

平成22年4月30日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2004～2009

課題番号：16082101

研究課題名（和文） プラズマ燃焼のための先進計測

研究課題名（英文） Advanced Diagnostics for Burning Plasmas

研究代表者

笹尾 真実子 (SASAO MAMIKO)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：00144171

研究成果の概要（和文）：本領域は、核融合炉において核反応により生ずる新たな物理課題に対応し、(1)アルファ粒子の閉じ込めと損失機構の解明に不可欠な計測法の開発、(2)自己加熱プラズマ研究で特に開発を必要とする計測法の開発、(3)アルファ粒子及び自己加熱プラズマに直接関わる物理機構の解明の研究を遂行した。総括班ではこれらの活動を内部評価すると同時に、これらを有機的に連結させ、また領域共通に関わる活動を展開してきた。特に、いくつかの国際シンポジウム等を開催すると同時に、国際委員会、国際会議において総合的活動、統合的を展開し、国際的リーダーシップに務めた。

研究成果の概要（英文）：In the first generation fusion reactor, DT fusion reaction is the source of the energy production, and several new physics are involved in a burning plasma. In this priority research area, advanced diagnostic systems, such as (1) alpha-particle diagnostics, neutron diagnostics, (2) high-quality homographic measurement of plasma, which are applicable to fore coming burning plasma experiments were intensively developed, and (3) diagnostic strategies and their correlations to burning plasma physics issues were studied. In the steering committee activity, these activities are regularly peer reviewed, many domestic or international symposiums were organized, thereby taking the leadership in international activities.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2004年度	6,600,000	0	6,600,000
2005年度	12,100,000	0	12,100,000
2006年度	12,100,000	0	12,100,000
2007年度	12,700,000	0	12,700,000
2008年度	13,100,000	0	13,100,000
2009年度	16,400,000	0	16,400,000
総計	73,000,000	0	73,000,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・プラズマ計測

キーワード：核融合反応、プラズマ、アルファ粒子、中性子、プラズマ計測

1. 研究開始当初の背景

(1) 国際熱核融合実験炉計画 (ITER) に於いてはスタートラインに立つ段階であり、我が国が主体的役割を果たすことが重要な時点であった。特に核燃焼に伴い発生するアルファ粒子に係わる物理機構の解明や、新現象の発見等の進展があり、将来の核融合炉の実現と高性能化には、本領域の貢献は多大であると期待できる背景があった。

(2) レーザー核融合は高速点火という新方式において、超高密度に爆縮した燃料を加熱して核融合点火を起こし、そこから放出されるアルファ粒子により周りの燃料を燃焼させるものである。この時、アルファ粒子によって加熱される領域に於ける超高密度物質中のフェルミ縮退効果を解明することが重要と考えられ、そのための計測システムの開発が急務であった。

2. 研究の目的

実機の核融合炉において、エネルギー生産源となる核燃焼反応 ($D+T \rightarrow \alpha + n$) に伴い、アルファ粒子の自己加熱の持続等いくつかの新たな課題が発生する。本特定領域研究は、これら物理課題に対応し、従来のプラズマ計測からの大きな飛躍を伴う計測法の開発と、各課題およびその根底にある諸機構解明に必要とされる計測要素を抽出する研究を推進することを目的としたものである。そのため、

(1) アルファ粒子の閉じ込めと損失機構の解明に不可欠な計測法の開発、

(2) 自己加熱プラズマ研究で特に開発を必要とする計測法の開発、

(3) アルファ粒子及び自己加熱プラズマに直接関わる物理機構の解明

の3班での活動を、本総括班活動において内部評価すると同時に、これらを有機的に連結させ、また領域共通に関わる活動を展開し、これらの活動を通して国際的にリーダーシップをとることを目的とする。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、

(1) 総括班会合、評価委員会、研究組織の拡大をめざした国内シンポジウム等を定期的に開催する。

(2) 国際熱核融合実験炉 (ITER) 計画と連動した国際物理活動 (ITPA) 計測委員会会議に本研究成果と取りまとめ状況を毎回報告し国際的議論を展開する。また同委員会の中性子計測作業会の部会長としての国際的リー

ダーシップをとる。

(3) 国際シンポジウム等の開催を行い、本領域活動の国際化を図る。

(4) 本領域の主導権により、レビュー論文および特集号の発行を行い、領域分やの学術的進展を図る。

(5) ホームページおよびニュース等を発行し、この分野の研究組織の拡大をはかる。

(6) 領域全体の活動の中で、本分野の若手研究者の活躍を促し将来国際的に活躍できる人材育成に務める活動を行う。また、各種教育人材育成活動と連携し、若手研究者の育成および高校生に対する科学技術啓蒙活動を行う。

4. 研究成果

(1) **連携活動**：領域内の連携については、班内の連携を基本とするが、C班での要素解明の研究とA班・B班での計測法開発の連携、設備や関連技術の移転等、班を横断した連携活動も多い。例としては、A01(笹尾班) α 粒子計測用開発のために、AA03(榊田班)からのビーム技術移転・共同実験、高速中性子源や加速器のマシントimeを協力して活用等が挙げられる。

C班での要素解明の研究とA班B班での計測法開発の連携は本領域活動の進展を示すものとして重要であり、アルヴェン固有モードの物理研究 (C03 東井) と損失 α 粒子計測 (AA06 西浦) との連携、大型ヘリカル装置でのミラーの性能変動観測 (B02 川端) とミラー損傷機構の基礎研究 (C04 吉田) との連携等で重要な活動が相乗的に展開されている。

班を横断した連携活動としては、C02(疇地班他)による高強度レーザーへの位相共役鏡技術を利用して、先進トムソン散乱システムの開発 (公募・波多江グループ)、ITERにおける損失 α 粒子計測のための YAG : Ce 焼結体セラミックシンチレーターの開発 (西浦 AA06) 等に大きな成果が上げられている。

(2) **評価活動**：総括班会合の中で組織内の相互評価を行い、活動の活性化や方向性の修正等を行うと同時に、外部の重要分野から評価者をお願いし、外部評価を定期的に行い領域活動の進展を図った。

(3) 国際展開と国際リーダーシップ：

国際物理活動 (ITPA) 計測委員会会議には領域内から主だった成果を領域発足以降の第6回から第18回まで毎回数件の研究発表、また全体的な活動報告を行い、高い評価を得ている。そのため本領域と同じ趣旨の活動が、欧州核融合連合機構 (EFDA) においてス

タートした。領域活動として2005年10月 α 粒子中性子計測国際ワークショップ(韓国:大田)、2006年9月プラズマ燃焼のための先進計測会合(仙台)、2007年9月 α 粒子中性子計測国際ワークショップ(イタリア:バレンナ)、2008年9月プラズマ鏡相互作用とミリ波計測に関する国際ワークショップ(福岡)、2009年9月 α 粒子中性子計測国際ワークショップ(イタリア:バレンナ)等を開催した。また計画研究代表者が主催する国際研究集会:2005年11月高速粒子に関するIAEA技術会議(C03 東井)、2005年12月第7回プラズマ計測に関する日豪ワークショップ(B02 川端)、2006年7月開放磁場系プラズマ閉じ込め国際会議(C01 吉川)、2006年12月マイクロ波デバイス、システムとその応用に関する国際ワークショップ(B01 間瀬)等の支援や終了した研究の国際会議での発表を支援し、これらの活動をとおして、国際的展開とリーダーシップの推進を図った。特に国際連携によるレビュー論文の執筆、計画研究、公募研究で担当していないが本領域活動で新に重要となった分野の研究を推進し、 α 粒子計測、中性子計測においては国際的なリーダーシップをとるに至った。

(4) **国内展開**: 日本物理学会、プラズマ核融合学会等の国内学会において、燃焼プラズマ計測に関するシンポジウムを企画し、領域分野の拡大を図った。また、計画研究、公募研究で担当していないが本領域活動で新に重要となった分野の研究を推進し、これらの学会発表、学術誌への発表を行った。総括班会合およびシンポジウムを開催、毎年報告書を作成し全国に配布、レビュー論文および特集号の発行を行い、領域内外の出席者を得て領域分野の拡大と国内の学術的進展を図った。

(5) **人材育成**: 領域全体の活動の中で、本分野の若手研究者の活躍を促し将来国際的に活躍できる人材育成に務めた。各種教育人材育成活動と連携し、学部学生、高校生に対する公開実験や出前授業、高校生シンポジウムの開催し科学技術教育に貢献する中で、本分野の基盤とする核融合研究、エネルギー研究、プラズマ物理等に関する社会の理解を図った。

(5) **その他**: ホームページおよびニュース等による広報活動や、国内外の大型プロジェクトの進展に関する情報収集、特に国際熱核融合実験炉や大型ヘリカル装置に本領域の成果を具体化するためには、取り付け条件や設置に関するCAD図面上の照合が重要であり、これらの情報収集を領域内へ発信し、将来計画への貢献を図った。

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37件)

1. K. Ishii, K. Shinohara, M. Ishikawa, T. Okuji, M. Baba, M. Isobe, S. Kitajima, M. Sasao, "Multi-channel neutron emission and triton burn-up measurement on JT-60U using Digital-Signal-Processors", Plasma Fusion Res. Special Issue, 査読有, vol.5, 2010年, S1043_1-S1043_5
2. K. Okada, K. Kondo, K. Ochiai, S. Sato, C. Konno, A. Okamoto, T. Kobuchi, S. Kitajima, and M. Sasao, "Measurement of DT and DD Neutrons with a TOF Spectrometer for Determination of Fuel Ion Density Ratio in ITER", Journal of Plasma and Fusion Research SERIES, 査読有 vol.8, 2009年, 0666-0669.
3. A.V. Krasilnikov, M. Sasao, Y.A. Kaschuck, V.G.Kiptily, T. Nishitani, S.V. Popovichev, and L. Bertalot, "Neutron and Gamma-ray Measurements", Burning Plasma Diagnostics, AIP Conference Proceedings, 査読有, Vol.988, 2008年, 249-258
4. T. Nishitani, M. Ishikawa, T. Kondoh, Y.Kusama, K. Asai and M. Sasao, "Absolute Neutron Emission Measurement on Burning Plasmas", Burning Plasma Diagnostics, AIP Conference Proceedings, 査読有 Vol.988, 2008年, 267-274
5. M. Sasao, T. Nishitani, A. Krasilnikov, S.Popovichev, S. Kiptily, V. Kallne, J. "Fusion Product Diagnostics", Fusion Science & Technology, 査読有, Vol.53, No.2, 2008年, 604-639
6. M. Sasao, Project Review "Advanced Diagnostics for Burning Plasma Experiment", Journal of Plasma and Fusion Research, 査読無, Vol. 83, No.12, 2007年, 957-961
7. M. Sasao and Steering Committee Members of MEXT Scientific Research of Priority Areas "Advanced Diagnostics for Burning Plasma Experiments", Fusion Science and Technology, 査読有 vol.51, 2007年, Pages 40-45
8. M. Sasao, K. A. Connor, K. Ida, H. Iguchi, A. A. Ivanov, M. Nishiura, D. M. Thomas, M. Wada, M. Yoshinuma, "Ion sources for fusion plasma diagnostics", IEEE Transaction on Plasma Science, 査読有, Vol. 33, 2005年, 1872-1900
9. A.V. Krasilnikov, M. Sasao, Yu.A. Kaschuck, T. Nishitani, P. Batistoni, V.S. Zaveryaev, S.

[#] 総括班活動関係

- Popovichev, T. Iguchi, O.N. Jarvis, J. Källne, C.L. Fiore, A.L. Roquemore, W.W. Heidbrink, R. Fisher, G. Gorini, D.V. Prosvirin, A.Yu. Tsutskikh, A.J.H. Donné, A.E. Costley and C.I. Walker. "Status of ITER neutron diagnostic development", Nucl. Fusion 査読有, vol. 45, 2005年, 1503-1509
10. M.Sasao, A.V. Krasilnikov, T.Nishitani, M. Batistoni, V. Zaveryaev, Yu. A. Kaschuck, S. Popovichev, T. Iguchi, O. N. Jarvis, J Kallne, C. L. Fiore, L. Roquemore, W. W. Hidbrink, A J. H. Donne, "Overview of neutron and confined/escaping alpha diagnostics planned for ITER" Plasma Phys. Control, 査読有, vol.46, 2004年, S107-S118

[学会発表]

(計 63 件：国際会議 45 件、国内会議 18 件)

1. M. Sasao, "Absolute fusion output measurement on ITER", International Workshop on Fusion Product diagnostics for burning plasma experiments, October 18-20, 2009 Tokoname, Japan
2. M. Sasao, "Recent progress in Japanese activities for confined and lost alpha diagnostics", 17th ITPA Topical Group Meeting on Diagnostics, October 12 - 15, 2009, Pohang, Korea
3. M. Sasao, "Neutron Working Group Report", 17th ITPA Topical Group Meeting on Diagnostics, October 12 - 15, 2009, Pohang, Korea,
4. M. Sasao, "Effect of source spectra on neutron calibration, and estimation of calibration time", 16th ITPA Topical Group Meeting on Diagnostics, April 20 - 24, 2009, Saint Petersburg, Russia
5. M. Sasao, "Orbit calculation for Arrangement of Lost Alpha Probes", " 16th ITPA Topical Group Meeting on Diagnostics, April 20 - 24, 2009, Saint Petersburg, Russia
6. M. Sasao, "Innovation on ITER Neutron diagnostics towards DEMO" (Invited), 18th International Toki Conference (ITC18) on Development of Physics and Technology of Stellarator/Heliotrons en route to Demo, December 9-12 2008, Toki, Japan
7. M. Sasao, "Progress in ^3He DNB development and Lost alpha Orbit Calculation", 14th ITPA Topical Group Meeting on Diagnostics, April 14 - 18, 2008, Lausanne, Switzerland
8. M. Sasao, "Activities in Japan for Burning Plasma Diagnostics", 14th ITPA Topical Group Meeting on Diagnostics, October 29 - November 2, 2007, Chengdu, China,

9. M. Sasao, "General Strategy for Absolute Fusion output measurement, and calibration techniques", Joint meeting of ITPA Neutron Working Group and Neutron Diagnostics, September 28 - 30, 2007, Varenna, Italy.
10. M.Sasao "Advanced Diagnostics for Burning Plasma Experiment"(Invited), 6th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, July 17-21, 2006, Tsukuba, Japan
11. M. Sasao "ITER diagnostic beam for energetic alpha particle measurement", Japan EU Coordinating Committee on Neutral Beams, December 12-15, 2006, Naka Japan

[図書] (計 1 件)

1. A.Mase et al (総括班編集) Taylor & Francis ,Special,issue of Plasma Devices and Operations,vol. 17,Issue2, "Microwave-Laser diagnostics and particle-Mirror interaction for burning plasma experiment". 2009年6月

[その他]

特定領域研究「プラズマ燃焼のための先進計測」HP

<http://adbp.lhd.nifs.ac.jp/plasma.htm>

研究室 HP

<http://tsubaki.qse.tohoku.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

笹尾 真実子 (SASAO MAMIKO)
 東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：00144171

(2) 研究分担者

山田 弘司 (YAMADA HIROSHI)
 核融合科学研究所・大型ヘリカル研究部・教授

研究者番号：20200735

吉田 直亮 (YOSHIDA NAOKI)
 九州大学・応用力学研究所・名誉教授

研究者番号：00127317

(3) 連携研究者

B. J Peterson
 核融合科学研究所・大型ヘリカル研究部・准教授

研究者番号：00280595

川端 一男 (KAWABATA KAZUO)
核融合科学研究所・大型ヘリカル研究部・
教授

研究者番号：60109353

東井 和夫 (TOI KAZUO)
核融合科学研究所・大型ヘリカル研究部・
教授

研究者番号：20093057

近藤 貴 (KONDOH TAKASHI)
日本原子力研究開発機構・核融合研究開発
部門・研究主幹

研究者番号：70360427

吉川 正志 (YOSHIKAWA MASAYUKI)
筑波大学・数理物質科学研究科・准教授

研究者番号：002721138

疇地 宏 (AZECHI HIROSHI)
大阪大学・レーザーエネルギー学研究セン
ター・教授

研究者番号：90135666

間瀬 淳 (MASE ATSUSHI)
九州大学・先端科学技術共同研究セン
ター・教授

研究者番号：00023325

三浦 幸俊 (MIURA YUKITOSHI)
日本原子力研究開発機構・核融合科学研
究開発部門・研究主幹

研究者番号：60354586

草間 義紀 (KUSAMA YOSHINORI)
日本原子力研究開発機構・核融合研究開
発部門・研究主幹

研究者番号：70343902

西谷 健夫 (NISHITANI TAKEO)
日本原子力研究開発機構・核融合研究開
発部門・研究主幹

研究者番号：30354608

馬場 護 (BABA MAMORU)
東北大学・サイクロトロン・ラジオアイソ
トープセンター・教授

研究者番号：20005466

小川 雄一 (OGAWA YUICHI)
東京大学高温プラズマ研究センター・教
授

研究者番号：90144170

須藤 滋 (SUDOU SHIGERU)
核融合科学研究所・高温プラズマ物理研
究系・教授

研究者番号：50142302

高村 秀一 (TAKAMURA SHUICHI)
愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：40023254