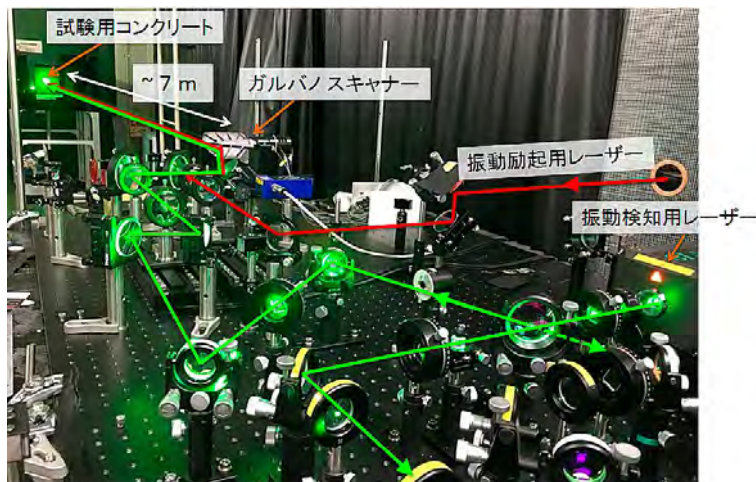


CONTENTS

- トンネルコンクリートの高速診断技術の開発
- フェムト秒パルスによる金属イオンの還元、金属微粒子の生成
- 【光と蔭】大学の使命は
- 主な学会等報告予定



【表紙図】高速掃引レーザー計測システム(日本原子力研究開発機構HP (<http://www.jaea.go.jp/02/press2015/p16011101/02.html>) を参照)

トンネルコンクリートの高速診断技術の開発

レーザープロセス研究チーム 北村俊幸

レーザー計測研究チーム 倉橋慎理、島田義則

■はじめに

高度経済成長期に建設された、トンネルや橋梁等インフラの老朽化が進む中、重大な事故リスクの顕在化、維持管理・更新の負担低減のため、高速かつ自動化された安全性診断システムが必要とされている。現在トンネル壁面の内部欠陥診断の主流は、検査員が壁面を直接金槌で叩き、反響する音の変化を聞き分けて判断する打音法であるが、この方法では検査に足場やクレーン車が必要で、コストも時間も掛かっていた。これに対し、当研究所がJR西日本と共同で開発したレーザー干渉計測技術(Laser Cross No.315, 2014 Jun. 他)は、非接触・遠隔での診断ができ、検査全体の高速化・コスト削減が可能である。

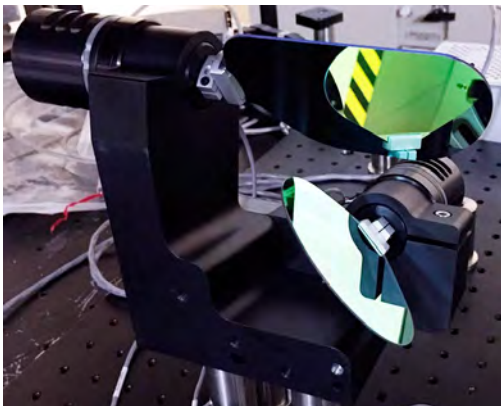
本研究と関連し、当研究所は現在、現内閣主導で発足した内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)に国立研究開発法人理化学研究所ならびに国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(原子力機構)と共同参画しており、レーザー技術を用いたインフラ維持管理のための高速かつ非接触な診断・補修シ

ステムの開発を目標に研究を進めている(Laser Cross No.325, 2015 Apr.)。本プログラムにおける当研究所の課題は診断の高速化であり、中でもレーザーのスキャン速度の向上は、解決すべき大きな技術的課題のひとつである。これまでの研究では、レーザーの射出方向(ポインティング)の制御に回転式の2軸ステージを用いていたが、ステージの回転速度等の問題により検査点一点あたりの計測に2秒(0.5Hz)の時間が必要であった。そこで我々は今回、より高速でポインティングを変えることができるガルバノスキャナーを用いた新しい制御システムを構築し、検査速度をこれまでの50倍(25Hz)に高速化することに成功した。本報告では、制御システムの概要と、本システムによるコンクリート内部欠陥検出実験の結果について述べる。

■レーザースキャン制御システム

図1に、使用したガルバノスキャナーの写真を示す。スキャナーに取り付けたミラーは2インチの大型ミラーで、素材には軽く剛性もよいSiC(炭化ケイ素)を用いた。欠陥検出は、インパクト用のレーザーでコンク

次ページへつづく▶



【図1】ガルバノスキャナー

イメージと動作タイミングを合わせることが重要である。制御システムのソフトウェア開発にはLabVIEW(ナショナルインスツルメンツ社(NI))を使用した。機器の制御には、マイクロ秒レベルの正確な制御が必要な部分に関してはNI CompactRIOボードのField Programmable Gate Array(FPGA)部を用いた。制御システムの実行フローは、

1. レーザー距離計からデータを取得し、各レーザーの焦点を検査対象面に合わせる、
2. 検査対象にインパクト用レーザーを当てる点数と掃引間隔を決める、
3. システムの実行ボタンを押し、レーザー、スキャナー、計測機器にそれぞれスタート用トリガを送り検査対象面をスキャンする、

である。

■コンクリート診断を50倍に高速化

開発した制御システムを用い、あらかじめ内部に欠陥(空洞)を施したコンクリート試供体の内部欠陥検出実験を行った。インパクト用レーザーには、原子力機構関西光科学研究所(現 量子科学技術研究開発機構関西光科学研究所)が開発した、1J出力で繰り返し可変の高出力パルスレーザーを使用し、繰り返しは25Hzに設定した。基準信号には50Hz、600 μ sのTTL信号を使用した。FPGAに入力したTTL信号は、内部処理によって125nsの遅延を受け、各機器にトリガ信号を渡す。各機器の動作タイミングは基準クロックと同期し、検査点でのインパクトレーザーの加振時のデータを正確に取得することができる。実験結果を図2に示す。200mm $\times$ 200mmの検査面を33mm間隔、49点でスキャンした。開始か

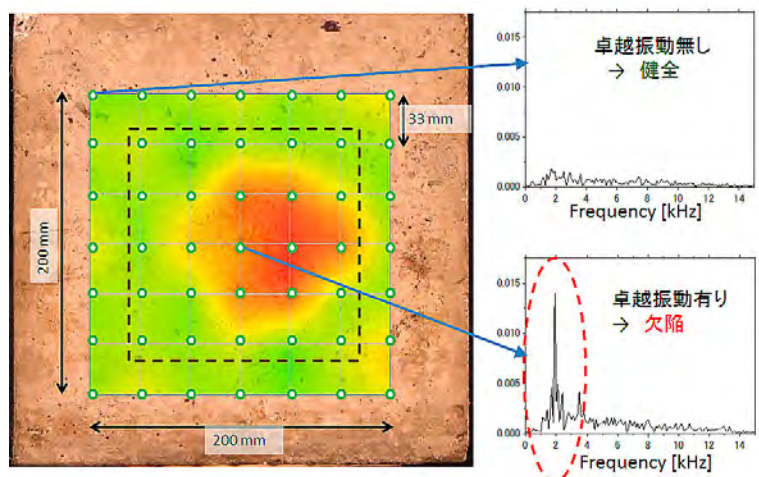
リート表面を叩いた後、検出用のレーザーを照射して信号を取得する方法により行うため、各機器のスタートタ

ら終了までに必要な時間はおよそ2秒であった。コンクリート表面の赤い部分が欠陥と認識された部分、緑の部分が正常と認識された部分である。欠陥部の場合、インパクトレーザーによって加振された時に卓越振動を持つため、トリガ毎に取得した波形をフーリエ変換することにより卓越振動周波数の位置にピークが現われる。図に示すように、健全部ではピークは検出されないが、欠陥部ではピークが明確に現われている。この結果から、本システムにより、25Hz、つまりこれまでの50倍の速度でのコンクリートの診断が可能であることが明らかとなった。

■まとめ

本研究では、ガルバノスキャナーとFPGAを用いた新規の高速レーザースキャンシステムを開発した。コンクリート試供体を用いた内部欠陥検出実験の結果、検査面の各点ごとの計測を50倍高速化し、25Hzでの高速診断を達成することができた。今後は、さらなる高速化にむけてシステムの最適化を行う予定である。

謝辞：本研究の実施にあたり、原子力機構関西光科学研究所(現 量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所)の多大な協力を得た。また本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」(管理人: 国立研究開発法人科学技術振興機構(JST))の支援により行われた。なお、本年1月には本研究成果のプレス発表を行い、多くの報道機関で紹介されるとともに、NHKや読売テレビ、テレビ東京等から取材を受け、その内容がテレビでも放送された。ご協力頂いた方々に深く感謝致します。



【図2】コンクリート試供体を用いた内部欠陥検出実験結果 (図中○が計測点)

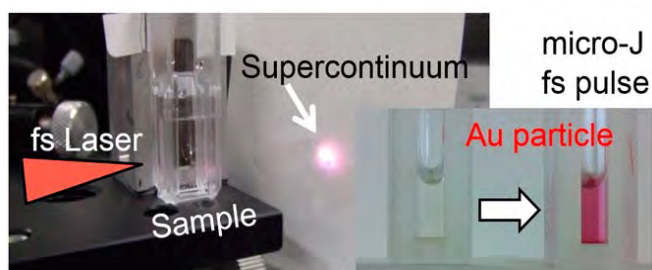
フェムト秒パルスによる金属イオンの還元、金属微粒子の生成

大阪市大特任教授、レーザーバイオ化学研究チームチームリーダー(兼任) 中島信昭

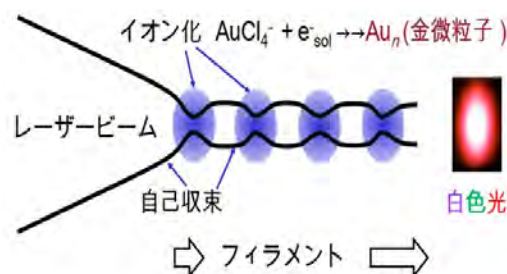
■研究のあらまし

金属イオンを含む水溶液にフェムト秒レーザーを集光照射すると、ナノ微粒子を生成することがある。集光されたフェムト秒レーザー光は一部白色光(Supercontinuum, SC)に変換されるが、金錯体イオン(AuCl_4^-)を含む場合、金微粒子を生成し、溶液は無

色からワインレッドに変わる(図1、金微粒子生成の場合)。この現象はかなり一般的で、3+金属イオン(Fe^{3+} 、 Eu^{3+} 、 Sm^{3+} 、 Yb^{3+})の場合はそれぞれの2+のイオンが生成し、金属(Ag、Au、Pd)の1または2価イオンではそれぞれの金属微粒子を生成する。これらの反応は溶媒(水)のイオン化とそれに続くイオンの還元反応で説明



【図1】金微粒子生成実験



【図2】金錯体イオンを含む水溶液で起こる現象

山中千代衛



大学の使命は

大阪大学では産学連携プロジェクトとしてCOI拠点開設が提唱されている。COIは文科省が大々的に推進しているCenter of Innovation Streamをそのまま持ち込んだもので、このアイデアは文科省のおすすめの結果である。内容は「一人一人が最高に輝くハピネス社会の実現」を目指すとしている。具体的には「脳マネジメントの潜在能力を発揮できる社会」というプランを提唱していて、4つの取り組みとシステム化で社会実装を実現するという。

このプロジェクトは「人間力活性化によるスーパー日本人の育成拠点」を目標にしている。「ハピネス社会」、「スーパー日本人」という言葉の選び方がいかにもスーパーマーケットの宣伝に似ていて、大学にふさわしくない。言葉の遊びである。このプランをしぼり出した大学の研究者はそれぞれ高度で専門的な己の研究分野と専門講義を行う役目を持っている。

文科省のこの通達を見た大学人がそれに従わないと予算がとれないと思い込んだ心情は理解できる。しかし大学人は本来の専門的な学術研究に精力を集中すべきであって、スーパーグローバル大学創成支援という大風呂敷に包まれては身もふたもない。

大学の使命は一国の文化レベルの向上とその発展に力をつくすことである。自らの専門分野を通じて自らの貢献を果たすことこそが大切である。「スーパー日本人」というレッテルはいかにも重厚さが無い。用語には今一つ気配りが不可欠と思うのだが。

文科省もかつての地道な研究と教育への努力が失われてきた。これは日本全体の傾向でもある。もっとドッシリとして責任を果たして欲しいものだ。アベノミクスの影響ではあるまいが、この頃政治が薄っぺらになって落ち着きがないのは心もとない。

大学人は大学人として自らの責任と自覚で本来の使命へ向けて頑張ってもらいたい。

【名誉所長】

できることを明らかにした。

■フェムト秒レーザーの自己収束、水のイオン化、白色光

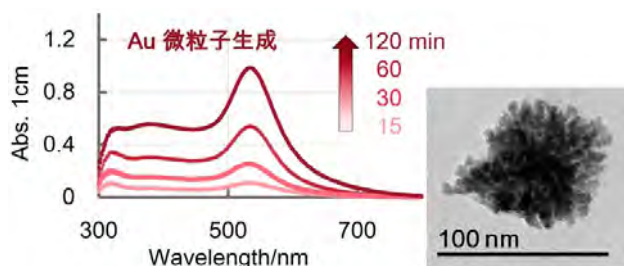
フェムト秒レーザーパルスを集光照射すると更に自己収束が加わり、ついには溶媒の水はイオン化し、解離する。ビームは一時広がるが、再収束し、水から電子が再放出される(図2)。生成した電子のため、白色光のスペクトルは短波長側に非対称に広がるが知られている。

■金微粒子生成と照射エネルギー領域

図3に、金微粒子生成による吸収の時間発展と微粒子のTEM像を示す。可視部中心に現れる吸収は金微粒子特有の表面プラズモンによるものである。120分後、短波長側のスペクトルは少し歪んで見えるが、初期原料の減少によるもので、これを利用し反応効率を求めた。効率は入射光子数に対し0.1%であった。TEM像は1日後に測定したもので、数ナノメートルの金微粒子の凝集体と思われる。図4には、銀、金微粒子が生成するフェムト秒レーザーパルスのエネルギーを白色光(SC)発生領域とともに示した。SCが見え出す(90 fsパルス、1-2 μ J) よりも少し弱いサブマイクロジュールの領域から微粒子の生成が見られた。この領域から水のイオン化が始まっていることを示している。微粒子生成はしきい値があるかのように急に始まった。なお、パルスエネルギーが110 μ Jを越すと水のプラズマ破壊が起き、定常的にバブル生成が見られた。

■従来研究との比較、反応機構の議論

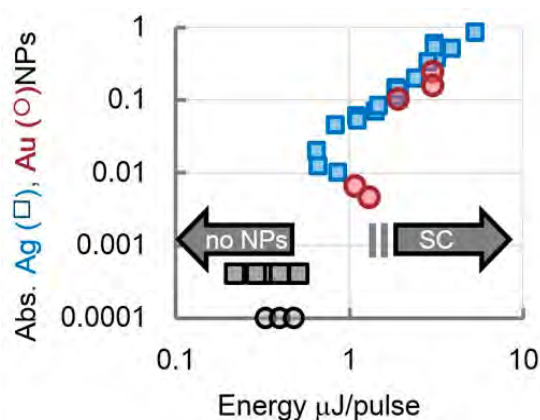
従来、フェムト秒レーザーによる微粒子生成は、主として水のプラズマ破壊が起こる領域である数百マイクロジュールのパルスエネルギーで行われてきた。これ



【図3】金(Au)微粒子の生成。プラズモン吸収が可視部中心に現れ、100 nmサイズの粒子が観測された(90 fs, 3 μ J, 1 kHz パルスレーザー照射時)

に対し本研究では数マイクロジュールの領域で実験を行い、白色光発生直前の低いエネルギー領域においても金属イオンの還元による微粒子生成が起こることを示した。この反応には溶媒(水)のイオン化、解離により生成する(水和)電子が深く関与しているものと考えられる。実際に、90 fsパルス 3 μ Jの条件で水にレーザーを照射すると約15%のエネルギーが吸収されることがわかった。このエネルギーが水のイオン化、解離に用いられるのであろう。一方、フェムト秒レーザーを照射した場合に起こる可能性がある溶質(金属、錯体イオン)の多光子吸収については、数マイクロジュールの領域において少なくとも金、銀イオン系では殆ど起こらず、微粒子生成の直接的な要因ではないことがわかった。これらの結果は、水のイオン化を利用することで、より低いレーザーエネルギーでも金属イオンの還元・微粒子化を行うことが可能であることを示している。実験結果や反応機構についてのさらに詳細な分析については以下の論文を参照されたい。

N. Nakashima, K. Yamanaka, M. Saeki, H. Ohba, S. Taniguchi, T. Yatsushashi, "Metal ion reductions by femtosecond laser pulses with micro-Joule energy and their efficiencies", *J. Photochem. Photobiol. A: Chemistry* **319** (2016) 70-77.



【図4】Au(●), Ag(■)微粒子(NP)生成と白色光(SC)の生成。SC発生領域では確実にNPが生成した。■, ●は検出限界以下を示す(no NPs)。SCの矢印はSCが安定的に目視できる領域を示す。縦の二重線のところでは時々SCが見えた

主な学会等報告予定

- 5月17日(火)～20日(金) The 5th Advanced Lasers and Photon Sources Conference(ALPS'16) (パシフィコ横浜)
ハイク コスロービアン 「High-power coherent beam combination (CBC): Beam quality and coupling efficiency in CBC」
- 5月17日(火)～20日(金) Laser Solution for Space and the Earth (LSSE2016) (パシフィコ横浜)
オレグ コチャエフ 「A Mobile Laser-Based System for Remote Inspection of Shinkansen Tunnels」
- 5月18日(水)～20日(金) The 5th Pacific-rim Laser Damage Conference(PLD'16) (パシフィコ横浜)
本越 伸二 「Laser-induced damage thresholds by double pulses with interval time」