

GAMMA 10装置における連携研究 ー筑波大学プラズマ研究センターの第2期中期計画と連携協力ー

今井 剛(筑波大)

筑波大学 第二期中期目標・計画(平成22年3月31日認可)
2.研究に関する目標／達成するための措置
(2)研究実施体制等に関する目標／達成するための措置
○共同利用・共同研究等に関する具体的方策
.....

双方向型共同研究等の新しい取り組みを積極的に推進する。

第一期中期計画期間(2004~2009年)から、核融合WG報告に沿って、双方向型共同研究に参加、実質的な共同利用・共同研究施設として核融合コミュニティに貢献。

第二期中期目標・計画期間

- ・双方向型共同研究委員会、シンポジウム、学会等で、広くコミュニティに理解を得ながら、さらに、双方向型共同研究を拡充・推進していく。
- ・また、核融合関連センター等との連携協力を強化。

筑波大学 プラズマ研究センターの新展開と連携研究

「数億度の高性能プラズマと常温壁の両立」 を目指したプラ・核融合理工学研究

GAMMA 10

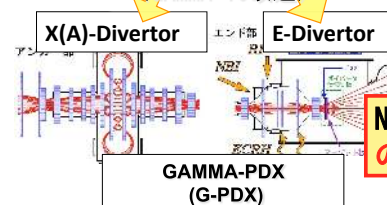


新ダイバータコイル導入と電場制御強化
した改造装置による新しい研究の展開

中期計画で推進する双方向型共同研究を
基盤に、その理念とミラーの特長を生かした
研究を推進

- ・端損失による電位／電場の制御
- ・端部からの粒子束

ダイバータ模擬
(GAMMA 10改造)



輸送制御研究とPWI含む境界プラズマへ拡張研究
(第2期中計)

NIFS、大学連携に加え、**参加センター間の連携**をより強力にした共同研究

大震災による被害状況との復旧状況

GAMMA 10 (全長27m)



震災後の復旧状況:

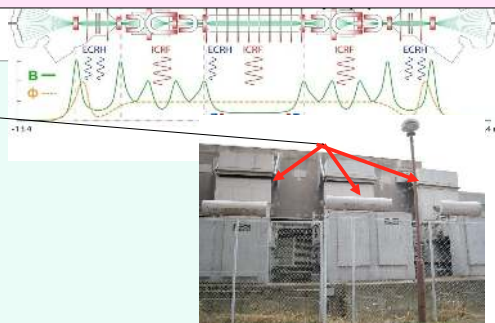
- ・ライフライン、居室・実験室等は震災翌週に復旧
- ・ガンマ10本体 真空容器:真空漏れチェック(3月末)
- ・電動発電機(MG)・コイル等の確認(4月末)
- ・加熱(ICRF, ECH, NBI) (4月初旬~末)

○総合運転試験、実験
(5月末~6月初旬) OK

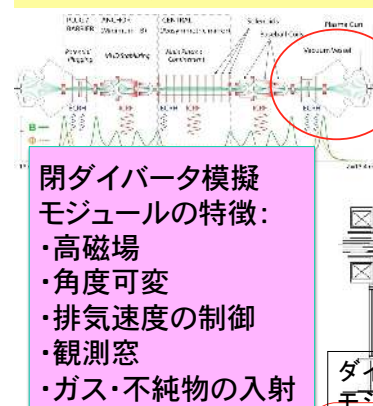
東日本大震災による被害の状況

損傷:

- ・地盤沈下による
トランスヤードダクト破損 4カ所
- ・He冷凍機圧縮機フィン一部破損
- ・MGFWの微小な軸ずれ、コイルのゆるみ
- ・ターボ分子ポンプ損傷 2台
- ・密度計測用マイクロ波発振器 2式
- ・計測用等PC、棚 多数
- ・X線遮蔽用重量扉の一部破損
- ・計測器の軸ずれ



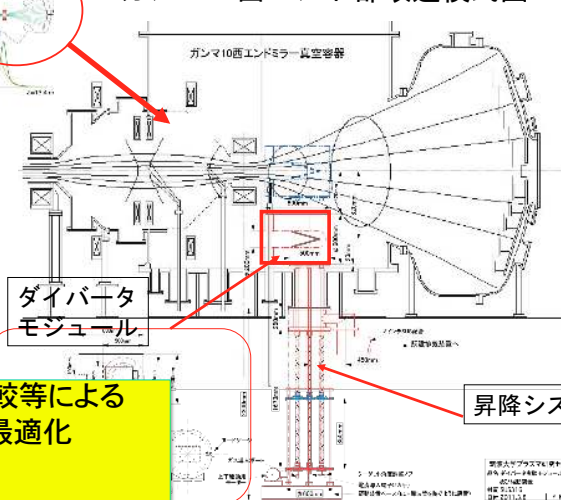
第2期中期計画のDiv模擬実験推進に向けたH23年度の装置改造



閉ダイバータ模擬
モジュールの特徴:

- ・高磁場
- ・角度可変
- ・排気速度の制御
- ・観測窓
- ・ガス・不純物の入射

ガンマ10西エンド部改造模式図



シミュレーションとの比較等による

- ・Div.プラズマ制御の最適化
- ・Div. 構造の最適化
- ・PWIからの材料開発

大幅に増加した共同研究件数：大学連携とセンター間連携研究

筑波大学プラズマ研究センター
平成23年度双方向型共同研究
採択課題

- 採択課題：22件
- 新計画に向けた境界
プラズマ研究関連
テーマ増で1.5倍
- 15件が境界プラズマ

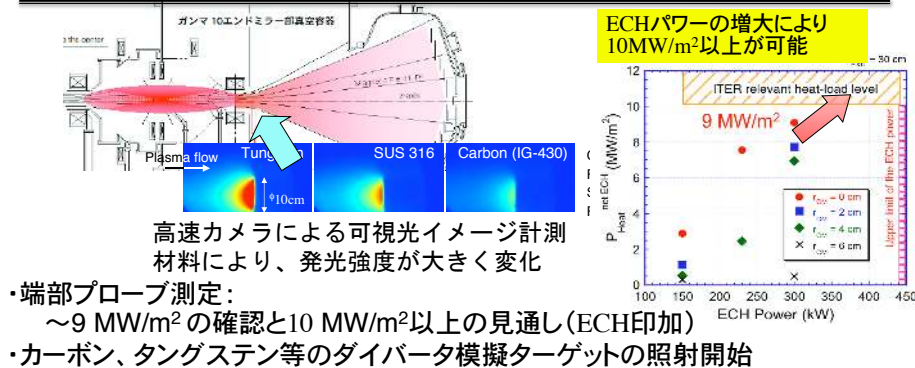
双方向型の特長である
参加センター間の連携
をより強力に発展させた
共同研究への展開

- ① 熱・粒子制御
- ② 高密度プラズマECH

番号	研究課題(和文)	所属機関等	研究代表者	センター 連携人	NIFS世話人
1	開放磁場及び電位・電場構造効果を活かしたダイバータ・プラズマ模擬による境界プラズマ及び輸送制御研究	筑波大学・プラズマ研究センター・教授	今井 剛	今井 剛	長山好夫
2	開放磁場配位プラズマにおける2次元イメージ計測に基づく周辺プラズマ振動解析	筑波大学・大学院工学研究科・准教授	西野信博	中嶋洋輔	長山好夫
3	開放磁場配位を用いたダイバータプラズマ模擬に関する高エネルギープラズマ物理の基礎研究	筑波大学・プラズマ研究センター・准教授	中嶋洋輔	中嶋洋輔	廣岡慶彦
4	GAMMA 10におけるICRF波動と高エネルギーイオンの振動との相関	筑波大学・数理物質科学研究所・教授(プラズマ研究センター)	市村 真	市村 真	長山好夫
5	デジタルミリ波干渉計の開発とGAMMA10電位障壁形成部における電子密度イメージングへの適用	福岡工業大学工学部電子情報工学科・准教授	近木祐一郎	吉川正志	長山好夫
6	ミリ波・サブミリ波応用を目指したプラズマ・電磁波相互作用の基礎研究	福井大学・遠赤外線開発研究センター・教授	斉藤輝雄	市村 真	長山好夫
7	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	神戸大学・大学院工学研究科・准教授	竹野裕正	中嶋洋輔	高田幸博
8	トロイダルミラー磁場配位でのダイバータの検討	名古屋大学大学院・工学研究科・教授	山崎耕造	市村 真	長山好夫
9	大電力長パルス高周波数マイクロトロンの開発とそれによるLHDプラズマの高性能化	核融合科学研究所・プラズマ加熱物理研究系・助教	吉村泰夫	今井 剛	長山好夫
10	100ビットSINET4による核融合バーチャルラボリ遠隔データ収集およびクラウド化の構築	核融合科学研究所・ナリカル研究部・准教授	中西秀敏	吉川正志	中西秀敏
11	28GHz大電力・定常マイクロトロシステムを用いた電子サイクロトロン高密度プラズマ加熱連携研究	筑波大学・数理物質科学研究所・教授	飯家 強	飯家 強	久保 伸
12	マッハプローブを用いたGAMMA10周辺領域における流れ場計測	東北大学大学院・工学研究科・教授	安藤 晃	市村 真	長山好夫
13	非軸対称アンカー部における波動励起の解析	京都大学大学院・工学系研究科・教授	福山 洋	市村 真	長山好夫
14	タンデムミラーGAMMA10におけるトムソン散乱計測による電子温度分布計測	筑波大学・大学院数理物質科学研究所・准教授	吉川正志	吉川正志	山田一博
15	非接触プラズマ診断におけるリサイクリング挙動と粒子損失の最適化に関する研究	筑波大学・エネルギー理工学研究所・助教	小林進二	中嶋洋輔	佐司 主
16	共振によるGAMMA10エンド部の粒子制御の基礎実験	核融合科学研究所・核融合システム研究系・教授	廣岡慶彦	中嶋洋輔	廣岡慶彦
17	プラズマ端での高密度プラズマ流生成・制御の基礎研究	東京農工大学・大学院工学研究科・教授	藤原俊二	市村 真	長山好夫
18	高温タングステン表面へのシース熱流束の計測とその制御	大阪府立大学・工学研究科・助教	松浦寛人	中嶋洋輔	佐司 主
19	複合材料におけるプラズマ照射効果の分析	東北大学・金属材料研究所・准教授	永田晋二	中嶋洋輔	室賀健夫
20	簡易ダイバータモジュールを用いた非接触プラズマ生成	名古屋大学大学院・工学研究科・教授	大野智晴	中嶋洋輔	増崎 貴
21	GAMMA10におけるプラズマ・壁相互作用とコア・エッジカップリングに関する研究	筑波大学・大学院数理物質科学研究所・教授	坂本理樹	坂本理樹	長山好夫
22	ガンマ10装置における伊勢材料の損耗・再堆積の研究とそのダイバータ開発戦略における位置づけ	大阪大学・大学院工学研究科・教授	上田良夫	坂本理樹	増崎 貴

ダイバータ

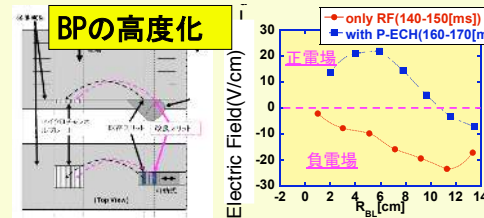
第2期の新展開の研究の着実な進展 ダイバータ模擬実験の進展と連携研究の展開



高熱流束と新ダイバータ・モジュール設置で研究展開

- 高速カメラ高度化と分光測定で現象解明 (京大、広島大)
- Div. 候補材照射による物理/工学研究 (東北大、阪大)
- 非接触プラズマ・不純物輸送 (名大) と
表面分析・数値シミュレーション協力 (慶大、九大)

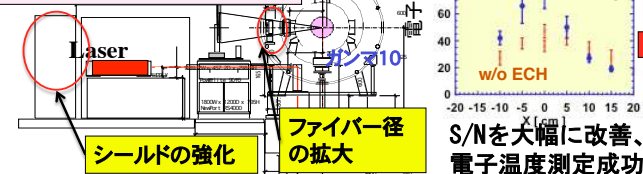
第2期計画に重要な計測研究の進展 電場構造と輸送：BP2点同時電位(電場)とトムソン-Te計測成功



検出器のスリットのマルチ化により、精度良い
2点の電位差(電場)と揺動の同時計測可能

トムソン散乱 Major Spec.

- Te range : 20eV ~ 1 keV
- Laser : Nd:YAG (2 J/pulse)

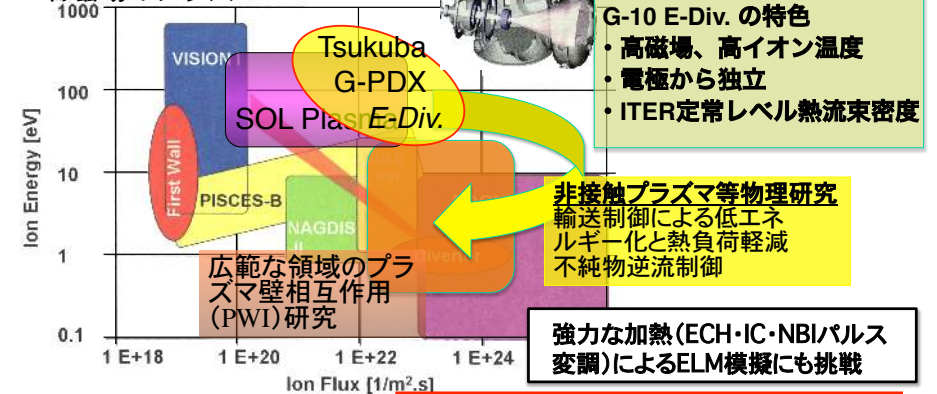


H23年度以降、
径方向電場シア等
の電場構造と揺動/
径方向粒子束との詳
細な測定

H23年度以降は、
多点化と
より低密度での
精度向上

ガンマ10の特長を活かした境界/ダイバータ模擬

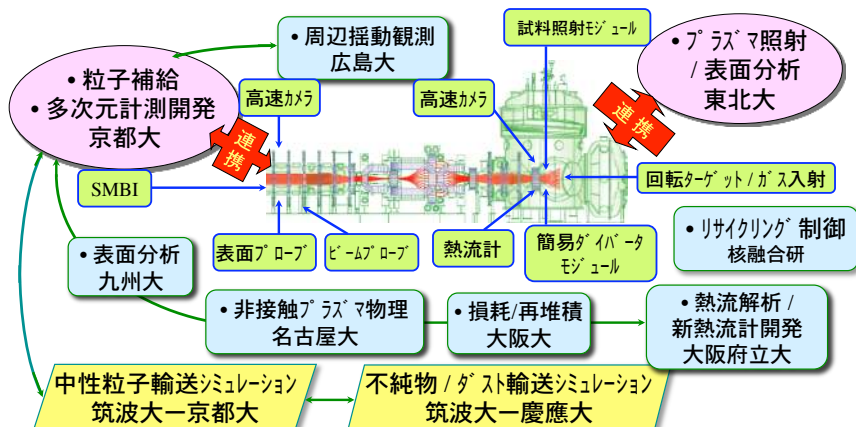
環状系のSOLは開放
端磁場のプラズマ



炉により近い境界&ダイバータ
プラズマ模擬をベースに
連携研究を推進

Uytenhove et al.
Plasma & Fusion Science 996 (2007) AIP proc. 17th RUSFD, pp 159-165

境界プラズマ制御を目指した 周辺プラズマ & PWI 研究の連携による展開



9

連携によるプラズマ制御ツール1MW超ジャイロトロンの開発

1.5 MW 77 GHz for LHD

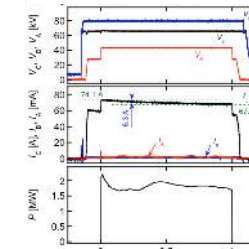
1MW, 28GHz for GAMMA 10

#3 Design parameters

Frequency	77 GHz
Output	1.5 MW
Cavity mode	TE18,6
Output mode	Gauss.
Pulse length	2s(1.5MW), 10s(1.2MW), CW(300kW)
Efficiency	50% (with CPD)



1.8 MW, 1. sec.達成



- LHD用77GHz : #3 管で **1.8 MWx1 s. / 0.3MWで CW (40 min)**
3本合計で **3.3 MW** のパワーをLHDプラズマへ入射
(20 keVの電子温度 / $1 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ で 1 億度実現)
- G-10用28 GHz : 1 MW (短パルス)、0.44MWx2s
九大等との連携、日米協力へ貢献

九大等との連携強化による双方向型共同研究の新しい展開

高密度プラズマの電子サイクロトロン加熱研究センター連携

SDC的超高密度 ($\sim 10^{21} \text{m}^{-3}$) プラズマへ適用可の加熱法の開発



筑波大学 SDC-ECH ジャイロトロン開発研究

- 九大との取り合い調整 (H22年度～)
- G-10用28GHzジャイロトロン九大移送 (23年度)
- QUEST用28GHz 300kW以上-CWジャイロトロン開発
- 高密度プラズマ用高周波数ジャイロトロン検討

九州大学 EBW等のSDC-ECH アンテナ開発研究

- 28GHzジャイロトロン電源・伝送系等の準備
- QUESTによるEBW実験

核融合科学研究所

LHD-SDCプラズマのEBW/EC加熱・制御

京都大学

SDC-ECH 加熱法(EBW)研究

定常環境プラズマ原型炉等

まとめ

筑波大の双方向型共同研究の方針と第2期計画

- 大学中期目標と核融合WG報告書に沿った双方向型研究(重点化・効率化)
- 筑波の特長(開放端磁場配位による端損失と電位/電場制御)

第2期計画:「数億度のコアプラズマと常温壁の両立」を目指し

装置改造(GAMMA-PDX) エンド部改造とDivコイル導入

- プラズマ輸送制御とPWI含む境界プラズマの理工学研究
- ダイバータ模擬・ジャイロトロン等特長を活かしたセンター大学連携

高イオン温度、高磁場、ITERの定常熱流束密度に匹敵するレベルのDiv.模擬、1 MWジャイロトロン開発など着実な準備の下、**H23年度以降、さらに連携協力推進**

- ① 輸送制御: BPの高度化による揺動と輸送の物理を深化
- ② 境界/ダイバータ模擬: 大学連携によるエンド部実験/照射の新たなDiv.モジュール設置
- ③ センター連携推進: ECH (九大)、ダイバータ (京大、東北大)
- ④ 大学等連携推進: 開放端を活かした基礎研究 (神戸大、東北大) トムソン散乱Te計測の高度化 (NIFS, 京大) / ジャイロトロン
- ⑤ 研究を通じた教育、将来のITER・核融合研究者・技術者の育成