

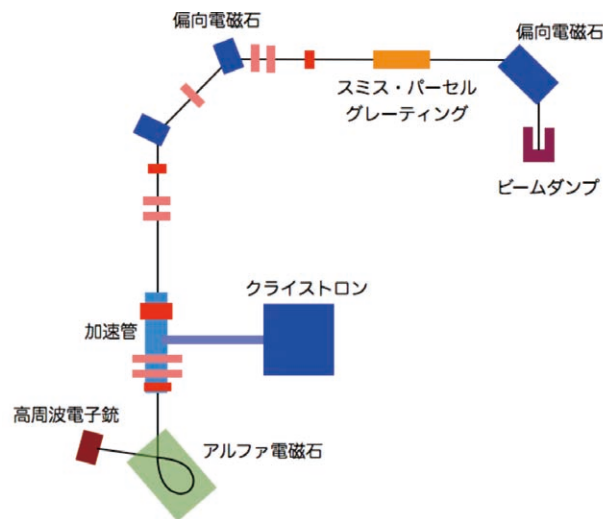
2013, Feb.

No. 299

レーザー・クロス CROSS

CONTENTS

- 小型線型加速器からの電子ビームによる
テラヘルツ放射実験研究 (2)
- レーザー核融合炉液体壁チェンバー内の
アブレーション生成プラズマの2次元シミュレーション
- 【光と蔭】社会集団の行動パターン
- 第54回米物理学会プラズマ分科会(APS DPP)報告
- 主な学会等報告予定



【表紙図】LEENA
加速器全体図

小型線型加速器からの電子ビームによる テラヘルツ放射実験研究 (2)

兵庫県立大学高度産業科学技術研究所 橋本智、陳彩華、川田健二、

天野 壮、宮本修治

レーザーエネルギー研究チーム 李 大治

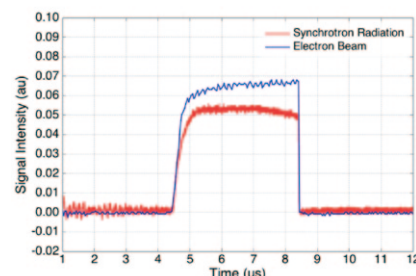
■はじめに

兵庫県立大学ニュースバル放射光施設内にあるビームエネルギー 15MeV、最大マクロ平均電流100mAの小型電子線型加速器LEENA(表紙図)は設置から15年以上経過しシステムが旧式化した加速器であるが、現在様々な改修を施して電子ビームを用いたテラヘルツ光源の開発を行っている(Laser Cross No.288, Mar. 2012)。テラヘルツ波とは、周波数にして 0.1THz ~ 数10THz の電磁波のことを指し、生体物質や特定の化学物質がこの領域に吸収スペクトルを持つことから透過イメージングを含めた生体検査や診断、農作物検査、危険物探査などへの応用が可能である。最近、LEENA加速器の電子ビームを用いたシンクロトロン放射およびスミス・パーセル放射によるテラヘルツ光の発生と観測に成功したので報告する。

■シンクロトロン放射

ビームダンプ直前の偏向電磁石から発生するシンクロトロン放射光を帯域110~170GHzのZero Bias Diode (ZBD)を用いて光源点の1m下流で計測した。電子ビームマクロパルス波形およびシンクロトロン放射光の波形を図1に示す。マクロパルスあたりの放射

光強度は $1.3\text{pJ}/\text{mm}^2/\text{pulse}$ であった。通常のシンクロトロン放射(インコヒーレント光)の強度はバンチ内の電子数 N に比例するが、電子ビームのバンチ長が電磁波の波長よりも短くなるとコヒーレント放射により強度は N の2乗に比例する。従ってバンチ長をテラヘルツ波の波長よりも短くすることができれば非常に強いテラヘルツ光源となる。図2にLEENAからのシンクロトロン放射スペクトル図を示す。現在の電子ビームバンチ長は30ps程度であるので、手持ちのZBDの検出領域(75~110、110~170 GHz)ではコヒーレント光は観測されないが、計測したインコヒーレント光の強度は計算とよく一致していた。今後はアルファ電磁石等による電子ビームの短バンチ化によりコヒーレントシンクロトロン放射光の発生を行う予定である。



【図1】シンクロトロン放射および
ビーム電流波形

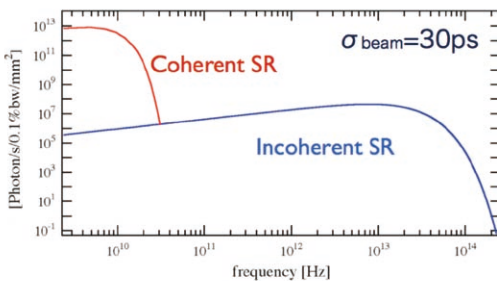
次ページへつづく▶

小型線型加速器からの電子ビームによるテラヘルツ放射実験研究 (2)

また平成25年度にビームラインを建設しテラヘルツ光を遮蔽室から隣接する実験室へ導く予定であり、これにより調整運転やテラヘルツ光利用が容易になる可能性がある。

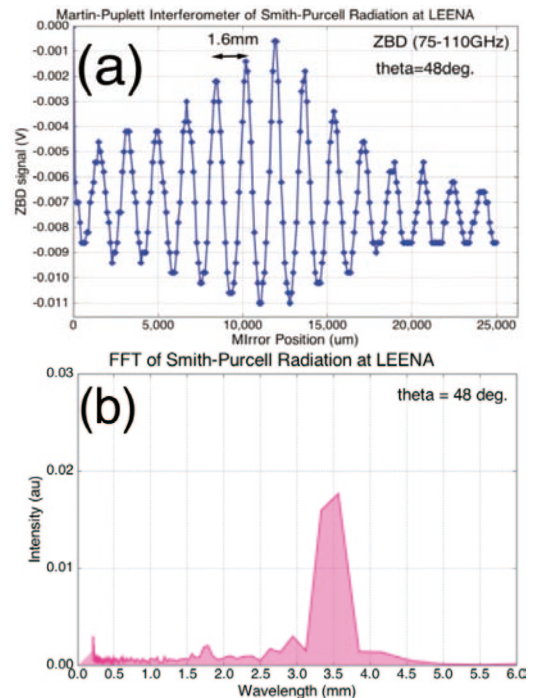
■スミス・パーセル放射

スミス・パーセル効果とは金属グレーティングの近傍を相対論的電子ビームが通過する際に金属表面に誘起される電荷の振動により電磁波が放射される現象であり、放射される電磁波の波長は放射角度に依存する。LEENAでは周期10mmの銅製グレーティングが真空チェンバー内に挿入されており、回転駆動ミラーによりテラヘルツ領域のスミス・パーセル光をビューポートを通して大気中に取り出すことができる。光ビームの分割にワイヤグリッドの偏光特性を利用したMartin-Puplett干渉計を構築し、スミス・パーセル光のスペクトル計測を行った。図3(a)に観測した干渉縞、(b)にそのフーリエ変換から求めたスペクトルを示す。



【図2】シンクロトロン放射スペクトル図(計算)の理論値に

よく一致する。シンクロトロン放射と同様にバンチ長が短くなればスミス・パーセル光においても大強度なコヒーレント光が発生するので光源として利用できる。また、コヒーレントなスミス・パーセル光の放射角度分布の計測から電子ビームのバンチ長を評価することが可能であり、ビームモニターとしての活用も今後期待できる。



【図3】Martin-Puplett干渉計によるスミス・パーセル放射光のスペクトル評価 (a) 干渉縞、(b)フーリエ変換後

TOPICS

レーザー核融合炉液体壁チェンバー内のアブレーション生成プルームの2次元シミュレーション

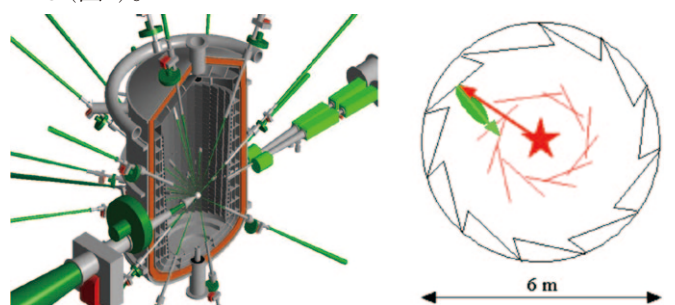
理論・シミュレーションチーム 古河裕之

阪大レーザー研 乗松孝好

■レーザー核融合炉液体壁チェンバーにおける研究課題

レーザー核融合炉発電プラント設計の主な課題の一つとして、チェンバー内に滞在する金属蒸気の排気、が挙げられる。高速点火レーザー核融合炉発電プラント「KOYO-fast」においては、厚さ3mmから5mmの液体リチウム鉛が第一壁に沿って滝状に流下する構造、「液体壁」を形成して第一壁を保護している。1ショット当たり発生する核融合エネルギーは200MJ、燃料球とチェンバー第一壁の最短距離は3mとなっている。このような条件下では、液体壁は液体から中性気体、部分電離プラズマへと相変化を伴いながらアブレーションする。アブレーションにより生成されたプルーム(気体、液体、固体などの塊)が、チェンバー中心付近で衝突すると、クラスターの生成や気体から液体への相変化を生ずることが予想される。それは金属蒸気の排気、引

いては核燃焼反応にとって大きな妨げとなる。KOYO-fastでは第一壁から飛散したプルームがチェンバー中心部に集中しないように、第一壁をタイル構造にしている(図1)。



【図1】(左)高速点火レーザー核融合炉KOYO-fastの液体壁チェンバーの概念図(ターゲットは150倍に拡大) (右)KOYO-fastの液体壁チェンバー第一壁のタイル構造の概念図

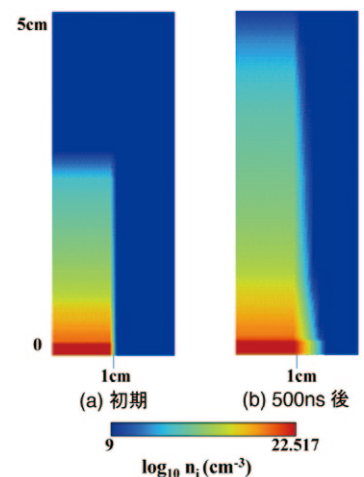
著者らは、これらの複合複雑現象を解析するため、プルームの凝縮についても取り扱い可能な1次元の統合シミュレーションコードDECORE (DEsign COde for REactor)を開発した(Laser Cross No. 270, No. 251, No. 224)。今回2次元のDECOREを開発し、プルームの挙動を2次元的に評価した。最初の2マイクロ秒の計算を1次元で行い、その結果を2次元コードに入力して、さらに計算を進めた。

■シミュレーション結果

1次元計算結果を初期値とし、2次元計算を行なった。図2は、2次元計算により得られた数密度分布である。(a)は初期、(b)は500ns後である。横方向は、タイルの端から1cm部分までを2次元計算した。図から分かるように、プルームの根元(壁側)は横に広がっているが、先端部分は殆ど横方向には広がっていない。

■今後の課題

本研究により、レーザー核融合液体壁チェンバー第一壁のタイル構造の有効性が議論できるようになった。今後、液体壁とX線、 α 粒子、荷電粒子の相互作用も2次元で計算を行えるように、コードを改良する。また、流体近似の適用が危ぶまれる低密度状態に対して、粒子的取り扱いを行うことも必要である。



【図2】2次元計算により得られた数密度分布
(a) 初期 (b) 500ns後

山中千代衛



社会集団の行動パターン

イソップ物語では夏場せっせと働く蟻を見て遊び人のギリギリスが人生を楽しめと軽蔑したが、やがて冬場になって助けを請うギリギリスを蟻が無視したという説話がある。楽あれば苦ありの教訓である。

ところが最近の生物学データによると社会的集団行動をとる蜜蜂や蟻の行動でも、ブラブラして一向に集団活動をしない固体がいることが分かってきた。さらに詳しい観察によると集団中の30%は世評通りせっせと働き、40%は適当に働いているが、残りの30%はブラブラして全く働いていないという。

さらに面白いことに、詳しい研究によるとこの集団からせっせと働く30%を除いても、またブラブラしている30%を取り除いても、残った集団は同じ環境では自然にまたもとの30%–40%–30%の働きグループを形成するという。社会集団の行動パターンとしてまことに興味深い分析である。集団行動という視点から見るとあらゆる人間集団にもこの法則が通じるように思われる。

例えば国家のトップ組織である内閣においても、また一般企業においても、学校においても10人のスタッフがいると、3人は極めて優れた働き手で、4人は略平均的なメンバーで、残りの3人はやや劣る立場となる。これがその組織の一番安定した姿なのである。もし組織のトップの立場として、スタッフの能力を改善しようと下位の3人を配置転換し、優秀な人材を導入したら、全体として優秀なメンバーが増え、パフォーマンスが向上しそうなものである。ところが環境が変わらなければ、しばらく時間が経過すると折角の組織もいつしかもとの3–4–3に戻ってしまう。

逆にトップグループが抜けた場合でも、しばらくすると平均的なメンバーが優れた人に進化し、またもや3–4–3が維持されるのだ。この現象は人間の社会心理学の一面を示している。人の心理に関連するから、勿論いかなる場合でも必ずそうなるというわけではない。

例えば環境ががらっと変わった場合、非常時の到来、戦争の勃発、大災害の発生など市民の意識が一変する時には全員が優秀の印を受けることができる。

まさに人間は他の生物と異なって目標、意志、覚悟など相対的な条件で変化する。

大阪大学レーザー核融合研究センターがかつてレーザー核融合の研究で世界的に最強軍団であったのもこの条件によって決定した事象であった。当時世界第一級の激光XII号ガラスレーザーが完成し、センター前庭に掲げたZ旗の下、教授、助教授、助手、研究員、技官、事務官全員が金剛力を発揮したのである。

エドワードテラーが山中教授のお蔭でレーザー核融合の研究は第3コーナーを廻ったと述べたのは、まさにこの時である。Japan as No.1の時代だった。

【名誉所長】

第54回米国物理学会プラズマ分科会 (APS DPP) 報告

理論・シミュレーションチーム 砂原 淳

◆米国物理学会プラズマ分科会が開催

2012年10月30日～11月2日に米国ロードアイランド州プロビデンスで開催された第54回米国物理学会プラズマ分科会に参加した。米国東海岸一帯は記録的な規模のハリケーン「サンディ」の直撃を受け、発表キャンセルや代理発表も多かったが、磁場および慣性核融合に関する多くの発表がなされ、活発な議論が展開された。

◆米国レーザー核融合点火キャンペーン実験報告

今回の注目は米国リバモア研のNIF(国立点火実験施設)で進められてきたレーザー核融合点火キャンペーン(NIC)実験に関する一連の発表である。現状は流体不安定性の成長が予想よりも大きく、爆縮コアの圧力が目標の1/2から1/3程度に留まっている。(爆縮プラズマの密度は目標近くまで到達しているが、温度が足りない。)擾乱のスペクトルとしては長波長から短波長まであらゆる擾乱の寄与が考えられているが、特にモード数1～4の長波長擾乱が予想よりも多く、爆縮コアの温度上昇を大きく妨げている可能性が高いことが報告された。NIFで採用されている間接照射方式ではレーザー光を金シリンダーキャビティに照射し、X線に変換した後に爆縮する。そのため、直接レーザー光を燃料球に照射する方式に比べ、一般的に照射均一性にすぐれているといわれる。その間接照射方式ですら流体不安定性が予想以上に影響しているということで、流体不安定性(レーリー・テラー不安定性など)の制御がどれほど難しいことであるかを実感させられた。長波長モードの擾乱はシリンダーキャビティを用いる間接照射方式の弱点ともいえ、以前より制御、抑制が考えられてきたが、それでもまだ制御しきれていないということである。しかし一方では長波長擾乱の原因追及と計測、ターゲットの改良、シミュレーションによる解析等、点火に向けた努力が精力的に続けられており、リバモア研の研究者の士気は依然として高いと感じた。9月30日のNICの計画期限までに点火はできなかったが、今後も点火実験を継続するとのことであり、着実な進展を期待したい。

◆日本の高速点火実験の進捗

一方、我々は阪大を中心として高速点火原理実証実験(FIREX)を実施しており、今回で第3回目となる統合実験が今年度9月に終了した。今回の実験では新材質コーンターゲットや磁場の導入など、新規のアイデアを多数試すことができ、高速電子の発生と輸送、爆縮コア加熱などの高速電子の物理に加え、高速イオンの発生についても考慮するなど、より幅広い観点から考察した結果を発表することができた。NIFの点火同様に、高速点火も爆縮コアの温度上昇で苦しんでいるが、こちらも米国に劣らぬ熱意で研究するのみであると感じた。



【写真】ハリケーン「サンディ」が去った後の会場となったProvidence conference center

主な学会等報告予定

- | | |
|-----------------|--|
| 3月4日(月) | 日本テクノセンターセミナー(東京・日本テクノセンター)
藤田 雅之「パルスレーザー加工の基礎と複合・多層材料への応用」 |
| 3月22日(金)～23日(土) | 日本化学会第93回春季年会(立命館大学びわこ・草津キャンパス)
谷口誠治 「ヒト由来セリンヒドロキシ転移酵素の蛍光ダイナミクス」 |
| 3月27日(水)～30日(土) | 第60回応用物理学会春季学術講演会 (神奈川工科大学)
柴川 智弘「レーザーラマン分光法による変圧器油中アセチレン分析」
古河 裕之「レーザーピーニングにおける多次元効果等の評価」
古瀬 裕章「Yb:YAGセラミックスの熱伝導率のドーブ濃度および温度依存性」
コスロービアン ハイク 「kW級コンボジットセラミックスシンディスクレーザー開発におけるビーム特性に関する研究」
砂原 淳 「レーザー照射されたスズドロップレットの挙動」 |
| 3月26日(火)～29日(金) | 物理学会第68回年次大会 (広島大学)
砂原 淳 「高速点火レーザー核融合におけるイオン加熱」 |
| 3月28日(木)～29日(金) | ドームふじアイスコアに関する研究集会(国立極地研究所)
櫻井 俊光「氷床内における塩微粒子に関する研究」 |