

No. 25 トロイダルプラズマの輸送の総合理解

提案者 田中謙治

本ユニットの取り組む研究テーマ

下記の二つの研究テーマに集中的に取り組む。

1. 電子加熱下における外部加熱を用いないイオン加熱
2. ヘリカル・ステラレーターにおける輸送の最適化

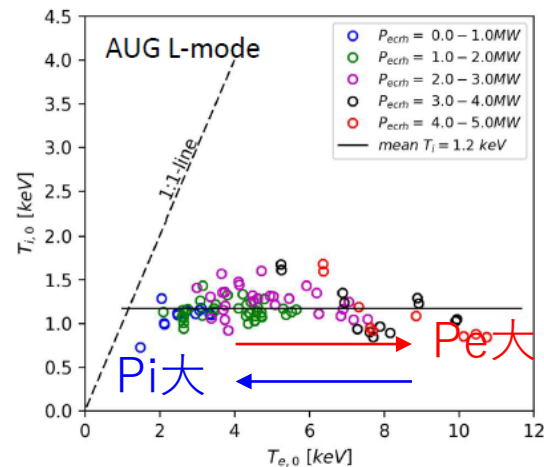
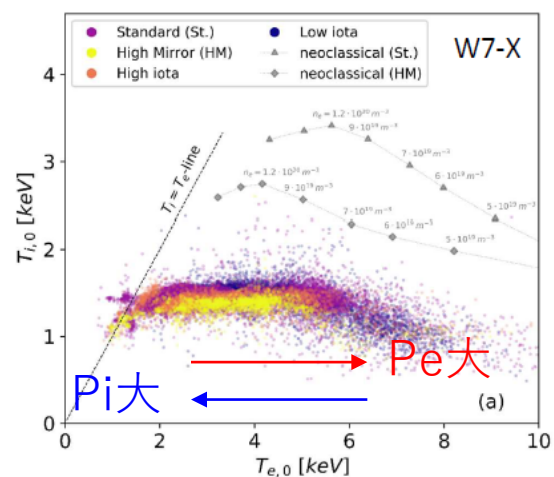
具体的なアクションプラン

国内外の閉じ込め装置において共同研究者として参加
物理実験に参加するだけでなく、計測、加熱、制御装置の設置など研究に必要な
ハードウェアの設置も行い、これらの機器を用いて実験に参加する。

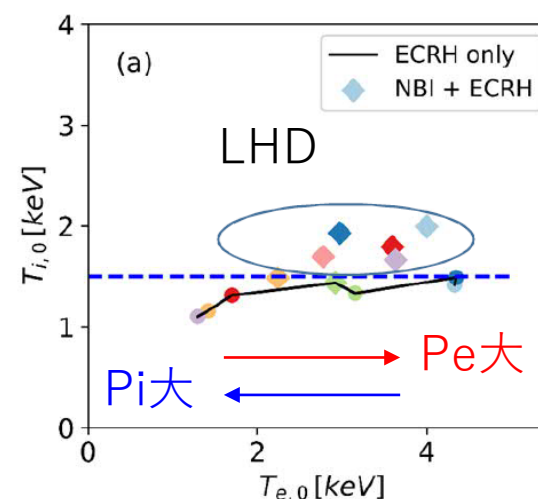
LHDの機器の移設も必要に応じて行う。

研究テーマ 1 電子加熱下における外部加熱を用いないイオン加熱

Beurskens (FEC2020)



Beurskens, Tanaka 2020-2021 22nd LHD exp.



電子加熱下でのイオン温度上昇リミット (Ti clamp) は閉じ込め配位によらない共通な現象

核融合炉では α 加熱は電子加熱、外部イオン加熱は困難 (特に中心領域)

Te/Tiを下げればイオン温度は上がる。
(LHD HighTi実験の遺伝子)

一点突破全面展開となる研究テーマ

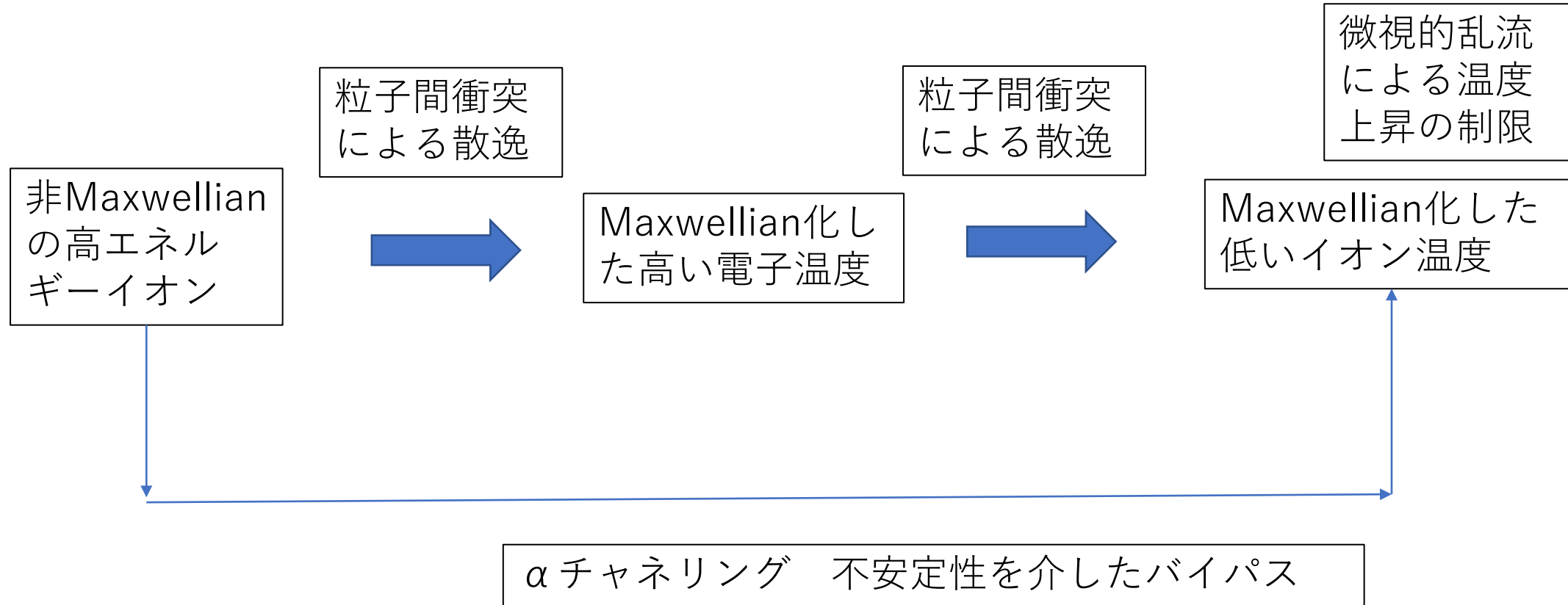
ITPA, TTFなどでworking groupを結成して国際的な研究グループを組織

どうやってTe/Tiを下げる。

- i) ペDESTAL温度の上昇→エッジ物理
- ii) 乱流の低減によるイオン温度増加のパス→輸送物理
- iii) α チャネリング→高エネルギー粒子駆動不安定性

この分野の研究を世界的にリード

研究テーマ 1 の核融合分野の知見を超えた一般化



事象を一般化して同様の類似した物理現象をほかの分野から探る。
→エネルギーの移行過程のマルチパス
→他の分野でも同様の現象はあるか？

研究テーマ2 ヘリカル/ステラレータ装置における輸送の最適化

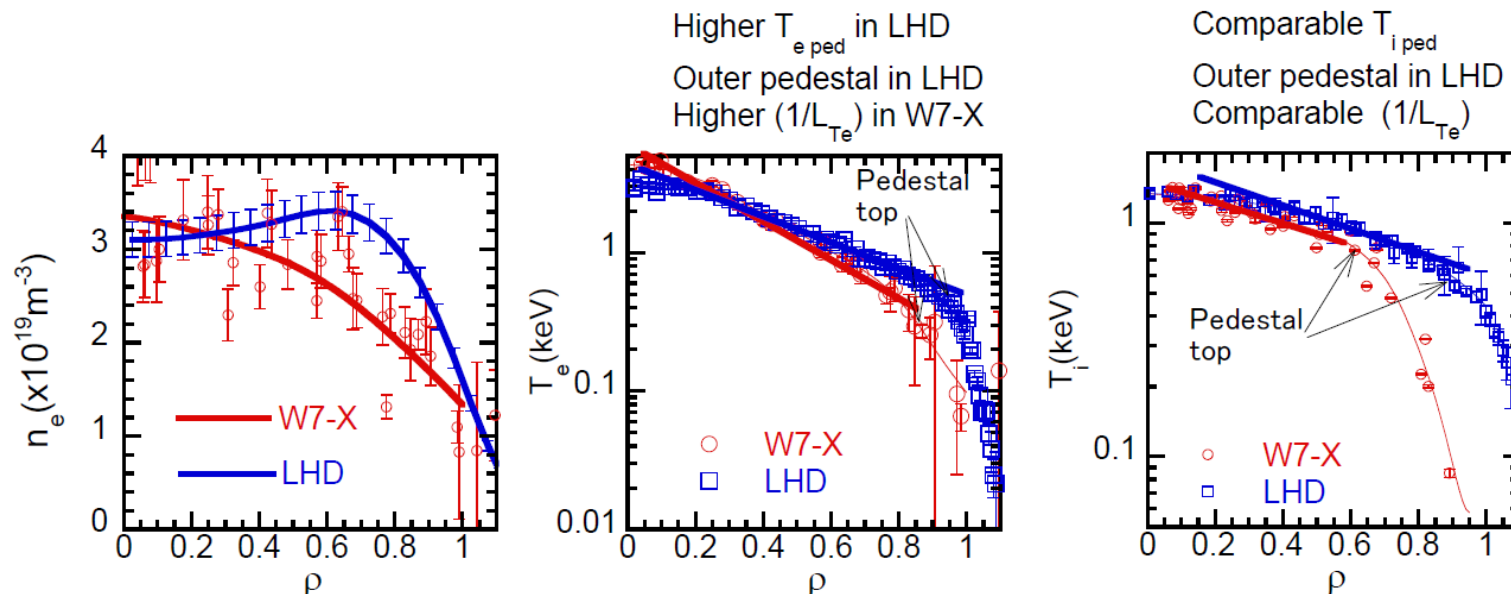
LHD-W7Xの比較を中心とする。

プラズマサイズが同程度加熱パワーもおよそ揃えることができる。同程度の温度、密度を達成できるので定量比較が可能。

実験結果に基づく明確な比較が可能。

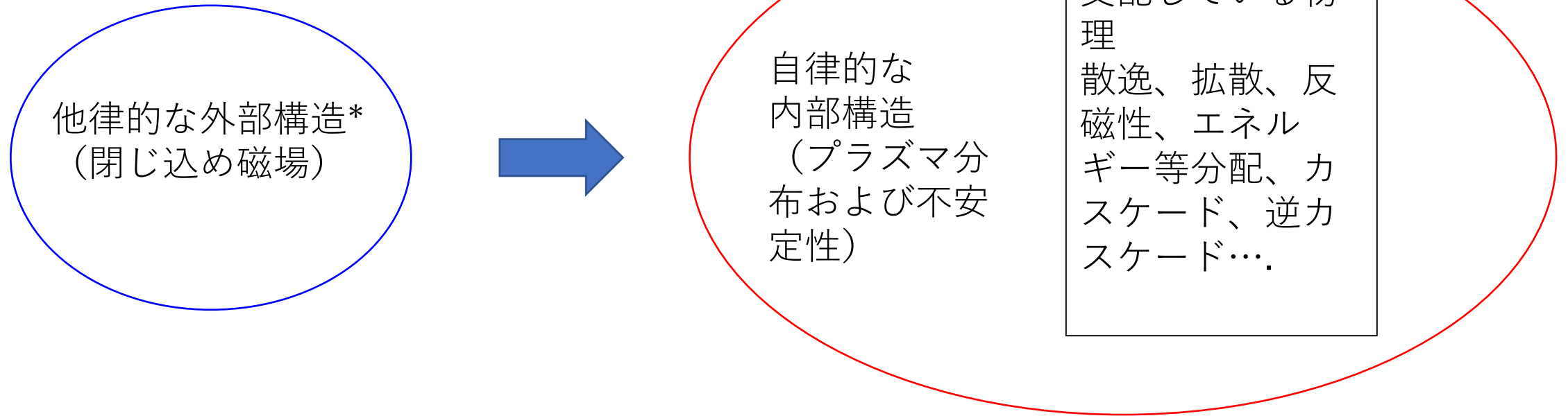
装置の優劣を競うのではなく、磁場配位がどのように輸送、巨視的、微視的不安定性に寄与するかを定量的に明らかにする。

比較実験を通じて5年以内に乱流駆動輸送の磁場配位効果について明確な結論を出す。



T_e, T_i 分布の違いは異なるペデスタル、異なる敷居温度勾配を持つプラズマとしても比較可能。

研究テーマ2の核融合分野を超えた一般化



磁場配位効果を他律的な外部構造がどのように自律的な構造形成に影響をおよぼすかという構造形成の物理学と考える。
→他の分野でも類似した現象はあるか？

*トカマクの場合は半他律、半自律

実験手法について他分野への波及または他分野からの波及を探る。

計測、または加熱などノウハウを持つ技術をきっかけとして他分野との連携を探れないか？

具体例 位相差 (phase contrast) 顕微鏡のプラズマ計測への適用

Zernike(1935)による
位相差顕微鏡の発明

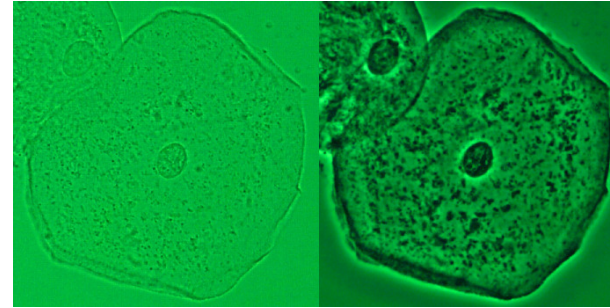
光学素子により $e^{i\phi} \approx 1 + i\phi$
 $\pi/2$ の初期位相
を与える。

$$1 + \phi$$

$$(1 + \phi)^2 \sim 1 + 2\phi$$

微小位相変化($i\phi$)を強度変化(2ϕ)に変換

上皮細胞



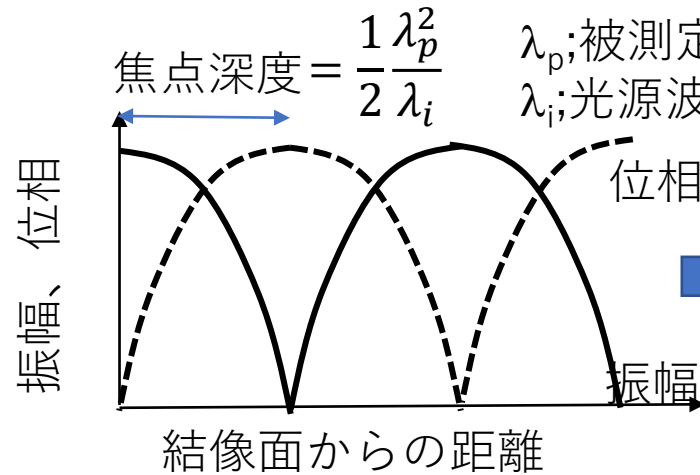
光学顕微鏡

位相差顕微鏡

ルビナー
によるプラ
ズマの像の
計測

CO2レーザーを
用いたプラズマ
中の乱流計測

Weisen 1986



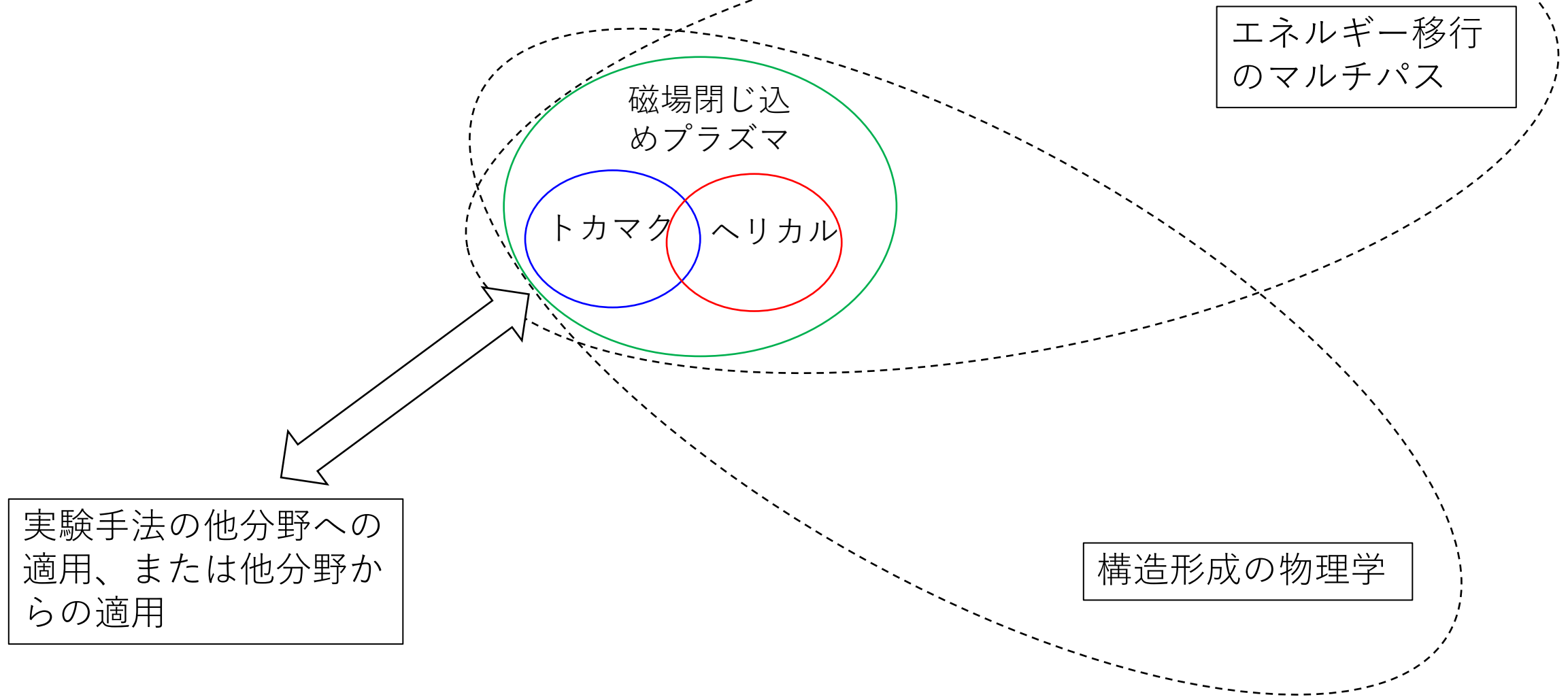
λ_p ; 被測定対象の波長
 λ_i ; 光源波長

Talbot効果

波または回折格子などの周期的な物体の強度及び位相は結像面から周期的に表れる。

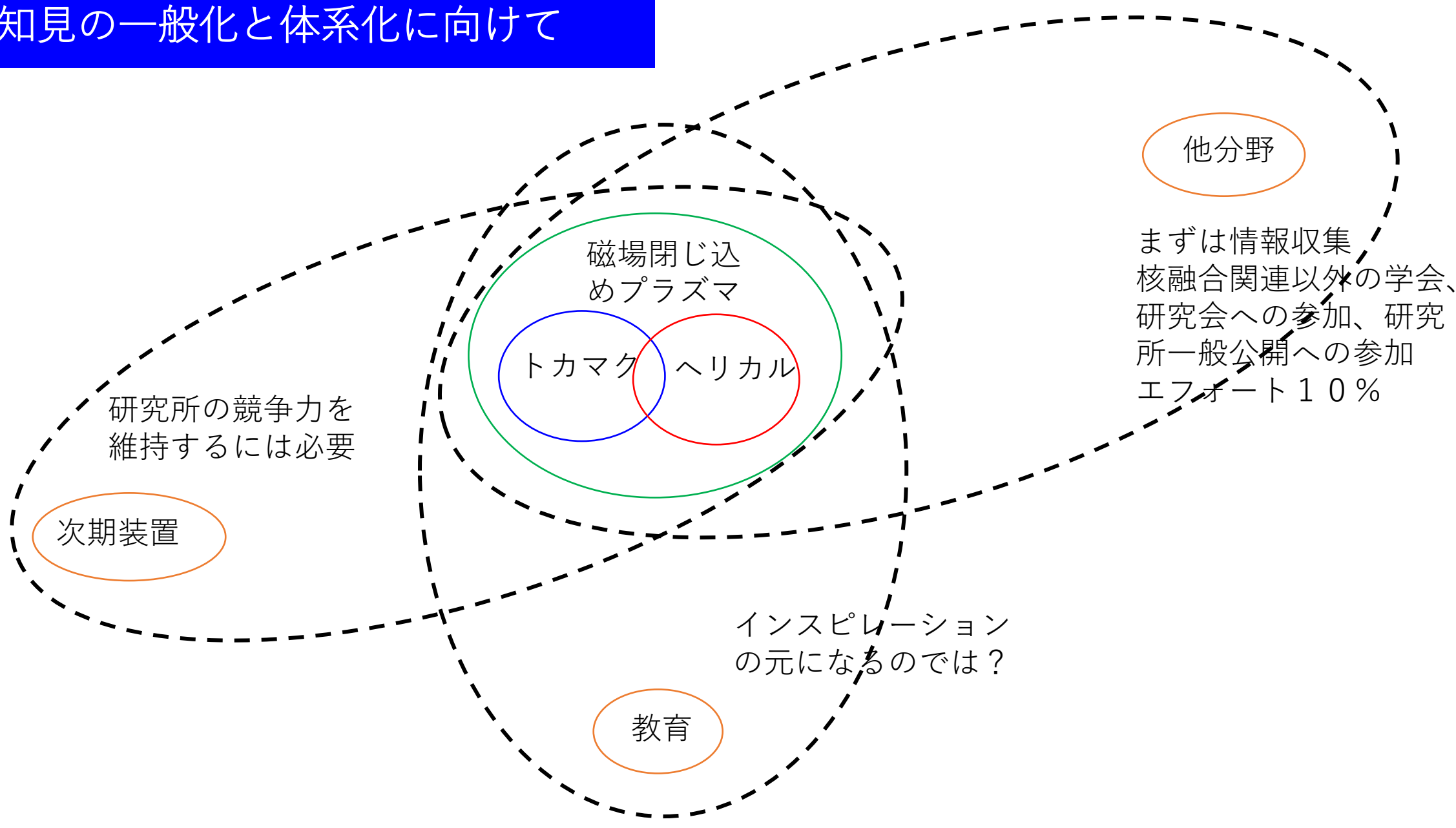
透過型で軸方向空間分解の取得の可能性→プラズマの揺動では焦点深度 $\sim m$ で。十分な分解能を取得できない。

光源の波長、測定対象を変えて他の分野への適用



一般化と展開に必要な他分野との連携については、まずは情報収集から始める。

予備スライド



乱流駆動輸送の研究の現状と今後の展開

正攻法

シミュレーション
コードの高精度化

輸送実験結果

検証を進めたのち簡約
化したモデルを構築

核融合炉運転
の予測

正攻法を追求する
ことは正しい。
学術的価値もある。

揺動計測は必須ではない。

コード開発と膨大な計算時間が必要。限界があるか？

限界を超えた輸送研究の新展開

新しい知見は理論と
実験が一致しないと
こから生まれるので
は？。

揺動計測が
カギとな
る。？

アクションプランは？
理論家に考えてもらう？
実験家が理屈を考える。？
理論家をattractするような結果
を示す。
ただし、取捨選択も必要か？

ユニット化の意義

研究グループを組織することにより共同実験、共同研究を効率よく行う。
グループで取り組むことにより、人脈は広げることができる。ユニット化により情報を共有（各装置における研究のキーパーソン、参加手順など、装置の稼働状況、加熱、計測装置の整備状況）
研究参加においては“ウリ”が必要。すでに取り組んでいる主要テーマの参入は難しいかも。
新しい研究テーマ、自分の今までの経験を生かす。情報交換により参加できるところを紹介。
これらの参加ノウハウを所外の研究者にも広める。

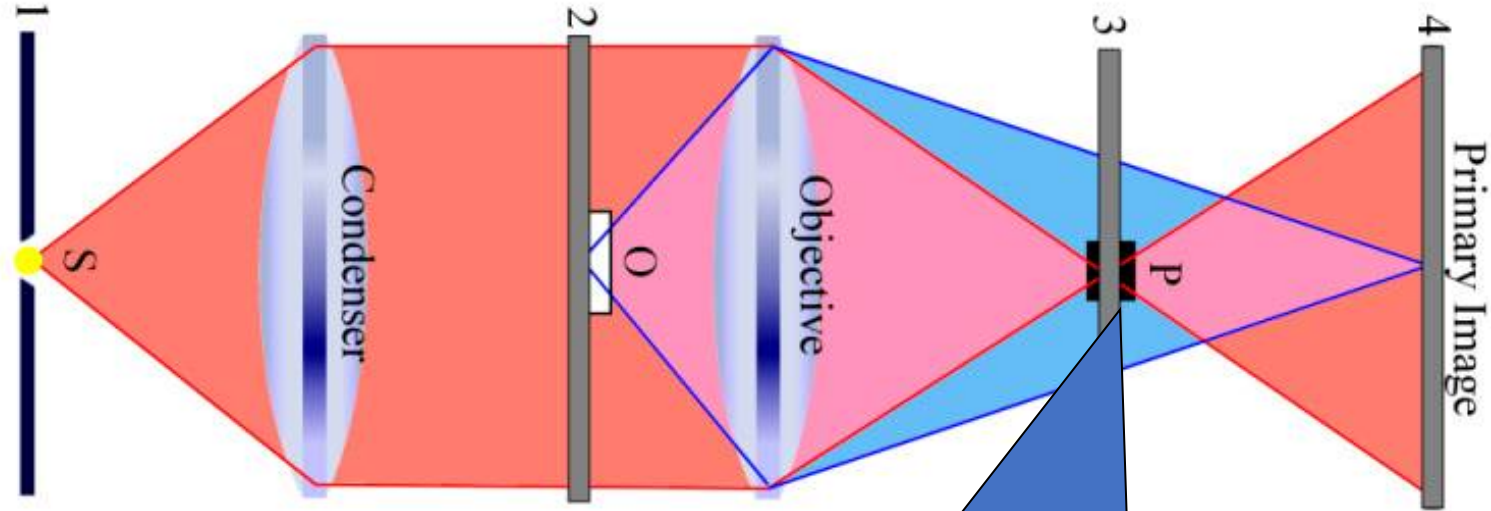
共同研究に関する情報の一例

JET
研究グループは各研究テーマごとに主に欧州の共同研究者で構成。明確なホームチームがない。
2021年よりT実験、その後DT実験を行う予定。DT実験を再度行う可能性もある。NIFSおよび大学からは”核融合に関する日欧協定”を通じて参加可能

TCV
共同研究者に入れば比較的实验に参加しやすい。計測、加熱、解析コードも比較的整備されている。ただし、解析コードを扱うにはMatlabをある程度習熟することが必要。実験テーマは年度ごとに募集した後は実施日については明確な決定はしない。前週に実験希望を出し、実験リーダーが決定

JT60-SA
機器の設置に関しては計測責任者（仲野さん）、物理実験責任者（吉田さん）との綿密な調整が必要。

Phase contrast techniques is developed to observe transparent phase object by Zernike (1935) and is widely used in biology field



$$e^{i\phi} \approx 1 + i\phi$$

$$1 + i\phi \rightarrow 1 + \phi$$

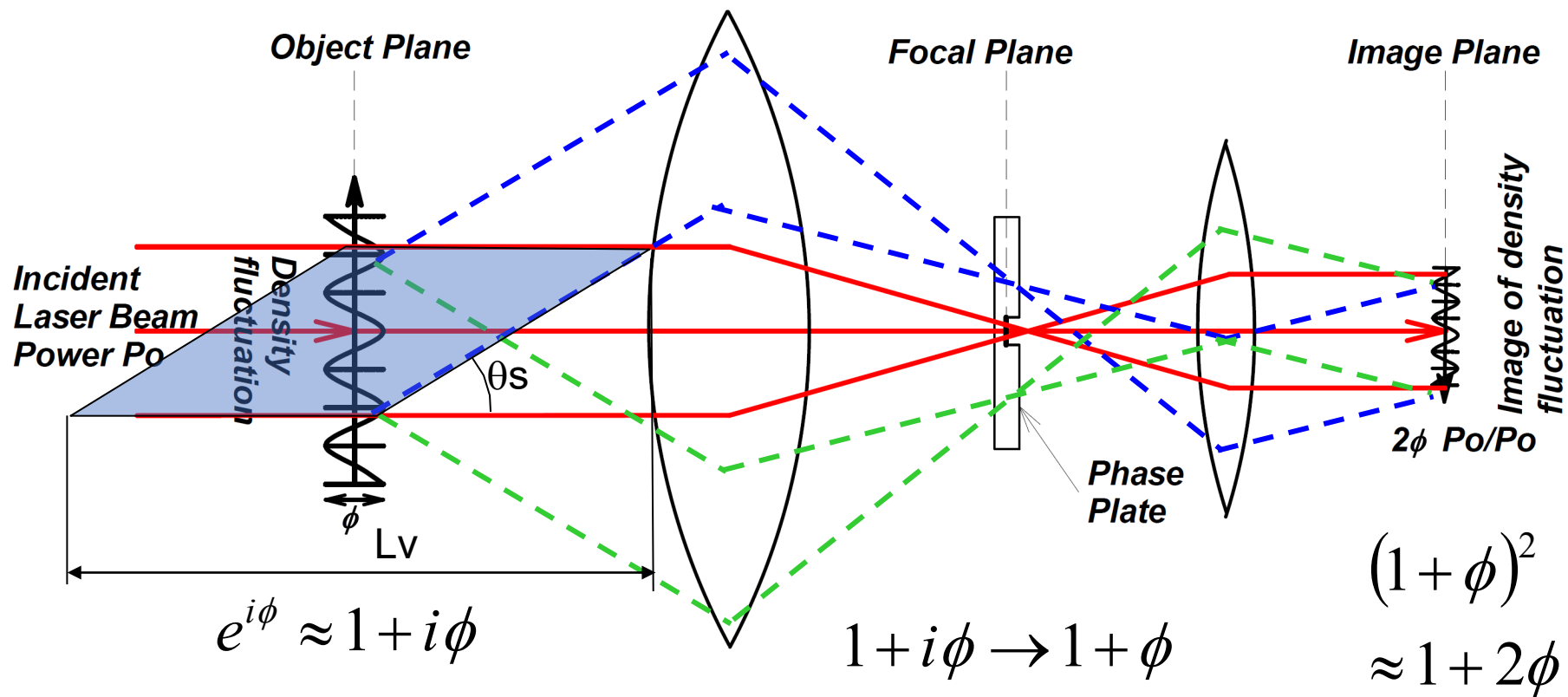
$$(1 + \phi)^2$$

$$\approx 1 + 2\phi$$

$\pi/2$ phase difference between scattered and transmitted light.

This converts phase modulation to intensity modulation

Phase plate gives $\pi/2$ phase difference between non scattered and scattered components stably and reliably



For $k_p=1\text{mm}^{-1}$ ($\lambda_p=6.2\text{mm}$) with $10.6\mu\text{m}$ CO_2 laser, θ_s becomes 1.7mrad . For beam size 10mm , L_v becomes 17m . Scattering volume is much larger than plasma size.