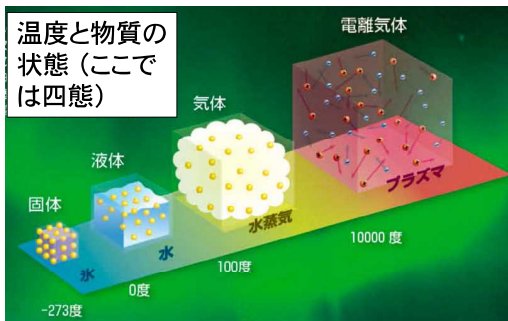


プラズマによる カーボンニュートラル社会の実現への貢献

電気電子工学系 三瓶明希夫
sanpei@kit.ac.jp

プラズマとは状態である



固体・液体・気体(三態)に続く4番目の状態.

イオン
電子
中性分子(ラジカル)
...様々な粒子の集合体.



講演者のこれまでの研究:プラズマの画像計測と物理の理解

研究歴:

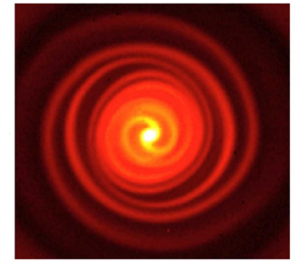
京都大学大学院(1999-2004):
非中性プラズマを用いた多粒子系の物理に関する研究

京都工芸繊維大学
助手・助教(2004-2014):
プラズマの画像計測と平衡推定に関する研究

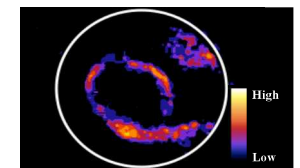
講師(2014-2019):
プロセスプラズマの計測法と新規応用に関する研究

准教授(2019-2025):
データ同化による異種計測器の統合と三次元分布推定,
新しいプラズマプロセスの開発に関する研究

2025年4月より電気電子工学系教授



電子プラズマが自発的に作る渦構造



高温プラズマに形成される
ヘリカル構造の軟X線画像

多彩なプラズマと、その応用



地球温暖化とは

太陽からのエネルギーで地表が暖まる。
地表から放射される熱を温室効果ガスが
吸収・再放射して大気が暖まる。

二酸化炭素などの温室効果ガスの
大気中濃度が上昇すると・・・

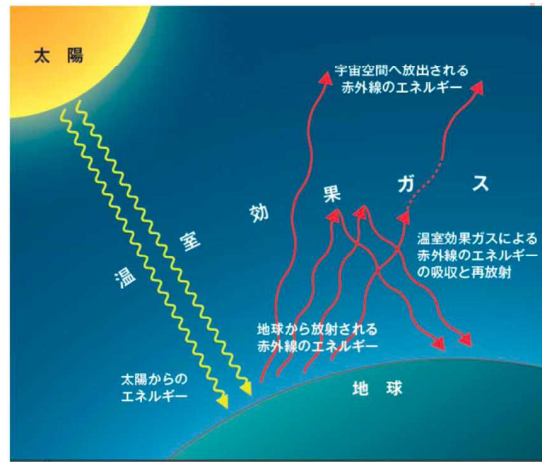
温室効果がこれまでより強くなり、
地表の温度が上昇する。

地球温暖化

対策：

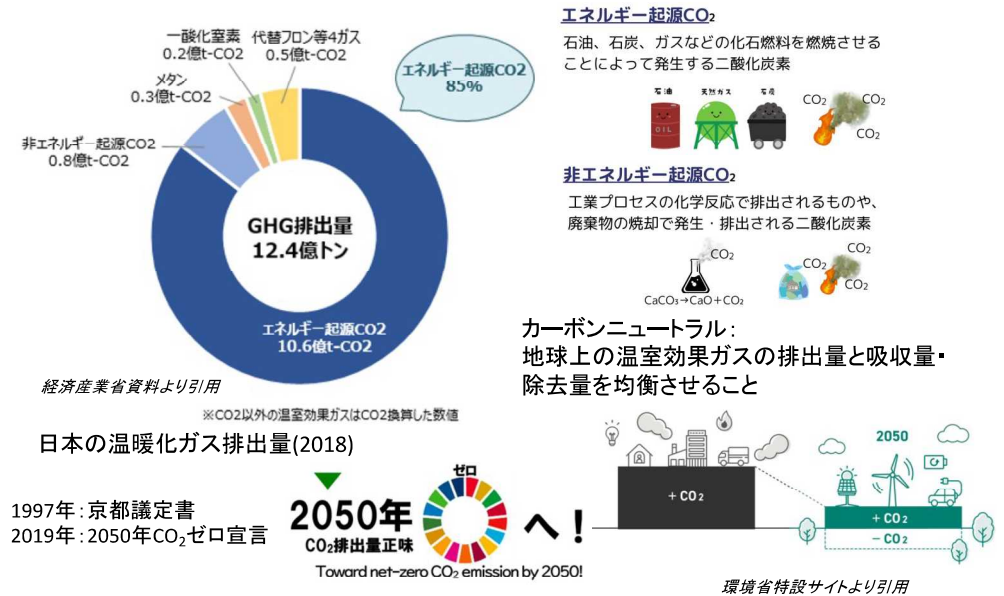
- ・温室効果ガスを変換してしまう
- ・温室効果ガスの排出を抑える

世界の平均気温14度
(温室効果がないとマイナス19度)

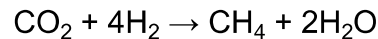


(環境省, 2008)

温室効果ガスはエネルギー起源が85%



プラズマ援用で二酸化炭素をメタンに変換する



・メタネーションは発熱反応。
低温ほど反応が進む。

・C=O結合を解離して反応を進めるには、
高温の熱エネルギーが要求される。

→熱依存的な方法のみで効率よく変換することは困難

振動励起CO₂と同時に水素原子を生成できる低温プラズマを触媒反応に作用させることで、
効率良いメタネーションが実現された。

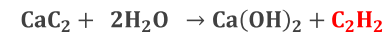
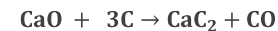
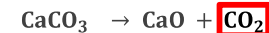


工業プロセスの化学反応をプラズマで置き換える

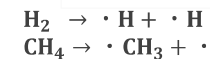
Acetylene(C₂H₂)

- 火炎温度が高く、燃焼・溶接用のガスとして用いられる
- 有機化合物として様々な化学物質(アセトアルデヒド、ベンゼン、塩化ビニル)の材料

カーバイド法



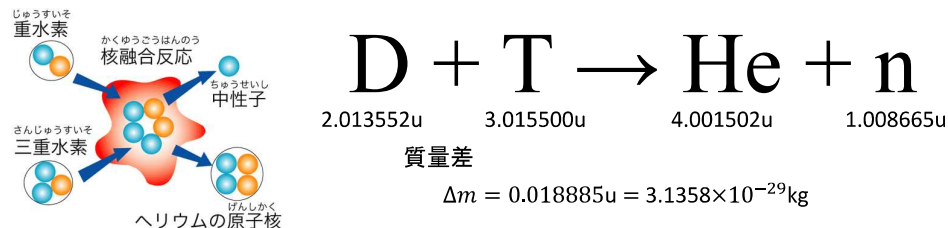
プラズマを用いた方法



CO₂を排出しない、CH₄を原料とする
新たなプロセスとして期待される

二酸化炭素を出さないエネルギー源：核融合

核融合：軽い元素（水素など）同士が融合し、より重い元素に変化する反応のこと。
太陽（恒星）内部では水素から始まる核融合反応でエネルギーを生み出している。



原理的にCO2を排出しない。

少量の燃料で大量のエネルギーを生み出します。（重水素の例）



重水素が枯渇するまで20億年？

核融合はプラズマ状態で起こる。

拡散するプラズマを高温・高密度・長時間閉じ込める必要がある。
（太陽は強い重力で実現している。）

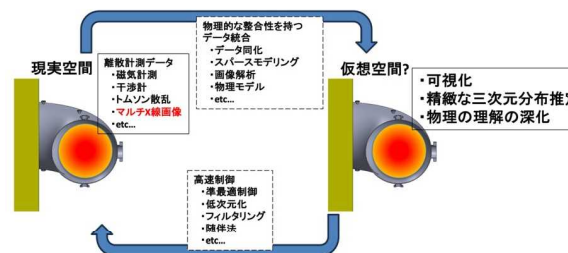
効率良い核融合炉の実現のためには、
プラズマ内部を把握し、制御する必要がある

核融合炉実現のためのインテリジェント計測の開発

核融合炉ではプラズマの状態を把握するための情報が不足した不確実性が大きい状況下で予測制御や状態推定を強いられる。

この問題の解決のために、ハードウェアの限界を超えるインテリジェント計測の開発を進めている。

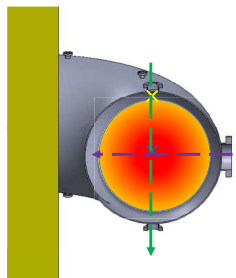
- ・離散的で次元の違う計測量の統合
- ・同種データの統合による計測量の拡張



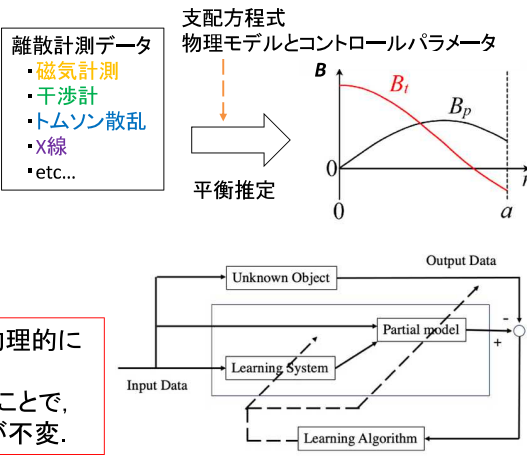
異種データの統合による内部推定

プラズマの内部推定は重要

- ・安定性解析
- ・位置制御
- ・諸現象の物理的解明



開発した内部推定法

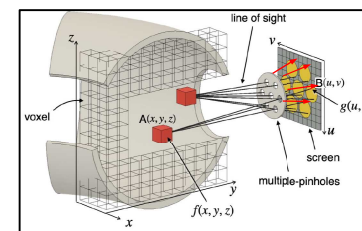


モデル内包型データ同化により、物理的に整合性のある推定が可能。
アジョイント法（随伴法）を適用することで、パラメータ数が増えても計算時間が不変。

少ない計測窓から多くの情報を得る

核融合炉は計測窓が少ない

マルチピンホールを用いて、一つの計測窓から三次元分布を推定できる計測システムを開発する

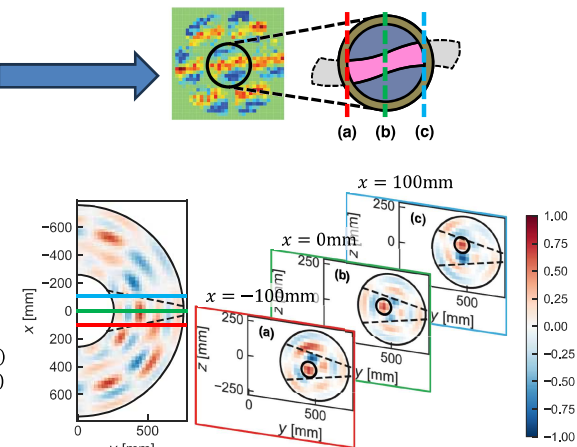


S. Inagaki, Nucl. Instrum. Methods, A, (2022)

三次元フーリエベッセル級数による逆推定

$$f_i = f_{m,k,n}^{c/s}(r, \theta, \phi) = \begin{cases} j_m(\lambda_k^m r) \cos(m\theta + n\phi) \\ j_m(\lambda_k^m r) \sin(m\theta + n\phi) \end{cases}$$

SXR emission profile: $f(r, \theta, \phi)$, f
 System matrix: P
 Obtained image: $g = Pf$



ヘリカル三次元分布の推定に成功した。

まとめと今後の展開

プラズマによるカーボンニュートラル社会の実現へ貢献する。

温室効果ガスを別の物質に変換する。

工業プロセスの化学反応をプラズマで置き換える。

- ・二酸化炭素やメタンをプラズマで別の有用物質に変換する。
- ・アセチレン生成をプラズマで行う。



企業出資による研究基盤を本学に誘致しつつ、高効率な変換手法を確立し、リアクターをスケールアップすることで社会実装を目指す。

エネルギー起源の温室効果ガスの発生を抑制する。

核融合炉の実現に向けた取り組みを進める。

- ・異種データの統合による内部推定法の開発している。
- ・少ない計測窓からの三次元トモグラフィを開発している。



本学のプラズマ装置の実験データを世界中の研究者が参照でき、実験提案を受け入れる仕組みを構築している。国際的なネットワークハブとしての機能化を進めている。