

原子力委員会 核融合専門部会 技術ワーキンググループ
2002年9月6日

核融合発電の早期実現について

岡野邦彦
電力中央研究所

環境への効用の観点からみた核融合を実現すべき時期(1)

世界がめざす目標は

CO₂濃度を2100年に産業革命前の2倍(550ppm)で安定化

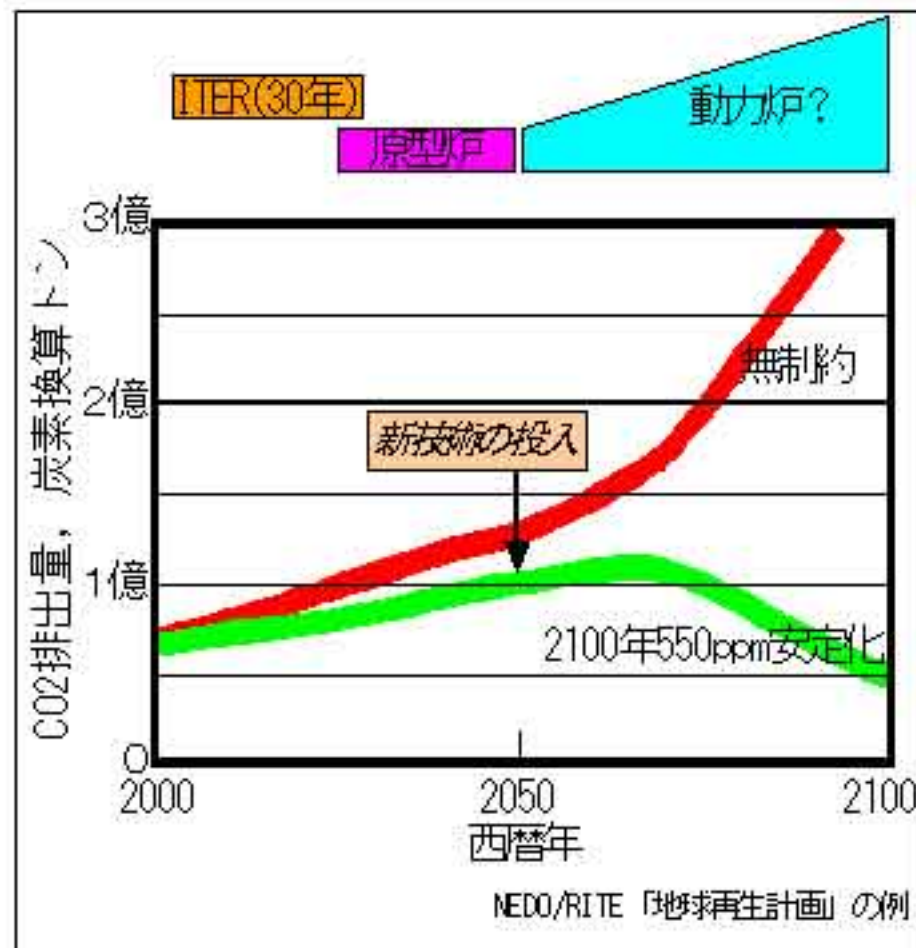
それには・・・

1) 今すぐに

CO₂発生量の**上昇率**を下げる

2) 今世紀中旬以後
新技術の導入で
上昇を**下降**に

この**新技術**として間に合わなければ、現時点で大きな投資をする価値を主張しにくい。



環境への効用の観点からみた核融合を実現すべき時期(2)

核融合炉は実用化と同時に大量に建設できるわけではない。

どのくらいの速度で投入可能か？

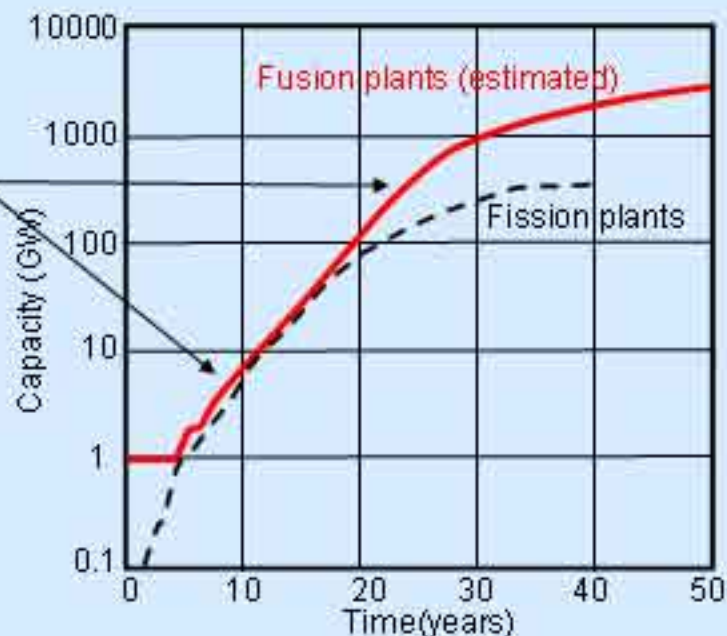
IICケース(初期はTBRが制約)

・初期装荷トリチウムの制約
TBR=1.08で核分裂の歴史と同程度の増設速度が可能(右図)

・建設工事容量の制約
例えば100GW/ty
=軽水炉ピーク時の数倍

MCSケース(建設速度のみが制約)

初期装荷トリチウムなし立上げも可能(NBI:100MW, 3ヶ月で起動)。この場合は、トリチウム増倍を待たずに次の炉を建造可能で、建設工事容量のみが制約。



Asaoka et al., Fusion Technol., 39(2001)618
Tokimatsu et al., Fus. Science & Technol., 41(2002)831

環境への効用の観点からみた核融合を実現すべき時期(3)

いつ、いくらで初代炉を投入できれば環境保全に役に立つのか？

いつ？

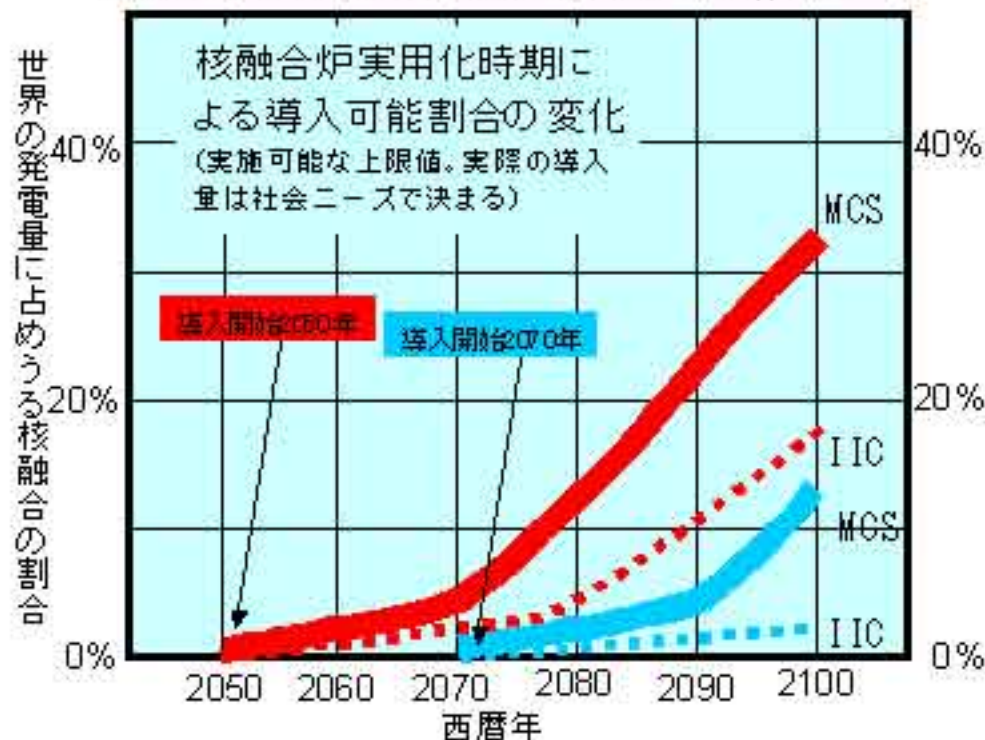
2050年導入と2070年導入の効用の差は大きい。MCSケースでさえ、20年遅れば急速に効用は低減。IICケースでは2070年導入では寄与は非常に小さくなる。

いくらなら市場に入るか？

2050-60年ころ市場投入可能なコスト限界点は**現行火力の約1.5倍 (COE_{en}=1.5)**

(地球環境産業技術研究機構とエネルギー経済研が独立に解析し、ほぼ同じ数字を得ている)
(戦略検討分科会の記述とも一致)

建設台数と共にコストが低下することを考慮して、他電源と競合しながら導入される場合の導入可能量試算結果



どの程度のパラメータならCOEn=1.5にできるか？

熱出力3GW程度の場合

$$COEn \approx \frac{11.8}{\beta_N^{0.9} \times B_{max}^{0.63} \times \eta_{th}}$$

電中研による簡易スケーリング

COEn=1.5になる例:

Bmax=16T, $\beta_N=3.9$

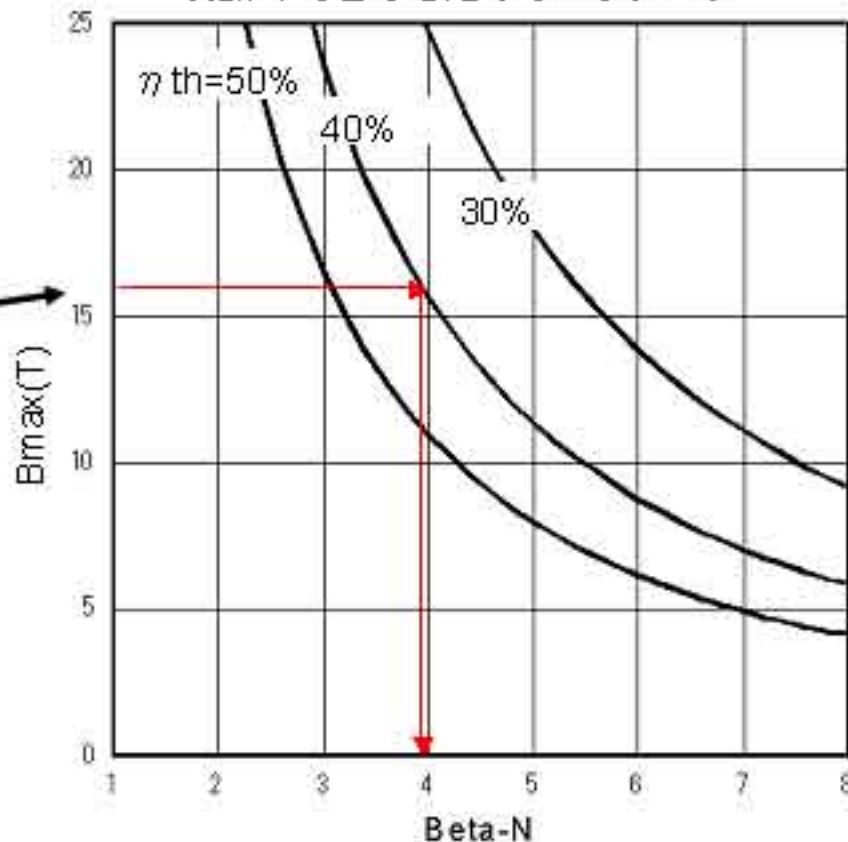
熱効率 $\eta_{th}=40\%$

これが初代炉の目標例

早期発電実証炉は、このパラメータを確認できる設計が望まれる

もちろん初代以後では更なるコスト低減が必要である。

COEn=1.5となるためのパラメータ



早期発電実証炉の仕様は？

2050年には初代炉を投入したい。それには、ITER成功後ただちに発電実証炉の設計を開始し、2030年ころの発電実証を確実に成功させることが重要
やや保守的設計でも確実な実施をめざすべき

- ・ネットTBR>1.0を必ず実証する

低壁負荷仕様からスタート

- ・最低でも継続的な正の発電量を実証する

$$P_{net} = (\text{発電機出力}) - (\text{循環電力}) > 0$$

- ・ITERでの点火燃焼が実現すれば設計作業に入れる仕様

大きな進歩を仮定せずに
 $P_{net} > 0$ を最低保証できる設計

- ・発電単価には重きを置かないが建設費には限度がある

EDA-ITERの大きさが限度か

- ・その運用によって初代動力炉への展望が見えること

メンテナンス技術を実証
経済性・信頼性実証

高性能ブランケットへの交換によって
約1000MW_e, $\beta N > 3.5$ を確認可能な設計

低壁負荷仕様からスタート

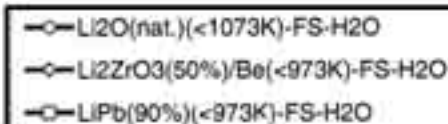
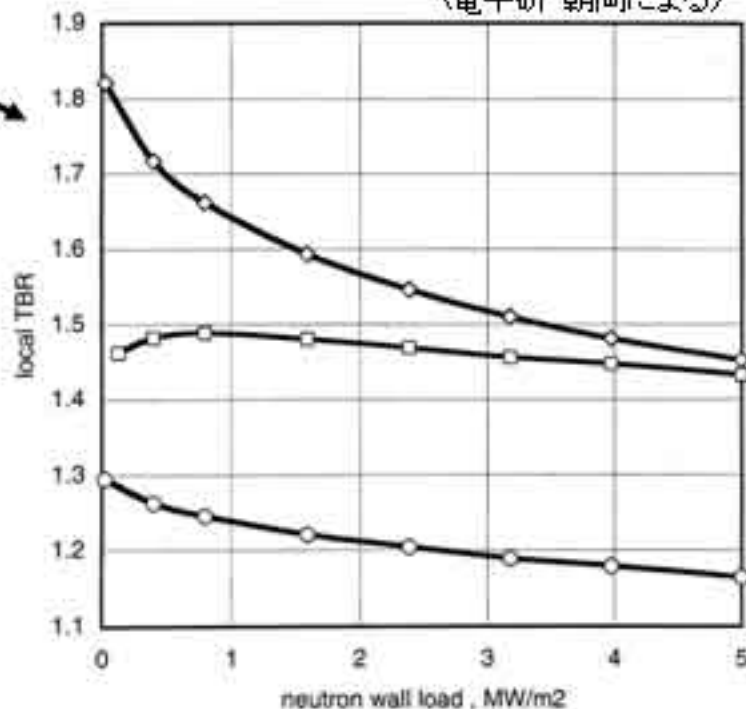
低い壁負荷のほうが冷却チャンネルが少なく、すむためにローカルTBRが大きく取れる。

モジュールブランケット方式を採用した場合に必要なローカルTBR概算 (理想的モジュール形状を仮定)

	最大モジュールサイズ	
目標TBR	1m×1m	2m×2m
1.00	1.59	1.38
1.05	1.67	1.45
1.10	1.75	1.52

現実にはモジュール形状が四角形などに制約される、NBI入射ポートがある、などから、少なくともローカルTBR>1.5の確保は必須と思われる、TBR設計にあまり余裕はないだろう。

電中研におけるブランケット予備設計の結果
(電中研・朝岡による)

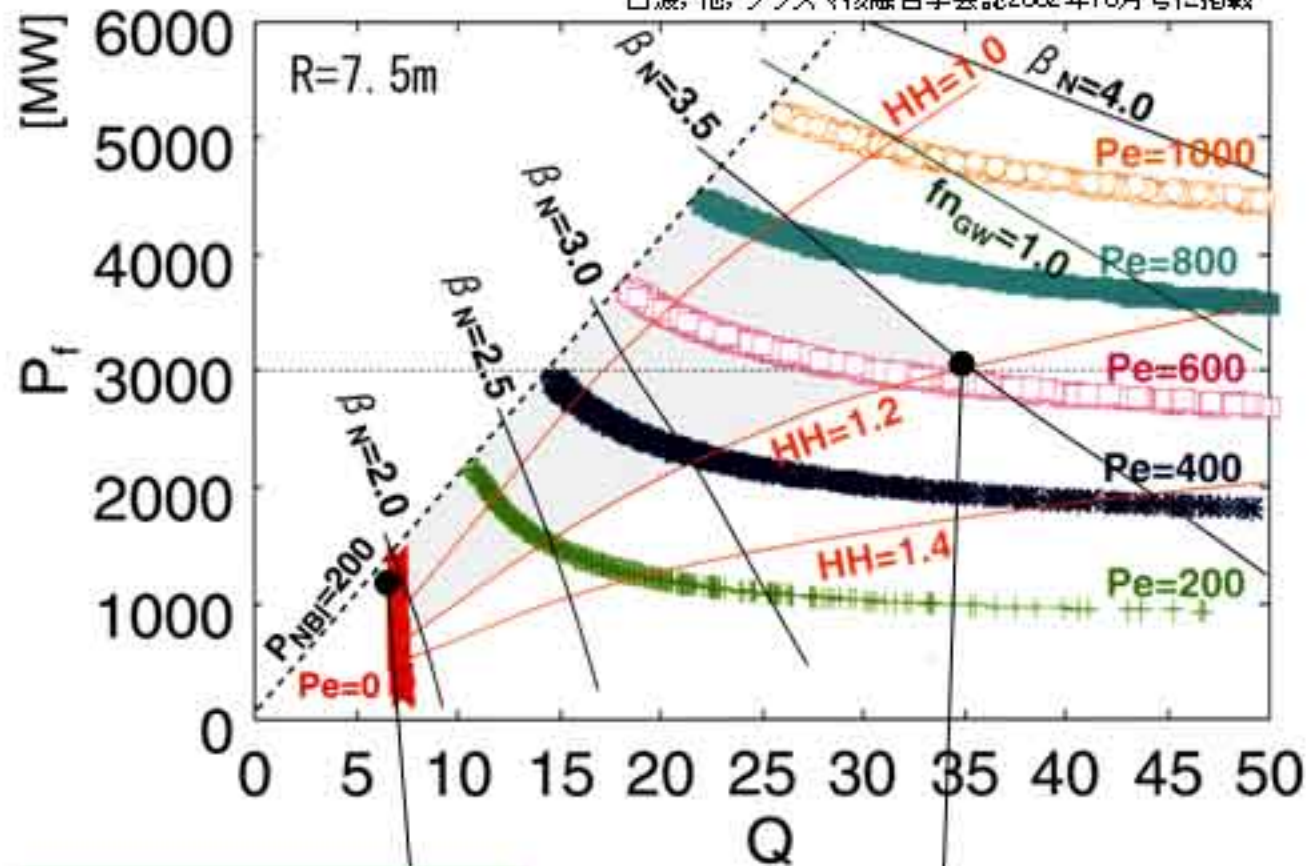


早期発電実証のための設計仕様研究

電中研のトカマク炉システムコードを用いて、以下の設計範囲で10万セット以上のパラメータ組合せによる設計計算を実施。この範囲では可能性のすべてを網羅している。

主半径 R (m)	6.0~85
アスペクト比 A	3.0~4.0
非円形度 κ	1.5~2.0
三角度 δ	0.35~0.45
運転温度 (keV) [$T_i=T_e$]	12~20
表面安全係数 $q\psi$	3.0~6.0
最大トロイダル磁場 B_{tmax}	16T (ITERは13T)
NBIシステム効率 η_{nb}	50% (ITERは35%)
NBI入射パワー制限	200MW以下
発電効率 η_e (%)	30
ブランケット+遮蔽厚 (m)	1.4
ネット電気出力(MW)	0~1000

$B_{tmax}=16T$ とNBIシステム効率=50%(プラズマ中性化セル)は見通しが十分にあるとの情報を得たので採用。 $\eta_{nb}=35%$ や $B_{tmax}=13T$ のままでは $P_{net}=0$ を $\beta N < 2$ (いま確実に達成)で満たすのが難しい。



$\beta_N=1.8, HH=1.0, f_{GW}=0.85$
 (ITER 基準設計値)で $P_{net}=0$
 を達成可能
 $P_w=1 \text{ MW/m}^2$

$\beta_N=3.5, HH=1.2, f_{GW}=1.0$
 (ITERで試験可能な領域)で
 $P_{net}=600 \text{ MWe}$ を達成可能
 $P_w=3 \text{ MW/m}^2$

熱効率を40%にできれば, $P_{net}=900 \text{ MWe}$

まとめ

1. できるだけ早期に初代炉を投入できることが核融合の価値を高める。
2070年の投入では2100年時点までの地球環境への寄与はまばなくなる。
2050年までに投入したい。
2. 2050年に投入できる限界点は、火力のコストアップを考えると現行火力の1.5倍のCOEからと予想される。これは現在の知識でも想定可能な範囲。
3. 早期(2030年ころ)に発電実証を達成しないと初代炉を2050年に投入するのは難しい
4. 発電実証炉が設計可能なパラメータ領域をスキャンした。

大型で余裕のある設計でまず発電実証を成功させてしまったほうが有利ではないか

R=7.5mの装置であれば、

- ・ITERの標準パラメータ($\beta_N=1.8, H=1.0, f_{GW}=0.85$)で $P_{net}=0$ を達成可能
- ・ITERの先進運転のパラメータ実現を前提に 600-900MW_e を確認可能
- ・COE_e=1.5の見通しを確認することができる

附録

もっと魅力ある炉ができるまで実用化を見送るべきか

(1)時間の観点

・**実現確率100%でも未来の経済価値は割引いて評価(割引率の考え方)**

実現が遠いほど効用は急速に下がる

(例)割引率(利息率)5%の場合

現在の1000億円の価値は、

100年後の13兆円に匹敵 ($1.05^{100}=132$)

70年後の3兆円に匹敵

50年後の1兆円に匹敵

高性能をめざして核融合実用化の研究期間を一年延期する毎に、高性能化による核融合の効用が増える必要があるが、先の核融合炉発電シェアの予測も含めて考えれば、むしろ効用は急速に減る可能性が高いのではないか。

限界点「COE<1.5」がクリア可能な早期実現の道があるなら、とにかく実現すべき。

実現確率も実際は100%ではないのであるから、「もっと高い魅力」を求めて実用化を後送りするのは不合理と思われる。

もっと魅力ある炉ができるまで実用化を見送るべきか

(2) 期待値と効用の観点(実現確率が100%でない場合)

・高性能を予言すれば投資先としての魅力(効用)があがるか？

人が投資を決断する効用は成功益の期待値に比例しない*

(例)

資金	投資	成功益	実現率	期待値
1) 1億円	1億円	4億円	50%	2億円
2) 1億円	1億円	40億円	10%	4億円
3) 1億円	1億円	4000億円	0.2%	8億円

投資が一回限りなら、運転資金1億円すべてを2)に投資する企業家はいないはず。もちろん3)は論外。

少なくとも1)2)3)の順に投資価値が高いと感じないのは明白である。リスク分散投資を考えても2)への投資には資金の2割が限度だろう。

期待値が高くても、「低実現率の高成功益」は低い効用にしか評価されないことが多い。高成功益だけめざして実用化を後送りするのは誤りである。

*例えば、松原 望「現代人の統計4, 意思決定の基礎」

意思決定の効用論から言えること

- ・成功率が低いと考える人を成功益の大きさを説得することは困難
- ・核融合は遠い未来の成功益の増大より実現確率を高める(示す)ほうが現状では重要。それだけで核融合の効用(投資価値)は著しく増大するだろう
- ・早期発電実証の主目的は核融合炉実現率の高さの実証。
(ただし、経済性の将来見通しは必要。最低目標:COEn=1.5)
- ・早期に発電を実証して、できるだけ早い次期にCOEn<1.5の初代炉投入をめざすべき。