

氏 名 瀧 玲子

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1090 号

学位授与の日付 平成 19 年 9 月 28 日

学位授与の要件 高エネルギー加速器科学研究科 加速器科学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 **Electron Acceleration by 200TW-30FS Laser Pulses in Plasmas**

論文審査委員 主 査 教授 鎌田 進
教授 平田 光司
准教授 小川 雄二郎
客員教授 平松 成範
教授 黒川 眞一
名誉教授 小方 厚（高エネルギー加速
器研究機構）
主任研究員 小山 和義（産業技術総合研
究所）

論文内容の要旨

The laser-plasma acceleration of electrons is studied by using one of the world's most intense lasers, with a power of 200 TW and an ultra-short pulse duration of 30 fs, aiming at the production of high-energy mono-energetic electron beams.

The present experiment has been performed using the Ti:sapphire laser system at Laser Fusion Research Center, China Academy of Engineering Physics. The laser light with central wave length of 795 nm was focused onto a spot of 14 μm in radius on the helium gas jet. The path length through the jet is varied from 4 to 10 mm. By tuning the laser focal positions and the gas densities, electron beams with energies up to about 100 MeV, approximately following the Maxwell's distribution, were observed under the conditions of the laser peak intensities of $1.6\text{--}3.1\times 10^{19}$ W/cm² and the plasma densities of $0.7\text{--}3.0\times 10^{19}$ cm⁻³. In three laser shots out of many trials, electron beams containing mono-energetic components at 40–80 MeV were observed. The most outstanding peak was at 46 MeV with a spread of 5 MeV in full width at half maximum (FWHM), and a vertical angular spread of 0.33° in FWHM.

The observed peak energy was, contrary to our expectation, much lower than the world's record at the time of experiment, 170 MeV achieved by using a 30-TW laser. For qualitative understanding of the present experiment, a two-dimensional particle-in-cell (PIC) simulation has been performed. In the simulation, various parameters were tuned around experimental values and did not show any mono-energetic peak, which observed in the experiment. Mono-energetic peaks, however, grow at early stages in the time-propagation and eventually decelerated in later phase.

Encouraged by this simulation, optimal parameters for producing mono-energetic electron beams using the same laser power are discussed.

論文の審査結果の要旨

瀧玲子氏の論文はレーザー・プラズマ加速実験の解析に関するものである。レーザー・プラズマ加速はレーザーによりプラズマ波を励起し、この波のポテンシャルで荷電粒子を加速するもので、この方式の実用化により超小型高エネルギー加速器の実現が期待される。重要なレーザー性能は大出力かつ短パルス幅であるが、 $200\text{TW} \cdot 30\text{fs}$ という、出力とパルス幅の観点から、現時点でもっとも理想的なレーザーを用いたレーザー・プラズマ加速実験が先年行われた。本論文はその実験の解析を取り扱っている。

近年のレーザー・プラズマ加速では、ビームエネルギーのみならず、単色化をも目指しており、現在のチャンピオンデータは $40\text{TW} \cdot 40\text{fs}$ のレーザーによって得られた $1\text{GeV} \cdot 320\text{pC}$ の単色ビームである。今回の 200TW レーザーによる実験で得られたのは、しかしながら、高々最大エネルギー約 $100\text{MeV} \cdot 380\text{pC}$ の連続スペクトルを持つビーム、あるいは $40\text{--}80\text{MeV} \cdot 120\text{pC}$ の単色ビームであった。

従来この分野では、チャンピオンデータを追うのに性急で、期待に添わない実験結果の解析がなおざりにされる傾向があった。瀧氏は、華々しい結果が得られなかったとは言え、この実験が従来未踏の性能を持つレーザーで行われたがゆえに貴重であることを十分認識し、この実験結果を説明しようと試みた。

論文は英語で書かれており、序論に続く第2章ではレーザーとプラズマそれぞれの物理が、第3章ではレーザーとプラズマの相互作用が紹介される。第4章は実験装置の記述、第5章は実験結果解析の具体的方法の記述にあてられている。とくに第5章の CCD カメラの映像データを加速された電子の空間分布・エネルギー分布へ変換するプロセスはエレガントである。第6章では実験結果を述べ、第7章では実験のパラメータによるシミュレーション結果が示され、第8章で総合的な議論が展開される。

最後の第7-8章において瀧氏は、 $40\text{--}80\text{MeV}$ 単色ビームという結果は実験で用いたプラズマ密度による加速長制限で説明でき、多くの装置から得られた比例則と矛盾しないことを示した。またシミュレーションでは、レーザー光が分岐して伝搬するフィラメンテーションの寄与もあって、いったん形成された単色ビームが最終的には熱化してしまうため、当該実験条件では単色ビームがほとんど観測され得なかったと推定できる、と云う知見を得た。

このように、今回の実験結果は従来の実験の延長上にあるものとして解釈された。すなわち、従来よりも一桁出力の大きなレーザーを用いても、実験結果は従来唱えられてきた加速メカニズムの範疇で説明できることを明らかにした。氏はこれらの結果をふまえ、この $200\text{TW} \cdot 30\text{fs}$ レーザーの性能を生かす最適なプラズマ条件とレーザー収束条件（レーザーパワー密度）を提案している。

瀧氏は今回の実験そのものには学生としてその一部に参加したに過ぎない、それ故に実験の立案・実験装置の設計制作などに関する能力は未知数である。また、氏が本論文で展開した考察、およびシミュレーションによるパラメータサーベイには未完の部分を含んでいるが、真摯な態度をもって実験結果の真実に肉薄する本研究過程で示された姿勢は高く評価でき、より研鑽を重ねることで、今後もこの分野あるいは関連分野の発展に寄与することを確信して、審査員は全員一致で瀧玲子氏の本論文が博士の学位に値すると判断した。