

## 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 6月 7日現在

機関番号：63902

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360394

研究課題名（和文） テラヘルツ時間領域分光の高速応答化による高温高密度プラズマ計測法の開発

研究課題名（英文） Developments of Terahertz time-domain spectroscopy for high-temperature and high-density plasma diagnostics

研究代表者

徳沢 季彦（TOKUZAWA TOKIHIKO）

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授

研究者番号：90311208

研究成果の概要（和文）：核融合炉におけるプラズマ安定制御のための、高信頼計測手法としての適用を目指した、フェムト秒ファイバーレーザー光を励起源とした光伝導アンテナによるテラヘルツ時間領域分光法システムを構築し、低損失長距離伝送や高速応答性を付与するためのシステム開発試験を行い、適用設計のための各種特性データを取得した。また低温プラズマを用いたテラヘルツ波パルス計測の実証試験を行い解析手法を会得した。

研究成果の概要（英文）：For applying a future nuclear fusion reactor, Terahertz time domain spectroscopy system, which a femto-second fiber laser is used as a pumped laser and a photo-conductive antenna is uses as a emitter, has been developed. The key factors which are a long distance transmission, a high time resolution, etc. are studied to get the technical characteristics for a future system design. Also, the analytical method to apply the plasma diagnostics has been obtained.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	8,900,000	2,670,000	11,570,000
2011年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2012年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・核融合学

キーワード：プラズマ計測・テラヘルツ波

### 1. 研究開始当初の背景

核融合を目指す高温高密度プラズマを対象とした計測技術は、プラズマ性能の上昇とともに計測領域の拡大と、その精度の向上が求められてきた。そしてまた、時代の最新の技術を取り入れることによってこれまで進歩してきた。次世代の磁場閉じ込め方式の大型プラズマ閉じ込め装置（例えば国際熱核融合実験炉 ITER など）においては、より高い電

子密度のプラズマを長時間定常に生成・維持することが期待されており、これを高精度で計測する技術の開発が求められていた。特にプラズマ周辺部の電子密度分布は、プラズマの閉じ込め性能を知る上で重要な情報であり、これを計測するための、広い周波数帯域に亘るブロードバンド光源が必要とされ、その開発が世界中で焦眉の問題となっていた。また、さらに将来の核融合発電原型炉・実証炉における計装について考察した場合、計測

器に求められる多くの制限（測定ポートの制約やプラズマ装置と測定器との耐放射線環境下でのアクセス制限等々）に対応できる計測器が求められる。プラズマを制御し安定に発電運転を行うためには、重要なパラメータの一つである電子密度分布情報は必須である。これを高精度に求めることができる計測器のうち、電磁波を用いた反射法は上記の問題をクリアできることから適用可能性が高いと期待されている。この反射法はプラズマ中を伝搬する電磁波の周波数が対応する境界層においてカットオフ（反射）を受けるという現象を利用した計測手法であり、現在の高温プラズマにおいては、ミリ波サブミリ波領域の電磁波が計測に用いられている。しかしながら、この計測手法はプラズマ中の電磁波の分散効果を利用するため、対象とするプラズマ密度の増大（例えばヘリカル型原型炉 FFHR-D1 の電子密度は単位体積あたり  $1 \times 10^{21}$  個と想定されている）とともに、対応する周波数成分はテラヘルツ領域までとなり、新しい技術革新が必要となった。一方、このテラヘルツ波（光と電波の中間周波数帯であるテラヘルツ波領域の電磁波）は、次世代の超高速光通信や環境計測、先進医療応用など極めて多くの応用研究に活用されることが期待され、その光源の開発研究が非常に精力的に国家を挙げて進められていた。特にテラヘルツ波パルスはブロードバンドな周波数成分を持ち、テラヘルツ分光という新しい領域が開拓されてきていた。そこで、この技術を高温高密度プラズマの計測に適用することを考案した。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、将来の高温高密度核融合プラズマにおいて、その電子密度に関する情報を得る計測手法を確立することである。プラズマを計測する手法としては電磁波を用いた反射法及び透過法を考え、上記目的を満たすシステムを設計しその原理実証を行う事を目指とした。想定されている核融合発電炉における電子密度は、単位体積あたり 1000 兆個を超える超高密度プラズマとなり、これを核融合反応によって生成される中性子等の放射線対策のために制限される狭小な視野から高い空間精度で計測することが求められる。そのためには、アクセスの良い単一アンテナから放射が可能で、かつ、DC から 1 THz に至る広帯域な電磁波成分を用いた計測手法の開発が必要であり、これを行う事が本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

高温高密度プラズマの計測を指向した、マイクロ波からテラヘルツ領域までの周波数成分をもつ電磁波源として、活用を期待することができる光源として、いわゆるテラヘルツ波パルスがある。これは、レーザー光励起テラヘルツ波パルスと呼ばれるもので、フェムト秒レーザー光を励起光とした光伝導アンテナからのテラヘルツ波放射を活用するというものであり、時間領域分光法として活用されている。この時間領域分光法を高温プラズマ計測に適用する上で必要となる開発研究を行う。

特に、高温プラズマ計測においては、高い時間分解能が重要であり、この点はこれまでこの時間領域分光法では追求されていなかった点であるためこの開発研究を行い、実証試験を大型ヘリカル装置の高温高密度プラズマを対象に行う事を想定してシステム開発を行う。

上記目的を達成するため、テラヘルツ波パルス発生システムをまず設計し製作する。そして、この新しく構築したテラヘルツ波発生システムの各種特性（入射電力、バイアス電圧、偏光、変調、等々）を調べ、性能を評価する。特に、高温プラズマ計測のために必要とされる次の2つの点について、重点的に開発試験研究を行う。すなわち(1)長距離伝送手法と(2)高速応答化手法である。

(1)に関しては、テラヘルツ波パルスを発生させる励起光として、波長  $1.5\mu\text{m}$  帯のファイバーレーザーを光源として採用し、光ファイバーで伝送した時に生じる分散効果を抑制するシステム系を構築するため分散特性を精度よく測定して評価する。

(2)に関しては、高速変調手法の適用と、フィルタバンク方式の可能性、さらに実時間ビデオ検出との組み合わせなど、種々の方法を試験し評価する。

これらと並行して、プラズマ計測解析手法の確立を目指して、基礎プラズマを対象としてテラヘルツ波透過/反射計測を行い、高温高密度プラズマ実験への適用性についての評価を行う。

## 4. 研究成果

構築したテラヘルツ波時間領域分光法システムは次のようなものである。テラヘルツ波パルス励起光源として、将来の LHD プラズマへの実装および特性開発試験に適したフェムト秒ファイバーレーザー（Menlo 社 T-Light 780 特注）を選択した。本レーザーは、基本波と高調波の2波長同時発振が可能で、波長 780nm（パルス長 120fs, 出力 70mW）と波長 1560nm のレーザー光を同軸

(あるいは独立軸にも)で放射でき、それぞ  
れを用いたシステムを構築でき、後述する光  
ファイバー伝送試験も実施可能なものであ  
る。テラヘルツ波発生には、プラズマ計測に  
適した周波数領域( $\sim 1$ THz)のテラヘルツ波を  
選択的に発生させるため、低温成長 GaAs 基  
板ボウタイ型光伝導アンテナを用いた。高速  
な光サンプリング検出のためにはディレイ  
ステージを高速に駆動する高速スキャニ  
ングシステムが必要であり、毎秒 1000mm  
での空間移動が可能なりニアモーター  
ステージ駆動システムを構築し、プラズマ計測への  
適用性を図った。これらをレンズ等の光学素  
子で光伝送し結合させるための光学系をデ  
ザインし光学定番上にシステムを構築した。  
励起レーザーはキャビティ調整制御によっ  
て、波長 780nm で最大 82mW の出力性能を  
確認した。また同時に基本波以外の 2 次、3  
次高調波の発振とその光軸分離も達成して  
いる。波長 780nm の励起レーザー光 40mW  
を、+10V のバイアスを印加した光伝導アン  
テナに入射し、テラヘルツ波パルスを生  
成させ、これを同デザインの光伝導アン  
テナで光サンプリング検出し、ゲイン  $10^6$  V/A の電流  
アンプで増幅後、変調チョッピング信号を基  
準信号としてロックインアンプで増幅する  
ことによりテラヘルツ波信号を取得可能  
であることが確認できている。周波数スペ  
クトルとしては、 $\sim 2$ THz までのテラヘルツ波  
の発生が確認できている。

テラヘルツ波の長距離伝送は、空気中の特  
に水蒸気による吸収を避けるためにドライ  
エアあるいは真空導波管をオーバーサイ  
ズで用いることにより、可能となる。一  
方、テラヘルツ波を実験装置の近傍で  
発生させることで伝送損失を減らすこ  
ともシステムデザインの多様性を生み  
有用である。そこで、励起レーザー光  
を光ファイバーで伝送するための基礎  
実験を行った。低損失光ファイバー  
伝送に適した波長  $1.5\mu\text{m}$  の連続波  
レーザー光は、一般に分散シフト  
ファイバー (ITU-T G.653 category) を  
用いて低分散で伝送することが可能  
であるが、フェムト秒ファイバー  
レーザー光の場合、短パルス発振  
であることから連続光に比べ非  
常に高帯域な周波数成分を持ち  
ファイバーによる分散の影響が  
無視できないと考えられるが、  
これに関する研究はこれまで  
行われていなかった。波長分散  
による励起パルス光変形の少  
ない分散シフトファイバー  
として Fujikura FutureGuide  
DS を選択し、波長  $1.5\mu\text{m}$  パルス幅  
120fs のレーザー光が 1~100m  
伝送により、どのように光  
ファイバー中で分散の影響を受  
けるのか評価した。光ファイ  
バーによる分散の効果は、  
時間領域においてはパルスの  
ブロードニングとして評価  
できるため、オートコリ  
レータを用いてこれを計測  
した。その結果、フ

ェムト秒の短パルス光を入射した場合にお  
いては、やはり光ファイバー伝送によって  
パルスが広がり信号ピーク強度の減少が見  
られるが、この分散効果を定式 ( $3.5\text{ps/nm/km}$ )  
として評価できることが明らかとなった。  
これによって、回折格子などの逆分散光学  
素子を組み合わせることで分散補償を行  
うための設計指針が得られ、長距離伝送  
システムデザインを可能とする成果が得  
られた。

また、時間領域分光法に高時間応答性を  
付加するために、バンドパスフィルタで  
一定の周波数帯毎に信号を弁別し受光す  
るシステム系を試験した。テラヘルツ領  
域バンドパスフィルタ (中心周波数 400GHz)  
として、粗さの異なる  $3\mu\text{m}$  厚の金属メ  
ッシュフィルタを用意し、透過特性を調  
べた。試験は、テラヘルツビーム径をフ  
ィルタ設置位置でミリメートルオーダー  
になるように集光し計測を行い、フィル  
タの有無によるテラヘルツ波透過信号  
強度の差異によって透過率を評価した。  
その結果、テラヘルツ波パルスから、  
周波数帯域 40GHz で信号を弁別可能  
であることを確認できた。このフィル  
タの透過特性としては、通過帯域にお  
いては想定通りの特性を持っているが、  
高周波数側において、透過率は低い  
が漏洩成分が裾野を引くことも分か  
ったため、別途ローパスフィルタを追  
加して特性の改善を図る必要がある。  
本試験によって、バンドパスフィル  
タの活用に目処が立ったため、中心  
周波数の異なる適切な帯域をもつ  
フィルタ群を用意し、それらとテラ  
ヘルツ波検出器とを組合せること  
によるフィルターバンクシステム  
の設計が可能となった。このシ  
ステムを構築することにより、パ  
ルス繰り返し時間程度 (数 10MHz)  
という非常に高速な時間応答  
でのテラヘルツ波計測への展開  
を開く成果が得られた。

さらなる高速応答性能と同時にテラ  
ヘルツ波領域のイメージング計測  
への適用可能性を調べるため、  
テラヘルツ波カメラ (NEC 社  
IRV-T0831 ; 320x240 画素) を  
用いた光伝導アンテナから放射  
されるテラヘルツ波パルス光の  
直接観測を試験した。ボウタイ  
型光伝導アンテナで生成された  
テラヘルツ波はシリコンレン  
ズを通して、空間に成形して放  
射しこれを、パラボラ鏡や平面  
鏡などの集光光学素子を経て、  
ブラックポリプロピレンフィル  
タを通して、レンズ ( $f=28.2\text{mm}$ )  
付きテラヘルツカメラへと導  
いた。この際、3.75Hz での  
ロックイン検出を施すことによ  
って、テラヘルツ波パルスの  
空間プロファイルが検出可能  
となった。カメラデータのフレ  
ーム積分や空間フィルタ処理等  
を行うことにより、S/N 比  
 $\sim 130$  で明瞭な信号ピーク  
を検出することに成功した。  
また、上記したバンドパスフ  
ィルタを通しての検出を試み  
通過帯域幅 100GHz の場合、  
S/N  $\sim 13$  と劣化はしているが、

プロファイル検出が可能であり、周波数弁別機能を持つ直接撮像によるテラヘルツ波パルスイメージングシステムが構築できる可能性を見出した。

このテラヘルツ波を用いた反射/透過法をプラズマに適用することによって、電子密度分布情報だけでなく、他の種々のプラズマパラメータが取得できる可能性を考察して提案した。例えば、時間履歴を必要としない視線平均電子密度計測手法や密度揺動計測やその揺動周波数から推定するプラズマ燃料比計測などであり、数値シミュレーションおよびミリ波パルスを用いた実証試験などを行い、その可能性を示した。これらは将来の計測器種が限られる発電炉の制御において有用となる。

さらにこのテラヘルツ波時間領域分光法を用いたプラズマ計測の実証試験として、まず低温プラズマ計測に適用し、解析手法の開発を行った。そのためにグロー放電プラズマ発生装置および誘導結合型プラズマ発生装置を作成し、低密度プラズマにおける信号透過特性データを取得し、既存のミリ波計測器によるデータと比較することで解析手法の検証を行った。

これら多数の成果により、本研究で計画した基礎実験について、必要としていた研究データが取得でき、将来の核燃焼炉での実用化を最終目的とする、高温プラズマにおけるテラヘルツ波計測の実証実験に向けた種々の指針が得られた。

## 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 9 件)

- ① T. Tokuzawa, Y. Kadoya, M. Tani, K. Yamamoto, M. Hangyo, H. Kitahara, K. Tanaka, I. Yamada, and K. Kawahata; “Development of Terahertz Pulse Wave Diagnostics for a Magnetized Fusion Plasma Reactor”, Plasma Fusion Research, Vol.8, 2402063 (2013)、査読有
- ② T. Tokuzawa, A. Ejiri, K. Kawahata, K. Tanaka, I. Yamada, M. Yoshinuma, K. Ida, and C. Suzuki, “Microwave Doppler reflectometer system in LHD”, Review of Scientific Instruments 83, 10E322-1-3 (2012). 査読有
- ③ M. Isobe, T. Akiyama, T. Tokuzawa, T. Tanaka, D. Kato, H. Sakaue, T. Goto, J. Miyazawa, A. Sagara, “Plasma Diagnostics Required for a Heliotron-Type DEMO Reactor”, Plasma

and Fusion Research, Vol. 7, special issue1, p.2405053, (2012) 査読有

- ④ T. Akiyama, R. Yasuhara, T. Tokuzawa, M. Isobe, K. Kawahata, K. Nakayama, S. Okajima, “Conceptual Design of Electron Density Measurement System for DEMO-Relevant Helical” Plasmas, Plasma and Fusion Research, Vol. 7, p.2402013-1-4, (2012) 査読有
- ⑤ T. Tokuzawa, A. Ejiri; “講座「電磁波を用いたプラズマ診断の基礎と最前線」 「3. 先進計測技術・最近の進展」 「3. 2 ドップラー反射計」”, プラズマ・核融合学会誌 (Journal of Plasma and Fusion Research), Vol. 87, No. 6 (2011) pp.345-349. 査読有
- ⑥ S. Inagaki, T. Tokuzawa, K. Itoh, K. Ida, S. -I. Itoh, N. Tamura, S. Sakakibara, N. Kasuya, A. Fujisawa, S. Kubo, T. Shimozuma, T. Ido, S. Nishimura, H. Arakawa, T. Kobayashi, K. Tanaka, Y. Nagayama, K. Kawahata, S. Sudo, H. Yamada, A. Komori, and LHD Experiment Group; “Observation of Long-Distance Radial Correlation in Toroidal Plasma Turbulence”, Physical Review Letters, Vol. 107, No.9, (2011) pp.115001-1-5. 査読有
- ⑦ S. Inagaki, T. Tokuzawa, K. Itoh, K. Ida, S. -I. Itoh, N. Tamura, S. Sakakibara, N. Kasuya, A. Fujisawa, S. Kubo, T. Shimozuma, T. Ido, S. Nishimura, H. Arakawa, T. Kobayashi, M. Yagi, K. Tanaka, Y. Nagayama, K. Kawahata, S. Sudo, H. Yamada, A. Komori, and LHD Experiment Group; “Long Range Temperature Fluctuation in LHD”, Plasma and Fusion Research, Vol. 6, (2011) pp.1402017-1-9. 査読有
- ⑧ T. Tokuzawa, A. Ejiri, and K. Kawahata; “Multifrequency channel microwave reflectometer with frequency hopping operation for density fluctuation measurements in Large Helical Device”, Review of Scientific Instruments, Vol. 81 (2010) pp.10D906-1-4. 査読有
- ⑨ T. Tokuzawa, K. Kawahata, Y. Nagayama, S. Inagaki, P. Vries, P. Vries, A. Mase, Y. Kogi, Y. Yokota, H. Hojo, K. Tanaka, A. Ejiri, R. O. Pavlichenko, S. Yamaguchi, T. Yoshinaga, D. Kuwahara, Z. Shi, H. Tsuchiya, Y. Ito, S. Hirokura, S. Sudo, A. Komori and LHD

Experiment Group; “*Developments of electron cyclotron emission spectroscopy and microwave reflectometry on LHD*”, Fusion Science and Technology, Vol. 58, No. 1 (2010) pp. 364-374.

[学会発表] (計 17 件)

- ① T. Tokuzawa, A. Ejiri, S. Inagaki, K. Ida, M. Yoshinuma, Y. Kadoya, M. Hangyo, M. Tani, K. Yamamoto, K. Tanaka, I. Yamada, K. Kawahata, and LHD Experiment Group, “*Developments of multi-channel Doppler reflectometer in LHD and THz pulse diagnostics for higher dense plasmas*”, 11th International Reflectometry Workshop (IRW11), Apr. 22-25, 2013 @Ecole Polytechnique, France
- ② T. Tokuzawa, Y. Kadoya, M. Hangyo, M. Tani, K. Yamamoto, J. Kohagura, M. Yoshikawa, M. Nishiura, K. Tanaka, I. Yamada, and K. Kawahata, “*Developments of THz Pulse Wave Diagnostics for High-Density Plasma*”, U.S.-Japan Workshop on Millimeter Wave Technology and Fusion Plasma Fluctuation Diagnostics, @UCDavis, Claifornia, USA, Jan. 13-18, 2013
- ③ 徳沢季彦、角屋豊、萩行正憲、谷正彦、山本晃司、小波蔵純子、吉川正志、西浦正樹、田中謙治、山田一博、川端一男、「マイクロ波-THz波パルスを用いた核燃焼プラズマ計測」、NIFS 一般共同研究「磁場閉じ込め及び慣性閉じ込め核融合プラズマ診断の新展開」核融合エネルギーフォーラムプラズマ物理クラスター計測サブクラスター合同会合、平成 25 年 1 月 9 日(水)-10 日(木)@核融合科学研究所
- ④ T. Tokuzawa, Y. Kadoya, M. Tani, K. Yamamoto, M. Hangyo, H. Kitahara, K. Tanaka, I. Yamada, and K. Kawahata, “*Developments of Terahertz Pulse Wave Diagnostics for Magnetized Fusion Plasma Reactor*”, 22th International Toki Conference (ITC-22) on Cross-Validation of Experiment and Modeling for Fusion and Astrophysical Plasmas, November 19 - 22, 2012, Ceratopia Toki, Toki-City, Gifu, Japan
- ⑤ T. Tokuzawa, Y. Kadoya, M. Tani, K. Yamamoto, M. Hangyo, H. Kitahara, K. Tanaka, I. Yamada, and K. Kawahata, “*Developments of Nuclear Fusion Plasma Diagnostics Using by Pulsed Terahertz Wave*”, International Symposium on Frontiers in THz Technology (FTT 2012), November 26-30, 2012, Todaiji Culture Center, Nara, Japan
- ⑥ 徳沢季彦、江尻晶、関哲夫「ミリ波を用いた核燃焼プラズマ中の D/T 燃料比計測法の開発」第 7 回公開シンポジウム「核融合炉実現のためのトリチウム研究の新展開」、平成 24 年 8 月 10 日-11 日@ウインク愛知、
- ⑦ 徳沢季彦、角屋豊、谷正彦、萩行正憲、江尻晶、川端一男、「ミリ波-テラヘルツ波を用いた核融合炉心プラズマ計測」、第 9 回核融合エネルギー連合講演会、平成 24 年 6 月 28 日~29 日、神戸国際会議場
- ⑧ T. Tokuzawa, Y. Kadoya, M. Tani, K. Yamamoto, M. Hangyo, H. Kitahara, K. Tanaka, I. Yamada, and K. Kawahata, “*Developments of Pulsed Terahertz Wave Diagnostics for Nuclear Fusion Plasma Experiments*”, 4th International Workshop on Far-Infrared Technologies 2012 (IW-FIRT2012)@Mar. 7-9, 2012, FIR-FU, Fukui
- ⑨ T. Tokuzawa, M. Hangyo, H. Kitahara, M. Tani, K. Yamamoto, Y. Kadoya, K. Tanaka, I. Yamada, and K. Kawahata, 「テラヘルツ波パルスの高温プラズマ計測への適用に関する研究」レーザー研シンポジウム 2012 @平成 24 年 4 月 17 日~4 月 18 日 大阪大学银杏会館
- ⑩ 徳沢季彦、江尻晶、関哲夫、「ミリ波を用いた核燃焼プラズマ中の D/T 燃料比計測法の開発」、特定領域「核融合トリチウム」研究発表/交流会@ウインク愛知 平成 24 年 3 月 16 日-17 日
- ⑪ 徳沢季彦、角屋豊、萩行正憲、谷正彦、田中謙治、山田一博、江尻晶、関哲夫、川端一男、「マイクロ波による核燃焼プラズマの密度・揺動計測」、NIFS 一般共同研究「高密度核融合プラズマ診断の新展開」核融合エネルギーフォーラムプラズマ物理クラスター計測サブクラスター合同会合、平成 23 年 12 月 21-22 日@核融合科学研究所
- ⑫ T. Tokuzawa, Y. Kadoya, M. Hangyo, M. Tani, K. Tanaka, I. Yamada, and K. Kawahata, “*Developments of High-*

*Temperature and High-Density Plasma Diagnostics Using a Terahertz Wave (II)*”, Plasma Conference, November 22-25, 2011, Ishikawa Ongakudo, Japan

- ⑬ T. Tokuzawa, Y. Kadoya, M. Hangyo, M. Tani, K. Tanaka, I. Yamada, and K. Kawahata, “Developments of Pulsed Terahertz Wave Diagnostics for Fusion Plasma”, 21st International Toki Conference (ITC-21) @Nov. 28 - Dec. 1, 2011, Ceratopia Toki
- ⑭ T. Tokuzawa, Y. Kadoya, M. Hangyo, K. Tanaka, I. Yamada, and K. Kawahata, “Application plan of terahertz wave diagnostics for high-temperature and high-density plasma experiments”, International Workshop on Optical Terahertz Science and Technology (OTST 2011), March 13-17, 2011, Santa Barbara, CA, USA
- ⑮ 徳沢季彦、江尻晶、関哲夫、川端一男、「ミリ波を用いた核燃焼プラズマ中の D/T 燃料比計測」、核融合エネルギーフォーラムプラズマ物理クラスター計測サブクラスター平成 22 年度第 2 回会合及び科研費特定領域「プラズマ燃焼のための先進計測」会合、平成 23 年 2 月 2 日 @原子力機構システム計算科学センター7 階大会議室
- ⑯ T. Tokuzawa, Y. Kadoya, M. Hangyo, K. Tanaka, I. Yamada, and K. Kawahata, “Developments of terahertz wave diagnostics for high-temperature and high-density plasma experiments”, 20th International Toki Conference (ITC-20) on *The Next Twenty Years in Plasma and Fusion Science*, December 7 - 10, 2010, Ceratopia Toki, Toki-City, Gifu, Japan
- ⑰ 徳沢季彦、角屋豊、萩行正憲、田中謙治、山田一博、川端一男、“テラヘルツ波を用いた高温高密度プラズマ計測法の開発”、第 27 回プラズマ・核融合学会年会、平成 22 年 11 月 30 日～12 月 3 日 @北海道大学学術交流会館

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

徳沢 季彦 (TOKUZAWA TOKIHIKO)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授

研究者番号：90311208

### (2) 研究分担者 ( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

角屋 豊 (KADOYA YUTAKA)

広島大学・先端物質科学研究科・教授

研究者番号：90263730

田中 謙治 (TANAKA KENJI)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授

研究者番号：50260047

山田 一博 (YAMADA ICHIRO)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授

研究者番号：80222371