1 . 高速点火核融合炉の原理的な成立性 ・炉工学 , 燃料ペレット , 炉用レーザー

 わが国はレーザー核融合をいかに位置づけて, 推進あるいは抑制すべきか.

33A.	
Ľ,	疇地 宏
	大阪大学レーザー核融合
	研究センター
	佰子 力 禾昌 今
	核融合研究開発基本問題検討会
	2003年8月21日

- ザー核融合炉の開発計画





中心点火核融合炉「光陽」の液体壁





米国の炉研究 Research to create thick liquid "walls" has extended our ability to manipulate and control free liquid jets



*国の炉研究 Oscillating sheet jets and laminar cylindrical jets are under investigation at UC Berkeley and elsewhere



高速点火の炉開発戦略へのインパクト



高速点火は小規模な開発が可能

- ・中心点火の1桁小さいレーザーで実験炉が可能.
 - 光陽4MJ, NIF2MJ LFER0.2MJ
- 小規模な実験炉のため早期でコストの低い開発が可能ではないか?

中心点火の炉設計を見直し,高速点火に適した開発のロードマップを策 定する必要がある.

IFEフォーラム 慣性核融合エネルギー開発ロードマップ作成ワーキン ググループ(苫米地委員会)で検討を行った.





固体壁炉の可能性がある.





ITER	Typel-ELM

エネルギー パルス幅 熱伝導厚さ

温度上昇

~ 0.6 MJ/m² ~ 1 ms ~ 200 µm

~1000 度

- LFER*固体壁炉 ~0.02 MJ/m²(中性子を除く) ~1 µs
- ~ 7 µm
- ~1000度

<u>炉壁でのエネルギー流束と温度</u>

固体壁の設計窓

中性子出力	8 MW	8 MW
冷却材	水	Li ₁₇ Pb83
形状	直径6m厚さ30cm	直径6m厚さ15cm
出入口温度差	100 °	100°
冷却材質量流量	19 kg/s	500 kg/s
冷却材加熱時間	32分	5.6分

この間に熱の損失が無いよう,十分な断熱を行う必要がある.

断熱材(厚さL=10cm)の熱保持時間(L^2/χ)は冷却材の加熱時間に比べて 十分に長い.

(例)ストロングボード 20 時間
ポリスチレンフォーム 3.5 時間
コンクリート 3.3 時間

ペレット 空気銃方式によるペレットインジェクション

横方向の変位<5ミクロン 縦方向の変位~80ミクロン

よって横風の影響は無視できる.

コーンターゲットは炉心プラズマの圧力により加速され,弾丸のように最終 光学系を直撃するかもしれない.

- ・点火プラズマの圧力が非常に高いために,コーンが蒸発する設計は可能.
- ・点火に失敗した場合にはコーンが残る可能性がある.

コーンの得る速度 ≈ 数100 m/s コーンの得るエネルギー ≈ 数10 J

最終光学系 - アニール石英 -

現在は手工業の段階

LDを25層 (2.6kW) 積み上げるのに熟練技術者が1日かかっている.

・大量生産に適した工程の革新

- ・組み立て工程の自動化,高精度化
- ・積層構造の簡素化(面発光など)

・結晶成長法の改善

エピタキシャル(気相)から液相成長へ

LEDではこの方法により1桁以上の価格低減

・大量生産に見合う市場

が必要.

LD励起レーザーの市場規模

出展: S. G. Anderson: Laser Focus World (1999)

レーザ ソリューション事業部

ILE OSAKA

レーザー寿命

産業用LD励起固体レーザーは連続運転で1年以上稼働

実験炉用レーザーは350 kW

独TRUMPF社

1. レーザーダイオードの寿命

連続運転にて10000時間

パルス運転にて10¹⁰ショット(10 Hz で30年)

2.光学素子の寿命

産業用レーザーで光学素子の損傷閾値の1/10以下の運転 半無限の寿命 核融合用レーザーは損傷閾値近傍で運転 設計の最適化と材料開発が必要

レーザー核融合炉には広帯域レーザー(レーザー準位の広がり) が必要.

- ・加熱用レーザーは超短パルスのため.
- ・爆縮用レーザーは一様性のため.

開発が進んでいるHAP-4とよばれる非晶質材料は,広帯域である が,高いフルーエンスで運転する必要がある(光学的損傷を受け やすい).

実験炉ではHAP-4を用い,並行して革新的技術の開発を進めて, 原型炉段階で取り入れる.

Wavelength [nm]

想定されるレーザー核融合炉開発のロードマップ

^{ロードマップ} レーザー核融合の位置づけ

先進的核融合炉の可能性を拓く

- ・小規模 (200MWe) ~ 大規模 (1GWe) までの発電炉可能
- ・出力調整容易

磁場核融合と異なる発電市場

リスク管理としての条件を満たす

- ・質的に異なる原理 主計画の困難が隘路にならない
- ・炉開発の見通し
- ・小規模の開発が可能

わが国の研究開発体制

FIREX(炉心プラズマ物理)については,核融合WGから大阪大学と核融 合研との連携協力が求められ,クライオ燃料ターゲット開発の協力が既 に始まっている クライオ燃料ターゲットの高速加熱により中性子発生 数の世界記録の更新を目指す.

炉用レーザー&炉設計については,大阪大学と原研・産総研等との連携協力等を検討する必要があるのではないか.

レーザーダイオード開発は産業界との連携が重要.

先端科学技術は防衛目的と平和利用を切り分け,後者を自主・民主・公開の原則のもとに推進.

レーザー核融合は,技術そのものが兵器に直結するのではなく,高温・高密度の物質の性質などの 基礎物理を通して核兵器維持管理に関連.(ウラン濃縮やロケット開発と異なる.)

科学的知識を軍需と民需にどのように切り分けるか?

米国においても切り分けができるかの議論がされた.

- 「国立点火施設(NIF)と核拡散防止問題」(米国エネルギー省最終調査書 1995年12月)
- ・ペレットサイズ1cm以下の全ての情報は公開.核融合炉では5mm以下
- ・ペレットを駆動する黒体輻射温度が400eV (470万度) 以下の全ての情報は公開. 間接照射方式の核融合炉では300eV以下.

高速点火を含む直接照射方式ではそもそも黒体輻射を使わない.

この結果, NIFの点火・燃焼に関する研究は公開されることになった.

結論:エネルギー開発研究は,核拡散問題に抵触することは無いと思われる.

- 1. 高速点火は, レーザー核融合炉実現への戦略を根本的に変化させる可能性がある.
 - ・実験炉,実証炉が小型のため,早期の開発が原理的に可能である.
 - ・磁場核融合と異なる発電市場(200 MWe 規模,出力変動対応)
- 2. 早期実現のためには, クリティカルパスである
 - ・FIREXによる炉心プラズマ物理の確立
 - ・高繰り返しレーザー&ペレット技術開発
 - ・炉設計

を並行して進め10年程度後に,実験炉開始の条件を整えることが必要.

3.そのための検討委員会を設けることが望ましい.