

ITER及びJT-60SAに向けた大電流 負イオンビームの長パルス化の進展

2015/3/4~6

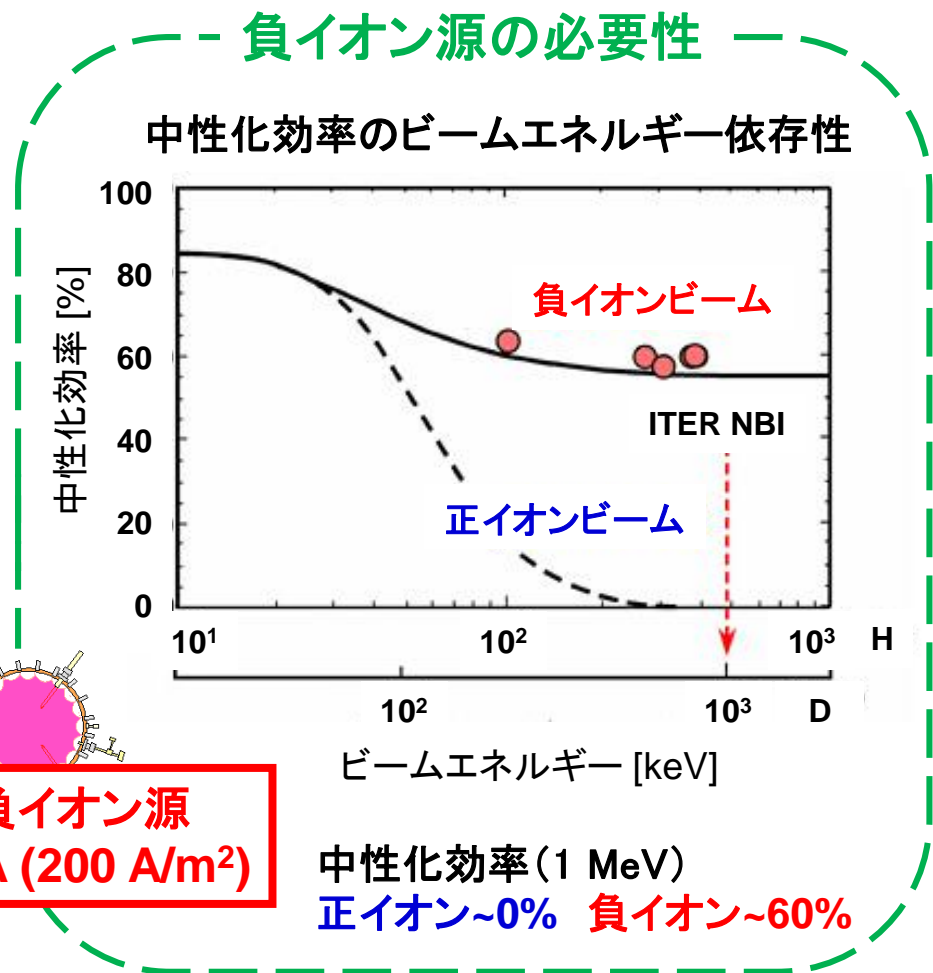
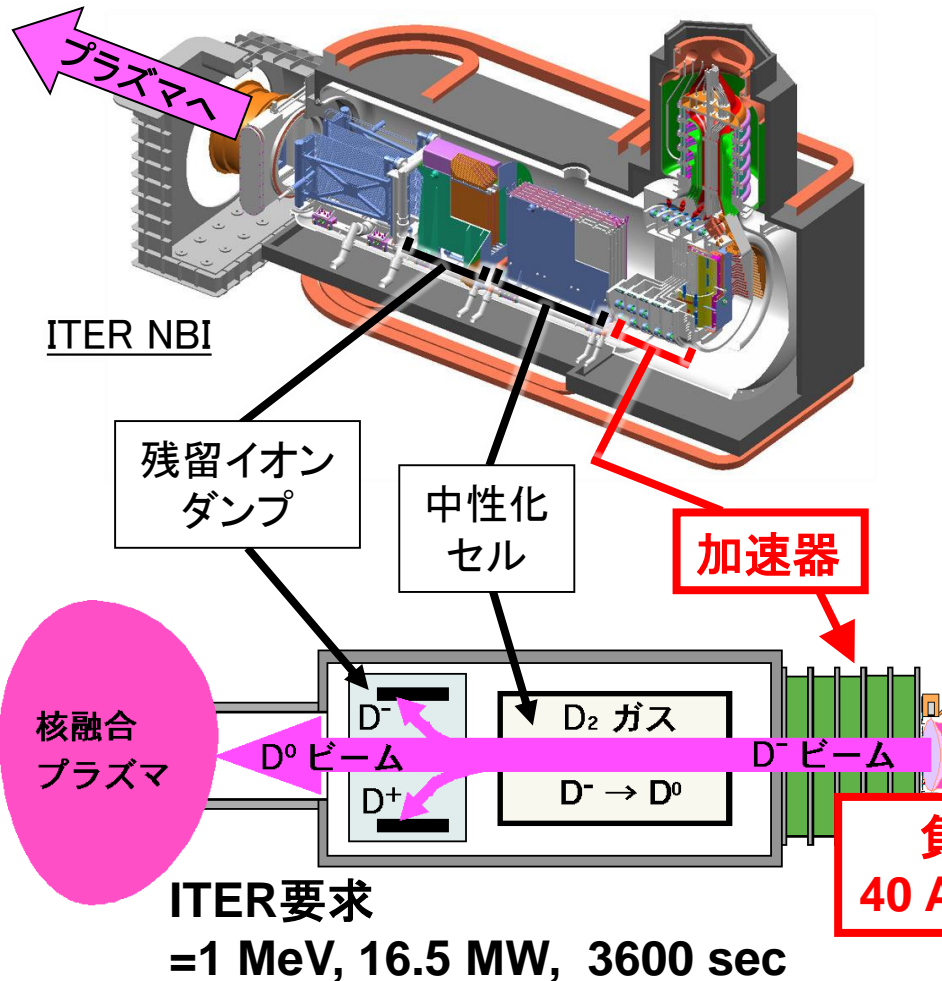
若手科学者によるプラズマ研究会

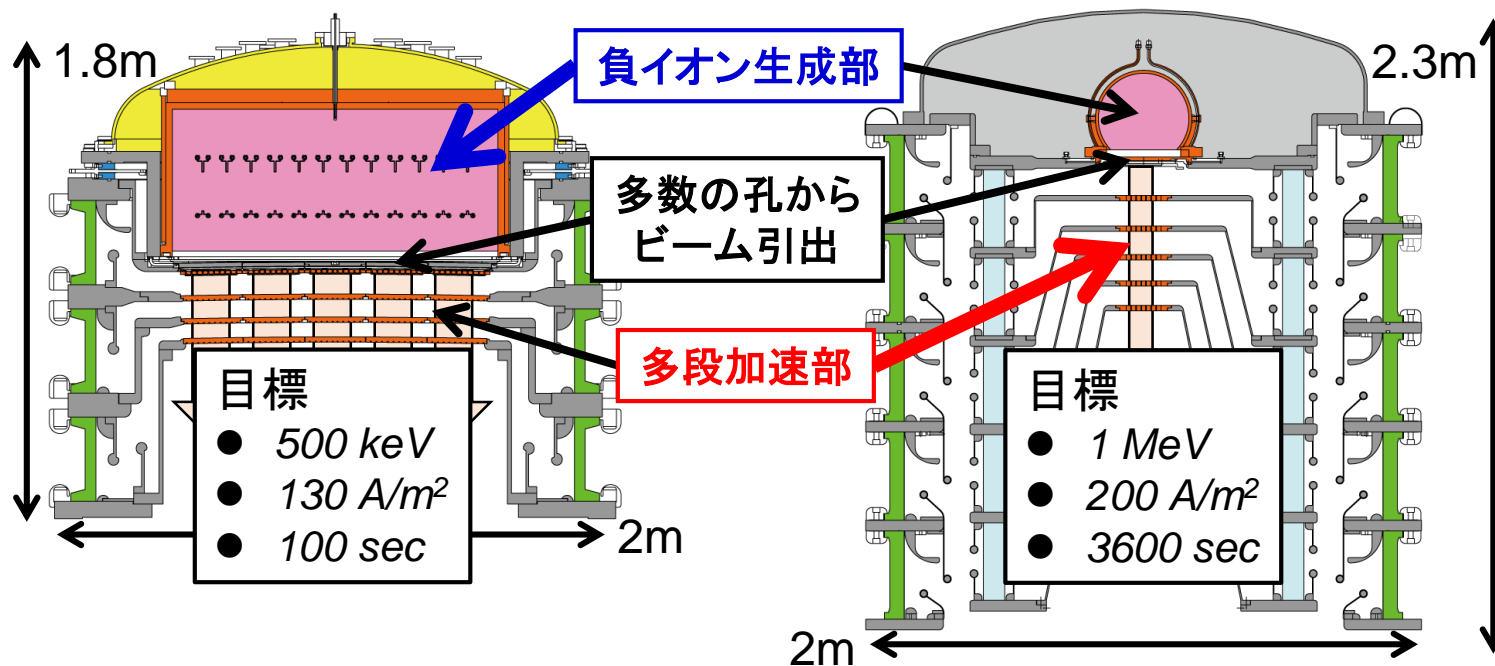
日本原子力研究開発機構

錦織 良、平塚 淳一、NB加熱開発グループ

Neutral Beam Injection (NBI)=中性粒子入射

- 1) 中性の(重)水素ビームでプラズマを加熱する
- 2) プラズマ中に電流を流す(電流駆動)





<JT-60負イオン源>

- 実機JT-60SA用負イオン源
- 3段の加速器
- 1.1 × 0.45 m²大面積引出領域
- 大電流 & 長パルス 負イオン生成

<MeV級加速器>

- 日本が調達するITER用加速器を模擬
- 5段の加速器
- 高エネルギー、大電流密度
- =高パワー密度 & 長パルス 負イオン加速

JT-60SAやITERの要求を満たす負イオン源の実現を目指し 共通課題 に向けた開発を実施

共通課題

大電流ビームの...

1. 高エネルギー化

2. 長パルス化

耐電圧改善

負イオン源の耐電圧を決める
パラメーターは明らかになってきた
(例: 電極孔、電極面積、支持棒の角、
段数支持棒の重ね合わせ...)

→高エネルギー化に向けた見通しは立った

負イオン定常生成
→電極の温度制御

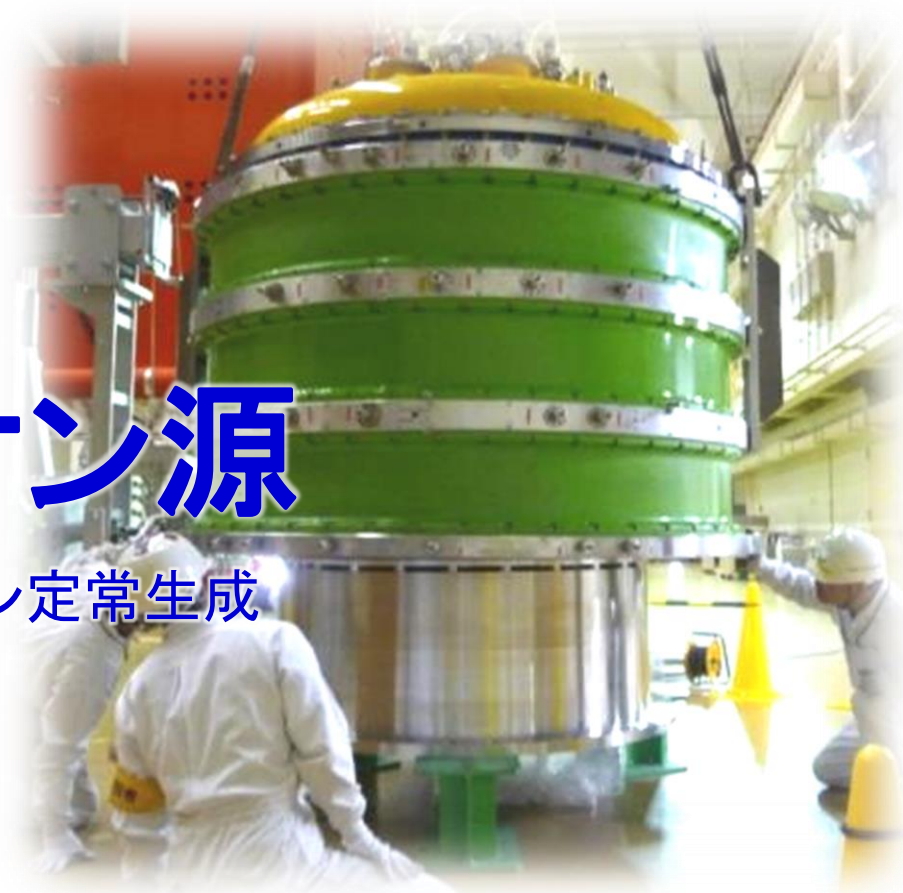
{ 大電流負イオン生成を特徴とする
JT-60負イオン源で開発を実施

電極熱負荷低減
→ビームの偏向制御

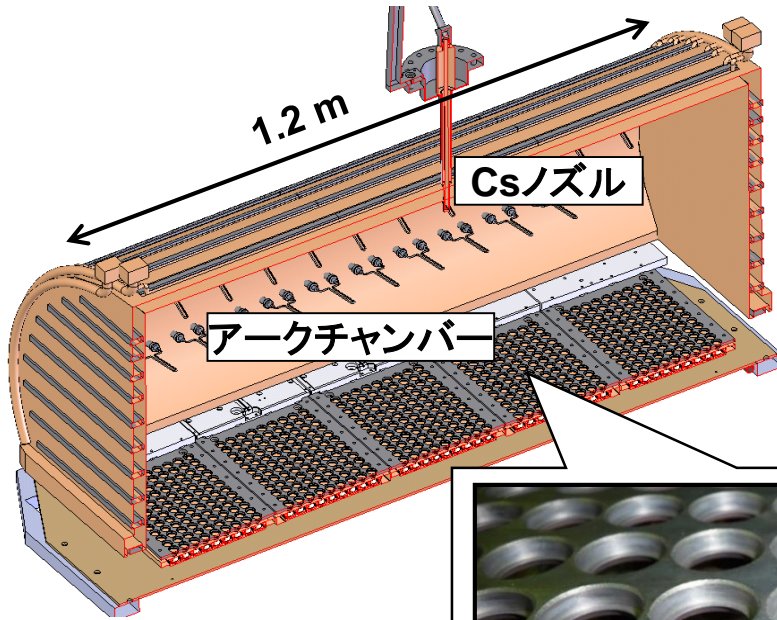
{ 高パワー密度の負イオン加速を特徴とする
MeV級加速器で開発を実施

JT-60負イオン源

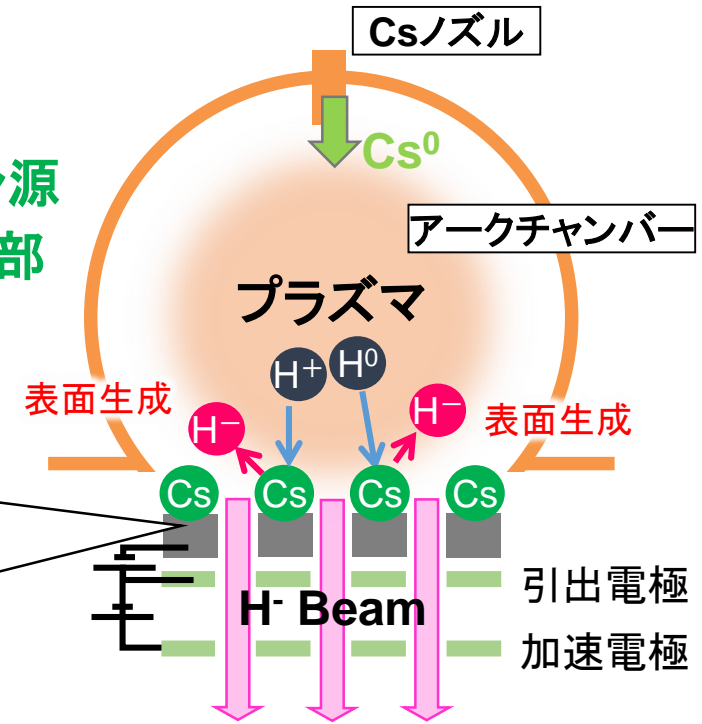
電極の温度制御による負イオン定常生成



Cs添加による負イオンの表面生成



JT-60負イオン源
負イオン生成部

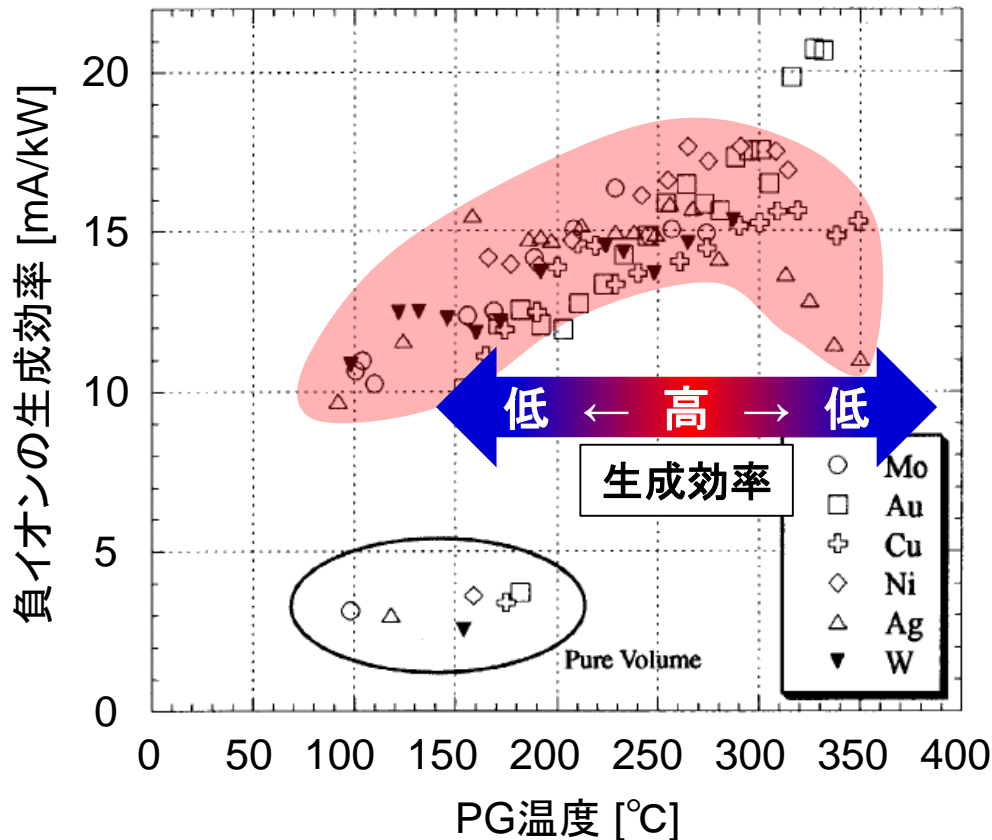


表面生成

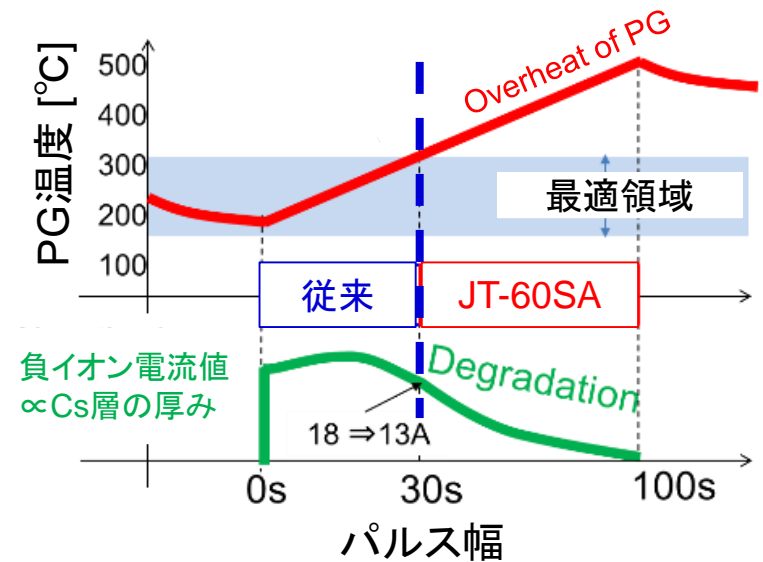
プラズマ中の原子やイオンが電極表面から電子を受け取り負イオン化する過程

生成効率を上げるためにCsを導入、PG表面にCs層を形成
 ⇒PG表面の仕事関数を下げることで、電子を与えやすくする

負イオン生成効率 \Leftrightarrow Cs層の厚み \Leftrightarrow PG温度



従来、断熱したPGを用いて生成効率が低い温度領域で運転



運転時間が<30秒だったため、高い電流値を実現できていた

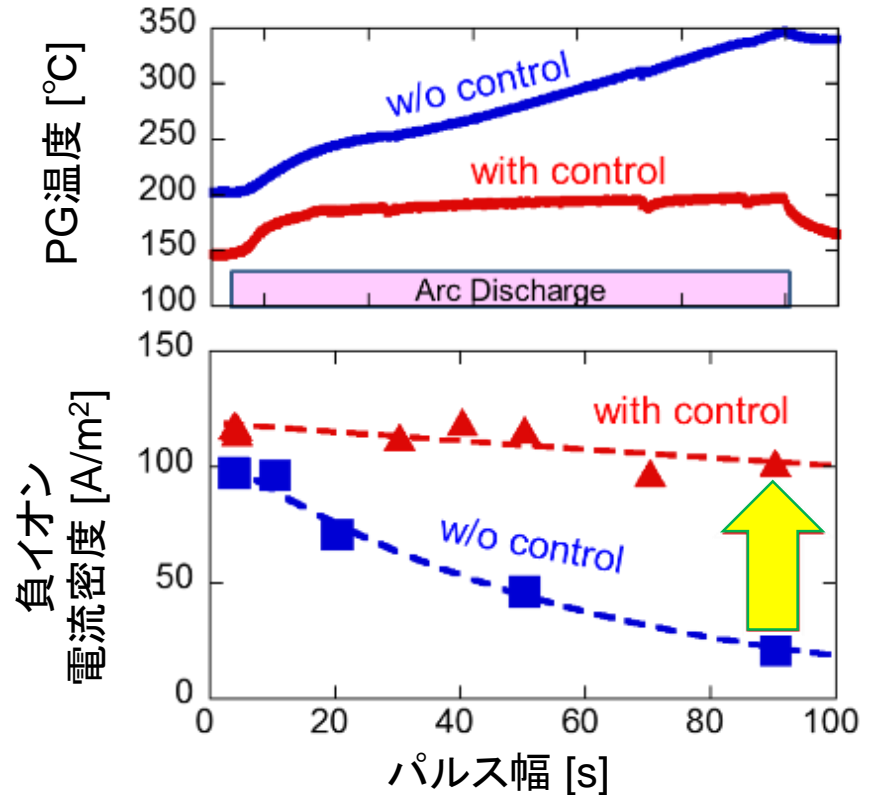
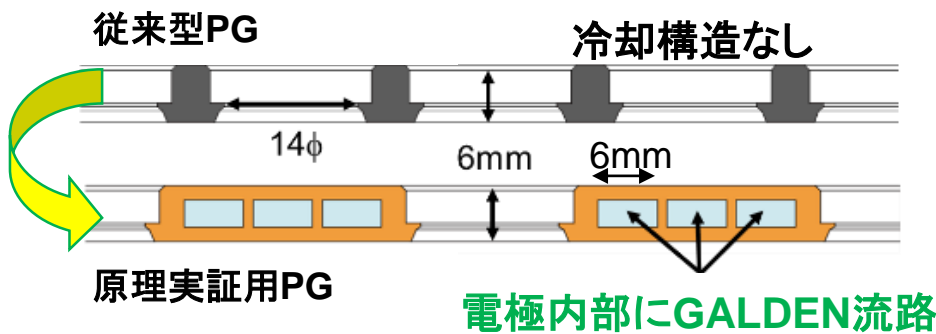
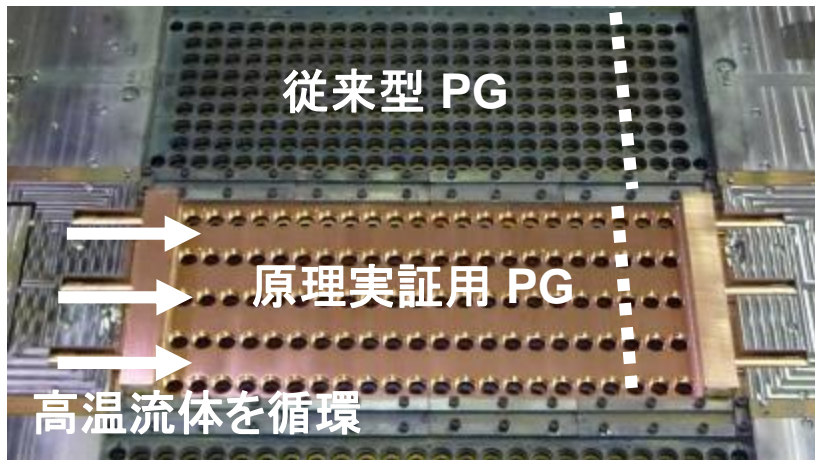
>30秒では過度な温度上昇による負イオン電流の減少=温度制御が必要

PG温度制御システムの原理実証

200°Cの高温流体 (GALDEN) をPG内部に循環させ、

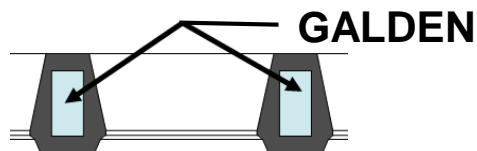
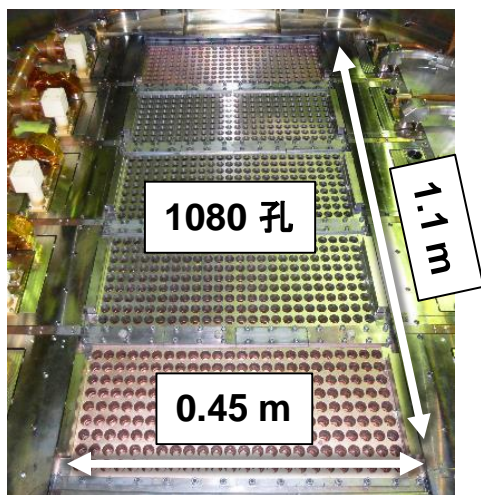
- 負イオン生成に適した高温に加熱
- プラズマによる入熱を除去

温度を制御できるPGの開発

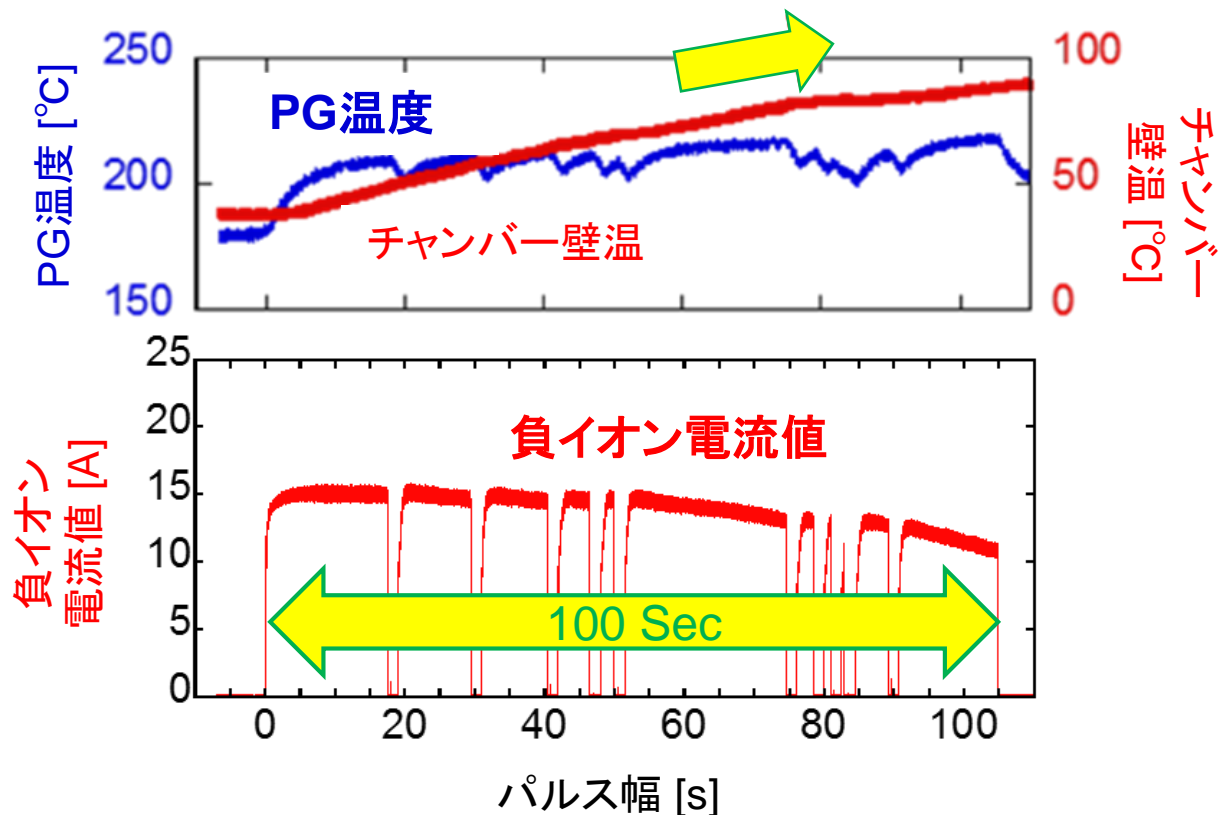


- PGの温度制御に成功
- JT-60SAの要求電流密度である120~130A/m²の100秒維持を実証

新型PGによる大電流負イオンの長時間生成



温度制御型PGの開発



PGの温度制御により、大電流負イオンの100秒生成に成功

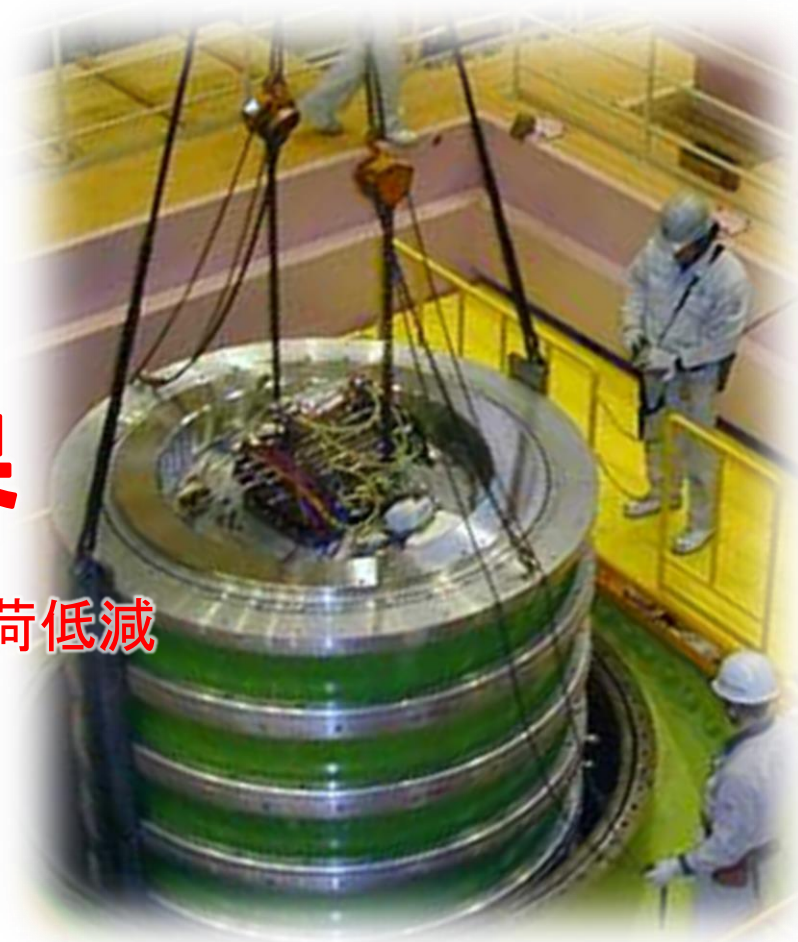
今後に向けて

壁温上昇に伴い蓄積したCsや不純物が壁から放出して負イオン生成に影響

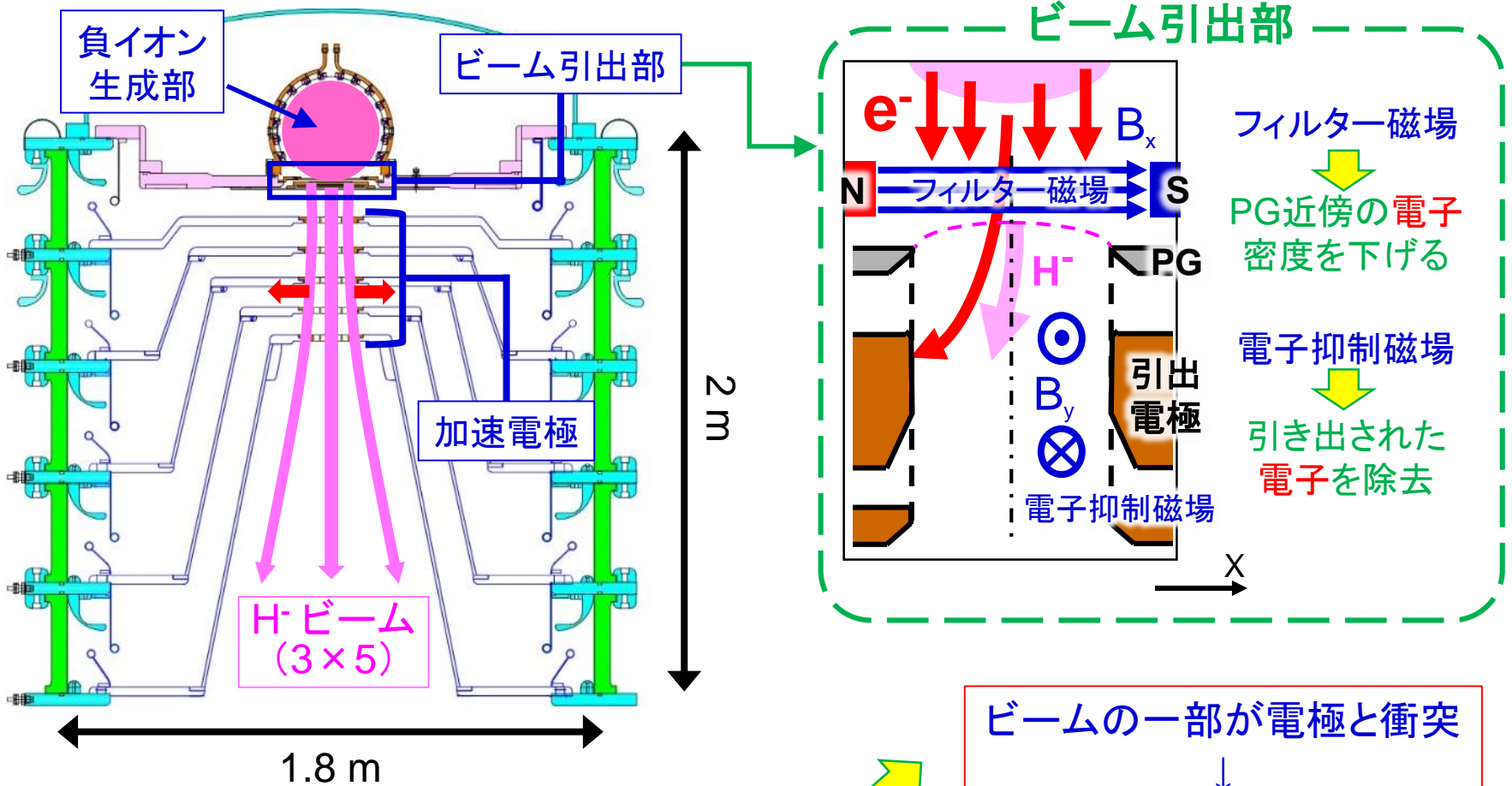
⇒ 壁温のコントロールはさらなる長パルス(>100 秒)への課題

MeV級加速器

ビームの偏向制御による電極熱負荷低減



ビーム偏向制御の必要性



負イオンビームは...

- 電子を除去するための磁場により偏向
- ビーム同士の空間電荷により反発

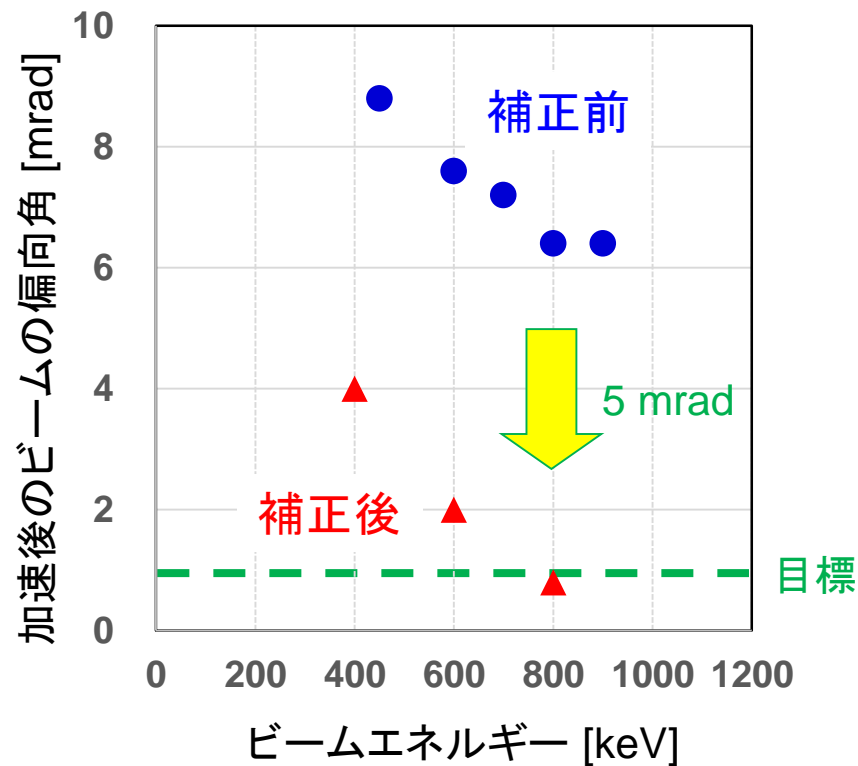
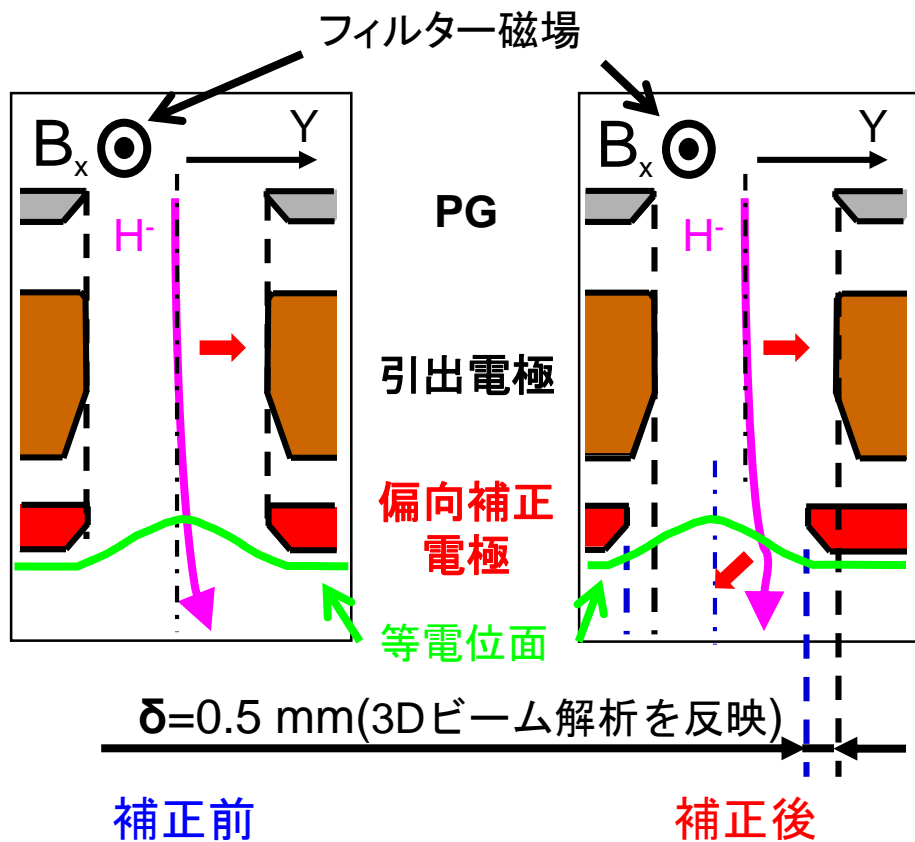
ビームの一部が電極と衝突

↓
熱負荷増大

↓
長パルスに向けて
ビーム偏向制御が必要

ビームは電極が作る等電位面に対して垂直の力を受ける

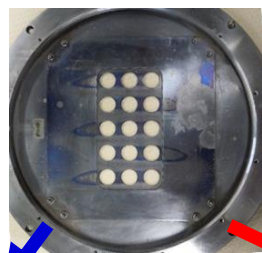
- ビームが偏向した直後
 - エネルギーが低い領域
- で補正するために直後の**偏向補正電極**に孔軸変位



偏向補正による5 mradの改善

→電界レンズの収差で偏向を補正

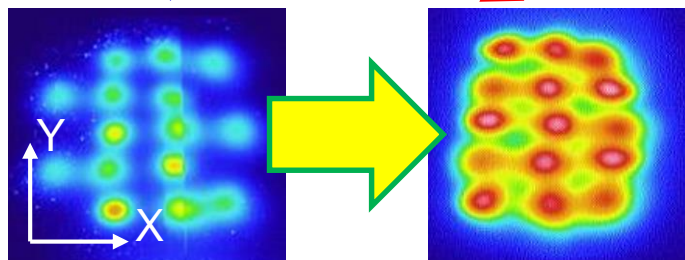
ビーム偏向制御による長パルス化の進展



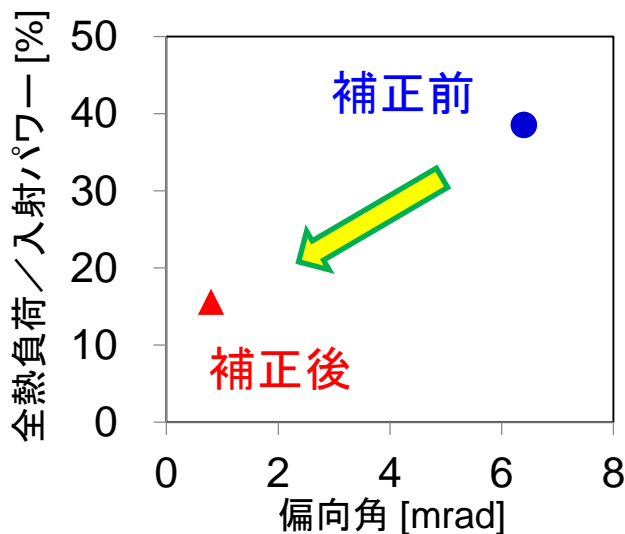
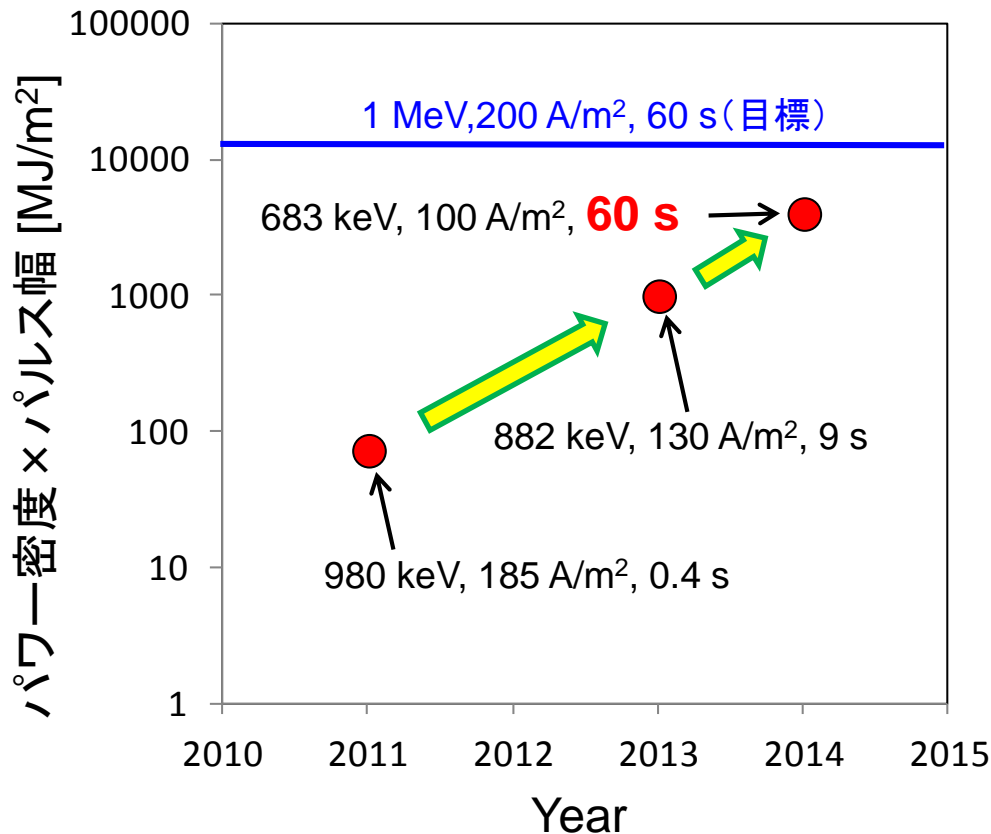
←ビーム引出領域
(3×5)

補正前

補正後



加速器2.5 m下流のCFC標的に
ビームを照射した際のIR画像



偏向制御により熱負荷が低減
 →高パワー密度負イオンの長パルス化に成功
 →冷却性能の改善等により電源限界の60秒まで進展
 現目標へ見通しが立ったので、今後更なる長パルスへ

ITER及びJT-60SAに向けた大電流負イオンビームの長パルス化において以下の成果を得た

負イオンの定常生成について

- プラズマ電極(PG)の温度を制御するシステムを開発した
- JT-60負イオン源において15 Aの大電流負イオンの100秒生成に成功した

負イオンの長時間加速について

- ビームの偏向を補正することで電極の熱負荷を低減した
- MeV級加速器において683 keV、100 A/m²の高パワー密度負イオンの加速時間を電源限界の60秒まで進展した

得られた成果はJT-60SAやITERの負イオン源の設計に反映