

高速点火プラズマからの放射光測定による高速電子計測

Relativistic electrons diagnostic at The Fast Ignition Experiment

by bremsstrahlung X-rays measurement using Compton X-ray spectrometer

小島 完興^a, 有川 安信^a, 池之内 孝仁^a, 藤岡 慎介^a, アレッシオ モラッチェ^a, 長井 隆浩^a, 安部 勇輝^a, 坂田 匠平^a, 井上 裕晶^a, 中井 光男^a, 西村 靖彦^b, 戸川 博美^b, 浅川 誠^c, 尾崎 哲^d, 加藤 龍好^e, 疇地 宏^a

S. KOJIMA, Y. ARIKAWA, T. IKENOUCI, S. FUJIOKA, A. MORACE, T. NAGAI, Y. ABE, S. SAKATA, H. INOUE, M. NAKAI, Y. NISHIMURA, H. TOGAWA, M. R. ASAKAWA, T. OZAKI, R. KATO and H. AZECHI

a 大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター

b トヨタテクニカルディベロップメント株式会社

c 関西大学 システム理工学部

d 自然科学研究機構 核融合科学研究所

e 大阪大学 産業科学研究所

a Institute of Laser Engineering, Osaka University

b Toyota Technical Development Corporation

c Faculty of Engineering Science, Kansai University

d National Institute for Fusion Science

e The Institute of Science and Industrial Research, Osaka University

高速点火核融合においては、追加熱に用いる高速電子の初期情報(電子温度、電子数、コーン先端からの発散角)は燃料の加熱効率を導出する上で重要なパラメータである。特に、1-3MeVのエネルギーを持つ高速電子は燃料の加熱への寄与の割合が大きく、このエネルギー域に属する電子数を把握することが実験の進捗を評価する上で極めて重要である。従来研究において高速電子の初期情報計測には磁場式電子計測、結晶を用いたK α 線分光, 吸収膜を用いた硬X線分光などの手法が用いられてきた^[1-4]。しかし、これらの研究では使用する分光器がMeV領域に低い分解能しかもたないために大きなエラーバーが付くことが避けられず、本質的なパラメータである高速電子の初期情報を精度よく計測することが出来ないという問題点があった。我々は解決方策として従来の分光器をエネルギー分解能で上回る新型硬X線分光器を用いた硬X線分光により間接的に高速電子の初期情報を見積る方法を研究した。新型硬X線分光器の開発において、加熱への寄与が大きい1-3MeVのエネルギーを持つ高速電子が放出する硬X線を高いエネルギー分解能で計測することを研究目的とした。計測方法としてX線と物質の相互作用の内、数MeVのX線において支配的となるコンプトン散乱に注目した。コンプトン散乱は散乱の前後で光子と電子のエネルギーは保存則を満たすように分配されるため、反跳電子のエネルギーと反跳角を計測することで入射光子のエネルギーは一意に特定出来る。開発した新型硬X線分光器(以下、コンプトン散乱型分光器)は、分光器前方から電子変換材、角度制限スリット、電子スペクトロメータの3つの部分に大別出来る。ターゲットから発生した硬X線は、コリメートされて電子変換材へと入射しコンプトン散乱によって電子を四方へ反跳する。この反跳電子の一部は角度制限スリットを抜け、電子スペクトロメータによりエネルギー分解される。この一連の流れの中で反跳電子の反跳角を制限しエネルギー計測することで入射光子のエネルギーを計測するこ

とが出来た。本分光器は実験で求められる総量 10^{13} の硬X線をエネルギー分解能10%以内で計測することを目標に電子変換材の厚みや材質、角度制限スリットの厚みや幅、電子スペクトロメータの磁気回路をそれぞれ理論式やシミュレーションを用いて最適に設計した。電子変換材は内部での反跳電子の後方散乱の割合や光電効果によって発生する光電子が抑えられることから低Z材料であることが望ましく、また分光器をターゲットへ可視レーザーを用い調整できるように透明材料であることも考慮に入れBK7ガラスを選択した。またノイズとなる電子や硬X線の対策として分光器全体を鉛遮蔽体で覆い、2箇所永久磁石を設置して電子変換材以外から発生する反跳電子を電子スペクトロメータへの経路から除去する設計にした。

開発した分光器を用いて高速点火核融合実験において高速電子計測を行った。電子温度計測用ターゲットとして標準ターゲットの燃料球の半分を金属ブロックに置換したターゲットを用いた。コーンから発生した高速電子は金属ブロック内で制動放射により硬X線へ変換される。硬X線の発生部を燃料コアから金属ブロックに置き換えることにより密度・サイズを既知の条件下で硬X線スペクトル計測が可能にしている。硬X線スペクトルから加熱電子の電子温度・電子数への変換は電子とX線の輸送を扱えるGeant4コードを用いて行った。変換計算では加熱電子の電子温度・電子数を初期条件として与え、実験と同様の系を電子が輸送するとき放射する硬X線をシミュレーションし、計測結果と比較することで評価を行った。評価結果に関して発表を行う。

[1] W. Theobald et al Physics of Plasmas, 2006.

[2] J. Myatt et al Physics of Plasmas, 2007.

[3] P. M. Nilson et al Physics of Plasmas, 2008.

[4] C.D.Chen et al Physics of Plasmas, 2009.