

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03582

研究課題名(和文)電子サイクロトロン加熱によるトロイダル流駆動機構の解明

研究課題名(英文)Simulation study of toroidal flow generation mechanism by electron cyclotron heating

研究代表者

村上 定義 (Murakami, Sadayoshi)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：40249967

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、電子サイクロトロン加熱(ECH)に関連するトロイダル流駆動機構として、非軸対称磁場がもたらす高エネルギー電子の径方向流束に関するJxBトルクの働きに着目して研究を行った。結果として、LHDおよびHSXプラズマにおいてECHによる高エネルギー電子がトロイダル流分布に影響していることを定量的に示した。さらに、JT-60U装置においてトロイダルリップル磁場を導入し、ECHによるJxBトルクのトロイダル流への影響について定量的に解析した。結果として、ECHによるJxBトルクでは実験的に得られたトロイダル流の変化を説明できないことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

トーラス型磁場閉じ込め核融合装置において、トロイダル流やそのシアが乱流抑制や電磁流体的不安定性の抑制に重要であることが知られている。本研究では、3次元磁場におけるECHによる高速電子が径方向拡散によりJxBトルクを発生させ、トロイダル流駆動する可能性を検証した。LHDおよびHSXプラズマにおけるシミュレーションと実験結果との比較により、ヘリカル系プラズマにおいては、ECHを積極的に用いてトロイダル流を制御できることが示された。本研究では、効率的な核融合炉の開発に大きく貢献したと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Toroidal flow driving mechanism related to electron cyclotron heating (ECH) is investigated, focusing on the role of the JxB torque associated with the radial flux of supra-thermal electrons caused by the non-axisymmetric magnetic field. As a result, it is quantitatively shown that the toroidal flow profile is affected by the supra-thermal electrons from ECH in LHD and HSX plasmas. In addition, the effect of the JxB torque associated with the electron radial flux due to ECH on the toroidal flow is quantitatively analyzed by introducing a toroidal ripple field in the JT-60U plasma. As a result, it is found that the toroidal torque due to ECH could not explain the experimental results.

研究分野：プラズマ・核融合

キーワード：トロイダル流 電子サイクロトロン加熱 高速電子 トロイダルトルク ヘリカル トカマク

1. 研究開始当初の背景

プラズマ流やその速度シアなどが、Hモード遷移、内部輸送障壁の形成など閉じ込め改善モードにおいて非常に重要な働きをすることが示唆されて来ている。一方、これまで実験プラズマにおいては、トロイダル流を駆動するため、中性粒子ビーム入射(NBI)加熱により接線方向にイオンビームを入射し、そのイオンビームの運動量がトロイダル流を駆動している。しかしながら、ITERなど大規模な装置においては、プラズマ周辺から中心までの距離が大きくなり、NBI加熱により十分なトロイダル流を駆動することができないことが課題となっている。そのため、他の自発的なプラズマ流の駆動方法を開発する必要がある。

一方、JT-60U, JET, DIII-Dなど多くの装置において、NBI加熱などの直接的な駆動がない場合でも、自発的なトロイダル流の発生が報告されており、実験的・理論的な研究が進められている。また、電子サイクロトロン加熱(ECH)時においても、自発的なトロイダル流が発生することがJT-60Uなどトカマク装置だけでなく、HSXやLHDなどヘルカル型装置においても、実験的に観測されている。

ECHでは、電子を垂直方向に加速するため、トロイダル方向の運動量を直接的に駆動していないため、何らかの間接的な要因によりトロイダル流が駆動されていると考えられる。一つの可能性としては、EC波により高エネルギーに加速された電子が捕捉電子となりトロイダル方向にドリフト運動し、背景プラズマとのクーロン衝突による摩擦力がトロイダル方向のトルクを与えると考えられる。もう一つの可能性としては、ECHによる高エネルギー捕捉電子の径方向拡散に関連する $J \times B$ トルクが考えられる。ECHにより発生した高エネルギー捕捉電子は、径方向に拡散し、径方向の電子電流が発生する。定常状態において、この電子電流は、背景プラズマの同じ向きのイオン電流に打ち消され、このイオン電流とポロイダル磁場により、背景プラズマにトロイダル方向の $J \times B$ トルクが発生する。

一方、トロイダルドリフトの摩擦力によるトルクとイオン電流による $J \times B$ トルクは、逆方向であり、完全な軸対称性のあるトカマクにおいて、有限軌道幅を考慮しない場合、打ち消し合うことが知られている。しかしながら、磁場に非軸対称成分がある場合、高エネルギー電子の径方向拡散は増加し、 $J \times B$ トルクが優位に大きくなる可能性がある。実際、W7-ASやLHD配位において、磁場配位に依存して熱粒子の新古典輸送と同程度の高エネルギー電子の径方向拡散が得られることが数値シミュレーションにより示されている。

また、トカマクにおいても、有限磁場リップルや共鳴摂動磁場など、小さいながらも非軸対称磁場成分が存在することが知られており、非軸対称磁場成分が原因となる径方向拡散の増加により $J \times B$ トルクが重要となる可能性がある。これらを検証するためには、ECHによる高エネルギー電子をドリフト軌道も含め正確に運動論的に解析し、高エネルギー電子のトロイダル運動の摩擦力によるトルクと $J \times B$ トルクを高精度に求める必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、電子サイクロトロン加熱(ECH)により発生する高エネルギー電子の径方向拡散に関連する $J \times B$ トルクおよびトロイダルドリフトの摩擦力によるトルクを評価し、トロイダルプラズマで実験的に観測されたECHに関連するトロイダル流駆動現象の物理的解明を目指す。完全な軸対称磁場配位では、 $J \times B$ トルクとトロイダルドリフトによる摩擦力がキャンセルし、正味のトロイダルトルクが発生しないため、非軸対称磁場成分の影響に着目し、解析を行う。まず、磁場配位に軸対称性がない、ヘルカル型装置について検証を行い、次に有限トロイダルリップルや共鳴摂動磁場などの僅かな非対称性が存在するトカマク装置について検証を行う。

3. 研究の方法

本研究では、5次元位相空間におけるドリフト運動論方程式解析コードGNETに電子の径方向流束に関連する $J \times B$ トルクや電子のトロイダル方向のドリフト運動により発生する摩擦力によるトルクを求める改良を行なう。信頼性の高いGNETコードを拡張することにより、電子の径方向流束に関連する $J \times B$ トルクや電子のトロイダル方向のドリフト運動と背景プラズマとの摩擦力によるトルクを評価する。 $J \times B$ トルクに関しては、既に高エネルギー電子の径方向流束を評価することができるため、ポロイダル磁場を用いて、得られた電子電流を打ち消すイオン電流から $J \times B$ トルクを評価するサブルーチンを新たに追加する。電子のトロイダル方向ドリフト運動により発生する摩擦力によるトルクに関しては、電子の背景プラズマとの衝突によるトロイダル方向の運動量変化を求める改良を行い、求められた運動量変化からトルクを求める。

研究の具体的進め方としては、まずLHDプラズマにおけるECHによる高エネルギー電子に関連する $J \times B$ トルクの重要性について解析を進める。LHDにおいては、NBI加熱によって維持されたプラズマ中に高パワーECHを行うと、プラズマ中心部のトロイダル流の分布が大きく変化する現象が実験的に観測されている。この場合、プラズマはNBIビーム粒子により直接的に

トロイダル方向に駆動されており、ECH に関連する駆動が NBI 加熱による駆動と同程度であることが推測される。GNET コードを用いて $J \times B$ トルクおよびトロイダルドリフトの摩擦力によるトルクを求め、得られた2つのトルクと NBI 加熱によるトルクを比較する。また、これらのトルクを用いてトロイダル運動量の1次元拡散方程式を解くことにより、ECH 入射によるトロイダル流の変化を評価し、実験結果との比較により、 $J \times B$ トルクの重要性を検証する。

次に、HSX プラズマにおける ECH による高エネルギー電子に関連する $J \times B$ トルクの重要性について解析を進める。HSX の ECH プラズマの実験パラメータを仮定し、磁場配位を準ヘリカル対称性配位からミラー磁場配位へ磁場配位を変更することにより、 $J \times B$ トルクおよびトロイダルドリフトの摩擦力によるトルクがどう変化するかを評価する。さらに得られたトルクを用いてトロイダル運動量の1次元拡散方程式を解くことにより背景プラズマのトロイダル流を評価し、実験結果との比較により $J \times B$ トルクの重要性を検証する。

最後にトカマクにおける非軸対称磁場による高エネルギー電子の径方向拡散がトロイダル流に与える影響について評価する。有限トロイダルリップルを導入した JT-60U について $J \times B$ トルクの重要性について解析を進める。

4. 研究成果

LHD におけるトロイダル流駆動解析

本研究では、まず GNET コードを $J \times B$ トルクと衝突トルクを評価できるように拡張し、軸対称な磁場配位と、非軸対称な LHD 磁場配位においてそれぞれのトルクを評価した。軸対称な磁場配位においては、電子の有限軌道幅による効果を除いて、 $j \times B$ トルクと衝突トルクが打ち消し合う結果が得られたが、LHD 磁場配位においては、非軸対称な磁場のモードにより径方向電流が強められることによって $J \times B$ トルクが支配的となり、衝突トルクが無視できるほど小さいことが分かった。またトルクの向きは加熱位置よりも径方向内側で Counter 方向、外側で Co 方向であり、実験によって得られているトロイダル流の変化方向と定性的に一致した。

次に、2つの特徴的な実験に対して比較検証を行った。結果として、balanced-NBI 加熱によって維持されたプラズマ中に ECH を重畳させた場合では、得られたトロイダル流が実験結果と比較的良好一致が得られた。図1は、GNET シミュレーションで得られた NBI 加熱（バランス入射）および ECH によるトロイダルトルク（左）および異なる径方向拡散係数および粘性を用いた場合の ECH 入射によるトロイダル流の変化（中、右）を示している。一方、Co-NBI 加熱によって維持されたプラズマ中に ECH を重畳させた場合には、NBI トルクを打ち消すほど強い ECH トルクが中心部で得られず、実験とは乖離が見られた。

さらに、ECH トルクの磁場配位依存性や加熱位置依存性を調べた。LHD では標準配位から磁気軸を移動させることによって、高エネルギー粒子の閉じ込めが良い内寄せ配位や、MHD 安定性が高い外寄せ配位をとることができる。結果として、電子が捕捉されやすいリップルボトムを ECH 加熱した場合、リップルトップを加熱した場合よりも大きなトルクが得られた。また、磁場配位依存性については、軌道効果によって高エネルギー電子の閉じ込めが改善された内寄せ配位で小さなトルクが得られ、また逆に高エネルギー電子の閉じ込めが比較的悪い外寄せ配位において、最も大きなトロイダルトルクが得られた。しかしながら、トロイダル流は駆動力のトルクだけでは決まらず、新古典粘性などの減衰項にも依存する。これらのトルクで駆動されるトロイダル流を評価したところ、粘性が比較的小さく、トルクが大きい標準配位で最も大きなトロイダル流が得られることが分かった。

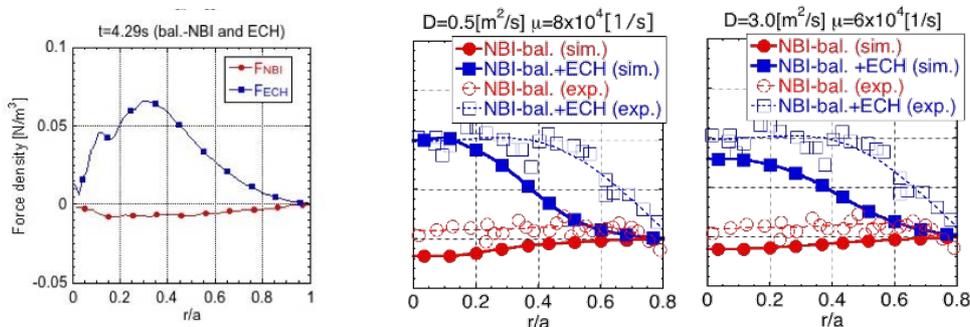


図1：(左) NBI 加熱（バランス入射）および ECH によるトロイダルトルク，(中，右) 異なる径方向拡散係数および粘性を用いた場合の ECH 入射によるトロイダル流の変化

HSX におけるトロイダル流駆動

本研究では、HSX におけるトロイダル流駆動機構を明らかにするため、GNET コードを用いて HSX における ECH トルクとそれによって駆動されるトロイダル流を評価した。完全にヘリカル対称な磁場配位を用いた場合、ヘリカル対称な方向にはトルクが打ち消されるが、準ヘリカル

対称な QHS 配位においては、その小さな非対称モードによって $j \times B$ トルクが支配的になることが分かった。また、ray-tracing シミュレーションにより吸収パワーを評価すると、QHS 配位では 24kW、Mirror 配位では 16kW となり、Mirror 配位の方が吸収パワーが小さいにもかかわらず、Mirror 配位で得られたトルクのピーク値は QHS 配位の 2 倍程度大きいことが分かった(図 2)。

次に、得られた $j \times B$ トルクを Amp`ere の式を用いて運動量釣り合いの式に導入し、運動量釣り合いを解くことによってトロイダル流を評価した。結果として、Mirror 配位では粘性が大きく、吸収パワーも小さいにもかかわらず、Mirror 配位でより大きなトロイダル流が得られ、実験結果と良い一致を得た(図 3)。

また、 $j \times B$ トルクにおいて重要である径方向電流の径電場依存性・密度依存性・温度依存性を調べた。強い径電場が存在する場合には $E \times B$ ドリフトによって径方向ドリフト速度が抑制され、径方向電流が減少することが分かった。温度・密度依存性に関しては、温度が低下するほど、また密度が増加するほど衝突周波数が増えるため、高エネルギー捕捉電子の径方向平均自由行程が小さくなり、径方向電流が小さくなることが分かった。

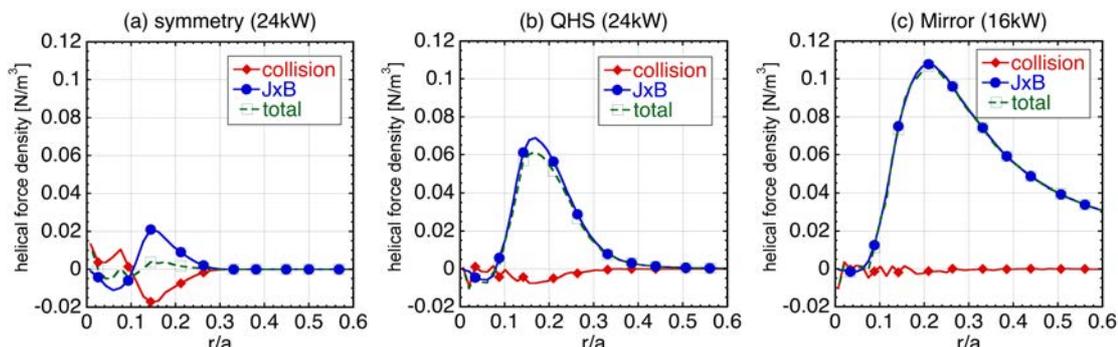


図 2 : 完全ヘリカル対称配位 (左), 準ヘリカル対称配位 (中), ミラー配位 (右) における GNET シミュレーションにより得られたヘリカル対称方向のトルク

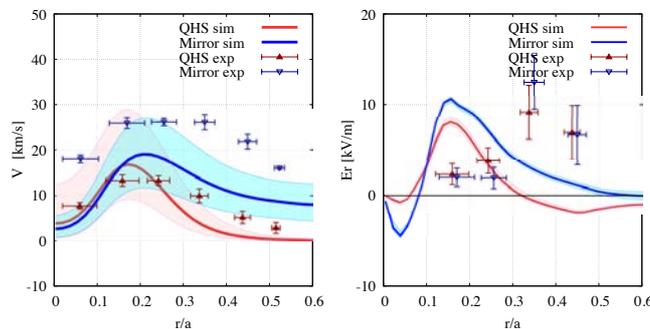


図 3 : 準ヘリカル対称配位およびミラー配位におけるトロイダル流および径電場のシミュレーションと実験結果の比較

リップル磁場を考慮に入れた JT-60U におけるトロイダル流駆動

本研究では、まず GNET コードで JT-60U 磁場配位の取り込むため非軸対称磁場成分の導入を行った。具体的には、上下非対称磁場配位にも対応している BOOZ_XFORM フォーマットの磁場データファイルを読み組むことができる様に GNET ドリフト軌道解析サブルーチンの改良を行った。図 4 は、典型的な高エネルギー(10keV)捕捉電子の軌道を示した($\delta=0.5\%$)。リップル捕捉により径方向に電子がドリフトし、拡散していることが分かる。次に、トロイダル磁場リップルが $J \times B$ および衝突トルクに与える影響を明らかにするため、GNET コードを用いて ECH による高エネルギー電子の 5 次元位相空間による定常分布を求め、径方向電子流束と衝突項からのトロイダルトルクを評価した。図 5 は、ECH 加熱領域($r/a \sim 0.3$)付近における電子速度空間分布の Maxwell 分布からのずれを示した($\delta=0.5\%$)。赤い領域が ECH により分布が増加した高エネルギー電子の分布を示しており、青い領域は ECH により減少した熱エネルギー電子の分布である。加熱位置からその内側へ高エネルギー電子がドリフト運動し、そこで減速していることが分かる。同様に外側においても高エネルギー電子がドリフト運動し、減速していることが分かる。これらは ECH による高エネルギー電子が径方向に拡散し、径方向の電子電流を発生させていることを示している。

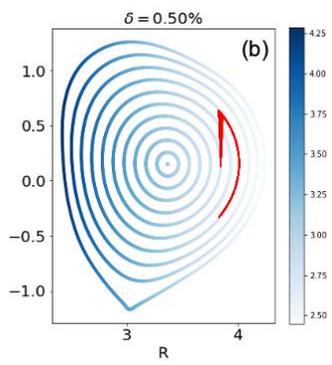


図4：JT-60Uにおける捕捉電子 (10keV)の軌道($\delta=0.50\%$)

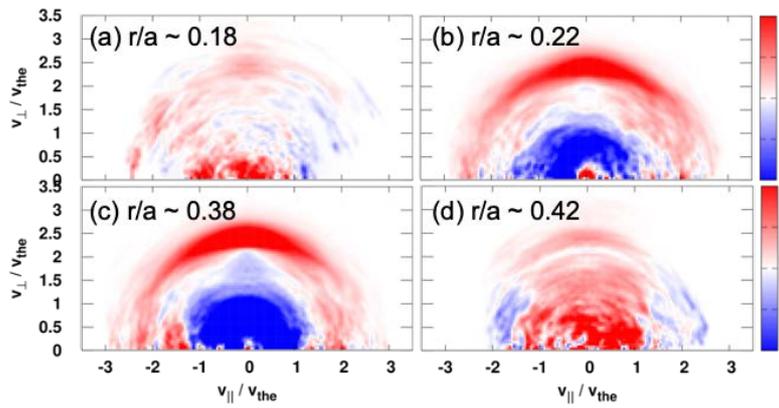


図5：ECH加熱領域付近の電子速度空間分布の Maxwell 分布からのずれ (赤：正，青：負)

次にわれわれは JT-60U で行われた実験結果(E48067)と比較するため、実験パラメータと同様な密度・温度のプラズマを仮定し、GNET シミュレーションを行った。ECH 吸収パワーは実験と同じ 2.46MW とした。図3は、GNET シミュレーションにより得られた $\delta=0.1, 0.5\%$ の場合の \mathbf{JxB} 、衝突および全トルクを示している (図6)。ここで簡単のためリップルは全空間で一定とした。 $\delta=0.1\%$ の場合では、 \mathbf{JxB} トルクと衝突トルクを比べると \mathbf{JxB} トルクが 2 倍程度大きくなっており、有限の全トルクが発生していることが分かる。一方、 $\delta=0.5\%$ の場合では、先の場合に比べ \mathbf{JxB} トルクが 10 倍以上増加し、支配的となっていることが分かる。最後に、トカマクにおけるトロイダル流を高精度に予測できる統合輸送シミュレーションコード TOPICS を用いて得られた ECH トルクが駆動するトロイダル流の変化について評価を進めた。図7は、NBI プラズマトルクにより回転しているプラズマに ECH トルクを導入した場合のトロイダル流の変化を示している。結果から ECH トルクの影響が小さいことが分かった。

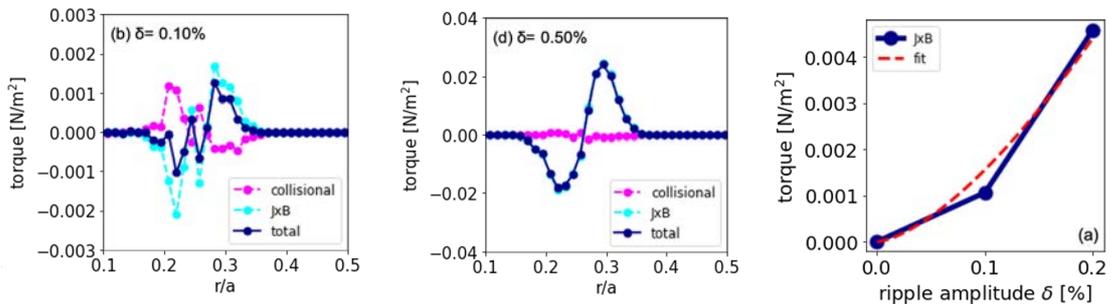


図6：(左, 中) GNET シミュレーションにより得られた $\delta=0.1, 0.5\%$ の場合の \mathbf{JxB} 、衝突および全トルク、(右) \mathbf{JxB} トルクピーク値のリップル強度依存性

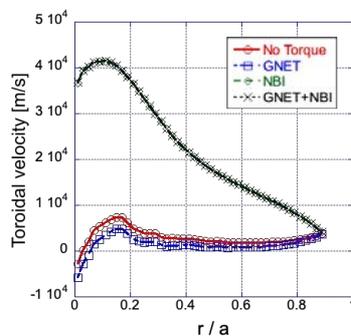


図7：TOPICS コードにより得られた JT-60U プラズマにおける ECH トルクによるトロイダル流の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

| | |
|---|---------------------------------|
| 1. 著者名 YAMAMOTO Yasuhiro, MURAKAMI Sadayoshi, CHANG Ching-Chieh, KUMAR Santhosh T.A., TALMADGE Joseph N., LIKIN Konstantin, ANDERSON David T. | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 Estimation of the $\langle i \rangle_j \langle i \rangle_x \langle i \rangle_B \langle i \rangle$ Force Produced by Electron Cyclotron Heating in HSX Plasma | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research | 6. 最初と最後の頁 3403105 ~ 3403105 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.14.3403105 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 MORISHITA Yuya, MURAKAMI Sadayoshi, LIKIN Konstantin, ANDERSON David T. | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 Simulation Study of Neutral Beam Injection Heating in the HSX Plasma | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research | 6. 最初と最後の頁 3403152 ~ 3403152 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.14.3403152 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 Yamamoto Y., Murakami S., Takahashi H., Ida K., Yoshinuma M., Chen J. | 4. 巻 27 |
| 2. 論文標題 Effect of the Pfirsch-Schlueter flow on the inboard/outboard asymmetry of the toroidal flow in LHD | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Physics of Plasmas | 6. 最初と最後の頁 042514 ~ 042514 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5126526 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 YAMAMOTO Yasuhiro, MURAKAMI Sadayoshi | 4. 巻 16 |
| 2. 論文標題 Magnetic Configuration and Heating Location Dependences of Toroidal Torques by Electron Cyclotron Heating in LHD | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research | 6. 最初と最後の頁 2403043 ~ 2403043 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.16.2403043 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

[学会発表] 計17件(うち招待講演 0件/うち国際学会 14件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 S. Murakami, et al |
| 2. 発表標題 Simulation study of a net toroidal torque generation by suprathermal electrons of ECH in non-axisymmetric tokamak plasmas |
| 3. 学会等名 23rd TOPICAL CONFERENCE ON RADIOFREQUENCY POWER IN PLASMAS (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 S. Murakami, et al. |
| 2. 発表標題 Modeling of supra-thermal electron flux and toroidal torque by ECH in non-axisymmetric toroidal plasmas |
| 3. 学会等名 22nd International Stellarator Heliotron Workshop (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Y. Yamamoto, S. Murakami, et al. |
| 2. 発表標題 Effects of Electron Cyclotron Heating on the Toroidal Flow in Helical Plasmas |
| 3. 学会等名 22nd International Stellarator Heliotron Workshop (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 S. Murakami, et al. |
| 2. 発表標題 Modeling of supra-thermal electron flux and toroidal torque by ECH in non-axisymmetric toroidal plasmas |
| 3. 学会等名 61st Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 Y. Yamamoto, S. Murakami, et al. |
| 2 . 発表標題 Effects of Electron Cyclotron Heating on the Toroidal Flow in Helical Plasmas |
| 3 . 学会等名 61st Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (国際学会) |
| 4 . 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 S. Murakami, et al. |
| 2 . 発表標題 Simulation Study of Toroidal Flow Generationn by ECH in Non-axisymmetric Toroidal Plasmas |
| 3 . 学会等名 Japan-Korea Workshop on Modeling and Simulation of Magnetic Fusion Plasmas (国際学会) |
| 4 . 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 S. Murakami, et al. |
| 2 . 発表標題 Simulation study of toroidal flow generation by ECH in non-axisymmetric toroidal plasmas |
| 3 . 学会等名 Joinnt Varenna-Lausanne International Workshop on "Theory of Fusion Plasmas" (国際学会) |
| 4 . 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 S. Murakami, et al. |
| 2 . 発表標題 Simulation study of toroidal flow generation by ECH in non-axisymmetric toroidal plasmas |
| 3 . 学会等名 60th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (国際学会) |
| 4 . 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Y. Yamamoto, S. Murakami, et al. |
| 2. 発表標題 Effects of Electron Cyclotron Heating on the Toroidal Flow in Helical Plasmas |
| 3. 学会等名 27th Internatinal Toki Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 村上定義, 他 |
| 2. 発表標題 Simulation study of toroidal flow generation by ECH in non-axisymmetric toroidal plasmas |
| 3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第35回年会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 村上定義, 他 |
| 2. 発表標題 非軸対称トカマクにおけるECHによるトロイダル流駆動機構の解明 |
| 3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Y. Yamamoto, S. Murakami, et al. |
| 2. 発表標題 Effects of Electron Cyclotron Heating on the Toroidal Flow in Helical Plasmas |
| 3. 学会等名 Korea-Japan Workshop on Physics and Technology of Heating and Current Drive (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Y. Yamamoto, S. Murakami, C.C. Chang, H. Takahashi, K. Ida, M. Yoshinuma |
| 2. 発表標題 Magnetic Configuration and Heating Location Dependences of the Toroidal Torques by ECH in LHD |
| 3. 学会等名 The 29th International Toki Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 H. Ishiguro, S. Murakami, Y. Yamamoto, M. Honda |
| 2. 発表標題 Effects of Toroidal Field Ripple on Toroidal Torque by Electron Cyclotron Heating in JT-60U Plasma |
| 3. 学会等名 The 29th International Toki Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山本泰弘, 村上定義, 他 |
| 2. 発表標題 ヘリカルプラズマにおけるECHによるトロイダル流の駆動 |
| 3. 学会等名 第37回プラズマ・核融合学会 年会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Y. Yamamoto, S. Murakami, S.T.A. Kumar, J.N. Talmadge, K.M. Likin, D.T. Anderson, H. Yamaguchi, C.C. Chang, H. Takahashi, K. Ida, M. Yoshinuma and LHD Exp. Group |
| 2. 発表標題 Mechanism of toroidal flow generation by Electron Cyclotron Heating in HSX and LHD Plasmas |
| 3. 学会等名 IAEA Fusion Energy Conference 2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 S. Murakami, Y. Yamamoto, H. Ishiguro, D. Iio and Mitsuru Honda |
| 2. 発表標題 Study of net toroidal torque generation by radial diffusion of ECH supra-thermal electrons in tokamak plasmas |
| 3. 学会等名 47th European Physical Society Conference on Plasma Physics (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|