

当社は、原子力プラントメーカーとしての技術とノウハウの蓄積を背景に、レーザ応用技術の開発と適用を推進している。レーザは指向性が高く、時間・空間的な制御が容易なため、放射線環境や水中での作業の遠隔化に適している。建設初期のプラントに対しては、高経年化への対応を図るため、レーザを使用した原子炉内構造物の予防保全工法を開発・実用化し、補修及び検査・計測技術の開発にも注力している。また、燃料サイクルではレーザによる濃縮技術の開発を、製造では製品の品質向上と製作期間の短縮を目指したレーザ応用技術の開発を推進している。

Toshiba has been developing and applying laser application technologies in the nuclear field based on its skills and design capabilities as a leading plant manufacturer. Work in a radiation environment or under water can be performed remotely by means of lasers with high directivity and controllability. Preventive maintenance technologies using lasers have been developed and applied to core components of aging nuclear power plants to meet the requirements of life management. Repair, inspection, and instrumentation technologies using lasers are being intensively developed. Uranium enrichment technology using lasers is also under way. Laser processing aimed at enhancing added value and shortening production periods is under active development.

■ レーザの特長と原子力

レーザは、1960年の発明以来急速な発展を遂げ、種々の産業分野で応用が進んでいる。レーザは、通常の光とは異なり、“単色性”や“指向性”といった際だった特長を備えている（右囲み記事参照）。原子力分野では、レーザの特長に早くから着目し、核融合やウラン濃縮の手段として開発を推進してきた。また、もう一つの大きな特長である“干渉性”は、ホログラフィ技術を利用した三次元形状計測などの計測分野を中心に幅広く応用されている。

原子力施設は、放射線環境であることが多く、システムを遠隔制御することが望ましい。特に、原子炉内構造物については、作業員が直接アクセスすることは困難なため、レーザの持つ“遠隔性”が非常に大きな利点となる。この利点を十分に活用するためには、高度なメカトロニクス技術が不可欠であり、また、その適用にあたっては、対象の構造や材料的な性質を

熟知する必要もあるため、総合的な技術力が要求される。

主なレーザと原子力分野での応用例を表1に示す。当社は、電力会社

をはじめ国内外の研究機関や大学とも協力し、原子力施設の建設から運転、更には燃料サイクルに至る各フェーズでレーザを応用した技術開発に

レーザの特長と応用技術

レーザとは、人工的に光や放電などの強いエネルギーを与えてレーザ媒質を励起させ、それが元の状態に戻るときに発生する電磁波(光)を増幅させたもの、又は増幅させる装置を言う。

LASERは“誘導放射による光の増幅”を意味する Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation の頭文字から作られた語である。

レーザの特長と応用技術

レーザの特長	応用例
単色性：1色で波長がそろっているため、特定の原子を選択的に励起したり電離できる。	・同位体分離 ・蛍光分析(元素分析)
指向性：ビーム状に放射され、遠くへ伝送しても拡散しない。ミラーを使った遠隔伝送が可能。	・エネルギー伝送 ・レーザ誘雷
集光性：エネルギーを集中できる。加工が難しい材料も切断したり、溶接することができる。	・溶接、切断 ・微細加工
干渉性：位相がそろっている。精密な距離測定に利用できる。	・レーザ振動計測、探傷 ・三次元形状計測
時間制御性：パルス波形の制御が可能であり、時間的にエネルギーを集中できる。	・レーザ核融合 ・可視化

表1．主なレーザと原子力分野での応用
Lasers and their applications in nuclear field

レーザの種類	波長	発振形態	相互作用	応用(用途)
He-Neレーザ	0.63 μm	連続	干渉	計測
半導体レーザ	可視～赤外	連続	伝播	機器内通信
Nd:YAGレーザ	0.53 μm	パルス	非熱加工	ピーニング, 計測
	1.06 μm	連続	熱加工	溶接, 切断, LDT
	1.06 μm	パルス	非熱加工	クリーニング, 測定
炭酸ガスレーザ	10.6 μm	連続	熱加工	溶接, 切断
銅蒸気レーザ	0.51 μm	パルス	色素励起	濃縮(同位体分離)
色素レーザ	紫外～赤外	パルス	光反応	濃縮(同位体分離)

He-Ne：ヘリウム(He)とネオン(Ne)の混合気体を放電で励起するレーザ
Nd:YAG：ネオジム(Nd)を含むイットリウム-アルミニウム-ガーネット(Yttrium-Aluminum-Garnet)を発振媒体に使用したレーザ
LDT：Laser De-sensitization Treatment(レーザを照射して材料表面の耐食性を改善する技術)

積極的に取り組んでいる。

レーザと材料の相互作用とその応用

原子力分野におけるレーザの応用は、レーザの持つエネルギーを利用するものが多い。レーザと材料との相互作用のようすを図1に示す。

(a)は、連続発振のNd:YAGレーザや炭酸ガスレーザによる溶接あるいは切断に相当する。材料の表面がレーザのエネルギーを吸収して溶融し、一部は蒸発する。蒸発した粒子はレーザと相互作用してブルームと呼ばれるプラズマを形成する場合もある。

(b)は、エネルギーの小さいパルスレーザを照射する場合に相当する。材料の表面に油などの高分子が付着していると、レーザのエネルギーを吸収して付着物に特有の蛍光を発する

ため、表面に付着した油の検知に應用されている。また、表面に付着している粒子の脱離(クリーニング)や、表面の熱膨張による弾性波を使用した探傷(レーザ超音波探傷)にも應用されている。

(c)のようにレーザのパルスエネルギーが大きくなると、材料を構成する原子のプラズマが表面に発生して固有の蛍光を発するほか、プラズマ発生による反力により衝撃波が発生し、材料中を伝播(でんぱ)する。これらの現象は、表面に付着した微量の不純物原子の分光分析やレーザ照射による残留応力改善(レーザピーニング)に應用されている。

連続発振レーザによる(a)のプロセスは熱加工とも呼ばれ、パルスレーザによる(b)及び(c)は非熱加工とも呼ばれている。

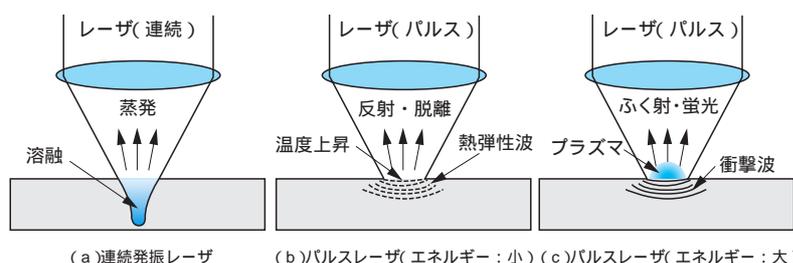


図1．レーザと材料の相互作用
レーザーの発振形態(連続又はパルス)とエネルギー密度によって相互作用が異なる。
Laser interactions with materials

原子力におけるレーザ応用技術の開発とその展開

■ 運転プラントの保全・補修におけるレーザ応用

運転プラント関連では、高経年化に対応するため、原子炉内構造物の予防保全・補修・検査といった一連の技術の確立が当面の課題となっている。

原子炉内への適用を推進するため、新しいレーザプロセスの開発に取り組みほか、狭あいな施工・検査箇所へアクセスするための自動機及び制御技術の開発、レーザ伝送技術の開発(次頁囲み記事参照)など、炉内で使用することを前提とした総合的な技術開発を進めている。また、原子力施設での共通の課題となる耐放射線性についても、純石英を使用した光学系の設計技術を確立している。

応力腐食割れに対する予防保全を目的として開発したレーザピーニングは、原子力に限らず疲労強度の向上といった応用も可能であり、今後の展開が期待される。

■ 原子力計測におけるレーザ応用

原子力施設では、保全・補修と同様に、計測の遠隔化が求められる。このため、レーザを利用した種々の遠隔計測技術を開発している。

計測関連の技術は、他分野との共通性が高く、例えば、レーザによる微量元素の分析技術は環境有害物質の分析などへの展開が考えられている。また、レーザ超音波探傷技術は、非接触の利点を生かし、不純物を嫌う半導体プロセスへの応用が図られている。

■ 濃縮用レーザ技術の開発とその応用

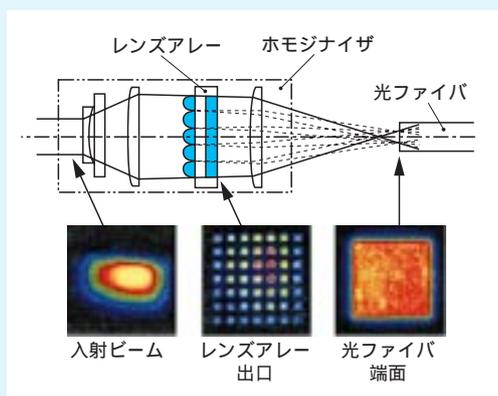
当社は、原子レーザ法ウラン濃縮(AVLIS)にかかわる技術開発に積極的に参画し、原子力におけるレーザ技術者の育成と要素技術の開発に大きく貢献してきた。濃縮用レーザ

光ファイバによる高出力パルスレーザーの伝送技術

光ファイバによるレーザーの伝送は、通信分野で広く使用されているが、高出力のレーザーを伝送させる場合には光ファイバの損傷が問題となる。特に、パルスレーザーはピーク出力が高く、光ファイバによる伝送が難しい。レーザーピーニング、レーザークリーニング、レーザー超音波探傷、レーザー微量分析などで使用するパルス発振のNd:YAGレーザー

は、ピーク出力が数十MWにも達するため、これまで伝送が不可能であった。

このため、当社は、ホモジナイザと呼ばれる特殊な光学系を使用してレーザー強度の空間分布を均一化することにより、コア径1mmの光ファイバで20MWのレーザーパルスを送る技術を世界で初めて開発した。その結果、レーザーの適用性が格段に向上した。



2組のレンズアレーを組み合わせたホモジナイザを通すことにより、山形のエネルギー分布を持っていた入射ビームが光ファイバの端面では平坦な分布となり、ホットスポットが解消されていることがわかる。

システムをはじめとして、光学素子などの要素開発、光反応及び分離プロセスの開発など、多方面の研究・開発を行う一方、独自に新しい応用技術の開発を推進してきた。

ここで開発された銅蒸気レーザーは、これまでにない可視域の高出力パルスレーザーで水をよく透過するため、ページガスを使用しない水中直接プロセスの研究が行われた。この研究は、取扱いに優れたNd:YAGレーザーを使用して継続され、レーザーピーニングとして実用化されている。

また、光反応・分離プロセスにかかわる技術は、原子燃料の効率向上を目指したガドリニウム及びジルコニウム同位体の濃縮技術などへの展開が期待されている。

■ 原子力機器の加工・製造におけるレーザー応用

原子力機器は、高精度、低ひずみ、

低入熱といった通常の製品とは異なる厳しい仕様が要求される。レーザーは、微細加工に使われているようにエネルギーの集中が可能のため、これらの機器に適用することにより要求仕様を満足することが可能となる。

また、難加工材料への適用も行われている。最近の例としては、熱伝導率が高く溶接が難しい銅への適用がある。施工方法を工夫することにより、高品質が要求される加速器の高周波空洞の溶接組立を、世界で初めて実現している。

■ 更なる技術革新に向けて

レーザーは、トランジスタ及び計算機と並んで20世紀最大の発明とも言われているが、その利用においては他の2者と比較して大きな後れをとっている。近年の光通信の拡大とコンパクトディスク(CD)プレーヤの普及に

より、半導体レーザーの利用は格段に進んできたが、その他のレーザーの利用は研究室での基礎技術開発を除くと特殊な用途に限られてきた。

原子力は科学技術の集大成であり、大出力のレーザー技術を開発、応用していく素地の整った技術分野の一つである。今回の特集で紹介する技術が他分野に適用され技術の進展に寄与できれば、総合技術である原子力にとっても新たな価値を生み、技術開発によりいっそうの弾みがつくものと期待している。

来る21世紀は生活環境や社会構造が大きく変動していくと思われるが、エネルギーセキュリティと環境保全の観点から原子力発電への期待は依然として大きい。レーザーに代表される革新的な技術を開発・応用していくことにより、原子力の安全性と信頼性を保ちながら、よりいっそうの経済性を追求し、エネルギーの安定供給に寄与していく所存である。



宮野 廣

MIYANO Hiroshi

電力システム社 原子力技師長。
日本原子力学会、日本機械学会会員。
Power Systems & Services Co.



佐々木 則夫

SASAKI Norio

電力システム社 原子力事業部 原子力技術部部長。
BWR原子力発電所プロジェクトの技術統括業務に従事。日本機械学会会員。
Nuclear Energy Systems & Services Div.



須藤 亮

SUDO Akira, D.Eng.

電力システム社 電力・産業システム技術開発センター 機器・システム開発部部長、工博。
原子力関連研究・開発の取りまとめ業務に従事。日本原子力学会、日本機械学会、腐食防食協会会員。
Power and Industrial Systems Research and Development Center