

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月21日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21360452

研究課題名（和文）定常 ST 配位形成のための電子バーンシュタイン波モード変換・電流駆動機構の解明

研究課題名（英文） Study on Mode Conversion Process into Electron Bernstein Waves and on Plasma Current Drive Mechanism by Electron Bernstein Waves toward Steady-state ST Operation

研究代表者

出射 浩（IDEI HIROSHI）

九州大学・応用力学研究所・准教授

研究者番号：70260049

研究成果の概要（和文）：

高周波加熱・電流駆動による定常 ST 配位形成に向け、10kA のプラズマ電流にて 180 秒放電を達成した。加熱・電流駆動に向け位相配列アンテナシステムを開発し、実機高電力試験にて、良好な動作を確認した。モード変換・加熱電流駆動機構解明に向け、伝搬遮断域のトンネル効果を考慮した多重光線追跡コードを開発し、モード変換に必要な斜め伝播でポロイダル方向屈折率の発展が重要であることを明らかにした。高電力の高周波単独加熱・電流駆動実験で、高密度プラズマを維持できる新たな運転領域を見いだした。オーミック放電への高周波加熱・電流駆動実験で、遮断密度を超える高密度にて、電子バーンシュタイン波加熱・電流駆動効果を確認した。計測用位相配列アンテナを用い、モード変換に重要な密度分布を測定する反射計システム、モード変換逆過程を観測する輻射計システムを開発した。輻射計システムでは、非コヒーレント熱輻射の位相配列受信に成功した。

研究成果の概要（英文）：

The plasma with 10kA current was sustained at the ST configuration for 180 sec aimed at operating in steady state. A phased-array antenna system has been developed for heating and current drive experiments, and its good performance was confirmed at high power operations. Multiple ray-tracing code taking the tunneling effect into account has been developed. It was indicated poloidal index evolution along the propagation affected ray trajectories in the oblique injection required at the mode conversion. New operational window to sustain the plasma current was observed in the RF-sustained high-density plasmas at the higher incident RF power. Electron Bernstein Wave Heating / Current Drive (EBWH/CD) effects were observed in superposed RF injection into the over dense ohmic plasma. Reflectometry and radiometry systems have been developed to measure the density profile which is important for the mode conversion study, and to observe the thermal emission in inversed mode conversion for the EBWH/D, respectively. Non-coherent thermal emission was successfully observed at the phased array condition in the radiometry.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,600,000円	1,080,000円	4,680,000円
2010年度	7,500,000円	2,250,000円	9,750,000円
2011年度	1,600,000円	480,000円	2,080,000円
2012年度	1,600,000円	480,000円	2,080,000円

総計	14,300,000円	4,290,000円	18,590,000円
----	-------------	------------	-------------

研究分野：核融合：科研費の分科・細目：電気電子工学、計測工学

キーワード：電子バーンシュタイン波、位相配列アンテナ、球状トカマク、プラズマ電流駆動

1. 研究開始当初の背景

電子バーンシュタイン波加熱・電流駆動 (EBWH/CD) は遮断域に制限されず、プラズマ中の電子を有効に加熱しプラズマ電流を駆動することができる。但し、電子サイクロトロン波 (ECW) からの電子バーンシュタイン波 (EBW) へのモード変換が必要で、EBW 励起自体が難しいとされてきた。平成 9 年にヘリカル装置 (W-7AS 装置) で EBW を用いた有効な電子加熱が観測されてから、多くの装置で実験が試みられてきた。球状トカマク (ST) 装置は良好な閉じ込めのもと、高プラズマ圧力 (高ベータ値) プラズマを得ることに成功し、ST 配位は経済性の高い核融合炉方式として、日本を含め世界中で精力的に実験が行われている。ST 装置は装置半径に比べてプラズマ半径が大きいため、装置中心でスペースがあまりなく、装置中心側に設置されるオーミック加熱用コイルでプラズマを十分に加熱・電流駆動するのは難しい。また、核融合炉として必須の定常プラズマ電流は、オーミック加熱による誘導電場で駆動できず、定常に ST 配位を形成するために、定常電流駆動法の確立が不可欠である。ST 装置では、ベータ値が高く ECW 遮断域の制限が強い。高ベータプラズマが可能な ST 配位プラズマで、定常電流駆動法として遮断域に制限されない EBW 加熱・電流駆動が有力視されている。京都大学 LATE 装置では、オーミック加熱用コイルによる誘導電場を用いず、ECW/EBW のみによるプラズマ電流立ち上げに成功し、ST 装置での EBWH/CD の有効性が示された。九州大学「プラズマ境界力学実験装置」QUEST 実験では、定常 ST 配位形成のために 8GHz 帯での EBWH/CD 実験を計画している。

EBWH/CD では、これまで【電磁波】X モードからの変換、【電磁波】O モードから X モード／【静電波】EBW への変換が議論されてきた。これまでに、モード変換層の密度勾配によって、入射角によっては X・O モードの混合モード入射がモード変換に最適であることが明らかになっている。高効率なモード変換を得るには、如何に任意の入射モード (偏波面)・入射角を制御するかが課題となる。平成 17 年に Pinsker らによって斜め入射が可能な位相配列アンテナが理論検討 (PPCF, vol. 47, p335, 2005) され、平成 18 年に RFP: MST 装置での実験が報告されている (Cengher, NF, vol. 46, p. 521, 2006)。これらのアンテナでは、アンテナ前面のプラズマとの結合で EBW【静電波】を直接励起する方法

が用いられたが、結合が難しい。これまでの方形コルゲート導波管アンテナ開発 (Idei, 20th IAEA Conf., PD1-2: NF, vol. 46, p. 489, 2006) から、基本導波管モードで【電磁波】混合モードを励起できる「方形導波管」アンテナを着想し、これを用いた EBW 加熱・電流駆動実験を計画した。この場合、電磁波励起のため、通常の ECW 加熱・電流駆動での「アンテナでの直接結合が必要ない」といった優位性を保つことができる。平成 19 年度に位相配列アンテナシステムの初期設計を終え、プロトタイプアンテナを製作した。低電力試験で、プロトタイプアンテナの良好な高周波動作を確認した。本研究では新アンテナを用いた入射角・モード制御の下、EBW モード変換・電流駆動機構の解明を目指すこととした。

2. 研究の目的

まず、ECW/EBW 加熱・電流駆動でプラズマ電流を生成し、定常に球状トカマク (ST) 配位を形成・維持することを目指す。ECW から EBW へのモード変換では密度分布が鍵となる。モード変換・電流駆動機構の解明では、密度分布がモード変換効率に与える影響を実験的に調べるのが重要である。駆動・観測されたプラズマ電流で、モード変換効率を調べることは難しく、より直接的にモード変換効率を調べる実験手法が必要である。EBW 輻射は、加熱・電流駆動時の ECW/EBW モード変換の逆過程を経て観測される。EBW 輻射の ECW へのモード変換効率は、観測視野に大きく依存するため、輻射の観測視野を実験的に調べることで、より直接的にモード変換機構を調べることにする。モード変換で重要な密度分布計測を行う反射計と、直接的なモード変換効率を観測する輻射計測を連携させ、EBW モード変換・電流駆動の機構を解明する手法を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

研究の目的は、「ECW/EBW 加熱・電流駆動での定常球状トカマク (ST) 配位の形成・維持」と「反射計による密度分布計測とモード変換効率を示す輻射計測の連携による、EBW モード変換・電流駆動の機構解明手法の確立」と大別される。研究の方法としては、加熱・電流駆動システム、反射計・輻射計システムの開発・動作検証に必要な手法と、モード変換・電流駆動効果を検討する手法に分かれる。以下にそれぞれ小節に区切って示す。

3-1-1. 定常 ST 配位形成に向けた加熱・電流駆動システム

加熱・電流駆動する位相配列アンテナは、既にプロトタイプが製作され、初期の低電力動作検証にて、良好な放射角制御性が確認されているが、放射指向性のサイドローブ部を減少させるため、さらに詳細なアンテナ放射電界特性評価が必要である。開発されたホイヘンス原理に基づくキルヒホッフ積分コードを改良し、放射電界分布を評価する。加熱・電流駆動システムの定常動作には、熱応力解析が不可欠である。定常アンテナ開発では、高周波動作解析と連携した有限要素シミュレーション解析を進める。アンテナからの放射角はアンテナ素子間の位相配列で制御する。放射・励起される電磁波モードは、伝搬方向に直行する 2 電界成分の複素比で決まる。位相配列を組む移相器、2 電界成分を同時励起する直交変換器を、高周波動作解析と連携した有限要素シミュレーション解析で検討する。加熱・電流駆動実験を行う九州大学：プラズマ境界力学実験装置 (QUEST 装置) 実験で高電力入射時の放射電界特性を検証する。高電力試験での放射電界位相分布計測には、ヘテロダイン検波での中間周波数固定が重要で、新たな計測手法を開発する。

3-1-2 反射計・輻射計システム

反射計・輻射計といった計測システムでも加熱・電流駆動システム同様に位相配列アンテナを用いる。計測システムでは、密度分布や輻射分布測定に、広帯域の動作周波数特性が必要となる。反射波や EBW からモード変換された電磁波のモード分析には、加熱・電流駆動システム同様に直交変換器が必要である。アンテナ・直交変換器で、広帯域な周波数特性をもつよう、高周波動作を有限要素シミュレーション解析する。加熱・電流駆動アンテナ同様に、QUEST 装置内実験で正しく位相配列を組めるかを検証する必要がある。位相配列動作の確認には、まず放射電界特性による評価となるが、実際の反射波・輻射波動作には、位相配列受信が必要である。

反射計では、有効な反射波成分が、入射・受信アンテナ間の直接結合成分や、QUEST 装置内で発生する定在波成分に埋もれないよう、位相配列受信によって観測強度を上げることが重要である。QUEST 装置長が動作周波数 (10 GHz) 帯波長よりかなり大きいことから、伝搬距離に比例する反射波の位相変化は、数十フリンジとなる。フリンジのミスカウントを避けるため、2 周波数同時励起の入射プローブ波を用いる AM 反射計を開発する。

反射計では、受信される電磁波はコヒーレント波であるが、輻射計では非コヒーレント波である熱輻射を受信するため、位相配列受信方式そのものを見直す必要がある。測定周

波数を限定するスーパーヘテロダイン検波システムを開発する。モード変換機構の解明に重要となる観測視野は、受信される位相配列から解析する。

3-2-1 多重光線追跡解析、EBW 群速度解析によるモード変換・電流駆動解析

EBW は高い屈折率を持つ静電波であるが、斜め伝搬の O-X-B モード変換シナリオによる加熱・電流駆動の場合、入射 O モードは、遮断層で X モードへと変換され、高域共鳴層で EBW へと変換される。最適な入射角であれば EBW へのモード変換効率 η は 1 となり、波動伝搬を光線追跡法で解析できる。最適な入射角でなければ、遮断層通過時のトンネル効果を含めた波動伝搬を扱う必要があり、通常、光線追跡で解析することは難しい。新たなアルゴリズムを開発し、モード変換効率が 1 でない場合を含め、多重光線追跡法でシミュレーション解析するコードを開発する。新たなコードで、モード変換後の波動伝搬、電流駆動に必要な波動吸収解析を行う。モード変換後の EBW は静電波であり、位相速度と群速度の関係が電磁波と異なる。EBW 群速度の静電波近似解を導き、電流駆動で重要となる波動伝搬を、光線追跡による波動伝搬解析と比較検討する。高効率電流駆動に必要な波動伝搬・吸収が行えるよう、アンテナ据付位置を検討し、実機システムを設置する。

3-2-2 EBW 加熱・電流駆動効果の検証に向けた高密度プラズマ生成実験、及びオーミック放電への重畳実験

EBW 加熱・電流駆動効果を検証するには、高密度プラズマの加熱電流駆動維持が不可欠である。高周波のみで高密度プラズマを生成・維持する試みに加え、オーミック放電で維持されたプラズマへの重畳加熱で EBW 加熱・電流駆動効果を検証する。

4. 研究成果

加熱・電流駆動用位相配列アンテナは、アンテナ素子となる方形導波管サイズの最適化を行い、放射電界分布でサイドローブを減少させることに成功した。導波管壁を薄くする方向で、方形導波管サイズが最適化されたが、熱応力解析では、定常運転時に導波管壁温度が上昇し、熱応力で形状変形の可能性が示唆された。冷却構造の見直しで良好な放射電界分布と両立する方形導波管サイズを見出し、実機 4x2 (8 素子) アンテナを開発した。同じく入射電磁波モードを制御する直交変換器も定常動作条件で開発した。開発された要素部品は、低電力試験による動作検証後、QUEST 装置に高周波システムとして据え付けられた。アンテナは、多重光線追跡解析、EBW 群速度解析により、有効な電流駆動を行

えるよう、装置赤道面より下側に設置した。多重光線追跡解析、EBW 群速度解析では、電磁波ではあまり寄与がなかった屈折率のポロイダル成分が、EBW へのモード変換後に大きくなり、斜め波動伝搬で重要となることを明らかとなった。設置されたシステムは、QUEST 装置内での高電力試験で、動作検証された。QUEST 装置内では定在波が立つもの、位相配列を組むことができ、斜め放射など良好な動作を確認した。整備された定常加熱電流駆動システムを用いて QUEST 装置における加熱・電流駆動実験を推進した。当初は 10kA、0.8 秒間のプラズマ電流維持であったが、10kA、180 秒放電を達成し、定常 ST 配位維持で大きく進展した。斜め波動伝搬を考える際、ポロイダル方向の制御性が重要であることから、ポロイダル方向に多素子化した 4x4 (16 素子) アンテナシステムを開発した。低電力試験で良好なポロイダル方向の制御性が確認され、別途、高周波システムに導入した。16 素子を活用するにはさらに導波管伝送路が必要であるが、8 素子、16 素子アンテナの 2 つの高周波システムで全高周波電力 140 kW を入射することに成功した。

これまで測定できていなかったプラズマ密度を測定し、新たな高密度領域での加熱・電流駆動窓を見いだすことに成功した。定常 ST 配位維持に向けた EBW 電流駆動機構の解明には、遮断密度を超える高密度プラズマの生成維持が不可欠である。新たに見つかった高密度運転領域に加え、オーミック放電で誘導電場のフィードバック制御で生成維持されたプラズマに重畳加熱し、遮断密度を超える高密度プラズマにて加熱・電流駆動実験を行った。有効なモード変換に必要な斜め入射時に、より高い密度のプラズマが生成・維持され、遮断密度を超える高密度プラズマで明確な電流増加を観測した。この際、フィードバック制御されている誘導電場入力は減少しており、有効な電子バーンシュタイン波加熱・電流駆動効果が確認された。

モード変換に重要な密度分布を計測する反射計システムでは、QUEST 装置内試験にて、通常の入射・受信アンテナシステムでは、アンテナ間の直接結合成分が無視できないことを明らかにした。直接結合成分を除去する手法も開発されたが、QUEST 装置内では定在波成分も存在するため、本質的には反射波受信強度を上げる必要がある。輻射計で観測視野を制御するためにも、位相配列アンテナが必要であることから、新たに計測用 3x3 (9 素子) 位相配列アンテナシステムを開発した。本システムは、クワッドリッジ導波管-同軸変換部から成る直交変換器を含め、8-15 GHz の広帯域周波数で動作する。計測用位相配列アンテナは、低電力試験装置で良好なビーム集光・放射角制御性を確認後、QUEST 装

置に設置された。アンテナ位置は、多重光線追跡解析、EBW 群速度解析によるモード変換・電流駆動解析から装置赤道面上側とした。QUEST 装置内実験では、まず位相配列アンテナを入射アンテナとして用い、ビーム集光・放射角制御性を確認した。計測用位相配列アンテナは、輻射計計測にも用いられることから、受信アンテナとしての動作検証をした。金属反射板を QUEST 装置内に設置し、反射板位置を変化させて場合の反射波位相を検出した。QUEST 装置長が波長に比べてかなり大きく数十フリンジの位相回転となる。受信波の位相配列を組むこと受信強度を上げ、2 周波数を用いた AM 反射計として、正しく反射点を検出することができた。9 素子の内、3 素子の反射波受信で、プラズマ密度の変化に応じた位相配列受信に成功した。

輻射計では非コヒーレント波を位相配列受信する必要がある。広帯域な連続スペクトラム輻射波を位相配列受信するため、狭帯域の輻射波を直接検出するスーパーヘテロダイン検波システムを開発した。まず低電力試験装置実験で、非コヒーレントな熱輻射を、広帯域ノイズ発生器からの放射で模擬し、ノイズ発生器位置を変化させることで観測視野を確認した。ノイズ発生器位置の変化に応じた位相変化を計測し、アンテナ素子間の位相配列受信で観測視野を計測できることを明らかにした。QUEST 装置内実験でも非コヒーレントな熱輻射を、広帯域ノイズ発生器からの放射で模擬し、ノイズ発生器位置を変化させることで観測視野を確認した。高周波入射による加熱・電流駆動実験にて、熱輻射スペクトラム受信を行い、受信高周波回路の健全性を確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 34 件) 主な論文を示す

- 1) H. Idei, et al., Conceptual Design and Prototype Performance of Phased-array Antenna for EBWH/CD Experiments in QUEST, IEEJ, 査読有, **132** (2012) 511-516,
- 2) E. Kalinnikova, H. Idei, et al., Modeling of OXB Mode Conversion Scenario for EBWH/CD Experiments in QUEST, IEEJ, 査読有, **132** (2012) 505-510
- 3) H. Idei, et al., Electron Bernstein Wave Heating and Current Drive Effect in QUEST, Proc. 24TH IAEA FUSION ENERGY CONFERENCE, 審査有, Proc. 24TH IAEA (2012) web
- 4) H. Idei, et al., ECW/EBW Heating and Current Drive Experiment Results and Prospects for CW Operation in QUEST, Plasma and Fusion Research, 査読有, **7** (2012) 2402112-1/7

5) Evgeniya KALINNIKOVA, Hiroshi IDEI, *et al.*, Modeling of OXB mode conversion scenario for EBWH/CD Experiments in QUEST, IEEJ Transaction on Fundamental and Materials, 査読有, 132 (2012) 505-510

6) H. Idei, *et al.*, Electron Cyclotron / Bernstein Wave Heating and Current Drive Experiments using Phased-array Antenna in QUEST, AIP Conference Proceedings (Radio Frequency Power in Plasmas) **1406** (2011) 473-476 査読無

7) H. Idei, *et al.*, Development of CW 16-element Phased-array Antenna for Electron Bernstein Wave Heating and Current Drive Experiments in QUEST, Proceedings of 36th International Conference on Infrared and Millimeter, and Terahertz Waves, 査読無 1 (2011) CD-ROM

8) H. Idei, *et al.*, Differential-Phase Reflectometry and Electron Bernstein Wave Radiometry using Phased-Array Antenna System in the QUEST, Journal of Plasma and Fusion Research Series, 査読有, **9** (2010) 112-117

9) H. Idei, *et al.*, Development of CW Phased-array Antenna System for Electron Bernstein Heating and Current Drive Experiments in QUEST, Proceedings of the 35th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Wave (IRMMW-THz2010), 査読無, (2010) CD-ROM

10) H. Idei, *et al.*, Electron Bernstein Wave Emission Diagnostics using Phased-array Antenna System in QUEST, Proceedings of the 35th International Conference on Infrared Millimeter and Terahertz Wave (IRMMW-THz2010), 査読無, (2010) CD-ROM

11) K. Nagata, H. Idei, *et al.*, Differential-Phase Reflectometry System using Phased-array Antenna in QUEST, Proceedings of the 35th International Conference on Infrared Millimeter and Terahertz Wave (IRMMW-THz2010), 査読無, (2010) CD-ROM

12) H. Idei, *et al.*, Phased-array Antenna System for Electron Bernstein Wave Heating and Current Drive Experiments in QUEST, Proceedings of the 23rd IAEA Fusion Energy Conference, 審査有, (2010) web

13) H. Idei, *et al.*, Development of Phased-array Antenna System and Its Application to EBWH/CD Experiments in QUEST, Proceedings of the 16th Joint Workshop on Electron Cyclotron Emission and Electron Cyclotron Resonance Heating, 査読無, (2011) 269-274

14) E. I. Kalinnikova, H. Idei, *et al.*, Multiple ray-tracing analysis for EBWH/CD experiments in QUEST, Proceedings of the 16th Joint Workshop on Electron Cyclotron Emission and Electron Cyclotron Resonance Heating, 査読無, (2011) 275-280

15) H. Idei, *et al.*, Ray trace and Fokker-Planck analyses for electron Bernstein wave heating and current drive in QUEST, Journal of Plasma and Fusion Research SERIES, **8** (2009) 1104-1107 査読有

16) H. Idei, *et al.*, Phased-array antenna for Electron Bernstein Heating and Current Drive in QUEST, Proc. 34th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, (2009) CD-ROM 査読無

17) H. Idei, *et al.*, Single-Side-Band Heterodyne Differential-phase Reflectometry in QUEST, Proc. 34th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (2009) CD-ROM 査読無

〔学会発表〕(計 35 件) 主な発表を示す

1) 出射浩, 他, QUEST 装置のオーミック放電における電子バーンシュタイン波重畳加熱・電流駆動効果, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 18-21 日, 横浜国立大

2) H. Idei, *et al.*, Electron Bernstein Wave Heating and Current Drive Effect in QUEST, 24TH IAEA FUSION ENERGY CONFERENCE, 2012 年 10 月 8-13 日, San Diego, USA

3) H. Idei, *et al.*, ECW / EBW Heating and Current Drive Experiment Results and Prospects to CW Operation in QUEST, 21st International Toki Conference (ITC-21) (招待講演), 平成 23 年 11 月 29 日, セラトピア土岐

4) H. Idei, *et al.*, Development of CW 16-element Phased-array Antenna for Electron Bernstein Wave Heating and Current Drive Experiments in QUEST, Proceedings of 36th International Conference on Infrared and Millimeter, and Terahertz Waves (招待講演), 平成 23 年 10 月 4 日, Houston, USA

5) Hiroshi Idei, *et al.*, Development of Electron Cyclotron / Bernstein Wave Heating and Current Drive System and its Application to the QUEST Experiments, The Joint Meeting of 5th IAEA Technical Meeting on Spherical Tori and 16th International Workshop on Spherical Torus (ISTW2011) 平成 23 年 9 月 27 日, 核融合科学研究所

6) Evgeniya KALINNIKOVA, Hiroshi IDEI, *et al.*, Modeling of OXB mode conversion scenario for EBWH/CD Experiments in QUEST,

The Joint Meeting of 5th IAEA Technical Meeting on Spherical Tori and 16th International Workshop on Spherical Torus (ISTW2011) 平成 23 年 9 月 28 日, 核融合科学研究所

7) H. Idei, *et al.*, Electron Cyclotron / Bernstein Wave Heating and Current Drive Experiments using Phased-array Antenna System in the QUEST, The 8th International Workshop "Strong Microwaves and Terahertz Waves" (招待講演), 平成 23 年 7 月 10 日, ロシア ニジニーノブゴロド

8) H. Idei, *et al.*, Electron Cyclotron / Bernstein Wave Heating and Current Drive Experiments using Phased-array Antenna in QUEST, Joint Meeting of the 19 Topical Conference on Radio Frequency Power in Plasmas and the US Japan RF Physics Workshop, 2011. 6. 1-3, Newport USA

9) H. Idei, *et al.*, Development of Phased-array Antenna System and its Application to EBWH /CD Experiments in QUEST, 16th Joint Workshop on Electron Cyclotron Emission and Electron Cyclotron Resonance Heating, 2010. 4. 12-15, Sanya, China

10) E. Kalinnikova, H. Idei, *et al.*, Multiple ray-tracing and Fokker-Planck analyses for EBWH/CD experiments in QUEST, 16th Joint Workshop on Electron Cyclotron Emission and Electron Cyclotron Resonance Heating, 2010. 4. 12-15, Sanya, China

11) 出射浩、他 QUEST における位相配列アンテナを用いた加熱・電流駆動実験 第 8 回核融合エネルギー連合講演会 2010. 6. 10-11 高山市民文化会館

12) E. Kalinnikova, H. Idei, *et al.*, Multiple ray-tracing simulations for EBWH/CD experiments in QUEST, 第 8 回核融合エネルギー連合講演会 2010. 6. 10-11 高山市民文化会館

13) H. Idei, *et al.*, Development of CW Phased-array Antenna System for Electron Bernstein Heating and Current Drive Experiments in QUEST, 35th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Wave (IRMMW-THz2010) 2010. 9. 5-10 Rome, Italy

14) H. Idei, *et al.*, Electron Bernstein Wave Emission Diagnostics using Phased-array Antenna System in QUEST, 35th International Conference on Infrared Millimeter and Terahertz Wave (IRMMW-THz2010) 2010. 9. 5-10 Rome, Italy

15) K. Nagata, H. Idei, *et al.*, Differential-Phase Reflectometry System using Phased-array Antenna in QUEST, 35th

International Conference on Infrared Millimeter and Terahertz Wave (IRMMW-THz2010) 2010. 9. 5-10 Rome, Italy

16) H. Idei, *et al.*, Phased-array Antenna System for EBWH/CD and EBW Emission and Reflectometry Diagnostics Workshop on RF Heating Technology of Fusion Plasmas 2010 2010. 9. 13-15 Como, Italy

17) 出射浩、他, QUEST における電子バーンシュタイン波加熱・電流駆動実験のための多重光線・フォッカープランク解析 日本物理学会 2010 年秋季大会 2010. 9. 23-26 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス

18) H. Idei, *et al.*, Phased-array Antenna System for Electron Bernstein Wave Heating and Current Drive Experiments in QUEST 23rd IAEA Fusion Energy Conference 2010. 10. 11-16 Daejeon, Korea

19) 出射浩、他 QUEST 装置における位相配列アンテナを用いた電子バーンシュタイン波放射計測 第 27 回プラズマ・核融合学会年会 2010. 11. 30-12. 3 北海道大学学術交流会館

20) 永田和也、出射浩、他 QUEST における位相配列アンテナを用いた AM 反射計計測 第 27 回プラズマ・核融合学会年会 2010. 11. 30-12. 3 北海道大学学術交流会館

21) E. Kalinnikova, H. Idei, *et al.*, Propagation Analysis of Electron Bernstein Wave in QUEST 第 27 回プラズマ・核融合学会年会 2010. 11. 30-12. 3 北海道大学学術交流会館

〔その他〕

ホームページ等

www.triam.kyushu-u.ac.jp

6. 研究組織

(1) 研究代表者

出射 浩 (IDEI HIROSHI)

九州大学・応用力学研究所・准教授

研究者番号：70260049

(2) 研究分担者

福山 淳 (FUKUYAMA ATSUSHI)

京都大学・大学院・工学研究院・教授

研究者番号：60116499

久保 伸 (KUBO SHIN)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・教授

研究者番号：80170025

(3) 連携研究者

伊神 弘恵 (IGAMI HIROE)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教

研究者番号：10390634