

人類 文明 原子力

核融合開発への期待と
ITER計画の必要性

藤家洋一

12. 19. 07

現代は化学反応に根ざした文明から緩やかに核反応に根ざした文明に移行している段階と理解される

原子力科学技術は文明をその根底で支えるべく成長発展していく宿命を持っている。

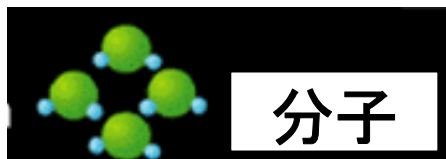
現在はレントゲンX線発見後100年を経過し、あらためて新しい原子力時代を構築していく出発点にいる。原子力による文明の構築は可能か

化学反応の文明から核反応の文明へ

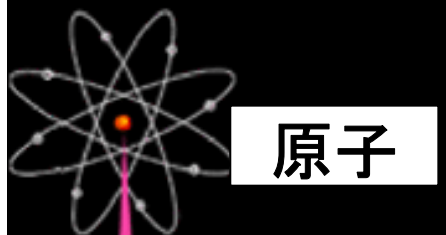
- 1. 太陽の核融合と地球上の原子分子は共同で生態圏を構築し、火の発見と利用が地球上に化学反応の文明を生み出した。
- 2. 産業革命に端を発する機械エネルギー、電気エネルギーの利用は自然のマスバランスを破壊する結果となり環境問題が深刻になり、将来に展望をなくす。
- 3. 自然に見られる現象を地上へ
放射線の利用に始まる原子力は加速器、レーザー、核分裂炉の実用化を迎えて総合科学技術の色彩を強めてきた
- 4. 原子力文明は化学反応が作り出した文明を引き継ぎ、さらに新しい科学技術を生み出していく
- 5. 地上での核融合炉への期待とITER計画

原子の世界を訪ねる： 原子・分子の大きさ

10^{-9}m 30回



10^{-10}m 33回



10^{-14}m 47回



10^{-15}m 50回



10^{-17}m 57回



小さな自然と大きな自然・・・大きさを実感

『1mの物差し』を何回『倍々』を繰り返したら？

地球から太陽まで 銀河 10^{21}m

大洗町 9km

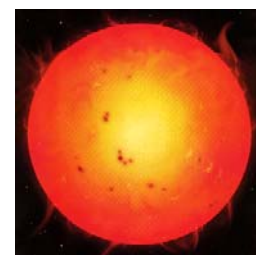


13回

地球一周
4万km



25回



1億5千万km



37回

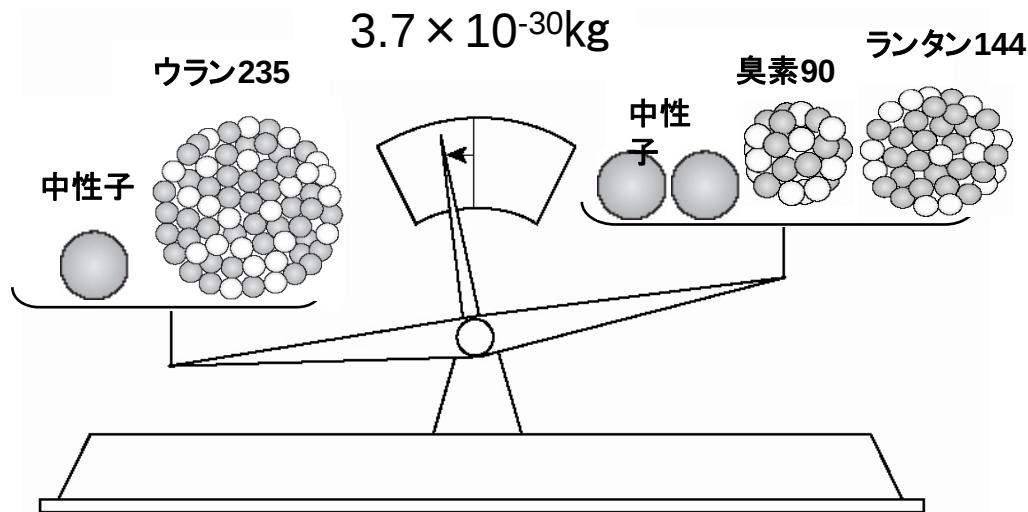
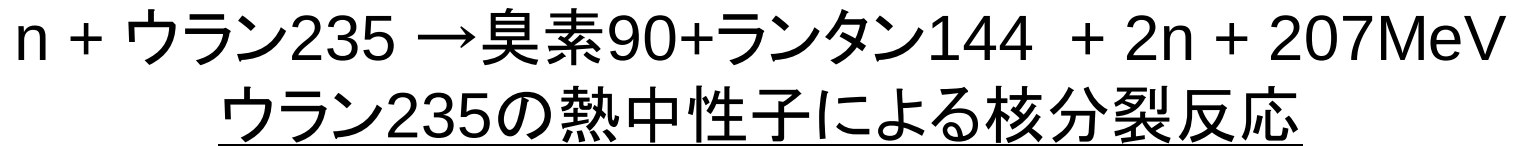
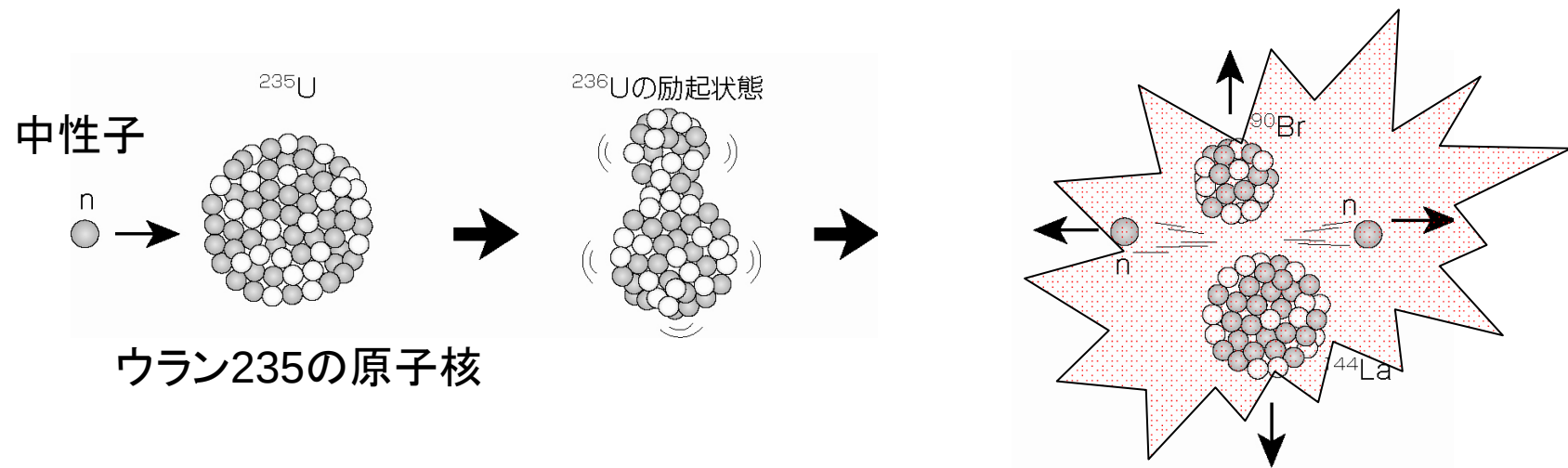


70回

宇宙 10^{26}m 以上



86回以上



アインシュタインの特殊相対性理論
(質量とエネルギーは等価)

$$\text{エネルギー} = mc^2$$

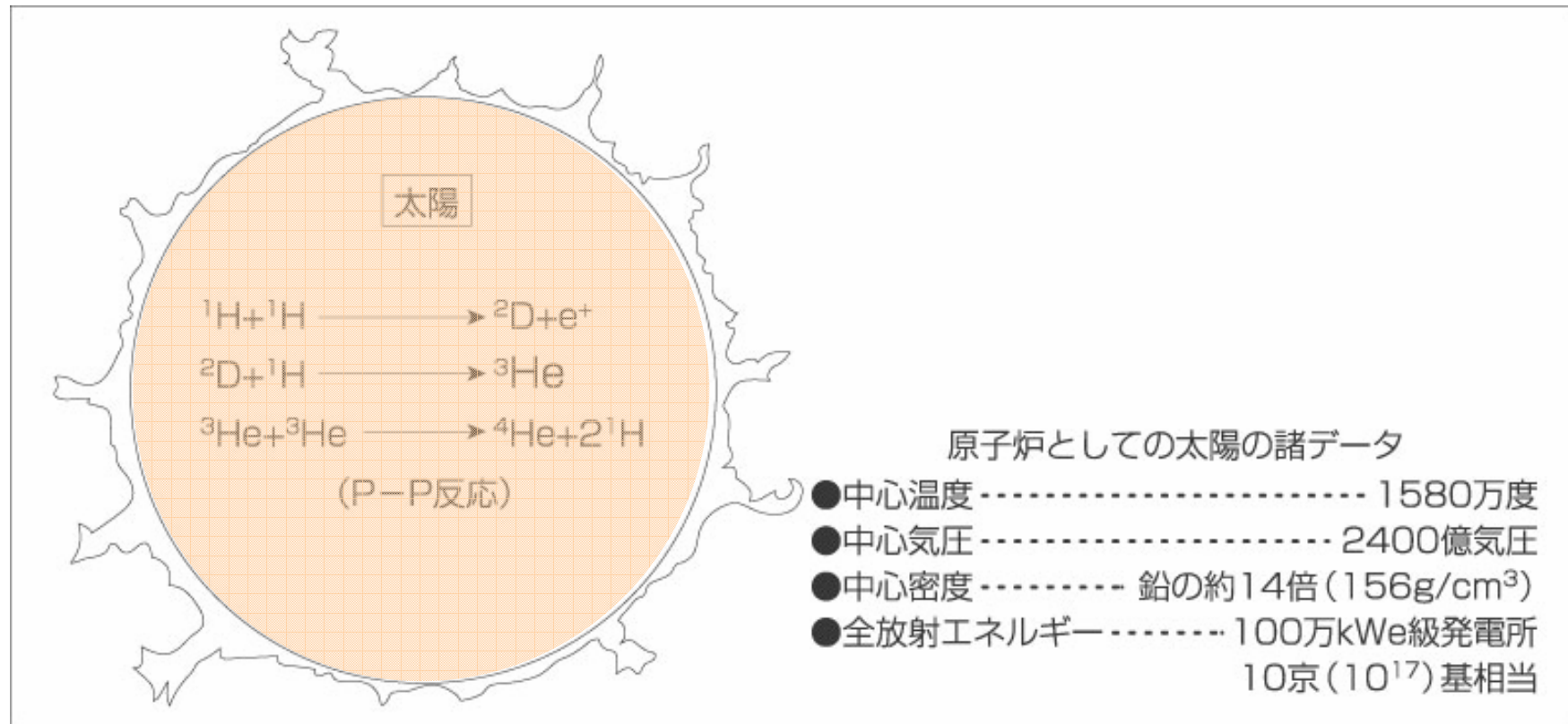
m : 失った質量(質量欠損)

c : 光の速さ(毎秒30万km)

$$\begin{aligned} 3.7 \times 10^{-30}\text{kg} &= 207\text{MeV} \\ &= 207,000,000\text{eV} \end{aligned}$$

核反応の原理

アポロンの太陽：太陽は信仰の対象から研究の対象へ



星の世界、天体を訪ねる：宇宙はいつできた？

□137億年前にビッグバンで誕生

最初の3分間：水素とヘリウムができた

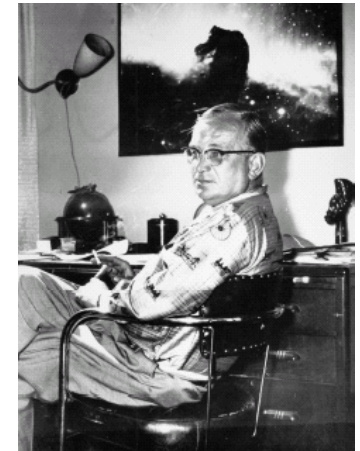
数億年後：星の誕生

～ 星の原子力で炭素、鉄などの元素形成

数十億年後：超新星爆発でウランなど重い元素形成

約90億年後(46億年前)：

これらの元素を材料にして 太陽や地球が誕生

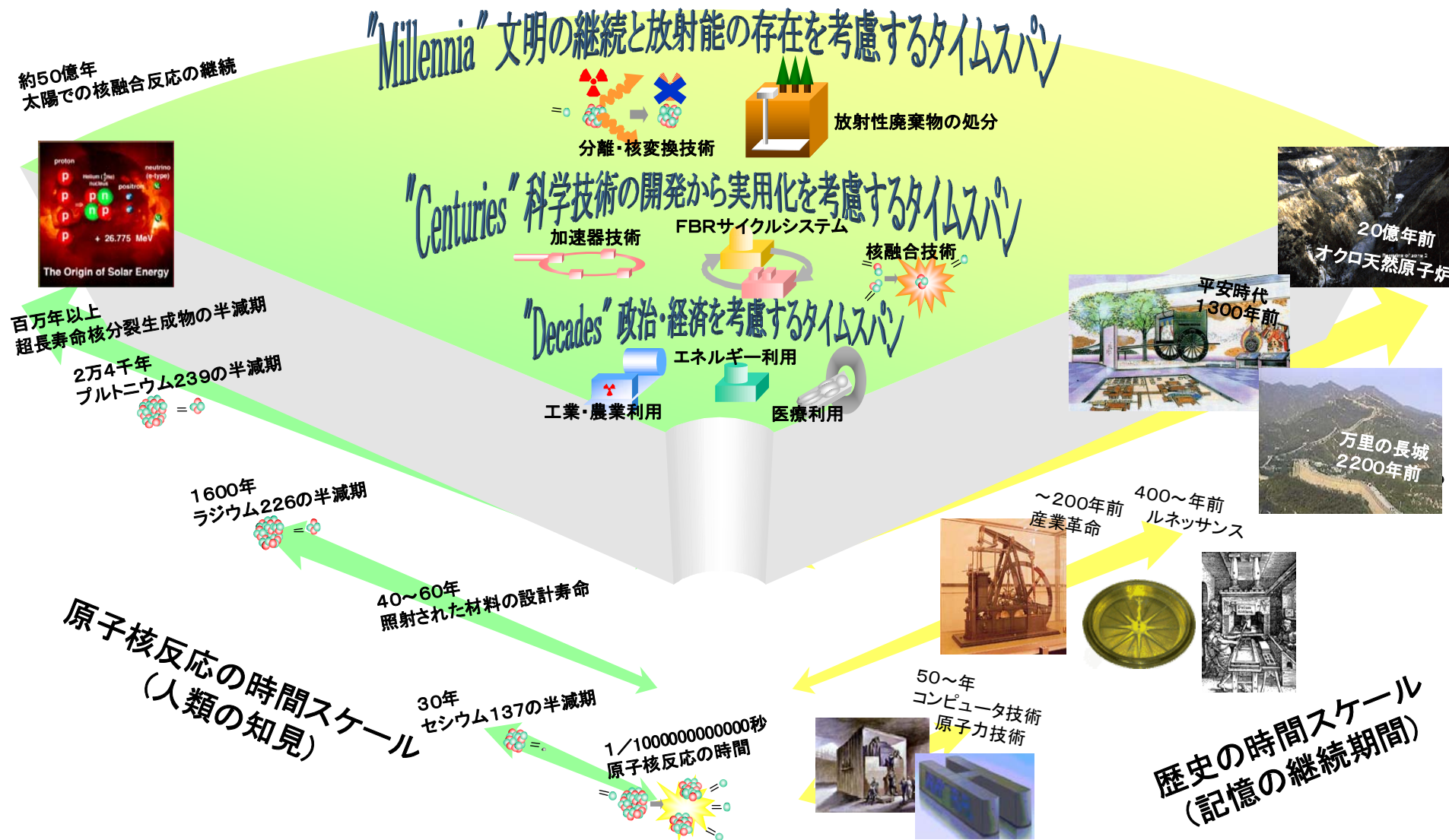


ガモフ



超新星爆発

～原子力利用におけるDecades, Centuries and Millenniaの考え方～

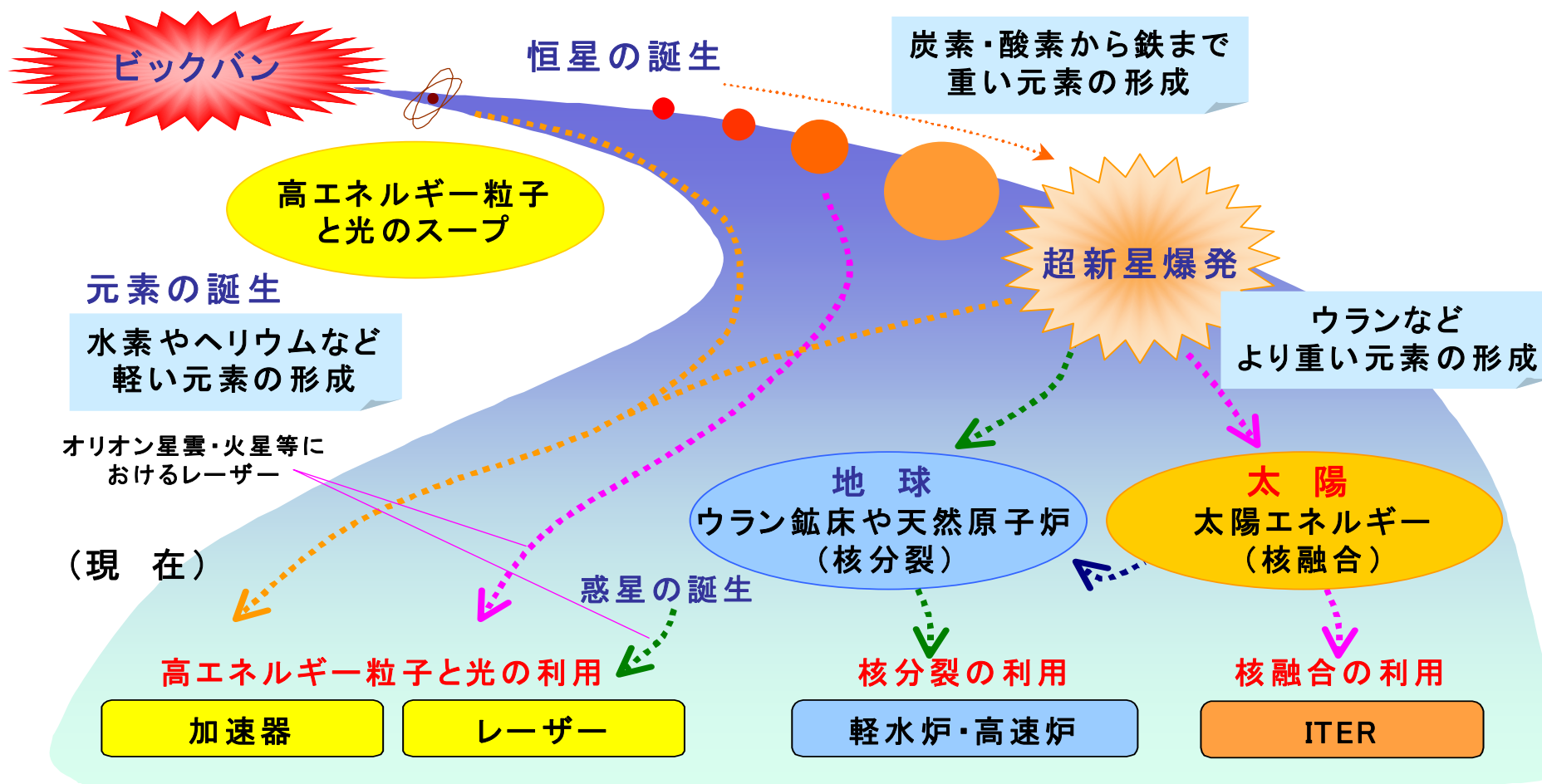


原子力を考えるタイムスパン

地球の自然、宇宙の自然で何が起きているか

宇宙誕生と原子力

～自然に学び、自然をまねるのが、科学の原点～

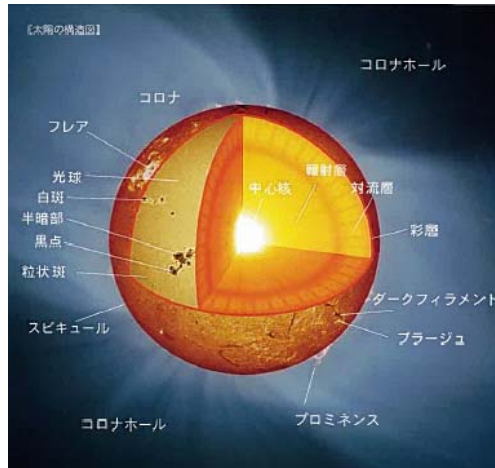


地球上での原子力エネルギーの利用へ

太陽と地球の連携が生んだ地球の自然環境

- 太陽における核融合反応(今後50億年続く)
- 地球での化学エネルギーへの変換(0.002%を固定し、蓄積)炭酸ガスの減少
- 地球の大気は次第に現在の組成に近着く
- 産業革命がマスバランスの方向を逆転(18世紀)
- 太陽エネルギーを違った形で大量に利用できるか、エネルギー利用を減少させるか、他のエネルギー源、核エネルギーへの転換を図るか。(核反応の世界を開く1895年)

地球と太陽の連携：太陽



○太陽とは？

- 巨大な水素とヘリウムのガスの塊
- 直径は地球の109倍、重さは33万倍
- 温度は1500万度（中心）、6000度（表面）

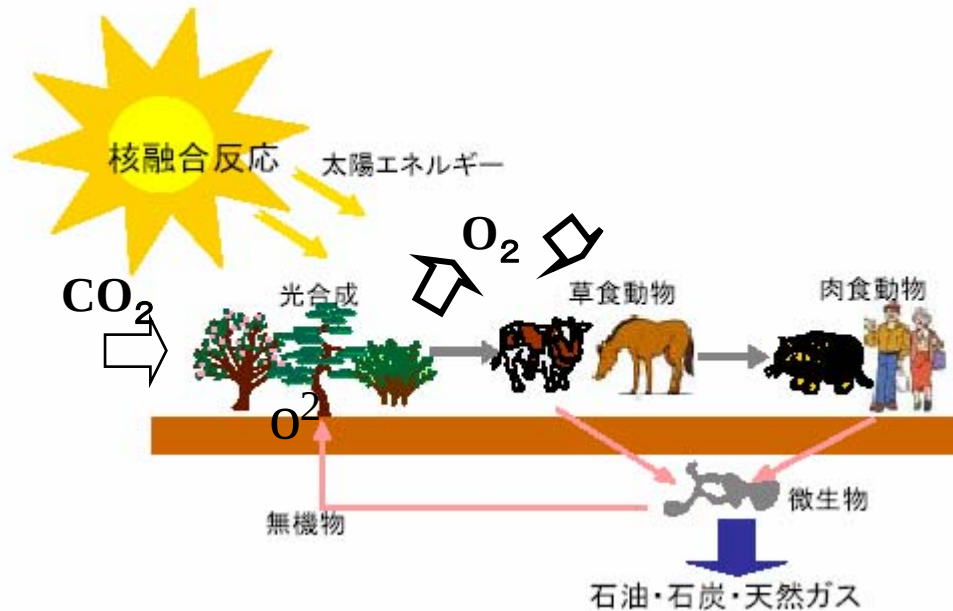
○太陽のエネルギーの元は「原子力」

- 太陽の中心で毎秒6億トンの水素が核融合反応によってヘリウムに変わり、そのとき膨大なエネルギーが発生

⇒ 100万kW原子力発電所 10京*基分 (*1兆の10万倍)

- 太陽からエネルギーが「質の良い光」の形で放出され、その22億分の1が地球に降り注ぎ、地球上の環境を支配し、生命を育む源となっている

地球と太陽の連携： 物質の循環



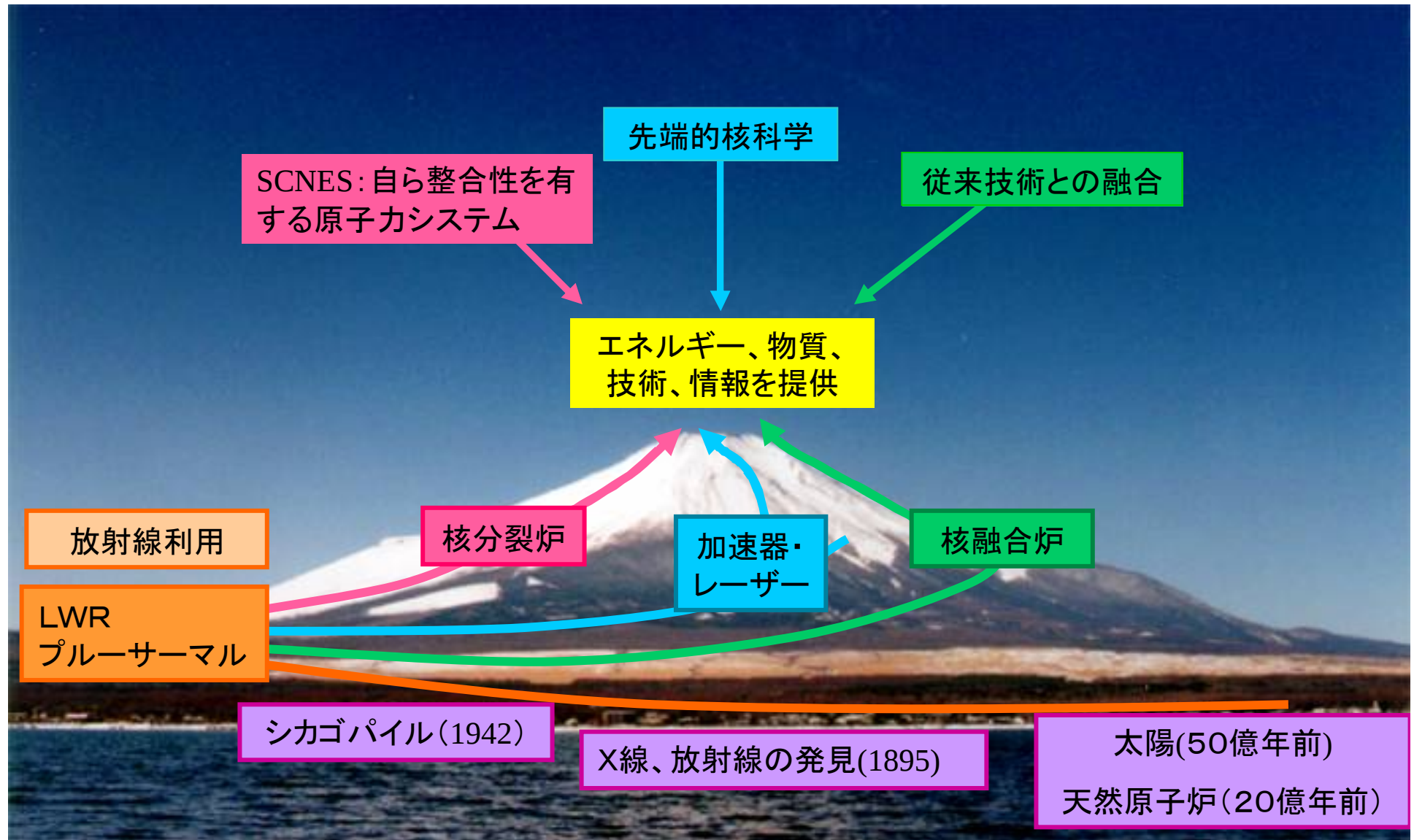
地球は太陽の原子力エネルギーのおかげで植物と動物の共存できる環境(生態系)を維持しています。

植物は太陽のエネルギーを使った光合成で成長し、動物は植物を食料とし、いずれも寿命が来ると死骸が地下で微生物により分解され、植物に利用されたり化石燃料になります。

植物も私たちの体も
「原子力エネルギー」
によって
維持されています。

この循環を通して、大気中の酸素や炭酸ガスは生き物に快適なレベルに保たれています

原子力開発の全体像



核融合に対する期待

- 核分裂は惑星の原子力、核融合はより根源的な恒星の原子力
- 最終的には制約の少ないエネルギー資源となり、エネルギーバランスとマスバランスを分けて考えられる
- 開発ステップを如何に明確にしてい く（これまでの巨大技術開発が参考になるか）
- エネルギー源に加えて総合科学技術としての特性をどう出していくか
- 10年原子力発電所の建設運転
- 100年巨大システムの構想から実現まで(高速炉や核融合炉の実用化)、
- 1000年 原子力文明の熟成
- 科学技術の進展にどう自ら関わって行くか

核反応を制御し地球の片隅で反応を実現し継続する

- 加速器 1932年
- 核分裂炉 1942年CP-1
- 原子力発電 軽水炉はすでに実用化
- 高速炉 1951臨界EBR-1
- 1965臨界SPX-1
- 実用化はまだ先
- レーザー ルビーレーザー
- 1958－1960

原子力科学技術の展開

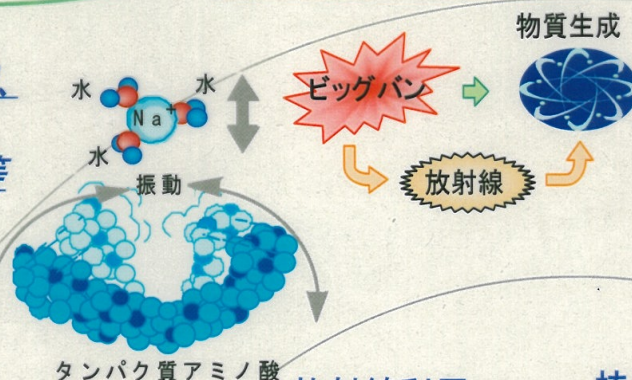
～ 科学は可能性を探り、技術は効率を求める ～

未踏領域への挑戦

生命科学
分子振動研究、
機能解明、
放射線影響等

材料創製・加工
新機能材料、微細加工
表面改質等

宇宙・物質の根源の探究



放射線利用

物理学
生命科学
結晶構造解析等
物質科学
物性研究等

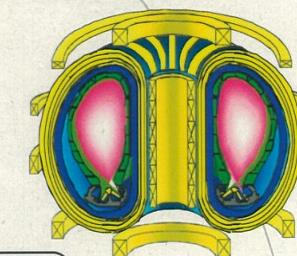
核分裂エネルギー

原子力発電



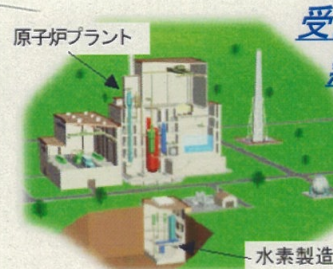
核融合

炉心プラズマ研究
炉工学要素開発



持続可能な発展

受動的安全システム
熱利用技術開発



核融合燃焼プラズマ
核融合炉工学技術

高出力化
高エネルギー化

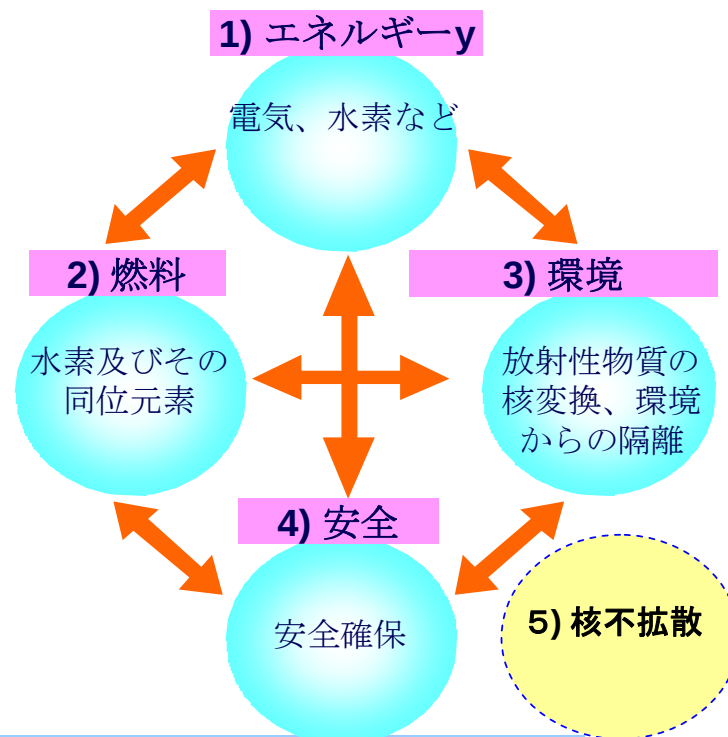
加速器・レーザー

炉工学、研究炉

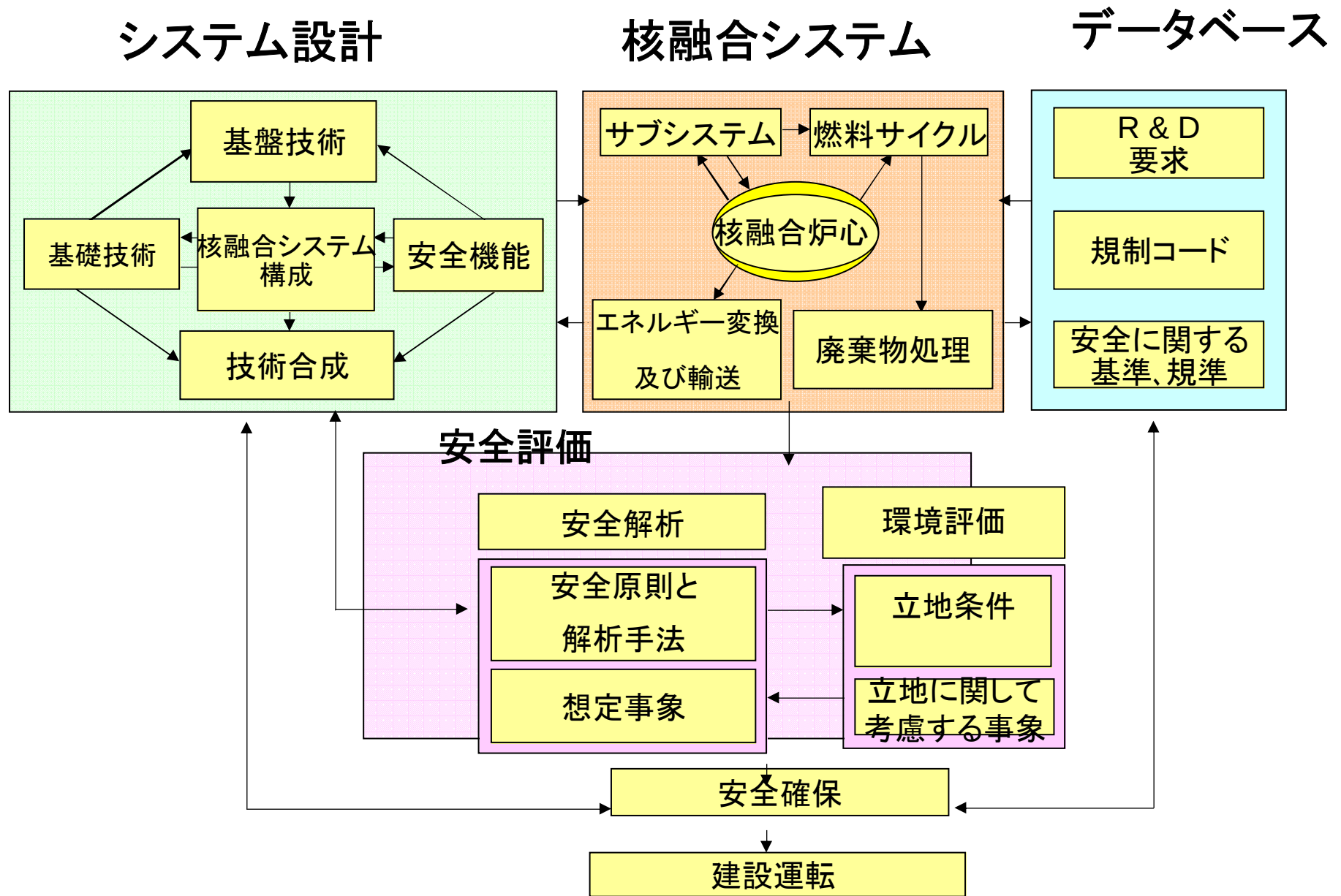
革新技術開発
高度化

核エネルギーの可能性

1. 高効率多目的利用
2. 資源確保と燃料生産
3. 環境適合性（放射性物質の核変換と
環境からの隔離）
4. 安全の確保
5. 核不拡散

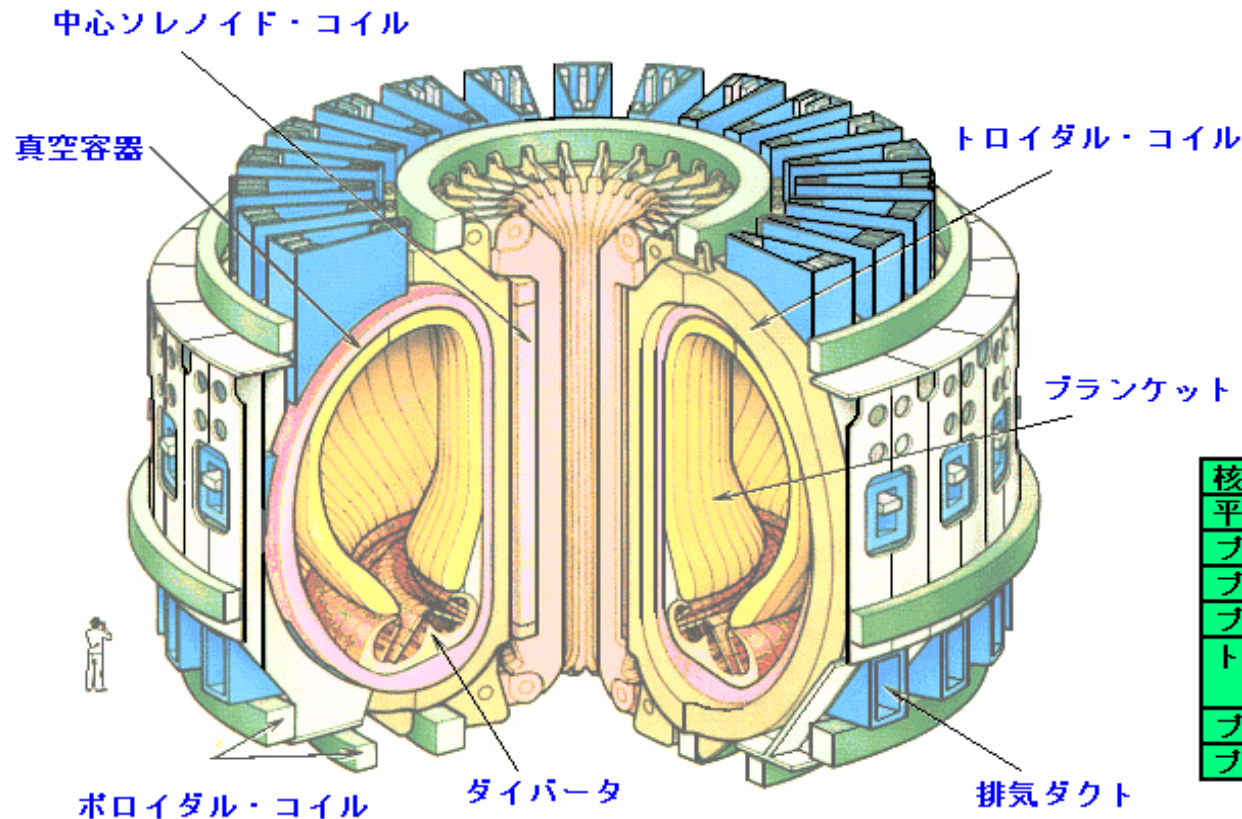


資源の完全利用と廃棄物の無放出
—資源確保と環境保全の同時達成—



核融合システムの想定から建設運転まで

地上に太陽を：核融合開発は実験炉の段階へ



核融合出力	150万kW
平均中性子壁負荷	1000kW/m ²
プラズマ主半径	8.1m
プラズマ小半径	2.8m
プラズマ電流	2100万A
トロイダル磁場	5.7 テスラ (中心) 12.7 テスラ (最大)
プラズマ燃焼時間	1000秒
プラズマ加熱パワー	10万kW

ITERの概念図

[出典] 日本原子力研究所・那珂研究所・炉心プラズマ研究部：核融合をめざして -
核融合研究開発の現状1996年、日本原子力研究所（1996年11月），p10

核融合の研究開発に想う

原子力委員会 藤家洋一

日本原子力学会 2002年春の年会 招待講演
(2002年3月28日、於神戸商船大学)

<講演内容>

1. はじめに
2. 機能論的アプローチ
3. 核融合研究開発の特徴
4. 大型技術開発のステップとタイムスパン

1. はじめに

核融合開発

||

未知かつ未経験な
巨大技術の世界への挑戦

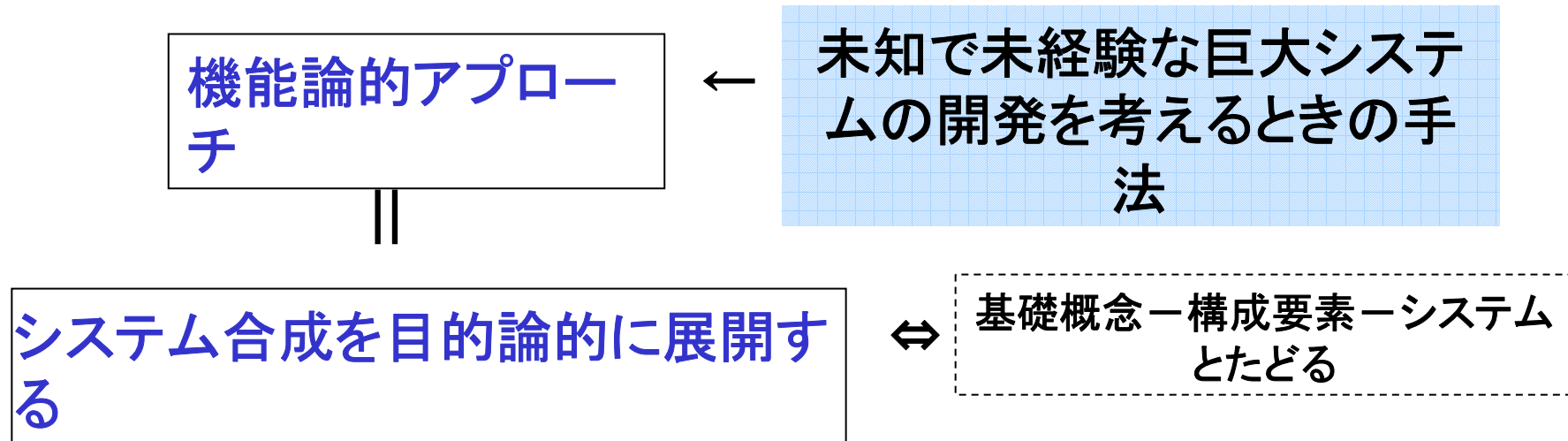


3者のバランスの上に
たって進めることが大切

- 1) 基礎研究
- 2) 基盤技術開発
- 3) システム合成

- ・ 基礎研究、基盤技術開発それだけでは不十分。
- ・ 適宜全体構成を実際に実験的に確認し、各構成要素および要素相互間の適性や妥当性を確認するとともに改良を図っていくことが大切。
- ・ それらの重要度は段階によって異なる。

2. 機能論的アプローチ



すべての構成要素を具体的に記述することはできない。

むしろ未知の部分が多いほど、抽象的表現にとどまらざるをえない。

→ 研究開発は、システムが満たすべき機能と機能発揮のための具体的方法を明確にしながら、機器、システムの具体性のレベルを向上させることに向けられる。

初期においては論理性のレベルが高く、それに由来する機能発揮の方法に基づいた研究開発によって、機能が具体性のレベルの高い構成要素に変わっていき、システム全体が具体的に構成要素によって表現されることになる。

3. 核融合研究開発の特徴

- ・ 核分裂システムとの比較

核分裂システム = 多くの機能が炉心部に集中



核融合システム = 機能が分散的

- ・ 核融合炉概念の形成

閉じ込め概念を中心に
核融合反応を起こす
プラズマ空間をつくる



その周辺に他の構成要素の
お化粧をする

- ・ General descriptive model により
核融合システムを表現

実験炉建設について

・ 実験炉建設の時期

システム構成要素の
具体性レベルが向上



実験炉建設に向う段階に
来ている

・ 実験炉建設の意義

- 1) 実験炉の製作、運転を通じて基礎基盤の具体性レベルの向上へのフィードバックが可能になる。
- 2) 実験炉によって炉としての機能発揮を確認し、システムの具体性のレベルを一気に向上させ、次の段階に向う事が可能になる。

基礎基盤が完全になってはじめてシステムを構築するということにはならない。

・ 核融合研究開発のステップ

- 1) 実験炉段階：自己点火条件の達成及び長時間燃焼の実現並びに原型炉の開発に必要な炉工学技術の基礎の形成
- 2) 原型炉段階：定常炉心プラズマの実現及びプラント規模での発電の実証
- 3) 実証炉段階：発電プラントとしての経済性の実証

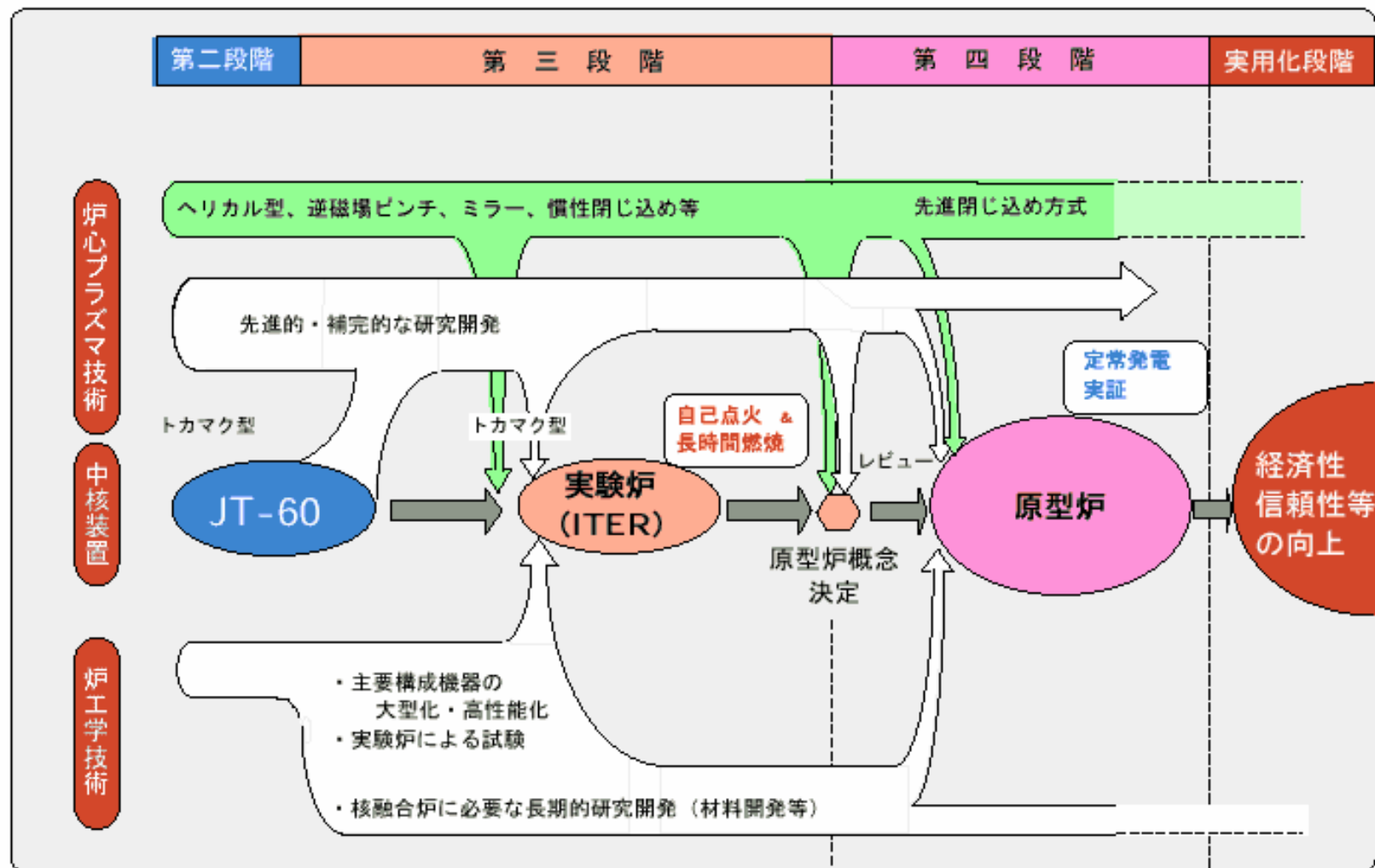
- ・ これは、さきに高速増殖炉開発に際して採用されたもの。
- ・ 技術開発の着実性の観点からは評価される。
- ・ しかし、実用化までに時間がかかりすぎる欠点がある。

高速増殖炉開発の場合、ステップアップの過程でつまずき、初期の目標を達成できないでいる。

(考えられる原因)

- ・ 技術開発が順調に進まなかった。
- ・ 社会の変化が長期的展望を必ずしも受け入れず、そのとき、そのときの状況に応じた判断を優先させ、すべてのステップを着実に踏めなかった。

核融合エネルギー研究開発と実用化への道

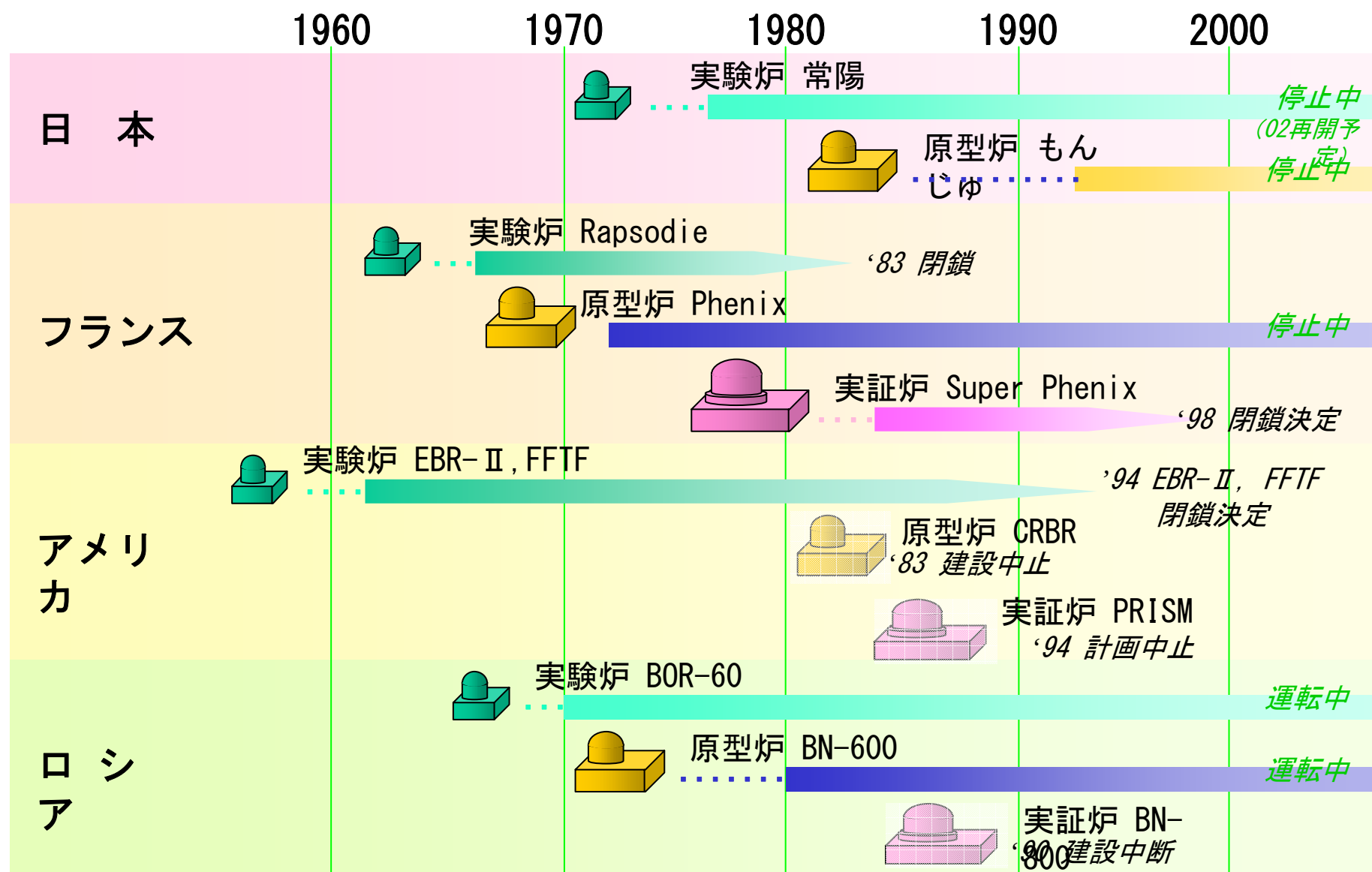


出典：原子力委員会核融合会議開発戦略検討分科会

「核融合エネルギーの技術的実現性 計画の拡がりと裾野としての基礎研究に関する報告書」

(平成12年5月17日)

各国の高速増殖炉の開発状況



・核融合研究開発はどうあるべきか

これまで、原子力の研究開発は、着実さ・確実さを狙い、非常に時間のかかるタイムスパンでやってきた。

しかし、現在、社会的トレンドは、大規模計画への思いに乏しく、ゆとりがなくなっている。

社会に認められるためには、アウトプットを早く出せるようにすることも重要ではないか。

核融合研究の特徴(＝機能が分散的であること)を利用し、実用化を早めることはできないか。



- ・ITERでできることとできないことを明確化する。
- ・ITERでできないことは、他の施設で別途、進めてゆく。