

2011.7.22

---

筑波大学プラズマ研究センターシンポジウム / 双方向型共同研究  
GAMMA 10 における高密度/高エネルギー粒子束に対する  
直接エネルギー変換の基礎研究

---

研究代表者 竹野裕正 (神戸大学)  
研究分担者 八坂保能 (神戸大学)  
富田幸博 (核融合科学研究所)  
石川本雄,  
中嶋洋輔, 片沼伊佐夫 (筑波大学), 他

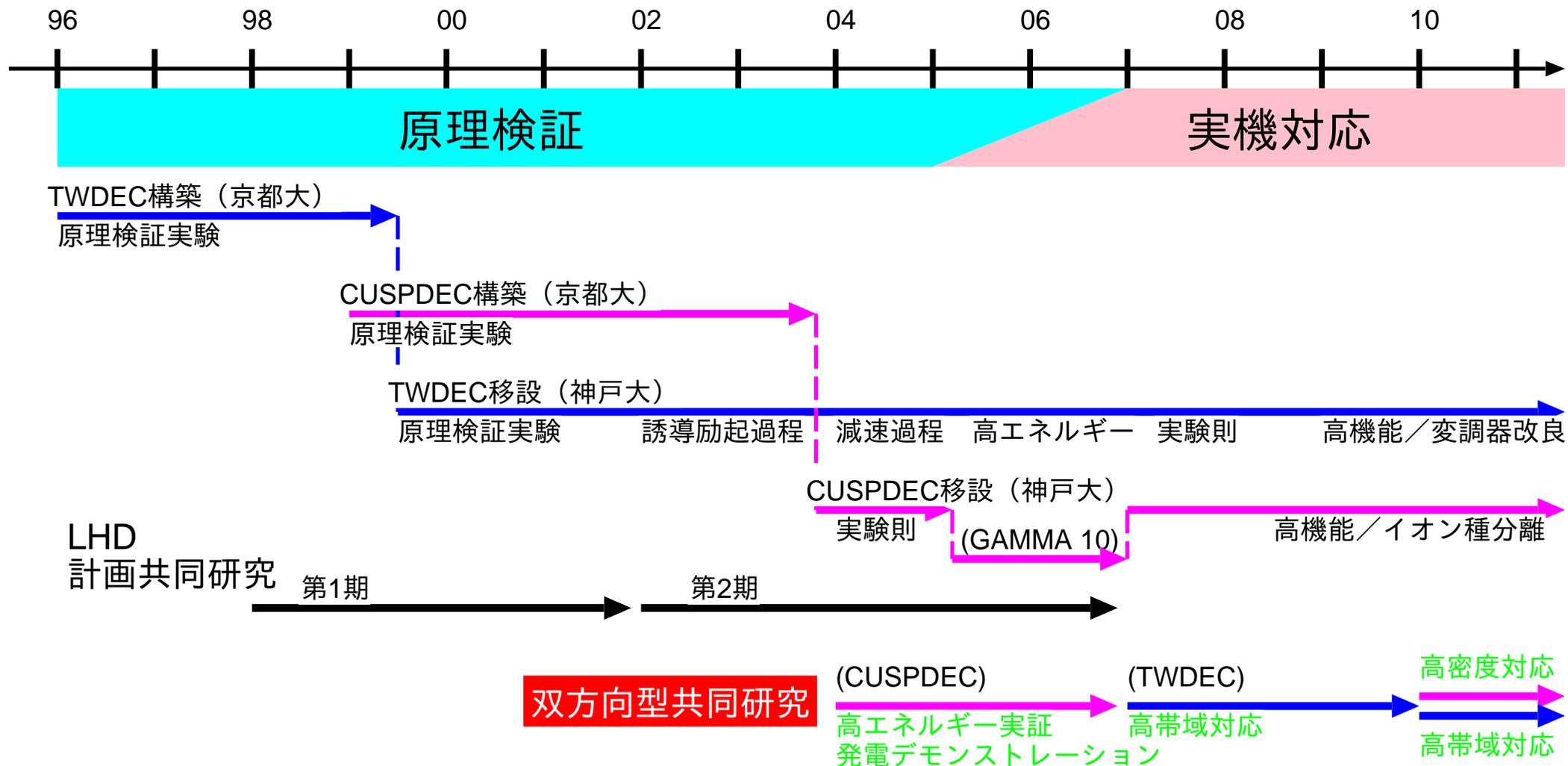
# 報告内容

---

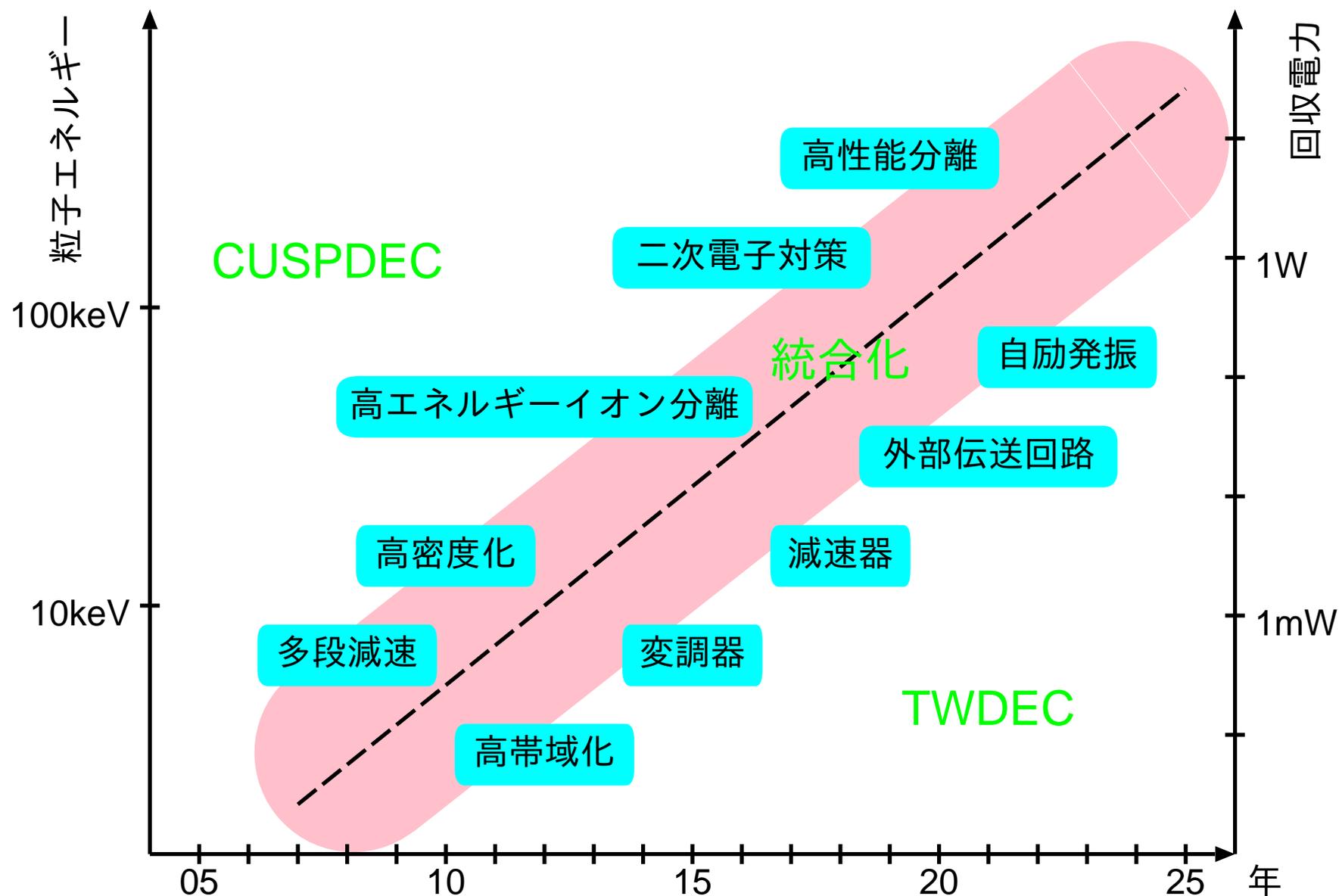
1. DEC 研究と双方向型共同研究
2. 2010年度の研究結果 — CUSPDEC
3. 2010年度の研究結果 — TWDEC
4. 2011年度の研究計画
5. まとめ

# 1 DEC研究と双方向型共同研究 / 経過と現課題

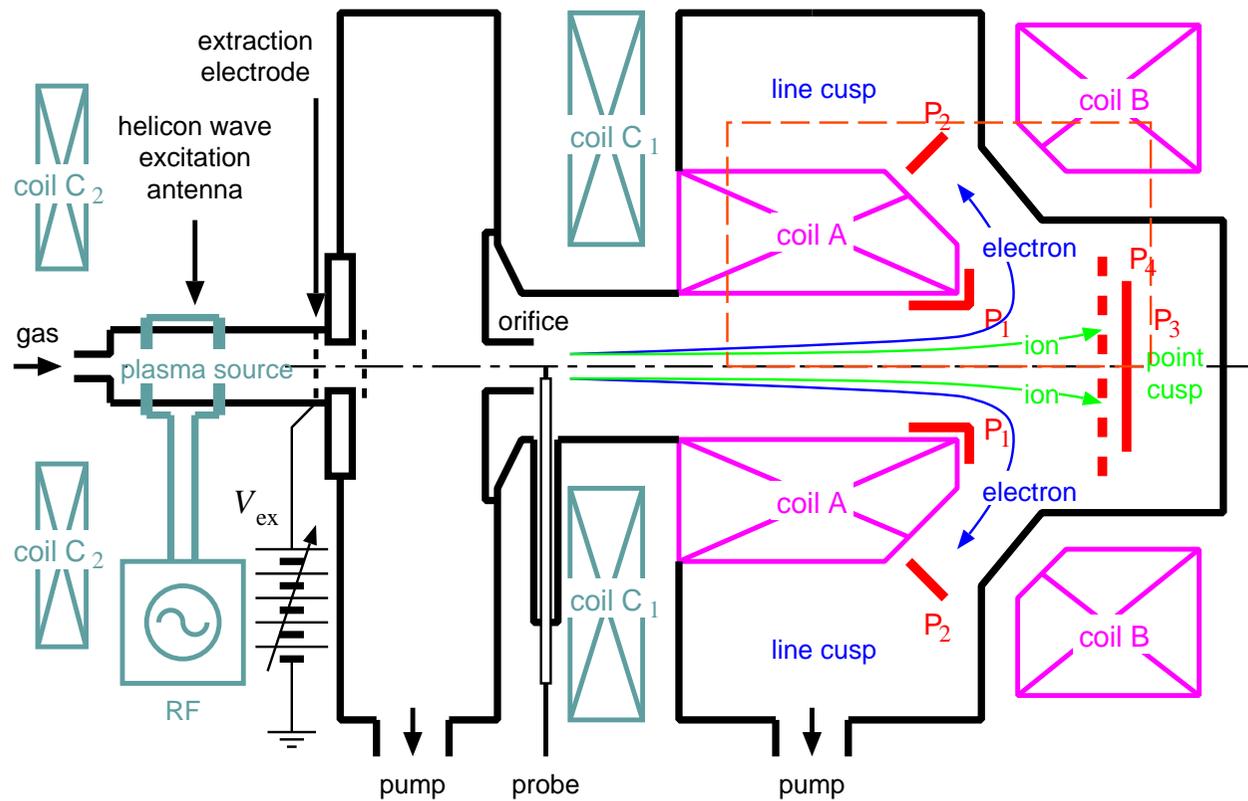
(CUSPDEC: 粒子分離と熱粒子回収, TWDEC: 高速イオン回収)



# 1 DEC研究と双方向型共同研究 / ロードマップ



## 2 2010年度の研究結果 — CUSPDEC



コイルA,B

カusp磁場形成

コイルC1,C2

プラズマ生成 / ガイド

P1,P2

電子コレクタ

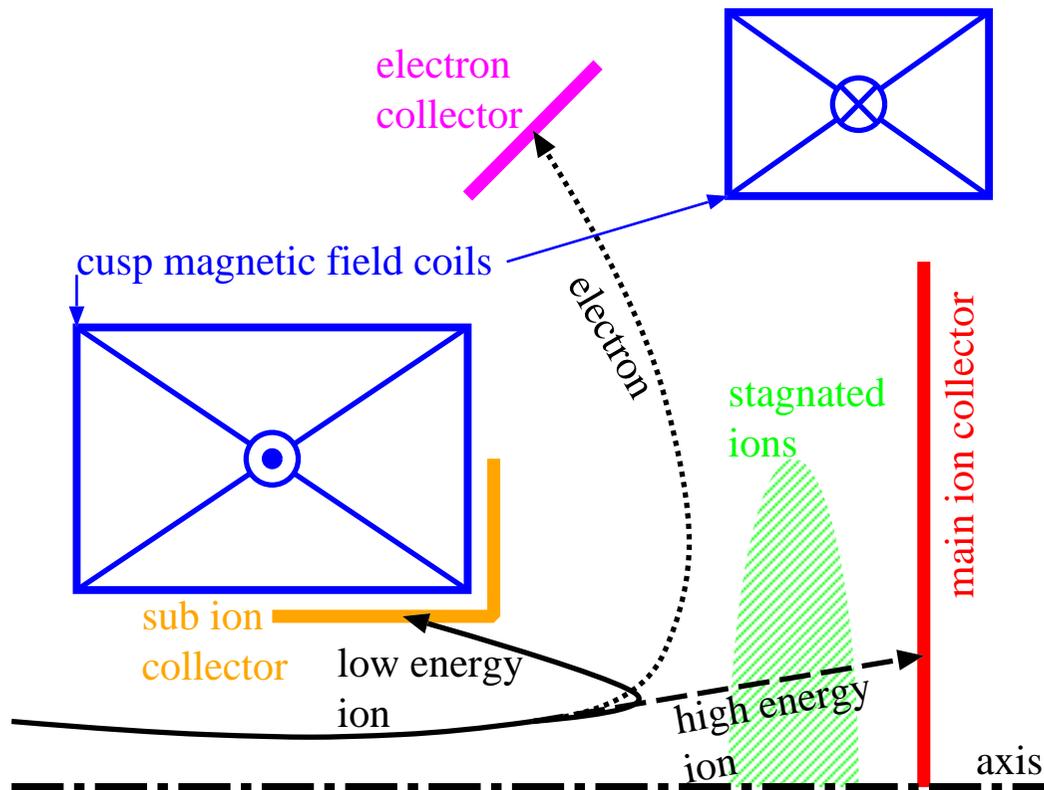
P3,P4

イオンコレクタ

プラズマ源

RF生成 / バイアス可能

## 2.1 CUSPDECにおける2段減速のシナリオ



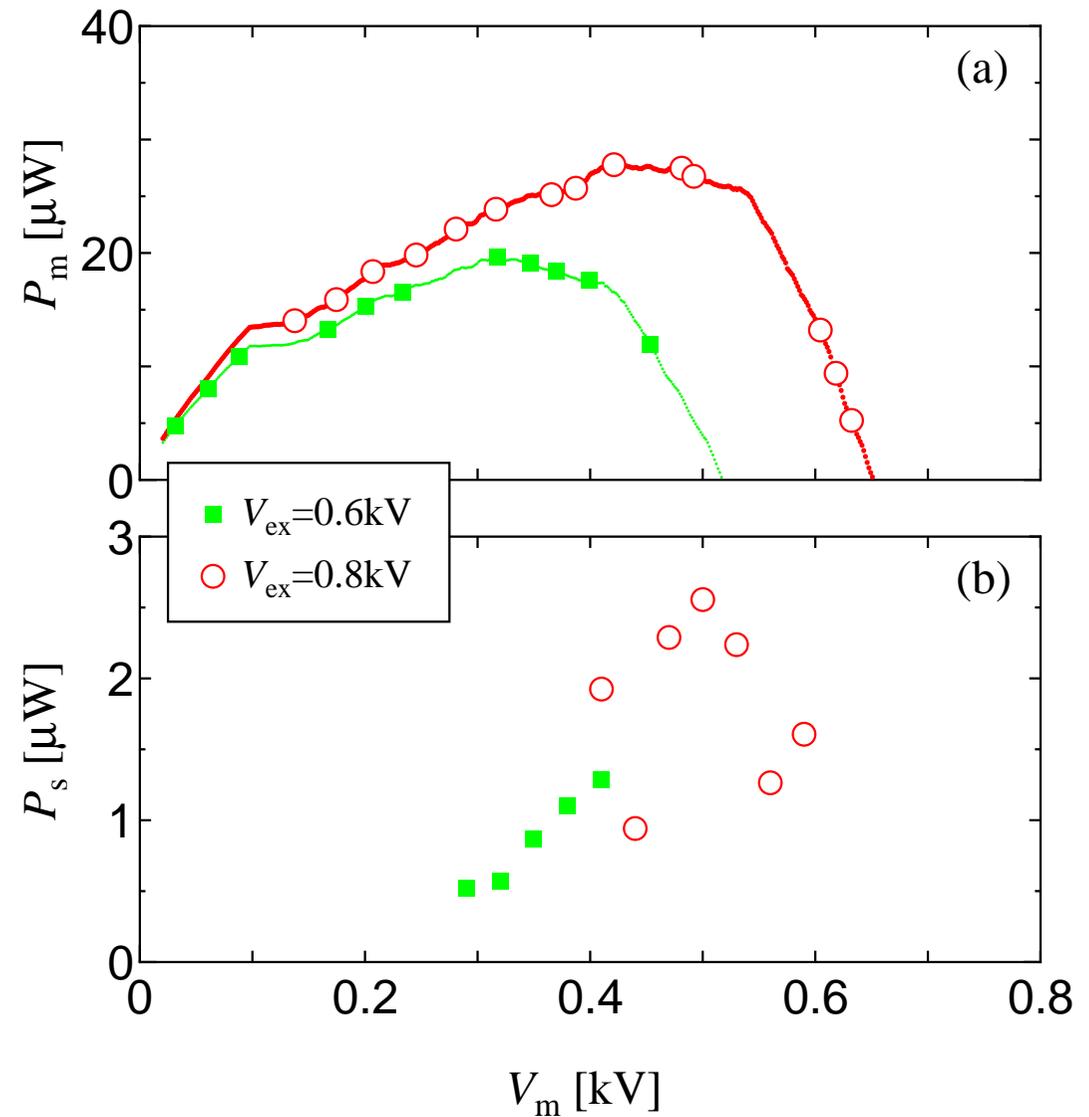
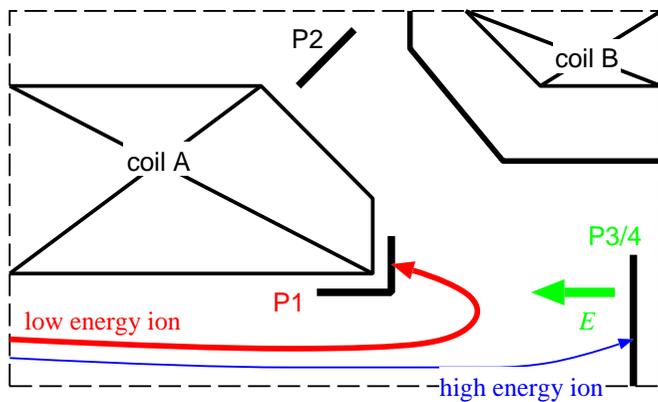
高密度プラズマ  
イオンコレクタ前に  
滞留イオン  
= 低エネルギー  
イオンの障壁

入口の側面電極をサブコレクタに (2段減速)

低エネルギーイオン	—	サブコレクタ
高エネルギーイオン	—	メインコレクタ
電子	—	磁場で電子コレクタに

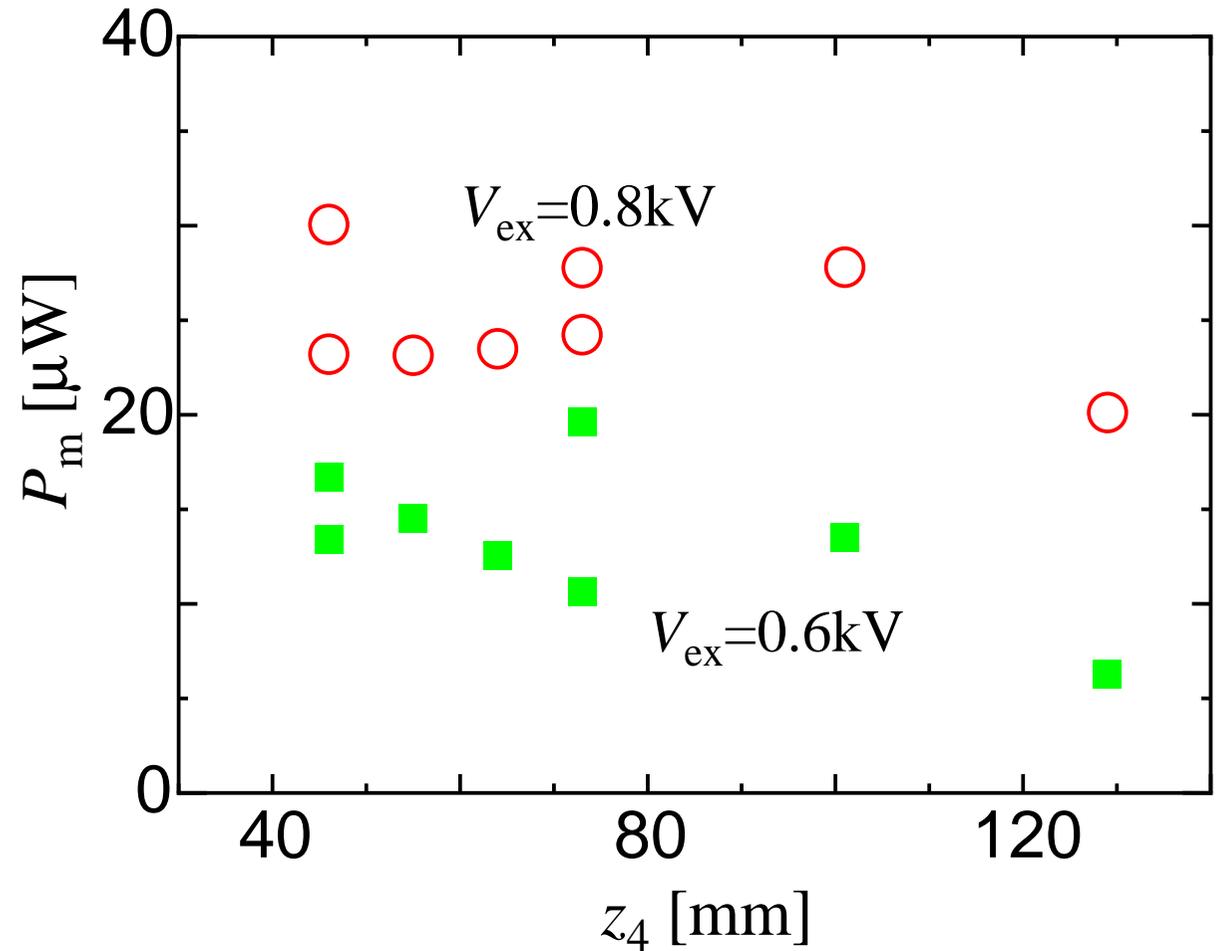
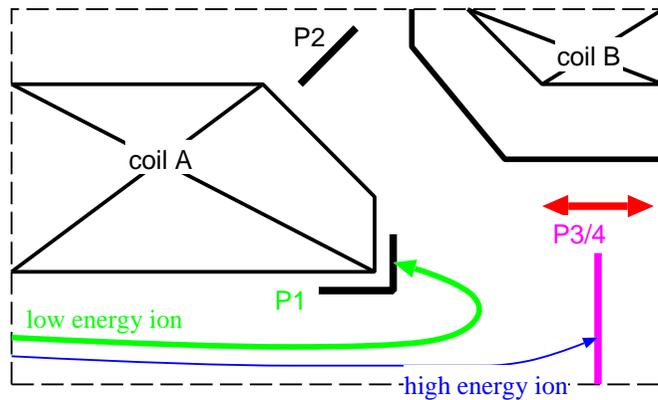
## 2.2 2段減速による回収電力の増大

滞留イオンがない  
/ 少ない場合でも  
イオンコレクタの  
電位で同様に反射

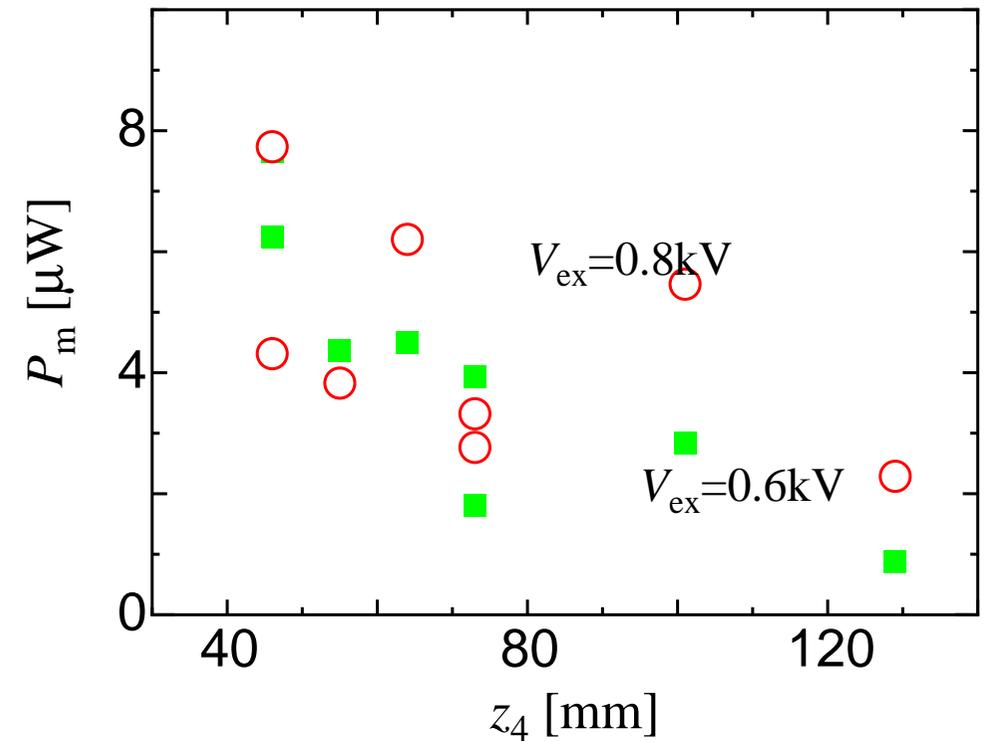
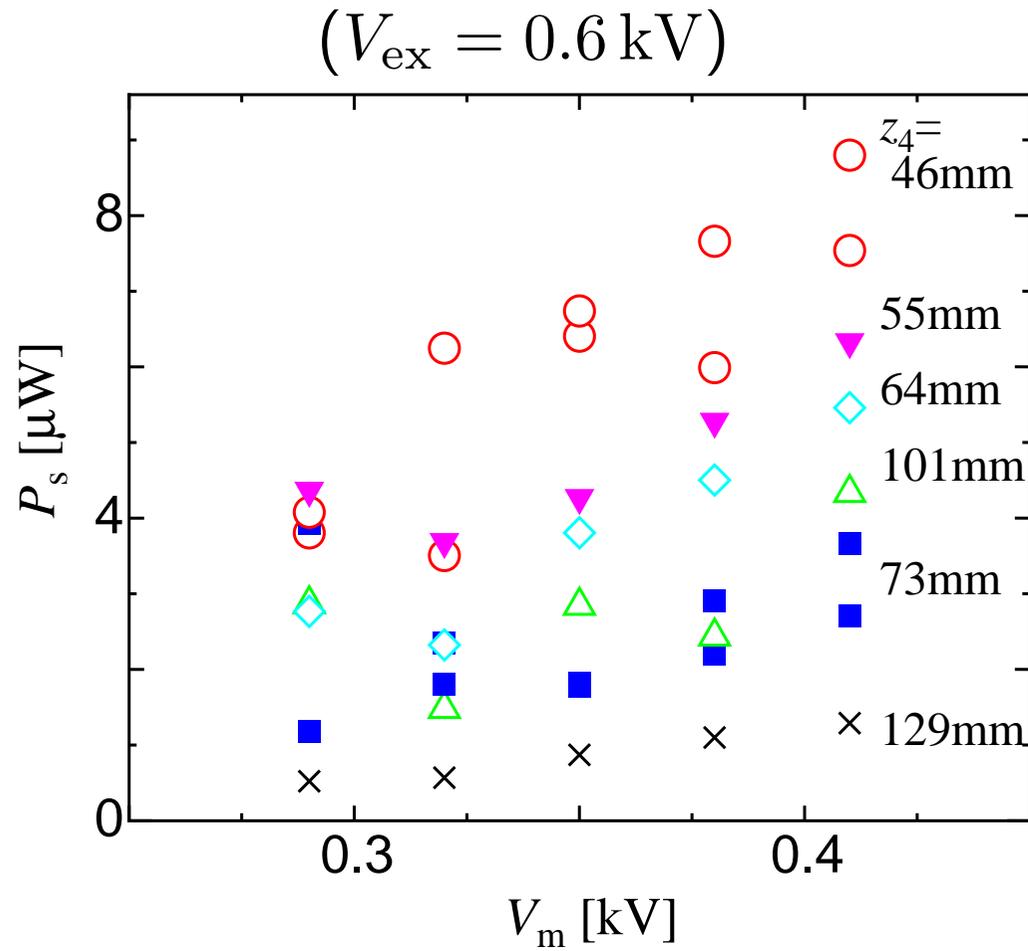


## 2.3 電極位置に対する回収電力の変化 / 主コレクタ

電極位置で  
電界 / 反射位置が変化

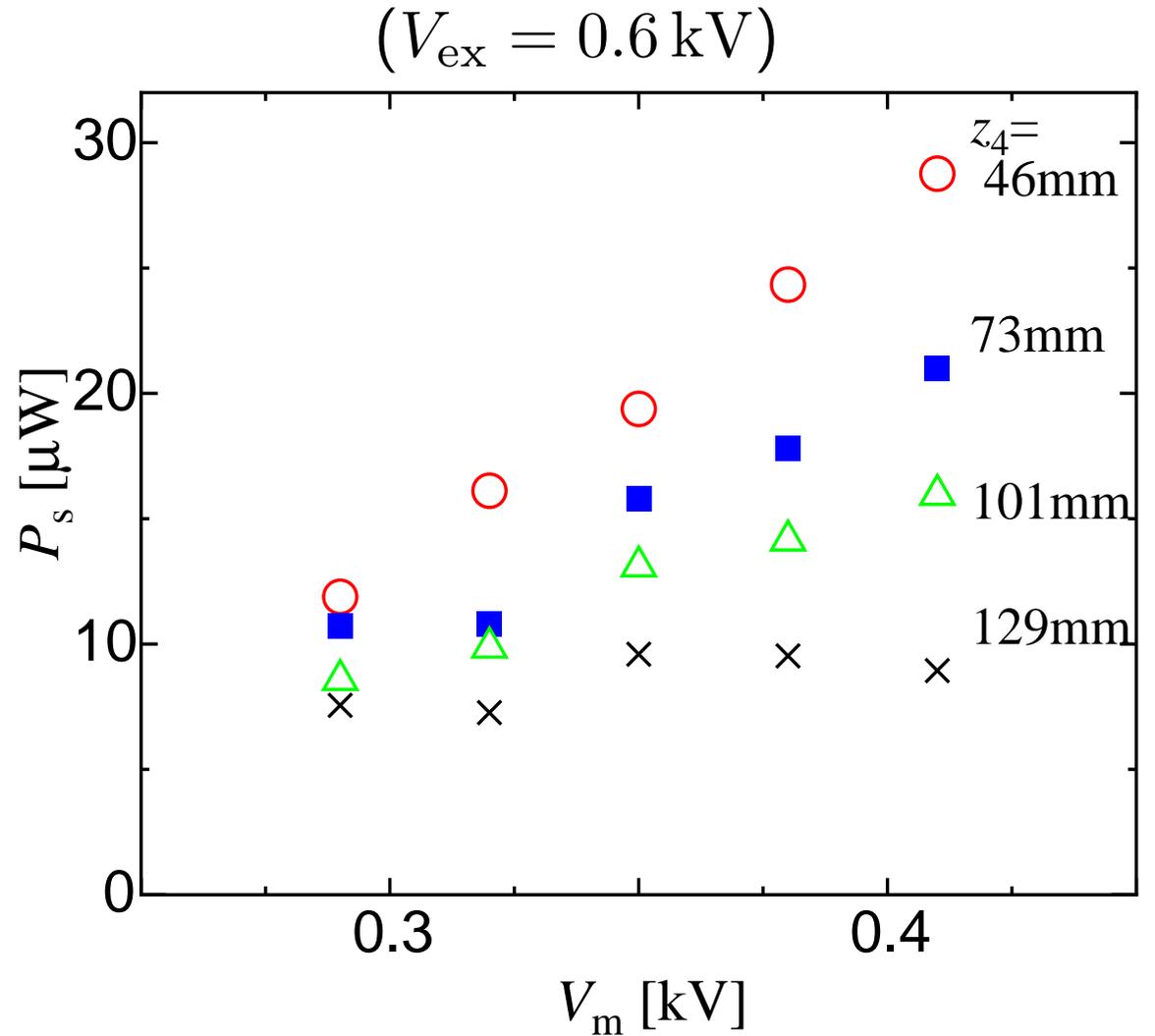
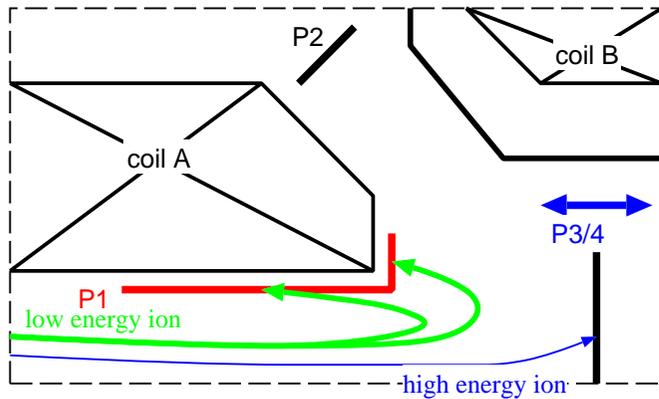


## 2.4 電極位置に対する回収電力の変化 / 副コレクタ

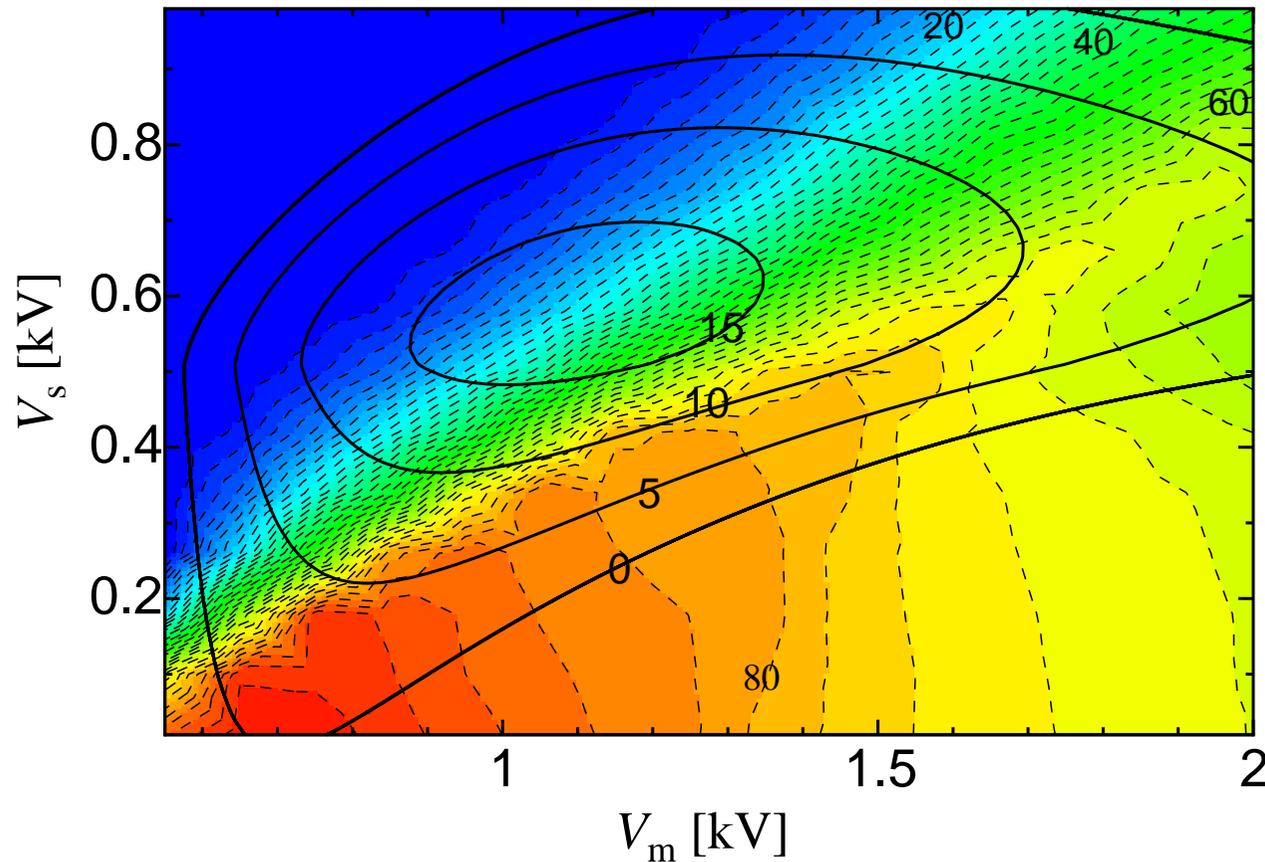


## 2.5 副コレクタの改良

サブコレクタの側面積を  
約4倍に拡張



## 2.6 粒子軌道計算による最適条件の見積



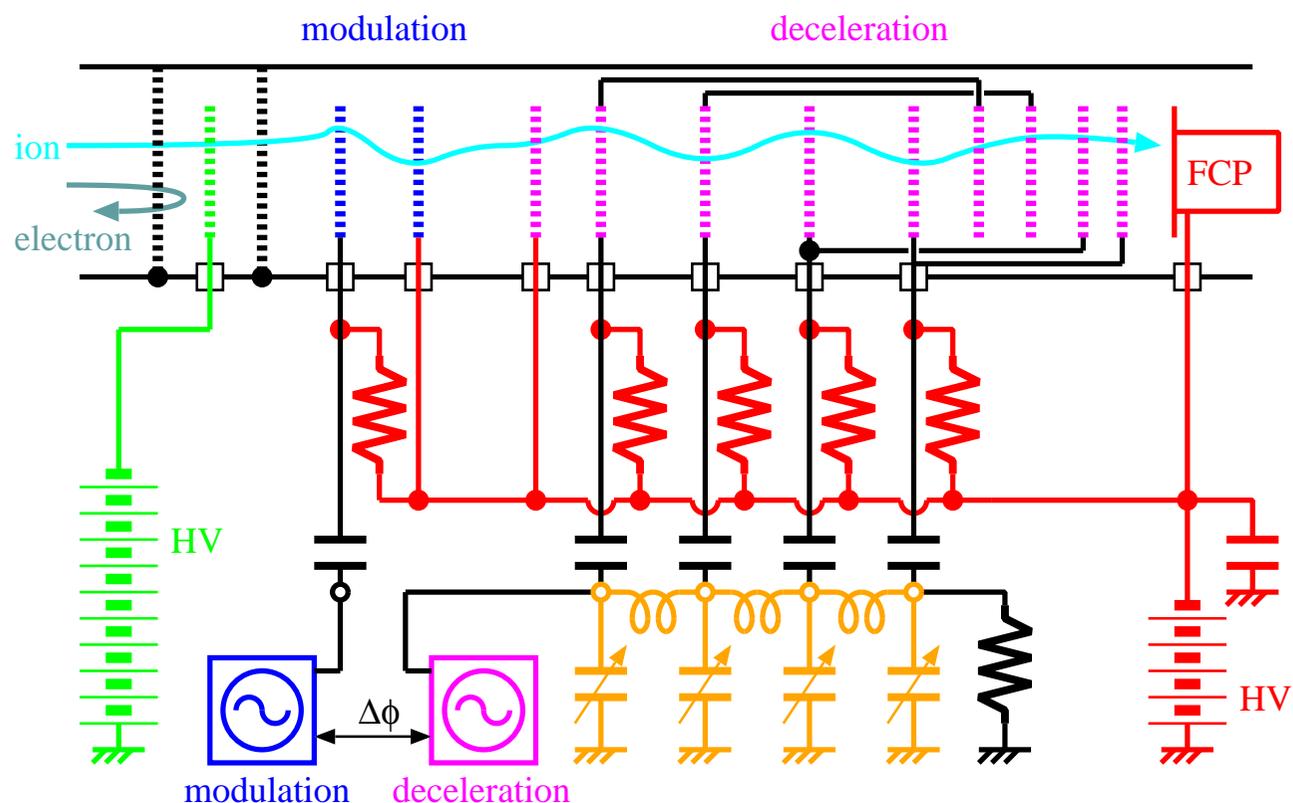
想定条件： GAMMA 10 端損失

$$f(E) \propto \sqrt{E - E_s} \exp\left(-\frac{E - E_s}{kT}\right)$$

$$E_s = 0.5 \text{ keV}, kT = 0.35 \text{ keV}$$

### 3 2010年度の研究成果 — TWDEC

## バイアス型TWDECにおける粒子束エネルギーの向上



減速電圧の向上

伝送線路

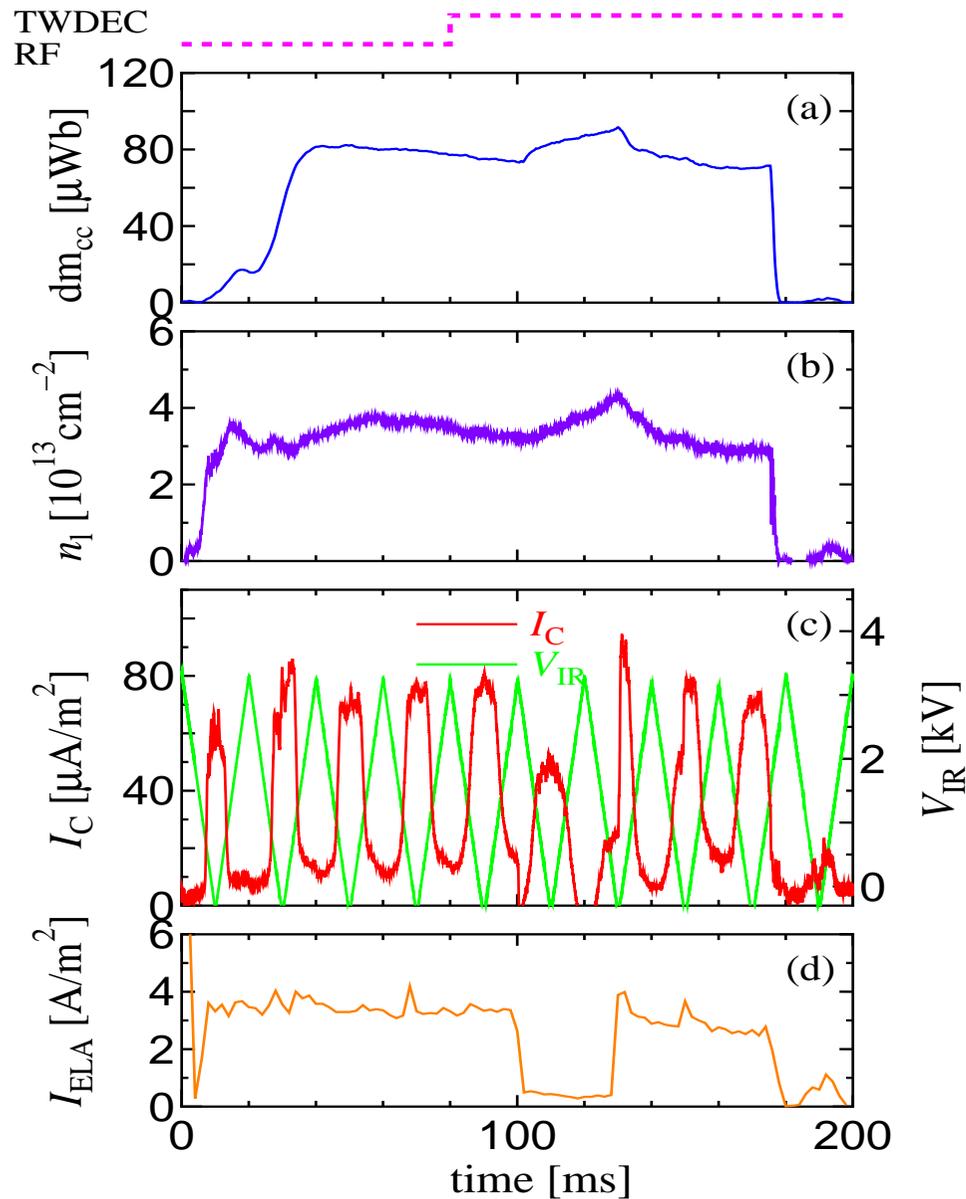
LC回路に変更

ECHモードを対象

独立電子リペラ設置

片側ECHの利用

# 3.1 normal operation への適用



no ECH (RF) plasma

$$T_{i\parallel} \sim 0.2 - 0.4 \text{ keV}$$

$$T_e \sim 0.1 \text{ keV}$$

$$\phi_c \sim 0.3 - 0.5 \text{ kV}$$

FCP measurement

$V_{IR}$ : 50Hz triangle wave

data sampling:  $10 \mu\text{s}$

## 3.2 変調器-減速器間位相差依存性

エネルギー領域を分けて評価

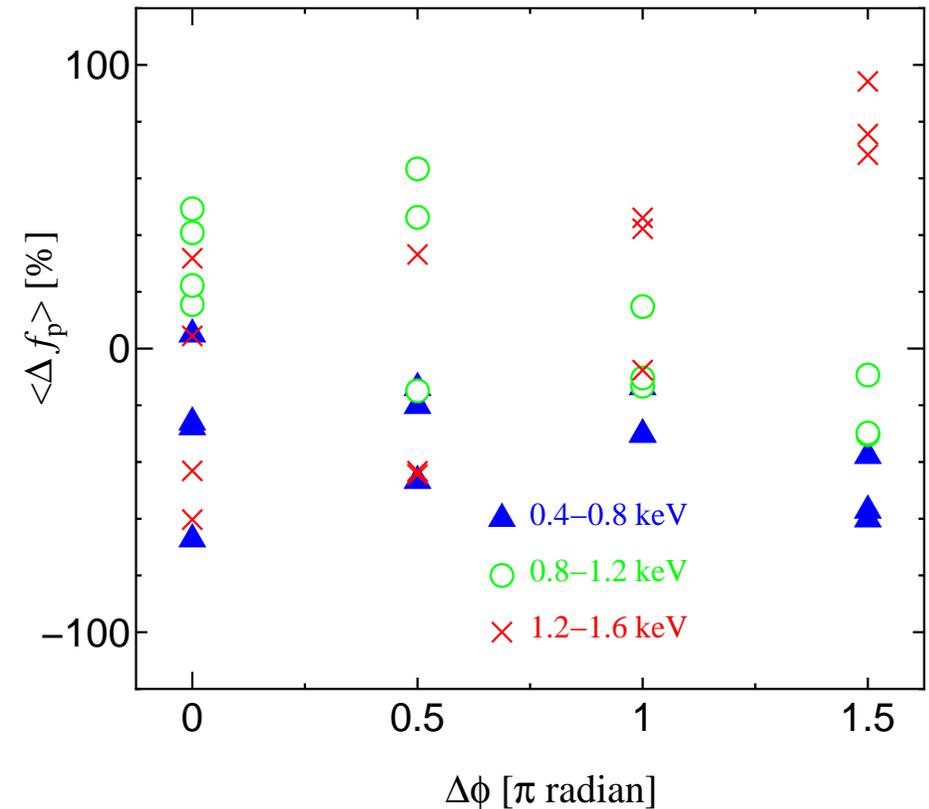
$$f_{p1} = \int_{0.4\text{keV}}^{0.8\text{keV}} f(E)dE$$

$$f_{p2} = \int_{0.8\text{keV}}^{1.2\text{keV}} f(E)dE$$

$$f_{p3} = \int_{1.2\text{keV}}^{1.6\text{keV}} f(E)dE$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pi} \\ = f_{pi}|_{\text{withRF}} - f_{pi}|_{\text{w/oRF}} \end{aligned}$$

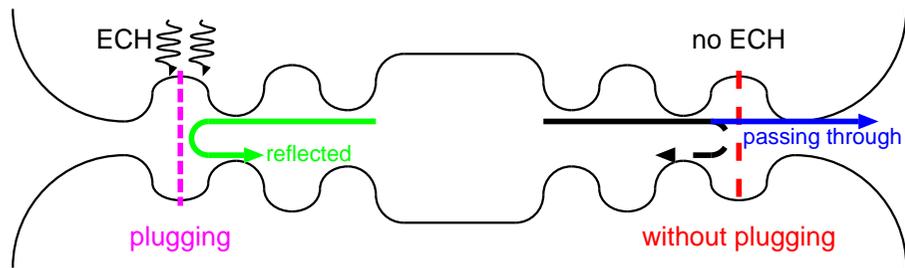
$$\langle \Delta f_{pi} \rangle = \frac{\Delta f_{pi}}{f_{pi}|_{\text{w/oRF}}}$$



$\Delta f_{p3}$  は増加

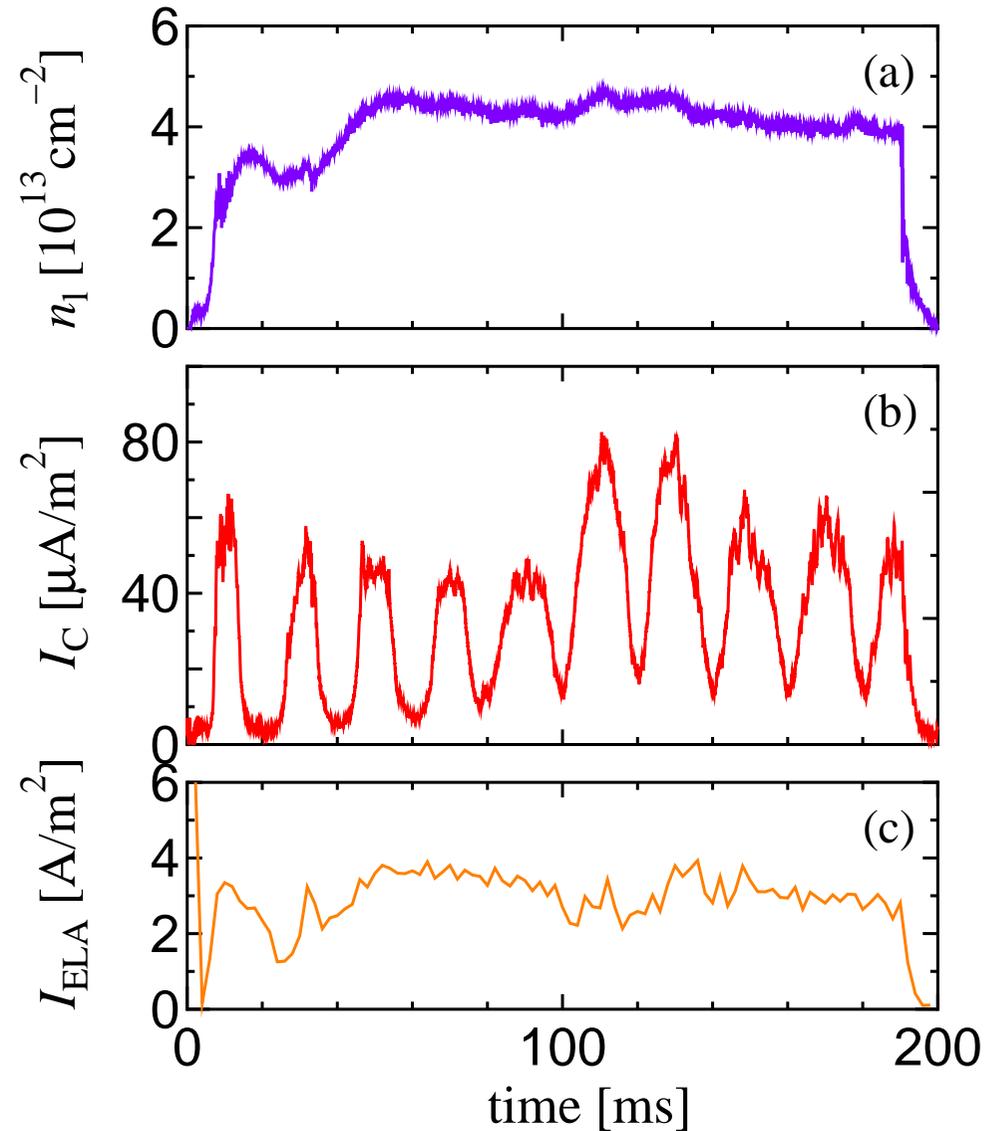
$\Delta f_{p1}$  は減少

### 3.3 片側 ECH による流入粒子束のエネルギー向上



#### 片側プラグング

ある程度の量の粒子束を得つつ、  
イオンエネルギーの向上



## 3.4 片側 ECH に対する TWDEC の適用

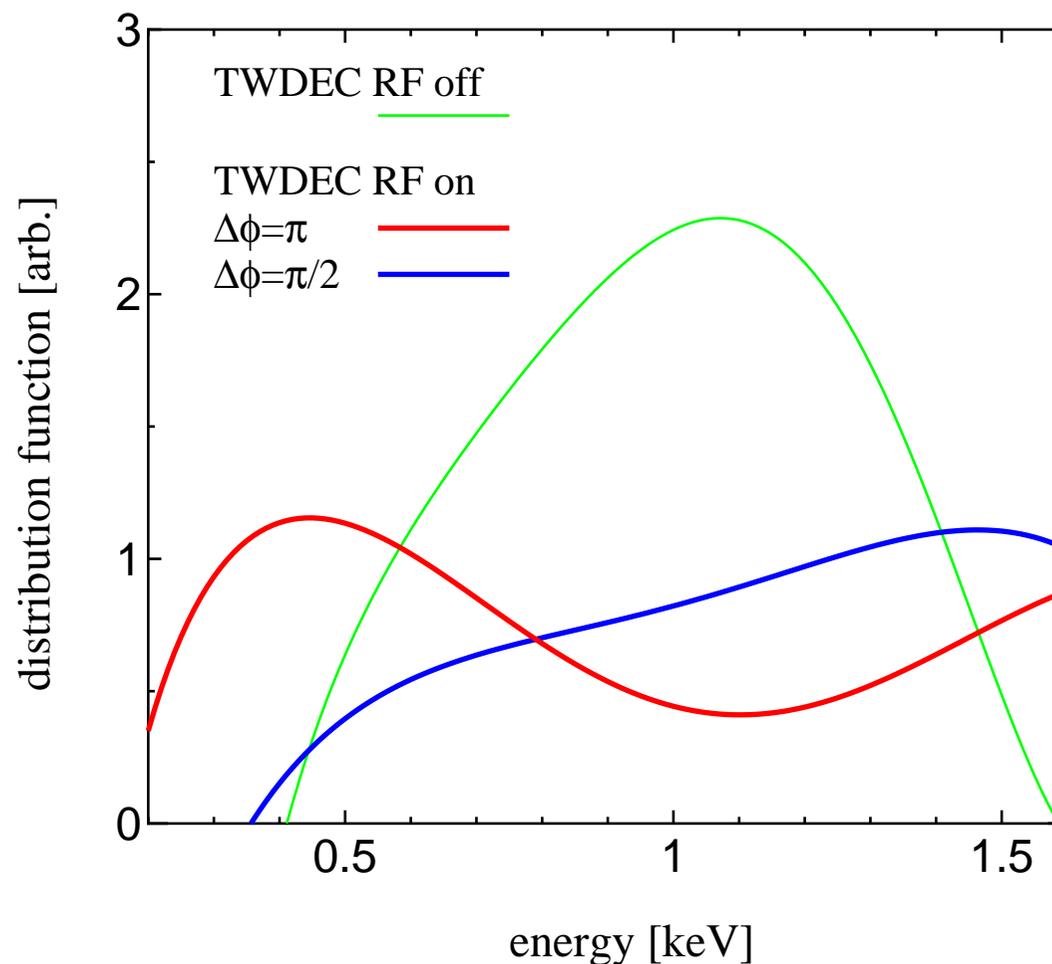
$V_{IR}-I_C$  を 8 次多項式近似

$\pi/2$ :

高エネルギー領域で増大  
加速

$\pi$ :

低エネルギー領域で増大  
減速

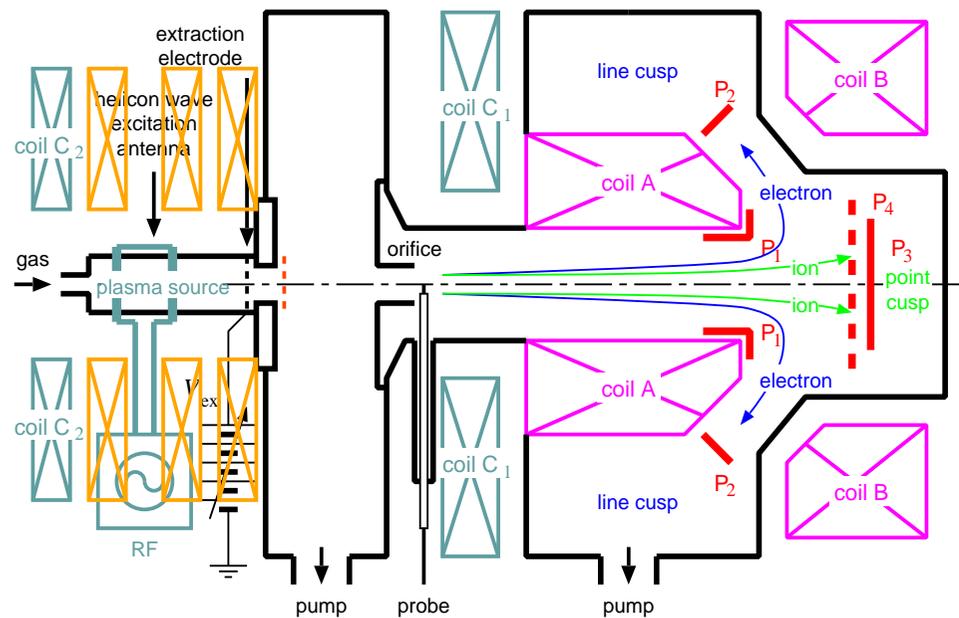
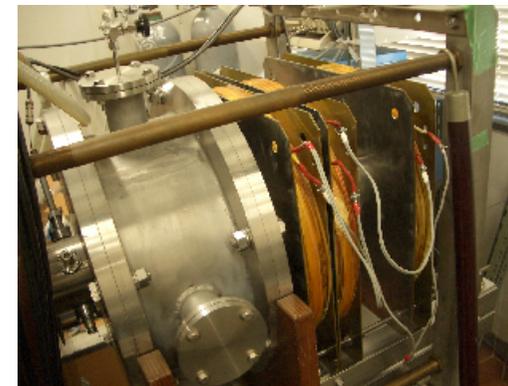


# 4 2011年度の研究計画 (CUSPDEC)

(高密度化に向けて)  
プラズマ源引出し電極改良



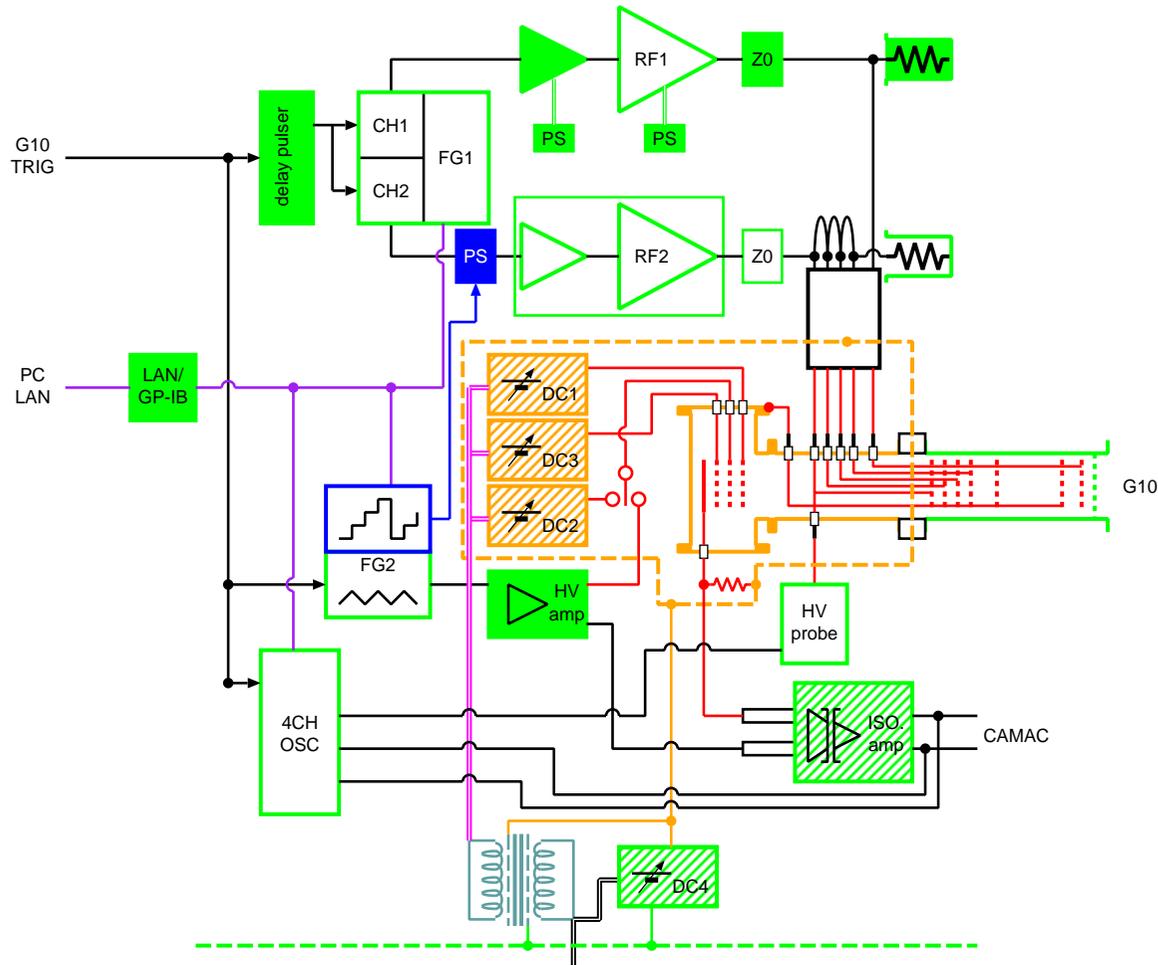
プラズマ源磁場増強



(高エネルギーイオン分離)

...

# 4 2011年度の研究計画 (TWDEC)



ショット中のRF位相変化  
 $V_{IR}$  の高速掃引および  
位相変化との同期

特殊ショット有効利用と  
データ収集効率化

(変調過程の解析研究)

...

## 5 まとめ

---

- 2010年度：
  - ★ CUSPDEC 模擬実験装置において、**2段減速**の研究を進めた。
    - ・ **2段減速による回収電力の向上**を実験で確認した。
    - ・ 主コレクタの軸方向位置に対する回収電力の変化を調べた。  
可動範囲内では、**副コレクタに近いほど回収電力は増大した**。
    - ・ 副コレクタの側面積の増大により、  
**ほぼ面積比に応じた回収電力の増大**を確認した。
    - ・ 主/副コレクタの**最適バイアス条件**を、モデル計算で算出した。
  - ★ G10 端部設置の TWDEC 模擬実験装置において、  
G10 端損失粒子束に対する**バイアス型 TWDEC**の動作を調べた。  
RF 運転モード、片側ECH運転モードのいずれに対しても、  
**変調器-減速器間位相差に対するエネルギー分布の変化**を確認した。
- 2011年度：CUSPDEC ではプラズマ源の高密度化を、  
TWDEC では、ショット中の位相変化を、それぞれ実施予定。