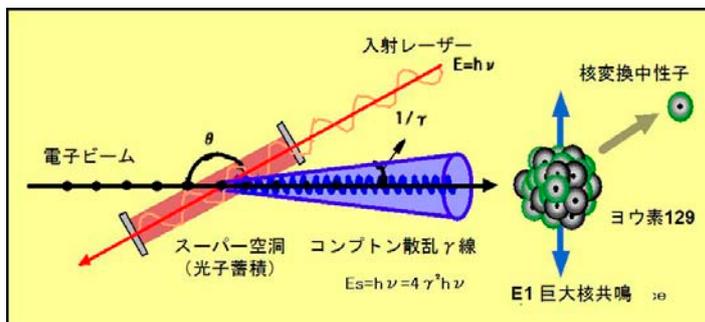


CONTENTS

- レーザーコンプトン散乱ガンマ線によるヨウ素129の核変換システム
- 高出力低温冷却Yb:YAG
- 全反射アクティブミラーレーザーの開発
- 【光と蔭】夢みて行い考えて祈る
- ICALEO2012国際会議報告
- 主な学会等報告予定

【表紙図】スーパー空洞を用いたコンプトン散乱ガンマ線による巨大核共鳴(γ, n)核変換



レーザーコンプトン散乱ガンマ線による ヨウ素129の核変換システム

レーザーエネルギー研究チーム 今崎一夫、李 大治

兵庫県立大学高度産業科学技術研究所 宮本修治、望月孝晏、堀川 賢

レーザー技術総合研究所 所長 井澤靖和

はじめに

原子炉で発生した放射性廃棄物の地層処分において、長寿命核種の処理・処分方法の確立は重要な課題の一つとなっている。なかでもヨウ素129は、半減期が1570万年と非常に長く、バリア材への吸着性能が低いため、地中を移行しやすい性質を持つ。このような核種を核変換処理し無害化できれば、放射性廃棄物処理・処分の安全性及び経済性の向上に有効な手段となる。

レーザーコンプトン散乱 γ 線を利用した核変換は超長寿命核種を無害化する有用な技術の一つとして期待でき、その可能性について研究を進めてきた。兵庫県立大学のNew SUBARU電子蓄積リングを用いてレーザーコンプトン散乱 γ 線の発生実験を実施し、発生した γ 線を用いてヨウ素127やヨウ素129などの核変換を実証した。また、実験と並行して γ 線によるヨウ素129核変換システムの検討を行ってきた。 (γ, n) 反応で発生する中性子による2次核反応を有効に利用して、ヨウ素以外の超長寿命核種をも同時に核変換できれば、システム効率の改善が期待できる。

■原理

レーザーコンプトン散乱ガンマ線による核変換の原理を表紙図に示す。線幅の狭いレーザー光を高反射率のミラーで構成されるスーパー空洞に閉じ込め、空洞内でレーザー光の強度を $10^4 \sim 10^5$ 倍に増倍する。空洞内に電子ビームを入射し、高輝度で指向性のよいコンプトン散乱ガンマ線を発生させる。 γ 線源から10m程度離れた位置にターゲットとなる長寿命核種(ヨウ素129など)において、 (γ, n) 反応により短寿命核種あ

るいは安定核種に核変換する。レーザーの波長が $1 \mu\text{m}$ 、電子ビームのエネルギーが1 GeV程度するとき、発生するガンマ線のエネルギーは最大 $\sim 17 \text{ MeV}$ となるので、巨大核共鳴を利用して比較的高い効率で核変換が可能と期待される。

■核変換実験

レーザーコンプトン散乱ガンマ線を用いて核変換実験を行った。まず最初に、金Au-179をターゲットに用いて、ガンマ線による核変換実証実験を実施した。長さ5cm、直径5mmと10mmの2種類のターゲットに対し、8時間の照射を行った。Au-197は (γ, n) 反応でAu-196に核変換される。Au-196は不安定で、主として355.73 keVのガンマ線を放出してPt-196に崩壊する。崩壊に伴うガンマ線をNaI (Tl)検出器で検出し、Au-197の核変換を確認した。ターゲット直径の差による崩壊ガンマ線光子数の比は、理論的に予測される比とほぼ一致した。

次に、非放射性のヨウ素I-127の核変換実験を行った。NaIをターゲットに用いた。I-127は (γ, n) 反応でI-126に核変換され、13日の特性時間で崩壊して最終的に安定核Xe-126とTe-126を生成する。I-126の崩壊に伴う388 keVと666 keVのガンマ線とその減衰特性を測定し、ヨウ素I-127の核変換を確認した。

最後に、放射性ヨウ素I-129の核変換実験を行った。また、I-129の核反応断面積を測定し、I-127のそれと比較した。ターゲットにはPdL密封線源を用いた。電子ビームエネルギーを変えて γ 線エネルギーを調節し、 (γ, n) 反応で生成されるI-128からの崩壊 γ 線(443

次ページへつづく▶

レーザーコンプトン散乱ガンマ線によるヨウ素129の核変換システム

keV)を計測して、断面積を求めた。I-129の(γ , n)反応断面積は、 γ 線エネルギー15.9 MeVで最大となり、220 mbarn、半値半幅2.55 MeVとなった。直線偏光と円偏光の γ 線ではほとんど差はなく、I-127の反応断面積とも大きな違いは見られない、ことなどがあきらかとなった。

■ヨウ素129核変換システムの検討

上に述べてきた実験結果を元にして、モンテカルロシミュレーション解析により、原子炉から排出されるヨウ素I-129核変換・消滅処理システムについて検討した。ヨウ素I-129だけをターゲットとしたとき、核変換効率(=核変換核種数/入射 γ 線光子数)は $\sim 1\%$ 程度に留まると予測されるため、(γ , n)反応で発生する中性子を有効利用してヨウ素以外の長半減期の放射性廃棄物も核変換処理できるシステムの可能性を考えた。

ターゲットは同軸の多層構造で、中心においたヨウ素

I-129の(γ , n)反応で発生する高速中性子によりその外側のネプツニウムNpやアメリシウムAmの核分裂を誘起して中性子を増倍する。増倍された中性子を水により熱化し、最外殻のヨウ素I-129やテクネチウムTc-99を(n, γ)反応で更に核変換するというものである。

各層表面での中性子エネルギー分布やターゲット内での核変換効率を計算した結果、核変換効率はI-129で2%、Tc-99で9%に向上した。このようにI-129の(γ , n)反応で発生する高速中性子による2次核反応を利用すれば、I-129とTc-99の核変換処理だけでなく、TRUのNp-237やAm-243などの核変換も可能となることがわかった。システムの検討はまだ初期段階にあり、ターゲット部の詳細な構造設計、熱設計、排熱解析とエネルギー回収などととも、エネルギー回収型ライナックやレーザー部の検討、さらには経済的成立性に関する検討が必要である。

TOPICS

高出力低温冷却Yb:YAG全反射アクティブミラーレーザーの開発 —発振出力特性—

レーザープロセス研究チーム 古瀬裕章

■加工用高出力光源を目指して

レーザー技術総合研究所は大阪大学レーザーエネルギー学研究中心、三菱重工業株式会社と共同で、加工産業用高出力レーザーの開発を行ってきた。レーザー試料は次世代大出力レーザー材料として期待されている低温冷却Yb:YAGであり、その形状は1 mm以下のディスクである。裏面を液体窒素で直接冷却しており、YAG—液体窒素面での全反射を利用する独自の手法(TRAM: Total-Reflection Active-Mirror)で開発を行っている(Laser Cross No. 254)。2009年に300W級の発振出力(横多モード)を高効率で達成しており、以降本方式の基礎データ収集を行ってきた(No. 266, 287)。

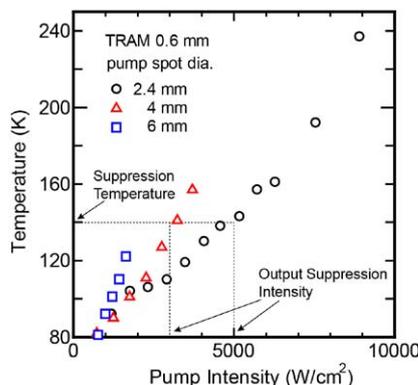
今後は増幅器構成による高品質化を図る予定であり、この際に本方式の増幅計算による出力予測が必須となる。低温冷却Yb:YAGの場合、温度が77Kから150Kまで増加するとレーザー利得に寄与する誘導放出断面積が半分程度になる。また100K以上ではレーザー光の再吸収による損失が増加する。本稿ではこれらの効果を含めた簡易モデルを提案し、実験結果と比較した。

■Yb:YAGの温度上昇

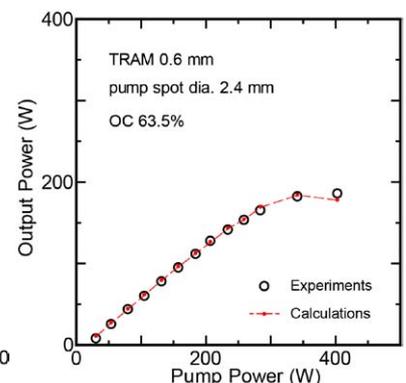
出力計算にはYb:YAG温度を知る必要がある。現在の実験条件では液体窒素を攪拌しておらず、全反射面の沸騰状態が励起条件で変化する問題がある。つまり熱伝達係数が励起条件で一定ではないため、Yb:YAG温度を定量的に見積もるためには複雑な計算モデ

ルが必要となる。このような理由より、我々はYb:YAGの温度を実験から評価した。温度評価方法は蛍光スペクトルの形状変化を利用するものであり、レーザー波長近辺の増幅に寄与しない波長ピーク(およびバレー)の温度依存性を利用した。

図1にYb:YAG厚0.6 mmのTRAM試料に、最大励起パワーCW 500 Wを励起スポット径2.4、4、6 mmで照射した時の温度評価値を示す。励起径2.4mmの場合、励起強度9 kW/cm²(= 400W)の時200 K以上に温度上昇している可能性がある。また同一の励起強度では励起径が小さい方が温度上昇値が低い傾向にある。これは熱伝達係数や冷却機構の違いによるものと考えられる。Yb:YAG温度と励起条件の関係に関しては、現在有限要素法による解析を進めている。



【図1】Yb:YAG温度評価値と励起強度の関係



【図2】発振出力特性

■TRAMの発振出力特性

図2にスポット径2.4mmでの発振出力特性を示す。発振器には出力ミラー65%を使用した。○が実験結果を示しており、励起パワー300W程度から出力が飽和することがわかる。一方赤線は誘導放出断面積、再吸収損失の効果を含んだ計算結果を示している。計算には図1で示したYb:YAG温度を用いた。図2より実験結果と計算結果が非常に良く合うことがわかる。スポット径4mm、6mmの結果についても良く一致しており、

これは低温領域におけるTRAM方式の増幅計算手法が確立できたことを意味する。今後はキロワット出力を目指した増幅実験を行い、計算と比較する予定である。増幅器構成の場合、ASEや寄生発振の効果、また励起体積内の温度分布や利得分布も詳細に考慮する必要があると考えている。それぞれ詳細に調査し、高品質光源へ着実に進みたいと考えている。

※本稿の詳細は、Optics Express (フリージャーナル) 20号19巻21739頁に記載されています。

REPORT

ICALEO2012国際会議報告

主席研究員 藤田雅之

◆ICALEO2012開催される

去る9月24~27日、米アナハイムで、レーザー加

工関連の国際会議であるICALEO2012 (31st Int. Congress on Applications of Laser & Electro-

山中千代衛



夢みて行い考えて祈る

これは元大阪大学総長をつとめた山村雄一教授の言葉である。先生は阪大医学部卒業後、刀根山病院に勤められ、海軍軍医としてラバウルに派遣され、その後駆逐艦の軍医長などを経て、つぶさに太平洋戦争激戦の第一線を体験された。人格・識見ともに優秀な戦闘機乗員が次々と姿を消す現実には人生の極限を見てこられた。戦後九州大学教授を経て阪大に復帰され、その先見性と抜群の統率力に加え、免疫学の先駆者としてすぐれた業績を上げると共に幾多の立派な弟子を見事に育てられた。

大阪大学レーザー核融合研究センターの立ち上げ時、直接大学総長として色々のご指導に与った。天の時、地の利、人の和の格言も先生からの伝承である。レーザー核融合は人類が求める最終の新エネルギーである。この夢にとりつかれた7人の侍が志を一つにし、多くの同志とともにILEの建設、研究、開発に心身を捧げて従事した。この夢追い人生を支えるのは使命感である。山村先生はその活動を了とし、強く支持され、激励を賜った。

今年レーザー核融合研究センターは創立40周年を迎える。レーザー核融合研究は初めからきわめて順調に発展し、国際的評価も高いものがあった。時代が移り、人が替わり、レーザー核融合研究センターはレーザーエネルギー学センターに改組になり、より広い研究目標を展開している。その後かつてのように核融合研究が進まぬ時もあった。しかし社会は人類の新しいエネルギーを求めて止まない時代に突入している。研究者の諸君は初心に立ち帰り、改めて核融合の夢に未来を賭ける覚悟が望まれる。まさに天の時の到来である。その昔、我々が熱唱したセンター歌「歌え千里」が再びこだまする日を待望している。

「千里 千里 千里 大阪千里 千里の風の一走り

千里の炎 韋駄天走り
地球の知恵の 一つかみ
人ありここに 知恵ありわれら
若木の枝に 若葉のひかり
若木の枝に 若葉のほつえ
千里 千里 千里」

竹中 郁 作詞
川澄 健一 作曲

歌詞にはレーザーを入れず、音程は歌いやすいメロディーをと、特にお願ひして作って頂いた「センター勝利のうた」である。

夢みて行い考えて祈る心境になりたいものだ。

【名誉所長】

Optics)が開催された。参加者は450名程度(うち米154、独72、英17、日本27、中国27)で、溶接、切断等の熱加工を中心としたLaser Material Processing Conference (LMP)、微細加工を中心としたLaser Microprocessing Conference (LMF)、ナノテクに関連したNanomanufacturing Conference (Nano)から構成されていた。会議議長は2年続けてパラダイムレーザーリサーチの鷲尾さんが務められた。

◆CFRPのレーザー加工

CFRPのレーザー加工関連の発表は全体で10件(独:6、仏:2、日:1、英:1)であった。ICALEOでは2008年に1件、2009年に0件、2010年に7件、2011年に6件とここ2~3年でCFRPのレーザー加工の発表件数が増加してきている。今回初めて“Processing of CFRP”と題した8件の講演をまとめたセッションが設けられた(ただし、2件はガラス繊維複合材のレーザー加工であった)。

発表機関は、ドレスデンのIWS、ハノーバーのLZH、独Erlangenのバイエルンレーザーセンター、Stuttgart大学のIFSW、TRUMPF社、フランスのCNRS、ALPHA NOV社、イギリスのManchester大学、日本のレーザー総研であった。

◆CFRPへの熱影響を避けるには

最近の動向として、レーザー波長やパルス繰り返し周波数、掃引速度等のパラメーター範囲を広げて熱影響層を最小にするための指針を得る研究が進んでいるといった印象を受けた。これまでUVナノ秒レーザーでCFRPを加工していたLZHは赤外ナノ秒レーザーやピコ秒レーザーも使って熱影響層の発生を比較していた。また、多重掃引で切断する際に掃引毎に20ms程度の休憩(冷却時間)を設けることで熱影響を抑えることができることを報告していた。

IFSWはピコ秒レーザーのパルスエネルギーと繰り返



【写真】オープニングで挨拶する会議議長の鷲尾氏

返し周波数を変化させ、試料に熱影響が発生する様子を高速カメラで時間分解して観察していた。同じ入熱量(パルスエネルギー×パルス数)でも繰り返し周波数が違う(即ち、入熱レートが違う)と熱影響が異なってくることを実験的、理論的に解析している。パルス間の冷却時間が長い(パルス繰り返し周波数が低い)と熱影響が抑制されることが確認された。これはLZHの報告と一致しており、試料照射の時間的工夫が加工のノウハウとなるようである。シングルショットの加工と比較すると、(パルスエネルギーに依存するが)繰り返し40kHzでは大差が無く80kHzでは熱の蓄積が生じるとのことであった。

◆8mm厚CFRPをps、fsレーザーで加工

マンチェスター大学のLin Liから、EdgeWave社製10ps/10MHz/400Wのレーザーで8mm厚のCFRPを加工した報告があった。掃引速度2m/s、平均パワー100Wで直径6mmの穴開けに成功し、熱影響がほとんど見られない。ただし、加工時間は約20分とのことであった。100Wで実験した背景には掃引速度の限界があるようである。

また、私のALPHA NOV社からは、CFRPの表面にフェムト秒レーザーを照射することでナノ周期構造が形成できることが報告された。真っ黒なCFRPが虹色に輝いていた。

◆途切れないEUの研究戦略

Closing Plenary sessionは、Ruhr大学のOstendorfから“HORIZON 2020”の紹介があった。EUでは現在の研究・技術開発のための枠組み計画(Framework Programme 7: FP7)が2014年に終了するのを受けて、HORIZON 2020と呼ばれる2014~2020年の次のフレームワークプログラムFP8が計画されている。基礎研究から市場までをシームレスに繋ぎ、より良い社会基盤の構築を目指している。“HORIZON 2020”のホームページを覗いてみると、すでに計画開始までのカウントダウンが始まっていた。

◆ミニ知識

プレナリーセッションでStanford大学のThomas BaerからGreen Photonicsの講演があった。今後、IT関連のエネルギー消費量が倍増することが予測され、銅配線が光配線に変わっていくと予測されている。なんと、グーグル検索1回当たりに5kJのエネルギーが消費されているとのことである。5kJといえば、1リットルの水が1.2℃温度上昇するエネルギーである。

より詳細な会議報告(13頁)は賛助会員専用ホームページに掲載しています。

主な学会等報告予定

1月28日(月)~30日(水)	レーザー学会学術講演会 第33回年次大会(姫路商工会議所)
	櫻井 俊光「低温冷却Yb:YAG TRAMレーザーにおける熱解析」
	島田 義則「レーザーを用いたコンクリート欠陥検出」
	染川 智弘「水溶存ガスの遠隔計測に向けたラマンライダーの開発」
	古河 裕之「多次元のレーザービーニングのシミュレーション」
	古瀬 裕章「低温冷却Yb:YAG TRAMレーザーのASEおよび寄生発振」