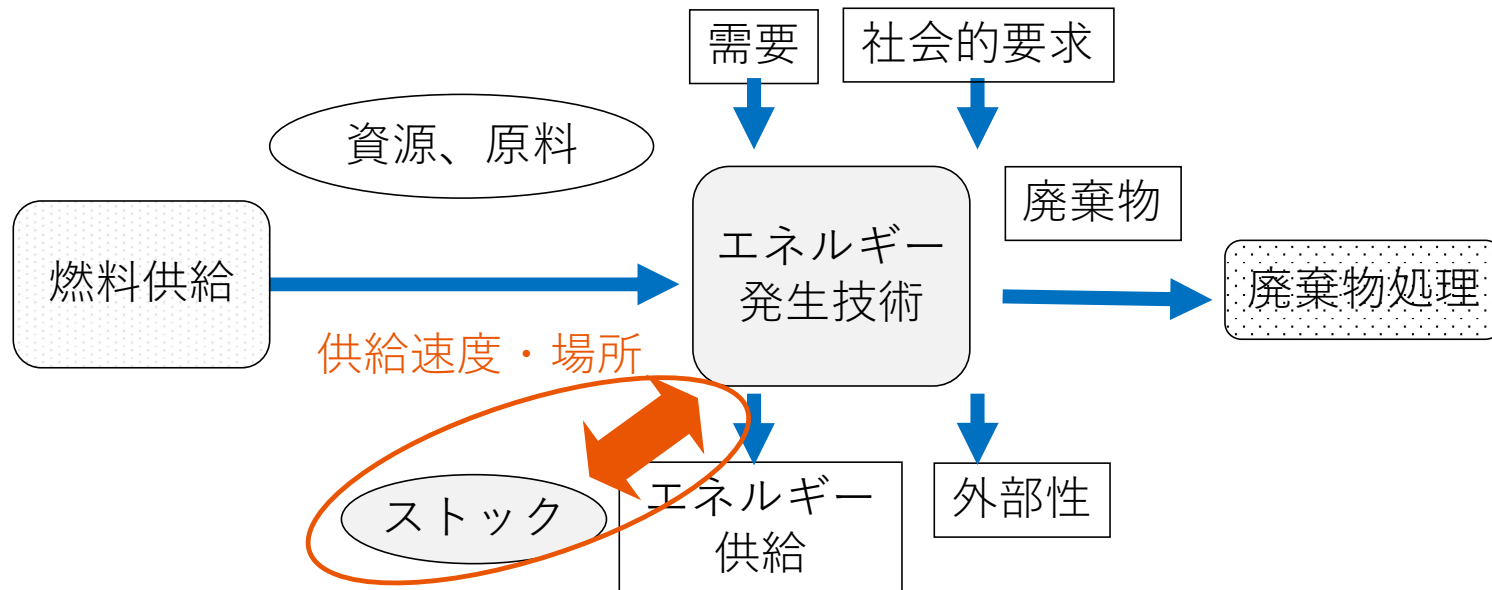


エネルギーのサプライチェーン

エンジン、生体から、国家、社会まで、すべてこれで表せる。

需要 - 届けてほしいという要求

インフラ - 届けるための設備とシステム



このすべてが繋がって初めて、エネルギーは使われる
→ どれか一番少ないものが全体を止める。

変動吸収容量：即応性、予備力 不安定性 設置場所、イメージ、社会的受容

天然ガスのインフラ

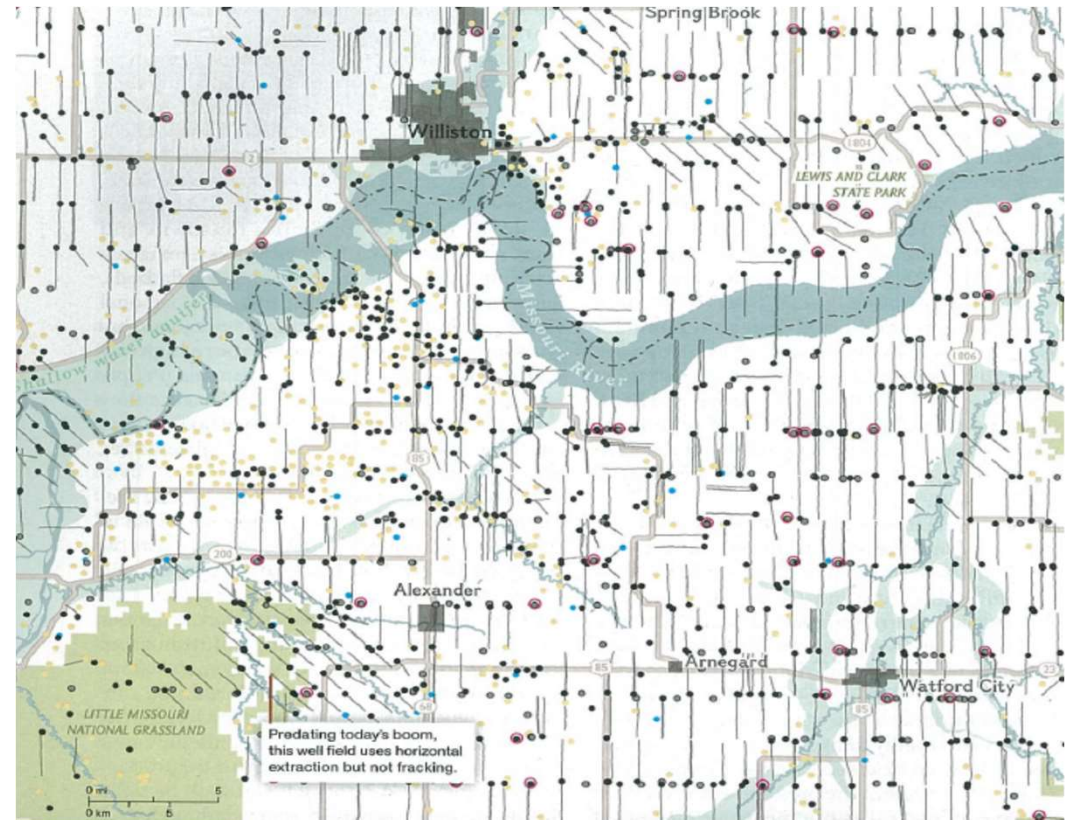
ヨーロッパの天然ガスパイプライン。



http://ec.europa.eu/energy/international/russia/doc/2009_the_european_natural_gas_network.pdf

石油採掘のインフラ

北米にはシェールガス・オイルの
インフラがあった。



北米の原油の採掘。油田といっても、小さな坑道を掘り進め、高圧水や薬剤を注入することで回収される。(National Geographic, vol.223(3), 2013.)

エネルギーは、あってもなくても、人を脅かす。なかったら、困る。

あっても、いろんな理由で人に害を与えることがある。（そもそも、すべての科学技術は、人の「死に方」を増やしてきた）

最大の問題の一つが「気候変動」もう一つは、安全性。

「豊かになるため」だけでなく、「損害を減らすため」にも人はお金を使うことになる。

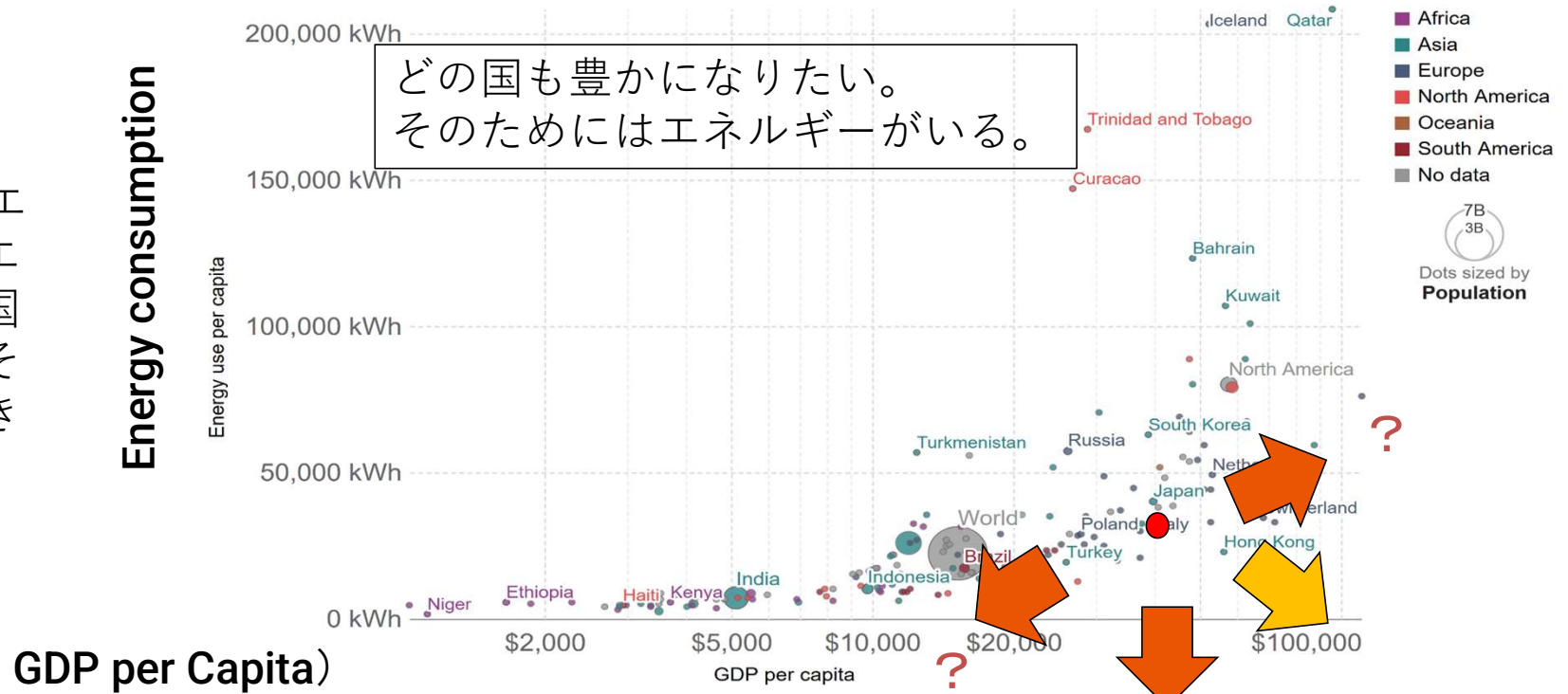
エネルギー供給と豊かさ

GDP per capita vs. energy use, 2015

Annual energy use per capita, measured in kilowatt-hours per person vs. gross domestic product (GDP) per capita, measured as constant international-\$.

Our World in Data

一人当たりのGDPとエネルギー消費。概ねエネルギー消費の多い国の方が豊か。しかしその効率には大きな開きがある。



(World bank dataより)

16世紀半ばに巨石文明がピークに



200年足らずの間にイースター文明は崩壊

(出典)The MOAI HP

22

1. ヒトは一日あたり、約2000キロカロリーのエネルギーを必要とする。
これは、アブラにして、何グラムに相当するか？
ヒント：油（炭化水素）の発熱量は1gあたり、大体40kJ。1cal=4J としてよい。
(1カロリーは純粋の水1グラムの温度を1気圧のもとでセ氏14.5度から1度だけ上げるのに必要な熱量)
2. これは電球にして、何ワットに相当する？

世界の石油消費は年間4000（百万キロリットル）、日本はそのだいたい5%。これは日本のエネルギー消費のだいたい半分になる。一人当たり一日何リットル使っている？

消費エネルギーの石油換算、ということなら、これが全エネルギーの半部なんだから、10リットルくらい、ということになる。
つまり、生きるのに必要な50倍、50人分くらいってこと。

さて、ここでとりあえず教訓。

まず、簡単に式を立てよう。桁と単位を間違えないこと。分母、分子は、どっちが増えたらどうなる、を考えればわかる。計算に単位をつけておけば、正しい単位で答えが出る。

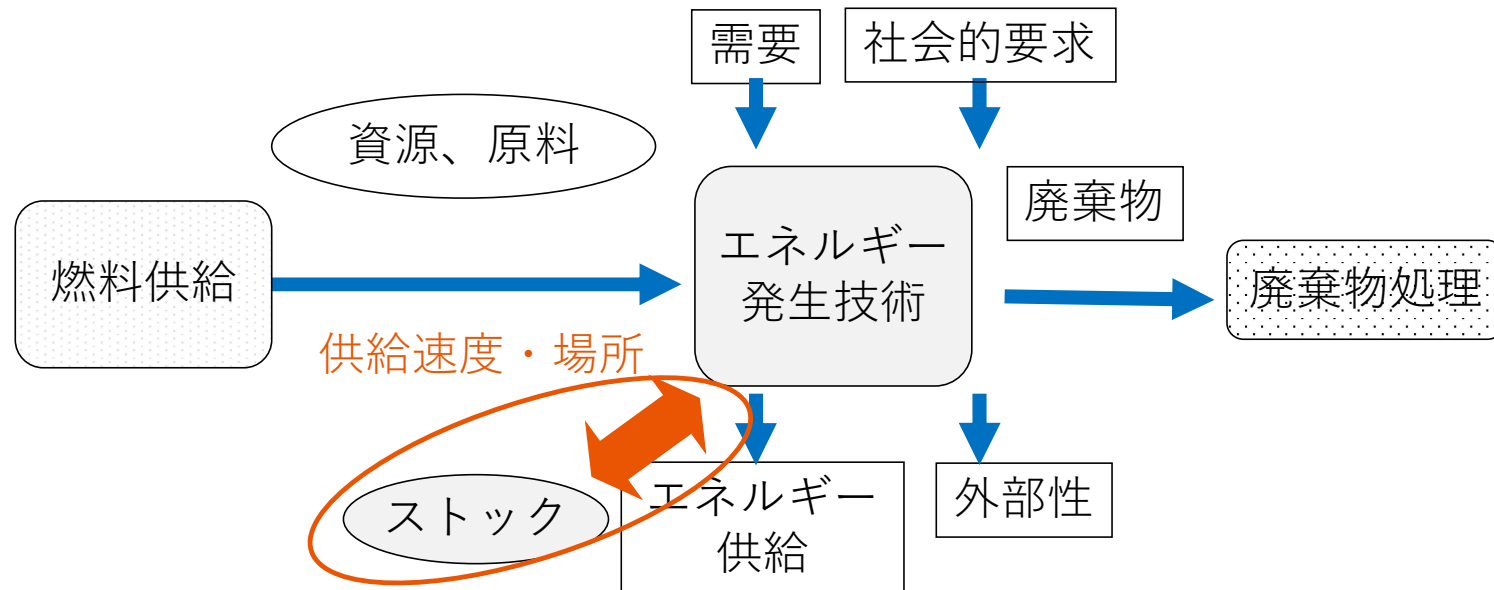
そしてそれ以上に、計算に頼らない、勘をみがく、見当をつける。
その中で、いくつか直感を裏切るものは、面白いから覚える。

エネルギーのサプライチェーン

エンジン、生体から、国家、社会まで、すべてこれで表せる。

需要 - 届けてほしいという要求

インフラ - 届けるための設備とシステム



このすべてが繋がって初めて、エネルギーは使われる
→ どれか一番少ないものが全体を止める。

変動吸収容量：即応性、予備力 不安定性 設置場所、イメージ、社会的受容

同じ図を使って、ここでは、その2回微分を考えてみます

「経済成長」は、GDPの増加率で計量される。
エネルギーのロジスティックスは、フロー、つまり、「 W = 単位時間あたりのエネルギー量」で表現される。

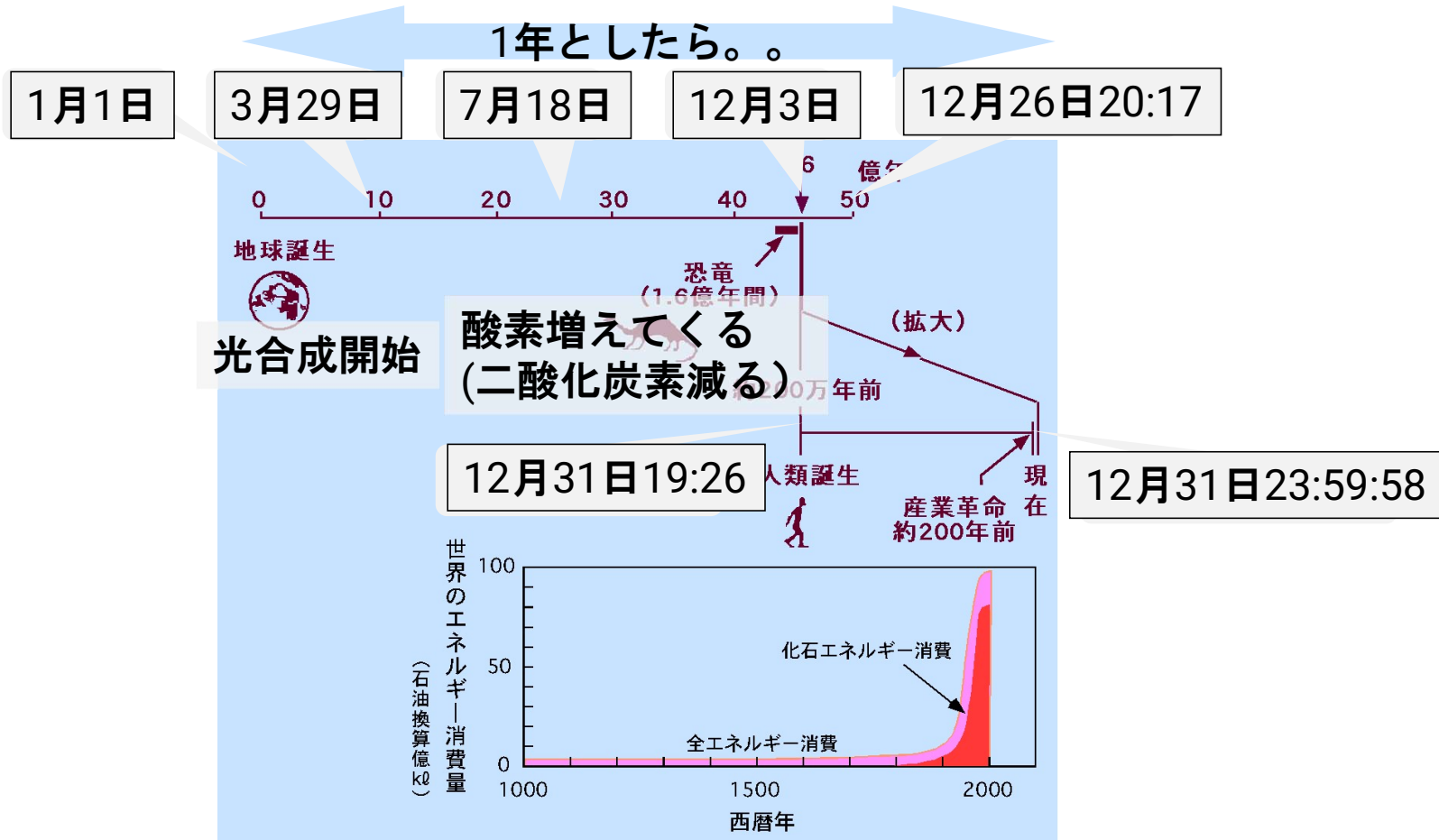
- これが、増やせないと、「エネルギー原単位」が増えない。
- エネルギー原単位が増えないと、GDPが増えない。

「高度成長社会は、エネルギー供給の急激な増加によって初めて可能になった。」

「高度成長社会」は、人類の目指す社会なのか？

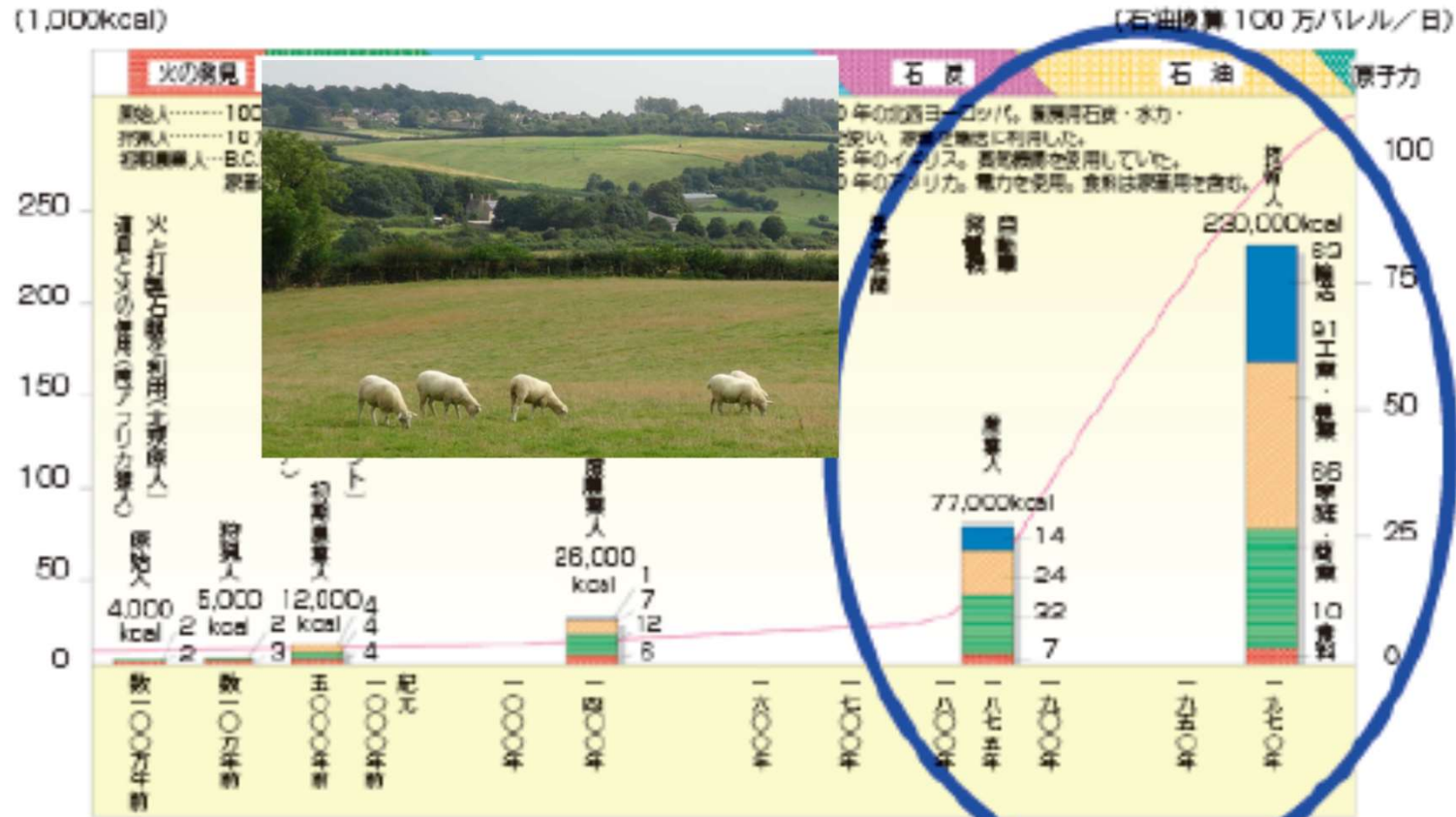
エネルギー革命、産業革命で始まった**一過性の現象**では？

地球の歴史とエネルギー



化石エネルギーは生物が数10億年かけて蓄積
→人類のたった1回の増加で化石エネルギー資源を使い尽くす

人類活動とエネルギー



- (注) 1. 棒グラフ[一人当たりエネルギー消費量](単位: 1,000kcal)。
 2. 曲線グラフ[世界のエネルギー消費量](単位: 石油換算 100万バレル/日)。
 3. バレルとは原油の生産・販売の計量単位。1 バレルは 42 ガロン(159ℓ)。
 かつて原油が樽(バレル)で輸送されていたことに由来。
 (資料): NIRA「エネルギーを考える」に初巻

ところが
本当になくなっていく
モノがある。

これは増えない。一方、必要量はかえって増えてる。

2040年になくなるもの



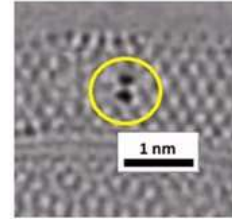
2005年



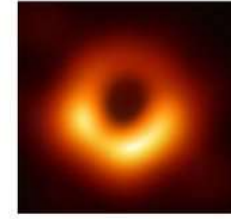
2015年



2025年



2035年



2045年



30枚入



20枚入



10枚入



0枚入



-10枚入

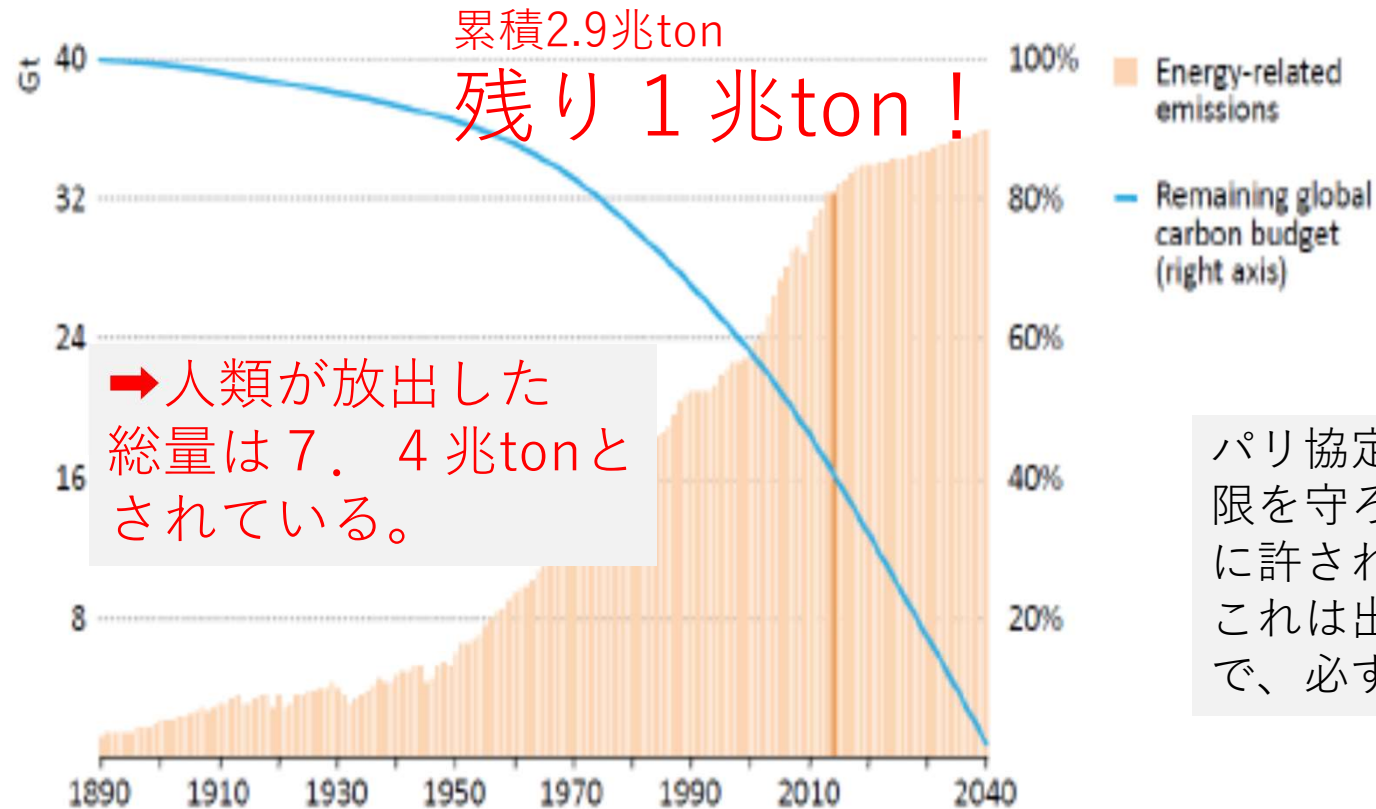
古典的カントリー●アム

シンギュラリティ



カーボンバジェット

Carbon budget and CO2 emissions



パリ協定で想定される2°C制限を守ろうとしたとき人類に許される
これは出せば残りが減るので、必ず枯渇する。

毎年の二酸化炭素放出量と残された許容量（カーボンバジェット）：IEA資料から

Source: IEA (2015). Global energy-related CO₂ emissions extrapolating from current national emissions pledges under the UNFCCC, compared to remaining carbon budget for a less than 50% chance of keeping to 2°C.

Stranded Assets (座礁資産)

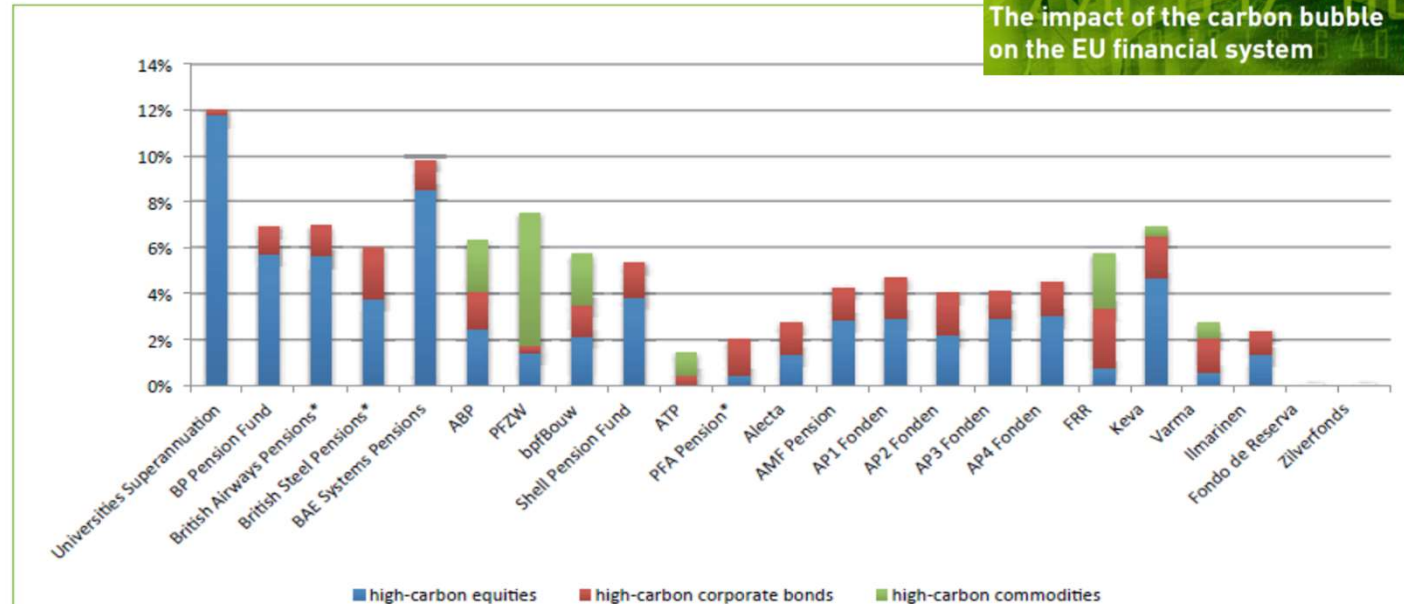
- ・ 二酸化炭素排出を伴う資産は将来価値を失う恐れ
- ・ 気候変動を悪化させる方向への公的資金の倫理的問題
- ・ すでに資本の非炭素技術への移行は始まっている
- ・ 大規模資産、機関投資家、特に年金資金は、長期価値の維持が必要

→CO₂排出できないことで化石資源資産は今後価値を保てない

- ・ CO₂削減技術・資源への資本移行は今後より大規模になる

Figure 4: Share of high-carbon investments in total assets

The Price of Doing Too Little Too Late
The impact of the carbon bubble on the EU financial system



欧州の主要基金・資産とそのうちの炭素に関する割合

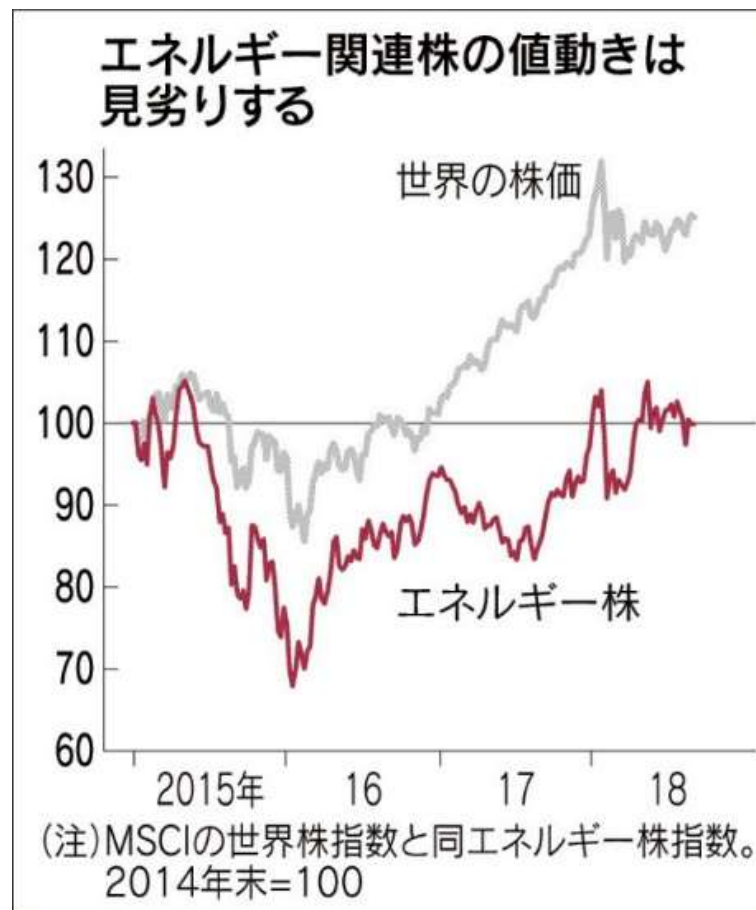
* no data on commodity investments available

Sources: 2012 annual reports of the analysed pension funds; Thomson ONE Database, "Shareholdings", Thomson ONE Database, viewed October 2013; AMF, "2012 AMF Årsredovisning", AMF, February 2013; ATP Group, "Annual Report 2012", ATP Group, 30 January 2013; bpfBouw, "Aandelenportfeuille per 30 June 2013", bpfBouw, 30 June 2013; FRR, "Report Annuel 2012", FRR, 12 April 2013; Pensioenfondsen Zorg en Welzijn (PFZW), "[In]directe beleggingen van PFZW in beursgenoteerde aandelen", PFZW, 31 December 2012; own calculations.

Divestment (投資引き揚げ)

日経2018.9.5より

欧州議会では議決・法制化で数10兆円相当がすでに動いている
売られた分は買われるので、環境への効果は疑問とされる



ダイベストメントの対象となっている主な企業

石炭・火力発電	グレンコア (スイス)
	コール・インディア (印)
	中国神華能源 (中)
	中国電力など電力各社 (日)
	Jパワー (日)
石油・ガス	エクソンモービル (米)
	ロイヤル・ダッチ・シェル (英蘭)
	ガスプロム (ロシア)
	中国石油化工 (シノペック=中)
	国際石油開発帝石 (日)

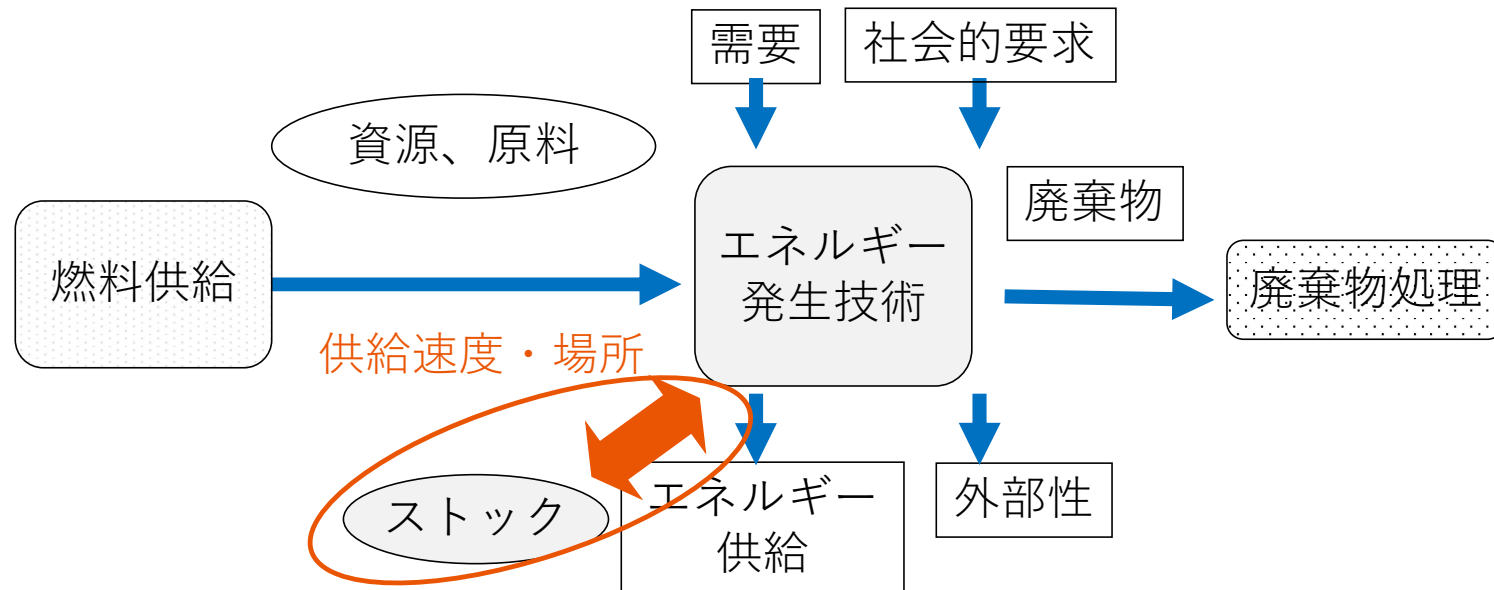
(注) ノルウェー公的年金などの開示情報

エネルギーのサプライチェーン

エンジン、生体から、国家、社会まで、すべてこれで表せる。

需要－届けてほしいという要求

インフラ－届けるための設備とシステム

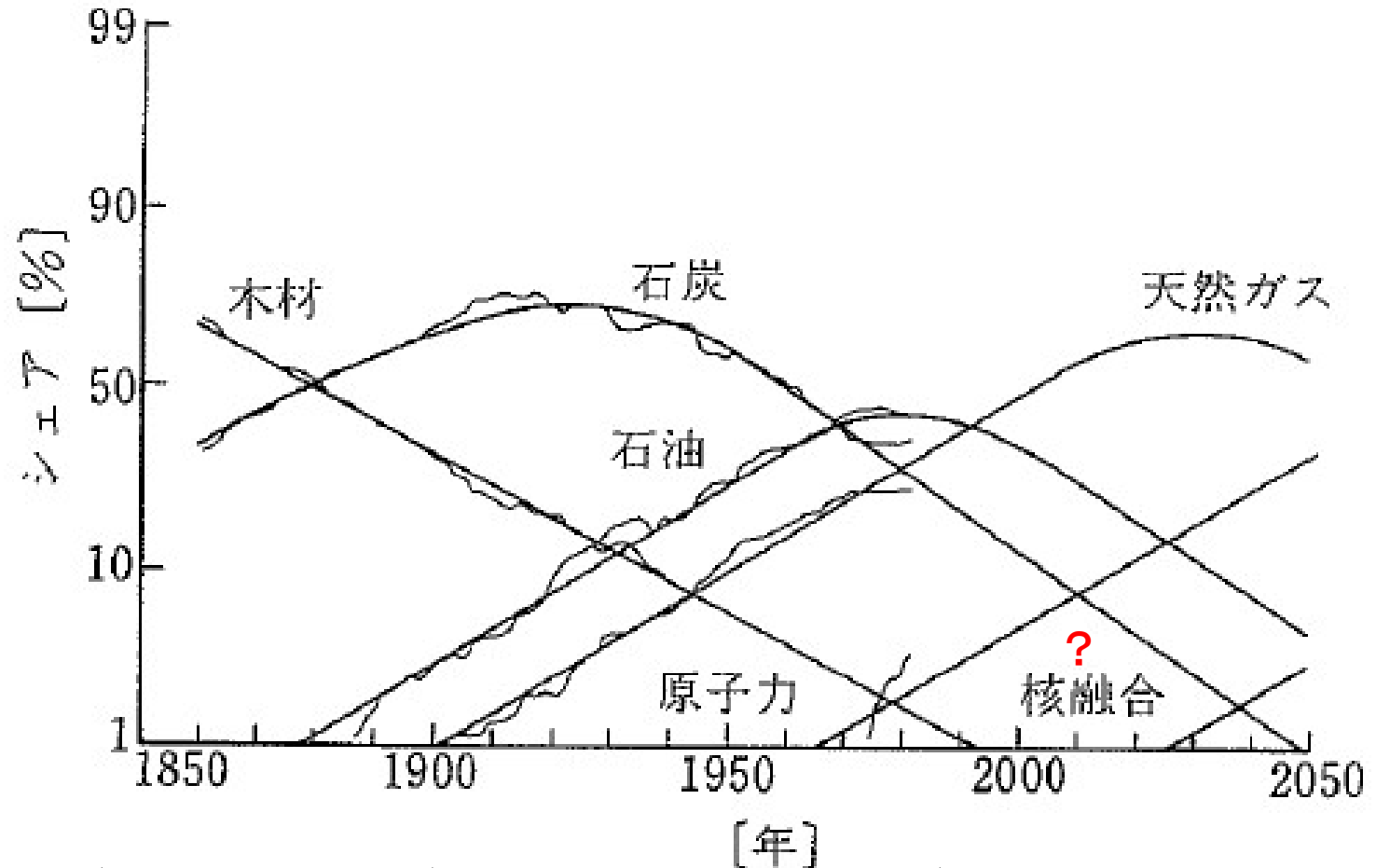


このすべてがつながって初めて、エネルギーは使われる
→どれか一番少ないものが全体を止める。

変動吸収容量：即応性、予備力 不安定性 設置場所、イメージ、社会的受容

エネルギー技術は変わる

欲しいから。
なかったら、困る。
より豊かになりたい。
より怖い被害を防ぐため。



エネルギー源の変遷。資源が無くなるからではなく、エネルギーの転換は起こっている。
C.Marchetti "How to solve the CO2 problem without tears, IASA,1988

(蛇足ですが) 情報収集について

大学レベルでは、エネルギー勉強したかったら何を讀んだらいい？

教科書はない！ **それが (本当の) 「大学の勉強」**

大学は、「知識人を育成する」。

「それまで知られていないことを明らかにする」。

教科書はクラシック。スタンダード。固定した知識。

新しい知見は、教科書に**だけ**はない。

⇒古い「常識」や「教え」を疑え。

⇒新しい情報を仕入れよう。知識人 (のタマゴ) なんだから。

(すべての情報には意図があるので、それを踏まえて分析)

I P C C 報告、政府文書 (エネルギー基本計画等) 、国際統計
そして、自分の頭で考えよう！

IEA Net Zero by 2050 報告書

COPがIEAに依頼した検討。「世界全体で、エネルギーばかりでなく、産業からのCO2排出量をネットゼロにする。」

それを達成するためのロードマップを、技術、産業分野別に示した。

まず、クリーンエネルギーの導入。これは2030年までがひとつのターゲット。でもそれだけでは全然足りない。

2050年までには大きなイノベーションが必要。それは、今後の技術開発努力に大きく依存している。

さらに、社会の選択、協力が不可欠。



いわゆる「白書」の類。我が国の政策は、こういう文書（全部公開です）を
共通の事実認識として策定され、実施される。

長期エネルギー需給見通し

平成27年7月
経済産業省

パリ協定に基づく成長戦略
としての長期戦略

令和元年6月11日
閣議決定

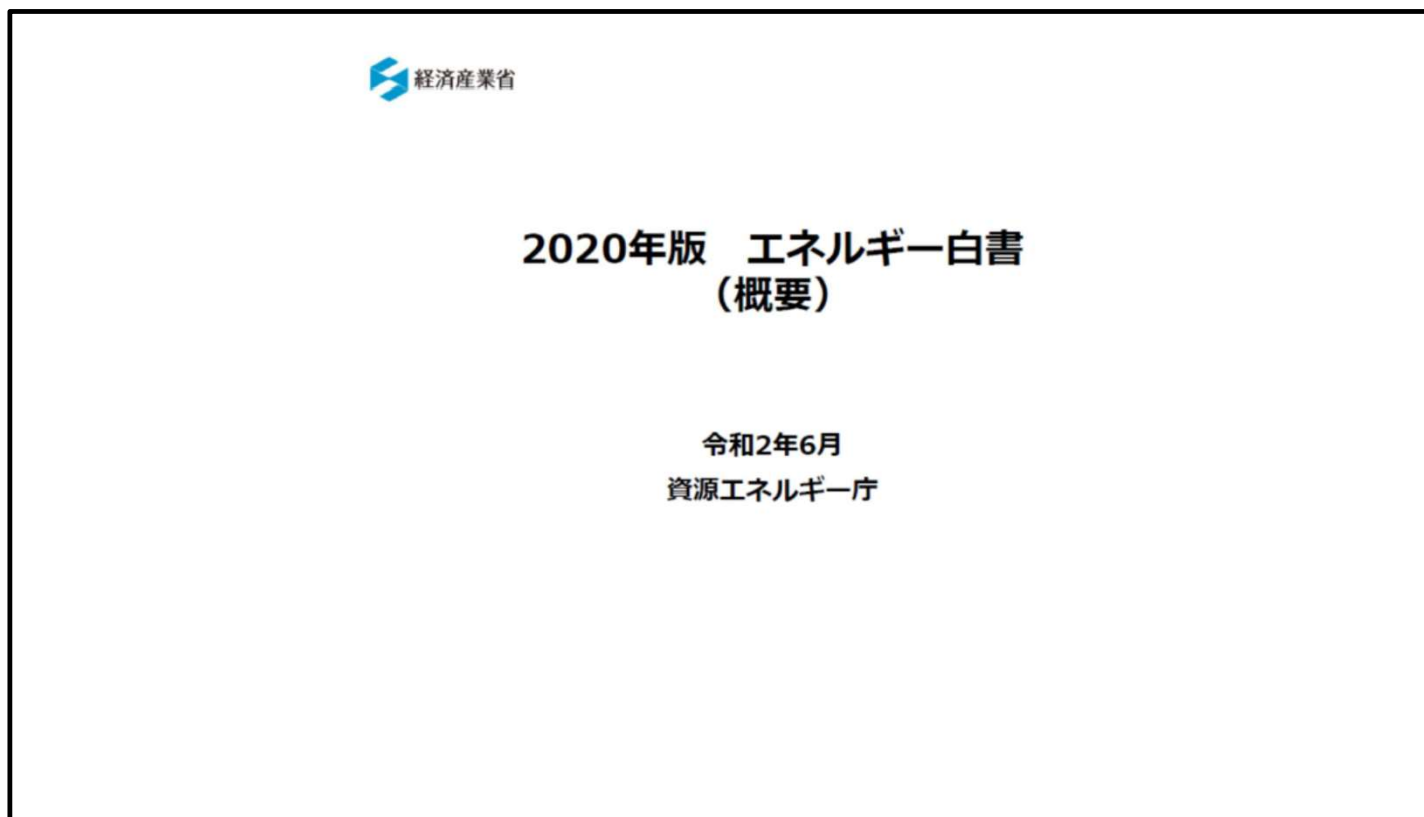


経済産業省

2020年版 エネルギー白書
(概要)

令和2年6月
資源エネルギー庁

いわゆる「白書」の類。我が国の政策は、こういう文書（全部公開です）を共通の事実認識として策定され、実施される。



2050年カーボンニュートラル
に伴うグリーン成長戦略
(案)

令和3年6月2日

内閣官房

経済産業省

内閣府

金融庁

総務省

外務省

文部科学省

農林水産省

国土交通省

環境省

https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seisaku/s-eicho/pdf/jikkoukeikaku_set.pdf

我が国のエネルギー供給体制の根本的な脆弱性

【エネルギー基本計画】

我が国は、エネルギー源の中心となっている化石燃料に乏しく、その大半を海外からの輸入に頼るという根本的な脆弱性を抱えており、エネルギーを巡る国内外の状況の変化に大きな影響を受けやすい構造を有している。

国民生活と産業活動の血脈であるエネルギーの安定的確保は、国の安全保障にとって不可欠なものであり、我が国にとって常に大きな課題であり続けている。

～はじめに～



これが核融合の新政策（



この時から「核融合」でなく「フュージョンエネルギー」と呼ぶよ
になりました。

フュージョンエネルギー・イノベーション戦略

令和5年4月14日

統合イノベーション戦略推進会議

1. はじめに

✓ 我が国におけるエネルギー問題、環境問題

異常気象等の気候変動による影響が深刻化していることを受け、世界各国が人類共通の課題としてカーボンニュートラルに向けた目標に取り組むを加速する中、我が国も 2050 年のカーボンニュートラル実現を掲げて、様々な取組を進めている。

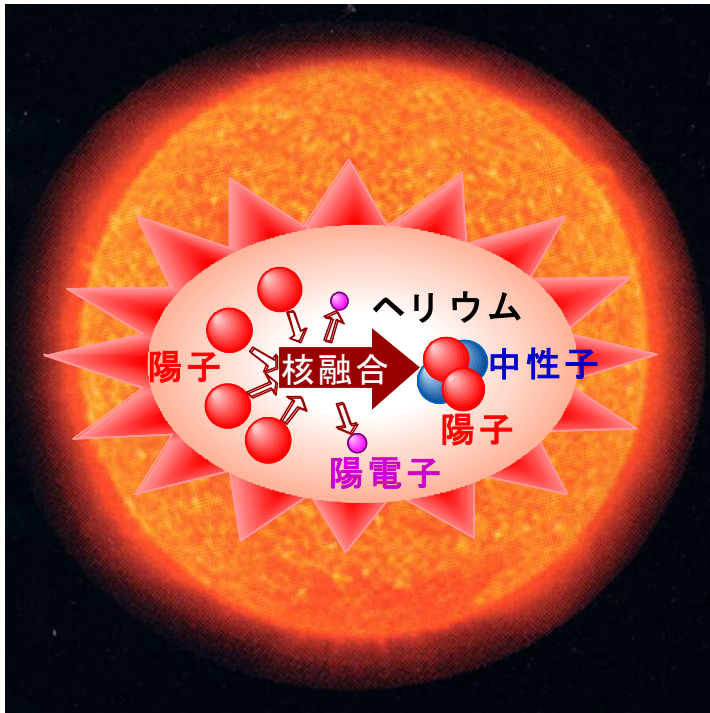
特に、2022 年 2 月に発生したロシアのウクライナ侵略により、原油・ガス市場等のエネルギー価格の高騰を始め、世界のエネルギー情勢はこれまでとは異なる様相を呈しており、その影響が我が国にも及んでいる。エネルギー自給率が 13.4%¹と他の OECD 諸国と比較しても低い²水準にある我が国にとっては、今後いかに化石燃料からクリーンエネルギーへ移行しつつエネルギー安全保障を確保していくのが重要な課題になっている。

✓ 解決策としてのフュージョンエネルギー

フュージョンエネルギーとは、軽い原子核同士（重水素、三重水素）が融合して別の原子核（ヘリウム）に変わる際に放出されるエネルギーであり、太陽や星を輝かせるエネルギーでもある。

フュージョンエネルギーは、①カーボンニュートラル（発電の過程において二酸化炭素を発生しない）、②豊富な燃料（燃料は海水中に豊富に存在し、ほぼ無尽蔵に生成可能な上に、少量の燃料から膨大なエネルギーを発生させることが可能）、③固有の安全性（燃料の供給や電源を停止することにより反応が停止）、④環境保全性（発生する放射性廃棄物は低レベルのみであり、従来技術による処分が可能）という特徴を有することから、エネルギー問題と地球環境問題を同時に解決する次世代のエネルギーとして期待されている。

核融合とは？



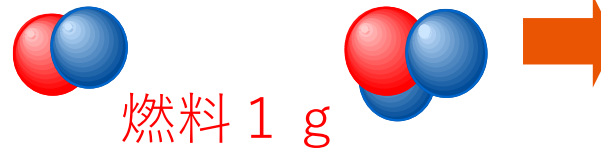
太陽の燃焼

中心温度：1,500万度
反応時間：100億年
燃料：水素

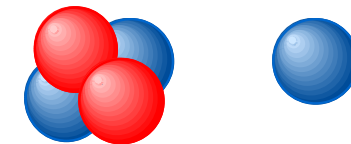
人工の核融合

温度：2億度
反応時間：1秒
燃料：水素の一種

重水素 トリチウム



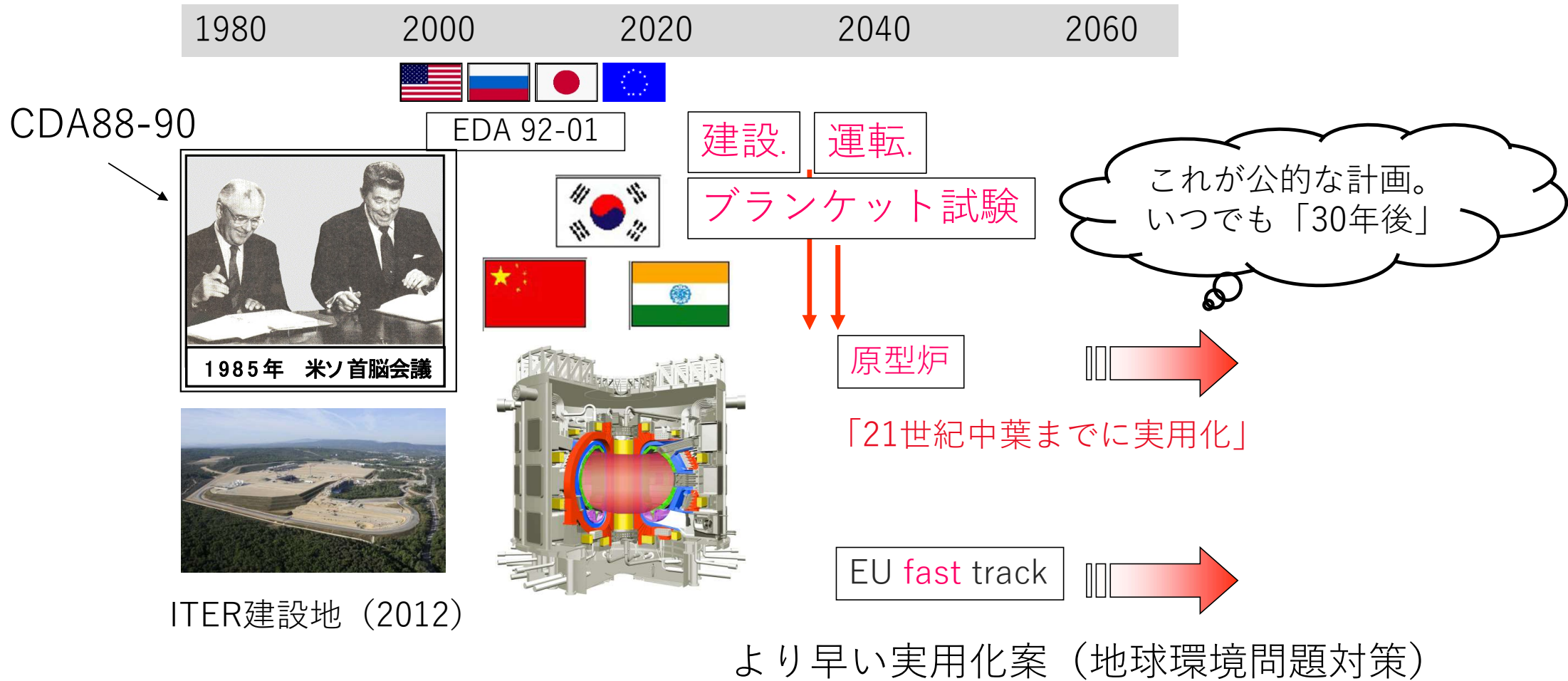
ヘリウム 中性子



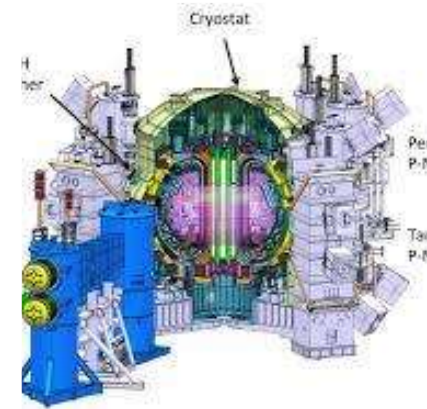
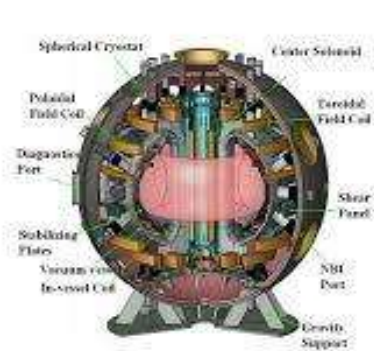
石油8t

ITERから「原型炉」計画

I T E R:International Thermonuclear Experimental Reactor (国際熱核融合実験炉)



Fusion Device



フランスにできたITER (2017京大)





SFではない未来が、
もうそこまで来ている。

僕たちが思い描いた未来は、みんな核融合で動いていた！

PLANETES (ΠΛΑΝΗΤΕΣ), 1999

著者：幸村誠

木星往還用宇宙船の動力に「タンデムミラー型核融合エンジン」を採用。

機動戦士ガンダム, 1979

原作・総監督：富野喜幸

モビルスーツのエネルギー源は、「ミノフスキー・イヨネスコ型核融合炉 (D-He3反応)」とされている。

使用されている材料は、ルナチタニウム合金 (ガンダリウム合金)

ウルトラマン, 1966

M78星雲は核融合炉プラズマスパークタワーでエネルギーを得ている

Amazon



RX-78-2 Gundam

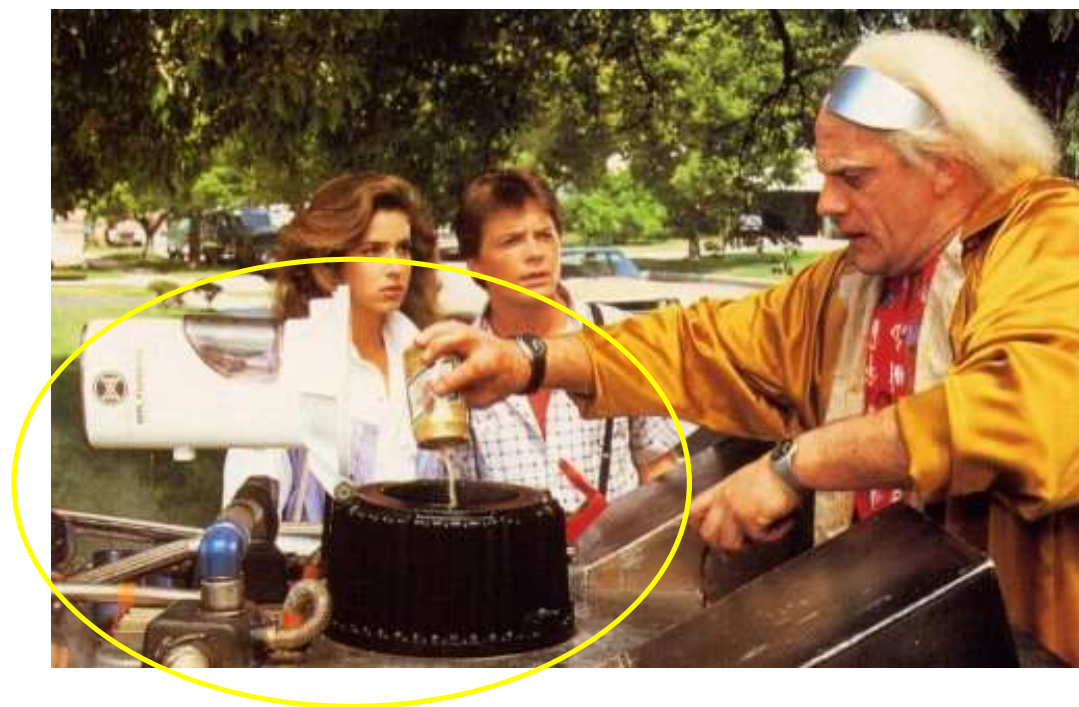
MS-06 Zaku II



円谷プロ



空も時間も飛べる自動車の動力とか..
(何しろどこでもいつでもギガワットのエネルギーがあるので.)



わが国初の核融合ベンチャー！？



日本経済新聞 朝刊・夕刊 ストーリー Myニュース 日経会社情報

トップ 速報 経済・金融 政治 ビジネス マーケット テクノロジー 国際 オピニオン

自動車・機械 関西 京都

保存 共有 印刷 他

核融合発電向け主要部品を設計・開発する京都大学発のスタートアップがこのほど誕生した。京都フュージョンリアリング（京都府宇治市）で、核融合研究の第一人者である京大エネルギー理工学研究所の小西哲之教授の研究成果を基に液体金属を使って熱交換率が高い方法で高温プラズマからエネルギーを取り出す「ブランケット」という部品の開発・設計を担う。

小西氏ら社員は4人で資本金は4千万円。京大が全額出資する京都大学イノベーションキャピタルが約8000万円を出資した。2021年にも最初の納入を目指す。



京都大学から日本初の核融合スタートアップが誕生した



NHK NEWS WEB 2020年(令和2年)1月31日 金

ニュース 動画 News Up 特集 スペシャルコンテンツ NEWS WEB EASY

地域 社会 気象・災害 科学・文化 政治 ビジネス 国際 スポーツ 暮らし

LIVE 北海道 猛吹雪に警戒 各地の状況

あなたの天気・防災

京都大学 エネルギー理工学研究所 小西哲之教授

“次世代エネルギー”核融合発電 京大がベンチャー企業を発足

2020年1月31日 0時21分


次世代のエネルギーとして期待される核融合による発電をめざり、京都大学の研究グループが中心に機器や材料などの開発に取り組み、国内で初めての大学発のベンチャー企業を発足させました。核融合発電の実現を後押しできるのが注目されます。

核融合発電は水素などの原子種どうしを結合させる際に発生する膨大なエネルギーを発電に利用しようとするもので、次世代のエネルギーとして日本や米国などが国家レベルで「ITER」という実験炉の建設をフランスで進めているほか、欧米では民間のベンチャー企業が小型の核融合炉の開発を競い合っています。



出資者：京都大学イノベーションキャピタル
(文科省の政策・大学による学内ベンチャー支援)

総額 7,530 万円 投資
社外取締役 1 名 派遣



核融合の実現に足りない「装置」

○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



スタートアップ発生

○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



スタートアップ成長

○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



スタートアップ運営

○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



スタートアップ事業

○足りないのは主に社会的技術？

スタートアップ企業の機能と役割

“市場と事業の開拓”

○情報収集、分析と決断

- ・現在、最新技術情報の半分が民間にある(「国」は収集力不足)
- ・市場、資金、企業間情報が特に重要
- ・情報はビジネスセンスで分析しなければ使えない

「総合商社機能」

○資金

- ・資金を集め、管理運用する機能。
- ・ニーズの発掘-公的資金、私的資産それぞれの目的

投資対象としてのSU

○人員と知識、経験

- ・SUは急速に成長し機動的に組織化。
- ・蓄積された知識、技能の継承と伝達、教育

人材流動のプラットフォーム

○産業技術

- ・モノを作り、売る「サプライチェーン」「商流」の構築、「すりあわせ」
- ・イノベーション。既存技術の組み合わせではできない

モノづくり発ビジネスモデル開拓

持続可能な世界は**社会的挑戦**を必要とする

- ・ **フュージョン産業の国際競争**はすでに開始
- ・ 科学技術と社会のニーズ（低炭素社会の実現）のマッチング
- ・ わが国のモノづくり、特にプラント技術の重要な機会
- ・ 究極目的は人類の持続可能なエネルギーと炭素収支逆転。

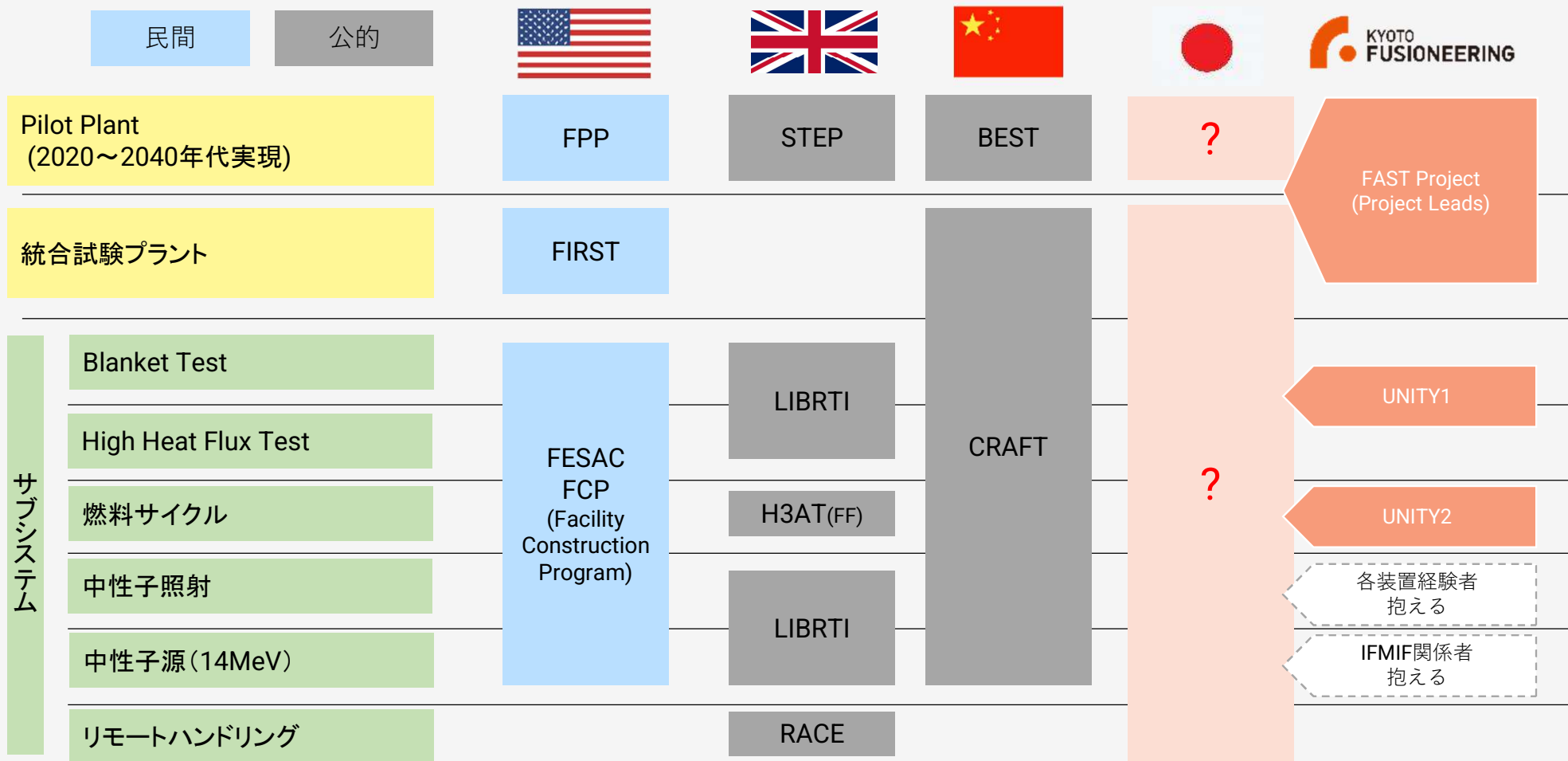
民間新興企業は**フュージョン実現の新たなルート**

- ・ イノベーションはスタートアップの役割
- ・ **産業化、基幹技術**の育成は急務⇒わが国企業は核融合のサプライチェーンを構築
⇒技術による国家セキュリティ、世界平和に貢献

日米プログラム比較

	米国	日本	参考) ITER (7極) / BA (日欧)
基本方針 (プラント計画、 主体)	Public-Private (民間が取り組む領域は“ 民間に任せ る ”)	原型炉計画はありつつ、主体に 関する議論は未定 (見える、繋がる、育てるを標 語とした産業育成育成戦略)	ITER機構による7極協働
政府主体プログ ラム	Bold Decadal Vision (Whitehouse 発表)	(JA-DEMO)	ITER、JT-60SA、IFMIF EVEDA、IFERC
政府支援プログ ラム	Milestone based INFUSE (NLと連携) ARPA-E FIRE Collaborative	SBIR (民間主体) ムーンショットプログラム (フュージョンハブ構想)	ITER/BA (ITER予算→ITER 調達/DA調達)
安全規制	Advance ACT 上で Fusion machine を 定義('24 July) NRC検討→発表予定 ('25 May)	内閣府安全検討TF検討	(フランス原子力規制、放 射性物質による)
産業構築、技術 施策政府施策	S&T roadmap → Gap fill (国際協 力) US Competitive ACT (2023WH発表)	産業マップ作成、 J-Fusion 設立	
国際	米英、米独、米日 bilateral MOU (米加 予定見込み)	日米 bilateral MOU →CCFE傘下	日欧連携 (BA協定)

国際開発動向



京都フュージョニアリングについて

創業から5年を経て、グローバル企業へと順調に成長

Founded in
2019

150+
Team members

148億円
Raised

5
Countries

JP

US

UK

DE

CA

京都フュージョニアリングの今



Company Name Kyoto Fusioneering Ltd.

Tokyo Office Distribution A Building, AW1-S,
Tokyo Ryutsu Center, 6-1-1 Heiwajima,
Ota-ku, Tokyo 143-0006, Japan

Representative Chief Executive Officer: Konishi Satoshi

Establishment October 1, 2019

Locations Tokyo Office (Tokyo Heiwajima, Japan)
UK Office (Reading)
US Office (Seattle)
EU Office (Karlsruhe)
Research Institute (Kyoto / Hyogo, Japan)
Joint Research Institute
(Kyoto University Uji Campus, Kyoto, Japan)

Total Funds 14.8 Billion Yen (July, 2024)

Number of Employees 149 (Includes temporary staffing, outsourcing
and subsidiaries)
As of 1st January, 2024





31 VENTURES
三井不動産のベンチャー共創事業



CORAL
CAPITAL



Daiwa Corporate Investment



DBJ DBJキャピタル株式会社
日本政策投資銀行グループ



UPOWER



Fujikura



INPEX



iqt™



JAFCO



JGC



global
brain



VIC VENTURE
GROWTH
INVESTMENTS



Kansai Electric Power Group
power with heart



KCAP
KYOTO FG



KYOTO-iCAP
KYOTO UNIVERSITY INNOVATION CAPITAL Co.,Ltd.



Marubeni



Mitsubishi
Corporation



MUFG
Mitsubishi UFJ Capital



MITSUI & CO.



MITSUI FUDOSAN



mol
plus



MUFG
MUFG Bank

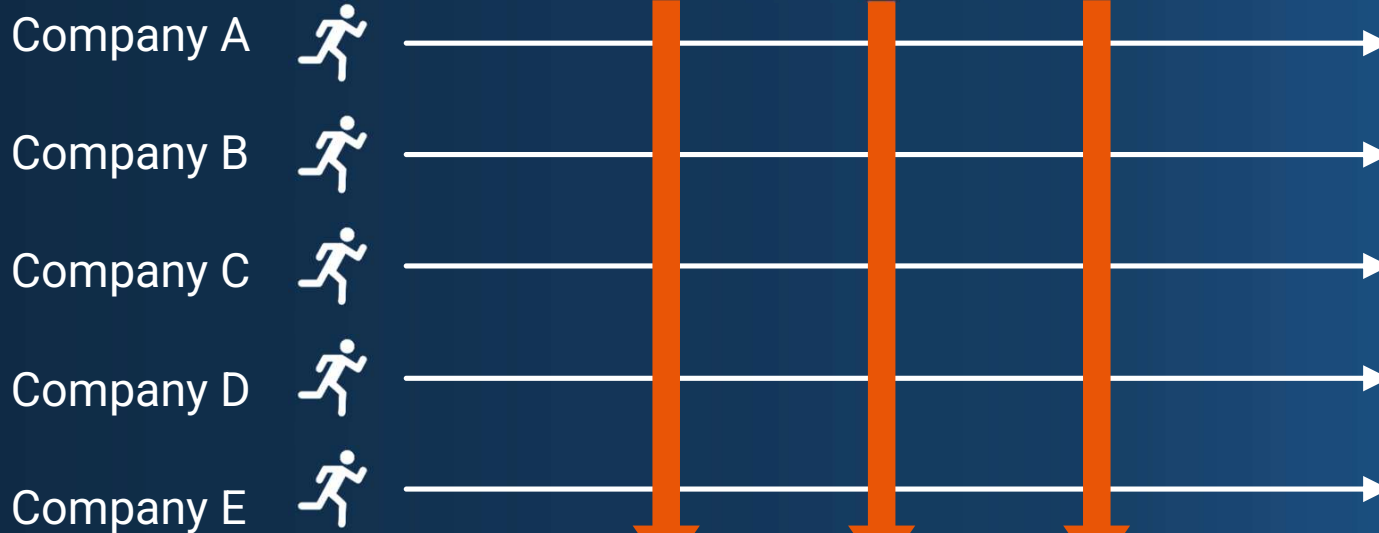


nichicon



SMBC
SMBC VENTURE CAPITAL

核融合開発を進めるプレイヤーのパートナーとして

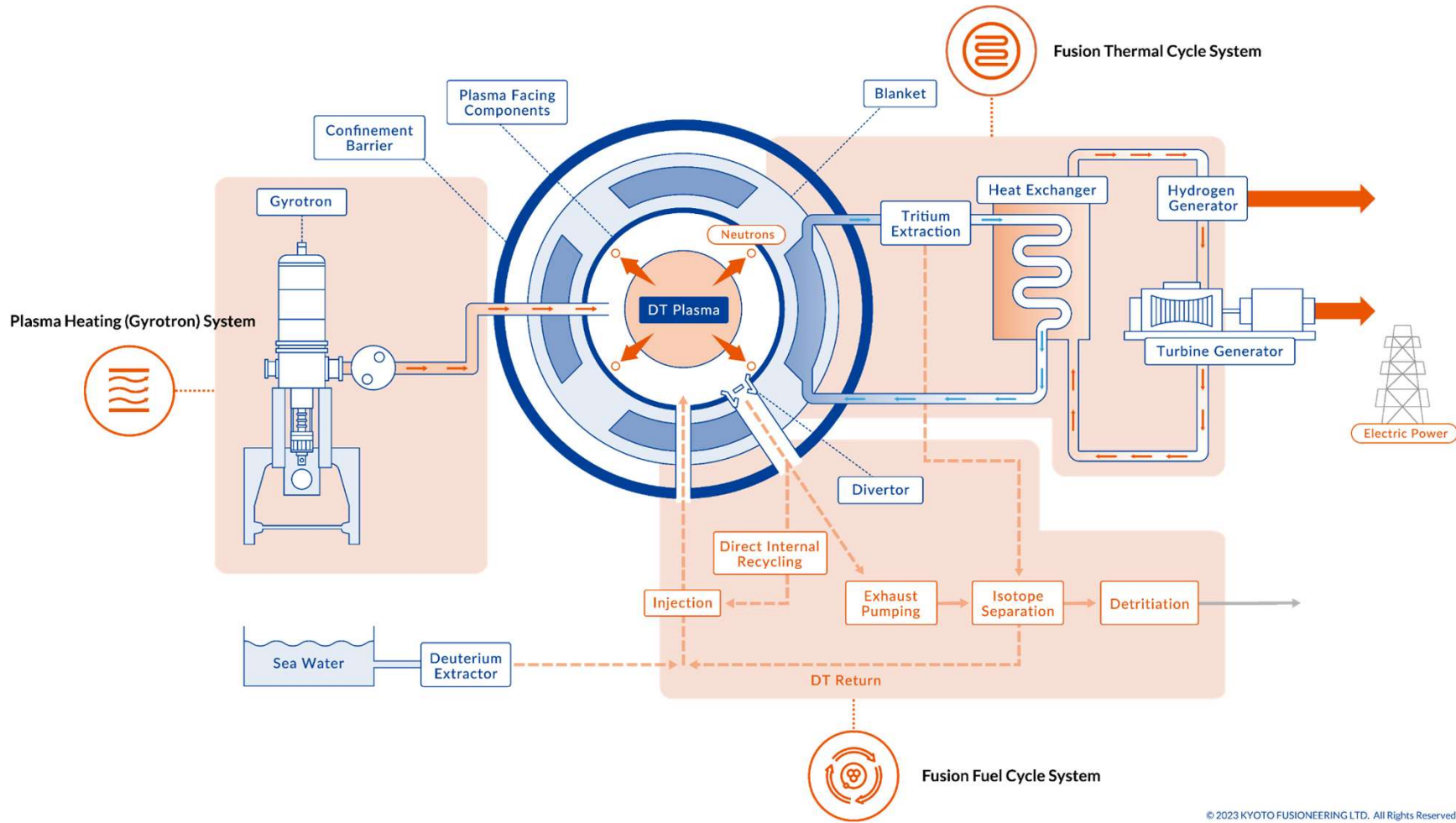


フュージョン
エネルギー発電の実現

フュージョンエネルギー発電プラント
に必要な統合技術を提供

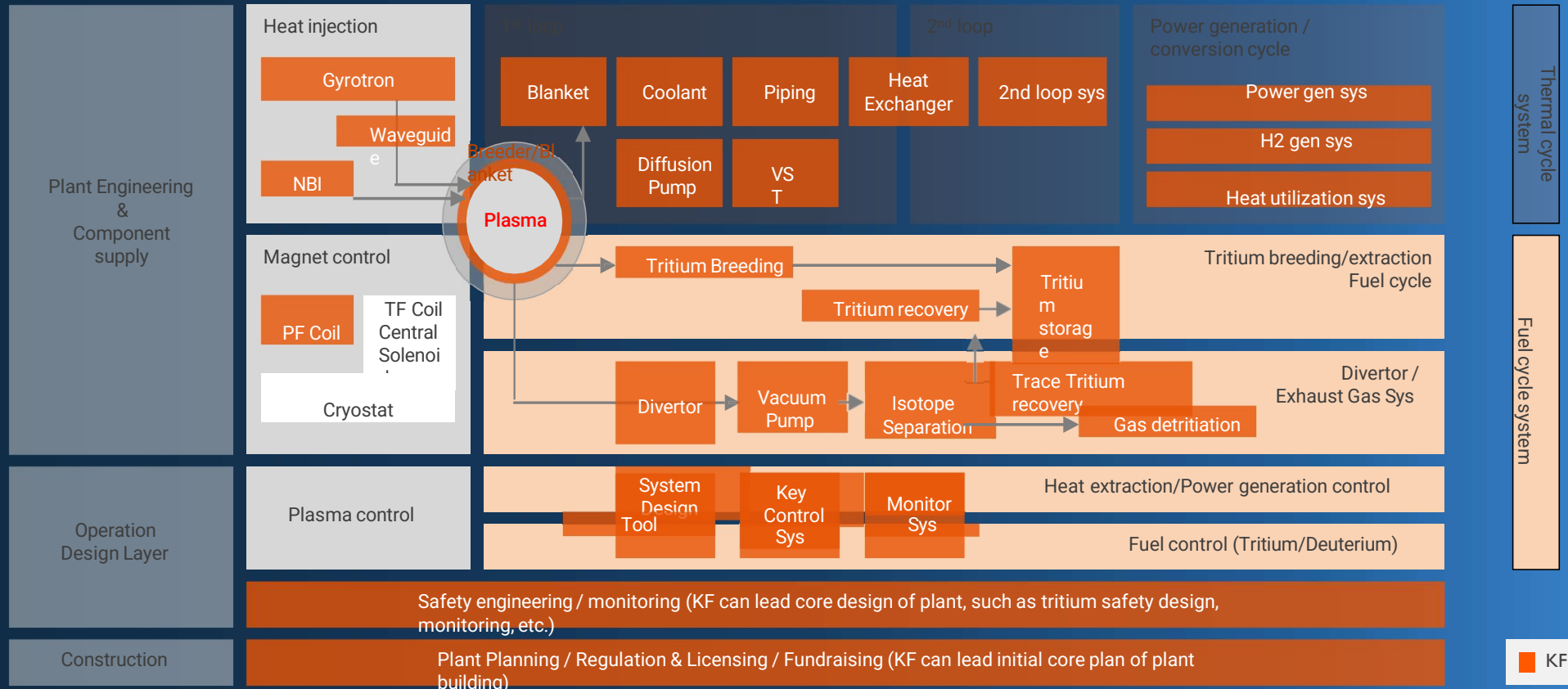
フュージョン
エネルギーの商用化

ビジネスモデル



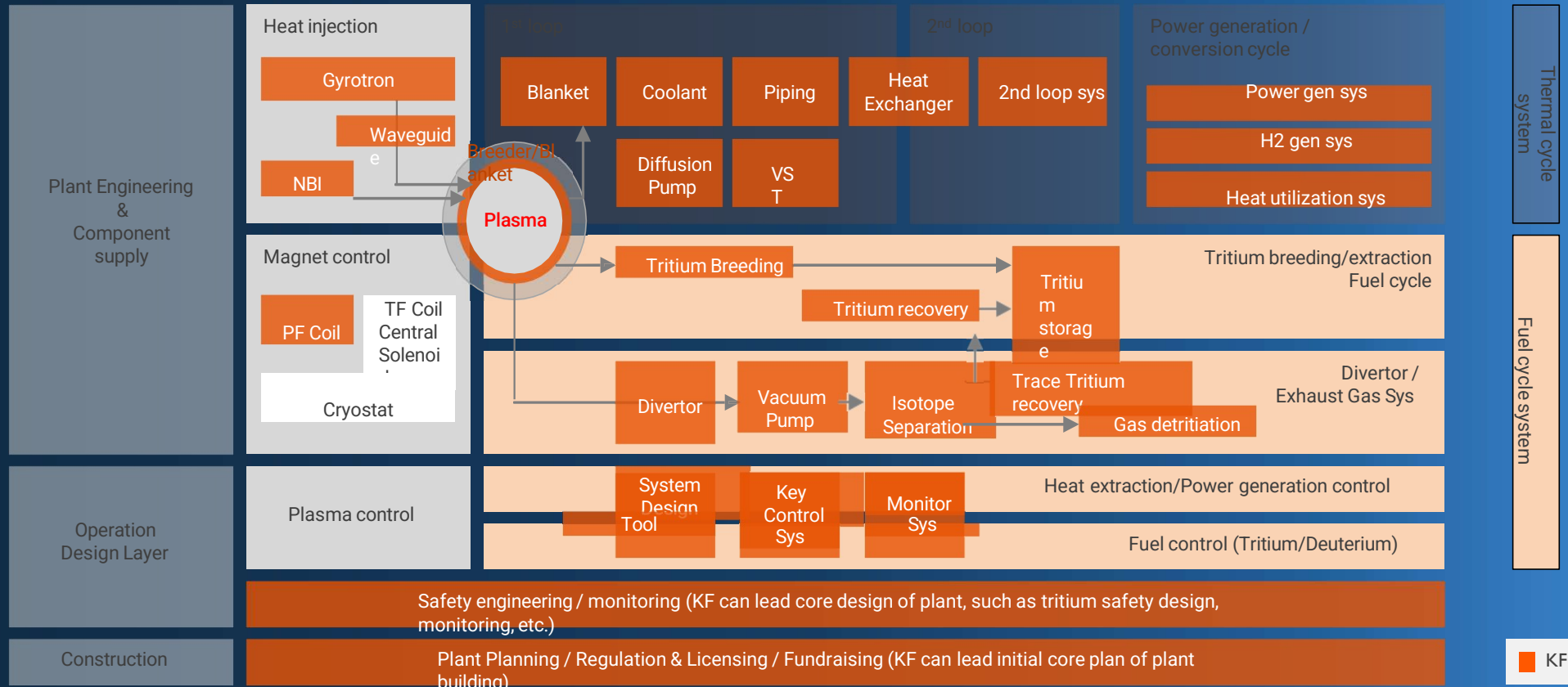
© 2023 KYOTO FUSIONEERING LTD. All Rights Reserved.

京都フュージョニアリング社の取り組み



炉工学、プラント技術を中心にシステムインテグレーションを指向。
 しかし、2030年代の発電実証に向けては、プラズマを含めた統合が2030年代前半に必要。

京都フュージョニアリング社の取り組み



炉工学、プラント技術を中心にシステムインテグレーションを指向。
 しかし、2030年代の発電実証に向けては、プラズマを含めた統合が2030年代前半に必要。

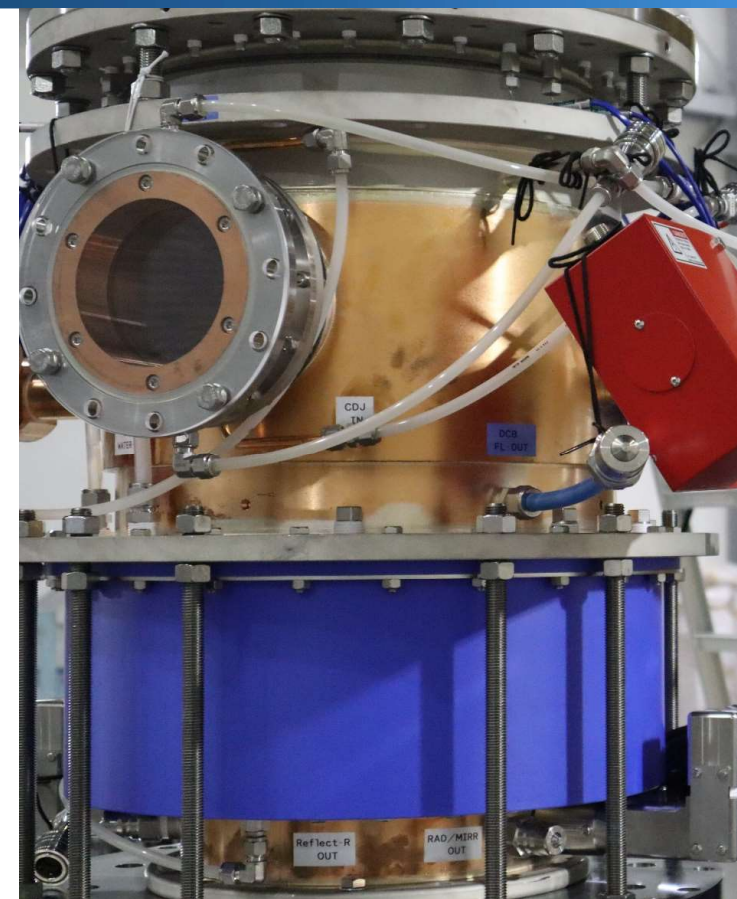
Gyrotron System

技術開発と受注案件の納品に向けた取り組みを並走させている

QSTを始め、多くの研究者らによって開発されたジャイロトロンをベースに、高周波数の開発や出力時間の長期化などに取り組む。

UKAEA、Tokamak Energy、General Atomicsへの納品に向けて、各種試験等を進行中。

QSTとともに、1基のジャイロトロンで5つの周波数の電磁波出力を世界で初めて実証。（236GHzの発生も実現）

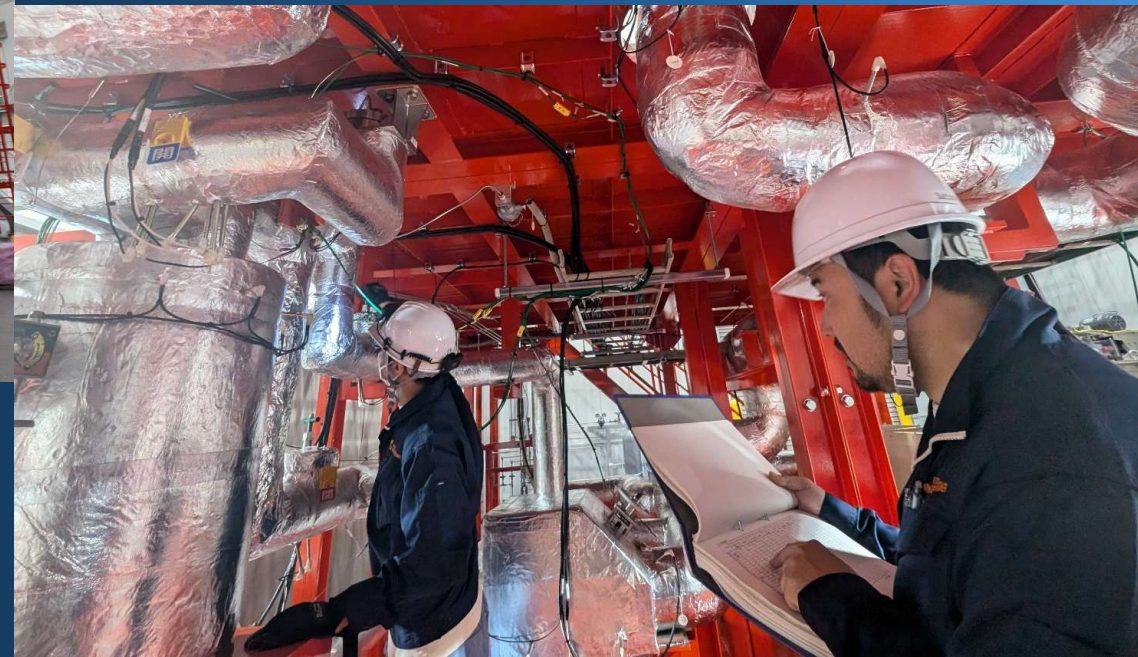


Fusion Thermal Cycle System: UNITY-1



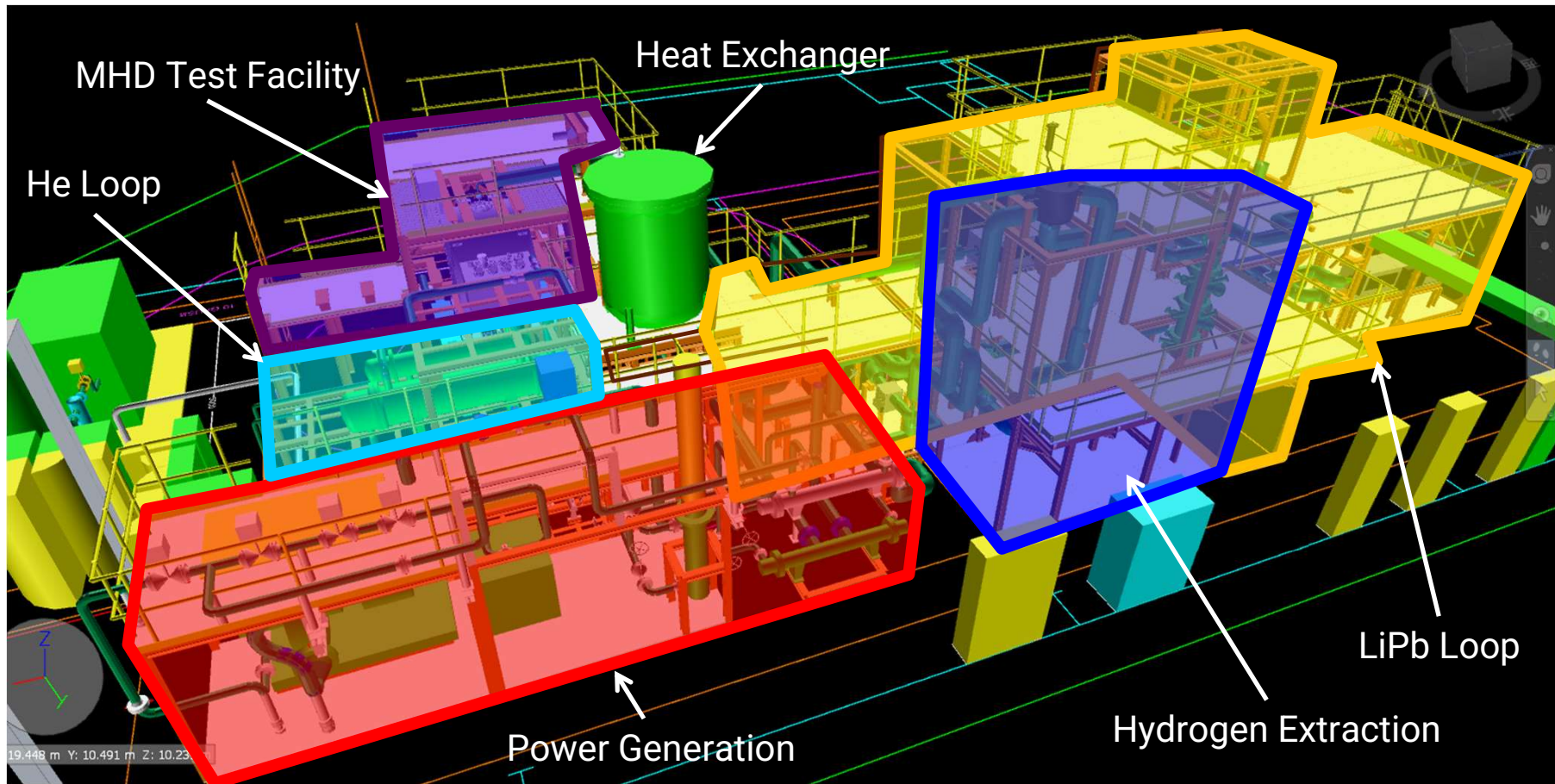
建設中のUNITY-1。
開発拠点の大部分を占める
大規模な液体金属ループ。

現地拠点のメンバーが中心となり、建設を推進。
模擬発電実証に向けて、試験を繰り返し実施している。



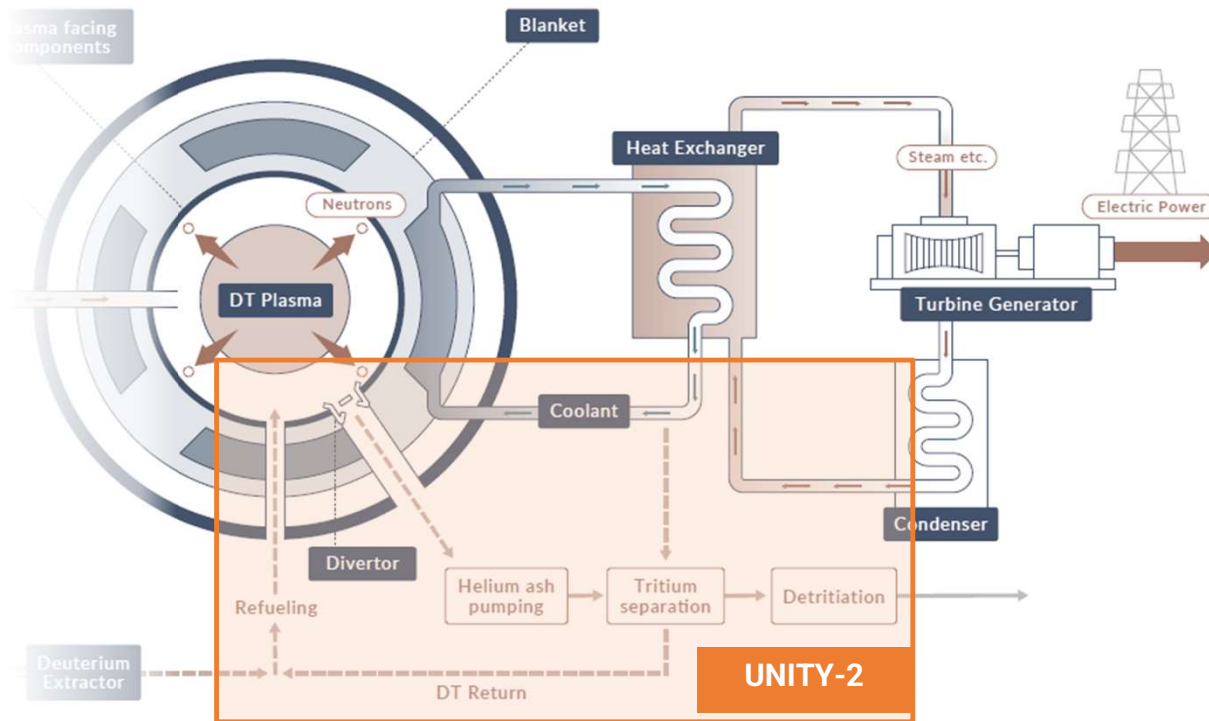
UNITY-1

主要試験サブシステム：ブランケット—MHD、高温熱取り出し—熱交換—利用、トリチウム取り出し、を試験。




Fusion Fuel Cycle System: UNITY-2

カナダ原子力研究所と共同で、トリチウム燃料サイクルの統合試験を行う



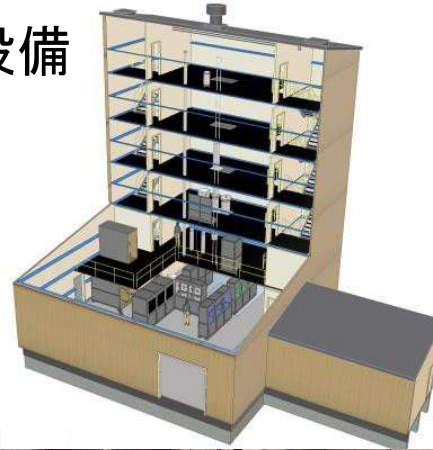
In partnership with  Canadian Nuclear Laboratories | Laboratoires Nucléaires Canadiens

Location: Chalk River, Ontario, Canada

- 2023  **Initiation:**
Design and individual component testing
- 2024 **Procurement:**
Key systems and components
- 2026 **Installation:**
Integration of systems. Planned commissioning

UNITY-2

DT燃料サイクルと安全の総合試験設備



Location: Chalk River, Ontario



Components:

- Tritium Extraction System to be tested with Tritium (~50 L Li-Pb loop)
- Fusion reactor conditions for vacuum chamber (including PEG gases)
- Dual storage system (dU, ZrCo)
- Dual ISS (TCAP, CD)
- Outer cycle included (WDS, ADS)
- Centrifugal Pellet Injection

Tritium:

- Under review, 10 to 40 g inventory
- Fuelling of vacuum chamber at $\sim 2.6 \text{ Pa m}^3 / \text{s}$

Modelling:

- Dynamic fuel cycle modelling
 - Coolant/breeder inventory
 - Pumps, Pd diffuser, getter beds, DT delivery mechanism

2023

Initiation:
Design and individual component testing

2024

Procurement:
Key systems and components

2026

Installation:
Integration of systems.
Planned commissioning



To build Fusion Power Plant



Function

Devices

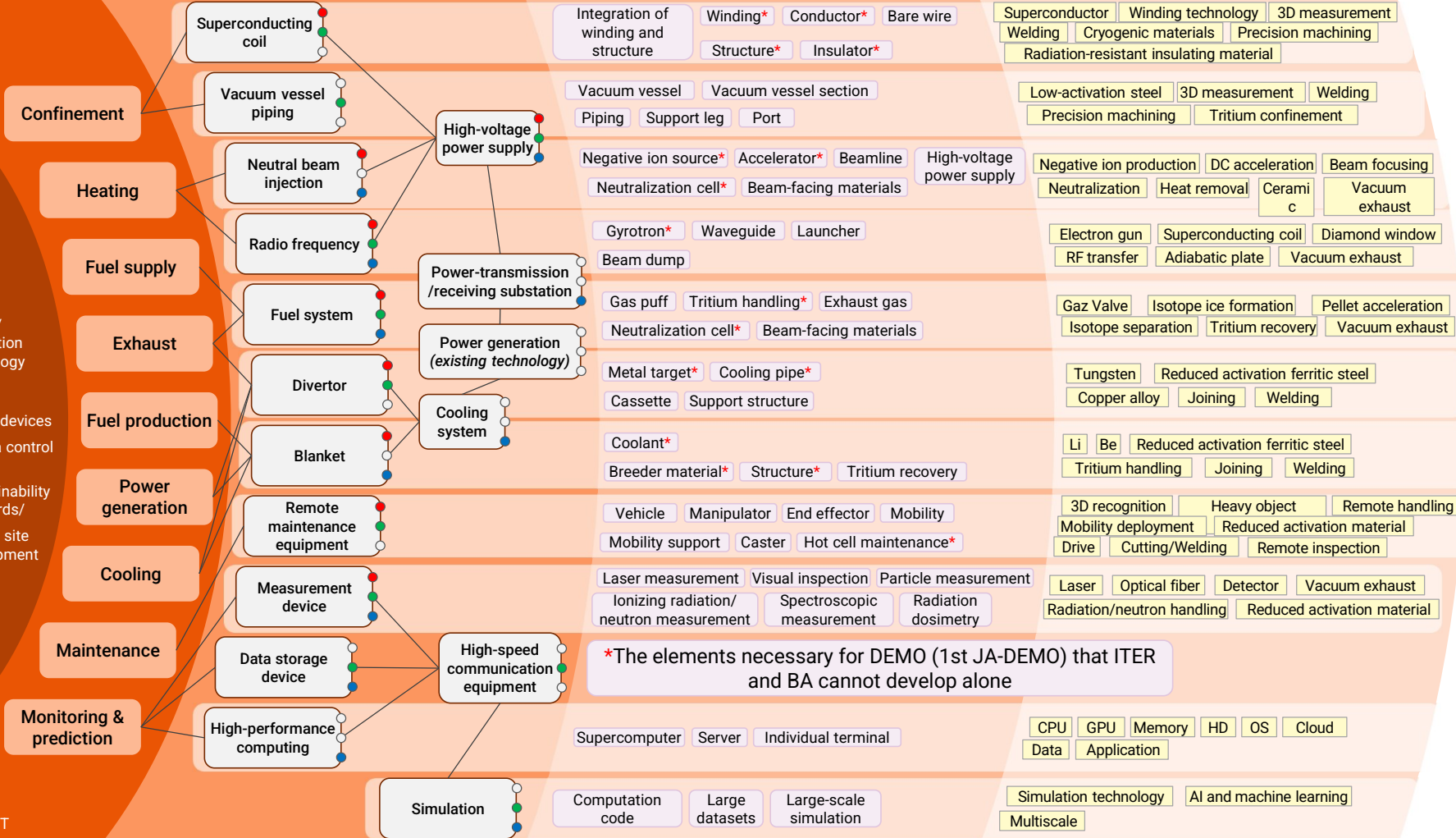
Conducted by: ● ITER ● BA ● JP independently

Components

* Neutron Irradiation Data Acquisition

Skills/Materials

Industrialization



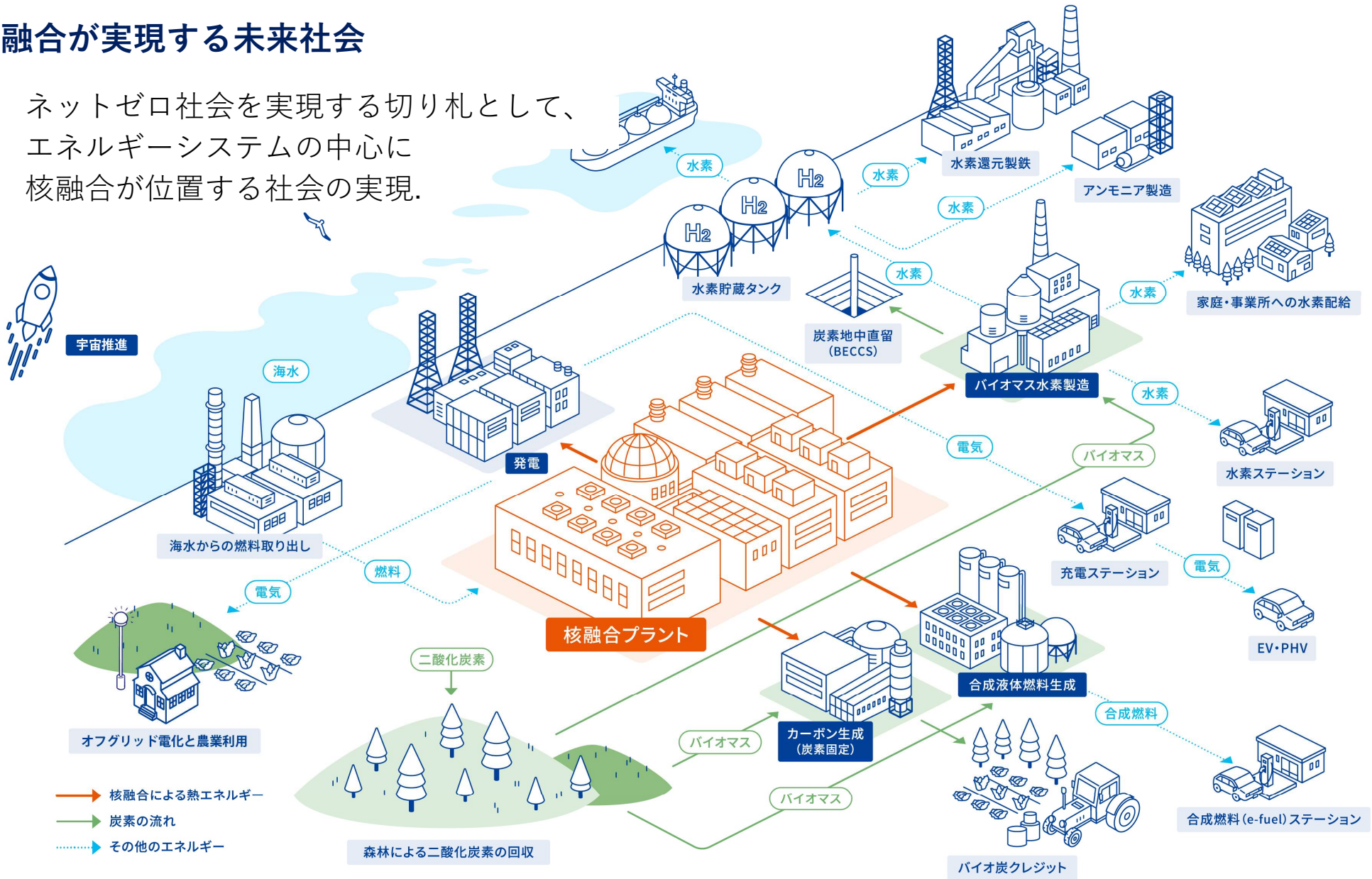
*The elements necessary for DEMO (1st JA-DEMO) that ITER and BA cannot develop alone

plant design/ interaction technology
Fusion devices
Plasma control safety
Maintainability standards/ Criteria site development

- Superconducting Technology (Analysis and Simulation, Acceleration, Energy Storage, etc.)
- Processing and Power Transmission Technologies (Large-scale Structures, Ultra-precision Machining, etc.)
- Resource Recovery & Refining Technologies (Li Recovery, Rare Metal Refining, CO2 Reduction, etc.)
- Maintenance Technologies (Remote Operation, Virtual Space, Robotics, etc.)
- Monitoring/Predictive Technologies (Spatial Awareness, AI Analysis, Simulation, Communication, etc.)

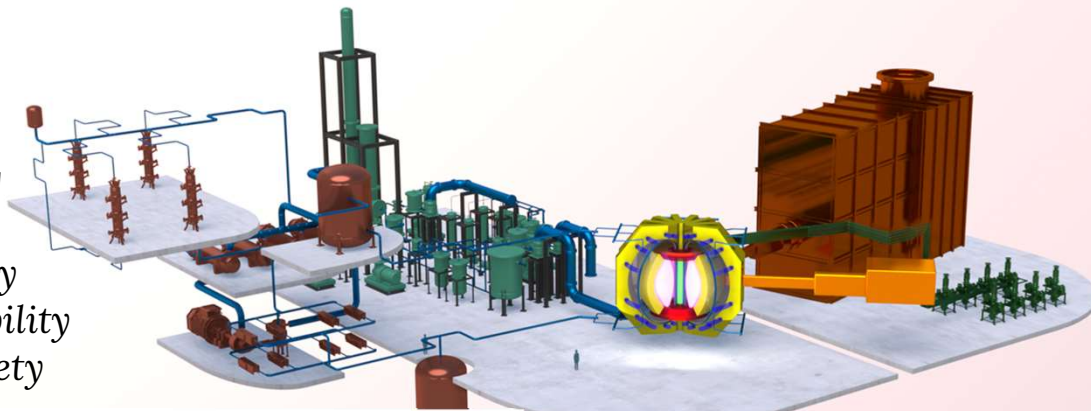
核融合が実現する未来社会

ネットゼロ社会を実現する切り札として、
エネルギーシステムを中心に
核融合が位置する社会の実現。

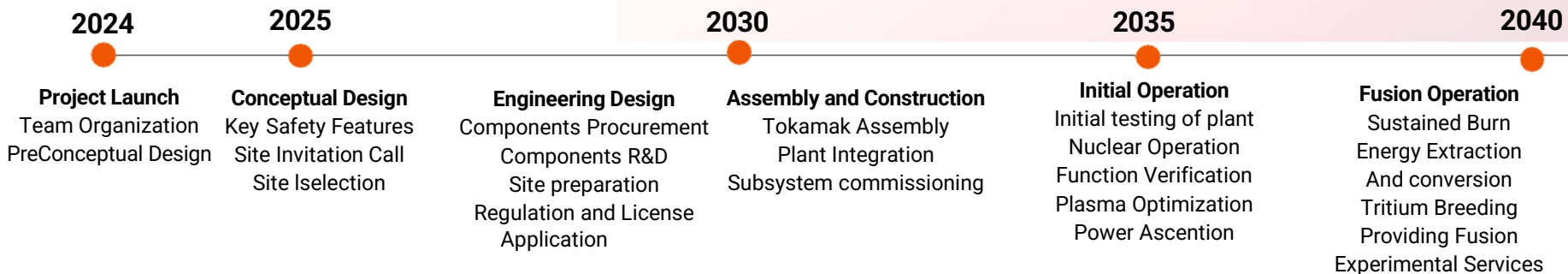


FAST project

- Fill the gaps toward fusion plant/DEMO
 Provide Fusion Nuclear Test Environment
 Integration of fusion nuclear technology
- Burning plasma operation for engineering
 - Transport and control fusion energy flow
 - Extraction and conversion of fusion energy
 - Close Dt fuel cycle and test breeding capability
 - Integrated plant system operation and safety



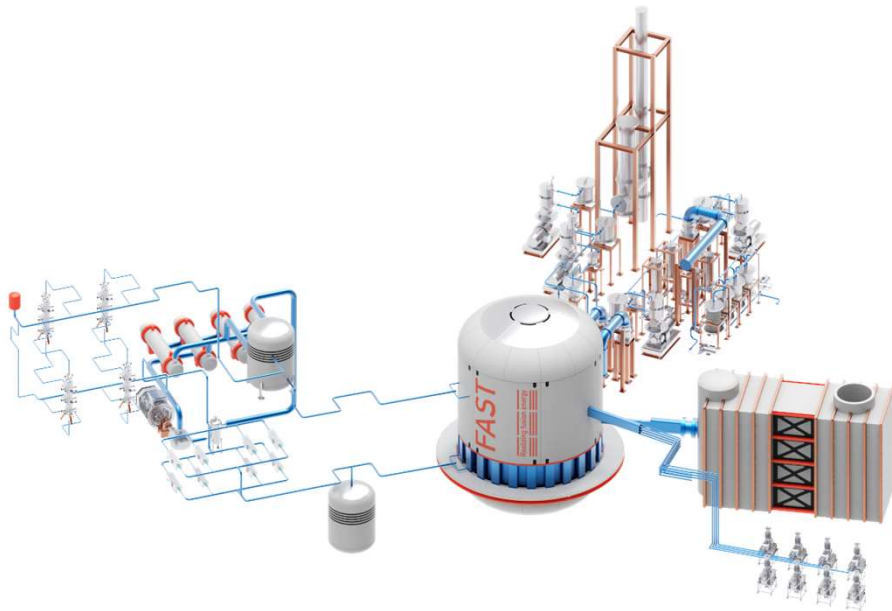
© 2026 KYOTO FUSIONEERING Ltd. ALL RIGHTS RESERVED.



FASTの代表的なパラメータ

DT fusion reaction: 50 – 100 MW
 Discharge duration: 1000 sec
 Neutron wall loading: 0.3 – 1 MW/m²
 Full power operation time: 1000 hours

**DT fusion technologyの試験設備として
 最小規模で最大のプラズマ容積を目指す**



	FAST	JT-60SA High (#5-1)
<i>R</i>	2 – 3 m	2.97
<i>a</i>	1 – 1.5 m	1.11
	2.2 – 2.5	1.91
Bt0	3 – 4.5 T	1.5 – 2.3
Coils	HTS coils	NbTi
Fuel	D and T	D
	NBI: - 50 MW; ECW ~ 10 MW	31 MW (total)
	~20 keV	5 keV
	$(1 - 2) \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$	$0.5-1 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$
	6 – 10 MA	4.3
	0.5 – 0.75	2.1
H_{ITER98}	1.2 – 1.5	1.3
	~0.5 sec	

FASTの主要な事業的特徴と狙い

- ・ 民間主導プロジェクトとして、素早い事業判断、柔軟な運営とコスト合理性。
- ・ 民間を中心とした資金調達、柔軟な人事計画と組織設計と事業運営。
- ・ 国の政策に沿った計画として、積極的な公共資金獲得を目指す。
- ・ 学术界の専門的知見の動員によるオールジャパン設計チームの組成。
- ・ J-Fusionを中核とする産業界によるFusion Supply Chainの構築。特に我が国モノづくり産業、資金、総合商社等のビジネス能力も動員。
- ・ 国際パートナーとの積極的な協力。特にTE社（英）、GA社（米）。
- ・ 産学の人的交流による人材育成。

主なスケジュールと計画

- ・ 2025年 概念設計。サイト要件決定とサイト公募。
- ・ 2025～2030年 工学設計、サイト選定、長納期部品装置の製作開始。許認可。
- ・ 2030～2035年 建設。サブシステム運転試験。運転員訓練。
- ・ 2035年～ 運転試験。

FASTの狙う核融合炉工学

- 炉工学的に意味のある最小限の核融合中性子発生プラズマの安定で持続的生成制御
- ブランケット、ダイバータ、炉内機器の核融合環境試験
- 高品質のエネルギー取り出しと工学規模での変換（発電、合成燃料生成等）
- トリチウム燃料サイクルの安定で安全な運転+トリチウム増殖サイクルの試験
- Fusion Nuclear Technology の統合的実証
- Fusion Energy Supply Chainの構築、商業化の可能性の提示。（多目的利用を含む）
- 安全で事業化可能なプラント、産業としてのFusion Systemの提示
- 可能な限り user facilityとして炉工学研究開発に開放

一 要するに Volumetric Neutron Source. なるべく最小限のコスト、最短最速、かつ技術・事業リスクの許容できる範囲での最大ジャンプ。但し。。。。

- 瞬間最大値、ローカルはともかく、総合的に net energy positive を狙わない。
- トリチウム増殖、抽出は行うが $TBR > 1$ ではない。
- 装置寿命、ショット数は最小限で、マグネットとブランケットの妥協点。
- プラズマ最適化探索は行うが物理実験マシンではない。

概念設計 (2025年度中)

エンジニアリング

- 技術選定
- 設計要件定義
- プロセスフロー図
- 熱・物質収支
- 機器リスト一部
- 機器配置図

立地選定

- 面積要求定義
- ユーティリティ要求定義
- 電源要求定義
- 建設候補地選定
- ステークホルダーコミュニケーション

規制への対応

- 関係機関とのコミュニケーション
- 規制基準への適合検討
- 申請書作成



詳細設計(2028年度中)

エンジニアリング

- 基本設計のアップデート
- 各種設計図書
- 配管系統図
- 制御関連図書
- シャットダウンロジック関連図書
- データシート
- 仕様書
- Etc.

立地選定

- 建設地決定
- ステークホルダーコミュニケーション

規制への対応

- 規制基準への適合審査
- 関連許認可取得

FASTのまとめ

- ・ FAST計画は、DT燃焼によるfusion energy の工学的、産業的に有意な量の発生と変換を目指しています。
- ・ FAST計画は、世界最初にfusion energy systemの統合的な実証を行うことを目標としています。
- ・ FAST計画は、まだ始まったばかりですが、産学連携のプロジェクトです。
- ・ 特にこれから、概念設計チームと、産業パートナーの募集、チーム組成を行います。

皆様の積極的なご参加、ご支援をお願いします！

おわりに

- フュージョンサプライチェーンの構築が競争的な環境になっている
- 世界での取り組みでは
 - 民間のスピード感でものが決められる、炉開発ができる
強いプレイヤーを育て、民間資金も集める仕組み
 - 国家的観点で押さえるべき技術については、国研等を使った技術開発
 - トップダウンで開発速度・技術基盤の育成を行う国も
- 日本では？
 - 炉設計・開発を早いスピード感で推進する主体育成
 - 抜けてはならない技術領域に対する開発推進
 - わが国の産業技術を結集して、官民協力で実用化を



Thank you