

CONTENTS

- フェムト秒レーザーを用いた長距離プラズマチャンネル生成
大気中に発生したソリトン
- 平成10年度研究成果報告会
- 『光と蔭』教育の再建(1)
- 非線形コンプトン/トムソン散乱実験
~ T^eレーザーを用いた共同研究 ~



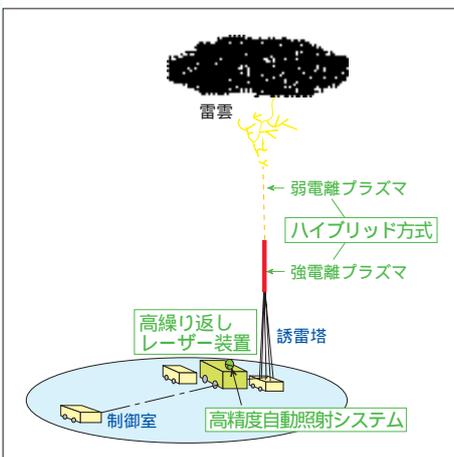
【写真】フェムト秒レーザーで生成した
白光チャンネル

フェムト秒レーザーを用いた長距離プラズマチャンネル生成 - 大気中に発生したソリトン -

レーザービーム伝送プロジェクト 研究員
島田義則

はじめに

冬季における日本海沿岸での超高圧送電線の雷事故は2回線事故になるケースが多く、電力システムに及ぼす影響は大きい。このために、送電線での雷事故対策は重要な課題の一つである。これを解決するための積極的な雷対策の一つとしてレーザー誘雷があり、当研究所では日本海側の冬季雷を研究対象として、



【図1】新型誘雷システム概念図

レーザー誘雷野外実験を行い、世界で初めてレーザー誘雷に成功した。近年では筆者らの実験成功により、わが国のみならずロシアや米国等、多くの大学、研究機関がレーザープラズマを用いた放電誘導実験を始め

ており、国際的な共同研究へと動き出している。それらを受けて当研究所では、さらにレーザー誘雷の高信頼度化を目指すためにレーザー誘雷をプロジェクトとして推進し、新式誘雷を目指した研究を進めている。これにより、誘雷技術を用いて送電線など特定の箇所を守ることのみならず、落雷のエネルギーを利用する方向を目指して研究を進めている。

誘雷技術の高信頼度化を進めるためには、長距離プラズマチャンネルを生成する必要がある。今回はその生成手法の一つとして、フェムト秒レーザーによる大気中のチャネリングを用いる方法について述べる。【図1】

フェムト秒レーザーを用いた自己束縛の原理

近年、チャープパルス圧縮して超高強度のレーザー(10¹²W)を発生する技術(フェムト秒レーザー)が確立し、環境計測や微細加工などの応用分野に適用が期待されている。このレーザー光を大気中に発射すると、非常に強度が高いために、式に示すような非線形効果による屈折率の変化が生じる。

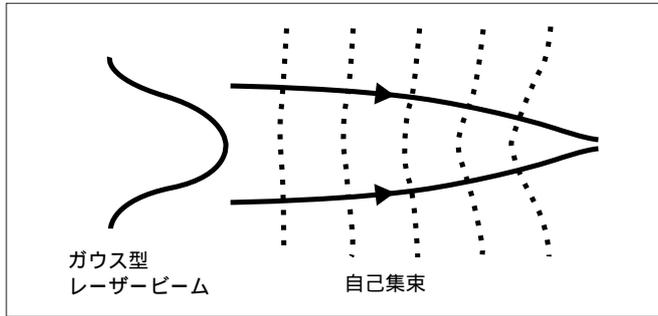
$$n = n_0 + n_2 I$$

図2のように中心の強度が高い部分では屈折率が増大し、位

次ページへつづく▶

フェムト秒レーザーを用いた長距離プラズマチャンネル生成 - 大気中に発生したソリトン -

(前ページよりつづく)



【図2】自己束縛の原理

相が遅れ、凸レンズの効果が現れてビームは自己集束し始める。一方、このビームが収縮を続けると、あるところで媒質の破壊が生じ、屈折率が負に転じ、回折広がりによってビームは発散する。この集束と発散が釣り合えば、ビームは光ソリトンの状態となり、大気中を長距離伝搬することが可能となる。

自己集束のために媒質の破壊が生じると、その内部には荷電粒子が存在する。これをレーザー誘起の放電ガイドチャンネルに使うため、どの程度の荷電粒子が内部で生成されているのかを測定した。

また、自己位相変調により周波数も変化する。周波数の変化は、光強度の時間勾配 $-I(t)/t$ に比例し、パルスの立ち上がりの急激に強度が強い部分では、基本周波数に対してスペクトルは長波長側に、強度が低下する部分では短波長へと広がり、これにより、ビームは徐々に赤色から黄色と変化し、最終的にスペクトルの広がった白色光に変化する。

1.1TW、130mJのTi:Sapレーザー光を焦点距離26.7mの集光レンズを用いて大気中を伝搬させた場合、自己集束によってビーム断面の細かい強度ゆらぎが増幅され、数mの伝搬で、ビームが数十のチャンネルに分かれる。今回の実験では、平均23個のチャンネルが確認された。

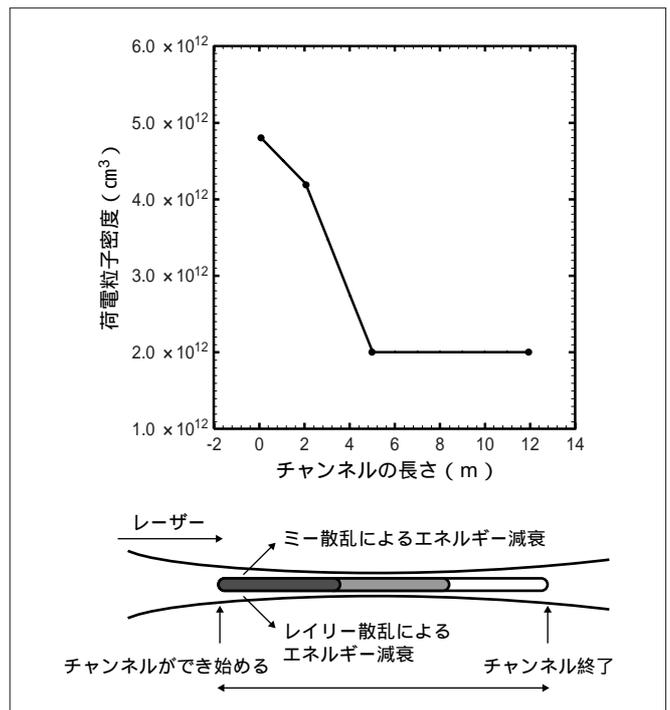
1チャンネル中の荷電粒子密度測定

チャンネルが多数本に分かれることから、まず1チャンネル中の荷電粒子密度を測定するために、アパーチャーを用いてビームの一部を切り出し、大気中を伝搬させることにより1自己束縛チャンネルを生成した。その場合の全エネルギーは6mJ(50GW)で、チャンネルに入るエネルギーは1mJ程度である。また、1チャンネルのビーム径は約100 μ mである。ビームを大気中に伝搬させると次第に集束が始まり、数m伝搬したところからビームの色が変化し始めた。そしてそのチャンネルは12~15m伝搬した。自己位相変調が起こり始めた所を0mとして、生成された1チャンネル中の荷電粒子密度を光軸に沿って測定した結果を、図3に示す。荷電粒子密度は自己集束が生じると同時に増大し、その密度は $5 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ 程度で伝搬するに従い減少した。これは媒質の絶縁破壊が開始した場所でもっともプラズマが多く生成され、それによるエネルギー減衰により自己集束効果が低下し始めた。しかしまだ絶縁破壊を生じる強度は存在するために荷電粒子は生成され続けるが、荷電粒子

を生成するためのエネルギー損失やレイリー散乱、ミー散乱によるエネルギーの減衰、あるいは自己位相変調によりスペクトルが広がることによってレーザー強度が低下し、荷電粒子密度は低下し続け、最後にはチャンネルを維持できなくなってビームは広がり、チャンネルは発散し終了すると考えられる。

このように、自己束縛の効果により、数mJのエネルギーで十数mのプラズマチャンネルが生成できていることが判明した。放電誘導効果に関し述べると、1チャンネル中の荷電粒子密度は 10^{12}cm^{-3} 程度であるため、レーザー強度 $10^8 \sim 10^9 \text{W/cm}^2$ の紫外光レーザーによって生成される荷電粒子数密度に比べて1桁ほど高い値を示していることから、自己束縛チャンネルを多数束ねることにより数十mの放電誘導の効果が期待できる。しかし、フェムト秒チャンネル中で高密度の荷電粒子を生成させると、ビームの強度が低下してチャネリングが維持できなくなるため、いかにして1チャンネル中に多くのエネルギーを注入し、長距離のプラズマチャネリングを生成させるかが課題である。また、長尺のチャンネルを生成するためには、自己束縛が発生する地点を各ビームで遅らせることにより、長尺のチャンネル生成が可能である。

筆者らは、フェムト秒レーザーの自己束縛によるチャネリングを放電ガイドに使用することを目的として、チャンネル内部の荷電粒子密度を評価した。このほかにも、大気中の自己束縛チャネリングの応用として、白色光ライダーや人工のオゾン柱を生成し拡散過程を計測するなど、ますます応用が広がるものと思われる。



【図3】1チャンネル中の荷電粒子密度

平成10年度研究成果報告会

レーザー生体ダイナミクス研究チーム 研究員

柴田 穰

東京・大阪の会場で開催

去る7月6日(火)および7月13日(火)、それぞれ東京・虎ノ門パストラル、大阪・メルパルクOSAKAにおいて、レーザー技術総合研究所の平成10年度研究成果報告会が開催された。

両会場における報告会の冒頭、山中千代衛研究所長は次のように挨拶を行った。「これまでレーザー総研は、大阪大学レーザー核融合研究センターを中心として開発された高出力レーザーの技術を産業発展に役立てることを目的として、さまざまな分野に取り組んできた。こうした試行錯誤の結果、10年を経てようやく当研究所の進むべき道が見えつつある。高出力レーザーの応用分野は広範囲に広がっており、今後は当研究所の得意分野を活かした研究が花開くことになると期待している。この言葉には、本格的に始動したプロジェクト研究体制への大きな期待が込められているように思われた。

井澤靖和技術コーディネーターからは、各研究チーム、および研究プロジェクトで進行中の研究の概要、意義が説明された。

特別講演

東京会場での特別講演は、日本原子力研究所、関西研究所量子科学研究センター長の有澤 孝氏により行われた。自身の研究センター、特に平成11年6月に新設された、けいはんな地区の新研究棟におけるレーザー技術研究の展望が話された。高出力、超短パルスレーザーを用いた高輝度X線レーザー技術

の開発の夢が語られ、この技術の完成が、産業界や基礎科学分野に及ぼすインパクトの強さがひしひと伝わってきた。

大阪会場での特別講演

は、環境庁国立環境研究所の杉本伸夫氏により、環境問題に対するレーザー応用について行われた。これまで10年に渡るレーザーライダーによる環境計測の結果が話され、レーザーを用いることにより初めてエアロゾルの高度分布などが明らかとされたことが報告された。また、数年後に予定されている人工衛星を利用したレーザー環境計測の展望についても報告があった。残念ながら、高出力レーザーがどのように環境計測に貢献できるかという点について、積極的な意見は出されなかった。

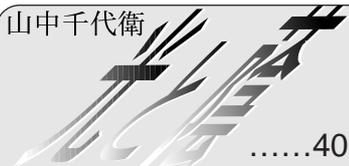
研究員の発表

当研究所の研究成果報告は、東京、大阪会場合わせて口頭で
次ページへつづく▶



パネルディスカッションのようす

山中千代衛



教育の再建(1)

教育ほど世のなかを劇的に変更する手段は見当たらない。この50年間に、わが国くらい著しく変貌を遂げた国はほかにあるまい。これこそアメリカ合衆国の多年にわたる占領政策の目的であり、すばらしい教育成果といえよう。筆者は敗戦のとき大阪大学工学部航空学科の二年生であったから、爾来55年、教育現場でその変貌をつぶさに見てきたのである。戦争の末期、わが国はそれこそ絶望的に壮絶な戦いを挑んだ。マキン、タラワ、硫黄島、沖縄と日本軍は全滅するまで戦い、さらにはかなわぬとなれば必死の特攻攻撃までしかけた。そのなかで、敬愛するわが従兄弟も、ひとり沖縄で、もうひとりフィリピンで戦死した。わが国の烈しい抗戦は、きわめて厳しい教訓を米国に与えたのだ。日本本土進攻に際し予想される損害をさけるため、やっとまにあった原子爆弾2発を躊躇なく広島、長崎に投下、何十万人の市民を殺傷した。さらに日高氏によるとガス攻撃が準備されており、降伏がおくれたときには百万人単位の非戦闘員の殺戮が用意されていたと言う。

マッカーサー将軍の日本占領の第一目的は、日本の無力化を永遠に確保することに他ならなかった。もちろん軍備は永遠に禁止、産業、特に工業力の剥奪、そしてもっとも力点を置いたのが、二度と立ち上がれないよう日本人を洗脳することであった。

無条件降伏を余儀なくされた日本政府は、イノセントにもほどがある。天皇制をのこすことだけに願いをかけ、それ以外に当然守り抜くべき日本固有の伝統にはまったく無関心で、GHQの言うなりに平伏し、まことに虚脱状況にあった。ヘイゼン教育調査団がのりこんできて、日本解体の教育シナリオが提出され、日本の教育界はよるこんでこれを飲み込んだのである。

同じ敗戦国でも、自国の文化に自負をもっているドイツとは、この点がまったく異なっていた。かくして無定見な米国追従の、しかも形だけ真似た新制教育633制が発足した。

【(財)レーザー技術総合研究所 研究所長】

(前ページよりつづく)

12件(内4件は両会場で報告された)、ポスターで13件行われた。

プロジェクト研究の一つ、レーザーによる環境計測について、白色光ライダーによる大気成分の分析、Pump-Probe法によるオゾン柱の観測、ミー散乱の角度依存性を利用したエアロゾルの粒径計測という、当研究所独自のアイデアが提案された。もう一つのプロジェクト研究の一環として、レーザーによる宇宙デブリ除去について報告があり、特に今のところ対策の立っていない中程度の大きさ(1~10cm)のデブリをレーザーにより除去することの重要性が指摘された。その実現のためには位相共役光技術の確立が必要であることが説明された。

その他、以下のような報告があった。レーザー誘雷については、レーザープラズマの長尺化およびトリガーシステムの高性能化による、システム改善の取り組みが報告された。実験、シ

ミュレーションの両面から、自由電子レーザーによる線発生方法についての報告があった。レーザー超音波探傷法については、様々な試験片による実験結果が詳細に報告された。シミュレーションによる研究として、固体レーザーの熱効果を解析したものと、レーザーによる表面除染の効率が光ビームの性質によってどのように変化するかを解析した結果について報告があった。また、今後ますます重要と思われる固体レーザーの応用に関連して、二つの報告があった。一つは波長変換結晶KTPの光照射による劣化についてで、不純物、水分の影響が報告された。もう一つは、高出力小型レーザーの開発を目指し試作されたYb:YAGディスクレーザーに関するもので、その特性の詳細な報告があった。生体関連系については、蛋白質PYPや光合成モデル分子の蛍光ダイナミクスの実験結果が報告された。

なお、本報告会は競輪の補助金を受けて実施した。

TREATISE

非線形コンプトン/トムソン散乱実験

~T⁶レーザーを用いた共同研究~

未だ研究途中の非線形コンプトン散乱

コンプトン散乱(古典電磁気学的扱いでは、トムソン散乱)は、自由電子と光子の弾性散乱として記述できるが、入射光が極端に強くなってくると、単なる弾性散乱とはみなせない複雑な現象が現れるようになる。例えば、電子の多光子吸収に起因する高次高調波の発生、入射光場の中で電子が有効質量を獲得することから生じる、コンプトン散乱の断面積の減少や散乱光の波長のずれなどといった現象である。入射光強度が極端に大きく、単なる弾性散乱とはみなせなくなった領域の電子と光子の散乱過程を、非線形コンプトン/トムソン散乱と呼ぶ。非線形コンプトン散乱が無視できなくなり始める光の強さは、波長1 μ mの場合 $10^{17} \sim 10^{18}$ W/cm²の程度で、このような光強度は、近年実用化が進むTWレーザーを用いて十分に実現可能である。



【写真】非線形コンプトン散乱の実験の様子

このことは、非線形コンプトン散乱が、TWレーザーを用いた実験では無視できなくなってくることをも意味する。非線形コンプトン散乱の理論的な研究は多数提出されているが、いくつかの理論で異なる結果が予想されるなど、未だ完全に理解されていない状況である。また、実験例*は少なく、理論の選択を定量的に行うにはいたっていない。

広島大学先端物質科学研究科 教授

広島大学理学研究科 光子物理学研究室

遠藤一太
松門宏治

1999年度中には2倍高調波を観測予定

われわれは、大阪大学レーザー核融合研究センターで開発中の、T⁶レーザー(Table-top Ten-TW Ten-Hz Tunable Ti:Sapphire Laser)**を用いた非線形コンプトン散乱実験を進めている。われわれの実験では、電子銃から供給される10keVの電子線とレーザーが45度の角度で衝突し、その際生じた散乱光をバンドパスフィルターで波長選択し、光電子増倍管で検出する。広島でテスト実験として行ったYAGレーザーからの波長532nm、420mJ/7nsecのパルスを使った線形領域でのコンプトン散乱の観測の結果は、シミュレーションと良好な一致を示し、このことから、本実験では定量的なデータを期待できることが明らかになった。装置は既に大阪大学レーザー核融合研究センターのT⁶レーザーのターゲットルームへ移設され、非線形効果観測のための準備が進行中である。1999年度中に、非線形効果観測の手始めとして、2倍高調波の観測を行う予定である。

- * Englert et. al. Phys. Rev. A28, pp.1539 (1983)
Bula et. al. Phys. Rev. Lett. 76, pp.3116 (1996)
Chen et. al. Nature 396, pp.653 (1998)
- ** S.Sakabe Rev. Laser Eng. 25, pp.855 (1997)
H. Schillinger et al. Rev. Laser Eng. 25, pp.890 (1997)

掲載記事の内容に関するお問い合わせは、編集者代表
藤田雅之(TEL&FAX:(06)6879-8732,E-mail:mfujita@
ile.osaka-u.ac.jp)までお願いいたします。